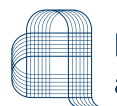


acatech **STUDIE**

Neue autoMobilität

Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)

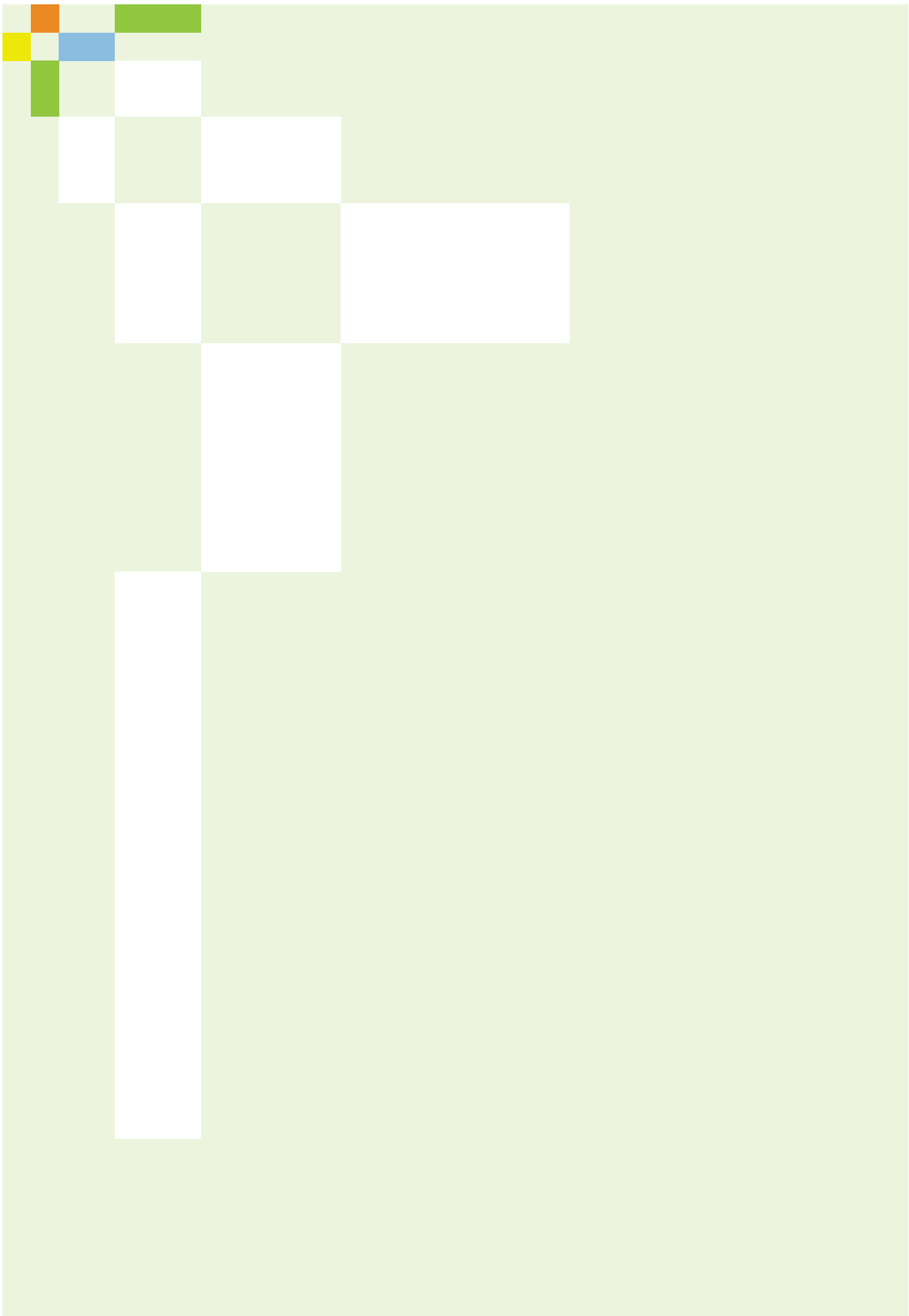


Neue
autoMobilität

Ein Projekt von acatech

 **acatech**

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech STUDIE

Neue autoMobilität

Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)



Ein Projekt von acatech



DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte aus Projekten der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.



Inhalt

Kurzfassung	6
Projekt	9
1 Einleitung	12
2 Aktuelle Trends und internationaler Vergleich	18
2.1 Die digitale Transformation der Mobilität	18
2.2 Automatisiertes Fahren und Mobilitätsdienste im internationalen Vergleich	19
3 Nutzungsszenarien	24
3.1 Sicher zu Fuß und per Rad unterwegs	24
3.2 Unterwegs gewonnene Zeit	26
3.3 Neue Flexibilität im öffentlichen Verkehr	29
3.4 Verbesserte Versorgung	31
3.5 Geschäftsmodelle für den vernetzten und automatisierten Straßenverkehr	33
4 Aktionsfelder und Roadmaps	38
4.1 Einführung	38
4.1.1 Architekturveränderung im vernetzten Mobilitätssystem	39
4.1.2 Mischverkehr 2030: Voraussetzung und Herausforderung für den automatisierten Straßenverkehr	40
4.2 Mensch	41
4.2.1 Mensch-Maschine-Interaktion	41
4.2.2 Mensch- und Fahrermodelle	41
4.2.3 Öffentliche Akzeptanz	42
4.3 Fahrzeug	47
4.3.1 Automation	49
4.3.2 Vernetzung	50
4.3.3 Umfeldwahrnehmung	51
4.4 Sicherheit	58
4.4.1 Safety	58
4.4.2 Security	60
4.4.3 Privacy und Datenschutz	62
4.4.4 Exkurs: Testverfahren	64

4.5	Vernetztes Mobilitätssystem	68
4.5.1	Straßenbauliche und verkehrstechnische Infrastruktur	68
4.5.2	Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur	69
4.5.3	Digitale Karten	74
4.5.4	Verkehrsmanagement	74
4.6	Rahmenbedingungen	79
4.6.1	Allgemeine Rechtslage und Diskussionsstand	79
4.6.2	Verhaltenspflicht	80
4.6.3	Zulassung	80
4.6.4	Haftung	81
4.6.5	Datenspeicher	82
4.6.6	Testbetrieb und Erprobung in Living Labs	82
4.6.7	Beschäftigung und Arbeit	83
4.6.8	Ausbildung und Qualifizierung	84
4.7	Technische Normen und Standards	88
4.7.1	Bedeutung technischer Standardisierung und Normung	88
4.7.2	Gesamtarchitekturen im intelligenten Verkehrssystem	90
4.7.3	Funktionen und Verhalten	91
4.7.4	Kommunikation	92
4.7.5	Informations- und Datensicherheit	93
4.7.6	Entwicklung	94
4.7.7	Zulassung und Überwachung	96
5	Zusammenfassung der Roadmaps und Ausblick	97
6	Schlussfolgerungen	98
7	Praxisbeispiele	105
7.1	Vorhandene Testfelder und Teststrecken	105
7.2	Geplante Testfelder und Teststrecken	106
7.3	Testfelder und Teststrecken mit dem Fokus auf Vernetzung	108
	Über das Projekt	109
	Literatur	110
	Abkürzungsverzeichnis	118



Kurzfassung

Die 40 Institutionen umfassende Projektgruppe **Neue autoMobilität aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft** beschreibt in der vorliegenden **acatech STUDIE** den automatisierten Straßenverkehr der Zukunft. Längerfristig ist dieser ein Mischverkehr aus Fahrzeugen mit unterschiedlichen Automatisierungsstufen. Dabei ist die Interaktion von automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen ebenso zentral wie der Umgang mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden. Die Entwicklung bis 2030 wird stufenweise erfolgen. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich, zum Beispiel bei der automatisierten Parkplatzsuche (Valet Parking), kann fahrerloses Fahren bereits 2020 serienreif sein.

Das zugrunde liegende Zielbild beschreibt, wie ein automatisierter Straßenverkehr und fahrerloses Fahren einen wichtigen Beitrag zur Lösung der wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Herausforderungen leisten können, die sich uns gegenwärtig stellen und in Zukunft in Bezug auf multimodale Mobilität stellen werden.¹ Heute ist der automatisierte Straßenverkehr keine ferne Zukunftsvision mehr, sondern durch die zunehmende digitale Vernetzung und Automatisierung technisch bereits machbar. Der Wettlauf um die Technologieführerschaft sowie um die Leitanieterschaft bei automatisierten Fahrzeugsystemen und den mit ihnen verbundenen Smart Services hat auch im Mobilitätssektor begonnen. Fahrerloses Fahren kann beispielsweise die Grenzen zwischen Individualverkehr und öffentlichem Verkehr neu definieren. Gleichzeitig gilt es, die technologische Entwicklung in Richtung gesellschaftlich erwünschter Ziele zu steuern, damit durch Technologie ein Zuwachs an Lebensqualität geschaffen werden kann.

Die STUDIE zeigt, welche Weichenstellungen erfolgen müssen, um das Zielbild eines automatisierten Straßenverkehrs zu erreichen. So erfordert die Einführung automatisierter Fahrfunktionen aus technischer Sicht beispielsweise eine zuverlässige und robuste Umfeldwahrnehmung. Besonders im Mischverkehr ist es notwendig, dass Intentionen und Gesten anderer Verkehrsteilnehmender interpretiert werden können. Die Vernetzung von

Verkehrsteilnehmenden untereinander und mit der jeweiligen Infrastruktur bietet dabei eine effektive Unterstützung. Darüber hinaus umfassen datenbasierte Mobilitätsdienste sowohl Anwendungen wie Routenplanung, Parkplatzinformationen und Assistenz bei Fahrzeugfernsteuerung als auch Carsharing und Mitfahrvermittlungen („Ride Sharing“). Mit zunehmender Vernetzung und Automatisierung werden Fahrzeugsysteme, Verkehrsinfrastrukturen sowie intelligente Verkehrssysteme (IVS) auch anfälliger für Funktionsausfälle und Angriffe von außen. Daher müssen sich die Systeme robust und widerstandsfähig gegenüber Störungen und unerwarteten Ereignissen verhalten. Diese erforderliche Resilienz kann vor allem durch redundante, lernfähige und adaptive Systeme erreicht werden.

Mit der Perspektive eines zunehmend automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs ist eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig. Für eine zügige Realisierung der unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Neuen autoMobilität und innovativen Geschäftsmodelle sind die bestehenden Rahmenbedingungen entscheidend. Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr, vor allem bis Stufe 4 (vollautomatisiertes Fahren), ist bereits innerhalb unseres bestehenden Rechtsrahmens zum Großteil möglich. Fahrerlose Fahrzeuge der Stufe 5 können hingegen nicht mit dem heutigen rechtlichen Rahmen in Europa in Einklang gebracht werden.

Rahmenbedingungen für den automatisierten Straßenverkehr

Auch eine Vereinheitlichung auf der Ebene von technischen Normen und Standards ist erforderlich. Dies betrifft sowohl technische Einrichtungen der Kraftfahrzeuge, die Straßeninfrastruktur, die informations- und kommunikationstechnische Verkehrsinfrastruktur als auch den Ablauf autonomer Prozesse, die Fahrzeugentwicklung und Fahrzeugzulassung. Denn Vereinheitlichung ist ein Motor für Innovation: Mit der Etablierung von verlässlichen Rahmenbedingungen für Hersteller und Betreiber von Fahrzeugen werden die Voraussetzungen geschaffen für die Einführung, die Serienproduktion, den Betrieb, die Migration und die Instandhaltung automatisierter Fahrzeuge. Konkret erforderliche Anpassungen im Bereich von Normen und Standards werden von der vorliegenden STUDIE im Detail aufgeführt.

Um den Automatisierungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen und die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur zu verbessern, sind

1 | acatech 2015.

Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E), Testfelder sowie in die Infrastruktur notwendig. Diese sollten über die im Rahmen der kontinuierlich stattfindenden Investitionen in Verkehrswege hinausgehen. Anzustreben wäre eine Integration der zum Teil bereits bestehenden Initiativen auf EU-, Bundes- und zum Teil Länderebene insbesondere im Bereich der Infrastrukturfinanzierung und deren Koordinierung. Auf diese Weise würde auch Gemeinden und Kommunen eine flächendeckende Ausstattung mit informations- und kommunikationstechnischen Verkehrsinfrastrukturen ermöglicht. Hierbei ist ferner die Förderung von Geschäftsmodellen des öffentlichen Verkehrs oder von innovativen Mobilitätsdiensten zu berücksichtigen, die gerade im ländlichen Raum einen besseren Zugang zu Mobilität ermöglichen können.

Deutschland als Leitmarkt für intelligente Mobilitätssysteme

Die Neue autoMobilität spielt ebenso eine wichtige Rolle als Wettbewerbstreiber und Exportgut für die deutsche Wirtschaft. Deutschland ist heute bereits Vorreiter bei der Entwicklung und Markteinführung von (teil-)automatisierten Fahrzeugfunktionen. Gleichzeitig verändern sich mit dem Einzug des automatisierten Straßenverkehrs der Zukunft aber auch die klassischen Marktsegmente. Motorisierter Individualverkehr und öffentlicher Verkehr werden sich zu einem neuen und sehr wettbewerbsintensiven Markt für individuelle öffentliche Verkehrsangebote verbinden. Auch Unternehmen, die heute Mobilität nicht als ihr Kerngeschäft ansehen, werden zu wichtigen Anbietern rund um Mobilität werden, wenn sie es schaffen, den Kundinnen oder Kunden beziehungsweise den Nutzenden einen Mehrwert zu bieten. Deutsche Automobilhersteller, aber auch Anbieter von öffentlichen Verkehrsangeboten, werden ihre Position in einem derart veränderten Markt erst noch behaupten müssen.

Auch über die nationalen Grenzen hinweg gilt es, einen Leitmarkt für vernetztes und automatisiertes Fahren zu schaffen, einschließlich attraktiver Möglichkeiten für F&E-Projekte und Pilotprogramme innerhalb Europas. Der Erfolg intelligenter Technologien hängt im Zeitalter des gemeinsamen europäischen Marktes letztlich von der erfolgreichen Zusammenarbeit der europäischen Partner ab: Straßenverkehr endet nicht an Ländergrenzen.

Welche Angebote und welche Form von automatisierter Mobilität sich im Ergebnis durchsetzen, wird nicht nur von den technischen Möglichkeiten bestimmt, sondern auch davon, wie stringent politische Ziele zur Gestaltung eines zukünftigen Mobilitätssystems verfolgt werden. Politische Ziele können durchaus auch Anreize für Hersteller setzen, entsprechende Lösungen auf den Markt zu bringen. Um im Entwicklungsprozess frühzeitig die Nutzenden einzubeziehen und damit die technologische Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion gemeinsam mit den zukünftigen am Verkehr Teilnehmenden zu testen, bietet es sich an, öffentlich zugängliche Testfelder in begrenzten Gebieten oder auf Teilstrecken zu errichten. Im Vordergrund steht dabei der Erfahrungsgewinn für die Nutzenden, zum Beispiel durch teilautomatisierte Carsharing-Flotten in Städten. Gleichzeitig können Ingenieure, Städteplaner und Verkehrsforscher die Feldversuche für die Weiterentwicklung des automatisierten Straßenverkehrs nutzen.

Handlungsbedarf für den automatisierten Straßenverkehr

Um das Zielbild der STUDIE Neue autoMobilität für das Jahr 2030 umzusetzen und durch die Verknüpfung von Automatisierung und Vernetzung die Lebensqualität und soziale Teilhabe von Menschen zu steigern, die Sicherheit im Verkehr zu erhöhen und dazu beizutragen, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sowie den Wirtschafts- und Beschäftigungsstandort Deutschland langfristig zu sichern, sieht die Projektgruppe Neue autoMobilität konkreten Handlungsbedarf. Dieser konkretisiert sich in neun Schlussfolgerungen:

1. Übergeordnete Governance-Struktur für vernetztes und automatisiertes Fahren

Der bereits existierende „Runde Tisch für automatisiertes Fahren“ sollte zum zentralen Umsetzungsgremium des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs weiterentwickelt werden. Darüber hinaus wird empfohlen, die verschiedenen Gremien durch ein interministerielles Programmbüro aufseiten der Bundesregierung und eine Koordinierungsstelle aufseiten der Industrie und Wissenschaft zu unterstützen.

2. F&E-Programm mit Begleit- und Wirkungsforschung

Für die zeitnahe Umsetzung des Zielbildes der Neuen autoMobilität ist ein Forschungsprogramm mit drei untergeordneten Förderlinien für die Komponentenentwicklung, für spezifische



Fragen zur Vernetzung sowie für den Bereich der komplexen Systemfunktionen an der Schnittstelle von Automatisierung und Vernetzung zu implementieren.

3. Koordination der Living Labs und Schaufenster

Im Zentrum der Einrichtung von Testfeldern und Living Labs steht die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion, welche die Erfahrbarkeit für die Nutzenden, aber auch die Weiterentwicklungen im Bereich der Fahrzeugtechnologien, Stadtplanung oder der Verkehrsforschung ermöglicht. In erster Linie soll dabei das Zusammenspiel der unterschiedlichen Systemkomponenten erforscht und Maßstäbe für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen etabliert werden.

4. Zertifizierung für das Verkehrsmanagement von Straßen und Daten

Die Qualitätssicherung der Infrastrukturelemente, die als kritisch für das automatisierte Fahren definiert werden, sollte durch eine Zertifizierungsstelle gewährleistet werden. Die notwendige Qualitätssicherung betrifft Baulastträger für straßenbauliche Standards sowie die Datenzertifizierung.

5. Integrierte Infrastrukturförderung für Bund, Länder, Kreise und Kommunen

Ein zentrales Planungs- und Finanzierungsinstrument wird benötigt, um eine zusammenhängende und baulastträgerübergreifende Infrastruktur für automatisiertes Fahren zu schaffen, die eine schrittweise und längerfristige Ausstattung der Städte, Kommunen und Regionen mit der nötigen Infrastruktur für automatisiertes und vernetztes Fahren gewährleistet.

6. Internationale Rahmendbedingungen weiterentwickeln

Zur Sicherstellung eines reibungslosen grenzüberschreitenden Verkehrs wird empfohlen, die Rahmenbedingungen wie Testbetrieb, Zulassungsrecht, Beschäftigung und Arbeit sowie Infrastruktur in den Fokus zu nehmen. Diese sind längerfristig auf die Einführung vollautomatisierter und fahrerloser Fahrfunktionen zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern.

7. Einheitliche Prinzipien der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich

Deutsche Hersteller, Prüforganisationen und Bundesbehörden sollten darauf hinarbeiten, bei der Entwicklung und der Etablierung von internationalen Standards der sicherheitsrelevanten Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich eine führende Rolle einzunehmen.

8. Normungs-Roadmap Neue autoMobilität

Die Projektgruppe empfiehlt die Umsetzung einer Normungs-Roadmap Neue autoMobilität, um die internationale Harmonisierung voranzubringen und die Einführung von technischen Standards zu beschleunigen.

9. Langfristig angelegter gesellschaftlicher Dialog

Automatisiertes Fahren muss durch öffentlich zugängliche Testfelder und einen öffentlich geführten Dialog sowohl zugänglich als auch erfahrbar gemacht werden. Die offene Kommunikation von Risiken und Chancen kann somit, neben der Weiterentwicklung des Rechtsrahmens, Vertrauen in den automatisierten Straßenverkehr schaffen und zu einer fundierten Diskussion beitragen.

Im Sinne der Nachhaltigkeit und eines gesellschaftlich verantwortungsvollen Umgangs mit neuen Technologien muss sich die beschriebene Neue autoMobilität in das bestehende Verkehrssystem und in das diesem zugrunde liegende sozio-kulturelle und rechtliche System Deutschlands einfügen. Die vorliegende acatech STUDIE bietet eine Informations- und Entscheidungsgrundlage für die notwendige Debatte zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, um die Ausgestaltung unseres zukünftigen Mobilitätssystems auszuhandeln.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter:
www.acatech.de/neue-automobilitaet.de

Projekt

Projektleitung

Prof. Dr. Karsten Lemmer, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)/acatech

Projektgruppe

AG Forschung und Entwicklung

- Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR (AG-Sprecher)
- Gerrit Bagschik, TU Braunschweig
- Jörg Belz, DLR
- Prof. Dr. Werner Damm, OFFIS
- Björn Filzek, Continental AG
- Dr. Martin Fischer, DLR
- Prof. Dr. Bernhard Friedrich, TU Braunschweig/acatech
- Roland Galbas, Robert Bosch GmbH
- Dr. Tobias Hesse, DLR
- Prof. Dr. Achim Kampker, Deutsche Post DHL Group/ Streetscooter GmbH
- Dr. Steffen Knapp, Opel AG
- Stephan Lapoehn, DLR
- Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig
- Stephan Pfeiffer, DB Mobility Logistics
- Andreas Reschka, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Raúl Rojas, FU Berlin
- Dr. Uli Siebold, Fraunhofer EMI
- Christoph Steimel, Continental AG
- Dr. Alexander Stolz, Fraunhofer EMI
- Dr. Chung-Anh Tran, DB Mobility Logistics AG
- Dr. Dirk Wisselmann, BMW AG

AG Standardisierung und Normung

- Prof. Dr.-Ing. Eckehard Schnieder, TU Braunschweig/acatech (AG-Sprecher)
- Dr. Gereon Meyer, VDI/VDE-IT
- Dr. Gerd Neumann, DEKRA
- Philipp Niermann, VDA
- Prof. Dr. Klaus Vieweg, Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

AG Rahmenbedingungen

- Prof. Dr. Achim Kampker, Deutsche Post DHL Group/ StreetScooter GmbH (AG-Sprecher)
- Christian Brunkhorst, IG Metall
- Matthias Krämer, BDI
- Henry Kuhle, VDA
- Michael Lohmeier, Deutsche Post DHL Group/ StreetScooter GmbH
- Stephan Pfeiffer, DB Mobility Logistics AG
- Petra Richter, BDI
- Jan Schepmann, Verband der TÜV e. V. (VdTÜV)
- Dr. Klaus Scheuerer, BMW AG
- Dr. Thomas Schwarz, Audi AG
- Anne Swierzy, Opel AG
- Prof. Dr. Klaus Vieweg, Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

AG Infrastruktur

- Prof. Dr. Bernhard Friedrich, TU Braunschweig/acatech (AG-Sprecher)
- Dr.-Ing. Uwe Becker, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Manfred Broy, TU München
- Dr. Andreas Festag, TU Dresden
- Prof. Dr. Gerhard Fettweis, TU Dresden
- Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Katharina Morik, TU Dortmund
- Dr. Uwe Pützschler, Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG
- Andreas Reschka, TU Braunschweig
- Dr. Thomas Schwarz, Audi AG
- Johannes Springer, T-Systems International GmbH

AG Geschäftsmodelle

- Michael Bültmann, HERE Deutschland GmbH (AG-Sprecher)
- Dr. Till Ackermann, VDV
- Dr. Andreas Becker, DB Mobility Logistics
- Aline-Florence Buttkeireit, MedienCampus Bayern
- Bernd Fastenrath, HERE Deutschland GmbH
- Dr. Barbara Flügge, SAP SE
- Markus Gützlaff, Munich RE AG
- Christoph Hohenberger, TU München
- Markus Kaiser, MedienCampus Bayern
- Michael Püschner, acatech Geschäftsstelle
- Stefan Schulz, Munich RE AG
- Anne Swierzy, Opel AG
- Dr. Rittmar von Helmholt, Opel AG



Weitere Mitglieder der Projektgruppe

- Matthias Esser, Daimler AG
- Tom Michael Gasser, Bundesanstalt für Straßenwesen
- Harald Naunheimer, ZF Friedrichshafen AG
- Graham Smethurst, VDA
- Dr. Ralf Wörner, Daimler AG
- Olaf Zinne, ADAC

Begleitkreis

- Christine Greulich, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
- Prof. Dr. Dr. Eric Hilgendorf, Universität Würzburg
- Prof. Dr. Henning Kagermann, acatech Präsident (Leitung Review)
- Dr. Peter-Roman Persch, ÖPP Deutschland AG
- Prof. Dr. Günther Schuh, RWTH Aachen

Workshop Normen und Standardisierung

- Dr. Arne Bartels, Volkswagen AG
- Martyn Douglas, Umweltbundesamt
- Heiko Ehrich, TÜV NORD AG
- Alexandra Engelt, DIN e. V.
- Prof. Dr. Thomas Klindt, Noerr LLP
- Dr. Felix Reinhold, TU Braunschweig
- Fabian Schuldt, TU Braunschweig
- Udo Steininger, TÜV SÜD
- Sebastian Vogt, TU Braunschweig

Workshop Internationaler Vergleich

- Steffen Gänzle, A.T. Kearney GmbH
- Christian Hochfeld, Agora Verkehrswende
- Hans-Jürgen Kugler, Kugler Maag Cie GmbH
- Dr. Timo Möller, McKinsey & Company, Inc.
- Dr. Thomas Schlick, Roland Berger GmbH

Workshop Kommunen

- Dr. Dieter Auspurg, Stadt Leipzig
- Prof. Dr. Klaus J. Beckmann, KJB.Kom – Kommunalforschung, Beratung, Moderation und Kommunikation
- Dr. Juliane Bielinski, Innovationszentrum Niedersachsen
- Dr. Wolfgang Fischer, Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg (e-mobil BW)
- Dr. Ralf Grötter, EXPLORAT Moderation & Beratung
- Ulrich Just, Stadt Bremen
- Yvonne Jähne, Sächsische Energieagentur (SAENA)
- Gernot Lobenberg, Berliner Agentur für Elektromobilität eMO
- Thomas Meißner, Berliner Agentur für Elektromobilität eMO
- Dr. Julius Menge, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
- Raimund Nowak, Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg
- Dr. Jürgen Peters, Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ)
- Kurt Pommerenke, Wirtschaftsförderung Dortmund
- Sebastian Pretzsch, Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI
- Dr. Fritz Rettberg, TU Dortmund
- Luca Ricci, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
- Martin Röhrleef, üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe/VDV
- Christoph Stroschein, GESI Deutsche Gesellschaft für Systeminnovation

Projektkoordination

- Stefanie Baumann, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Tobias Hesse, DLR
- Michael Püschner, acatech Geschäftsstelle

Projektlaufzeit

05/2015 bis 12/2016

Finanzierung

Das Projekt wird anteilig vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

acatech dankt außerdem den folgenden Unternehmen für ihre finanzielle Unterstützung:

Adam Opel AG
Audi AG
BMW AG
Continental AG
Daimler AG
DEKRA SE
Deutsche Post AG
DB Mobility Logistics AG
Ericsson GmbH
Ford-Werke GmbH
Munich RE AG
HERE Deutschland GmbH
Robert Bosch GmbH



1 Einleitung

Unser Mobilitätssystem steht vor großen Herausforderungen: Der weltweite Mobilitätsbedarf von Menschen und Gütern steigt. Zugleich muss die Mobilität effizient, ressourcen- und klimaschonend organisiert werden. Verkehrsunfälle und Staus sowie Lärm und Schadstoffemissionen werden zu zentralen Herausforderungen, nicht nur in den verdichteten urbanen Räumen. Auch wird die Mobilität in einer älter werdenden Gesellschaft zu einem wesentlichen Faktor der sozialen Teilhabe.

Die voranschreitende Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen und Infrastruktur ermöglicht nicht nur einen intelligenten Mix verschiedener Mobilitätsformen, sondern eröffnet auch Optionen für einen zugleich sicheren und umweltfreundlicheren, aber auch wirtschaftlichen und gesellschaftlich attraktiven Straßenverkehr der Zukunft. Das Internet der Dinge, die Industrie 4.0 und das Entstehen damit verbundener digitaler Plattformen wirken sich auch auf den Mobilitätsbereich aus. Fahrzeuge – bislang passive, von Menschen gesteuerte Objekte – avancieren mithilfe von eingebetteten Systemen zu aktiven, selbst kommunizierenden Einheiten, die mehr und mehr Fahrauf-

gaben übernehmen. Durch die zunehmende Vernetzung wird das Fahrzeug ein Knotenpunkt im Internet, das Informationen sammelt und weitergibt. Diese Informationen sind Grundlage für eine intelligente Steuerung der Verkehrsflüsse und datenbasierte Mobilitätsdienste (Mobility as a Service). Die Vernetzung des Straßenverkehrs kann auf diese Weise sowohl den Zugang zu Mobilität erleichtern als auch die Sicherheit im Verkehr erhöhen. Somit bildet sie eine wichtige Grundlage für den Straßenverkehr der Zukunft.

Infolge der Digitalisierung schreitet neben der Vernetzung auch die Automatisierung von Fahrzeugen rasch voran. Das elektronische Stabilitätsprogramm, Notbrems- und Einparkassistenten oder adaptives Kurven- und Fernlicht entwickeln sich bereits zu einem Standard moderner Autos. Während die zunehmende serienreife Fahrzeugautomation zurzeit vor allem durch eine steigende Anzahl von Fahrerassistenzsystemen wie Spurhalteassistenten oder Einparkhilfen deutlich wird, fahren Testfahrzeuge bereits heute auf deutschen oder kalifornischen Straßen vollautomatisiert. Durch Entwicklungen im Bereich der Assistenzsysteme und des teil- und hochautomatisierten Fahrens nimmt das Fahrzeug den Fahrenden immer mehr Aufgaben ab. Vollautomatisierte Fahrzeuge und letztlich das gänzlich fahrerlose Fahren werden durch die Entwicklungen im Bereich der künstlichen In-

Funktion	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus.	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus.	Fahrer <u>muss</u> das System dauerhaft überwachen.	Fahrer <u>muss</u> das System <u>nicht</u> mehr dauerhaft überwachen. Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.	Kein Fahrer im <u>spezifischen Anwendungsfall*</u> erforderlich.	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich.
	Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv.	System übernimmt die jeweils andere Funktion.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.	System <u>kann</u> im <u>spezifischen Anwendungsfall*</u> alle Situationen automatisch bewältigen.	Das System übernimmt die Fahreraufgabe vollumfänglich, auf allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.
	Stufe 0 Driver only	Stufe 1 Assistiert	Stufe 2 Teilautomatisiert	Stufe 3 Hochautomatisiert	Stufe 4 Vollautomatisiert	Stufe 5 Fahrerlos

acatech-Projekt Neue autoMobilität

- Fahrer/Fahrerin
- Automatisierungsgrad der Funktion

* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

Abbildung 1: Stufen der Automatisierung (Quelle: eigene Darstellung)

telligenz, also die Verfahren des Maschinellen Lernens immer realistischer. Fahrerlose Fahrzeuge sind hierbei per Definition technische Systeme, die Entscheidungen und Aufgaben in unstrukturierten Umgebungen treffen können, ohne jederzeit von Menschen kontrolliert zu werden. Sie bilden den höchstmöglichen Automatisierungsgrad ab (siehe Abbildung 1).

Wenngleich Vernetzung und Automatisierung im Kontext des zukünftigen Mobilitätssystems eine entscheidende Rolle spielen, so handelt es sich um zwei zu differenzierende Konzepte. Automatisierte Fahrzeuge enthalten zahlreiche Sensoren und Aktuatoren sowie bordinterne Technologien, um unabhängig von Aspekten außerhalb des Fahrzeugs oder in dessen unmittelbarer Umgebung Daten zu sammeln, auszuwerten und darauf basierend Manöverentscheidungen zu treffen. Vernetzte Fahrzeuge sind über ein Netzwerk (Mobiles Netz, WLAN, Radiofrequenzen etc.) mit anderen Systemen – zum Beispiel mit Fahrzeugen, Infrastrukturelementen oder der Verkehrsleitzentrale – verbunden und tauschen Informationen aus, um Entscheidungen für das Fahrverhalten des Systems abzuleiten. Sie bilden somit eine Voraussetzung zur Schaffung von IVS. Automatisierung und Vernetzung sind gleichermaßen Voraussetzung für die Neue autoMobilität. Durch ihre Koppelung entsteht ein Mehrwert bei der Verlässlichkeit der Steuerungssysteme und bei der Verknüpfung mit Echtzeit-Verkehrsinformationen.

Die 40 Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft umfassende Projektgruppe „Neue autoMobilität“ hat vor diesem Hintergrund bereits 2015 ein branchen- und disziplinübergreifendes Zielbild des automatisierten Straßenverkehrs im Jahr 2030 veröffentlicht.² Im Hinblick auf die zeitliche Perspektive im Jahr 2030 wurde mit dem Zielbild eine Vision geschaffen, die Grundlage für eine weitergehende Auseinandersetzung mit dem Thema bildet. Die Umsetzung ist hingegen neben anderen Faktoren abhängig von der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologien, Umfeldwahrnehmung, den infrastrukturellen Investitionen sowie der gesellschaftlichen Akzeptanz. Das 2015 formulierte Zielbild der Projektgruppe dient als Grundlage für die vorliegende STUDIE. In ihr werden die Nutzungsszenarien konkretisiert und erweitert. Sie verdeutlichen, dass zur Erreichung des Zielbildes nicht nur die notwendigen Schritte in der Fahrzeugtechnologie, sondern auch die erforderlichen Entwicklungen in der Standardisierung, im Bereich Bildung und Qualifizierung, im vernetzten Mobilitätssystem oder bei den Rahmenbedingungen notwendig sind.

Um einen Überblick zu dem Entwicklungsstand, den Verkaufszahlen und Marktanteilen automatisierter Fahrzeuge, den F&E-Aktivitäten und dem in den maßgeblichen Ländern vorhandenen rechtlichen Rahmen zu erhalten, wird in Kapitel 2 der STUDIE ein internationaler Vergleich der führenden Akteure des automatisierten Fahrens gezogen. Damit mögliche Anwendungsfälle für den automatisierten Straßenverkehr der Zukunft ganzheitlich dargestellt werden können, beschreibt die Projektgruppe in Kapitel 3 eine Reihe von Nutzungsszenarien. Diese folgen jeweils einer bestimmten Motivation, wie der Erhöhung der Sicherheit, der Verbesserung von Lebensqualität und sozialer Teilhabe, der Ressourceneffizienz oder der Schaffung neuer Geschäftsmodelle. Die Szenarien stellen vor allem den potenziellen Nutzen der neuen Technologie aus Sicht der individuellen Beteiligten dar. Gleichzeitig referenzieren die Szenarien die wichtigsten technologischen Entwicklungen der Vernetzung und der Automatisierung.

Zielbild des automatisierten Straßenverkehrs im Jahr 2030

Der Straßenverkehr der Zukunft basiert auf einem zunehmend automatisierten sowie vernetzten, multimodalen Verkehrssystem, in dem Grenzen zwischen Personen- und Logistikverkehr sowie zwischen individueller Mobilität und dem öffentlichen Verkehrssystem zunehmend verschwimmen. Der automatisierte Straßenverkehr der Zukunft ist aber auch längerfristig ein Mischverkehr mit Fahrzeugen unterschiedlicher Automatisierungsstufen – vom Oldtimer ohne jegliches Fahrerassistenzsystem bis hin zum fahrerlosen Fahrzeug, das die Fahraufgabe vollumfänglich ausführt.

Die im Zielbild beschriebene Neue autoMobilität im Jahr 2030 steigert durch die Verknüpfung von Automatisierung und Vernetzung die Lebensqualität und soziale Teilhabe von Menschen, erhöht die Sicherheit im Verkehr und trägt dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sowie den Wirtschafts- und Beschäftigungsstandort Deutschland langfristig zu sichern.³

² | acatech 2015.

³ | acatech 2015.



Um zu beschreiben, welche Schritte unternommen und welche Maßnahmen getroffen werden müssen, damit das in den Nutzungsszenarien beschriebene Zielbild Realität werden kann, wurden in Kapitel 4.7 Aktionsfelder von der Projektgruppe ausgearbeitet:

Mensch

Um die Fahrenden sowie die Passagiere des Fahrzeugs bestmöglich zu unterstützen oder zu entlasten, bedarf es der Bewältigung von technischen Herausforderungen auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Interaktion und der Erstellung von Mensch- und Fahrermodellen, die der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen sowie automatisierten Fahrfunktionen dienen. Dieser Bereich ist eng mit dem Thema der Akzeptanz sowie der Frage des Mehrwertes aus Sicht des individuellen Konsumenten, aber auch des gesellschaftlichen Nutzens verknüpft.

Fahrzeug

Zur Erreichung des Zielbilds der Neuen autoMobilität besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf in den Bereichen Automation, Vernetzung und Umfeldwahrnehmung. Diese werden unter Berücksichtigung der grundlegenden Veränderungen hinsichtlich der Rolle der oder des Fahrenden sowie der erweiterten Systemarchitektur des Fahrzeugs betrachtet.

Sicherheit

Betriebssicherheit (Safety) und Angriffssicherheit (Security) sind als wesentliche Voraussetzungen bereits in jegliche Betrachtung der einzelnen Komponenten und Fahrfunktionen integriert. Sicherheit wird in diesem Aktionsfeld daher auf systemischer Ebene sowie hinsichtlich entsprechender Testverfahren betrachtet. Hierbei spielen auch Resilienz sicherheitskritischer Systeme sowie Fragen des Datenschutzes eine entscheidende Rolle.

Vernetztes Mobilitätssystem

In diesem Kapitel wird der Blick vom Fahrzeug und seinen Insassen auf die für den automatisierten Straßenverkehr notwendigen Infrastrukturen sowie die Intelligenten Verkehrssysteme gerichtet. Diese umfassen straßenbauliche, verkehrstechnische und informationstechnische Elemente, deren Vernetzung untereinander sowie mit Fahrzeugen enorme Potenziale für den automatisierten Straßenverkehr birgt. Das Kapitel unterstreicht die Bedeutung einer einheitlichen Datenkommunikation von Infrastrukturelementen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Technologien.

Rahmenbedingungen

Zu den wesentlichen regulatorischen Belangen zählt die Analyse von erforderlichen Schritten in den Bereichen Recht, Zulassung und Haftung – nicht nur mit Blick auf den automatisierten Straßenverkehr selbst, sondern auch den Testbetrieb zur Unterstützung einer schrittweise stattfindenden Einführung automatisierter Fahrfunktionen. Weiterhin zählen Verkehrserziehung, berufliche Bildung und arbeitsrechtliche Regelungen, aber auch die öffentliche Förderung von F&E-Vorhaben zu den betrachteten Rahmenbedingungen.

Technische Normen und Standards

Für die Realisierung der Neuen autoMobilität müssen technische Normen und Standards angepasst oder neu geschaffen werden, um konkret erforderliche Vereinheitlichungen auch unterhalb gesetzlicher Bestimmungen vornehmen zu können.

Die aus einigen Aktionsfeldern entwickelten Roadmaps zur Umsetzung der Neuen autoMobilität werden in Kapitel 5 zusammengefasst. Im Anschluss daran stellt die Projektgruppe in Kapitel 6 neun konkrete Schlussfolgerungen vor, welche in der STUDIE erarbeitet wurden. Kapitel 7 zeigt abschließend vorhandene und geplante Testfelder zum automatisierten und vernetzten Fahren in Praxisbeispielen auf.

Legende der verwendeten Icons

Die folgenden Icons führen die Leserin und den Leser durch die Studie. In den bereits vorgestellten Kategorien wie beispielsweise Mensch oder Fahrzeug befinden sich sogenannte Aktionsfelder. Diese spezifischen Themengebiete können mithilfe der Icons in Kapitel 4 sowie einigen Grafiken wiedergefunden werden.

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | 4.2.1 Mensch-Maschine-Interaktion |  | 4.6.1 Allgemeine Rechtslage und Diskussionsstand |
|  | 4.2.2 Mensch- und Fahrermodelle |  | 4.6.2 Verhaltenspflicht |
|  | 4.2.3 Öffentliche Akzeptanz |  | 4.6.3 Zulassung |
|  | 4.3.1 Automation |  | 4.6.4 Haftung |
|  | 4.3.2 Vernetzung |  | 4.6.5 Datenspeicher |
|  | 4.3.3 Umfeldwahrnehmung |  | 4.6.6 Testbetrieb und Erprobung in Living Labs |
|  | 4.4.1 Safety |  | 4.6.7 Beschäftigung und Arbeit |
|  | 4.4.2 Security |  | 4.6.8 Ausbildung und Qualifizierung |
|  | 4.4.3 Privacy und Datenschutz |  | 4.7.2 Gesamtarchitekturen im intelligenten Verkehrssystem |
|  | 4.4.4 Testverfahren |  | 4.7.3 Funktionen und Verhalten |
|  | 4.5.1 Straßenbauliche und verkehrstechnische Infrastruktur |  | 4.7.4 Kommunikation |
|  | 4.5.2 Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur |  | 4.7.5 Informations- und Datensicherheit |
|  | 4.5.3 Digitale Karten |  | 4.7.7 Zulassung und Überwachung |
|  | 4.5.4 Verkehrsmanagement | | |

Abbildung 2: Zielbild automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (Quelle: eigene Darstellung)

Eierleitung





1D

3B

4A

2C

2B

4D



2 Aktuelle Trends und internationaler Vergleich

2.1 Die digitale Transformation der Mobilität

Nach der radikalen Transformation der Medien- und Verlagsbranche, des Handels und der Finanzdienstleistungsindustrie im Zuge der zunehmenden Digitalisierung von Wertschöpfungsketten stehen nun die unterschiedlichen Akteure des Mobilitätssektors vor der Herausforderung, ihre Produkte zu digitalisieren und den wachsenden Bedürfnissen einer mehr und mehr vernetzten Gesellschaft anzupassen. Während die Bestandskundinnen und -kunden eine Weiterentwicklung der vorhandenen Produkte fordern, ist die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle essenzieller Teil einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung. Insbesondere die etablierten Hersteller und Dienstleister sind gefordert, neben den klassischen Geschäftsmodellen auch disruptive Technologien und datenbasierte Geschäftsmodelle zu entwickeln, deren Erfolgspotenzial zunächst nicht absehbar ist. Diese als Innovator's Dilemma bezeichnete Situation beschreibt die Herausforderung für Unternehmen, ihre Produkte kontinuierlich weiterzuentwickeln und parallel in die Entwicklung neuartiger Innovationen zu investieren.⁴

Nebeneinander von inkrementeller und disruptiver Entwicklung im Fahrzeugbereich

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Fahrzeugbau fokussieren bereits seit Jahren eine Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen.⁵ Entsprechend nimmt deren Anteil bei neu zugelassenen Fahrzeugen stetig zu. Vor allem deutsche Fahrzeughersteller sind weltweit führend in der Ausstattung von Fahrzeugen mit Assistenz- und Automatisierungsfunktionen.⁶

Die auf herkömmlichem Erkenntnisgewinn basierende Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen folgt einer stufenförmigen Entwicklung mit Qualitätssprüngen. Die Sprünge zwischen den Stufen sind bedingt durch Technologie- und Marktharmonisierungen, aber auch durch die große Sicherheitsrelevanz und die damit verbundene Notwendigkeit einer legislativen

Harmonisierung. Gleichzeitig findet eine disruptive Entwicklung von automatisierten Systemen statt, die durch Digitalisierung motiviert wird. Die fortschreitende Aggregation von Daten des Mobilitätssystems und neue Möglichkeiten in der Datenanalyse (unter anderem durch Techniken des Maschinellen Lernens wie zum Beispiel Deep Learning) führen zu exponentiellen Steigerungen im Erkenntnisgewinn. Firmen, die einem disruptiven Entwicklungspfad folgen, haben somit die Möglichkeit, von kürzeren Innovationszyklen zu profitieren und sich als Betreiber oder Dienstleister im Mobilitätssystem der Zukunft zu positionieren.

Im Gegensatz zur Automobilindustrie können branchenfremde Akteure insbesondere aus der Software-Industrie hier einerseits ihr Know-how in Bezug auf datenbasierte Geschäftsmodelle nutzen und andererseits kapitalintensive Innovationen schnell entwickeln – ohne ihre bestehenden Geschäftsmodelle zu gefährden. Einige Unternehmen sind bereits mit der Entwicklung von gänzlich fahrerlosen Fahrzeugen beschäftigt, die das Mobilitätsparadigma als Ganzes revolutionieren. Neue Märkte und Wertschöpfungsnetzwerke entstehen und die Rollen im Mobilitätsmarkt ändern sich fundamental (siehe Kapitel 3.5).

Das Fahrzeug als System im System

Der steigende Anteil von Software an der gesamten Wertschöpfung eines Fahrzeugs verdeutlicht die Veränderungen der Wertschöpfungsketten im Mobilitätssektor. Hardware-Komponenten werden zunehmend standardisiert und erfahren zum Teil erhebliche Kostenreduktionen. Der Wertschöpfungsanteil von Software steigt hingegen. Hierdurch verändert sich auch der sogenannte Aftermarket, der Markt also der grundsätzlich Wartung und andere Services umfasst. Zusätzliche Dienstleistungen oder Upgrades von vernetzten Funktionen werden in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Fahrfunktionen mit geringer Komplexität oder Infotainment-Angebote können dem Kunden zukünftig bedarfsgerecht und ohne großen Aufwand per Softwareupdate zur Verfügung gestellt werden. Die Möglichkeit, Fahrzeugsysteme mit Upgrades auf den aktuellen Stand zu bringen, bringt neue Herausforderungen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge mit sich, ist aber für ein sicheres Verkehrssystem ebenso essenziell (siehe Abbildung 1).

Während zunächst einige Fahrzeuge miteinander und mit der Infrastruktur kommunizieren, werden die zusätzlichen Vorteile ab einer bestimmten Durchdringung des Straßenverkehrs mit vernetzten Geräten potenziell steigen. Im automatisierten Stra-

4 | Christensen 1997.

5 | acatech 2015.

6 | Roland Berger 2016.

ßenverkehr der Zukunft muss das Fahrzeug daher als System im System verstanden werden.

Die Mobilitätswende birgt große Chancen für den Wirtschafts- und Beschäftigungsstandort Deutschland. Im Wettbewerb um automatisierte Fahrzeuge und innovative Mobilitätsdienste stehen Automobilhersteller, Zulieferer, Verkehrsunternehmen und Plattformanbieter vor der Herausforderung, sich auch im internationalen Vergleich zu beweisen.

2.2 Automatisiertes Fahren und Mobilitätsdienste im internationalen Vergleich

Im Folgenden werden die führenden Länder hinsichtlich Leitanieterschaft und Leitmarkt beschrieben. Dabei wird die Ausgangssituation, die politischen Initiativen, die rechtlichen Rahmenbedingungen und das Vorhandensein eines Ökosystems Mobilität betrachtet. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren sind aufgrund der Aktivitäten zur internationalen Harmonisierung von Richtlinien, zum Beispiel, im Rahmen der G7-Verkehrskonferenz oder der UNECE-Regelungen und insbesondere für EU-Mitgliedsstaaten ähnlich gestaltet (siehe Kapitel 4.6). Während rechtliche Rahmenbedingungen die unmittelbaren Voraussetzungen für die Umsetzung eines automatisierten Straßenverkehrs darstellen, bildet das Forschungs- und Innovationssystem die Grundlage für eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Automatisierungsfunktionen.

Neben der nachfolgend anhand der Nationalstaaten beschriebenen Aktivitäten zur Forschungs- und Infrastrukturförderung agiert im europäischen Kontext neben den Mitgliedsstaaten die Europäische Union (DG MOVE, DG GROWTH und DG CONNECT) als Treiber der Forschung und Entwicklung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen sowie des Ausbaus grenzübergreifender intelligenter Verkehrssysteme im digitalen Binnenmarkt.

So wird die Förderung von Technologien und Normen für automatisiertes Fahren aus dem Rahmenprogramm HORIZON 2020 in den nächsten zwei Jahren bei 100 Millionen Euro liegen und einen Schwerpunkt des Arbeitsprogramms bilden. Im Rahmen von HORIZON 2020 bestünde beispielsweise die Möglichkeit öffentlich-private Partnerschaften für transnationale Projekte durch ERA-NET zu fördern, um die strategische Zusammenarbeit

der nationalen Automobilhersteller, Zulieferer, Mobilitätsdienstleister und Infrastrukturbetreiber beim Thema automatisiertes und vernetztes Fahren zu unterstützen. Darüber hinaus wird der Ausbau der neun europäischen Transportkorridore durch die EU im „Connecting Europe Facility“-Programm des „Trans-European Transport Network“ (TEN-T) unterstützt, in deren Rahmen einige Projekte für IVS gefördert werden und in Zukunft weitere umfassende Umsetzungsprojekte gefördert werden könnten.

Auf strategischer Ebene hat die Europäische Kommission (EC) die „High Level Group“ GEAR 2030 einberufen, in der als Folgeprojekt des Aktionsplans CARS 2020 Vertreter der EU-Mitgliedsstaaten, der Automobil- und Zulieferindustrie sowie der EU-Gewerkschaften die Herausforderungen für die europäische Automobilindustrie thematisieren. Hier analysiert derzeit ein Projektteam die (internationale) Förderlandschaft und entwirft Empfehlungen, um die denkbare Lücken, die sich auch im globalen Vergleich zeigen können, zu schließen. Beim Roundtable von EU-Kommissar Günther Oettinger (DG CONNECT) wird zudem der Dialog der Automobil- und der Telekommunikationsindustrien zur Umsetzung und Förderung eines großskaligen Kooperationsprojektes zum vernetzten und automatisierten Fahren vorangetrieben.⁷

Die auf den folgenden Seiten dargestellte Übersicht nennt einige Initiativen zur nationalen Forschungsförderung.

7 | European Telecommunications Network Operators' Association 2016.



China



Ausgangspunkt

Bislang bieten chinesische Automobilhersteller im internationalen Vergleich kaum Fahrzeuge mit relevanten Assistenzsystemen in Serie an, wobei die Digitalisierung des Automobilsektors schneller als in Europa und den USA verläuft. Hintergrund ist unter anderem die industriepolitisch motivierte Förderung durch die chinesische Regierung.⁸ Diese hat beispielsweise das Ziel formuliert, den Anteil nationaler Firmen an Fahrzeuginformationstechnologien in China im Jahr 2020 auf 50 Prozent zu erhöhen. Weitere Ziele der Förderung von Vernetzung und Automatisierung sind die Verringerung von Unfällen, Umweltbelastungen und Verkehrsstaus (vor allem im urbanen Raum).⁹ Obwohl die teils wenig ausgebaute digitale Infrastruktur mittelfristig ein Hemmnis sein könnte, liegen die Wettbewerbsvorteile vor allem im hohen Marktvolumen und einer gegenüber technischen Innovationen aufgeschlossenen Bevölkerung.¹⁰

Initiativen

Gemeinsam treiben das Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (Ministry of Industry and Information Technology) sowie das Verkehrsministerium (Ministry of Transport) die Themen Automatisierung und Vernetzung voran, um China zukünftig stärker im Automotive-Bereich zu positionieren. Im Rahmenprogramm *Made in China 2025* sind u.a. folgende Ziele verankert: China bis 2020 zur Marktreife für vollautomatisierte Mobilitätssysteme zu bringen; den Marktanteil chinesischer Hersteller bei automatisierten Fahrfunktionen auf 30 Prozent und bei hochdefinierten Karten auf 100 Prozent zu erhöhen sowie einen Vernetzungsgrad von 50 Prozent der Fahrzeuge bis 2020 zu erreichen. Neben der Forschungsförderung, zum Beispiel in den Bereichen der Umfeldsensorik, der Kommunikation der Fahrzeuge mit der Infrastruktur (V2X-Kommunikation) oder in der kognitiven Modellierung, wurden steuerliche Vorteile für Netzbetreiber eingeführt. Außerdem sind zahlreiche Testareale geplant. So soll das Testfeld in Shanghais Jiading Bezirk bis 2020 auf eine Fläche von 100 km² ausgeweitet werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die notwendige Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen steht auf der politischen Agenda, etwa beim Ministerium für Industrie und Informationstechnologien, wird aber auch von industrienahen Organisationen wie vom SAE-China Congress and Exhibition vorangetrieben, die eine Technologie-Roadmap entwickelt haben. Da China keine relevanten völkerrechtlichen Abkommen unterzeichnet hat, sind die Hürden einer rechtlichen Anpassung gering.

Ökosystem

Ähnlich wie in den USA werden in China vermehrt branchenfremde Wettbewerber, beispielsweise Smartphone-Hersteller oder Internetkonzerne im Automobilsektor aktiv.¹¹ Neben klassischen Industrieunternehmen wie FAW Group Corporation, SAIC Motor, Chang'an Automobile, Dongfeng Automobile, Chery oder BYD positionieren sich Firmen wie Baidu, China Mobile, Tencent Driving Box und Tencent God Eye als Mobilitätsdienstleister, die ebenfalls Testfahrzeuge entwickeln. Aufgrund der hohen Markteintrittsbarrieren in China suchen ausländische Unternehmen Partnerallianzen. So testete BMW bereits 2015 in Kooperation mit Baidu selbstfahrende Fahrzeuge in Peking. Auch Uber hat sich strategisch neu aufgestellt: Die eigenständige Tochterfirma Uber China, die zu 20 Prozent Baidu gehört, wird zukünftig mit dem chinesischen Taxi-App-Marktführer und vorherigem Wettbewerber Didi Chuxing zusammenarbeiten.¹²

Japan



Ausgangspunkt

Ein höherer Anteil teilautomatisierter Fahrerassistenzsysteme japanischer Fahrzeughersteller ist derzeit hauptsächlich bei Premiummarken vorzufinden – die Verfügbarkeit in Serie ist dementsprechend auf einzelne Modelle limitiert.¹³ Grundsätzlich verbesserte Japan seine Position im internationalen Vergleich hinsichtlich des technologischen Entwicklungsstands und dem Umfang der Forschungsaktivitäten. Durch unterschiedliche Programme, regulative Erleichterungen und durch die Entwicklung von Standards strebt die japanische Regierung¹⁴ eine internationale Harmonisierung im Bereich des automatisierten Fahrens an. Das Thema besitzt eine sehr hohe Priorität in der japanischen Industrie- und Technologiepolitik. Ziel der Regierung ist es, eine Vorreiterrolle beim Absatz intelligenter Verkehrstechnologien einzunehmen.¹⁵ Die Förderung neuartiger Mobilität soll zudem die Verkehrsbelastung verringern und durch eine erhöhte Verkehrssicherheit die Zahl der Verunglückten deutlich reduzieren.¹⁶ Die Verkaufszahlen von Fahrzeugen mit relevanten Assistenzsystemen fallen in Japan bei einem zugleich niedrigen Marktanteil allerdings noch sehr gering aus.¹⁷

Initiativen

Der hohe politische Stellenwert von Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs zeigt sich durch unterschiedliche Förderprogramme: Das Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) gründete bereits 2012 die „Autopilot System Study Group“, in der sich Automobilhersteller, Universitäten und Forschungsinstitute mit notwendigen politischen Rahmenbedingungen für das automatisierte Fahren befassen. Im Rahmen des „Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program“ (SIP, 2012-2017) werden unterschiedliche Technologiebereiche gefördert, darunter auch das automatisierte Fahren, mit dem Ziel, neue Transportsysteme zu entwickeln. Im Jahr 2014 betrug die Fördersumme für das Teilprojekt circa 18 Millionen Euro¹⁸. Der Fokus der Förderung liegt insbesondere auf Forschung und Entwicklung zu Informations- und Telekommunikationsinfrastruktur sowie zur V2X-Kommunikation. Als Ergebnis wird in einem Feldversuch in Tokio eine dynamische Karte entwickelt. 2017 soll die praktische Testphase eingeleitet werden.¹⁹ Dem Aufbau einer intelligenten Infrastruktur wird seitens der japanischen Regierung eine hohe Relevanz zugeschrieben: So wurden von 2008 bis 2012 insgesamt 1.600 Verkehrstelematiksensorik-Spots mit Sendeschmittstellen im Straßenraum aufgebaut, die eine Kommunikation mit mehr als 100.00 Fahrzeugen ermöglichen. Diese Systeme bieten schon heute beispielsweise dynamische Routenführung sowie Sicherheitsunterstützung an.²⁰

Rechtliche Rahmenbedingungen

Japan hat zwar nicht das Wiener Übereinkommen, allerdings das Genfer Übereinkommen unterzeichnet, das die Beherrschungspflicht von Fahrzeugen ähnlich wie ersteres auslegt. Japan ist außerdem Vertragspartei des Fahrzeugteileübereinkommens. Darüber hinaus erkennt die Regierung bestimmte UNECE-Regelungen an²¹ – so war Japan an der Entwicklung der UNECE-Regelungen zu technischen Standards sowie zu Cybersicherheit und Datenschutz beteiligt. Zudem verfügt Japan über ein Produkthaftungsgesetz, das eine verschuldensunabhängige Haftung des Herstellers für Schäden vorsieht, die durch fehlerhafte Produkte verursacht wurde.

Ökosystem

Der Fokus der japanischen Automobilhersteller liegt zunächst im Bereich der Assistenzsysteme. Allerdings zeichnen sich auch erste Initiativen zum fahrerlosen Fahren ab: So erfolgte 2015 die Gründung von „Robot Taxi“ als Joint Venture des japanischen Internetunternehmens DeNA, des Zulieferers ZMP sowie der australischen Firma ZOOX mit dem Ziel, einen fahrerlosen Taxiservice zu entwickeln. Während der olympischen Spiele im Jahr 2020 in Tokio sollen laut Ankündigung der japanischen Regierung Probefahrten von Robot Taxi in Tokio angeboten werden.

USA

**Ausgangspunkt**

In den USA bestehen ein sehr hoher Entwicklungsstand und viel Know-how bei automatisierten Fahrzeugen. Treiber für die Entwicklung neuer Technologien sind insbesondere die Unternehmen des Silicon Valley sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen.²² Darüber hinaus trägt die umfassende staatliche F&E-Förderung zu dem bestehenden Erfolg bei – bei der Durchführung von Pilotprogrammen sind die USA weltweit führend.²³ Die im Vergleich zu Deutschland weniger restriktiven rechtlichen Rahmenbedingungen fördern diese Entwicklung zusätzlich.²⁴ Bei den Verkaufszahlen von Fahrzeugen mit hochentwickelten Fahrerassistenzsystemen liegen die USA (mit China) im weltweiten Vergleich aufgrund der absoluten Marktgröße klar vorne. Der prozentuale Marktanteil ist allerdings niedriger als in Deutschland und Schweden.²⁵ Gleiches gilt für die Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit relevanten Assistenzsystemen.

Initiativen

Treiber der Entwicklung des vernetzten und automatisierten Straßenverkehrs variieren nach Bundesstaaten. So steht etwa in Michigan die Industriepolitik im Mittelpunkt, in Kalifornien und Florida das hohe Verkehrsaufkommen und Umweltaspekte. Die US-Regierung unterstützte die Entwicklung fahrerloser Fahrzeugsysteme frühzeitig, u.a. durch den Wettbewerb unbemannter Fahrzeuge im Rahmen der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), einer Behörde des Verteidigungsministeriums. Ergänzt wird dies heute durch das Rahmenprogramm „Beyond Traffic“ des US-Verkehrsministeriums (2013-2018) sowie die nationale Entwicklungsstrategie innovativer Verkehrstechnologien für die Jahre 2015-2019. Auch die universitäre Forschung (zum Beispiel: Stanford, Virginia Tech, Massachusetts Institute of Technology (MIT), University of Pennsylvania) trägt maßgeblich zur guten Positionierung der USA bei. Das MIT-Spinoff nuTonomy bietet seit Sommer 2016 selbstfahrende Taxifahrten auf öffentlichen Straßen in Singapur an, die zu Testzwecken genutzt werden.²⁶

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die positive Ausgangsposition der USA steht z.T. im Zusammenhang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen. Die USA sind zwar weder Vertragspartei des Wiener Übereinkommens noch des Fahrzeugteileübereinkommens (FTÜ), allerdings Vertragspartei des Genfer Übereinkommens, das die Beherrschungspflicht von Fahrzeugen ähnlich auslegt wie das Wiener Übereinkommen. Vor allem die Zulassungsbehörde National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) und das Verkehrsministerium DOT unterstützen die Einführung fahrerloser Fahrzeuge. Innerhalb der Bundesstaaten nimmt Kalifornien eine Vorreiterrolle ein, veröffentlichte aber 2016 einen Gesetzesentwurf zur Regulierung von selbstfahrenden Fahrzeugen. Dieser schreibt technologische Tests durch eine unabhängige Instanz und ein Fahrertraining vor. Weiterhin verpflichtet er dazu, eine Art Datenschreiber in fahrerlose Fahrzeuge einzubauen.

Ökosystem

Das Mobilitätsökosystem in den USA hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt. Neben dem klassischen Original Equipment Manufacturer (OEM) treten immer neue Akteure aus der IT-Industrie wie Apple oder Google und viele Startups wie Lyft, Zipcar, Gett oder Uber auf, die sich als Mobilitätsdienstleister positionieren. Automatisierung gilt vor allem als Wegbereiter für disruptive Dienstleistungen. Ein Beispiel für die Kooperation der Automobil- und IT-Branche ist die „Self-Driving Coalition for Safer Streets“ von Uber, Google, Ford, Volvo und Lyft mit dem Ziel, den vernetzten und automatisierten Straßenverkehr in den USA voranzubringen. Investitionen von General Motors in die Taxi-App Lyft oder Kooperationen von Ford mit dem israelischen Startup SAIPS zeigen, dass US-amerikanische Hersteller die Entwicklung selbstfahrender Fahrzeuge konsequent vorantreiben. SAIPS ist spezialisiert auf Maschinelles Lernen und „Computer Vision“.

Deutschland

**Ausgangspunkt**

Deutschland gilt als Vorreiter bei der Entwicklung und Markteinführung von (teil-)automatisierten Fahrzeugfunktionen, welche bereits in unterschiedlichen Modellreihen deutscher Hersteller verfügbar sind. Die relevanten Forschungsfelder sind in Deutschland sehr gut abgedeckt – das ist auch ein Ergebnis der umfassenden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zum automatisierten und vernetzten Fahren an deutschen Universitäten. Ein Blick auf den Markt zeigt: Zwar ist der Marktanteil von Neufahrzeugen mit relevanten Assistenzsystemen in Deutschland sehr hoch, die Verkaufszahlen entsprechender Fahrzeuge bewegen sich allerdings im mittleren Bereich.²⁷

Initiativen

2014 rief das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) den Runden Tisch „Automatisiertes Fahren“ ins Leben, in dem branchen- und fachübergreifend gemeinsame Positionen zu Aspekten des automatisierten und vernetzten Fahrens erarbeitet werden. 2015 beschloss das BMVI die „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren“. Ziel ist es, Deutschland zum Leitanbieter für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge zu entwickeln. In diesem Rahmen wurde auch die A9 in Bayern als „digitales Testfeld Autobahn“ mit Sensorik-Anlagen ausgestattet. Darüber hinaus wurde seitens des BMVI die Förderung von insgesamt sechs „Testfeldern“ angekündigt. Deutschland treibt das Thema zudem im Rahmen der G7-Verkehrsminderkonferenz voran. Auch das Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs des BMVI wendet sich verkehrs- und gesellschaftspolitischen Fragestellungen zu. Schwerpunkte der Förderung sind Forschung und Erprobung in den Bereichen Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug, Verkehrsmanagement und Verkehrsplanung, Vernetzung und Datenmanagement sowie gesellschaftliche Aspekte. Mit dem mFUND hat das BMVI 2016 darüber hinaus einen Förderfonds für die frühe Entwicklung digitaler Innovationen im Bereich Mobilität gestartet. Bis Ende 2020 stehen Fördermittel in Höhe von 100 Millionen Euro bereit. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert im Rahmen des Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ seit 2015 Forschungs- und Entwicklungsprojekte zum automatisierten Fahren. Dabei sollen technologische Lösungen für das Fahrzeug selbst sowie für das Fahrzeug als Bestandteil vernetzter Systeme erarbeitet werden. Zudem sind Förderprogramme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) relevant, so insbesondere das Förderprogramm *IKT 2020 – Forschung für Innovation*. Außerdem fördert das BMBF Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik über das Rahmenprogramm „Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung“ (2016-2020) mit 400 Millionen Euro.

Rechtliche Rahmenbedingungen

siehe Kapitel 2.2 und 4.6.1

Ökosystem

2016 haben Audi, BMW und Daimler den digitalen Kartendienst HERE als Joint Venture übernommen. Dies kann als ein Zeichen für die Kooperationsbereitschaft der großen Automobilhersteller vor dem Hintergrund der zunehmenden Vernetzung des Verkehrs und des Markteintritts branchenfremder Akteure insbesondere aus den USA gewertet werden. Innovative Mobilitätsdienstleistungen werden in Deutschland häufig aus dem Umfeld großer Unternehmen getrieben: So sind die großen Carsharing-Dienstleister DriveNow (BMW, MINI, Sixt) und Car2Go (Daimler, Europcar) Angebote großer deutscher Automobilhersteller. Das Thema Mobilität gewinnt auch bei Start-ups zunehmend an Bedeutung (moovel, Ally, Mytaxi, Blablacar etc.).



Frankreich



Ausgangspunkt

Fahrzeuge mit (teil-)automatisierten Funktionen französischer Autohersteller sind in Serie bislang wenig verfügbar. Die französische Regierung ist allerdings bestrebt, „den Industriestandort Frankreich zu stärken und die technologischen Voraussetzungen des automatisierten Fahrens wettbewerbsstauglich zu machen. Ziel ist es, die französische Automobilindustrie zum führenden Akteur der Fahrzeugautomatisierung zu machen. Zugleich soll der Verkehrsfluss optimiert und insbesondere die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht werden.²⁸ Die absoluten Verkaufszahlen sind in Frankreich ebenso wie der Marktanteil von Fahrzeugen mit fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen noch gering.²⁹

Initiativen

Das automatisierte Fahren wird in Frankreich unter anderem im Kontext des nationalen Plans „La Nouvelle France industrielle“ (Ministère de Redressment Productif) seit 2013 vorangetrieben, der als eines von mehreren Innovationsfeldern das automatisierte Fahren adressiert. Akteure aus Wirtschaft (Automobilindustrie und digitaler Sektor), Politik und Wissenschaft erarbeiten gemeinsam eine Agenda zur Etablierung des automatisierten Fahrens. Der Plan enthält eine detaillierte Roadmap für die Etablierung automatisierter Fahrzeuge. In ihr sind Maßnahmen sowie die jeweiligen Zeithorizonte bis über das Jahr 2030 festgeschrieben.³⁰ Bis zum Jahr 2018 beinhaltet die Agenda „die Erschaffung von Teststrecken, Änderungen der Fahrschulung und Forschungs- und Entwicklungsprojekte.“³¹ Die Markteinführung wettbewerbsfähiger automatisierter Fahrzeuge soll bis 2020 erfolgen. Im Rahmen des nationalen, durch die EU geförderten Programms SCOOP@F für C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) sollen darüber hinaus 3.000 Fahrzeuge sowie 2.000 Straßen- und Autobahnkilometer mit Kommunikationstechnologie ausgestattet werden, die eine Kommunikation zwischen (automatisierten) Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur ermöglicht. Die Implementierung beginnt im Jahr 2016, insgesamt wird es in Frankreich dazu fünf Testfelder geben. Seit dem 18. August 2015 ist zudem das Gesetz „loi sur la transition énergétique“ in Kraft, das die Regierung autorisiert, innerhalb eines Jahres gesetzliche Maßnahmen zu erlassen, die automatisierte und fahrerlose Fahrzeuge zu Testzwecken auf öffentlichen Straßen zulassen. Dieses Gesetz ermöglicht das Testen automatisierter Fahrzeuge, solange ein Techniker das Fahrzeug zu jedem Zeitpunkt beaufsichtigt.

Rechtliche Rahmenbedingungen

siehe Kapitel 2.2 und 4.6.1

Ökosystem

In Frankreich lassen sich erste Aktivitäten im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens beobachten. Ein Beispiel: Der französische Zulieferer Valeo sowie das Robotics-Unternehmen Robosoft haben gemeinsam eine strategische Partnerschaft zur Konzeption von „EasyMile-Fahrzeugen“ für Fußgängerzonen oder für begrenzte Räume wie Krankenhäuser beschlossen. EasyMile ist ein französisches Unternehmen, das elektrische, selbstfahrende Transport-Shuttles für kurze Strecken herstellt.

Großbritannien



Ausgangspunkt

Großbritannien liegt sowohl hinsichtlich der Marktgröße als auch bei der Entwicklung von (teil-)automatisierten Fahrzeugen bislang im Mittelfeld. Allerdings wird das Thema der vernetzten Mobilität aus innovationspolitischen Gründen seit geraumer Zeit in einem institutionellen Rahmen diskutiert. Die Regierung betont ihren Anspruch, „zum fortschrittlichsten und wichtigsten Testfeld für automatisierte Fahrzeuge zu werden“.³² Mit der UK Association for the Promotion of Intelligent Transport Systems verfügt Großbritannien bereits über eine eingespielte und sprachfähige Plattform³³, in der sich Teilnehmer sowohl aus dem öffentlichen als auch dem privaten Sektor vernetzt haben. Auch Universitäten und Forschungseinrichtungen sind gut positioniert.³⁴ Eine mögliche Einschränkung für Großbritannien als F&E-Standort könnte der dort herrschende Linksverkehr sein.

Initiativen

In Großbritannien wird das Thema hauptsächlich unter dem Begriff „Intelligente Mobilität“ diskutiert, bei dem das ganze Spektrum intelligenter Verkehrssteuerung betrachtet wird. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei die Vereinigung United Kingdom Association for the promotion of Intelligent Transport Systems (ITS UK), die 150 Organisationen umfasst. Außerdem unterstützt die britische Regierung die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge. Im Rahmen der Regierungsbehörde Innovate UK wurden jeweils die Projekte GATEway, UK Autodrive und VENTURER gefördert, in deren Rahmen eine Reihe selbstfahrender Fahrzeuge auch in Städten getestet werden.³⁵ In den Städten Milton Keynes und Coventry werden Projekte mit autonomen Shuttle-Systemen (Pods) durchgeführt, die vom Zulieferer RDM Group entwickelt und in Fußgängerzonen eingesetzt werden. Weitere Tests werden in Bristol mit dem Testfahrzeug „Wildcat“ durch die Oxford Universität durchgeführt. Die Projekte werden über den „Intelligent Mobility Fund“ der Regierung unterstützt, der 100 Millionen Pfund umfasst. Auch das Centre for Connected and Autonomous Driving, eine Multistakeholder-Plattform mit einer Fördersumme von 200 Millionen Pfund, unterstützt F&E-Aktivitäten in diesem Bereich.

Rechtliche Rahmenbedingungen

siehe Kapitel 2.2 und 4.6.1

Ökosystem

In Großbritannien sind vor allem Zulieferer und Versicherer an der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge interessiert. So sind AXA beim Projekt VENTURER und RSA Insurance im GATEway Projekt involviert. Außerdem wird die Positionierung als Bereitsteller für Testfelder vorangetrieben. Kürzlich hat Volvo angekündigt, im Rahmen des Projektes „Drive Me UK“ 100 fahrerlose Fahrzeuge bis 2017 auf öffentlichen Straßen und mit realen Testpersonen zu erproben.³⁶

Fußnoten zum Ländervergleich

- 8 | Meissner Wübbke 2016, S.1.
- 9 | Fraunhofer IAO 2015.
- 10 | Ebd.
- 11 | Ebd.
- 12 | Alba 2016.
- 13 | Roland Berger 2016.
- 14 | Japanmarkt Online 2015.
- 15 | Fraunhofer IAO 2015.

16 | Fraunhofer IAO/Horváth&Partners 2016.

17 | Roland Berger 2016.

18 | Fraunhofer IAO 2015, S. 175.

19 | Ebd.

20 | Ebd.

21 | Von der Wirtschaftskommission für Europa (Economic Commission for Europe) der Vereinten Nationen erlassene Vorschriften für Kraftfahrzeuge.

22 | Fraunhofer IAO/Horváth&Partners 2016.

Niederlande



Ausgangspunkt

Der öffentliche Sektor spielt eine große Rolle als Treiber des automatisierten Fahrens in den Niederlanden. Die Regierung fördert das automatisierte Fahren durch unterschiedliche F&E-Programme und will die Niederlande zu einem wichtigen Testfeld für automatisierte Fahrzeuge und intelligente Transportsysteme entwickeln. Erklärtes Ziel der niederländischen Regierung ist es, eine führende Position bei der Entwicklung von Technologien für das automatisierte Fahren einzunehmen.³⁷ Die Niederlande bauen hierzu auch ihre bereits existierende Infrastruktur für automatisierten Straßenverkehr weiter aus. Auf EU-Ebene treibt die niederländische Regierung die Kooperation zwischen den Mitgliedstaaten im Bereich des automatisierten und vernetzten Verkehrs voran und setzt sich für ein gemeinsames Vorgehen ein.³⁸ So beispielsweise im Rahmen des C-ITS-Korridors von Rotterdam nach Wien oder während der EU-Ratspräsidentschaft im ersten Halbjahr 2016. Die Anwendung automatisierter Fahrfunktionen wird bereits im regulären Verkehr unter kontrollierten Bedingungen getestet.

Initiativen

Im Februar 2015 wurden erste Testfahrten mit LKWs durchgeführt. Unter Aufsicht der Typzulassungsbehörde RDW finden weitere Tests auf öffentlichen Straßen in den Niederlanden statt, zum Beispiel innerhalb der Dutch Automated Vehicle Initiative. Die niederländische Initiative für automatisierte Fahrzeuge ist eine privat-öffentliche Partnerschaft unter Führung der Technischen Universität Delft, RDW, Connekt und der Niederländischen Organisation für angewandte Wissenschaften (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research – TNO). In diesem Kontext werden unter Einbeziehung zahlreicher Akteure Umsetzungsprojekte wie beispielsweise das Projekt „WEpods“ in der Provinz Gelderland durchgeführt.

Rechtliche Rahmenbedingungen

siehe Kapitel 2.2 und 4.6.1

Im Rahmen der EU-Ratspräsidentschaft haben sich die Niederlande für die Erarbeitung der Amsterdamer Erklärung engagiert. Darin haben sich 27 EU-Verkehrsminister für die Erarbeitung von Regeln und Vorschriften sowie zur Umsetzung erforderlicher Maßnahmen für die Entwicklung selbstfahrender Fahrzeuge ausgesprochen. Die Regierung bereitet zudem einen Gesetzesentwurf vor, der Großversuche fahrerloser Fahrzeuge (Stufe 5) zulässt, d.h. Testbedingungen für Fahrzeuge ermöglicht, die keinen Fahrer mehr an Bord haben.

Ökosystem

Zahlreiche niederländische aber auch internationale Firmen kooperieren in den privat-öffentlichen Projekten miteinander. Die Entwicklung und damit auch das Ökosystem Mobilität werden aber vorrangig von öffentlicher Hand vorangetrieben.

Schweden



Ausgangspunkt

Schwedische Hersteller bieten schon heute ein breites Angebot an Fahrerassistenzfunktionen in Serienfahrzeugen an.³⁹ Im weltweiten Vergleich ist der Anteil von Fahrzeugen mit fortgeschrittenen Assistenzsystemen in Schweden am höchsten.⁴⁰ Die schwedische Regierung fördert Forschung und Entwicklung im Bereich der automatisierten und vernetzten Mobilität als Teil ihrer Industrie- und Innovationspolitik durch unterschiedliche Programme. Zugleich setzt sich die schwedische Regierung auf europäischer Ebene für gemeinsame Initiativen im Bereich des automatisierten Fahrens ein.

Initiativen

Seit 2009 fördert die Regierung das Fordonsstrategisk Forskning och Innovation (FFI), eine strategische Partnerschaft zwischen Automobilindustrie und der Regierung, anteilig mit einem jährlichen Budget von 100 Millionen Euro für F&E-Projekte. 2015 hat die Regierung zudem das Innovationsprogramm „Drive Sweden“ ins Leben gerufen, das unterschiedliche Projekte zum automatisierten und vernetzten Fahren fördert. „DriveMe – Self Driving Cars for a Sustainable Economy“ ist eines dieser Projekte und wurde von Volvo gemeinsam mit staatlichen Verkehrs- und Transportbehörden, dem Lindholmen Science Park sowie der Stadt Göteborg initiiert. Im Rahmen des groß angelegten Pilotprojekts wird Volvo ab 2017 circa 100 selbstfahrende Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen in Göteborg testen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

siehe Kapitel 2.2 und 4.6.1

Ökosystem

In Schweden werden Entwicklungen zum automatisierten und vernetzten Fahren neben verschiedenen Regierungsinitiativen maßgeblich durch OEMs angestoßen. Volvo wird künftig den Echtzeitverkehrsservice von Inrix sowie die vernetzte Navigation von HERE in Volvo-Modellen nutzen, beginnend mit dem Modell XC90. Zudem weitet das Unternehmen seine Aktivitäten im Bereich der Automatisierung im Rahmen von „DriveMe“ auf China und Großbritannien aus. Volvo und Scania sind zudem insbesondere im Bereich der Logistik und des Frachtverkehrs aktiv und kooperieren in diesem Kontext in öffentlich-privaten Projekten. So war Volvo Projektpartner des durch die EU-Kommission geförderten Forschungsprojekts SARTRE (Safe Trains for the Environment), in dem Unternehmen und wissenschaftliche Organisationen gemeinsam an Lösungen für Platooning (computergesteuerte Kolonnenfahrten) im Personenverkehr arbeiteten. Das von Scania geleitete Folgeprojekt COMPANION (Cooperative Mobility Solution for Supervised Platooning) hatte zum Ziel, ein System für die Orchestrierung automatisierter Kolonnenfahrten von Lastkraftwagen zu entwickeln. Tests mit Konvoifahrten fanden bereits im Frühjahr 2016 im Rahmen des C-ITS-Korridors unter Beteiligung der großen europäischen LKW-Hersteller auf öffentlichen Straßen statt.

23 | Gao et al. 2016.

24 | Fraunhofer IAO/Horváth&Partners 2016.

25 | Roland Berger 2016.

26 | Russell 2016.

27 | Roland Berger 2016.

28 | Fraunhofer IAO 2015.

29 | Roland Berger 2016.

30 | Europäisches Parlament 2016.

31 | Ebd.

32 | Fraunhofer 2015, S. 170.

33 | Fraunhofer 2015.

34 | Roland Berger 2016.

35 | TU Automotive 2015.

36 | BBC News 2016.

37 | Regierung der Niederlande 2016.

38 | Ebd.

39 | Roland Berger 2016.

40 | Ebd.



3 Nutzungsszenarien

Die folgenden Nutzungsszenarien beschreiben mögliche Anwendungsfälle für automatisiertes Fahren und sind im Zielbild für den automatisierten Straßenverkehr 2030 verankert. Die Nutzungsszenarien referenzieren teilweise Technologien der Vernetzung und Automatisierung, demonstrieren aber auch mögliche Geschäftsmodelle und Anwendungsfelder. Die einzelnen Geschichten verdeutlichen, welche übergreifenden Veränderungen im Mobilitätssystem zu erwarten sind. Das Zielbild und die Nutzungsszenarien eines automatisierten, vernetzten und multimodalen Verkehrssystems der Zukunft folgen der Motivation, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, Lebensqualität und sozialer Teilhabe zu erhöhen, ressourceneffiziente Mobilität zu gewährleisten und durch innovative Geschäftsmodelle zum wirtschaftlichen Wohlstand beizutragen.

3.1 Zu Fuss und mit dem Rad sicher unterwegs



Kommunikation zwischen Lkw und Fahrradfahrer

Ein Radfahrer überquert, geradeaus fahrend, bei Grün die Fahrbahn. Ein parallel fahrender vollautomatisiert rechtsabbiegender Lkw würde bei Nichtbeachtung der Vorfahrtsregeln mit dem Radfahrer kollidieren. Das fahrzeuginterne Kontrollsystem ist in der Lage, die automatische Beachtung der Vorfahrtsregeln zu garantieren. Kameras und weitere Sensorsysteme, mit denen der Lkw ausgestattet ist, detektieren den Radfahrer. Auch wenn einzelne dieser Systeme – etwa durch schwierige Umweltbedingungen – ausfallen, wird der Radfahrer zuverlässig erkannt. Das Fahrzeug verringert zunächst die eigene Geschwindigkeit und bremst schließlich, um dem Fahrradfahrer zu signalisieren, dass dieser ohne Kollisionsrisiko weiterfahren kann. Bei einer gefährlichen Annäherung seitens des Fahrradfahrers wird dieser zunächst gewarnt, bevor das Fahrzeug mit einem Brems- oder Ausweichmanöver reagiert.



Warnung vor versteckten Unfallrisiken

Ein Schulkind tritt aus einer Sichtabdeckung aus parkenden Fahrzeugen heraus überraschend auf die Fahrbahn und droht von einem automatisch fahrenden Fahrzeug durch eine späte Erkennung erfasst zu werden. Das entgegenkommende Fahrzeug auf der anderen Straßenseite hat den Jungen jedoch aufgrund des anderen Sichtwinkels frühzeitig erkannt und eine Warnung an den Gegenverkehr übermittelt. Durch die Vernetzung miteinander können fahrerlose und automatisierte Fahrzeuge die wahrscheinliche Bewegungsrichtung aller in Bewegung befindlicher Verkehrsteilnehmer prognostizieren und auf diese Weise mögliche Kollisionen frühzeitig identifizieren. An Gefahrenstellen (zum Beispiel in der Nähe von Schulen) kann eine lokal installierte Erfassung wie zum Beispiel ein Kamerasystem für zusätzliche Sicherheit sorgen, indem der Gefahrenraum überwacht und Informationen über gefährdete Verkehrsteilnehmer erfasst und übermittelt werden. Wird eine Kollisionsgefahr erkannt, werden betroffene Fahrzeuge gewarnt. Durch die frühzeitige Information können außerdem alle Fahrzeuge in der Gefahrenzone ihre Geschwindigkeit rechtzeitig drosseln und so weit wie möglich ausweichen.



Linksabbiegenderes Fahrrad erhält Vorfahrt

Eine junge Radfahlerin signalisiert dem vollautomatisierten hinter ihr fahrenden Auto ihre Absicht, links abzubiegen. Diese Intention wird sicher erkannt und Verhalten und Interaktion werden so angepasst, dass auch bei der Radfahlerin keine Unsicherheit bezüglich einer adäquaten Reaktion des Autos aufkommt. Gefährdete Verkehrsteilnehmer wie Fußgängerinnen und Fußgänger oder Radfahrende werden zusätzlich durch konstruktive Maßnahmen zur passiven Sicherheit geschützt.



3.2 Unterwegs gewonnene Zeit



Geteilte Informationen über die Straßenlage

Ein Autofahrer ist bei schlechter Witterung und Temperaturen um den Gefrierpunkt unterwegs in der Stadt. In seinem Fahrzeug registrieren verschiedene Sensoren wie Scheibenwischer und Antiblockiersystem (ABS) Nässe auf der Fahrbahn. Diese Meldung wird zusammen mit anderen Informationen zum lokalen Umfeld und dem Straßenzustand durch das Connectivity-Modul im Fahrzeug an die straßennahe Kommunikationsinfrastruktur sowie ein Traffic-Management Center übermittelt. Dieses kann daraufhin zum Beispiel Streufahrzeuge aussenden und gezielt die entsprechenden Bereiche räumen und streuen. Zusätzlich werden diese Informationen in einer lokalen dynamischen Karte aggregiert und anderen Verkehrsteilnehmenden in Echtzeit zur Verfügung gestellt. Dadurch entsteht ein kooperatives System zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, welches zur Sicherheit aller Verkehrsteilnehmender beiträgt.



Im Auto arbeiten

Yasar B. arbeitet als Chefarzt in einem Münchener Klinikum und lebt mit seiner Familie in einem Vorort im Münchner Norden. An einem typischen Arbeitstag setzt er erst die Kinder im Kindergarten und in der Schule ab, bevor er über den Stadtautobahnring zur Arbeit fährt. Unterwegs kann er bereits einige Aufgaben des Tages in Ruhe erledigen. Sobald er sich auf der Schnellstraße befindet, schaltet er sein Fahrzeug in den Automatikmodus. Mündlich teilt er der Automation sein Ziel mit und bestätigt die Wahl des Fahrmodus „Komfort“, der ihm eine weitgehend bequeme Fahrt ermöglicht. Das Lenkrad versenkt sich im Armaturenbrett. Der Fahrersitz fährt zurück. Eine Schreibtischplatte kommt aus der Mittelkonsole herausgefahren. Yasar B. loggt sich während der Fahrt in das Kliniksystem ein; der Arbeitstag beginnt. Die Pflegenden haben bereits die am Morgen erfassten Patientendaten aktualisiert. Bis zur Ankunft in der Klinik hat der Chefarzt eine halbe Stunde Zeit, die Daten zu studieren, Kommentare zu hinterlegen, Anordnungen zu treffen und gegebenenfalls im System Vergleichsdaten zur Einschätzung einzelner Fälle aufzurufen. Die Steuerung des Fahrzeuges, Streckenauswahl und Geschwindigkeitsanpassung übernimmt währenddessen vollständig der Autopilot.



Fahrerlos auf der Schnellstraße

Yasar B.s Auto nähert sich einem langsamer fahrenden Vorderfahrzeug. Dieses wird von der Umfeldwahrnehmung erfasst. Da diese gleichzeitig erkennt, dass sich auf der linken Fahrspur ein Platoon (Konvoi) deutlich schneller fahrender Fahrzeuge nähert, passt der Autopilot die Geschwindigkeit an und folgt zunächst dem Vorderfahrzeug. Erst nachdem die Fahrzeuge passiert sind und das Manöver sicher durchgeführt werden kann, leitet der Autopilot den Überholvorgang ein und wechselt auf die linke Fahrspur. Durch das Bilden von Platoons automatisiert fahrender Fahrzeuge wird der Straßenraum effizienter genutzt. Auch der Energieverbrauch der Platoon-Teilnehmenden verringert sich. Auf der Schnellstraße sind allerdings auch nicht automatisierte Fahrzeuge unterwegs, die noch von menschlichen Fahrenden gelenkt werden. Das Miteinander von automatisierten und manuell gesteuerten Fahrzeugen funktioniert dank fortschrittlicher Sensorik und kooperativer Automationsfunktionen reibungslos.



Übergabe (Transition)

Rechtzeitig vor Erreichen der Autobahnausfahrt leitet der Autopilot die Übergabe der Steuerung an Yasar B. ein. Die letzten Kilometer bis zum Zielort sind für den Modus des automatisierten Fahrens noch nicht entsprechend zertifiziert. Die standardisierten und intuitiv erfassbaren Interaktionsprinzipien, die in allen Wagentypen ähnlich funktionieren, erlauben es Yasar B., die Fahrzeugkontrolle sicher und schnell wieder zu übernehmen. Sollte er nicht in einer angemessenen Zeit auf die Übernahmeanfrage reagieren, wird das Fahrzeug die nächste Möglichkeit für ein sicheres Anhalten nutzen.



In der Stadt flüssig voran

Eva M. wohnt in Köln-Lindenthal und arbeitet als Bioingenieurin in einem Labor im Norden von Köln. Zur Arbeit fährt sie gewöhnlich mit ihrem Elektroauto. Obwohl Eva M. zur Stoßzeit unterwegs ist, kommt es lediglich auf einigen Streckenabschnitten zur Drosselung der Geschwindigkeit. Indem die Fahrzeuge sowohl untereinander als auch mit dem städtischen Verkehrsleitrechner kommunizieren, werden ihre Bewegungen koordiniert und der Verkehrsfluss deutlich optimiert. Auch auf der Umgehungsstraße geht es schnell voran: Durch automatische Tempoanpassung und die kooperativ optimierte Steuerung von Ampelphasen ergibt sich für die Hauptverkehrsachsen fast durchgehend eine grüne Welle. Straßenschäden und Unfälle werden durch die Vernetzung der Verkehrsteilnehmenden umgehend im System registriert und die Routen entsprechend angepasst.



Valet Parking

Vor der Tiefgarage ihrer Arbeitsstelle angekommen, greift Eva M. ihre Handtausche, steigt aus und aktiviert mit ihrem Smartphone „Valet Parking“. Das Auto macht sich auf den Weg in die Tiefgarage. Dabei kommuniziert es nach außen deutlich sichtbar und intuitiv verständlich gegenüber Fußgängerinnen und Fußgängern sowie anderen Autofahrenden seine Absicht. Durch Koordination mit dem Parkraummanagement kennt das Auto bereits vor dem Einfahren in die Tiefgarage seinen zugewiesenen Stellplatz und steuert ihn zielsicher an. Das Parkraummanagement sorgt gleichzeitig für eine optimale Nutzung des verfügbaren Parkraums. In der Tiefgarage können seit der Einführung von Zonen für automatisiertes Parken gut ein Drittel mehr Fahrzeuge als zu früheren Zeiten untergebracht werden. Als Eva M. gegen 16:30 Uhr das Labor verlässt, wartet ihr Wagen mit vollständig geladener Batterie im Eingangsbereich.

3.3 Neue Flexibilität im öffentlichen Verkehr



Vorteile auch für nicht automatisierte Fahrzeuge

Leon K. fährt in seinem konventionellen, nicht automatisierten Fahrzeug durch die Innenstadt auf dem Weg zum Einkaufen. Viele der anderen Fahrzeuge, die auf den Straßen unterwegs sind, fahren automatisiert. Der Effekt: der Verkehrsstrom passt sich in der Geschwindigkeit an, damit Ampelphasen optimal genutzt werden können. Häufiges Stop & Go wird vermieden. Die gleichmäßigere Fahrt steigert Komfort und Wirtschaftlichkeit. Auch Herr K. reitet mit auf der grünen Welle. Er fasst den Entschluss, sich eine der angebotenen Nachrüstlösungen für die Vernetzung mit Ampelkreuzungen anzuschaffen, um auch selber immer die optimale Geschwindigkeit angezeigt zu bekommen und womöglich auch selbst in der Planung der Ampel berücksichtigt zu werden.



Das ÖV-Shuttle als Taxi

Maria P., 72 Jahre alt und alleinstehend, wohnt in einem Randbezirk von Bielefeld. Einmal pro Monat besucht sie ihre Tochter und die drei Enkel in Hannover mit dem Zug. Die Strecke ist kurz, das Seniorenticket erschwinglich. Die Fahrt zum Bahnhof mit öffentlichen Verkehrsmitteln ist aber eher langwierig und beschwerlich – zumal mit Gepäck; ein Taxi wäre teurer als das Zugticket. Maria P. bestellt deshalb ein ÖV-Shuttle (Shuttle des öffentlichen Verkehrs). Es ist fast genauso schnell am Ziel wie ein Taxi, aber nur etwa halb so teuer, weil Leerfahrten vermieden werden und keine Fahrerin beziehungsweise kein Fahrer auf Abruf bereitstehen muss. Die virtuelle Haltestelle, in der das ÖV-Shuttle gut halten und Maria P. bequem einsteigen kann, befindet sich direkt vor ihrer Haustür.



Das ÖV-Shuttle als Mitfahrservice

Werner M. wohnt in einem kleinen Dorf in Niedersachsen. Vor seiner Pensionierung war der heute 77-Jährige als Außendienstmitarbeiter viel mit dem Auto unterwegs. Bei der letzten größeren Reparatur stand für ihn jedoch fest: Er wird sich von seinem Fahrzeug trennen. Seine Rente ist bescheiden, zudem bereitet ihm das Fahren nachts zuletzt immer mehr Mühe. Da schrittweise auch ländliche Gebiete für das fahrerlose Fahren ausgebaut werden, nutzt Werner M. nun regelmäßig ein fahrerloses ÖV-Shuttle. Außerhalb des fest definierten Fahrplanes, der den Schüler- und Berufsverkehr bedient, funktioniert es in ländlichen Gebieten wie eine Mitfahrzentrale. Werner P. gibt eine Zeitspanne an, in der er gerne eine bestimmte Strecke fahren möchte, sowie einen Höchstpreis, den er zu zahlen bereit ist. Der Terminfinder des Nahverkehrsanbieters berechnet automatisch die günstigsten Optionen und nimmt entsprechend dem voreingestellten Profil die Buchung vor. Seitdem das ÖV-Shuttle den Betrieb aufgenommen hat, gibt es im Nachbarort sogar wieder ein Kino und eine Kneipe. Die Gäste können auch ohne eigenen Pkw bequem und kostengünstig aus den umliegenden Ortschaften dort hinkommen.



ÖV-Shuttle, Stadtbahn und Fahrrad: eine gute Kombination

Anja H. ist Zahnarthelferin, 35 Jahre alt, und wohnt in einem Stuttgarter Außenbezirk. Ihre Wohnung ist gut an das Bus- und Stadtbahnnetz angebunden. Für Fahrten in einige benachbarte Viertel stehen jedoch keine praktikablen Verbindungen zur Verfügung – so auch nicht zu ihrem Arbeitsplatz. Anja H. fährt deshalb, wenn es das Wetter zulässt, mit dem Fahrrad den Hang hinunter zur Stadtbahnstation und von dort aus weiter zur Arbeit. Für den Rückweg wählt sie oft die komfortablere Variante und lässt sich mitsamt dem Fahrrad vom ÖV-Shuttle den Berg hinauf chauffieren. Mit einer App auf ihrem Smartphone kann Anja H. wählen, welche Fahrtenoption sie beim ÖV-Shuttle bevorzugt: das teurere Solo-Shuttle oder die günstigere Fahrgemeinschaft. Letztere ermöglicht, dass das Shuttle einen kleinen Umweg macht, um andere Mitfahrende zu ihrer Destination oder einem Umsteigeplatz zu bringen. Die vorab kalkulierte Fahrzeit wird jedoch auf keinen Fall überschritten. Für Anja H. ist das ÖV-Shuttle erheblich bequemer und schneller als der Bus, den sie früher oft für den Weg bis zur Stadtbahnstation genommen hatte. Gegenüber der Fahrt mit dem eigenen Auto hat es den Vorteil, dass sie am Zielort keine Parkgebühren zahlen muss, die teurer wären als die Fahrt mit dem Shuttle.

3.4 Verbesserte Versorgung



Der Supermarkt kommt nach Hause

Ernst und Hilde O., beide Ende 70, wohnen in einem 2.000-Einwohner-Ort auf dem Land. Der kleine Supermarkt, den es früher dort einmal gegeben hat, existiert schon lange nicht mehr. Die nächsten Einkaufsmöglichkeiten sind 30 Kilometer entfernt. Seit einigen Jahren besteht für das Paar die Möglichkeit, ihre Einkäufe von einem fahrerlosen Transportsystem bei Bedarf liefern zu lassen. Hierbei steht es ihnen frei, ihre Einkäufe bei konventionellen Supermärkten oder eigenständigen, naheliegenden Erzeugern zu bestellen. Weil über die gesamte Lieferkette für ausreichend Kühlung gesorgt ist und der Transport zum Endkunden nicht länger als einen halben Tag dauert, ist dies auch mit leicht verderblichen Waren möglich. Gleichzeitig bietet sich Ernst und Hilde O. auch die Möglichkeit, Sendungen wie Pakete oder Briefe an fahrerlose Transportsysteme zu übergeben. Da fahrerlose Transportsysteme rund um die Uhr im Einsatz sind, ergibt sich keine zeitliche Beschränkung für die Transportzustellung. Die Transportkette ist durch Logistikhubs strukturiert. Zwischen diesen Hubs fahren fahrerlose Lkws oder Lkw-Platoons auf fest definierten Routen, zumeist über die Autobahn. Um die Waren von dort aus auch in ländliche Regionen transportieren zu können, die nicht vollständig autonom befahrbar wären, können die Lkws bei Bedarf auch aus einer Zentrale von menschlichen Operateuren ferngesteuert dirigiert und überwacht werden.



Vom Sammelzustellpunkt auf Rädern

Andreas M., Anfang 30, arbeitet als Vertriebsleiter in einer Modefirma. Er ist viel auf Reisen und kommt abends oft erst spät aus dem Büro nach Hause. Einen Großteil seiner Einkäufe erledigt er deshalb über Online-Händler. Es gibt keinen Nachbarn, der für ihn die Pakete der verschiedenen Kurierdienste entgegennehmen könnte. Deshalb lässt Andreas M. sämtliche Sendungen an einen Sammelzustellpunkt in seinem Stadtteil liefern und veranlasst, wenn er zu Hause ist, die Zustellung via mobiles Depot. Der fahrerlose Zustelldienst kommt direkt vor sein Wohnhaus gefahren, und Andreas M. kann seine Lieferungen entgegennehmen.



Ein Vertriebsnetz für kleinere Erzeuger

Michaela und Sören K. sind Mitte 30, haben zwei Söhne im Vorschulalter und legen viel Wert auf ausgewogene Ernährung und biologisch erzeugte Produkte aus der Region. Obwohl im Berliner Umland im großen Stil Obst angebaut wird, war es früher oft schwierig, die regionalen Produkte im Laden zu erschwinglichen Preisen zu kaufen, denn an die Großhandelslieferketten waren die kleinen Erzeuger nicht angeschlossen. Seit sich im Zuge der fahrerlosen Belieferung die Zustellzeiten auf wenige Stunden verkürzt haben, kann auch Frischware zu günstigen Konditionen über das normale Versandnetz verschickt werden. Michaela und Sören K. erhalten deshalb dreimal in der Woche eine Lieferung direkt von „ihren“ Bauern im Umland – ohne dass diese für die vergleichsweise geringen Liefermengen selbst durch die Stadt fahren müssen, und ohne dass die Lebensmittel durch die geringen Stückzahlen, in denen sie gehandelt werden, unerschwinglich sind.



Bessere Anbindung für Dienstleister mit privaten Endkundinnen und -kunden

Svenja T. betreibt am Rande der Kölner Südstadt einen Kurierdienst mit einer Flotte von fahrerlosen Zustellfahrzeugen. Zu ihrer Kundschaft gehören Wäschereien, Cateringanbieter und andere Dienstleister, die personalisierte Dienste für Kundinnen und Kunden im Stadtviertel anbieten. Angesichts der steigenden Gewerbemieten im Innenstadtbereich sind einige Kleinunternehmen in den letzten Jahren ein paar Kilometer stadtauswärts gezogen. Svenjas Direktzustellung mittels fahrerloser Zulieferung erlaubt es den Dienstleistern zudem, mithilfe eines intelligenten Routenmanagements ein großes Netz von Kundinnen und Kunden schnell und vor allem preisgünstig zu beliefern. In den späten Abendstunden und nachts greift der Kurierdienst zusätzlich auf ÖV-Shuttles zurück, die in weniger frequentierten Zeiten auch Lieferdienste ausführen. Der flexible Aufbau der Fahrzeuge und ein intelligentes Managementsystem ermöglicht es zeitgleich, Personen und Güter mit dem ÖV-Shuttle zu transportieren. Bei Bedarf können auch Privatpersonen in die Transportkette eingebunden werden, um einen möglichst zeit- und kosteneffizienten Transport der Waren sicherzustellen, zum Beispiel auf wenig frequentierten Routen.

3.5 Geschäftsmodelle für den vernetzten und automatisierten Straßenverkehr

Vernetztes und automatisiertes Fahren wird – ebenso wie die vorschreitende Digitalisierung und die Einführung alternativer Antriebe – die Mobilitätsbranche grundlegend verändern. So werden sich verschiedene Plattformen bilden, die zu einem neuen Mobilitätsökosystem führen werden.⁴¹ Diese Plattformen werden bestehende Geschäftsmodelle rund um die Fortbewegung verändern und ganz neue Geschäftsansätze mit neuen Marktteilnehmenden ermöglichen. Der Verfügbarkeit und Kostenattraktivität von großen Datenmengen und ihrer wirtschaftlichen Nutzung wird dabei eine besondere Rolle zukommen. Für den Erfolg neuer Ansätze wird entscheidend sein, ob sich das entsprechende Geschäftsmodell schnell verbreiten lässt (Skalierbarkeit).

Tradierte Verhältnisse bestehender Wertschöpfungsketten, wie zum Beispiel das Verhältnis zwischen Produzent und Zulieferer, werden ersetzt durch Wertschöpfungsnetzwerke. Von besonderer Bedeutung innerhalb dieser Netzwerke sind die Plattformen, die der Kundin oder dem Kunden den einfachen Zugang zur neuen Automobilität ermöglichen. Zum einen werden Anbieter, die heute eine Beförderung von A nach B anbieten, ihre Dienstleistung in der Zukunft verbessern oder durch neue Technologien ersetzen. Zum anderen werden auch Anbieter aus anderen Branchen Beförderungsdienstleistungen oder mobilitätsnahe Zusatzleistungen offerieren, die für die Kundin oder den Kunden einen Mehrwert bieten und bei der Wahl der Fortbewegung von ausschlaggebender Bedeutung sein können. Vorstellbar wäre es, der Kundin oder dem Kunden die Möglichkeit zu bieten, während der Fortbewegung zu arbeiten oder Unterhaltungsprogramme zu genießen.

Autonomes Fahren verändert auch die klassischen Marktsegmente. Es wird weiterhin motorisierten Individualverkehr geben. Jedoch werden sich infolge autonomen Fahren der motorisierte Individualverkehr und der öffentliche Verkehr zu einem neuen, großen und sehr wettbewerbsintensiven Markt für individuelle öffentliche Verkehrsangebote verbinden. Auch die Rollen am Mobilitätsmarkt der Zukunft ändern sich: Automobilhersteller wandeln sich mehr und mehr zu Mobilitätsdienstleistern. Verkehrsunternehmen integrieren autonome Verkehrsangebote in ihr Portfolio und verbessern für die Kundinnen und Kunden die Tür-zu-Tür-Mobilität. Startups richten Plattformen ein, die die Mo-

bilität der Zukunft einfach und transparent organisieren. Auch Unternehmen, die heute Mobilität nicht als ihr Kerngeschäft ansehen, werden zu wichtigen Anbietern rund um Mobilität werden, wenn sie es schaffen, den Kundinnen und Kunden sowie den Nutzenden einen Mehrwert zu bieten. Im Wesentlichen können im Hinblick auf Geschäftsmodelle zwei Stoßrichtungen unterschieden werden: zum einen Mehrwertdienste und eine neue Form des öffentlichen Verkehrs.⁴²

Mehrwertdienste

Zumindest bei den ersten Stufen der Automatisierung wird das Fahrzeug so ausgestattet werden, dass es den Bedürfnissen der Nutzenden entspricht. Hierbei wird Software gegenüber der reinen Hardware einen immer größeren Anteil einnehmen. Dabei wird es nicht mehr nur um eine Verbesserung des Fahrens alleine gehen (infolge weiterer oder verbesserter Assistenzsysteme), sondern die Fortbewegung wird vielmehr durch weitere Angebote begleitet werden. Diese Dienste, die über eine reine Unterhaltung des Verkehrsteilnehmenden hinausgehen werden, werden mehr und mehr zu einer Differenzierung im Wettbewerb führen und in den Markt eintretenden Unternehmen große Chancen bieten. Dies gilt zumindest dann, wenn der angebotene Service für die Verkehrsteilnehmenden einen Mehrwert bietet, den die Nutzenden entweder bereits aus einer anderen Umgebung kennen oder aber im Zusammenhang mit Mobilität nachfragen werden (Parkoptimierungen oder Verkehrsmanagement). Ob und wie gewonnene Zeit der Fahrzeugführerin oder des Fahrzeugführers kommerziell genutzt werden kann, und welche Angebote zielgerichtet für die Fahrzeuginsassen einen Mehrwert bringen, dürfte eine zentrale Frage sein (siehe Nutzungsszenario 3.2). Im Einzelnen sind hier international in verschiedenen Regionen Nutzerumfragen durchgeführt worden. Die Umfragen zeigen, dass zum einen jüngere Menschen eher bereit sind, zusätzliche Angebote zu nutzen und für diese auch zu zahlen und zum anderen auch bereits bei kürzeren Strecken die Bereitschaft besteht, zusätzliche Dienste in Anspruch zu nehmen.⁴³

Konkrete Beispiele für Mehrwertdienste sind Mobile- und Virtual-Reality-Anwendungen in Fahrzeugen:

- Beim automatisierten Fahren werden Medienanwendungen eine zunehmend bedeutende Rolle spielen. Schließlich haben die Fahrgäste Zeit und Gelegenheit, Nachrichten oder einen Film zu konsumieren, sich über die Umgebung zu informieren oder Games zu spielen. Daraus ergeben sich auch weitere neue Geschäftsmodelle. Insbesondere lokalitätsbezogene Dienstleistungen (sogenannte Location-Based-Services)

41 | Zum allgemeinen Konzept der Plattformen vgl. Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015.

42 | Flügge 2016.

43 | Fraunhofer IAO/Horváth & Partners 2016.



werden sich durchsetzen: Routenplaner erhalten zahlreiche Zusatzinformationen (wie eine digitale Stadtführung, aktuelle Gastronomie- oder Einzelhandelsangebote, hyperlokale Werbung, befreundete Autofahrende sowie Fußgängerinnen und Fußgänger), die verschiedene Medienunternehmen zur Verfügung stellen.

- Geschäftsmodelle aus dem Mobile-Bereich von Smartphones und Tablets lassen sich auf das Auto übertragen: Im jeweiligen Store des Autos können Apps heruntergeladen werden; von den Automobilherstellern wird eine Provision einbehalten, bevor die App-Hersteller das Geld erhalten. Möglich sind verschiedenste Modelle: durch Werbung finanzierte Apps, kostenpflichtige Apps, aber auch Freemium-Modelle, bei denen erst für Zusatzleistungen bezahlt werden muss. Eine Synchronisation des Autos mit dem eigenen Smartphone ist vorstellbar.
- Fensterscheiben des Autos dienen künftig als Display, sodass dank Virtual Reality und Augmented Reality Filme in 360 Grad angeschaut und Zusatzinformationen direkt eingeblendet werden können. Das Auto wird damit zum Medienzentrum der Zukunft.

Neue Formen des öffentlichen Verkehrs

Im öffentlichen Verkehr werden weniger das individuelle Fahrzeug als vielmehr vernetzte und autonome Fahrzeuge im Mittelpunkt stehen, die im Bereich der Logistik und des Personenverkehrs unterwegs sind. So können Fahrzeuge, wenn sie von den originären Nutzenden nicht zur Fortbewegung benötigt werden, zu Transportzwecken rund um die Uhr eingesetzt werden und so die Mobilitätslösung kostengünstiger und umweltschonender einsetzen. In Entsprechung zu rein öffentlichen Verkehrsmitteln können einzelne Plätze zielgerichtet angeboten werden, wobei auch hier tradierte Modelle zumindest teilweise ersetzt werden dürften. Dies kann heute bereits in Teilmärkten beobachtet werden (Fernbusse versus Bahn; Uber versus Taxi) und wird sich bei größerer Verbreitung von autonomen Lösungen erheblich beschleunigen.

Durch Sharing-Modelle kann der individuelle Kunde auch weitgehend von Wartungs- und Unterhaltstätigkeiten entlastet werden; überdies wird die Notwendigkeit, am Wohnort einen Parkplatz vorzuhalten, entfallen. Sharing-Modelle mit autonomen Fahrzeugen sind deshalb bequemer und kostengünstiger als die

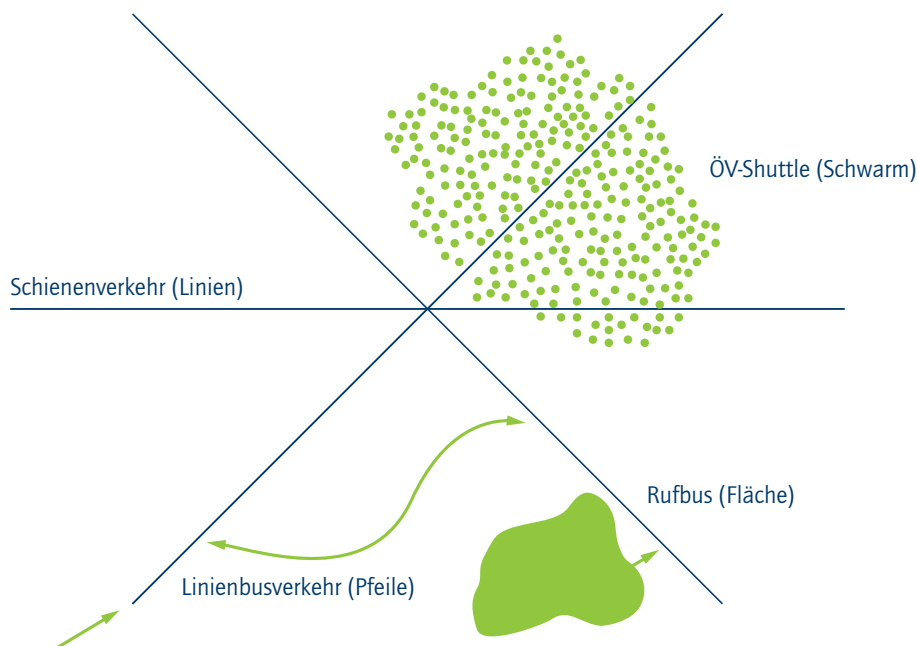


Abbildung 3: Einsatzmöglichkeiten autonomer Fahrzeuge im ÖPNV (Quelle: üstra/Röhrleef 2016)

reine Fortschreibung des Privatbesitzes von Fahrzeugen zur hauptsächlich individuellen Nutzung. Dies gilt insbesondere im städtischen Raum. Durch Sharing-Modelle kann die Anzahl von Fahrzeugen zum Erfüllen des Mobilitätsbedarfs der Bevölkerung, in Verbindung mit einem Hochleistungs-ÖPNV (S-, U- und Stadtbahnen sowie Bus-Rapid-Transit) weit geringer sein als heute. Dies würde zu einer enormen Einsparung von Parkflächen und volkswirtschaftlich gebundenem Kapital führen. Städte werden durch weniger Individualverkehr entlastet. Durch die Kombination von autonomem Fahren mit Elektromobilität wird die Emissionsbelastung spürbar zurückgehen.

Denkbar ist, dass sich mit dem wachsenden Angebot an flexiblen und kostengünstigen Transportlösungen auch neue Dienstleistungen im Umfeld der Sharing-Ökonomie etablieren werden. Nicht nur die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen, sondern auch von Gebrauchsgegenständen im Haushalt, deren Erwerb sich aufgrund hoher Anschaffungskosten oder begrenzter Aufbewahrungsmöglichkeiten in privaten Haushalten möglicherweise nicht immer anbietet, könnte durch die Automatisierung des Transports an Popularität gewinnen. Andere Marktsegmente,

die von den Möglichkeiten der neuen autoMobilität stark profitieren könnten, sind die ärztliche Versorgung und Gesundheitsdienstleistungen, insbesondere in strukturschwachen Gebieten. Durch den Einsatz von ÖV-Shuttles könnten im Fall von chronisch kranken Patienten, die regelmäßig weitere Strecken zur ärztlichen Behandlung zurücklegen müssen und nicht in der Lage sind, selbst ein Fahrzeug zu steuern, im Vergleich zur Nutzung von herkömmlichen Taxis immense Summen eingespart werden. Eine andere Möglichkeit wäre die Koppelung von automatisierten Fahrzeugen mit Angeboten der Telemedizin.

Welche Angebote sich im Ergebnis durchsetzen werden, wird nicht nur von den technischen Möglichkeiten bestimmt werden, sondern davon, wie stringent politische Ziele zur Gestaltung eines zukünftigen Mobilitätssystems verfolgt werden. Viele Kommunen erklären etwa, dass eine höhere Verkehrsdichte in den Städten aus ihrer Sicht explizit nicht anzustreben sei. Für den automatisierten Straßenverkehr könnten sich aus einer solchen Zielsetzung relevante Rahmenpunkte ableiten. Eindrucksvoll ist auch das Beispiel Schwedens. Als Leitsatz für die Gestaltung einer künftigen Verkehrspolitik hat das Land bereits 1997 mit der

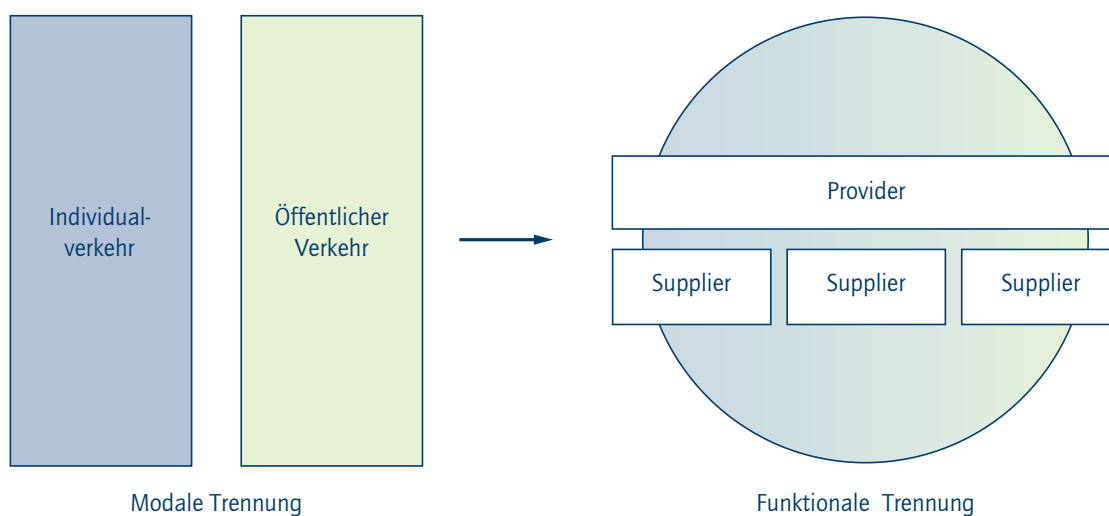


Abbildung 4: Geschäftsmodellveränderung durch vernetzten und automatisierten Straßenverkehr ÖPNV (Quelle: üstra/Röhrleef 2016)



„Vision Zero“ die Maxime verabschiedet, die Zahl der Verkehrstoten und Schwerverletzten auf null zu reduzieren. Die „Vision Zero“ hat nicht nur Einfluss auf die Ausweisung von Tempo-30-Zonen, verkehrssicher gestalteten Straßenkreuzungen und anderen straßenbaulichen Maßnahmen. Auch das automatisierte Fahren wird als wichtiger Schritt begriffen, um der „Vision Zero“ näherzukommen. Zu diesem Zweck wird Volvo in Kooperation mit dem Verkehrsministerium 2017 ein Pilotprojekt in Göteborg starten. Das Beispiel zeigt, inwiefern politische Vorgaben nicht nur als Beschränkung technologischer Entwicklungen aufzufassen sind, sondern im Gegenteil Anreize für Hersteller setzen können, Lösungen auf den Markt zu bringen, die den erklärten politischen Vorgaben entsprechen.

Aus Sicht der Kommunen ist der automatisierte Straßenverkehr zugleich Chance und Herausforderung für etablierte Modelle des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Modelle wie das ÖV-Shuttle bergen gleichzeitig die Möglichkeit, das ÖPNV-Netz in städtischen Randregionen auf effiziente Weise zu ergänzen, um beispielsweise das Risiko von Einbußen für den klassischen Linienverkehr auf rentablen Strecken zu minimieren.

Eine mögliche Antwort auf diese Herausforderung könnte darin bestehen, dass der ÖPNV insgesamt zu einem neuen Rollenverständnis findet. Anstatt öffentliche Verkehrsmittel als Alternative zum Individualverkehr anzubieten, könnte der ÖPNV auch zum Betreiber von Plattformen für ein intermodales Verkehrssystem avancieren, in dem die strikte Trennung zwischen öffentlichem und Individualverkehr aufgehoben wird (siehe Nutzungsszenario 3c). Als Plattformanbieter würde das ÖV-Unternehmen die Erstellung von Angeboten über die gesamte Kette der Verkehrsmittel hinweg übernehmen. Dazu zählen der Betrieb oder die Bereitstellung von ÖV-Shuttles, Kooperationen mit Car-sharing-Diensten und anderen Fahrtenvermittlern, die Entwicklung von attraktiven Tarifstrukturen für verkehrsmittelübergreifende Mobilitätsdienstleistungen, die Bereitstellung von App-basierten Dienstleistungen für die Verkehrsinformation und die Abrechnung sowie die Einrichtung von Pilotprojekten im Bereich des autonomen Fahrens.

Insbesondere das Platooning (Konvoi-Fahrten von automatisierten Fahrzeugen) könnte als Alternative zu den heute verwendeten Gelenkbussen verwendet werden. Anstelle einer Flotte mit verschieden großen Fahrzeugen könnte so ein Fuhrpark von Standardbussen verwendet werden, die in Zeiten hoher Nachfra-

ge zu einem Konvoi zusammengekoppelt werden. Für den Betreiber wäre dies mit deutlichen Effizienzgewinnen verbunden. Flankierende Geschäftsfelder könnten auf die Möglichkeiten des automatisierten Straßenverkehrs zugeschnittene Formen von Parkraumbewirtschaftung und Straßengebühren sein.⁴⁴ Hier und auch in anderen Bereichen (etwa notwendige Reformen des Personenbeförderungsgesetzes) läge es in der Hand der Kommunen, durch die Anpassung von rechtlichen Rahmenbedingungen erstrebenswerte Geschäftsmodelle vielleicht sogar erst zu ermöglichen.

44 | VDV et al. 2016.

Das Ökosystem Mobilität am Beispiel Israels

Israel veranschaulicht in besonderer Weise, wie sich ein digitales Ökosystem Mobilität in vielfältiger und dynamischer Weise entwickeln kann. Zahlreiche Startups setzen an den verschiedensten Leerstellen an, um digitale Lösungen und Dienstleistungen für ein mehr und mehr automatisiertes und vernetztes Verkehrssystem anzubieten. Beispielsweise bietet Mobileye u.a. ein kamerabasiertes Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) an, das als Unfallpräventionssystem fungiert und Kollisionen verringern, vermeiden und das Fahrverhalten verbessern kann. Das Unfallpräventionssystem, das Szenen in Echtzeit interpretiert und bestimmt, ob ein Eingreifen notwendig ist, wird bereits von Unternehmen mit großen Fuhrparks aber auch von OEMs genutzt. Mobileye avanciert damit vom Startup zum globalen Player. Das Thema Verkehrssicherheit steht auch bei Autotalks im Fokus. Die Firma verfügt über eine Technologie, die die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander (V2V) und mit der

Infrastruktur (V2X) ermöglicht. Durch V2V- und V2X-Kommunikation in Echtzeit werden automatisierte, digitale Warnsignale zum neuen Standard der Verkehrssicherheit. Sie bieten außerdem zahlreiche Anknüpfungsmöglichkeiten für serviceorientierte Funktionen innerhalb des digitalen Ökosystems Mobilität und inspirieren dadurch neue Geschäftsmodelle.

Im Bereich Sicherheit setzt Argus Cyber Security als Pionier der Automotive Cyber Security an. Die Technologie ermöglicht die Echtzeitinformation über die Bedrohungslage – auch von ganzen Flotten. Damit werden koordinierte Reaktionen durchführbar.

Israel liefert viele weitere Beispiele dieser Art, die illustrieren, wie sich mit neuen Digitalisierungsstufen – zum Beispiel digitalisierter Straßeninfrastruktur und kommunikationsfähigen Fahrzeugen – neue Geschäftsmodelle im Ökosystem Mobilität eröffnen und sich damit einerseits das Mobilitätssystem selbst grundlegend wandelt.⁴⁵



4 Aktionsfelder und Roadmaps

4.1 Einführung

Das Zielbild sowie die darin abgebildeten Nutzungsszenarien verdeutlichen das Potenzial von automatisierten Fahrzeugen mit Blick auf die Aspekte Verkehrssicherheit, Lebensqualität und soziale Teilhabe – insbesondere auf dem Land, Ökologie sowie Wertschöpfung. Die wirtschaftliche Bedeutung des Mobilitätssektors mit allen dazu gehörenden Industrien wird im internationalen Vergleich (siehe Kapitel 2) deutlich. Um die gute Ausgangsposition der deutschen Hersteller und Dienstleister zu nutzen und die Vision zu verwirklichen sind allerdings einige Schritte zu unternehmen. In den Themenfeldern Mensch, Fahrzeug, Sicherheit, vernetztes Mobilitätssystem, Rahmenbedingungen, Normen und Standards, Mensch-Maschine-Interaktion, Mensch- und Fahrermodelle, Öffentliche Akzeptanz, Automation, Vernetzung, Umfeldwahrnehmung, Safety, Security, Privacy und Datenschutz, Testverfahren, Straßenbauliche- und verkehrstechnische Infrastruktur, Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur, Digitale Karten, Verkehrsmanagement, Gesamtarchitekturen im IVS, Funktionen und Verhalten, Kommunikation, Informations- und Datensicherheit, Entwicklung, Zulassung und Überwachung, Allgemeine Rechtslage, Verhaltenspflicht, Zulassung, Haftung, Datenspeicher, Testbetrieb und Erprobung in Living Labs, Beschäftigung und Arbeit, Ausbildung und Qualifizierung, Finanzierung

gen sowie Technische Normen und Standards, wird der Handlungsbedarf analysiert und für jedes Aktionsfeld spezifiziert (siehe Abbildung 6). So wird beispielsweise im Themenfeld Mensch genauer betrachtet, welche einzelnen Schritte im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion oder in Hinblick auf Mensch- und Fahrermodelle notwendig sind. Die Ergebnisse werden eingangs anhand von Roadmaps visualisiert. Dadurch werden Abhängigkeiten einzelner Entwicklungen deutlich sodass die Identifikation der kritischen Punkte in den Aktionsfeldern möglich wird. Übergeordnete Themen wie gesellschaftliche Akzeptanz werden hierbei zwar betrachtet, aber aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten zur Vorhersage nicht als Roadmap dargestellt. In der zeitlichen Einordnung der notwendigen Schritte wurde zur Erstellung der Roadmaps auf die Nutzungsszenarien zurückgegriffen. Diese verweisen auf einen möglichen Zeithorizont, wobei die tatsächliche Entwicklung und Umsetzung stets in Abhängigkeit zu anderen Aktionsfeldern betrachtet werden müssen.

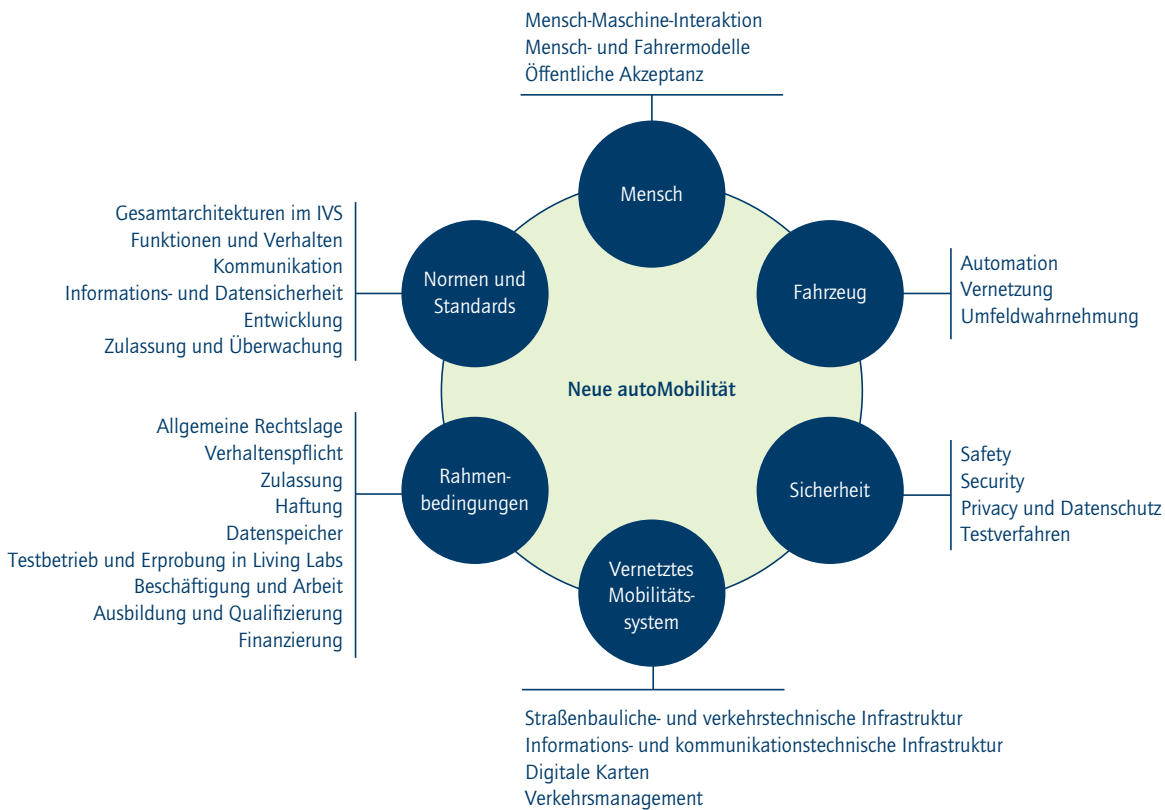


Abbildung 5: Kategorien und Aktionsfelder des Projekts Neue autoMobilität (Quelle: eigene Darstellung)

Um die Anforderungen für den automatisierten Straßenverkehr zu identifizieren, ist daher eine Betrachtung der Gesamtarchitektur des Verkehrssystems notwendig. Das Fahrzeug oder der spezifische Verkehrsträger agiert weiterhin als eigenständiges System, ist darüber hinaus aber Teil eines vernetzten Mobilitätssystems. Die Datenkommunikation unterschiedlicher Komponenten und Geräte (von Sensoren und Steuerungselementen im Fahrzeug über digital anschlussfähige Lichtsignale bis hin zu digitalen Plattformen für intelligente Verkehrsplanung) ist dafür eine Voraussetzung. Kritische Funktionen und Systemkomponenten müssen dabei den Anforderungen eines sicheren Straßenverkehrs entsprechen. Durch parallel eingesetzte Technologien wird ein resilientes Mobilitätssystem erzielt (siehe Kapitel 4.4).

4.1.1 Architekturveränderung im vernetzten Mobilitätssystem

Die Gesamtarchitektur der Mobilität der Zukunft wird sich aus Systemen und Subsystemen zusammensetzen, die sich von der vernetzten Verkehrsführung über einzelne Dienste und Infrastrukturelemente bis hin zum automatisierten Kraftwagen erstrecken. Im Vergleich zum heutigen Status quo wird diese Gesamtarchitektur von durchgreifenden Veränderungen im Zusammenspiel der einzelnen Komponenten charakterisiert sein. Dies gilt insbesondere in Bezug auf Kommunikationstechnologien, Datenschutz und Datensicherheit sowie Fahrzeugelektronik. Ermöglicht wird dieses Zusammenspiel durch den übergreifenden Wandel von fahrzeugzentralisierten Architekturansätzen hin zu verkehrszentralisierten Ansätzen. Diesem Wandel wurde mit der Richtlinie zur Schaffung von IVS (siehe Kapitel 4.7.2) der Weg geebnet.

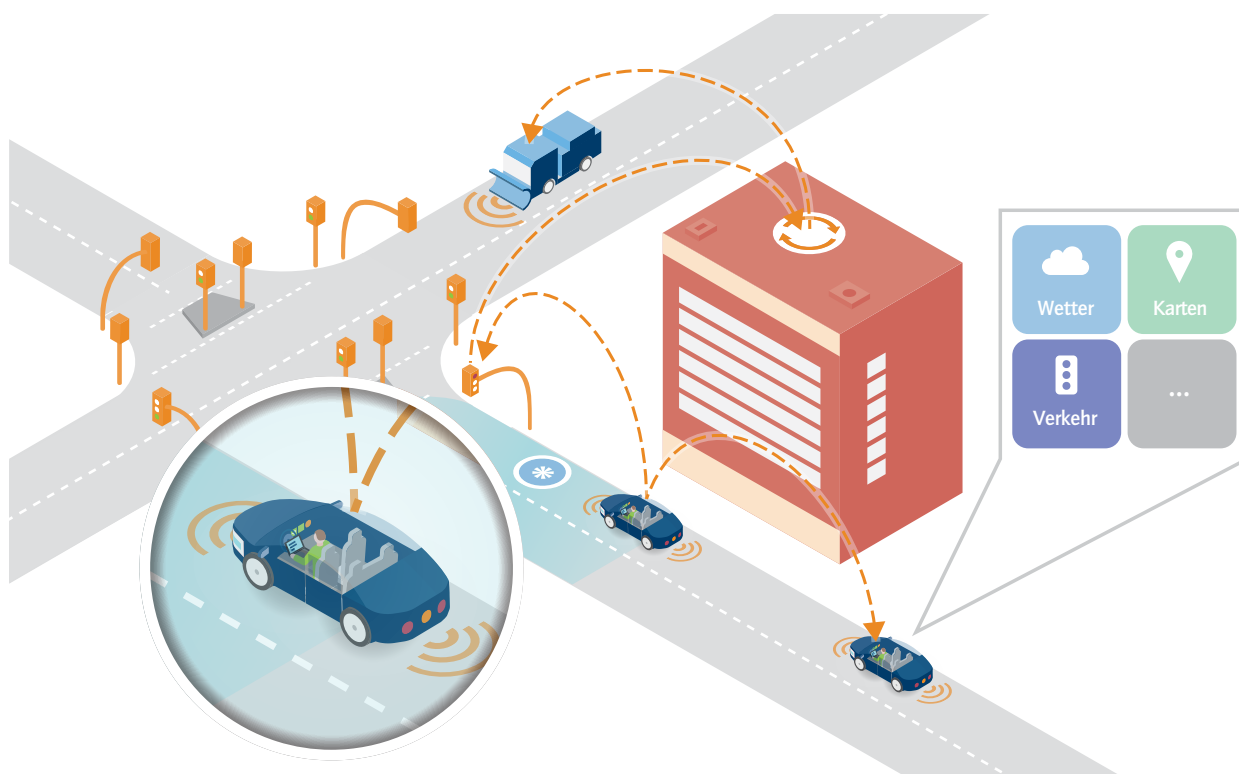


Abbildung 6: Gesamtarchitektur des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs (Quelle: eigene Darstellung)

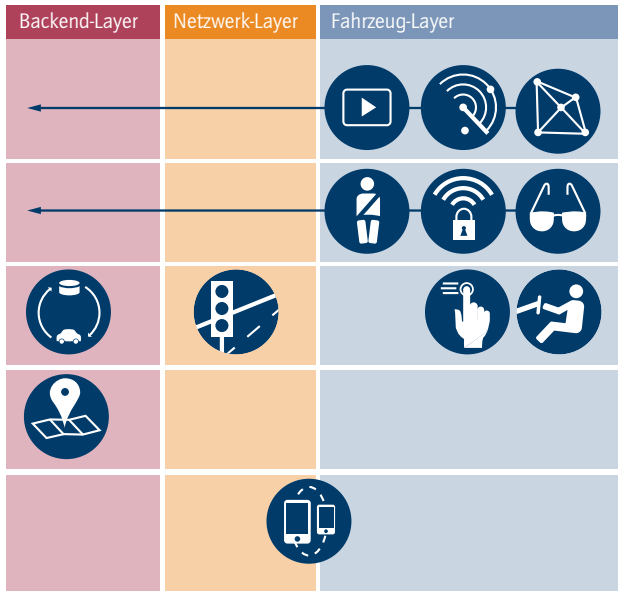


Abbildung 7: Komponenten innerhalb der Gesamtarchitektur (Quelle: eigene Darstellung)

Neue Architekturen für Subsysteme werden insbesondere Kommunikationsprotokolle (siehe Kapitel 4.5.2) und Sicherungsverfahren (siehe Kapitel 4.4.2) notwendig sein, um die Datenintegrität, die sichere Datenherkunft (beispielsweise über akkreditierte Instanzen), die Verfügbarkeit, Zustellbarkeit und minimale Latenzen sicherzustellen. Der Ansatz des „kollaborativen Lernens“ zur sukzessiven Verbesserung der Automationsfunktion benötigt zur Verifikation und Validierung ebenfalls eine architektonisch gestaltete Plattform, die von einer akkreditierten Instanz betrieben wird. Ferner wird auch die technische Umsetzung von europäischen Datenschutzrichtlinien (siehe Kapitel 4.4.3) von Bedeutung für die Subsystemarchitektur haben. Fahrzeugseitig werden offene Elektrik/Elektronikarchitekturen benötigt, die eine dynamische Einbindung neuer Backend-Dienste und deren Integration in die bestehenden Kernprozesse der Fahrzeugautomation (Wahrnehmung, Kognition und Aktuatorik) ermöglichen (siehe Kapitel 4.3). Auch hierbei handelt es sich um eine eigene Subsystemarchitektur.

4.1.2 Mischverkehr 2030: Voraussetzung und Herausforderung für den automatisierten Straßenverkehr

Die Vision der Neuen autoMobilität basiert auf einer Weiterentwicklung des vorhandenen Verkehrssystems. Das entwickelte Zielbild im Jahr 2030 beschreibt den automatisierten Straßenverkehr der Zukunft als Mischverkehr mit Fahrzeugen unterschiedlicher Automatisierungsstufen. Einerseits ist dies die Grundvoraussetzung für ein inklusives Verkehrssystem, andererseits Herausforderung. Denn: Nicht automatisierte, automatisierte sowie fahrerlose Fahrzeuge bewegen sich im Mischverkehr regelkonform und gleichberechtigt. Neben der Interaktion von automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen spielt auch der Umgang mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden wie Fußgängerinnen und Fußgängern sowie Fahrradfahren den eine wichtige Rolle, insbesondere in urbanen Räumen. Entsprechend ergeben sich insbesondere Herausforderungen in Bezug auf Situationen der Mensch-Maschine-Interaktion, in denen die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden mit Mimik und Gestik unterstützt wird, zum Beispiel beim gleichzeitigen Eintreffen an einer gleichberechtigten Kreuzung.

Zukünftige technische Systeme müssen unterstützende Signale sowohl erkennen und interpretieren als auch selbst entsprechende Informationen aussenden können. Grundsätzlich gilt, dass die Systeme dabei die Leistungsfähigkeit des Menschen abbilden müssen. In niedrigeren Stufen der Automatisierung (teil- und hochautomatisiertes Fahren) wird die Möglichkeit bestehen, dass das System in einem solchen Fall zurück an den Fahrenden übergibt oder die Fahraufgabe muss bei einem System von Stufe 3 der Automatisierung an die Fahrenden übertragen werden. Beim vollautomatisierten und fahrerlosen Fahren muss die Situationserkennung des Systems in auflösbaren Situationen zuverlässig sein. Denkbar ist auch die Einführung vorab definierter Regeln (wie „first come – first serve“) oder die Steuerung durch ein intelligentes Verkehrsmanagement, die es Fahrzeugen mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden ermöglicht, kooperativ zu fahren. In aktuellen Forschungsprojekten (zum Beispiel D3Cos, UR:BAN) werden bereits kooperative Fahrfunktionen erforscht. Hierzu zählen kooperative Fahrmanöver, die beispielsweise Lücken zum Einfädeln öffnen. Es ist heute jedoch nicht hinreichend untersucht, wie sich eher defensiv verhaltende Automationsfunktionen im Zusammenspiel mit manuell gefahrenen Fahrzeugen verhalten. Auch das Zusammenwirken von Fahrzeugen mit unterschiedlich hohem Automatisierungsgrad muss diesbezüglich untersucht werden.

46 | Projektansätze, die generische Interaktionsstrategien für verschiedene Assistenz- und Automatisierungsfunktionen entwickeln, finden sich zum Beispiel in Petermann-Stock/Rhede 2013; Winner et al. 2015; Dzienus et al. 2015.

4.2 Mensch

Der Bereich Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) zeigt zwei wesentliche Herausforderungen. Zum einen sind dies Situationen, in denen ein Wechsel zwischen den Automationsstufen stattfindet, zum Beispiel wenn die Führung des Fahrzeugs an die menschliche Fahrerin oder den menschlichen Fahrer zurückgegeben wird. Dies kann in Gefahrensituationen, also in einem spezifischen Anwendungsfall vorkommen, in denen die Fahrerin oder der Fahrer innerhalb kurzer Zeit die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen muss. Einen weiteren Bereich, der insbesondere im Mischverkehr zum Tragen kommt, machen Interaktionskonzepte mit anderen Verkehrsteilnehmenden wie nicht automatisierten Autos, Fahrradfahrenden sowie Fußgängerinnen und Fußgängern aus. Ziel dieser Interaktionskonzepte muss es sein, dass sich das Fahrzeug auf vorhersehbare Weise verhält und mit anderen Verkehrsteilnehmenden kooperiert. Hier besteht auch ein enger Zusammenhang mit der Automation und Umfeldwahrnehmung. Ein weiteres Thema ist die Gestaltung und die Nutzung der Technologie des automatisierten Straßenverkehrs durch den Menschen. Studien und Umfragen zur Akzeptanz des automatisierten beziehungsweise autonomen Fahrens in Deutschland zeichnen ein ambivalentes Bild. Als mögliche Vorteile werden insbesondere mehr Mobilität im Alter, Komfort und mehr Sicherheit im Straßenverkehr wahrgenommen. Zugleich stehen viele Personen der Kontrollübergabe an das Fahrzeug oder einem Ausfall der Technik skeptisch gegenüber.

4.2.1 Mensch-Maschine-Interaktion



Die Zusammenführung von bestehenden Interaktionskonzepten für Fahrerassistenzsysteme mit neuartigen Entwicklungen hin zu einer vollständigen Automatisierung von Fahrzeugfunktionen stellt eine der wichtigsten Herausforderungen in Bereich der Mensch-Maschine Interaktion dar.⁴⁶ Forschung und Entwicklung der Interaktionsgestaltung zwischen Mensch und Maschine im Fahrzeug befassen sich hinsichtlich höherer Automatisierungsstufen aktuell mit folgenden Themenfeldern:

Wechsel zwischen verschiedenen Automationsstufen (Transitionen)

In Fahrzeugen, die verschiedene Automationsstufen anbieten, treten Transitionen zwischen diesen Automationsstufen auf. Diese können entweder durch die Fahrenden oder die Fahrzeugautomation initiiert sein. Situationen, in denen durch eine Transition

ein Kontrollvakuum (weder Fahrende noch Fahrzeugautomation führen das Fahrzeug) oder ein Kontrollüberschuss (sowohl die Fahrende als auch Fahrzeugautomation greifen gleichzeitig in die Fahrzeugführung ein) entsteht, müssen vermieden werden. Zu diesem Zweck werden multimodale Ansätze erprobt, die einen Schwerpunkt auf visuelle Darstellungen der Informationen legen und gegebenenfalls durch haptische oder akustische Rückmeldungen angereichert sind.⁴⁷

Anpassung der Mensch-Maschine-Interaktion an Fahrertypen und -zustand

Bei der Interaktionsgestaltung wird aktuell an einer Anpassung der Assistenz- und Automationsfunktionen an den Fahrertyp gearbeitet, wobei vor allem Alter, Fahrerfahrung, emotionaler Status und Fahrstil Berücksichtigung finden.⁴⁸ Darüber hinaus muss der aktuelle Zustand der Fahrende (wie emotionaler Zustand oder Ermüdungsgrad) berücksichtigt werden, um eine zeitlich und in ihrer Dringlichkeit angepasste Interaktion zu gestalten.

Integration von mobilen Endgeräten

Durch die zunehmende Automatisierung werden die Fahrenden künftig zeitweise von der Fahraufgabe entbunden. Das ermöglicht ihnen die Beschäftigung mit anderen Aufgaben, die sie möglicherweise auf ihren persönlichen Mobilgeräten durchführen. Die intelligente Integration dieser Mobilgeräte in eine Gesamtlösung für das Interaktionskonzept ist daher eine wichtige Herausforderung, die in Zukunft weiteren Raum einnehmen wird.⁴⁹

Kooperation mit anderen Verkehrsteilnehmenden

Zukünftig wird der Blick auch auf die Gestaltung einer kooperativen Interaktion des automatisierten Fahrzeuges mit nicht automatisierten und nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden gerichtet sein. Erste Arbeiten zur Erforschung der Effekte von Automation auf andere Verkehrsteilnehmende liegen bereits vor.⁵⁰

4.2.2 Mensch- und Fahrermodelle



Es existieren zwei unterschiedliche Strömungen in der Fahrermodellierung: Bei stärker psychologisch orientierten Modellen stellen Fahrermodelle ein Hilfsmittel dar, um Fahrverhalten menschlicher Fahrer besser erklären, verstehen und vorhersagen zu können.⁵¹ Modelle, die eher in den Ingenieurwissenschaften entwickelt werden, streben dagegen an, möglichst gute Vorhersagen

47 | Vgl. Flemisch et al. 2012; vgl. auch Petermann-Stock/Rhede 2013; Winner et al. 2015; Dzienus et al. 2015.

48 | Griesche et al. 2016; Körber et al. 2016; Unni et al. 2015.

49 | Lapoehn et al. 2015.

50 | Stemmler et al. 2015; Gouy et al. 2014; Preuk et al. 2016; siehe auch Kapitel 4.1.2.

51 | Bellet et al. 2012; Salvucci 2006.



in Bezug auf das Fahrerverhalten zu machen, ungeachtet der konkreten Strukturen, Mechanismen oder Prozesse, die bei der menschlichen Fahrerin oder beim menschlichen Fahrer zu diesem Verhalten führen.⁵² Dabei werden sowohl algorithmische Verfahren als auch rein statistische Ansätze (Klassifikatoren wie das Bayessche Netz) verwendet.⁵³ Fahrermodelle kommen in zwei wesentlichen Szenarien zum Einsatz. Entweder sie werden während der Entwicklung von Assistenzsystemen genutzt⁵⁴ oder sie sind Teil einer Assistenz. Bereits heute sind Fahrermodelle in vielen Serienfahrzeugen enthalten. Ein Beispiel dafür ist der Notbremsassistent.⁵⁵ Der Einsatz von Fahrermodellen während der Assistenzentwicklung ist und war Thema vieler europäischer Forschungsprojekte (zum Beispiel ISI-PADAS, D3CoS und HoliDes). Die Erfahrung aus diesen Projekten zeigt, dass Fahrermodelle keinesfalls empirische Studien ersetzen können. Jedoch können sie eine hervorragende Ergänzung und ein wichtiges Hilfsmittel darstellen.

Ein aktives Forschungsfeld sind Modelle, die Informationen über den Fahrerrzustand bereitstellen, etwa über starke Emotionen, Müdigkeit oder eine hohe Arbeitsbelastung.⁵⁶ Ein wesentlicher Baustein für die Auslegung von Assistenz und Automation ist hierbei die Modellierung der Fahrerleistung in Form simulationsfähiger, verhaltensgenerierender Modelle, die menschliches Verhalten auf den verschiedenen Ebenen der Fahraufgabe (operative Ebene: Fahrzeugkontrolle, taktische Ebene: Manöverauswahl, strategische Ebene: Navigation) abbilden. Um umfassende Fahrermodelle erstellen zu können, muss zudem das Verhalten von Fußgängerinnen und Fußgängern, Fahrradfahrenden sowie motorisierten, nicht automatisierten Fahrzeugen (Mischverkehr) anhand von physischen und psychologischen Modellen präzifizierbar sein.

Anhand der Verhaltensvorhersagen kann für nahe Zeitschritte innerhalb einer Szene der Handlungsspielraum der Einzelobjekte im Gesamtgeschehen festgestellt und somit eine kollisionsfreie und verkehrsregulatorisch korrekte Handlung durch die Fahrerin oder den Fahrer abgeleitet werden. Diese Verhaltensmodelle können sowohl für automatisierte Fahrzeuge als auch in Verkehrssimulationen genutzt werden, um verschiedene Automationsstufen und Verkehrsteilnehmende kombinatorisch abzubilden und somit eine umfassende Testabdeckung zu erreichen.

4.2.3 Öffentliche Akzeptanz



Der Erfolg des automatisierten Verkehrs hängt nicht nur von technischen Lösungen oder nutzerfreundlichen Produkten ab, sondern auch von der grundsätzlichen Akzeptanz der Technologie und den damit zusammenhängenden Entwicklungen in der Gesellschaft. Akzeptanz ist eine direkte Folge vom erkennbaren individuellen oder gesellschaftlichen Nutzen einer Technologie. Dieser Nutzen wird sich zum einen in den Dienstleistungen und Produkten manifestieren, welche die Neue autoMobilität ermöglicht (siehe Kapitel 3.5). Zum anderen wird die gesellschaftliche Wahrnehmung des Nutzens von automatisiertem Fahren auch davon abhängen, inwiefern Bürgerinnen und Bürger sowie Konsumierende sich einen persönlichen Eindruck von der Technologie machen können. Hier sind unter anderem die Kommunen gefragt, durch die Einrichtung von Living Labs an der Schnittstelle von Technologie, Markt und Gesellschaft die Sichtbarkeit des automatisierten Fahrens im öffentlichen Raum zu gewährleisten und damit die Grundlage für einen breiten gesellschaftlichen Diskurs zu legen. Living Labs bieten zudem die Möglichkeit, zukünftige Nutzende im Sinne der „Co-Creation“ an der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen teilhaben zu lassen. Gerade in der Anfangsphase der Einführung einer neuen Technologie etablieren sich Verhaltensroutinen, die für den weiteren Erfolg entscheidend sein können. So wurde in vielen Pilotprojekten beobachtet, dass automatisierte Fahrzeuge von Passanten auf der Straße immer wieder gezielt zum Halten gezwungen wurden. Auch wenn dies in spielerischer Absicht geschieht (um auszutesten, wie zuverlässig das automatisierte Fahrzeug das Hindernis erkennt und abbremst): Ob der Betreiber einer Testanlage dieses Problem erfolgreich meistert, kann durchaus entscheidend dafür sein, wie und ob weitere Projekte zustande kommen.

Ein anderes Feld, auf welchem sich die Frage der Akzeptanz entscheiden wird, ist das der öffentlichen Debatten. Öffentliche Debatten sind ein wesentliches Element des Erkenntnisgewinns und stellen einen elementaren Bestandteil der Kommunikation zu einer neuen Technologie dar.⁵⁷ Der Kommunikation zum automatisierten Verkehr als neuer Technologie durch Wissenschaft, Politik und Wirtschaft kommt dementsprechend eine große Bedeutung zu. Zugleich darf eine solche Kommunikation nicht als „Ad-hoc-Instrument“ zur Akzeptanzbeschaffung verstanden werden. Eine offene Kommunikation zum automatisierten Fahren sollte in erster Linie zur Mündigkeit von Bürgern und Konsumenten beitragen.⁵⁸

52 | Gipps 1981.

53 | Vgl. zum Beispiel Eilers et al. 2013.

54 | Deml/Neumann 2008.

55 | Neumerkel et al. 2002.

56 | Unni et al. 2015.

57 | acatech 2012; Grunwald 2015.

58 | Vgl. acatech 2011; acatech 2013.

59 | Fraedrich/Lenz 2015a, S. 637ff.

60 | Deceton 2016; ACV 2015; TÜV Süd 2015; Woisetschläger 2015; Fraedrich/Lenz 2015a.

Mittlerweile untersuchen zahlreiche Umfragen und Studien verschiedener Organisationen und Unternehmen die Akzeptanz für den automatisierten Verkehr in der deutschen Bevölkerung und weltweit. Dabei stellt sich – wie auch bei anderen Technikdebatten – zum einen das Problem, dass Akzeptanz nicht eindeutig messbar ist. Zum anderen mangelt es den Befragten häufig an Kenntnissen zu automatisierten Fahrzeugen.⁵⁹ Dementsprechend lassen die verschiedenen Studien und Umfragen teils unterschiedliche Schlüsse zu: Während einige Umfragen den Deutschen eine positive Einstellung zum automatisierten Fahren attestieren, vermitteln andere Studien den Eindruck, dass die Deutschen dem automatisierten Fahren eher skeptisch gegenüberstehen.⁶⁰

Bestehende Studien lassen zumindest erste Rückschlüsse darüber zu, welche Vorteile sich die deutschen Bürgerinnen und Bürger vom automatisierten Fahren versprechen und welche Bedenken gegenüber der Technologie bestehen. Dabei ergibt sich meist eine ambivalente Bewertung. So zeigt eine repräsentative Akzeptanzstudie des ACV (Automobilclub Verkehr) aus dem Jahr 2015, dass sich bereits ein Drittel der Deutschen vorstellen kann, in einem autonom fahrenden Auto zu sitzen – 34 Prozent der Befragten gehen zudem davon aus, dass selbstständig fahrende Autos sicherer und besser fahren als Menschen. Als Vorteil des autonomen Fahrens wird dabei insbesondere die Möglichkeit der Mobilität im Alter wahrgenommen. Weitere Vorteile sind aus Sicht der Befragten insbesondere „weniger Stress beim Autofahren“, die Vermeidung von Unfällen im Straßenverkehr sowie eine Erleichterung bei Fahrten in fremden Städten oder bei langen Urlaubsfahrten.⁶¹

Grundsätzlich, so die Befunde einer weiteren Studie, seien die Befragten zudem eher bereit, sich assistieren zu lassen, als die komplette Fahrzeugsteuerung an das Fahrzeug abzugeben.⁶² Diese Erkenntnis wird allerdings nicht von allen Studien geteilt. Einige deuten darauf hin, dass automatisiertes Fahren auch als Gesamtkonzept wahrgenommen werden kann, sich die Nutzungsbereitschaft also nicht zwangsläufig mit einer höheren Automatisierungsstufe verringert.⁶³

Konkrete Bedenken der Deutschen gegenüber autonomen Fahrzeugen betreffen insbesondere die Angst vor Technikausfällen, also vor mangelnder Zuverlässigkeit, und die Sorge vor dem Kontrollverlust über das eigene Auto.⁶⁴ Dabei ist die Angst gegenüber dem automatisierten Fahren nicht alleine auf technologische Aspekte beschränkt. So verdeutlichen Fraedrich und Lenz,

dass beispielsweise der Verlust von persönlicher Freiheit und der Kontrolle der eigenen Lebenswelt ein relevanter Aspekt in der Bewertung des autonomen Fahrens sein kann.⁶⁵ Auch mögliche gesellschaftliche Auswirkungen wie die Sorge um den Verlust von Arbeitsplätzen können für die Bewertung relevant werden.

Als weiteres übergeordnetes Thema kommt der Datenhoheit eine große Bedeutung zu. Ein Großteil der Befragten der ACV-Studie beispielsweise sieht die für den vernetzten Verkehr erforderliche Datenerhebung skeptisch und sorgt sich um die eigene Anonymität.⁶⁶ Neben rechtlichen Bedenken, zum Beispiel Haftungsfragen, spielt für die Befragten auch der Verlust von Fahrspaß eine größere Rolle in der Bewertung des autonomen Fahrens.⁶⁷ Ein internationaler Vergleich macht außerdem deutlich, dass die Akzeptanz des automatisierten Straßenverkehrs in einzelnen Ländern sehr unterschiedlich ausfällt. Verschiedene Studien zeigen, dass eine besondere Offenheit gegenüber dem automatisierten und vernetzten Straßenverkehr im asiatischen Raum (mit Ausnahme Japans) beziehungsweise in sogenannten „Emerging Markets“ wie China oder Indien vorzufinden ist.⁶⁸ Länderübergreifend wünschen sich die Befragten, dass traditionelle Autobauer bei der Entwicklung selbstfahrender Autos eine führende Rolle einnehmen – insbesondere in Deutschland.

Im Kontext der Akzeptanz des automatisierten Fahrens spielen letztlich auch ethische Aspekte eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 4.6.1). Fahrzeuge werden zwar auch in Zukunft nicht „eigenen Gesetzen“ folgen, sondern den Vorgaben der Entwickler – aber eben diese gilt es zu diskutieren. Zwar werden Automatisierung und Vernetzung den Straßenverkehr deutlich sicherer machen, doch wird ein Verkehrssystem ohne Unfälle eine Utopie bleiben. Welcher Grad der Erhöhung an Verkehrssicherheit nötig ist, damit die Automatisierung als zulässig anerkannt wird, ist beispielsweise ein Aspekt, der nicht nur unter Verweis auf rechtliche Rahmenbedingungen beantwortet werden kann, sondern maßgeblich vom gesellschaftlichen Willen und dem Diskurs rund um das automatisierte Fahren abhängt.⁶⁹ Die Auseinandersetzung mit dem Thema Ethik und autonome Systeme reicht dabei weit über die Mobilität hinaus und wird umfassender im Kontext der Roboterethik (Algorithmic Decision Making) behandelt. Auch wenn die automatisierten Funktionen am Fahrzeug heute noch nicht in der Lage sind, Entscheidungen in komplexen Unfallsituationen zu treffen, so ist bereits heute eine gesellschaftliche Debatte über die Rolle von technischen Systemen und Verantwortung anzustoßen (siehe Kapitel 4.6.1).

61 | ACV 2015; TÜV Süd 2015.

62 | Fraedrich et al. 2016.

63 | Hohenberger et al. 2016.

64 | ACV 2015; Fraedrich et al. 2016.

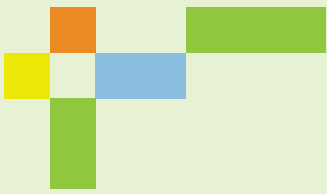
65 | Fraedrich/Lenz 2015a.

66 | ACV 2015.

67 | ACV 2015; Fraedrich/Lenz 2015b.

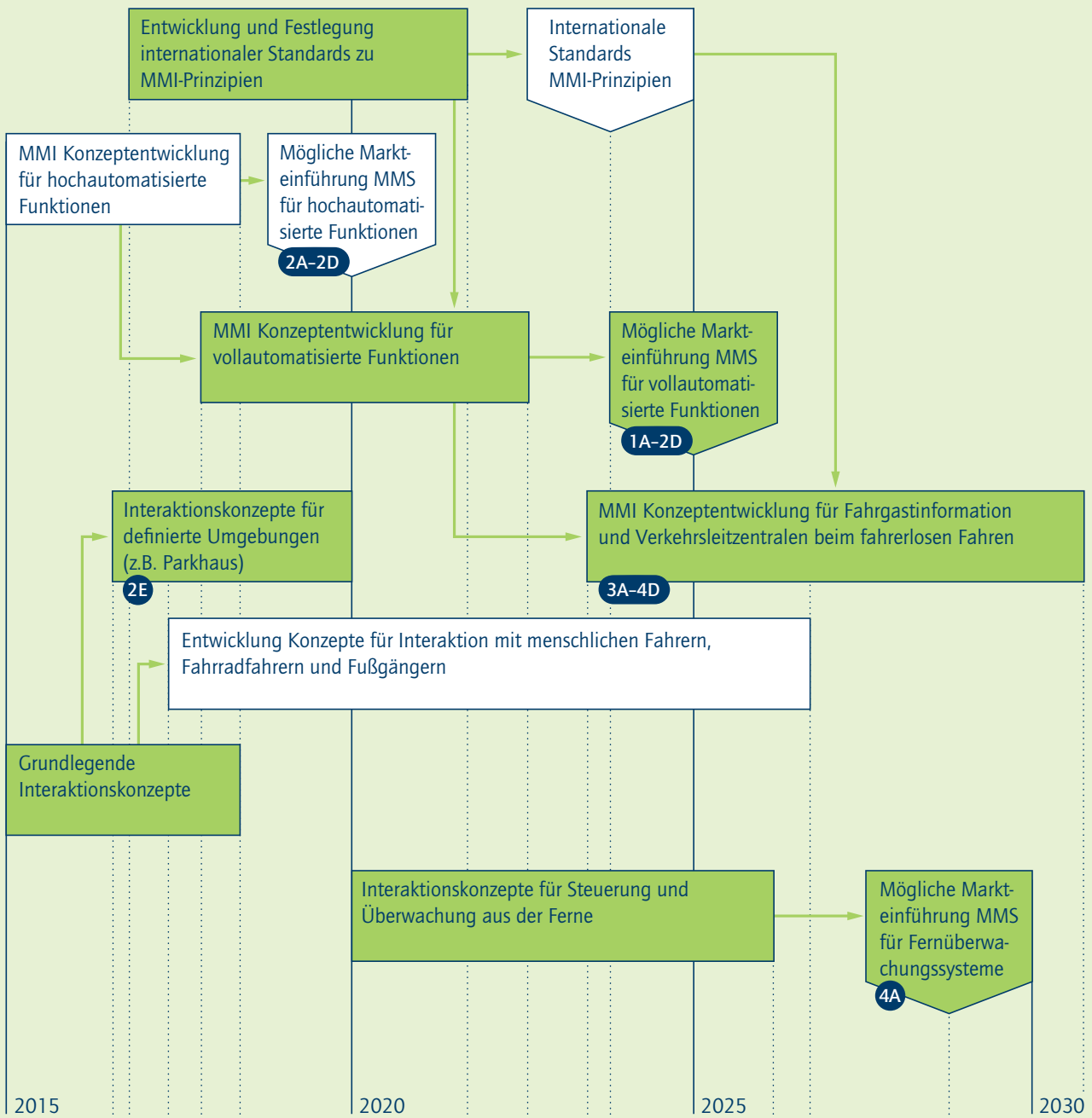
68 | WEF/BCG 2015; Cisco 2013.

69 | Fraunhofer IAO 2015, S. 137.



Mensch-Maschine-Interaktion

Aktionsfelder und Roadmaps

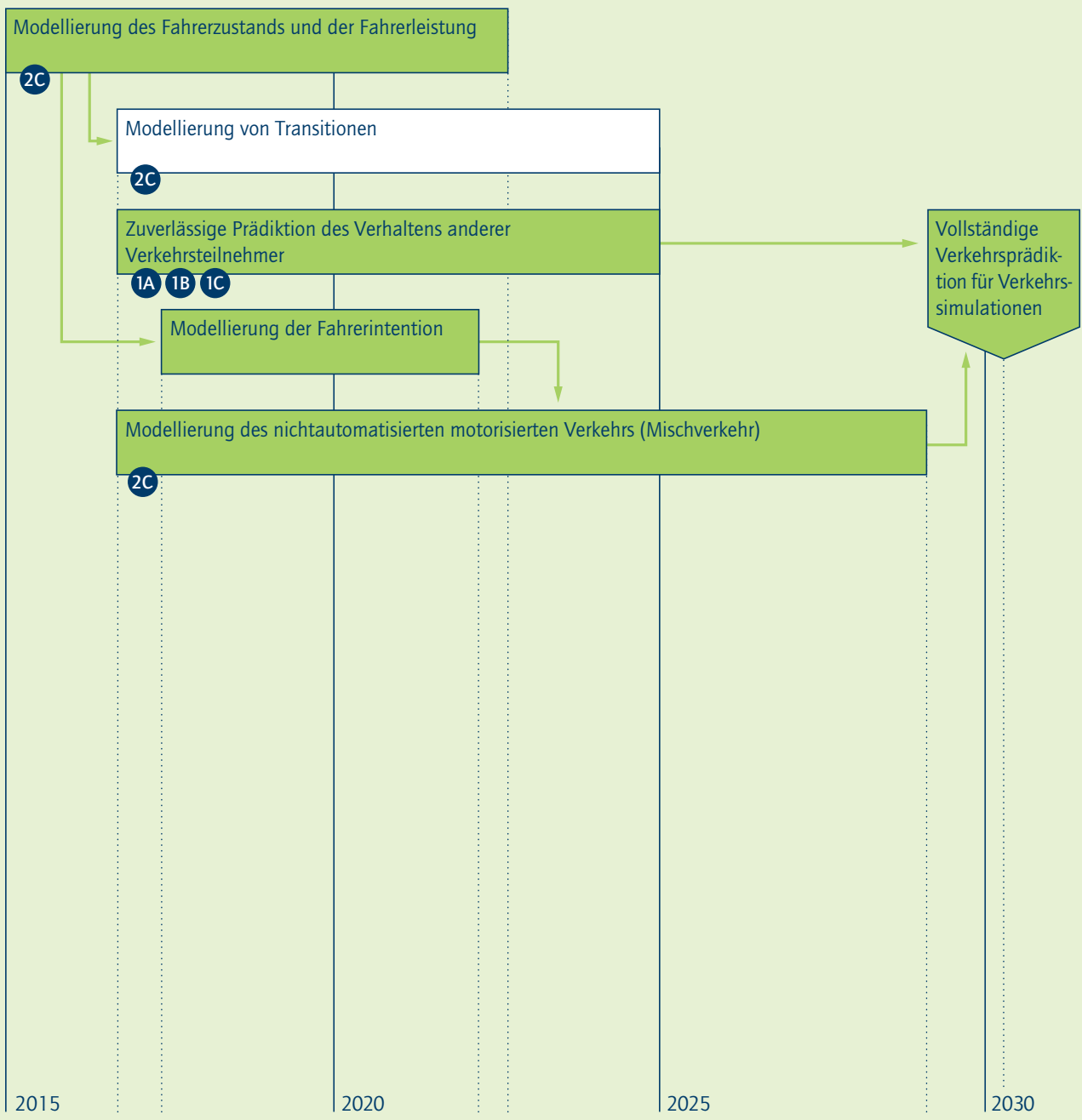


1A Verweis auf Nutzungsszenario
 Kritisches Element
 Meilenstein

Abbildung 8: Roadmap Mensch-Maschine-Interaktion (Quelle: eigene Darstellung)



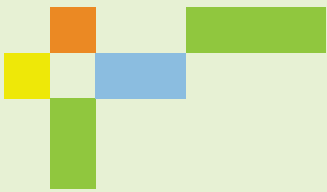
Mensch- und Fahrermodelle



1A Verweis auf Nutzungsszenario □ Kritisches Element ▭ Meilenstein

Aktionsfelder und Roadmaps

Abbildung 9: Roadmap Mensch- und Fahrermodelle (Quelle: eigene Darstellung)



Kategorie Mensch: Zusammenfassung

Hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) lässt sich die Roadmap unterteilen in MMI zwischen dem Fahrenden und seinem automatisierten Fahrzeug und MMI zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden. Für die Interaktion mit dem Fahrenden müssen zunächst Konzepte für die MMI erforscht und entwickelt werden.

Besonders hervorzuheben ist hierbei die Interaktionsgestaltung bei Übergabesituationen (Transitionen, 2C). Eng verflochten mit der Forschung und Entwicklung muss gleichzeitig auch eine Festlegung von internationalen Standards für die MMI erfolgen, die dann in die Produktentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS), d. h. den Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug und Fahrer, einfließen. Ziel ist es, die MMI-Konzeptentwicklung für die Vollautomation bis 2025 abzuschließen (1A-2D). Die Nutzungsszenarien 2A und 2C können im Rahmen von hochautomatisierten Fahrfunktionen bereits früher realisiert werden. Parallel dazu sind auch Aktivitäten hinsichtlich der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden erforderlich, um zu gewährleisten, dass sich das automatisierte Fahrzeug in das vorhandene Verkehrssystem einfügen kann, was zu einem sogenannten Mischverkehr führt (1C).

Die Entwicklung von Interaktionsprinzipien erfordert es, Intentionen anderer Verkehrsteilnehmender wie Autofahrender, Fußgänger und Fußgängerinnen sowie Fahrradfahrender zu erkennen und zu interpretieren. Die Entwicklung wird hier von definierten Umgebungen (wie z.B. Parkhäusern, 2E) hin zu komplexeren Szenarien voranschreiten.

Für das später zu realisierende fahrerlose Fahren (3A-4D) müssen noch einmal völlig andere Aspekte der MMI betrachtet werden, da es hier nicht mehr um die Interaktionsgestaltung mit einem Fahrer sondern ausschließlich um die Interaktion mit Fahrgästen oder anderen Verkehrsteilnehmern handelt. Beispiele hierfür sind das Ein- und Aussteigen von Fahrgästen in ÖV-Shuttles oder Sondersituationen wie ein Not-Stop des Fahrzeugs.

Die Roadmap zu Mensch- und Fahrermodellen unterteilt sich in die fahrerbezogene Modellierung und die Modellierung anderer Verkehrsteilnehmer. Wesentliche Bausteine für die Fahrermodellierung sind die Erfassung des Fahrerzustands sowie die Modellierung der Fahrerleistung, welche eine zentrale Rolle für die Auslegung von Assistenz und Automation darstellt, insbesondere im

Hinblick auf Verantwortungsübergabesituationen (Nutzungsszenario 2C). Um zu einer umfassenden Verkehrsprädiktion zu gelangen muss zudem das Verhalten von Fußgängern, Fahrradfahrern (für die Szenarien 1A-1C) und motorisierten, nicht automatisierten Fahrzeugen (Mischverkehr, Szenario 2B) anhand von physischen und psychologischen Modellen präzisiert werden können.

Der Erfolg des automatisierten Verkehrs hängt nicht nur von technischen Lösungen ab, sondern auch von der grundsätzlichen Akzeptanz der Technologie. Die gesellschaftliche Wahrnehmung des Nutzens von automatisiertem Fahren wird auch dadurch bestimmt, ob und inwiefern sich Bürgerinnen und Bürger einen persönlichen Eindruck von der Technologie machen können, etwa in Living Labs. Zugleich kommt der Kommunikation eine große Bedeutung zu. Diese darf nicht als „Ad-hoc-Instrument“ zur Akzeptanzbeschaffung verstanden werden, sondern sollte vielmehr zur Mündigkeit des Einzelnen beitragen. Aktuelle Studien zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens in der deutschen Bevölkerung vermitteln ein ambivalentes Bild, lassen aber erste Rückschlüsse darüber zu, welche Vorteile sich die Bürgerinnen und Bürger vom automatisierten Fahren versprechen und welche Sorgen bestehen: So wird „Mobilität im Alter“ und „weniger Stress beim Autofahren“ als Vorteil des automatisierten Fahrens gesehen, während zugleich Bedenken wegen eines möglichen Kontrollverlusts über das Auto und Technikausfällen bestehen. Nicht zuletzt werden auch ethische Aspekte eine wichtige Rolle im Kontext der Akzeptanz des automatisierten Fahrens spielen.

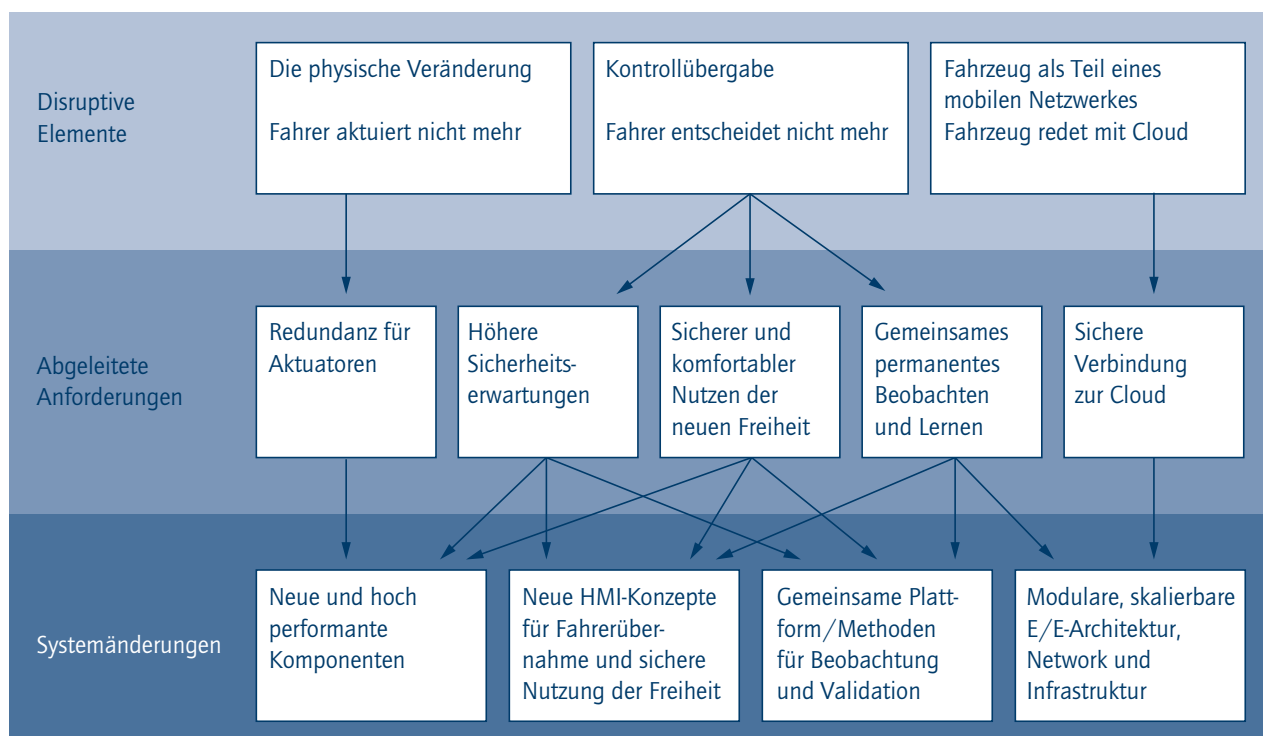


Abbildung 10: Veränderungen des Fahrzeugsystems (Quelle: eigene Darstellung)

4.3 Fahrzeug

Die Weiterentwicklung des automatisierten Straßenverkehrs bis 2030 erfolgt stufenweise, basierend auf den bisherigen F&E-Aktivitäten bis hin zum fahrerlosen Fahren in der Stadt. Entsprechend liegt der Fokus zunächst auf den automatisierten Fahrfunktionen bis hin zur Vollautomation (Stufe 4 der Automatisierung, siehe auch Abbildung 1) sowie dem fahrerlosen Fahren (Stufe 5 der Automatisierung). Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich, zum Beispiel beim automatisierten Valet Parking, kann überwachtes fahrerloses Fahren bereits 2020 serienreif sein. Die Umsetzung der Funktionen im Fahrzeug erfordert eine zuverlässige und robuste Umfeldwahrnehmung. Besonders im Mischverkehr ist es erforderlich, dass Intentionen und Gesten anderer Verkehrsteilnehmer interpretiert werden können. Außerdem müssen externe Informationen, die durch die zunehmende Vernetzung der Fahrzeuge und Infrastruktur nutzbar werden, bewertet und fusioniert werden. Im Bereich Vernetzung ist eine zeitnahe Markteinführung erforderlich, um rasch möglichst viele vernetzte Fahrzeuge im Feld zu haben. Zwar sind einige Nutzungsszenarien auch mit einer geringen Anzahl an vernetzten

Fahrzeugen realisierbar, zahlreiche Szenarien profitieren jedoch von einer hohen Marktdurchdringung oder werden dadurch erst möglich (siehe Kapitel 3.5).

Neben den generellen Veränderungen des Mobilitätssystems können für Fahrzeuge drei Aspekte identifiziert werden, die die grundlegenden Veränderungen in der Betrachtung automatisierter und fahrerloser Fahrzeuge verdeutlichen.

- Die physische Veränderung: Die Fahrzeugführung durch die Fahrerin oder den Fahrer sowie die Verkehrs- und Umfeldwahrnehmung gehen vollständig an das Fahrzeug über. Fahrerin und Fahrer sind nicht mehr Akteure (in der Rückfallebene) – weder physisch am Lenkrad (Querführung) noch als Entscheidende am Gaspedal beziehungsweise an der Bremse (Längsführung).
- Der Kontrollübertrag: Die Kontrolle über die gesamte Fahrzeugführung wird an das Fahrzeug übergeben. Alle möglichen Unsicherheiten, die sich in einer offenen Welt stellen,



müssen durch die automatisierten Fahrfunktionen des Fahrzeugsystems entschieden werden. Dabei müssen in der Konzeption des Fahrzeugsystems sowohl alle Gesetzes- und Umweltveränderungen als auch zulassungsbedingte, technische Prüfungen vom Fahrzeug berücksichtigt werden.

- Das Fahrzeug als Teil eines mobilen Netzwerkes: Durch die Vernetzung des Fahrzeugs können externe Daten zur Absicherung der Fahrfunktionen genutzt werden und gleichermaßen Daten vom Fahrzeug an ein Netzwerk übermittelt werden. Damit ist das Fahrzeug an die Hardware- und Softwarezyklen der digitalen Welt gekoppelt.

Neue und hochperformante Komponenten

Die erste dargestellte Konsequenz für zukünftige Fahrzeuge ist der Bedarf an neuen und hochperformanten Komponenten. Die Veränderungen wirken sich übergreifend auf die Bereiche Aktuation, Sensorik und kognitive Systeme sowie Funktionen aus:

- Bei der Aktuation wird eine zusätzliche Redundanz im Brems- und Lenkungssystem sowie im Bord- und Datennetz notwendig, damit bei einem Ausfall oder einer Fehlfunktion einer einzelnen Komponente das System dennoch funktionsfähig bleibt. Hintergrund dafür ist das Verschwinden des Fahrenden als Beobachter und Entscheider, der bei heutigen Fahrzeugen im Falle eines Systemfehlers oder -ausfalls die

Fahrzeugsführung übernehmen könnte, um das Fahrzeug in einen minimalen Risikozustand zu führen. Vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge müssen diese Funktion grundsätzlich zu jeder Zeit selbstständig erfüllen können.

- Bei der Sensierung der Umgebung des Fahrzeugs (zu der im weiteren Sinne auch die Situationsmodellierung und -interpretation gehört, siehe Kapitel 4.3.3) werden neue Sensoriksysteme mit signifikanter Performancesteigerung benötigt. Von Vorteil sind Kombinationen unterschiedlicher physikalischer Sensorprinzipien. Ein besonderer Fokus wird dabei auf den Lokalisierungsfunktionen und Konnektivitätsnetzwerken liegen. Hintergrund ist die notwendige vollständige Übernahme der Sensierung des Umfelds durch das Fahrzeug. Auch hier gilt es redundante und resiliente Systemkonzepte zu realisieren, die die hohe Sicherheitserwartung an vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge erfüllen.
- Bei der Kognition entstehen – bedingt durch die Komplexität der zu treffenden Entscheidungen beim vollautomatisierten und fahrerlosen Fahren sowie die vielseitigen Interpretationsmöglichkeiten der Umweltabbildung – hohe Anforderungen an die Rechenleistung der entsprechenden Systeme. Die signifikante Leistungssteigerung kann durch hochperformante Rechner oder hocheffiziente Algorithmen zum Beispiel über Modelldegradation abgebildet werden. Aufgrund der Übergabe der Kontrolle über die Fahrzeugsteuerung an

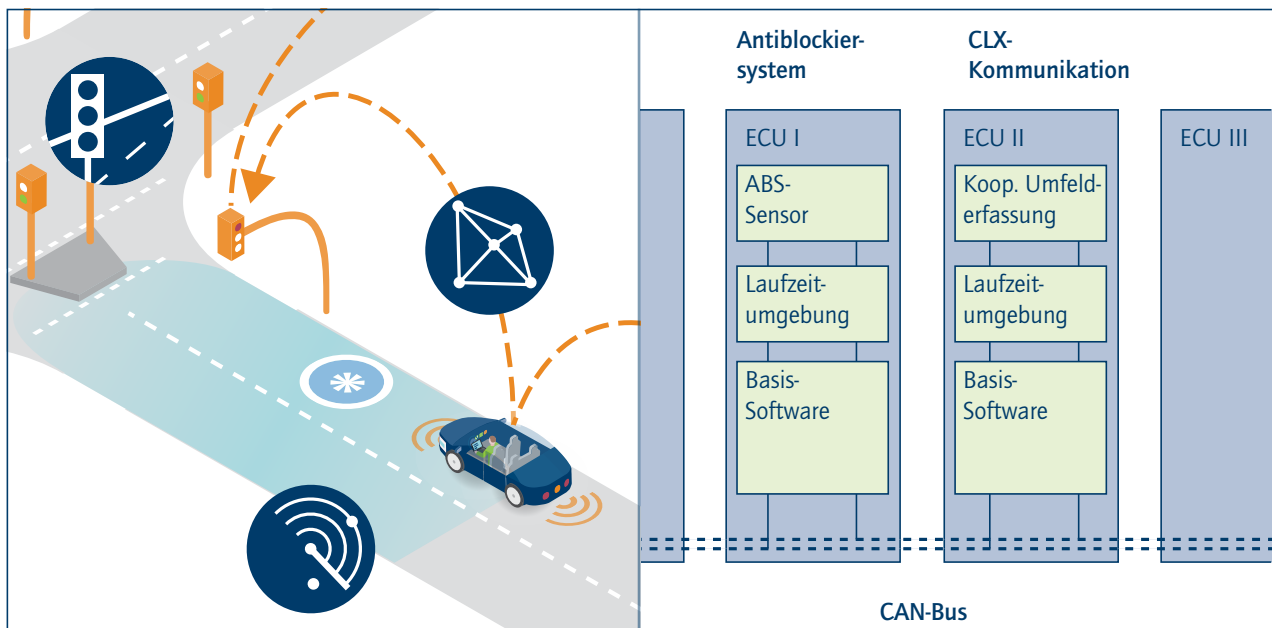


Abbildung 11: Beispiel einer modularen E/E-Architektur für Nutzungsszenario 1D (Quelle: AUTOSAR/eigene Darstellung)

das Fahrzeug werden sich zusätzliche Systeme wie zum Beispiel ein Selbstbeobachtungssystem im Fahrzeug (siehe Kapitel 4.4.1) etablieren.

Neue Konzepte der Mensch-Maschine-Interaktion für die Fahrerübernahme und eine sichere Nutzung

Für den Übergang (Transition) zwischen unterschiedlichen Automationsstufen im Fahrbetrieb ist eine sichere Kontrollübergabe vom Fahrzeug an die Fahrerin oder den Fahrer notwendig. Neue Konzepte der Mensch-Maschine-Interaktion werden hier zur Anwendung kommen, die den Sicherheitsanforderungen auch dann genügen, wenn die Fahrerin oder der Fahrer anderen Beschäftigungen im Fahrzeug nachgeht (siehe Kapitel 4.2.1).

Modulare und skalierbare E/E Architekturen, Netzwerke und IT-Infrastrukturen

Der Datentransfer sowohl für neue Fahrfunktionen als auch für weitere Services wird wichtiger Bestandteil des Mobilitätssystems sein. Zudem entsteht durch die Chancen, die sich durch eine kooperative Situationserfassung und Manöverplanung eröffnen, der Bedarf der Vernetzung von Fahrzeugen (Konnektivität). Eine monolithische elektrische und elektronische Architektur (E/E-Architektur) kann derartige Anforderungen nur bedingt bedienen. Die in hoher Geschwindigkeit erfolgende Technologieentwicklung macht es erforderlich, upgradefähige Systeme zu verbauen, was nur mit einer modularen, skalierbaren und an die Anforderungen des hoch- und vollautomatisierten Fahrens angepassten E/E-Architektur erreicht werden kann.

In modernen Fahrzeugen sind zahlreiche Steuergeräte (ECUs) integriert, die bestimmte Aufgaben erfüllen wie beispielsweise die Gurtstraffung oder die Überwachung des Lenkwinkels. Auch die Software für Fahrerassistenzsysteme läuft auf ECUs. Die in einzelnen Steuergeräten der Fahrzeuge implementierten Funktionen kommunizieren fahrzeugintern miteinander über einen CAN-Bus und Flexray in einem normierten Protokoll und Datenformat (ISO-TP, ISO 14229 und 14230). Mit zunehmender Automation und Vernetzung ist die Anzahl komplexer Fahrzeugfunktionen deutlich gestiegen und wird auch weiterhin stark steigen. Deshalb ist es notwendig geworden, mehr als eine Funktion auf einem Steuergerät zu implementieren. Zu diesem Zweck wurde 2003 die Entwicklungspartnerschaft AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) gegründet, die einen Industriestandard für die Softwarearchitektur in Fahrzeugen entwickelt. Dieser Standard unterstützt die Wiederverwendung und die Integration von Funktionen. Der Anwendungsschicht wird durch

AUTOSAR eine definierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt. Ende 2008 verfügte das erste Fahrzeug über ein Bordnetz im AUTOSAR-Standard.

Kooperative Assistenzsysteme und Automationsfunktionen setzen in Zukunft die Vernetzung mit anderen Verkehrsteilnehmenden und mit infrastrukturseitigen Komponenten voraus. Dafür sind die bestehenden Systeme jedoch nur bedingt geeignet. Fahrzeugseitige Forschungsschwerpunkte finden sich deshalb in der Schaffung einer leistungsfähigen fahrzeuggebundenen Architektur und einer harmonischen Umwelteinbettung, unter Berücksichtigung des Zusammenspiels mit anderen Fahrzeugen wie auch Infrastrukturkomponenten.

Darüber hinaus ist die Entwicklung von Konzepten zur statischen und dynamischen Funktionsallokation, -integration und -migration ein wichtiger Aspekt, um Regelungssysteme sicherer und leistungsfähiger zu machen. Beispiele hierfür sind situationsangepasste Fusionsarchitekturen oder die Informationsverteilung zur Schaffung von situationsangemessener Redundanz. Dabei werden auch fehlertolerante und hochzuverlässige X-by-Wire-Architekturen als Basis für Automation und fortschrittliche Regelungskonzepte berücksichtigt. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt findet sich in der Integration von Funktionen im Zusammenspiel zwischen Fahrzeug, Fahrerin oder Fahrer, Infrastruktur, Backend, anderen Verkehrsteilnehmenden und mobilen Geräten. Von besonderem Interesse ist auch hier der direkte Einfluss all dieser Komponenten auf die Ermöglichung des Mischverkehrs aus automatisierten und eher konventionellen Fahrzeugen.

4.3.1 Automation



Die Automatisierung von Teilen der Fahraufgabe ist fast so alt wie das Automobil selbst. Erste Fahrzeuge mit automatischem Schaltgetriebe wurden bereits 1940 auf dem Massenmarkt eingeführt.⁷⁰ Heutzutage werden zunehmend ganze Teilaufgaben des Fahrens durch Fahrerassistenzsysteme automatisiert. Auf der Bahnführungsebene⁷¹ kommen zahlreiche Automatisierungsfunktionen zum Einsatz, um die Sicherheit, den Komfort und die Effizienz des Fahrens zu erhöhen. Dabei übernimmt die Automatisierungsfunktion zumeist entweder die Quer- oder die Längsführung in einem spezifischen Anwendungsfall. Ein Beispiel hierfür ist der Abstandsregeltempomat (ACC), der die Längsführung des Fahrzeugs übernimmt. Weitere Beispiele für Assistenzfunktionen der Stufe 1 sind der (aktive) Spurhalteassistent,

70 | Strohl 2014.

71 | Donges 1982.



der Einparkassistent und der Notbremsassistent. Darüber hinaus sind bereits einige Assistenzsysteme auf dem Markt, welche in bestimmten Szenarien sowohl die Quer- als auch die Längsführung übernehmen und bei denen der Fahrerin oder dem Fahrer lediglich eine überwachende Aufgabe zukommt. Beispielhaft ist hierfür die Kombination aus aktiver Spurhalteassistent und ACC. Bei dieser führt die Automation das Fahrzeug selbstständig auf der Quer- und Längsführungsebene. In diesem Bereich existieren speziell für zähflüssige Verkehrssituationen gestaltete Systeme wie der Stauassistent sowie solche, die auch für höhere Geschwindigkeiten ausgelegt sind. Die genannten Assistenzfunktionen unterstützen die Fahrenden in bestimmten Situationen bei der Durchführung der Fahraufgabe, entbinden sie aber nicht von der Aufgabe, die Automatisierungsfunktion, das Fahrzeug und die Umgebung zu überwachen. Bis heute sind noch keine hoch- und vollautomatisierten Systeme auf öffentlichen Straßen im Serieneinsatz.⁷²

In der Forschung liegt der Fokus zunehmend auf der Hochautomation. Beispielhaft seien das Forschungsprojekt HAVEit und dessen Folgeprojekt adaptiVe genannt, in dem Funktionen zur Teil- und Hochautomation entwickelt, validiert und demonstriert werden. Ebenso werden Minimal-Risk-Manöver adressiert, welche das Fahrzeug sicher zum Stehen bringen, zum Beispiel während einer vollautomatisierten Fahrt. Der Forschungsfokus liegt auch auf der urbanen Mobilität, etwa bei der Entwicklung von vollautomatisierten „Peplemover“ in ausgewiesenen Stadtbezirken (CityMobil; CityMobil2) und beim sogenannten „Automated Valet Parking“, dem fahrerlosen Ein- und Ausparken (V-Charge). Das Forschungsprojekt SARTRE befasste sich speziell mit Kolonnenfahrten (Platooning), bei denen in einem Verband lediglich das erste Fahrzeug manuell gesteuert wird und die weiteren Fahrzeuge hochautomatisiert folgen.

Da die ersten hochautomatisierten Systeme wahrscheinlich auf Autobahnen eingesetzt werden, ist die Erforschung von Algorithmen zur Entscheidung von Fahrmanövern auf Fahrstreifenwechsel fokussiert. Sobald jedoch der Übergang auf Land- und Stadtstraßen erfolgt, werden neue Algorithmen erforderlich, die erheblich mehr unterschiedliche Verkehrsteilnehmende, komplexere Straßenverläufe zum Beispiel an Kreuzungen und eine höhere Anzahl an Regularien berücksichtigen. Hier spielt der Aspekt der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden eine entscheidende Rolle. Es reicht daher nicht mehr aus, andere Verkehrsteilnehmende lediglich als dynamische Hindernisse wahrzunehmen. Die Automation muss mit ihnen kooperieren. Koope-

orative Automationsfunktionen wurden bisher allerdings nur für bestimmte Szenarien erforscht. Dies wird beispielsweise im Schwerpunktprogramm „Kooperativ Interagierende Automobile“ (SPP 1835) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) untersucht. Forschungsfragen finden sich auch beim Thema der funktionalen Sicherheit. Darüber hinaus steht bisher nicht fest, welche Rolle die Infrastruktur spielen muss, damit genügend Informationen für sichere Fahrentscheidungen zur Verfügung stehen. Es muss daher neben der weiteren Erforschung von Umfeldwahrnehmung, Szeneninterpretation und Entscheidungs-umsetzung auch auf Möglichkeiten der Anpassung und Erweiterung der Infrastruktur eingegangen werden. Fahrzeugtechnologie und Infrastrukturtechnologie müssen sich ergänzen, um die Informationsbasis für Fahrentscheidungen zu erhöhen. Im Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) „Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens“ werden Limitationen der Bordtechnologie und Maßnahmen zur Kompensation vonseiten der Infrastruktur untersucht.

4.3.2 Vernetzung



Die Anzahl von Kommunikationsschnittstellen im Fahrzeug steigt zunehmend. Schnittstellen zu Infotainment-Anwendungen sind bereits weit verbreitet. Fahrzeuge von verschiedenen Herstellern bieten mittlerweile serienmäßig eine Vernetzung mit Cloud-Diensten an. Auch gewinnt die Anbindung von Smartphones weiter an Bedeutung. Smartphones ermöglichen es, außerdem von außerhalb des Fahrzeugs auf ausgewählte Fahrzeuginformationen zuzugreifen und Befehle an das Fahrzeug zu senden. Einige darauf basierende Anwendungen sind bereits verfügbar, wie beispielsweise das Darstellen der verbleibenden Ladezeit eines Elektrofahrzeugs oder das Initiieren eines Parkvorgangs von außerhalb des Fahrzeugs.

Durch vernetzte Fahrzeuge (Kommunikation zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur beziehungsweise der Cloud) können Fahrkomfort und Verkehrssicherheit wesentlich erhöht werden. Einige Anwendungen werden erst durch Vernetzung möglich, zum Beispiel erfordert Platooning mindestens eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen des Platoons. Die Vernetzung zwischen Fahrzeugen untereinander und zwischen Fahrzeug und Infrastruktur ist seit mehr als zehn Jahren Gegenstand zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Sie hat einen vollständigen Zyklus von grundlegenden Machbarkeitsstudien und Technologieforschungen,

72 | Winner et al. 2015.

Standardisierungen und Feldtests auf deutscher und europäischer Ebene sowie in den USA und Japan durchlaufen. Diese Entwicklung hat zu einem konsolidierten Technologiestand für V2X-Kommunikation basierend auf WLAN-11p (IEEE-Standards 802.11p) mit Ad-hoc-Netzwerktechnologien, V2X-Nachrichtensformaten, Datensicherheit und anderen Komponenten geführt (siehe Kapitel 4.5.2).

Grundsätzlich lassen sich die Anwendungen im WLAN-11p-Kommunikationssystem in Anwendungen für Sicherheit, Nachhaltigkeit und Infotainment gliedern, wobei für eine initiale System-einführung Anwendungen für eine direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur definiert wurden.⁷³ Diese „Day 1“-Anwendungen entsprechen den technischen Eigenschaften der WLAN-11p-basierten Kommunikationstechnologien mit moderaten Latenz- und Zuverlässigkeitsanforderungen. Beispiele dafür sind die Assistenz bei Lichtsignalanlagen („Grüne-Welle-Assistenz“), Warnung vor Baustellen und virtuelle Verkehrsbeeinflussungsanlagen.⁷⁴

Neben WLAN-11p-basierten Systemen wird Mobilfunk für die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen erweitert (LTE-V2X). Es wird erwartet, dass die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen (WLAN-11p oder LTE-V2X) in Europa in den nächsten Jahren eingeführt wird, unter anderem durch die geplante regulatorische Einführung von Dedicated Short Range Communication (vergleichbar mit dem Europäischen WLAN-11p-System) in den USA. Parallel werden von einigen Fahrzeugherstellern heute schon mobilfunkbasierte Kommunikation (siehe Kapitel 4.5.2) zwischen Fahrzeugen und der Cloud (Backend) als auch erste sicherheitsorientierte Anwendungen zwischen Fahrzeugen über die Cloud eingeführt.

Neben der Vernetzung mit anderen Fahrzeugen ist auch die Vernetzung mit schwachen Verkehrsteilnehmenden wie Fußgängerinnen und Fußgängern oder Fahrradfahrenden Gegenstand aktueller F&E-Aktivitäten. Mittels Kurzstreckenfunk (zum Beispiel WLAN11p) können Positionsdaten zwischen schwächeren Verkehrsteilnehmenden und Fahrzeugen ausgetauscht werden, um mögliche Kollisionen zu vermeiden oder die Unfallschwere deutlich zu reduzieren.

Ein wichtiger Treiber für die Vernetzung ist die Nutzung externer Daten für die Erstellung eines vollständigen Umfeldmodells. Das Umfeldmodell hat für die Fahrzeugsteuerung hoch-, vollautomatisierter sowie fahrerloser Fahrzeuge eine zentrale Bedeu-

tung und unterliegt steigenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Umfelderkennung (siehe Kapitel 4.3.3). Aus der Verbreitung von Daten und der Nutzung von externen Informationen ergeben sich jedoch wiederum Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Informationsübertragung sowie deren Herkunft (siehe Kapitel 4.4).

4.3.3 Umfeldwahrnehmung



Die Aufgabe der Umfeldwahrnehmung ist das maschinelle Verstehen und Vorhersagen einer Situation, wobei die Situation sich auf die Fahrerin oder den Fahrer (Fahrersituation), die Fahrt (Fahrsituation) oder den Verkehr (Verkehrssituation) beziehen kann. Die Umfeldwahrnehmung beinhaltet zwei wesentliche Schritte: die Sensordatenverarbeitung und -fusion sowie die Situationsmodellierung und -interpretation.

In einem ersten Schritt wird die Sensorik eingesetzt, um Position, Geometrie, Klasse und Dynamik von Objekten in der Umgebung wahrzunehmen. Üblicherweise verwendete Sensoren sind Radar (Radio Detection and Ranging), Laserscanner, Ultraschall, Satellitennavigationssysteme (GPS und GALILEO) und Kameras. Diese Sensoren werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften kombiniert, um eine robuste Erkennung zu ermöglichen. In Abhängigkeit der spezifischen Funktion sowie der Umgebung existiert ein Performancebereich, in dem eine ausschließliche Erfassung durch fahrzeuginterne Sensorik sehr kostenintensiv wird. Eine Nutzung externer Daten zur Vervollständigung des Umfeldmodells bietet hier eine effektive und kostengünstige Lösung (siehe Abbildung 10). Darüber hinaus ist für bestimmte Fahrfunktionen und Verkehrssituationen eine vollständige Erfassung aus dem eigenen Fahrzeug heraus nahezu unmöglich.

Voraussetzung für die Einbindung von Informationen anderer Verkehrsteilnehmender oder der Infrastruktur ist die Vernetzung (siehe Kapitel 4.3.2). Heutige Ansätze basieren im Wesentlichen darauf, dass Fahrzeuge ihr Umfeld durch Sensorik beobachten sowie durch Kommunikationstechnologien (WLAN11p und LTE-V) Statusinformationen wie Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung etc. periodisch an die Fahrzeuge in ihrer Umgebung übertragen. Ein höherer Grad der Kooperation erfolgt über den Austausch von – typischerweise aggregierten – Umgebungsinformationen (beispielsweise von detektierten Objekten) oder über die kontinuierliche Übertragung der Sensorinformationen. Letztlich können auch Fahrintentionen und Trajektorien zwischen

73 | VDE 2016.

74 | EC 2016.



den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Essenziell für diese kooperative Umfeldwahrnehmung sind Leistungsverbesserungen und funktionale Erweiterungen zukünftiger Kommunikationssysteme (siehe Kapitel 4.5.2). Hochgenaue digitale Karten können als weitere Datenquelle integriert werden (siehe Kapitel 4.5.3).

Um das Umfeld möglichst robust und vollständig zu erkennen, müssen die Informationen aus unterschiedlichen Quellen miteinander kombiniert werden.⁷⁵ Diese Sensordatenfusion erfolgt in drei Schritten:⁷⁶

1. Datenassoziiierung: Zusammenbringen von Messungen, die dasselbe „Objekt“ (Target) repräsentieren.
2. Zustandsschätzung: Schätzung der Parameters des „Objekts“ (Target).

In einem zweiten Schritt der Umfeldwahrnehmung wird die Situation modelliert und interpretiert. Modellierung und Interpretation werden der „Kognition“ zugerechnet. Kognition umfasst zusätzlich noch die anschließende algorithmenbasierte Manöverplanung und -ausführung. Automatisches Lernen ist in Bezug auf Modellierung und Interpretation ein aktuelles Forschungsthema. Insbesondere die Modellierung urbaner Szenarien ist durch Verdeckungen, höhere Dynamik sowie komplexe und inhomogene Straßentopologien und Straßentopografien extrem aufwendig, was eine Verarbeitung in Echtzeit äußerst schwierig macht. Ein Lösungsansatz dazu ist eine Kombination des herkömmlichen Bottom-up-Verfahrens, das aus der Objekterkennung die Situation interpretiert, mit einem Top-down-Verfahren, in dem die Situationsinterpretation die Objekterkennung beeinflussen kann. Mit diesem Ansatz kann Vorwissen über den Kontext der Situation verwendet werden, um die Situationserfassung in komplexen Umgebungen sowohl genauer als auch effizienter zu gestalten.

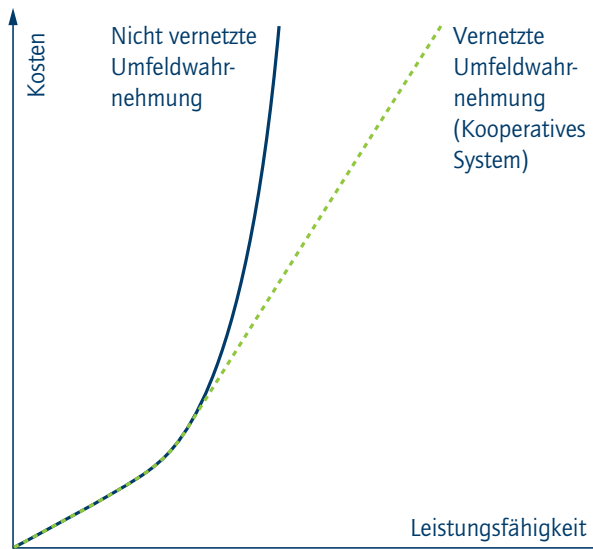


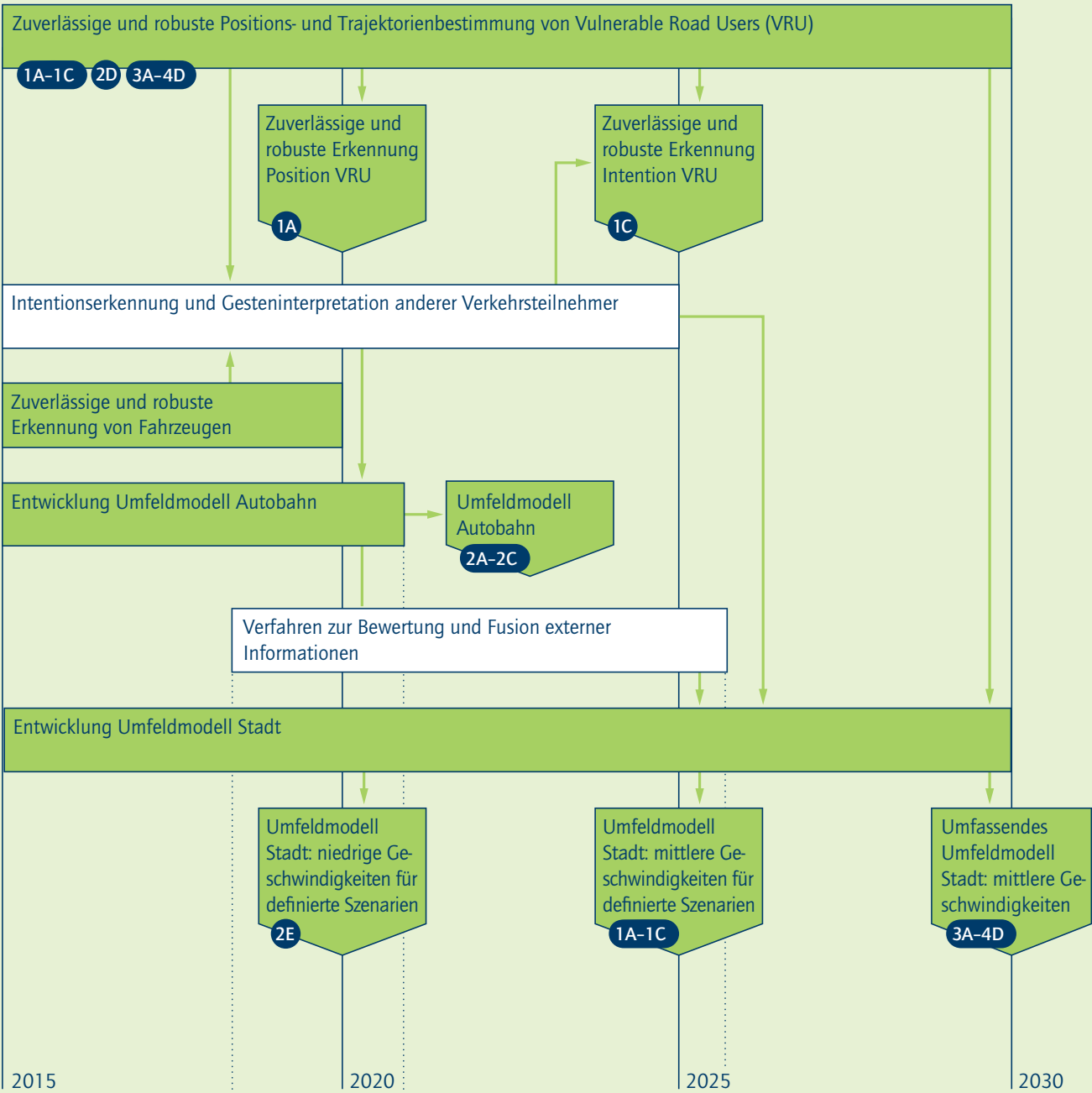
Abbildung 12: Effizienzgewinn durch kooperative Umfeldwahrnehmung (Quelle: eigene Darstellung)

75 | Siciliano/Khatib 2008.

76 | Castanedo 2013.



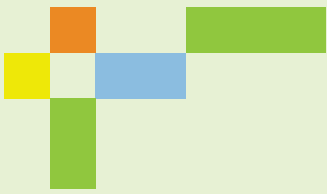
Umfeldwahrnehmung



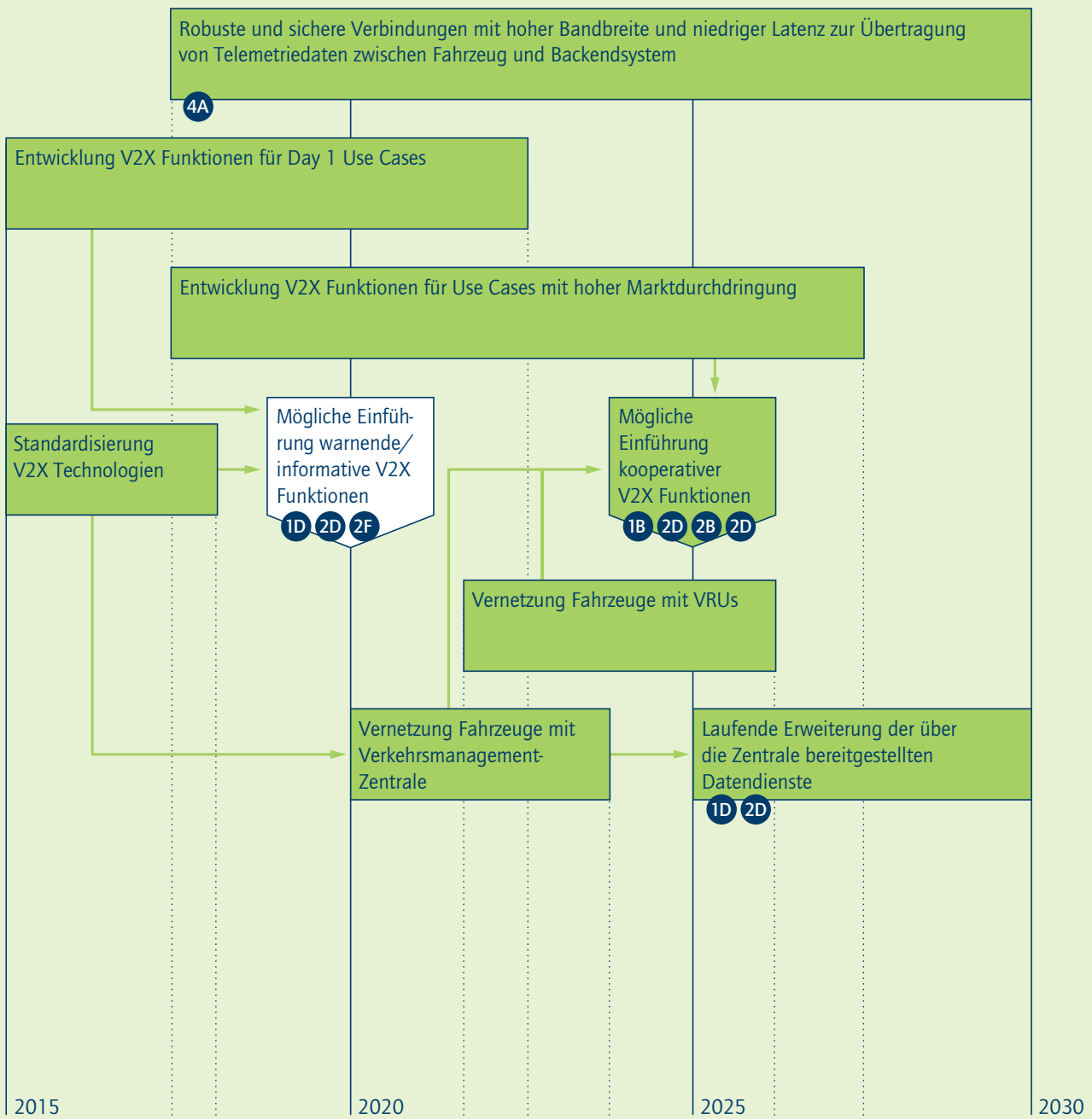
Aktionsfelder und Roadmaps

1A Verweis auf Nutzungsszenario □ Kritisches Element ▭ Meilenstein

Abbildung 13: Roadmap Umfeldwahrnehmung (Quelle: eigene Darstellung)



Vernetzung



1A Verweis auf Nutzungsszenario

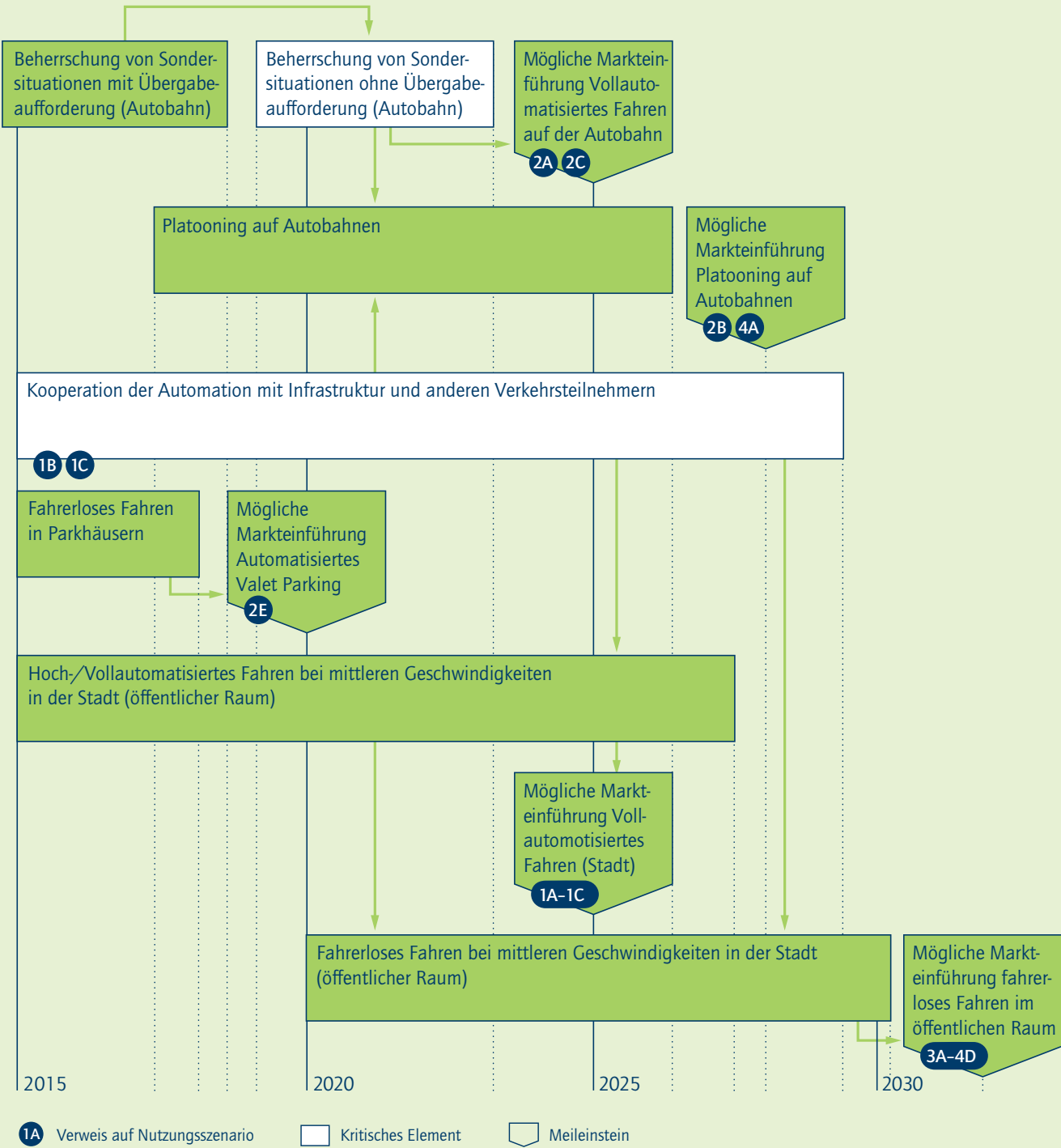
□ Kritisches Element

◡ Meileinstein

Abbildung 14: Roadmap Vernetzung (Quelle: eigene Darstellung)



Automation



Aktionsfelder und Roadmaps

Abbildung 15: Roadmap Automation (Quelle: eigene Darstellung)

Kategorie Fahrzeug: Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung der Automation bis 2030 basiert auf den bisherigen F&E-Aktivitäten bis hin zum fahrerlosen Fahren in der Stadt. Da die Hochautomation die Fahrzeugführung in unbekanntem oder komplexen Sondersituationen (Baustellen, Unfallstellen) an den Fahrer übergeben kann, ist eine frühe Realisierung dieser Systeme möglich (2A, 2C). Gleichzeitig müssen Minimal-Risk-Manöver erforscht und entwickelt werden, sodass die Automation das Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand überführen kann, falls die Fahrerin oder der Fahrer nicht übernimmt oder nicht übernehmen kann. Diese Entwicklung bereitet den Weg für die Vollautomation auf der Autobahn bis 2025, in der das Fahrzeug die Fahrt auch in Sondersituationen vollkommen selbstständig durchführt, ohne dass die Fahrenden aktiv werden müssen. Parallel dazu wird die Entwicklung automatisierter Platoons vorangetrieben (2B und 4A).

Im urbanen Bereich ist die Umgebung deutlich komplexer und inhomogener als auf der Autobahn. Fahrerloses Fahren stellt hier eine hohe Herausforderung dar. Aufbauend auf existierenden, noch durch den Fahrer überwachten Parkmanövern werden zunächst komplexere Valet Parking Funktionen umgesetzt (2E). Um das automatisierte Fahrzeug, zunächst im niedrigen, später auch im mittleren Geschwindigkeitsbereich, vollautomatisiert oder fahrerlos in den fließenden Verkehr zu integrieren, sind noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erforderlich, welche u.a. Konzepte für kooperative Manöver wie Ausweichen (Nutzungsszenario 1B) und Überholmanöver (1C) umfassen. Besonders im urbanen Bereich kann die Automation auch von Informationen profitieren, die sie von anderen Verkehrsteilnehmenden, der Infrastruktur oder dem Verkehrsmanagement erhält (z.B. Informationen über den Fahrbahnzustand oder Prognosen für Grünphasen).

Die Vernetzung des Fahrzeugs über ein Backend-System wie eine Verkehrsmanagementzentrale kann Informationen z.B. über die Verkehrslage oder Gefahren wie Glatteis oder Unfallstellen übermitteln (Nutzungsszenarien 1D, 2D), wozu zunächst eine Weiterentwicklung der Methoden und Technologien zur Positionsbestimmung erfolgen muss. Insbesondere beim Thema Sicherheit spielt die direkte Vernetzung des Fahrzeugs mit anderen Fahrzeugen sowie Motorradfahrern, Radfahrern und Fußgängern, eine wichtige Rolle. Dazu zählen u.a. das kooperative Ausweichen (1C) sowie die Erhöhung der Robustheit einer

vollständigen Umfelderkennung durch Vernetzung (1A). Um dies zu realisieren, ist jedoch zunächst noch Forschungsarbeit im Bereich V2V-Technik zu leisten. Auch müssen vor einer möglichen Markteinführung 2020 noch Rahmenbedingungen für die Kommunikation geklärt und standardisiert werden. Kooperative Funktionen erfordern jedoch zunächst ausreichend hohe Durchdringungsraten.

Generell ist für die Umfelderkennung eine der wichtigsten Aufgaben und Grundvoraussetzung für automatisiertes Fahren im öffentlichen Raum die Erkennung von anderen – auch nicht motorisierten – Verkehrsteilnehmenden und baulichen Elementen. Damit diese auch bei schwierigen Umfeldbedingungen zuverlässig funktioniert, müssen bis 2025 redundante Sensorsysteme erforscht und entwickelt werden. Auch ist die Erkennung der Intention anderer Verkehrsteilnehmer, z.B. über eine zuverlässige Gesteninterpretation, ein wesentlicher Baustein für das automatisierte Fahren (1C). In der relativ homogenen Umgebung Autobahn ist mit einem entsprechenden System bis 2020 zu rechnen. Für eine Umsetzung in der Stadt ist zunächst Forschungsarbeit notwendig, damit die Umfelderkennung ab 2020 – zunächst bei niedrigen Geschwindigkeiten – in die Produktentwicklung übergehen kann. Mit einer Markteinführung ist ab 2030 zu rechnen. Im Rahmen der Vernetzung können auch allgemein relevante von der Fahrzeugsensorik erfasste Informationen wie Wetter, Straßenschäden oder Reibwerte über Verkehrsmanagementzentralen geteilt werden (1D, 2D).

4.4 Sicherheit

Mit der Einführung von modernen Informationstechnologien in Fahrzeugen steigen die Sicherheitsanforderungen gegenüber Fahrzeugtechnologien. Der Hackerangriff von zwei amerikanischen Journalisten auf einen Sportwagen im Sommer 2015 unterstreicht, dass Fahrzeuge ähnlich wie andere mobile Endgeräte von Cyberattacken und Sabotage betroffen sein können. Die Komplexität von Hardware- und Software-Komponenten in modernen Fahrzeugen steigt stetig, zum Beispiel durch hochgradig vernetzte Funktionen im Fahrzeug, zeitkritischen Daten- und Informationsfluss oder die Beteiligung zahlreicher Akteure und Verkehrsteilnehmender. Bei mangelnden Sicherheitsstandards werden Fahrzeugsysteme mit zunehmender Vernetzung und Automatisierung anfälliger für Angriffe von außen, aber auch für einen Funktionsausfall.

Der Begriff Sicherheit umfasst daher einerseits das Fahrzeugsystem (Betriebssicherheit) und damit die Gewährleistung der Sicherheit für die Nutzenden und die Umgebung (Englisch: „Safety“). Andererseits gilt es den Schutz vor Missbrauch durch Unbefugte, also Angriffssicherheit herzustellen (Englisch: „Security“). Security-Maßnahmen sollen den Schutz des Systems (im Speziellen zum Beispiel dessen Daten oder Funktionen) gegenüber der Umgebung sicherstellen. Safety- und Security-übergreifend wird auch von „funktionaler Sicherheit“ gesprochen, meist mit dem Fokus auf deren Elektronik- und Software-Elemente (siehe zum Beispiel ISO 26262). Funktionale Sicherheit setzt ein resilientes System voraus. Resilienz bedeutet, dass sich das System

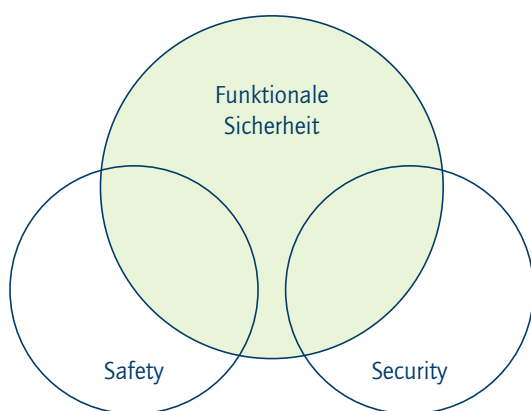


Abbildung 16: Funktionale Sicherheit, Safety und Security

robust und widerstandsfähig gegenüber Störungen und unerwarteten Ereignissen verhält. Dies kann zum Beispiel durch redundante und durch lernfähige, adaptive Systeme erreicht werden. Adaptive Systeme nutzen im Feld beobachtete Risiken und Unsicherheiten, um durch Lernverfahren die Sicherheit zu erhöhen.

Vertrauen in ausreichende Sicherheit bildet einen Grundpfeiler für den automatisierten Straßenverkehr. Die Bürgerinnen und Bürger beziehungsweise die Zivilgesellschaft müssen daher stark in den Entwicklungsprozess einbezogen und Transparenz über sicherheitsrelevante Zuständigkeiten seitens der Hersteller und Anbieter geschaffen werden (siehe Kapitel 4.2.3). Umfassendes Risikomanagement kann zusätzlich dazu beitragen, die Risiken zu minimieren und auf die Akteure zu transferieren, denen Möglichkeiten zum Vorbeugen bereits in frühen System- und Funktionsentwicklungsphasen gegeben sind. Schon in der Vorphase der Entwicklung zu autonomen Fahrsystemen sollten deshalb technisch funktionsfähige, organisatorisch umsetzbare und politisch-rechtlich verträgliche Lösungen entwickelt werden, die überzeugende Antworten auf absehbare Risiken des autonomen Fahrens bereitstellen. Dazu stellt der in dem Absatz Safety angeleitete Prozess eine mögliche Grundlage dar.

4.4.1 Safety



Eine zentrale Herausforderung des automatisierten Straßenverkehrs stellt angesichts der Umgebungskomplexität die Absicherung der Betriebssicherheit dar. Zwar werden fahrerlose Fahrzeuge die Gesamtzahl der Unfälle reduzieren, dennoch wird aufgrund der Komplexität der Systeme auch hier stets ein Restrisiko bestehen bleiben. Selbst bei einer weitaus geringeren Zahl von Verkehrsunfällen steigen die öffentlichen Erwartungen an die Sicherheit beziehungsweise an Möglichkeiten zur Unfallvermeidung automatisierter Fahrzeuge, da die Fahrzeugführung durch ein im Vorfeld konzipiertes technisches System erfolgt. Als Konsequenz muss die Leistungsfähigkeit der sicherheitskritischen, automatisierten Fahrfunktionen mindestens auf dem Niveau durchschnittlich Fahrender liegen, insbesondere wenn der heutige Fahrkomfort sowie die üblichen Fahrgeschwindigkeiten beibehalten werden. Hier ist jedoch auch ein Paradigmenwechsel bezüglich der Prioritäten möglich und gegebenenfalls notwendig: Das aktuelle Fahrerrisiko ist ein individuelles Risiko, basierend auf einer persönlichen Entscheidung zum Beispiel zwischen Geschwindigkeit und Unfallrisiko. Dieses individuelle Risiko wird zu



einem gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Gesamtrisiko und muss deshalb einem gemeinsamen und sehr hohen Sicherheitsanspruch genügen.

Während die Entwicklung und Auslegung von Straßenfahrzeugen sowie deren rechtliche Rahmenbedingungen in der Vergangenheit den Menschen als verantwortliche Fahrzeugführerin beziehungsweise verantwortlichen Fahrzeugführer und damit als Mess-, Steuer- und Regelungsglied stets einbezogen haben, bedarf insbesondere die Einführung höherer Automatisierungsgrade eines Umdenkens. Bei höheren Automatisierungsgraden muss das Fahrzeug in der Lage sein, das Umfeld kontinuierlich hinreichend gut zu erfassen, dieses zu verstehen beziehungsweise zu interpretieren und Folgerungen zu ziehen. Basierend darauf müssen beständig adäquate Handlungen abgeleitet werden. Damit stellt sich die Frage: Welche verkehrlichen Situationen müssen von hochautonomen Fahrzeugen mit welcher Genauigkeit und mit welcher Zuverlässigkeit erkannt werden, damit darauf aufbauend eine autonome Fahrzeugführung erfolgen kann? Wie werden im Fahrzeug integrierte selbstlernende Systeme im

Feld freigegeben? Betrachtet man das extrem komplexe Umfeld des hoch- und vollautomatisierten Fahrens und die Kopplung zu externen Daten, so ist zu erwarten, dass nach einem initialen Zulassungsprozess eines hochautomatisierten Fahrzeuges neue, riskante Situationen entstehen können, welche unvorhersehbar sind. Dies ist insbesondere deshalb zu erwarten, weil neue disruptive Technologien auf den Markt kommen werden und sich gleichzeitig weitere Umweltbedingungen verändern.

Demgegenüber steht eine öffentliche Erwartung, dass derartigen Risiken geeignete Maßnahmen entgegengestellt werden. Eine insbesondere durch die Digitalisierung und Vernetzung erst ermöglichte Maßnahme besteht darin, Risiken und Unsicherheiten aus dem laufenden Fahrbetrieb aufzuzeichnen, zu bewerten und über die Summe von Ereignissen einzelner Fahrzeuge Wissen und neue Ansätze zu gewinnen. Diese können dann auf alle Fahrzeuge im Feld zurückgespiegelt werden. Hierbei können vor allem sogenannte „Beinahe-Unfälle“ wertvolle Daten liefern. Diesen Prozess kann man als „kollaboratives Lernen“ bezeichnen. Hierzu hat die Organisation Safetrans bereits ein geeignetes

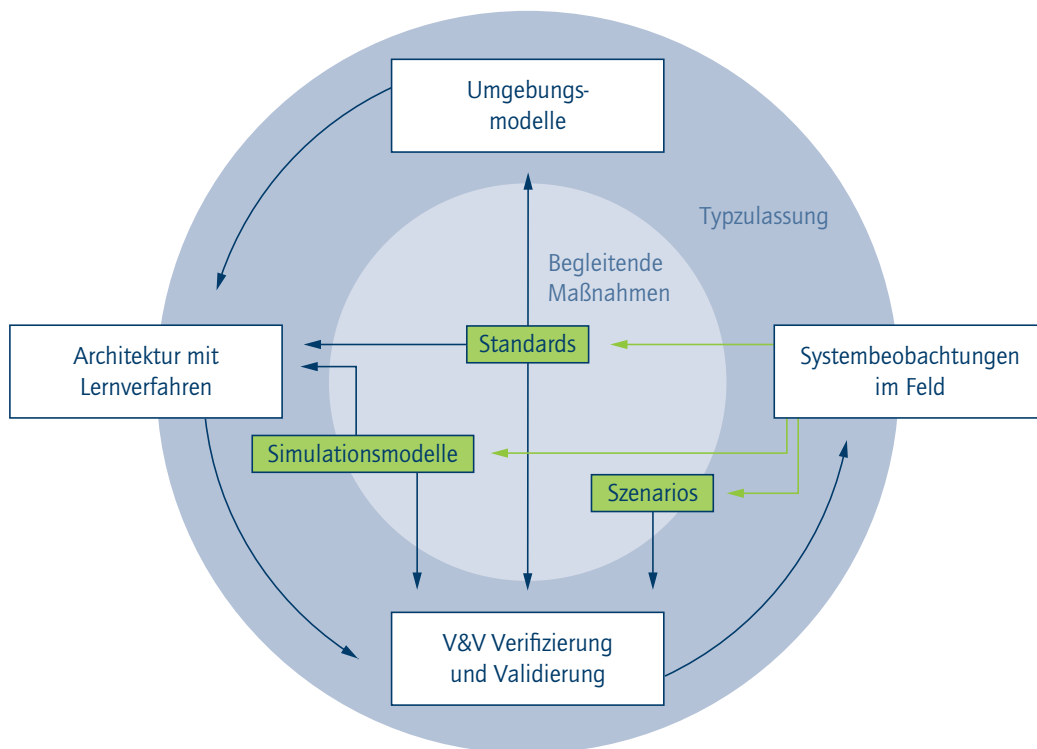


Abbildung 17: Elemente eines lernenden Systems für Funktionen zum vollautomatisierten und fahrerlosen Fahren (Quelle: in Anlehnung an safeTRANS)

Konzept entwickelt, welches die wichtigsten Elemente eines lernenden Systems für das autonome Fahren beschreibt (siehe Abbildung 17).

Die Abbildung 17 zeigt auf, dass auf Grund von Beobachtungen im Feld dreierlei Einwirkungen erfolgen: zum einen sind Erkenntnisse aus Feldbeobachtungen der Ausgangspunkt für Standardisierungsmaßnahmen, welche die Klasse der zu beherrschenden Umgebungssituationen etwa aus Sicht der Typ-Zulassung regeln. Daneben wird aus den gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet, welche Szenarien im Prozess der Verifikation und Validation berücksichtigt werden müssen. Des Weiteren setzen Erkenntnisse aus Feldbeobachtungen den Rahmen für das Design von Simulationsmodellen. Die ersten Grundlagen hierzu werden z. B. im BMWi-geförderten Forschungsprojekt PEGASUS, einem Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen, behandelt. Das im Rahmen der europäischen Privat-Öffentlichen Partnerschaft ECSEL JU geförderte Projekt ENABLES3 (European Initiative to Enable Validation for Highly Automated Safe and Secure Systems) behandelt erstmalig die notwendigen Prozesse und Werkzeuge zur Absicherung der Vollautomation. Intelligent gesteuerte Simulationsverfahren (Stichwort „Statistical Model-Checking“) werden eine zentrale Rolle zur Erzielung einer genügend hohen Konfidenz in der Funktionsabsicherung spielen. Da die zu beherrschenden Umgebungen und Szenarien immer komplexer werden, muss sich die Fahrzeugarchitektur an veränderliche Umgebungskomplexitäten anpassen, um im Feld erkannte, besonders kritische Situationen aufzufangen. Dies kann von Modellserie zu Modellserie geschehen oder durch Softwareupgrades.

Um den Prozess des kollaborativen Lernens mit abgesicherten Daten zu versorgen, benötigt man somit im Fahrzeug eine permanente und von anderen Systemen unabhängige Systembeobachtung. Diese muss als unabhängige Instanz zur Darstellung übergreifender Sicherheitsziele und Anforderungen agieren. Eine solche Einheit erhöht zudem das Sicherheitsniveau des gesamten Fahrzeuges. Für die Realisierung des kollaborativen Lernens ist es darüber hinaus notwendig, dass ein Konsens zwischen OEMs und öffentlicher Hand über die Ausgestaltung des Prozesses hergestellt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass hierzu zum Beispiel im Bereich der zivilen Luftfahrt Vorbilder existieren.

4.4.2 Security



Fahrzeuge weisen zunehmend mehr Schnittstellen auf (siehe Kapitel 4.3.2), wie zum Beispiel Bluetooth, WLAN, Mobilfunknetze oder V2X-Kommunikation (siehe Kapitel 4.5). Wie für jedes Computersystem stellt auch für das Fahrzeug die Kommunikation nach außen ein potenzielles Sicherheitsrisiko dar, da die Schnittstellen möglicherweise von Angreifern benutzt werden können, um auf die Elektronik im Fahrzeug zugreifen zu können. Der Sicherheitsaspekt ist kein Thema, das nur hochautomatisierte Fahrzeuge betrifft. Jedes Fahrzeug mit – insbesondere drahtlosen – Schnittstellen nach außen ist davon betroffen. Security wurde daher in den vergangenen Jahren bereits in Serienfahrzeugen adressiert. Allerdings fehlt derzeit ein ganzheitliches Konzept.⁷⁷ Das führt dazu, dass Sicherheitslücken einzelner Systeme zu einer Beeinträchtigung des Gesamtsystems führen. In den letzten Jahren erfolgreich durchgeführte Angriffe zeigen, dass dies auch bei Serienfahrzeugen grundsätzlich möglich ist.⁷⁸

Zur Adressierung der durch Sicherheitsbedrohungen induzierten Risiken ist es unabdingbar, Sicherheitslösungen bereits in der Konzeption des vernetzten Verkehrssystems wie auch im Fahrzeug selbst zu berücksichtigen. Da allerdings damit zu rechnen ist, dass stets neue Arten von Angriffen entwickelt werden, muss eine Resilienz des Gesamtsystems durch einen fortlaufenden Lern- und Adaptionprozess gewährleistet werden, ähnlich wie im Bereich Safety dargestellt. Um neu identifizierten Risiken entgegenzuwirken, ist es erforderlich, Komponenten der Security-Architektur im Feld aktualisieren zu können. Dieser dynamische Ansatz wird auch als Resilienz-by-Design bezeichnet und umfasst im Rahmen der Sicherheitsforschung Eigenschaften wie Robustheit, Flexibilität und Verfügbarkeit. Da durch Online-/Over-the-air(OTA)-Aktualisierungen zugleich eine Schnittstelle nach außen geschaffen wird, durch die tief in das System eingedrungen werden kann, bedingt diese aber selbst hohe Risiken, die durch hochwirksame Schutzmaßnahmen gegen Angriffe abgesichert werden müssen. Für eine Etablierung von IT-Sicherheitskonzepten bei Fahrzeugen im Rahmen der Sicherheitsarchitektur sind abgestimmte Richtlinien notwendig, die sowohl Safety als auch Security-Aspekte umfassen.

77 | Hoppe et al. 2008.

78 | Miller/Valasek 2014; Checkoway et al. 2011.



Zur Gewährleistung von Security werden in der Forschung und Entwicklung nicht nur die Systeme im Fahrzeug betrachtet (zum Beispiel Absicherung von Steuergeräten in der Trusted Computing Group (TCG)), sondern auch das Fahrzeug als System im System. So wurden im Forschungsprojekt CONVERGE offene und sichere Kommunikations-, Dienste- und Organisationsarchitekturen für Mobilitätsdienste entwickelt. Grundsätzlich muss Security bereits beim Entwurf der Systeme Berücksichtigung finden (Security by Design). Dabei gilt es nicht nur, den Schutz von persönlichen Daten, insbesondere Positionsdaten, sicherzustellen. Ebenso zentral ist die Gewährleistung, dass nur echte und unveränderte Informationen von zertifizierten Kommunikationsteilnehmenden verteilt werden. Nur so können empfangene, sicherheitsrelevante Informationen wie zum Beispiel die Position und Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmender bei der Aktionsentscheidung der fahrzeuginternen Automationssysteme und -funktionen bedenkenlos berücksichtigt werden.

Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Sicherstellung der Originalität beziehungsweise Qualität von Daten, die in Fahrfunk-

tionen genutzt werden. Anbieter derartiger Daten müssen freien Marktzugang erhalten. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass eine Nutzerin oder ein Nutzer derartiger Daten auch eine nach einem Standard vereinbarte Qualität erhält. Dies erfordert zwei wesentliche Strukturen im Backend:

- Eine PKI (Public-Key-Infrastruktur), um Zertifikate koordiniert zu emittieren, sodass nur qualifizierte Anbieter unterschiedliche Dienste und Daten für Fahrfunktionen bereitstellen können.
- Eine Zertifizierungsstelle, die diese Anbieter qualifiziert.

Diese Aspekte sind z.B. in der im Rahmen des CONVERGE-Projektes erarbeiteten Architektur veranschaulicht (siehe Abbildung 18). Dieser Architekturvorschlag muss diskutiert und weiterentwickelt werden, damit ein ganzheitlich abgestimmtes Verfahren zur Zertifizierung von Diensten- und Datenanbietern für Funktionen zum vollautomatisierten und fahrerlosen Fahren erarbeitet werden kann und rechtzeitig, d.h. mit Vorlauf von mehreren Jahren, vor einer möglichen Markteinführung von entsprechenden Fahrfunktionen zur Verfügung steht.

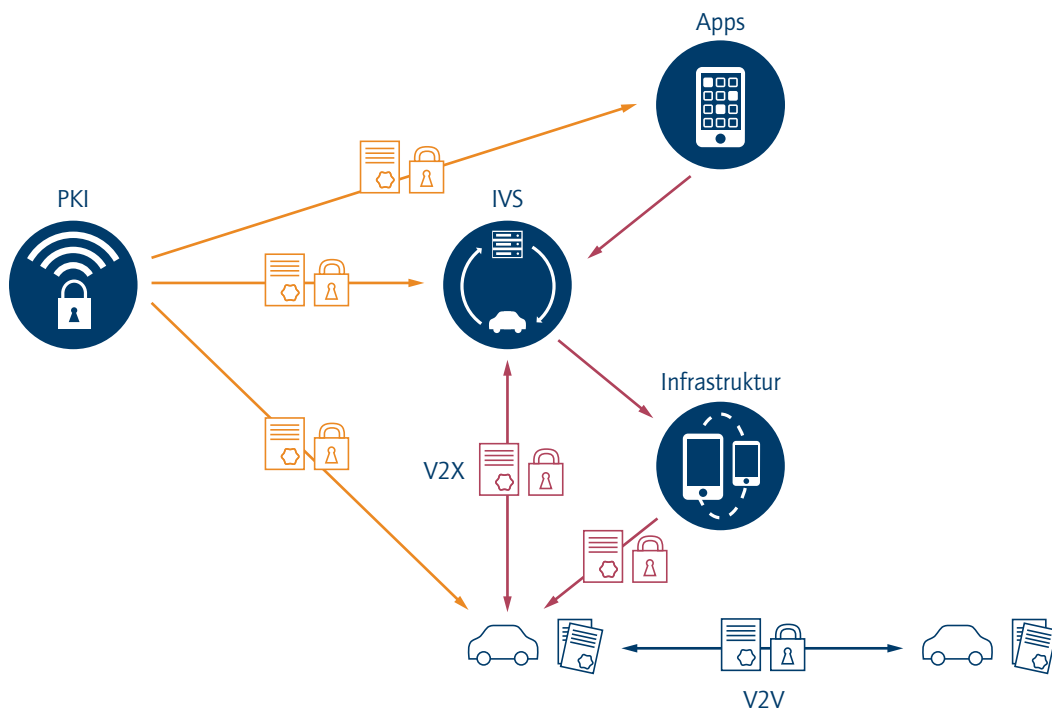


Abbildung 18: Architektur für die V2X-Kommunikation (Quelle: Converge-Broschüre)

4.4.3 Privacy und Datenschutz



Die Erfassung und Verarbeitung von Daten sowie Informationen aus verschiedenen Quellen sind für die Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs von zentraler Bedeutung. Zahlreiche Sensoren, Aktuatoren oder Kameras im Fahrzeug, aber auch digitale Karten oder Lichtsignalanlagen sammeln bereits heute Daten, klassifizieren diese und werten sie im Sinne einer Verbesserung des Straßenverkehrs aus. Die heutige Rechtsprechung sieht dabei vor: „Die Datenhoheit über die im Fahrzeug anfallenden Daten liegt de lege lata grundsätzlich beim Halter, da es sich um personenbezogene oder zumindest personenbeziehbare Daten handelt.“⁷⁹

Es gilt daher datenschutzrechtliche Vorgaben aktiv weiterzuentwickeln, um das Recht auf informationelle Selbstbestimmung und weitere datenschutzrechtliche Grundlagen wie das Prinzip der Zweckbindung personenbezogener Daten mit datenbasierten Diensten der vernetzten Mobilität in Einklang zu bringen. Zum Beispiel muss hierbei geprüft werden, auf welcher Rechtsgrundlage das Zusammenführen von Daten aus verschiedenen Quellen erfolgen soll, wenn laut Artikel 5 Abs. 1 lit b der EU-Datenschutz-Grundverordnung (EU-DS-GVO) personenbezogene Daten nur für zuvor festgelegte Zwecke erhoben werden dürfen. Die Wahrung von Transparenz bei der Erhebung und Verarbeitung persönlicher Daten sowie deren Schutz sind wichtige Kriterien für die öffentliche Akzeptanz des automatisierten und vernetzten Fahrens. Datenschutz und -sicherheit sowie damit zusammenhängend die Gewährleistung der Privatsphäre der einzelnen Nutzerin und des einzelnen Nutzers sind dementsprechend ein überaus wichtiger Schlüssel für den Erfolg der Neuen autoMobilität und ein wichtiges Handlungsfeld für alle beteiligten Akteure. Gerade im internationalen Wettbewerb kann die zuverlässige Gewährleistung von Datenschutz ein entscheidender Wettbewerbsvorteil für deutsche Unternehmen sein.

Ab 2018 bestimmen internationale Vereinbarungen im Rahmen des Genfer Abkommens, der UNECE-Regelungen sowie die europaweit geltende EU-DS-GVO die Grundsätze in Bezug auf Datenschutz.⁸⁰ Diese geben den Rahmen für das Design und die Entwicklung von Anwendungen und Funktionen des automatisierten und vernetzten Fahrens vor. Die UNECE-Gruppe WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations) hat innerhalb

der informellen Gruppe Intelligente Verkehrssysteme und Automatisiertes Fahren zudem Richtlinien für Cybersicherheit und Datenschutz vorgeschlagen, die als Grundlage für die globale Harmonisierung der Fahrzeugspezifikationen seitens der Hersteller, Zulieferer und Dienstleister dienen sollen.

Die EU-DS-GVO ist insbesondere für das automatisierte und vernetzte Fahren innerhalb der Europäischen Union von großer Bedeutung. Sie schreibt Grundsätze und Vorschriften zur Verarbeitung personenbezogener Daten fest.⁸¹ Im Gegensatz zu anderen Rechtskulturen (wie in den USA) dürfen Unternehmen laut EU-DS-GVO grundsätzlich nur dann persönliche Daten verarbeiten – dies beinhaltet das Erfassen, Ordnen, Speichern, Veränderung, Übermittlung etc. – wenn gesetzliche Vorschriften zur Erhebung vorliegen, eine ausdrückliche Einwilligung von der betroffenen Person eingeholt wurde oder eine Interessenabwägung dies rechtfertigt (Artikel 6 Absatz 1 in Verbindung mit Artikel 7, 8, 3 Absatz 8). Die Erarbeitung einer Regelung zur Nutzung personenbezogener Daten für die Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen, die weder fahr- noch sicherheitskritische Daten benötigen, muss daher kritisch geprüft werden. Denn eine Vorschrift zur Verarbeitung dieser Daten ist mehr als eine Interessenabwägung, sie berührt möglicherweise allgemeine Grundsätze wie das Recht auf informationelle Selbstbestimmung.

Hinsichtlich der Verarbeitung personenbezogener Daten gilt nach EU-DS-GVO des Weiteren:

- Zweckbindung: Personenbezogene Daten können nur für festgelegte, eindeutige und legitime Zwecke erhoben, verarbeitet und genutzt werden. Eine Weiterverarbeitung in einer nicht mit diesen Zwecken zu vereinbarenden Weise ist nicht möglich (Artikel 5 Absatz 1 lit. b). Ausnahme besteht hinsichtlich der Weiterverarbeitung für im öffentlichen Interesse liegende Archivzwecke, für wissenschaftliche oder historische Forschungszwecke oder für statistische Zwecke gemäß Artikel 89, Absatz 1.
- Transparenz: Mit der Datenverarbeitung gehen außerdem Informationspflichten für die Verantwortlichen einher. Die Verantwortlichen (zum Beispiel Unternehmen) müssen die betreffende Person sofort bei der Erhebung von Daten über die Datenverarbeitung informieren, falls diese nicht bereits über die entsprechenden Informationen verfügt (Artikel 13). So muss beispielsweise über die Rechtsgrundlage der Datenverarbeitung, die Dauer der Datenspeicherung ebenso wie über

79 | Hilgendorf 2015b.

80 | Die EU-DS-GVO ähnelt stark dem Bundesdatenschutzgesetz (BDSG). Da sich das Zielbild für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr auf das Jahr 2030 bezieht, konzentriert sich die datenschutzrechtliche Betrachtung auf die EU-DS-GVO. Alle im Folgenden erwähnten Artikel beziehen sich auf die EU-DS-GVO.

81 | Per Definition im EU-DS-GVO schließen personenbezogene Daten sowohl identifizierte als auch identifizierbare Daten einer natürlichen Person ein. Letztere werden häufig auch als personenbeziehbare Daten bezeichnet.



mögliches „Profiling“ in Kenntnis gesetzt werden. Die beziehungsweise der Betroffene verfügt außerdem über weitreichende Auskunftsrechte, zum Beispiel über Verarbeitungszwecke (Artikel 15).

- **Recht auf Vergessenwerden:** Zugleich stehen der Nutzerin oder dem Nutzer nicht nur Rechte auf Berichtigung und Löschung der personenbezogenen Daten zu, sondern ein Recht auf Vergessenwerden. Eine Person hat beispielsweise das Recht, die Löschung der primären und weitergegebenen Daten zu fordern, wenn die Speicherung der Daten nicht mehr notwendig ist, die oder der Betroffene seine Einwilligung zur Datenverarbeitung widerrufen hat oder wenn Daten unrechtmäßig verarbeitet wurden (Artikel 17).
- **Datenminimierung:** Laut europäischer Datenschutzgrundverordnung dürfen nur die personenbezogenen Daten erhoben werden, die benötigt werden (Artikel 5 Absatz 1 lit c). Die Dauer der Aufbewahrung der Daten richtet sich ebenfalls nach dem Zeitraum der Benutzung. Datenerhebungen müssen somit zweckangemessen sowie die erhobenen personenbezogenen Daten auf das zur Verarbeitung notwendige Maß begrenzt sein.
- **Datensicherheit:** Unternehmen, die personenbezogene Daten erheben, verarbeiten oder nutzen, müssen den unzulässigen Umgang Dritter mit den Daten durch organisatorische und technische Maßnahmen wie Verschlüsselung verhindern. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat bereits 2007 in einer Studie die Sicherheitsanforderungen herausgearbeitet, die die Rechtsordnung in Form von Spezialgesetzen und durch die Auslegung bestehender allgemeiner Rechtsvorschriften gegenwärtig an die Herstellung und den Einsatz von IT stellt. Derzeit wird eine entsprechende UNECE-Regelung („Guidelines for Cybersecurity and Data Protection“) im Rahmen der informellen Arbeitsgruppe (Working Group 29, ITS AD) entwickelt. Der Aspekt Datensicherheit wird zukünftig einen wichtigen Teilaspekt der Produktsicherheit darstellen und hat somit unmittelbar haftungsrechtliche Folgen (siehe Kapitel 4.6).
- Laut EU-DS-GVO soll die Sicherheit bei der Verarbeitung von Daten sowie Datenminimierung wenn möglich durch Maßnahmen der Verschlüsselung oder Pseudonymisierung gewährleistet werden (Artikel 25 und Artikel 32). Unter Pseudonymisierung versteht die EU-DS-GVO die Verarbeitung personenbezogener Daten „in einer Weise, dass die perso-

nenbezogenen Daten ohne Hinzuziehung zusätzlicher Informationen nicht mehr einer spezifischen betroffenen Person zugeordnet werden können“ (Artikel 4 Absatz 5, siehe auch Privacy by Design).⁸²

- **Datenübertragbarkeit:** Mit der europäischen Datenschutzgrundverordnung besitzen Personen das Recht, die sie betreffenden personenbezogenen Daten, die sie einem für die Verarbeitung Verantwortlichen bereitgestellt haben, in einem strukturierten, gängigen und maschinenlesbaren Format zu erhalten. Darüber hinaus hat die oder der Betroffene das Recht, diese Daten einem anderen für die Verarbeitung zu übermitteln.

Grundsätzlich müssen notwendige Daten für das automatisierte und vernetzte Fahren, wie beispielsweise für Verkehrsanalysen, nicht zwangsläufig in einer Form erfasst werden, die Rückschlüsse auf die Identität des Individuums zulässt.⁸³ Das gilt im Besonderen für aggregierte Daten wie Verkehrs- und Stauanalysen. Genauso muss nicht jede Interaktion zwischen Fahrzeugen zwangsläufig eine Identifizierung der Individuen zulassen.⁸⁴ Insbesondere mit der Einführung von sogenannten Data-Mining-Methoden, die eine Reidentifikation von personenbezogenen Daten aus großen Datensätzen ermöglicht, muss über das automatisierte Fahren hinaus für jegliche datenbasierte Technologie eine Überprüfung des Datenschutzrechts stattfinden.⁸⁵

Privacy by Design

Datenschutz ist wirkungsvoll und gleichzeitig kostengünstig, wenn dieser schon bei Design und Entwicklung von digitalen Anwendungen berücksichtigt wird. So müssen Datenschutzprobleme nicht erst im Nachhinein zeitaufwendig durch Korrekturprogramme behoben werden.⁸⁶ Die EU-DS-GVO greift diese Idee von „Privacy by design“ in Artikel 25 auf, wonach Datenschutz durch Technikgestaltung und datenschutzfreundliche Voreinstellungen gewährleistet werden soll. Die oder der Verantwortliche ist somit verpflichtet, technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen, damit die für die Datenverarbeitung notwendigen Mittel den Datenschutzgrundsätzen gerecht werden und dafür ausgelegt sind, die Rechte der betreffenden Personen zu schützen.

Einige Leitfragen für das automatisierte und fahrerlose Fahren lauten daher folgendermaßen:

82 | Wenn die einer Pseudonymisierung unterzogenen personenbezogenen Daten durch Heranziehung zusätzlicher Informationen einer natürlichen Person zugeordnet werden könnten, werden sie laut EU-DS-GVO als Informationen über eine identifizierbare natürliche Person betrachtet (Erwägungsgrund 26) – sie fallen damit in den Anwendungsbereich der Verordnung. Daten, die in einer Weise anonymisiert wurde, dass die betroffene Person nicht mehr identifiziert werden kann, sind nicht von der Verordnung betroffen.

83 | Rannenberg 2015, S. 534.

84 | Ebd.

- Welche Daten sind vor dem Grundsatz der Datenminimierung wirklich notwendig, um eine tatsächliche Verbesserung der Fahrsituation zu erreichen?
- Welche Daten sind zwangsläufig personenbezogen, während andere Daten pseudonymisiert und anonymisiert werden können?
- Wie kann die Einwilligung zur Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten nutzerfreundlich und transparent gestaltet werden?
- Wie können Daten nachträglich nutzerfreundlich gelöscht werden?
- Wie wird die Datensicherheit gewährleistet?

Personenbezogene Daten

Für die ersten zwei Fragestellungen des Privacy-by-Design-Gedankens ist die Kategorisierung der erhobenen, verarbeiteten und genutzten Daten für das vernetzte und automatisierte Fahren notwendig. Dabei wird deutlich, dass die Funktionalität automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen grundsätzlich durch anonymisierte oder pseudonymisierte Daten ermöglicht wird. Personenbezogene Daten werden vor allem für die Realisierung neuer begleitender Anwendungen und datenbasierter Mobilitätsdienste erhoben (siehe Kapitel 3.5).

Aus den drei letzten Fragen ergeben sich drei Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung mit einem Fokus auf den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr⁸⁷:

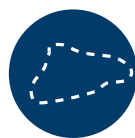
- Methoden des Vergessenwerdens: Die Idee des „Vergessenwerdens“ geht über das Löschen von Primärdaten, die Dienste direkt von Nutzenden sammeln, hinaus und bezieht auch weitergegebene Daten und durch Auswertung gewonnene Informationen ein. Was „Vergessenwerden“ im Detail für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr bedeutet, wird aber weder genau verstanden noch kann es bis heute umfassend umgesetzt werden. Deshalb bedarf es einer tiefgehenden Auseinandersetzung mit dieser Idee, die sowohl technischer als auch philosophischer Natur sein sollte.
- Ausgestaltung der Nutzerfreundlichkeit: Technologien, die Privatheit schützen, werden häufig gar nicht oder nicht so eingesetzt, wie es zur Entfaltung ihrer vollen Wirksamkeit notwendig wäre. Ein Grund dafür ist, dass ihre Verwendung zu kompliziert ist und mit dem Bedürfnis kollidiert, einen

Dienst auf möglichst einfache Art und Weise zu nutzen. Für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr sind beispielsweise nutzerfreundliche Funktionsanzeigen im Fahrzeug zur Nutzung von Daten zu entwickeln.

- Gewährleistung von IT-Sicherheit: Wirkungsvoller Datenschutz setzt voraus, dass die verwendeten grundlegenden Techniken hinreichend sicher sind. Das ist aber nicht garantiert. Kryptologische Verfahren, die heute sicher sind, können morgen unsicher sein. Das erfordert eine kontinuierliche Arbeit an bestehenden Techniken ebenso wie neue grundlegende Schutztechniken (siehe Kapitel 4.4.2).

Um automatisiertes Fahren aus datenschutzrechtlicher Sicht sowohl rechtskonform als auch praxisorientiert zu ermöglichen, sind einheitliche Modelle der Datennutzung zu entwerfen. So ist etwa ein mehrstufiges Modell mit personenbezogenen, pseudonymisierten und anonymisierten Datenkategorien denkbar, welches jegliche Kategorien der Verarbeitung einschließt.

4.4.4 Exkurs: Testverfahren



Fahrzeuge und auf dem Markt verfügbare Assistenzsysteme werden gewöhnlicher Weise im Labor, auf dem Prüfgelände und im Feld erprobt und abgesichert. Dabei wird zunehmend versucht, den mit Realfahrten verbundenen hohen Aufwand durch Labortests zu reduzieren. Bei diesen werden Komponenten und ganze Systemverbände in X-in-the-loop-Tests (Software-in-the-Loop, Hardware-in-the-Loop und Vehicle-in-the-Loop) durch automatische Testsequenzen abgeprüft. Da sich in der Praxis eine vollständige Analyse des Zustandsraumes häufig als unmöglich darstellt, kommen zunehmend simulationsbasierte Verfahren zum Einsatz. Insbesondere bei Fahrerassistenzfunktionen, bei denen eine Wechselwirkung mit anderen Fahrzeugen besteht (beispielsweise ACC, Notbremsassistent), ist es für eine systematische Erprobung erforderlich, die Zustände aller Versuchsfahrzeuge präzise einzustellen.⁸⁸ Die finale Absicherung im Feld hat als eine wesentliche Zielsetzung nachzuweisen, dass die Systeme auch unter widrigen Bedingungen im Feld wirksam sind oder zumindest nicht nachteilhaft wirken⁸⁹, aber auch mögliche Fehlfunktionen nur in akzeptabler Häufigkeit auftreten und in allen Fällen beherrschbar sind. Die Aufgabe der Felderprobung ist demnach das Aufspüren nicht getesteter Fälle im Sinne der

85 | Hilgendorf 2015c.

86 | Schaar 2010: vgl. auch Ranneberg 2015.

87 | Buchmann 2013.

88 | Schöner et al. 2011.

89 | Breuer et al. 2015.



Funktion, die Quantifizierung dieser Fälle und – gemeinsam mit anderen Methoden – der Nachweis der Beherrschbarkeit dieser Fälle. Die Durchführung einer Felderprobung ist mit einer Laufleistung von 10^5 bis zu 10^6 Kilometern sehr zeitintensiv.⁹⁰ Um diese Tests effizienter zu gestalten und die Laufleistung zu reduzieren, wird der Fokus basierend auf Erfahrungswerten auf Worst-Case-Strecken gelegt.⁹¹

Ab Automatisierungsstufe 3, dem hochautomatisierten Fahren, entfällt die Rückfallebene des Menschen, da die Fahrenden über keine Überwachungsaufgabe mehr verfügen und erst nach einer ausreichenden Zeitreserve übernehmen müssen. Die Automation wird daher mit einer Vielzahl von potenziellen Verkehrssituationen konfrontiert, die sie selbstständig bewältigen muss. Hieraus ergeben sich zwei wesentliche Forschungsfragen: Mit welchen Situationen muss die Automation in dem definierten Anwendungsfall umgehen können und wie kann getestet werden, dass sie diese sicher bewältigt?

In Bezug auf Methoden zur Situationsbeschreibung kann auf bereits existierende Ansätze zurückgegriffen werden (zum Beispiel ebenenbasierte Beschreibung, Situationskataloge, Klassifikationsschemata). So wurde im Forschungsprojekt HAVEit eine Methode zur Beschreibung von Szenarien und Transitionen entwickelt und in den Projekten (AdaptIVe; interactIVe) ein Klassifikationsschema sowie eine Bewertungsmetrik für Assistenzsysteme erarbeitet. Wachenfeld et al. (2015) liefern eine formale Beschreibung von Einsatzszenarien für autonomes Fahren anhand von Merkmalen.⁹² Die Identifikation und Beschreibung der Gesamtheit aller möglichen Verkehrssituationen wurde bisher jedoch nicht angestrebt. Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere auch bei der umfassenden Bewertung der Kritikalität dieser Situationen. Diese ist jedoch für einen Vergleich der menschlichen und maschinellen Leistungsfähigkeit notwendig. Ebenso fehlt derzeit eine Kritikalitätsmetrik mit dem Ziel, Situationen hinsichtlich sicherheitskritischer Aspekte zu vergleichen, um dadurch Rückschlüsse auf deren Relevanz zu gewinnen.

Im Bereich Testdurchführung besteht eine Herausforderung in dem Umgang mit den Felderprobungen im öffentlichen Straßenraum, die derzeit den wichtigsten Teil der Absicherung zur Freigabe darstellen. Um statistisch belastbare Aussagen darüber treffen zu können, ob ein hoch- oder vollautomatisiertes System sicherer agiert als ein menschlicher Fahrer, ist eine erheblich höhere Fahrleistung erforderlich als derzeit bei Tests für Serienfahr-

zeuge erbracht wird. Da speziell die kritischen Situationen interessant sind, gilt dies im Besonderen für solche Fahraufgaben, die auf die Fahrleistung gerechnet zu wenigen Unfällen führen, wie eine Fahrt auf der Autobahn. Es sind jedoch genau diese verhältnismäßig einfachen Szenarien, die voraussichtlich von den ersten hochautomatisierten Systemen auf dem Markt adressiert werden. Aus diesem Grund besteht die dringende Notwendigkeit, Wege aus dieser auch als „Freigabefälle“ bezeichneten Situation zu finden. Eine Möglichkeit liegt darin, Funktionen zur Hochautomation in Serienfahrzeuge zu integrieren und im Rahmen einer maximal teilautomatisierten Fahrzeugführung zu evaluieren. Zwar entspricht der Situationsverlauf infolge der Eingriffe der Fahrerin beziehungsweise des Fahrers nicht der Hochautomationsfunktion und lässt daher nur begrenzt Rückschlüsse zu. Doch lassen sich sehr hohe Laufleistungen von 10^8 bis 10^9 Kilometern erzielen.⁹³

Eine weitere Schwierigkeit bei Felderprobungen im öffentlichen Straßenraum liegt in der Auswertung. Für diese müssen möglichst detaillierte Informationen beispielsweise über den Fahrzeugzustand, den Zustand von Fahrzeugen in der Umgebung und Umweltbedingungen zur Verfügung stehen. Es sind hierzu von der Fahrzeugsensorik unabhängige Informationsquellen notwendig, wie zum Beispiel entsprechend ausgestattete Testfelder. Einen weiteren neuen Aspekt bilden Prüfgeländetests für automatisierte Fahrzeuge. Während in herkömmlichen Funktionen die Testfahrerin oder der Testfahrer das Fahrzeug an seine Systemgrenzen bringen konnte, muss bei einer zu testenden Automation die Umgebung so verändert werden, dass das System an seinen Systemgrenzen getestet werden kann. Hierzu sind neue Testgelände mit der Möglichkeit zur Veränderung zum Beispiel von Witterungsbedingungen und mit einer erhöhten Anzahl weiterer Verkehrsteilnehmender erforderlich. Fragen zur exakten und reproduzierbaren Testdurchführung, die sich bereits bei Prüfgeländetests teilautomatisierter Funktionen stellen, müssen verstärkt betrachtet werden.⁹⁴ Die Anforderungen an Prüfgeländetests und deren Umsetzung werden derzeit vor allen bei OEMs, aber auch an Forschungseinrichtungen erforscht. Mit der erhöhten Komplexität bei Tests mit Realfahrten werden simulationsbasierte Tests (X-in-the-loop) zunehmend wichtiger. Hier wird es notwendig sein, zunehmend reale Daten (automatisiert) als Modellierungshilfe einsetzen zu können (siehe Kapitel 4.5.3). Tests kooperativer Anwendungen erfordern eine Kopplung von Simulatoren.

90 | Winner/Wachenfeld 2013.

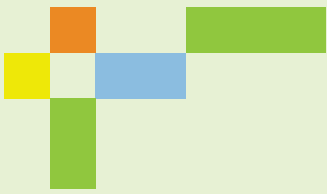
91 | Glauner et al. 2012; Winner/Wachenfeld 2013.

92 | Wachenfeld et al. 2015.

93 | Wachenfeld/Winner 2015.

94 | Vgl. Schöner et al. 2011.

Hinsichtlich einer Zulassung der Automationsfunktion müssen noch verifizierte Modelle für Umfeldsensoren, Szenenmodelle, Funktionsmodelle und Verhaltensmodelle von Verkehrsteilnehmenden entwickelt werden. Diese wurden in Bezug auf hochautomatisiertes Fahren beispielsweise im Projekt PEGASUS (siehe Kapitel 4.4.1) behandelt. Allerdings besteht Bedarf, eine Erweiterung der Validation und Verifikation für vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge (Stufen 4 und 5 der Automatisierung, siehe Abbildung 1) zu unternehmen. Ebenso ist die weitere Entwicklung zur Einführung der Freigabeprozesse zwingend notwendig, um insbesondere auch die Fahrzeugvariantenvielfalt (zum Beispiel beim Update einzelner Komponenten) marktgerecht zu beherrschen.



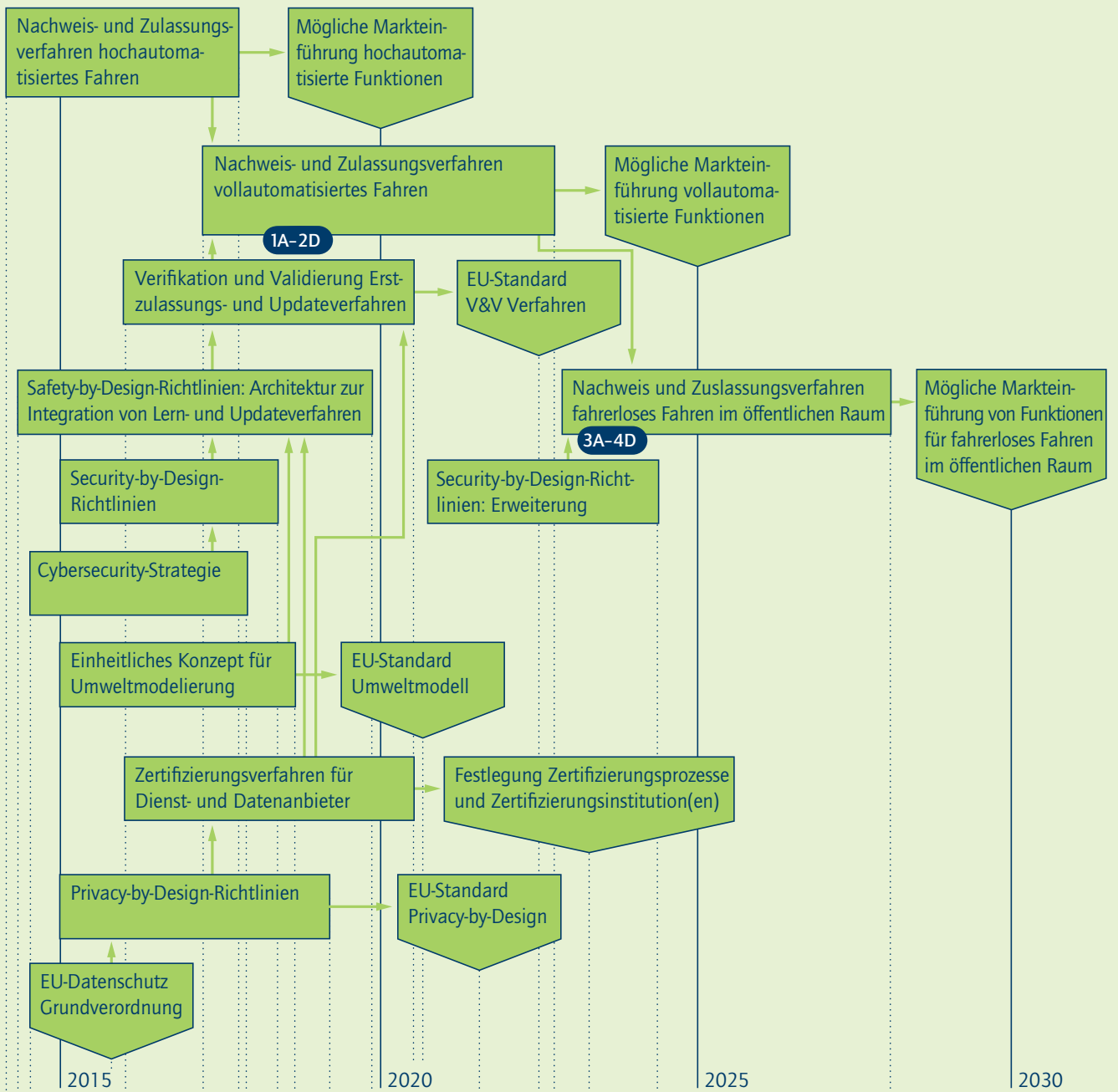
Safety



Security



Privacy und Datenschutz



1A Verweis auf Nutzungsszenario ⬠ Meilenstein

Abbildung 19: Roadmap Safety, Security, Privacy und Datenschutz (Quelle: eigene Darstellung)

Kategorie Sicherheit: Zusammenfassung

Das Thema Sicherheit ist ein Kernaspekt des automatisierten Fahrens. Um das automatisierte Fahren nachweislich sicher zu gestalten und gleichzeitig den Datenschutz zu gewährleisten müssen neue Verfahren und Prozesse entwickelt und umgesetzt werden. Die Berücksichtigung von Safety, Security und Privacy (Datenschutz) bereits in der Entwurfsphase legt hierzu die Grundlage. Um die entwickelten Funktionen im Rahmen eines Zulassungsprozesses verifizieren und validieren zu können, sind standardisierte Verfahren und Tests erforderlich. Es reicht hierbei jedoch nicht aus, dass das automatisierte Fahrzeug und das vernetzte Mobilitätssystem zum Zeitpunkt der Zulassung als sicher gelten. Vielmehr muss ein fortlaufender Lern- und Adaptionsprozess sicherstellen, dass auf Grundlage von Systembeobachtungen im Feld auch neue Risiken identifiziert werden können und diesen z.B. durch Online-Aktualisierungen entgegengewirkt werden kann. Diese Lern- und Aktualisierungsmechanismen steigern die Robustheit der Systeme (auch als Resilienz bezeichnet). Diese muss Teil der zukünftigen Sicherheitsarchitektur für automatisierte Fahrzeuge werden (Safety-by-design). Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge wird maßgeblich von Daten getrieben. Die Nutzung von externen Daten beispielsweise für Fahrfunktionen setzt jedoch voraus, dass sowohl die Kommunikation vor Angriffen geschützt wird (Cybersecurity) als auch dass die Daten authentisch sind und in einer vorher vereinbarten Qualität vorliegen („Security-by-design“). Hierzu müssen Zertifizierungs- und Standardisierungsmaßnahmen entwickelt und etabliert werden.

Im Zusammenhang mit der Speicherung und Nutzung personenbezogener Daten wird darüber hinaus das Thema Datenschutz relevant. Ein effektiver und gleichzeitig kostengünstiger Ansatz, Datenschutz zu gewährleisten, liegt darin, diesen bereits bei der Konzeption und Entwicklung zu berücksichtigen (Privacy-by-design). Damit Datenschutz gelingt und gleichzeitig attraktive Geschäftsmodelle möglich sind, müssen geeignete Datenschutzmodelle entwickelt werden welche die unterschiedlichen Anforderungen an die Datennutzung in Einklang bringen.

Für einige Richtlinien müssen internationale Standards (mindestens EU-weit gültig) definiert werden, da Funktionsanbieter nur auf einer solchen Grundlage die Entwicklung von Automationsfunktionen (hinsichtlich der Sicherheit) ökonomisch sinnvoll und anbieterübergreifend einheitlich voranbringen können.



4.5 Vernetztes Mobilitätssystem

Die Mobilität von Personen und Gütern wird durch ein System aus Infrastrukturen, Fortbewegungsmitteln und den damit verbundenen Dienstleistungen gewährleistet. Die Infrastrukturen umfassen straßenbauliche, verkehrstechnische und informationstechnische Elemente. Für das Zusammenspiel aller Elemente dieses Mobilitätssystems werden Regeln benötigt, welche die Sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit sicherstellen. Da das Mobilitätssystem eine wesentliche Voraussetzung für Teilhabe, wirtschaftliche Entwicklung und Wohlstand der Bevölkerung ist, stellt es eine der Grundlagen für ein funktionierendes Gemeinwesen dar.

Das Mobilitätssystem als eine der wichtigen Grundlagen des Gemeinwesens herzustellen und abzusichern ist eine staatliche Aufgabe. Das betrifft die Bereitstellung von robuster öffentlicher Infrastruktur sowie Regeln für deren Nutzung. Zielsetzung des staatlichen Handelns muss es dabei sein, die Sicherheit und Umweltverträglichkeit des Mobilitätssystems sowie die Daseinsvorsorge für alle Bürger mit möglichst geringen Vorgaben und Regulierungen zu erreichen. Gleichzeitig sind die erforderlichen Rahmenbedingungen für eine adäquate privatwirtschaftliche Beteiligung zu schaffen, um die kostengünstige Erstellung und den effizienten Betrieb des Mobilitätssystems zu ermöglichen. Automatisiertes Fahren wird im Zusammenspiel mit den Informations- und Kommunikationstechnologien zu neuen Mobilitätsangeboten führen, welche die Mobilität von Menschen und Gütern verbessern, die Beanspruchung der Umwelt reduzieren und die Teilhabemöglichkeiten für Bürgerinnen und Bürger schaffen werden, die unter heutigen Bedingungen nicht erreichbar sind. Grundlage für diese wünschenswerte Entwicklung ist die Schaffung der infrastrukturellen und ordnungsrechtlichen Voraussetzungen sowie geeigneter Rahmenbedingungen für innovative Geschäftsmodelle.

4.5.1 Straßenbauliche und verkehrstechnische Infrastruktur



Die straßenbauliche Infrastruktur ist der sichtbarste Bestandteil des Mobilitätssystems. Sie umfasst den Baukörper der Straße als Fahrweg, einschließlich der Beschilderung (§ 39 (2) Straßenverkehrsordnung (StVO) der Fahrbahnmarkierungen (§ 39 (5) StVO), der Leiteinrichtungen (§ 43 (3) StVO) und der Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Die Automatisierung ab Stufe 3 der Au-

tomatisierung (siehe Abbildung 1) erfordert für die Bestandteile der baulichen Infrastruktur mindestens ein verlässliches Qualitätsmanagement für bereits bestehende Standards. Darüber hinaus wird für höhere Automatisierungsstufen (ab SAE-Level 4) eine Erweiterung der Funktionalität notwendig. Der Verbesserungsbedarf des Qualitätsmanagements für vorhandene Standards und der Erweiterungsbedarf werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Fahrbahnmarkierungen definieren den zulässigen Fahrbereich. Die Beschilderung regelt die zulässige Art und Weise der Benutzung. Insofern ist ihre Vollständigkeit und Konformität mit den Richtlinien eine wesentliche Voraussetzung für den gesamten Fahrverkehr. Die Markierungen und die Beschilderung sind entsprechend § 39 StVO und den Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS)⁹⁵ vorzusehen. Ihre Sichtbarkeit und Widerspruchsfreiheit ist regelmäßig entsprechend Verwaltungsvorschrift (VVV) StVO § 45 (3) und nach dem Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen (M DV)⁹⁶ zu überprüfen. Die Praxis zeigt jedoch, dass insbesondere Markierungen vielerorts weder vollständig vorhanden noch richtlinienkonform ausgebildet sind. Häufig sind sie auch durch vielfaches Überfahren abgenutzt und kaum noch sichtbar. Eine Fahrzeugführerin oder ein Fahrzeugführer ist in der Regel trotz fehlender, mangelhafter oder nicht sichtbarer Straßenmarkierungen imstande, die Verkehrsregeln richtig zu interpretieren. Im Zweifel muss die Fahrerin oder der Fahrer entsprechend § 3 StVO die Geschwindigkeit den Verhältnissen anpassen und darauf achten, dass keine Andere beziehungsweise kein Anderer geschädigt, gefährdet oder über das Unvermeidliche hinaus behindert oder belästigt wird (§ 1 StVO). Um die Sicherheit auf für automatisiertes Fahren freigegebenen Abschnitten zu gewährleisten, muss jedoch die Vollständigkeit und Richtlinienkonformität der Fahrbahnmarkierungen und der Beschilderung in vollem Umfang abgesichert werden. Der Turnus von Verkehrsschauen sowie die Indikationen für anlassbezogene Inspektionen müssen gegebenenfalls angepasst werden. Fahrbahnmarkierungen sind für die maschinelle Wahrnehmung in manchen Fällen zudem nicht eindeutig interpretierbar. So darf beispielsweise bei temporärer Seitenstreifenfreigabe die Fahrstreifenbegrenzungslinie überfahren werden. Für die eindeutige Regelung und für die bessere Interpretierbarkeit durch die maschinelle Umfelderkennung ist zu erwägen, ob neue eindeutige Fahrbahnmarkierungen entwickelt und eingeführt werden. Für höhere Automatisierungsgrade wird es zudem erforderlich sein, Markierungen für die maschinelle Wahrnehmung durch weitere optische und elektronische Informationen

95 | FGSV 1980, FGSV 1993.

96 | FGSV 2013.

besser erkennbar und interpretierbar zu machen. Dies ist notwendig, um insbesondere bei schneebedeckter oder verschmutzter Fahrbahn beziehungsweise bei schlechten Sichtbedingungen zu einer höheren Sicherheit beizutragen.

Mit der Einführung des automatisierten Fahrens kommt eine neue Nutzergruppe zu den vorhandenen Verkehrsteilnehmenden hinzu. Daraus ergeben sich neue Kombinationen der gemeinsamen und exklusiven Straßenraumnutzung. Bei rein automatisiertem Fahren können deutlich höhere Kapazitäten der Straßen erreicht werden. Im Sinne der besseren Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ist aus diesem Grunde zu untersuchen, ob Modelle der exklusiven Fahrbahnnutzung automatisierter Fahrzeuge auf mehrspurigen Autobahnen sich positiv auf den gesamten Verkehrsfluss auswirken. Hierfür wäre beispielsweise eine Kennzeichnung entsprechend Z 245 StVO und eine Anpassung des Rechtsfahrgebotes nach § 2 StVO erforderlich. Diese und andere Möglichkeiten für die straßenverkehrsrechtliche Festlegung der Benutzungsmöglichkeiten des Verkehrsraums durch verschiedene Verkehrsteilnehmergruppen (autonome und manuell gesteuerte Fahrzeuge, Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrende) müssen durch die StVO ermöglicht und in der Infrastruktur abgebildet werden.

Die verkehrstechnische Infrastruktur besteht aus Verkehrsschildern und Lichtsignalen (wie zum Beispiel Ampeln). Der aktuelle Schaltzustand und die Prognose der zukünftigen Schaltzustände von Lichtsignalen (entsprechend § 37 StVO und der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) ist für effiziente Fahrstrategien automatisierter Fahrzeuge von hoher Bedeutung. Informationen zu Schaltzeiten müssen dazu flächendeckend bereitgestellt werden. Eine gesonderte Betrachtung bedürfen Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf Autobahnen. Bei dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen (dWiSTA) beispielsweise sind Inhalte frei programmierbar. Die Interpretation der Informationen ist für die maschinelle Wahrnehmung schwierig. Es ist zu untersuchen, wie die Informationen in standardisiertem Format an automatisierte Fahrzeuge übertragen werden können.

4.5.2 Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur



Eine Voraussetzung für den sicheren und stabilen Betrieb eines komplexen, vernetzten Mobilitätssystems sind leistungsfähige Kommunikationsnetze mit den dazugehörigen Infrastruktu-

ren sowie den benötigten Daten und Diensten. Zu den Aspekten, die in Systemen mit sicherheitskritischem Charakter wie dem automatisierten Fahren unbedingt Beachtung finden sollten, zählen Verfügbarkeit (unter anderem Coverage), Latenzzeit, (gesicherte) Datenrate/Durchsatz und Zuverlässigkeit.

Existierende Anwendungen, die auf der Vernetzung von Fahrzeugen basieren (siehe Kapitel 4.3.2), umfassen Routenplanung, Stauwarnungen, Parkplatzinformationen, Assistenz bei Fahrzeugdiebstahl und Fahrzeugfernsteuerung sowie Mobilitätsdienste, Carsharing und Mitfahrvermittlungen (Ride Sharing). Typischerweise haben diese Anwendungen moderate Anforderungen an die Kommunikation und können von heute existierenden Kommunikationstechnologien und -netzstrukturen (meist mit Mobilfunk der aktuellen Generation 4G beziehungsweise LTE/LTE Advanced und teilweise auch mit Broadcast DAB+) grundsätzlich erfüllt werden. Über die Mobilkommunikation hinaus wird auch die Verkehrsinfrastruktur im wachsenden Maße vernetzt, meist durch kabelgebundene Technologien wie Ethernet, DSL oder Glasfaser und zunehmend auch durch Mobilfunk. Für die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur sind bereits spezielle Nachrichtenformate und -protokolle wie OCIT, OTS und DATEDX-II im Einsatz. Mit der Verschmelzung von Kommunikationsdienstleistungen und Verkehrsinfrastrukturen zu einem integrierten Mobilitätssystem erlangen Kommunikationsnetze immer mehr den Status einer kritischen Infrastruktur. Insbesondere die breite Anwendung von Virtualisierung und Cloud-Computing im Mobilitätssystem stellt hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit, (bidirektionale) Latenzzeit und permanente Verfügbarkeit der Kommunikationsnetze. Auch die breite Anwendung von Big-Data-Methoden der Datenanalyse birgt Herausforderungen mit Blick auf die Anzahl der Datenquellen und das aggregierte Datenvolumen. Eine Möglichkeit, diese Herausforderungen zu adressieren, ist der beginnende Einsatz von sogenannten Cloudlets oder Edge Clouds. Dabei werden zentralisierte Cloudkomponenten durch hochverteilte kleinere Cloudlets ergänzt. So können Daten schon in der Nähe der Datenquellen aggregiert und korreliert sowie dezentral betriebene Anwendungen bereitgestellt werden. Außerdem können Latenzzeiten von Anwendungen verkürzt werden.

Kommunikationstechnologien werden kontinuierlich weiterentwickelt: Die Datenrate von drahtlosen Kommunikationstechnologien verzehnfacht sich etwa alle fünf Jahre. Neue Generationen von Mobilfunk werden etwa alle zehn Jahre eingeführt. In Forschung, Entwicklung und Standardisierung rücken neben



einer höheren Datenrate zunehmend andere Metriken wie Latenzzeit, Zuverlässigkeit und Energieverbrauch in den Fokus. Zusätzlich zur Leistungssteigerung werden neue lokale Funktionen im unmittelbaren Fahrzeugumfeld eingeführt beziehungsweise erweitert, die auch für Anwendungen im Mobilitätssystem genutzt oder adaptiert werden können, dazu zählen

- direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen, und zwar Ad-hoc-Kommunikation in WLAN-basierten Systemen und Device-to-Device(D2D)-Kommunikation in 4G/5G-Mobilfunksystemen,
- Verteilung von Informationen in geografischen Gebieten, und zwar Geocasting IEEE 802.11 OCB/ITS-G5 und Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in 4G/5G-Mobilfunksystemen in Verbindung mit Geomessaging-Diensten.

Bei Mobilfunksystemen ist hervorzuheben, dass 5G-Systeme mit der Einführung von Konzepten wie Software-Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV) und Network Slicing sowie (Edge-)Cloud-Anbindung wesentlich flexibler und skalierbarer sein werden. Somit können (zusätzlich zu Internetzugang und Multimediaübertragung von 3G- und 4G-Mobilfunk) in 5G weitere Anwendungsgebiete wie Internet-of-Things (IoT), sicherheitskritische Kommunikation und taktiles Internet erschlossen werden. Insbesondere können anwendungsspezifische Anforderungen aus dem Automobilbereich, zum Beispiel hinsichtlich Zuverlässigkeit, Latenz oder Sicherheit der Software, in das Netz integriert werden. Leistungsverbesserungen und funktionale Erweiterungen zukünftiger Kommunikationssysteme können genutzt werden, um den steigenden Grad der Kooperation zwischen Fahrzeugen sowie daraus resultierende höhere Anforderungen an die Kommunikationstechnologien für die Fahrzeugvernetzung, insbesondere im Kontext von Fahrzeugautomatisierung, zu erfüllen (siehe Kapitel 4.3.3).

Zukünftige Anforderungen an Kommunikationstechnologien

Ausgehend vom Stand der Technik werden die technologische Leistungsfähigkeit der wichtigsten Kommunikationstechnologien hinsichtlich der Nutzung im Mobilitätssystem analysiert und die Anforderungen für die Zukunft abgeleitet. Als Technologien werden WLAN, Mobilfunk und DAB/DMB aufgrund der aktuellen Relevanz ausgewählt. Andere Technologien wie beispielsweise Satellitenkommunikation werden infolge der derzeit begrenzten Anwendungsfelder ausgeschlossen.

WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network) bezeichnet lokale Funknetze nach dem IEEE 802.11-Standard, welche im Infrastruktur- und Ad-hoc-Modus betrieben werden können. WLAN ist sehr stark verbreitet (20 Milliarden Endgeräte im Jahr 2017) und wird insbesondere zur lokalen Vernetzung von Geräten (Home, Geschäft) und als Internet-Zugangstechnologie (über DSL, FTTH, UMTS/LTE) eingesetzt. Zunehmende Verwendung findet WLAN in öffentlichen oder privaten Hotspots als drahtlose Internet-Zugangspunkte mit hoher Datenrate, wenngleich ohne flächendeckende Netzabdeckung. Ein wachsendes Anwendungsgebiet ist auch der automatisierte Informationsaustausch zwischen Endgeräten (Machine-to-Machine Communication, M2M). WLAN arbeitet in unlizenzierteren Frequenzbändern, nutzt Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) als Übertragungsverfahren und wendet ein wahlfreies Medienzugriffsverfahren mit Priorisierung (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA) an. Mit Mehrantennen-Techniken, höherwertigen Modulationsverfahren und Kanalbündelung lassen sich Datenraten im Gigabit/Sekunde(Gbit/s)-Bereich erreichen. Aktuelle Entwicklungen nutzen zusätzlich zum 2- und 5 Gigahertz (GHz)-Spektrum auch 60 GHz- und < 1GHz-Frequenzbereiche.

Für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der verkehrstechnischen Infrastruktur (V2V- und V2X-Kommunikation) wurde eine spezielle WLAN-Variante geschaffen (WLAN11p), die (vom IEEE 802.11a Standard abgeleitet) in einem dedizierten Frequenzband im 5.9 GHz-Bereich arbeitet und an die speziellen Anforderungen der Fahrzeugkommunikation adaptiert wurde. Diese Erweiterung definiert einen klassischen Ad-hoc-Kommunikationsmodus, mit dem Fahrzeuge direkt miteinander kommunizieren können, ohne vorherige Signalisierungsprozeduren durchführen zu müssen. Die Funktionsweise von WLAN11p als vollständig verteiltes Kommunikationssystem impliziert neben den klaren Vorteilen für die niedriglatente, direkte Kommunikation zwischen den Fahrzeugen auch Probleme hinsichtlich der Garantie von Leistungsparametern wie Latenz und Zuverlässigkeit sowie der effizienten Ausnutzung der Übertragungsressourcen bei hoher Kanallast.

Das Car-2-X-Kommunikationssystem umfasst nicht nur die Übertragungs- und Medienzugriffsprotokolle von WLAN11p (IEEE 802.11p oder in Europa ITS-G5). Netzwerk- und Transportprotokolle realisieren Single- und Multi-hop-Kommunikation sowie die Adressierung und Verbreitung von Informationen in geografischen Gebieten. Verschiedene Nachrichtenformate („C-ITS-Nach-

richtenformate“) unterstützen anwendungsnahe Funktionen wie periodische Zustandsinformationen von Fahrzeugen, ereignisgesteuerte Nachrichten sowie Informationen über Kreuzungs- beziehungsweise Straßentopologien und dynamische Informationen von Lichtsignalanlagen. Es ist hervorzuheben, dass diese C-ITS-Nachrichtenformate auch über Mobilfunk wie LTE und LTE-V2V übertragen werden können. Neben den Protokollen, Nachrichtenformaten und -typen wurden auch eine Vielzahl von sicherheitsrelevanten Nutzungsszenarien und deren Anforderungen zum Beispiel an Latenzzeiten definiert.

Vor dem Hintergrund der genannten technischen Charakteristika ergibt sich im Bereich des automatisierten Fahrens die besondere Eignung für folgende Aufgaben:

- Fahrerinformationen und -warnungen für Sicherheitsanwendungen mit niedriger Latenzzeit und moderater Zuverlässigkeit der Kommunikation,
- Kooperativer Verkehrseffizienz Anwendungen (virtuelle Verkehrsschilder, Geschwindigkeitsempfehlungen, LSA-Steuerung, Platooning etc.),
- Lokale Dienste (Pol, Zugangssteuerung, Parkplatzmanagement sowie kollektive Perzeption und Manöverabstimmung).

Grundlegende Funktionen zur Vernetzung wie etwa die kooperative Gefahrenwarnung sind auch für automatisierte Fahrzeuge nutzbar. Folgende Weiterentwicklungen sind erforderlich beziehungsweise wünschenswert, um spezifische Funktionen des automatisierten Fahrens zu erfüllen, für die WLAN die günstigsten Grundvoraussetzungen mitbringt:

- Mehrkanalunterstützung zur Kapazitätserweiterung,
- Hoher Ausstattungsgrad bei Fahrzeugen und Infrastruktur,
- Garantie von Leistungsparametern.

Projekterfahrungen haben auch gezeigt, dass die für die Datensicherheit notwendige PKI-Umgebung auch im länderübergreifenden Maßstab eine Herausforderung darstellt.⁹⁷

Mobilfunk

Mobilfunk umfasst die verschiedenen Generationen von Netzwerken zur Mobilkommunikation – von 2G-Netzen für die digitale Übertragung von Sprache und Texten (GSM und die Ausbaustufen GPRS sowie EDGE) über 3G-Netze zum mobilen Internetzugang (UMTS und HSPA) bis zu 4G-Netzen zur Übertragung von Multimediadaten (LTE-Advanced). Mobilfunk und besonders 4G ist die Schlüsseltechnologie zur infrastrukturellen breitbandigen Basisvernetzung und besitzt neben der individuel-

len Kommunikation von Sprache und Daten eine enorme Bedeutung für Industriezweige wie Automotive und Mobilität, Gesundheit, Energie und Medien. Deutschland befindet sich gegenüber anderen führenden Automotive-Märkten wie Japan, Korea und China in Bezug auf die 4G-Abdeckung im Rückstand. So sind immer noch wichtige Verbindungsautobahnen mit hoher Verkehrsdichte nicht lückenlos mit 4G unterstützt (zum Beispiel die A8 zwischen den Automobil-Standorten Stuttgart und München). Es ist auch festzustellen, dass in Gebieten mit einem Straßennetz niedriger Klassifizierung wie beispielsweise Gemeindeverbindungsstraßen die Netzabdeckung mit 4G-Netzen teilweise sehr lückenhaft ist. Es sind weitere umfangreiche Investitionen notwendig, um nicht nur die Abdeckung der Haushalte, sondern auch der Straßeninfrastruktur mit 98 Prozent und mehr zu erreichen.

Mobilfunk wird im Mobilitätssystem bereits heute für viele Anwendungen und Nutzungsszenarien eingesetzt; Anwendungsbereiche umfassen Fahrzeugsicherheit, „Connected Infotainment“, Verkehrseffizienz, Kosteneffizienz sowie Komfort und Interaktion [REF-Everis-2015]. Nach Experteneinschätzungen wird ab 2018 jeder neu zugelassene Pkw in Deutschland mit Mobilfunk vernetzt sein, wobei dieser Ausstattungsgrad über im Fahrzeug fest installierte Endgeräte (Embedded Systems), Tethered Systems (Konnektivitätslösung teilweise in das Fahrzeug integriert) oder über die Integration von Smartphones in das Auto realisiert werden. Es wird angenommen, dass die nächste Mobilfunkgeneration eine umfassende Vernetzung nahezu aller Dinge zu einem „Internet der Dinge“ ermöglicht sowie zunehmend auch zur Steuerung und Regelung von technischen Prozessen im „taktilen Internet“, das heißt im von enorm kurzen Reaktionszeiten geprägten Netz, eingesetzt wird.

Die nächste Generation des Mobilfunks, 5G, soll die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu 4G in nahezu allen Metriken, sogenannten Key Performance Indicators (KPIs), wesentlich steigern. So soll sich zum Beispiel die Spitzendatenrate von 1 Gbit/s auf 20 Gbit/s erhöhen und die Latenzzeit von 10ms auf 1 ms sinken [ITU-R2015]. Diese KPIs werden durch funktionale Erweiterungen wie nicht orthogonale, asynchrone Übertragungsverfahren, wahlfreien Medienzugriff („Random medium access“), neue Frequenzbereiche (cm- und mm-Wellen) und flexible Techniken der Spektrumzuteilung (zum Beispiel Spektrum Aggregation und Shared Spectrum Access), massive MIMO und Device-to-Device-Kommunikation ergänzt. Flexibilität ist eine weitere wichtige Eigenschaft, mit der 5G-Netzwerke ihre Konfiguration den jeweiligen



Szenarien und Anforderungen anpassen können. Dabei kommen neue Konzepte wie Software-Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV) und Network Slicing zum Einsatz, die eine Abstraktion und Flexibilisierung des Mobilfunknetzes für schnellere Innovationszyklen und geringere Investitions- und Betriebskosten realisieren [5GPP1].

Bei der Fahrzeugvernetzung für Sicherheits- und Verkehrseffizienz- anwendungen sind drei Funktionen wichtig, die von der aktuellen Generation der Mobilfunknetze nicht beziehungsweise nur unzureichend unterstützt werden: Device-to-Device (D2D), die indirekte Kommunikation über eine Basisstation sowie (Geo-) Broadcasting. Device-to-Device ermöglicht den direkten Austausch von Daten zwischen den Endgeräten, ohne die Daten über das Zugangs- und Kernnetz des Mobilfunksystems zu leiten und trägt somit stark zur Latenzzeitverringerung bei. Im Gegensatz zur Ad-hoc-Kommunikation mit WLAN11p ist bei D2D typischerweise eine Basisstation zum Management der Übertragungsressourcen vorgesehen, um die verwendeten Spektren zuzuteilen. D2D ist bereits in 4G-Systemen als Technik zum „Data Offloading“ entwickelt worden, erfordert aber noch Erweiterungen beziehungsweise Anpassungen für die Fahrzeugkommunikation, die als LTE-V2X in der Mobilfunkstandardisierung (3GPP Release 14) in ihren zukünftigen Anforderungen spezifiziert werden. LTE-V2X soll sowohl die direkte Kommunikation zwischen Endgeräten als auch über eine Basisstation, ohne die Daten zwingend über das Zugangs- und Kernnetz des Mobilfunksystems zu leiten. Damit können Informationen über größere Distanzen als die eigentliche Kommunikationsreichweite eines Endgeräts übertragen werden. Die Kommunikation zwischen Endgerät mit der Basisstation erlaubt es auch, Anwendungsfunktionen in die Peripherie des Übertragungsnetzes zu verlagern und somit Latenzen weiter zu verringern. LTE-V2X funktioniert, wie WLAN11p, auch außerhalb der Abdeckung einer Basisstation, dann aber ohne die Vorteile eines Ressourcenmanagements. Es kann im 5.9 GHz-Spektrum für Verkehrssicherheit und -effizienz anwendungen, aber auch im lizenzierten Spektrum eines Mobilfunkbetreibers, ohne Beeinträchtigung des WLAN11p, eingesetzt werden. Damit ist es gegebenenfalls auch möglich, Kommunikation über LTE-V2X je nach Anwendung und Anforderung entweder im dedizierten 5.9 GHz-Spektrum abzuwickeln oder in ein lizenziertes Spektrum eines Mobilfunkbetreibers auszuweichen.

LTE unterstützt auch Broadcastfunktionen (eMBMS), die heute noch nicht genutzt werden, aber mit 5G weiterentwickelt wer-

den. Mit eMBMS und vorgeschaltetem Geomessaging-Service, der alle lokalen UEs identifiziert, können Informationen auch effizient lokal verteilt werden, etwa um lokal relevante Gefahrenwarnungen oder lokale Karten-Updates an eine große Gruppe von Fahrzeugen über Mobilfunk zu übertragen. Die Kombination von LTE und Mobile Edge Computing (Cloudlets) sowie LTE V2X kann in einem Zeithorizont bis 2020 ein sehr weites Spektrum von Kommunikationsanforderungen bezüglich Bandbreite, Latenz, Zuverlässigkeit und Sicherheit mit einem einheitlichen technologischen Rahmen abdecken und damit auch die Komplexität der Kommunikationskomponenten in den Fahrzeugen verringern.⁹⁸ Wegen der nahezu flächendeckenden Verfügbarkeit kann Mobilfunk der infrastrukturellen breitbandigen Basisvernetzung von Fahrzeugen, der verkehrstechnischen Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmenden dienen.

Folgende Weiterentwicklungen sind erforderlich beziehungsweise wünschenswert, um Funktionen des automatisierten Fahrens zu erfüllen, für die WLAN die günstigsten Grundvoraussetzungen mitbringt:

- Höhere Verfügbarkeit durch verbesserte Abdeckung entlang des Straßennetzes,
- Direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen (LTE-V oder 5G D2D),
- Verbesserte Konzepte zur Verteilung von Informationen in geografischen Gebieten (eMBMS).

Broadcast (Digitalradio)

Broadcast ist eine Familie von Kommunikationstechnologien (Digital Audio Broadcasting (DAB), DAB+, Digital Multimedia Broadcasting DMB und DAB-Internetprotokoll (IP)) zur Übertragung von terrestrischen Hörfunkprogrammen in digitaler Form mit zusätzlichen Datendiensten. Im Kontext des vernetzten Mobilitätssystems sind primär solche zusätzlichen Datendienste für Verkehrsinformationen relevant, die existierende Technologien zur Verbreitung von Verkehrsinformationen über den analogen Ultrakurzwellen (UKW)-Rundfunk mit Radio Data System (RDS) und Traffic Message Channel (TMC) ersetzen sollen. In Deutschland wird erwartet, dass bis Ende 2016 insgesamt 92 Prozent der Gesamtfläche und 98 Prozent der Bundesautobahnen für den mobilen Empfang von Digitalradio abgedeckt sein werden⁹⁹. DAB+-fähige Endgeräte sind kommerziell verfügbar, insbesondere als Radioempfänger im Fahrzeug, vereinzelt auch als Navigationsgeräte ohne Radio; allerdings gibt es wegen der parallelen Ausstrahlung des analogen Rundfunks bisher eine geringe Nutzerakzeptanz.

98 | everis 2015; 5G PPP 2015a; 5G PPP 2015b.

99 | digitalradio.de 2016.

Bei der DAB-Übertragung werden mehrere Datenströme (Audiokanäle/Programme sowie Datendienste) zu einem sogenannten Ensemble mit hoher Datenrate zusammengeführt. Der entstehende Datenmultiplex wird mit dem OFDM-Verfahren übertragen, was eine robuste Übertragung ermöglicht. Die Datenrate, die zur Übertragung von Verkehrsinformationen zur Verfügung steht, ist relativ gering; typisch sind 16 Kilobit pro Sekunde (kbps). Das bedeutet eine starke Verbesserung im Vergleich zu RDS/TMC. Die Datenrate ist jedoch wesentlich geringer als bei WLAN und Mobilfunk. Eine wichtige Eigenschaft von DAB für die Datenkommunikation ist die Kommunikationsrichtung. Im Gegensatz zu WLAN und Mobilfunk bietet DAB grundsätzlich keinen Rückkanal, was die Anwendungsmöglichkeiten von Broadcast einschränkt. Zur Übertragung der Verkehrsinformationen wird das Transport Protocol Experts Group (TPEG)-Protokoll eingesetzt, das Informationen über Straßenverkehr, ÖPNV, Parkmöglichkeiten, POIs, Verkehrsflüsse sowie Verkehrsvorhersagen umfasst. TPEG ist grundsätzlich unabhängig von der Kommunikationstechnologie und kann auch über IP-basierte Netze, beispielsweise über Mobilfunk, übertragen werden.

Vor dem Hintergrund der genannten technischen Charakteristika ergibt sich im Bereich des automatisierten Fahrens die besondere Eignung für folgende Aufgaben:

- Informationen über strecken- und zeitbezogene Vorgaben für das automatisierte Fahren,
- Verkehrsflussinformationen für Routenplanung/Navigation (strategisch) sowie Zusatzinformationen (ÖPNV, Parken, POI etc.),
- Redundante Informationsübertragung zu Mobilfunk beziehungsweise WLAN.

Folgende Weiterentwicklungen sind erforderlich, um Funktionen des automatisierten Fahrens zu erfüllen, für die Broadcast die günstigsten Grundvoraussetzungen mitbringt:

- Weiterer Ausbau der Broadcast-Infrastruktur insbesondere entlang des Straßennetzes,
- Verbesserung der Nutzerakzeptanz von DAB+ Endgeräten,
- Nutzung des vollen Umfangs des TPEG-Protokolls.

Systemverbund paralleler Netzwerktechnologien

Bei Mobilfunk und Broadcast handelt es sich um Kommunikationstechnologien, deren Netze bereits heute zur Verfügung stehen und in den nächsten Jahren weiter ausgebaut werden. Die Netze sind jeweils hochkomplexe Strukturen, die für die Anwendungen zum Großteil transparent sind. Mobilfunk- und Broad-

cast-Netze existieren dabei unabhängig voneinander. Aus Gründen der Redundanz der damit verbundenen erhöhten Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Kommunikationssysteme als Ganzes ist die Isolation der Netze auch wünschenswert. Das gilt nicht nur für den potenziellen Ausfall eines Kommunikationssystems, denn eine redundante Datenübertragung kann auch die Konfidenz und Vertrauenswürdigkeit der empfangenen Daten erhöhen. Gleichzeitig kann die gewünschte Redundanz aber zu inkonsistenten Informationen bei den Empfängern führen, insbesondere wenn die übertragenen Daten aus verschiedenen Quellen stammen. Solche Inkonsistenzen werden zusätzlich durch zueinander inkompatible Datenformate, wie das TPEG-Protokoll für Broadcast und die WLAN11p/Mobilfunk Nachrichtenformate, verstärkt.

Die Netzwerkredundanz und daraus resultierende Vorteile und Herausforderungen wird durch die potenzielle Einführung von WLAN11p-Netzen potenziert, sodass drei verschiedene Netzwerktypen zur Verfügung stehen werden:

- WLAN11p-basiertes Netzwerk und LTE-V2X für V-2-X-Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der straßenbaulichen Infrastruktur,
- Mobilfunknetze für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und auch den Backend-Plattformen von Diensteanbietern (beispielsweise der Automobilhersteller), wobei Backend-Plattformen typischerweise mit dem Internet verbundene Serverplattformen sind, inklusive zukünftiger LTE V2X-Dienste in den Mobilfunknetzen,
- Broadcast (DAB)-basierte Kommunikation von Verkehrsdatenprovidern, zum Beispiel von Verkehrsmanagement-Plattformen zu Fahrzeugen.

Wegen der charakteristischen Eigenschaften der Kommunikationstechnologien ergänzen sich die jeweiligen Netze gegenseitig und können anwendungsspezifisch ihre Vorteile ausspielen. Grundsätzliches Ziel der Entwicklung eines vernetzten Mobilitätssystems sollte ein Systemverbund mit offenen Schnittstellen sein, der skalierbar, flexibel und sicher ist, betreiberunabhängig funktioniert sowie über ein technologieübergreifendes Sicherheitskonzept verfügt. Erste Ansätze für eine gesamtheitliche Kommunikationsarchitektur existieren und wurden beispielsweise vom CONVERGE-Projekt untersucht. Der Systemverbund des vernetzten Mobilitätssystems sollte dabei technologische Trends – Virtualisierung und Cloud-Computing, Big Data sowie Leistungssteigerungen der Kommunikationstechnologien und -netze – im Rahmen des Ausbaus der Netzstrukturen berücksichtigen.



4.5.3 Digitale Karten



Kartendaten sind für die aktuell auf dem Markt verfügbaren Assistenzsysteme und für das automatisierte Fahren essenziell. Während heutige Karten vielfach nur statisch die Umgebung zu einem gewissen Zeitpunkt wiedergeben, ist für das automatisierte Fahren eine an der wirklichen Wiedergabe des Ist-Zustands orientierte Darstellung von ortsbasierten Informationen erforderlich. Die Karte stellt in diesem Zusammenhang immer weniger ein Hilfsmittel für die Fahrerin oder den Fahrer dar, sondern bietet vielmehr eine unerlässliche maschinenlesbare Orientierung für das Auto selbst. Heute bewegen sich die Genauigkeit und der Detailgrad kommerziell verfügbarer Kartendaten im Meterbereich. Für die reine Navigation und Funktionalitäten herkömmlicher Assistenzsysteme ist dies, dank Map-Matching, auch ausreichend. Diese Karten bestehen aus einem einfachen Knoten-Kanten-Netz mit einigen Zusatzinformationen wie Verkehrsregeln oder Fahrstreifenutzung und verorteten Points-of-Interest. In Zukunft werden Kartendaten mit Verkehrslagedaten angereichert. Dafür werden dann Darstellungen im Zentimeterbereich vorliegen, die zum Beispiel ein Fahren in der richtigen Spur ermöglichen. Die Verkehrslage kann dabei nicht nur die Verkehrsdichte, sondern auch unvorhersehbare Ereignisse wie Baustellen oder auftretendes Glatteis enthalten. Diese Informationen werden in Echtzeit von übergeordneter Stelle, zum Beispiel in Cloud-Lösungen, berechnet und bereitgestellt.

Für die Abdeckung großer Gebiete mit hochgenauen Daten muss – auch aus Kostengründen – ein Ausgleich zwischen der erforderlichen Detailtiefe und dem Speicherplatzbedarf gefunden werden. Kartenhersteller, Zulieferer und Fahrzeughersteller arbeiten aktuell an einer spurgenaue Modellierung, während sehr stark detaillierbare Formate aus der Simulationsdomäne einen stärkeren Geodatenbezug bekommen.¹⁰⁰ Die Entwicklung solcher Formate deckt aber nur bedingt sehr große Straßenbereiche ab. Hochgenaue Karten bringen jedoch erst vollen Nutzen, wenn sich das Fahrzeug darin genau verorten kann. Die On-Bord-Sensorik kann Merkmale wie Verkehrsinfrastruktur, Straßenmarkierungen oder Landmarken für eine genaue Verortung nutzen. Mittels Ansätzen aus der Robotik ist es möglich, während der Eigenbewegung Kartendaten zu erstellen und sich darin zu lokalisieren (beispielsweise SLAM).¹⁰¹ Da automatisierte Fahrzeuge mit einer entsprechenden Sensorik ausgerüstet sind, können diese die Erstellung von hochgenauen digitalen Karten unterstützen. Dies wird beispielsweise im Projekt Stadtpilot (TU Braun-

schweig) zum einen bei Merkmalen der Verkehrsinfrastruktur, zum anderen auf Landmarken der Randbebauung durchgeführt. Durch eine automatisierte Nachbereitung zur Geo-Referenzierung der Daten können hochgenaue Karten zeitsparend erstellt werden.

4.5.4 Verkehrsmanagement



Maßnahmen des Verkehrsmanagements umfassen die kurz- und mittelfristige Beeinflussung der Verkehrsnachfrage via Informationen zur Verkehrslage, zu Verbindungen, zu Routen und Preisen sowie aktive Eingriffe in den Verkehrsablauf über die vorhandene Straßeninfrastruktur wie beispielsweise Lichtsignalanlagen, Strecken- und Netzbeeinflussungsanlagen oder Wechselverkehrszeichen. Die Kapazitäten des Verkehrsangebots werden über die dynamische Anwendung der Regelungen nach StVO der sich ändernden Verkehrsnachfrage angepasst. Insbesondere werden im Zuge der Neuen autoMobilität eine höhere Effizienz in der Nutzung vorhandener Straßeninfrastrukturen erwartet, eine höhere Produktivität in der Logistik, eine bessere Teilhabe für sozial schwache Personengruppen, eine verbesserte Verkehrssicherheit und weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt. Die Realisierung dieser Ziele wird von der Integration des automatisierten Fahrens in das allgemeine Verkehrsmanagement abhängen, wobei hierfür neuartige Strategien notwendig werden, die der zukünftig stärkeren Vernetzung zwischen automatisierten Fahrzeugen und Straßeninfrastruktur Rechnung tragen. Klassische Strategien des Verkehrsmanagements berücksichtigen automatisierte Fahrzeuge mit ihren Eigenschaften und Anforderungen bei steuernden Eingriffen bisher nicht hinreichend. So könnten beispielsweise automatisierte Fahrzeuge zukünftig bei der Annäherung an Lichtsignalanlagen nicht nur Informationen von diesen empfangen, sondern gleichfalls Daten zum Verkehrsaufkommen senden und somit auf die Verkehrssteuerung einwirken. Daher wird neben dem Aufbau der kommunikativen Straßeninfrastruktur auch eine Adaption der eingesetzten Strategien des Verkehrsmanagements notwendig werden.

Abhängig von den Stufen der Automatisierung steht dabei die zeitlich und räumlich differenzierte Regelung von Rechten zur Nutzung bestimmter Straßenverkehrsanlagen im Vordergrund, die automatisiertes Fahren in bestimmten Bereichen und zu bestimmten Zeiten beschränken, aber auch privilegieren kann. So könnten für bestimmte Verkehrslagen Fahrstreifen exklusiv für Fahrzeuge im Konvoi freigegeben werden, um vorhandene Kapa-

100 | Dupuis 2015.

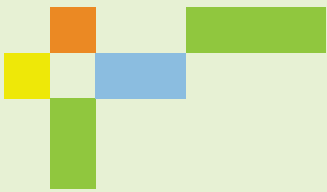
101 | Leonard/Durrant-Whwyte 1991; Smith/Cheeseman 1986.

zitäten optimal zu nutzen. Dies gilt sowohl außerhalb von Ortschaften als auch innerorts an Lichtsignalanlagen. Das Verkehrsmanagement kann für bestimmte Verkehrsanlagen je nach Automatisierungsgrad auch differenzierte Vorschläge oder Vorgaben zur Geschwindigkeit unterbreiten. So könnte zum Beispiel ein autonomes Fahren auf Parkflächen bei geringen Geschwindigkeiten zugelassen werden. In gleicher Weise könnten sich in Erschließungsstraßen langsam fahrende Entsorgungs- und Lieferfahrzeuge autonom bewegen, während dieselben Fahrzeuge in Hauptverkehrsstraßen bei höheren Geschwindigkeiten eine Bedarfsfahlerin oder einen Bedarfsfahrer benötigen.

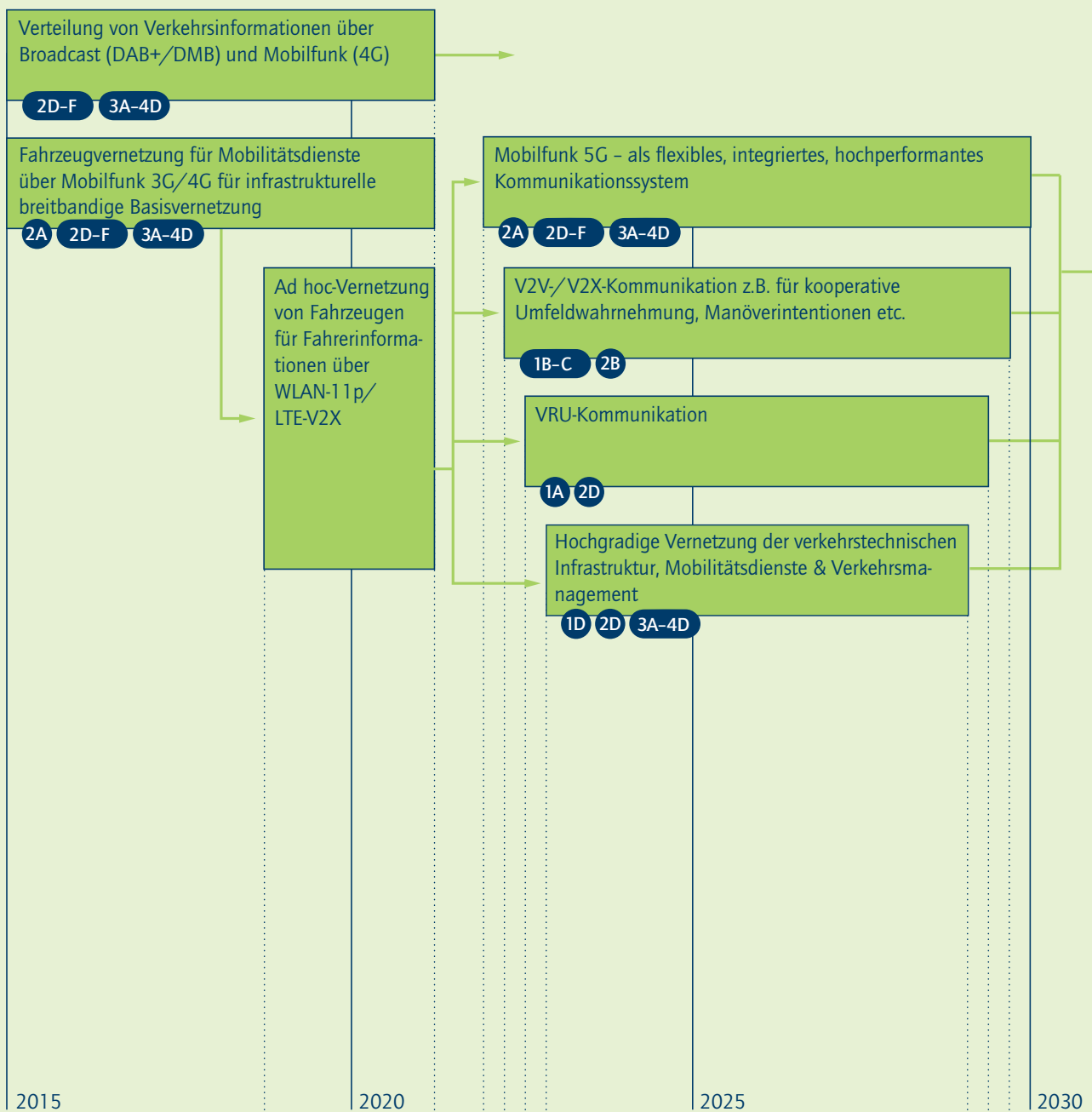
Weiterhin wird ein übergeordnetes Verkehrsmanagement benötigt, um die dezentrale Kooperation zwischen automatisierten Fahrzeugen im Sinne der übergeordneten Ziele zu koordinieren. Ein Beispiel hierfür sind Vorgaben für elektronisch gekoppelte Pulks (Platooning) bezüglich ihrer Länge im Bereich von Anschlussstellen. Auch Vorgaben zu der im ersten Fahrzeug eines Pulks zulässigen Automatisierungsstufe könnten räumlich und zeitlich differenziert vom Verkehrsmanagement festgelegt werden, um je nach Umfeldbedingungen die erforderliche Sicherheit zu gewährleisten. In gleicher Weise kann der Übergang zwischen zulässigen beziehungsweise empfohlenen Automatisierungsstufen durch das Verkehrsmanagement geregelt werden. Unterschiedliche Daten aus verschiedenen Quellen fließen auch im Verkehrsmanagement zusammen. Die Daten stammen aus der digitalen Karte, der Straßeninfrastruktur, aus der Umfeldwahrnehmung, aus der IKT-Infrastruktur und eventuell aus weiteren Daten (zum Beispiel des Wetterdienstes). Dabei genügt es nicht, sie zu erfassen und zu speichern, vielmehr müssen sie analysiert und fusioniert werden. Besondere Bedeutung hat die verteilte Datenanalyse, die Daten aggregiert und Modelle beispielsweise zur Ereigniserkennung und Zustandserkennung entwickelt. Die vielfältigen Informationen aus der IKT-Infrastruktur müssen sorgfältig analysiert und fusioniert werden, um die Verkehrssteuerung durch Erkennung und Prognose dynamisch zu unterstützen. Für viele Szenarien ist die realzeitliche Datenanalyse notwendig, um vertrauenswürdige Informationen den Verkehrsteilnehmenden verfügbar zu machen.¹⁰²

Attraktive und lebenswerte Stadträume entstehen durch eine vielfältige Nutzung des öffentlichen Raums, der einerseits der Fortbewegung mit verschiedenen Verkehrsmitteln und andererseits dem Aufenthalt dient. Dabei ist für eine gelungene funktionale Gestaltung der Stadträume das verträgliche Miteinander

der verschiedenen Verkehrsmittel mit allen anderen Nutzungsansprüchen eine wesentliche Voraussetzung. In diese wünschenswerte Entwicklung des öffentlichen Raums und den damit verbundenen Mischverkehr von automatisierten und konventionell gesteuerten Fahrzeugen mit Radfahrenden sowie Fußgängerinnen und Fußgängern muss sich das automatisierte Fahren verträglich integrieren. Unterstützt wird diese Integration einerseits durch standardisierte Interaktionskonzepte, die auf Basis von IuK-Technologien zur Vernetzung und zum Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Teilnehmenden beitragen, sowie andererseits durch digitale Verkehrs- und Mobilitätservices, die einen Beitrag zur individuellen Steuerung leisten. Die Sicherheit und Verträglichkeit automatisierter Fahrzeuge kann dabei durch ein geeignetes Verkehrsmanagement mit Vorschlägen und Vorgaben für die Geschwindigkeit und den zulässigen Automatisierungsgrad optimiert werden. Da die Baulast und der Betrieb der Straßenverkehrsinfrastruktur eine staatliche Aufgabe ist, wird für die Integration des automatisierten Verkehrs in das Verkehrsmanagement ein Rahmenplan erforderlich, der die Umsetzung und die Finanzierung auf den verschiedenen zuständigen staatlichen Ebenen regelt.



Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur

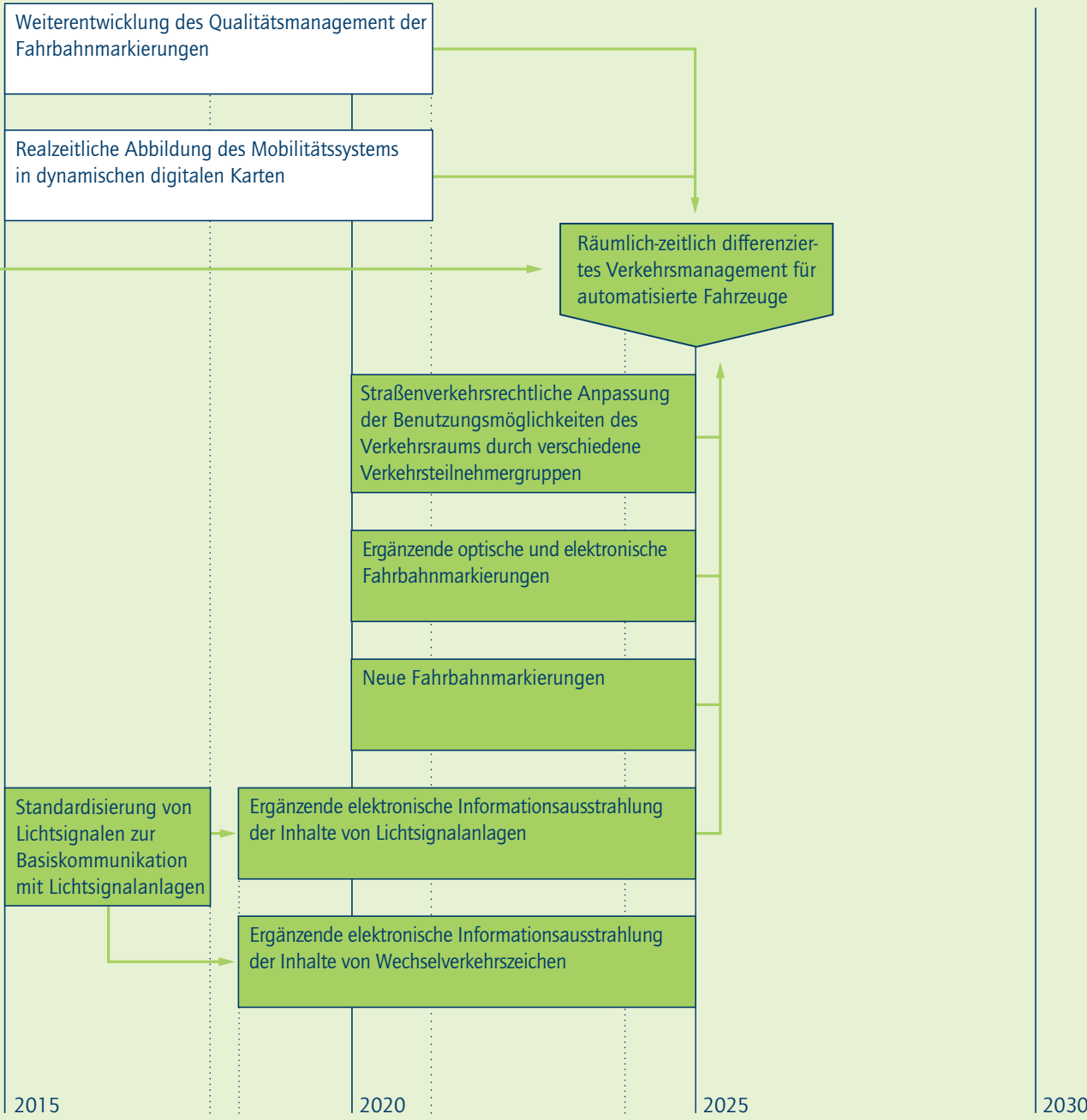


1A Verweis auf Nutzungsszenario

Abbildung 20: Roadmap Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur (Quelle: eigene Darstellung)



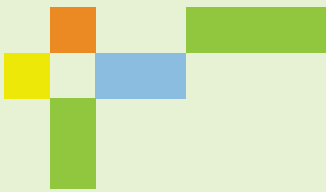
Straßenbauliche Infrastruktur



Aktionsfelder und Roadmaps

1A Verweis auf Nutzungsszenario □ Kritisches Element ▭ Meilenstein

Abbildung 21: Roadmap Straßenbauliche Infrastruktur (Quelle: eigene Darstellung)



Kategorie Vernetztes Mobilitätssystem: Zusammenfassung

Automatisiertes Fahren wird dann erfolgreich in das bestehende Mobilitätssystem integriert werden können, wenn die vorhandene Infrastruktur in Verbindung mit einer überschaubaren Weiterentwicklung genutzt werden kann. Die Nutzung der vorhandenen Straßen- und Kommunikationsnetze ermöglicht einen schnellen und flächendeckenden Aufbau eines zusammenhängenden Mobilitätssystems, das für das automatisierte Fahren differenziert nach Automatisierungsstufen geeignet ist. Der Nutzen automatisierten Fahrens kann auf diese Weise einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Für die Industrie ergeben sich in der Folge Herausforderungen und konkrete Geschäftsfelder, die eine zügige Überführung des automatisierten Fahrens aus dem Forschungs- und Erprobungsstadium in einen Regelbetrieb ermöglichen.

Die erforderlichen Weiterentwicklungen der Infrastruktur sollten sich deshalb auf die regelkonforme Ausbildung der straßenbaulichen Infrastruktur und ihre kontinuierliche Überwachung in einem systematischen Qualitätsmanagement konzentrieren. Mit verfügbaren einfachen Technologien sollten verkehrsrechtliche Informationen digital und damit maschinell auswertbar zur Verfügung gestellt werden. Anpassungen der Straßenverkehrsordnung könnten verschiedene weitergehende Nutzungsmöglichkeiten des Straßennetzes für das automatisierte Fahren eröffnen und sollten diskutiert werden.

Eine leistungsfähige Datenkommunikation als wesentliche Voraussetzung automatisierten Fahrens muss ausgehend von bestehenden Standards und der insbesondere im Bereich des Mobilfunks zu erwartenden Weiterentwicklung flächendeckend im vorgesehenen Straßennetz zur Verfügung gestellt werden. Hierfür sind Modelle für die Finanzierung der Einrichtung und für den Betrieb des Kommunikationsnetzes zu entwickeln.

Für die Integration automatisierten Fahrens in das Verkehrsmanagement ist die differenzierte Betrachtung automatisierter Fahrzeuge nach ihrem jeweiligen Automatisierungsgrad erforderlich. Dies ermöglicht die zeitlich und räumlich differenzierte Berücksichtigung automatisierten Fahrens im bestehenden Verkehrssystem und erlaubt einen fortlaufenden Abgleich mit übergeordneten Zielsetzungen.

Digitale Karten sind als Träger georeferenzierter statischer und dynamischer Informationen das digitale Abbild des Mobilitätssystems. Die Aktualität der digitalen Karten, deren Verlässlichkeit und ubiquitäre Verfügbarkeit sind eine wesentliche Voraussetzung für das automatisierte Fahren. Die damit verbundenen Anforderungen stellen eine technische und finanzielle Herausforderung dar, die insbesondere von privatwirtschaftlicher Seite mit geeigneten Geschäftsmodellen erfüllt werden muss. Um die Aktualität der digitalen Karten hinsichtlich verbindlicher Maßnahmen des Verkehrsmanagements sicherzustellen, sind die entsprechenden Informationen von der öffentlichen Hand transparent zur Verfügung zu stellen.

Um den Automatisierungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen und die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur untereinander sowie mit den Verkehrsträgern als auch den Teilnehmenden zu erreichen, sind Investitionen in F&E (siehe Kapitel 4.2 und 4.3), Testfelder in verschiedenen Agglomerationsräumen (siehe Kapitel 7) sowie in die zusätzlich erforderliche straßenbauliche, verkehrstechnische und IKT-Infrastruktur notwendig, die über die im Rahmen der kontinuierlich stattfindenden Investitionen in Verkehrswege hinausgehen.

So steht beispielsweise in Deutschland die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur auch im Rahmen des Projektplanes Straßenverkehrstelematik im Fokus, das jährlich mit 50 Millionen Euro den Aufbau von IVS auf Bundesfernstraßen fördert. Zur Stärkung der digitalen Infrastruktur hat sich das BMVI mit der „Netzallianz Digitales Deutschland“ in Hinblick auf den Breitbandausbau das Ziel gesetzt, bis 2018 eine flächendeckende Grundversorgung mit mindestens 50 MBit/s sicherzustellen. Hierzu stehen 2,7 Milliarden Euro Finanzierungsvolumen bereit. Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP 2030) sieht hingegen keine Förderung der Automatisierung des Straßenverkehrs vor. Die Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur als Grundvoraussetzung für eine intelligente vernetzte Mobilität müssen hier stärker berücksichtigt werden und kontinuierlich steigen. Gleichzeitig bedarf es zusätzlicher Mittel für die Modernisierung bestehender Infrastruktur wie der Verkehrswege. Damit kann auch die flächendeckende Ausstattung mit informations- und kommunikationstechnischer Infrastruktur für Kommunen und Gemeinden sichergestellt werden.

4.6 Rahmenbedingungen

Die Transformation hin zu einem automatisierten und vernetzten Straßenverkehr wird von der Bundesregierung aktiv begleitet. Den Rahmen stellt die vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) erarbeitete Strategie für automatisiertes und vernetztes Fahren dar (September 2015), die rechtliche Rahmenbedingungen ebenso beinhaltet sowie infrastrukturelle Förderung, zum Beispiel für den Breitbandausbau, adressiert. Darüber hinaus sind die Digitale Agenda der Bundesregierung hinsichtlich der informations- und kommunikationstechnischen Infrastruktur sowie die Hightech-Strategie der Bundesregierung hinsichtlich der Forschung und Entwicklung beispielsweise autonomer Systeme relevant. Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, dass die Realisierung des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs technisch möglich ist. Die Betrachtung der Rahmenbedingungen ist daher notwendig, um die skizzierten Nutzungsszenarien und damit einhergehende Geschäftsmodelle (siehe Kapitel 3) umsetzen zu können. Auch wenn mit dem Einsatz automatisierter Systeme von einer Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgegangen werden muss, so kann dieser Vorteil nur greifen, wenn die Technik sicher und fehlerfrei funktioniert. So ist es erforderlich, die Fahrzeugsicherheit beginnend beim initialen Zulassungsprozess bis hin zum gesamten Fahrzeugleben durch die Einbeziehung der neuen Technologien in die periodische Fahrzeugüberwachung dauerhaft zu gewährleisten.

4.6.1 Allgemeine Rechtslage und Diskussionstand



Auf internationaler und europäischer Ebene sind bereits einige konkrete Bemühungen unternommen worden, die Rechtssicherheit für den Einsatz von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen im Hinblick auf grundlegende Änderungen im Straßenverkehrsrecht zu gewährleisten. Mit der im März 2014 beschlossenen Erweiterung des Wiener Übereinkommens wird auch eine Anpassung der Rechtslage in Deutschland möglich. Der neu eingeführte Artikel 8 Abs. 5b des Wiener Übereinkommens sieht vor, dass Fahrzeugsysteme, welche die Fahrzeugführung beeinflussen, dann zulässig sind, wenn der Fahrzeugführer diese durch manuelle Eingriffe jederzeit übersteuern oder ausschalten kann. Fahrerlose Fahrzeuge (Stufe 5 der Automatisierung) erlaubt das Wiener Abkommen hingegen auch nach der erfolgten Anpassung nicht. Als weitere Voraussetzung für die Einführung automatisierter Fahrfunktionen wird die UNECE-Re-

gelung 79 zu Lenkanlagen derzeit erweitert, um automatisierte Lenksysteme auch bei Geschwindigkeiten von über 10 Stundenkilometern zu ermöglichen.

Der Einsatz von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen ist in Deutschland teilweise durch die bestehende Rechtslage geregelt, bedarf aber auch grundsätzlicher Anpassungen im Straßenverkehrsrecht oder beim Datenschutz, insbesondere für die Entwicklung und Einführung von fahrerlosen Fahrzeugen.¹⁰³ Somit ist für die Nutzung von fahrerlosen Fahrzeugen wie dem ÖV-Shuttle in den Nutzungsszenarien (siehe Kapitel 3) im ersten Schritt eine weitere Anpassung des Wiener Übereinkommens notwendig. Um fahrerloses Fahren rechtlich zu ermöglichen, muss das Fahrzeugsystem unter allen Umständen als alleinige Kontrollinstanz die Fahrzeugführung gewährleisten. Erste Vorschläge zur Einleitung von dazu notwendigen Diskussionen liegen bereits vor. Nach der Umsetzung der Änderungen im Rahmen des Wiener Übereinkommens besteht weiterer Handlungsbedarf vor allem mit Blick auf die Zulassung gemäß den ECE-Regelungen und die Umsetzung in nationales Straßenverkehrsrecht.

Während die rechtlichen Rahmenbedingungen schrittweise und parallel zur Entwicklung der Fahrzeugtechnologien weiterentwickelt werden, bezieht sich der öffentliche Diskurs vorrangig auf die Vision von „Roboterautos“. Das fahrerlose Fahren steht damit exemplarisch für eine Reihe von Entwicklungen im Bereich der Robotik und des Internets der Dinge.¹⁰⁴ Im Kontext des automatisierten und fahrerlosen Fahrens werden häufig Situationen exemplarisch diskutiert, in denen das Fahrzeugsystem eine Entscheidung über Leben und Tod verschiedener Personen treffen muss. Dies ist etwa der Fall, wenn bei einem unvermeidbaren Unfall entschieden werden muss, ob entweder eine Gruppe von Fußgängerinnen und Fußgängern oder die Fahrzeuginsassen selbst verletzt werden. Derzeit werden Entscheidungen dieser Art allenfalls von den Fahrenden selbst getroffen, wobei zum Teil die menschliche Reaktionszeit nicht ausreicht, um rechtzeitig reagieren zu können. In den meisten Fällen geschieht die Entscheidung entsprechend reflexartig, sodass von einer bewussten Handlung kaum gesprochen werden kann. Im Falle eines vollständig autonomen Fahrzeuges würde die Entscheidung jedoch auf das Fahrsystem übergehen. Das technische System muss also programmierte Regeln zur Vermeidung von Schäden in Unfallsituationen befolgen und damit muss im Vorfeld, also bei der Programmierung, eine bewusste Entscheidung herbeigeführt werden.

103 | Vgl. Hilgendorf 2015a.

104 | Vgl. Hilgendorf 2015b.



Die technischen Möglichkeiten, durch Sensoren, Radar, Kamera oder Laserscanner eine entsprechend genaue Umfeldwahrnehmung vorzunehmen, sind heute nur bedingt gegeben, werden sich aber in Zukunft weiterentwickeln. Auch Methoden des Maschinellen Lernens werden hierbei eine Rolle spielen. Da automatisierte und autonome Fahrzeuge die Folgen unterschiedlicher Handlungsoptionen schneller, rationaler und weitergehender bewerten, als der Mensch dies kann, muss eine gesellschaftlich akzeptierte Position zur Entscheidungsfindung von Maschinen in sogenannten Dilemmasituationen gefunden und kontinuierlich weiterentwickelt werden.¹⁰⁵ Die Präsenz des Themas um „ethische Dilemmata“ und „Roboterethik“ in den Publikumsmedien (aber auch in der Technikphilosophie¹⁰⁶) deutet darauf hin, dass die Fragen zu Recht und Ethik, die sich beim Übergang der Entscheidungsautonomie von der Fahrzeugführerin oder dem Fahrzeugführer auf das technische System (beziehungsweise auf den Fahrzeugentwickler und, in letzter Instanz, auf den Gesetzgeber) ergeben, im Rahmen eines breiteren Dialogs mit Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft behandelt werden sollten.

4.6.2 Verhaltenspflicht



Aufgrund des allgemeinen Gefahrenpotenzials von Fahrzeugen und der damit verbundenen Sorgfaltspflicht seitens der Fahrerin oder des Fahrers beziehungsweise der Halterin oder des Halters eines Fahrzeuges ist bei einer Kontrollübergabe von der Fahrerin oder des Fahrers an das Fahrzeugsystem zu untersuchen, ob die Fahrerin oder der Fahrer beziehungsweise die Halterin oder der Halter im Fall eines Unfalles oder Verkehrsverstößes stets ihren beziehungsweise seinen Sorgfaltspflichten nachgekommen ist. In Bezug auf automatisierte Fahrfunktionen muss geregelt werden, dass die Fahrerin beziehungsweise der Fahrer sich abwenden darf, ohne ihre beziehungsweise seine Sorgfaltspflichten zu verletzen. Solange die Grundregeln des § 1 StVO zur ständigen Vorsicht, gegenseitigen Rücksichtnahme und Vermeidung von jeglichen Schäden gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden eingehalten werden, sind Nebentätigkeiten erlaubt. Eine Ausnahme bilden Verbote wie das in § 23 Abs. 1a StVO geregelte Verbot der Nutzung von Mobil- und Autotelefonen. In unterschiedlichen Ländern bestehen darüber hinaus vereinzelt weitere Verbote. Neben gesetzlichen Regelungen sind für die Frage, welche Nebentätigkeiten vom Fahrzeug ermöglicht werden, die Selbstverpflichtungen der Hersteller relevant, wie etwa die sogenannten „Alliance Principles“ in den USA oder das

„European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle Information and Communications Systems“ (ESoP), die im heutigen Verkehr einer übermäßigen Fahrerablenkung entgegenwirken sollen.

Es ist zu erwarten, dass mit der Fortentwicklung der Systeme und deren Fähigkeiten die Fahrerin beziehungsweise der Fahrer vermehrt das System für die Erfüllung ihrer beziehungsweise seiner Aufgaben einsetzen kann. Damit werden auch die Möglichkeiten für Nebentätigkeiten ansteigen, ohne dass sich die Fahrerin oder der Fahrer dem Vorwurf einer Sorgfaltspflichtverletzung ausgesetzt sieht. Allerdings dürfte ebenso klar sein, dass die Fahrerin oder der Fahrer, die Halterin oder der Halter eines automatisierten Fahrzeugs weiterhin in Schadensfällen zu belangen sein wird, da dem technischen System keine Verantwortung übertragen werden kann.

Insgesamt ist bei der weiteren Ausgestaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, dass der Inhalt der Sorgfaltspflicht sich insbesondere zwischen automatisiertem Fahren und fahrerlosem Fahren grundlegend unterscheidet. Die grundlegende Verhaltenspflicht im Straßenverkehr wird sich durch die Einführung automatisierten und fahrerlosen Fahrens allerdings nicht ändern. Vielmehr ist eine Integration der Betrachtung der Sorgfaltspflicht für fahrerloses Fahren notwendig.

4.6.3 Zulassung



Im Bereich des Zulassungsrechts sind (über die Vorgaben des Wiener Übereinkommens hinaus) vor allem die EU-Typengenehmigungsvorschriften entscheidend, welche wiederum überwiegend auf die UN-ECE-Regelungen verweisen.¹⁰⁷ Die Regelungen des internationalen ECE-Abkommens von 1958, welche aufgrund der Verweisung in Artikel 35 der Richtlinie 2007/46/EG Teil des Gemeinschaftsrechts wurden, sind in der EU direkt anwendbar.

Die praktisch bedeutsamste Regelung, welche derzeit einem weitgehend automatisierten bis fahrerlosen Fahren entgegensteht, ist die sogenannte Lenkungs Vorschrift der ECE-Regelung 79 (Lenkanlagen). Hiernach ist automatisiertes Lenken oberhalb von 10 Stundenkilometern nicht zulässig. Derzeit gibt es bereits intensive Bestrebungen und Gespräche in den entsprechenden Gremien, den für automatisierte Lenksysteme zulässigen Geschwindigkeitsbereich an die Anforderungen des automatisier-

105 | Vgl. Hilgendorf/Hötitzsch 2013.

106 | Bonnefon et al. 2015.

ten Fahrens anzupassen und automatisierte Spurwechsel zu ermöglichen. Neben der Erweiterung der UNECE-Regelung 79 ist mit Blick auf die Einführung fahrerlosen Fahrens (Stufe 5 der Automatisierung) die Erarbeitung einer gesonderten Regelung für automatisierte Fahrfunktionen zu schaffen, da eine zunehmende Komplexität der automatisierten Fahrfunktionen, auch im Hinblick auf zulassungsrechtliche Fragen und die Gewährleistung der Verkehrssicherheit, einer eigenständigen Regelung bedarf. Weiterhin muss untersucht werden, ob Änderungsbedarf für Beleuchtungsvorschriften besteht, wenn beispielsweise eine Umgebungskommunikation der Fahrzeuge nützlich erscheint. Insbesondere bei fahrerlosen Fahrzeugen kann eine Interaktion der Systeme mit anderen Verkehrsteilnehmenden im Mischverkehr von zunehmender Bedeutung sein.

Über das ECE-Abkommen hinaus besteht auch der Bedarf der Anpassung der ISO 26262-Norm zur funktionalen Sicherheit von Straßenverkehrsfahrzeugen. Notwendig wäre hier die Ergänzung des systemischen Ansatzes durch eine szenarienbasierte Lösung. Hierbei wäre das Ziel die Anerkennung von virtuellen Tests in formalen Verfahren (im Zusammenwirken mit Prüfgeländetests und Feldtests, siehe Kapitel 4.4.5). Ein Beispiel für eine „Common Safety“-Richtlinie könnten die Akzeptanzkriterien beim Schienenverkehr auf EU-Ebene liefern. Auch die 2016 von der EU beschlossene „Declaration of Amsterdam“ (2016) liefert wichtige Anhaltspunkte zur Anpassung von ISO 26262, insbesondere in Bezug auf die Nutzung von intelligenter Infrastruktur in Form von C-ITS (cooperative intelligent transport systems).

4.6.4 Haftung



Für Schäden, die durch ein Fahrzeug verursacht werden, haftet verschuldensunabhängig gegenüber dem Geschädigten gemäß § 7 Abs. 1 Straßenverkehrsgesetz (StVG) primär die Halterin beziehungsweise der Halter. Neben der Halterin beziehungsweise dem Halter steht nach § 18 StVG und § 823 BGB auch die Fahrzeugführerin beziehungsweise der Fahrzeugführer für verschuldete Unfälle ein. Daneben kann der Hersteller im Rahmen der Produkt- und Produzentenhaftung für Schäden haften, die durch einen Produktfehler hervorgerufen wurden. Dies gilt grundsätzlich für alle Fahrzeuge. In Bezug auf fahrerlose Fahrzeuge müssen die geltenden Vorschriften zu derzeitigen Haftungsmodellen grundsätzlich geeignet sein.

Im Fall des fahrerlosen Fahrens werden weiterhin zwar nicht die Fahrzeugführerin oder der Fahrzeugführer, aber doch die Halterin oder der Halter für entstandene Schäden haften, insofern die FahrerIn beziehungsweise der Fahrer keinen Schaden durch ihr beziehungsweise sein Handeln oder das Unterlassen (etwa durch Nichtbeachtung der Sorgfaltspflicht) verursacht hat. Die bewährten Vorschriften der Produkt- und Produzentenhaftung sowie die Vorschriften über die Produktsicherheit finden in vollem Umfang auf fahrerlose Systeme Anwendung. Zu beachten sind hier mögliche Produktfehler der Hersteller, Fabrikationsfehler, Konstruktionsfehler, Instruktions- und Informationsfehler. Aus Sicht der Hersteller wird bei automatisierten Systemen in Zukunft ein verstärktes Augenmerk auf die Beschreibung der Systemfähigkeiten und die Instruktion der FahrerIn oder des Fahrers zu legen sein. Im Zusammenhang mit der Produkt- und Produzentenhaftung wird beim Betrieb eines automatisierten und vernetzten Fahrzeugs nicht nur die Rolle der Hersteller, sondern auch der Provider berücksichtigt werden müssen. Diese sichern schließlich den für vernetztes Fahren notwendigen Datenverkehr und müssen ebenso verpflichtet werden, zur Sicherheit des Straßenverkehrs beizutragen.¹⁰⁸

Neben der Produkthaftung und der versicherungsrechtlichen Regelung von Unfallschäden betrifft die Einführung automatisierter Fahrzeuge auch das Straf- und Ordnungswidrigkeitenrecht. Besonders schwerwiegende Verkehrsverstöße sind gemäß § 315c Strafgesetzbuch (StGB) (Gefährdung des Straßenverkehrs) strafbewehrt. Soweit die Rechtsgüter Leib und Leben tangiert sind, können zudem § 222 StGB (Fahrlässige Tötung) und § 229 StGB (Fahrlässige Körperverletzung) einschlägig sein. Im Übrigen sind die meisten durch die StVO festgelegten Verkehrsregeln nach dem Katalog des § 49 StVO bei mindestens fahrlässigem Verhalten als Ordnungswidrigkeit bußgeldbewehrt. Als Zuständige oder Zuständiger kommt hier bislang in erster Linie die oder der für die ordnungsgemäße Fahrzeugführung verantwortliche FahrerIn oder Fahrer in Betracht. Zukünftige Besonderheiten könnten sich in diesem Rahmen bei der Nutzung automatisierter Fahrzeuge in höheren Automatisierungsstufen, insbesondere bei der Automatisierungsstufe 5, ergeben. Vorstellbar wäre etwa, dass es aufgrund einer Fehlfunktion zu einem Regelverstoß oder Unfall kommt. Mangels FahrerIn oder Fahrer kann dann kein fahrlässiges Verhalten festgestellt werden, wenn das Fahrzeug mangels Lenkrad und Pedalerie keine Möglichkeit zum Eingreifen bot. Das Schuldprinzip unserer Rechtsprechung, das besagt, dass es grundsätzlich eine TäterIn oder einen Täter zu jeder Strafe geben muss, wird beim automatisierten oder

107 | ECE-Regelungen sind von der Wirtschaftskommission (Economic Commission for Europe) für Europa bei den Vereinten Nationen (UN/ECE) erlassene Vorschriften für Kfz.

108 | Kian/Tettenborn 2015.



fahrerlosen Fahren nicht hinterfragt, da zwar ein Übertrag der Kontrolle von der Fahrerin beziehungsweise dem Fahrer zum Fahrzeugsystem stattfindet, die Verantwortung aber nicht an ein technisches System übergeben werden kann. Insofern ist das bestehende Haftungsrecht ausreichend, da durch das Prinzip der Gefährdungshaftung eine zivilrechtliche Absicherung für Geschädigte vorhanden ist.

4.6.5 Datenspeicher



Im Zusammenhang mit Haftungsfragen bei Schadensfällen mit automatisierten und fahrerlosen Fahrzeugen besteht Anpassungsbedarf bei der Regelung von Beweispflichten. Zur Klärung der Frage, ob und wann eine menschliche Fahrerin oder ein menschlicher Fahrer Schuld hat, ist eine verpflichtende Ausstattung automatisierter Fahrzeuge mit einem Datenspeicher erforderlich. Dieser registriert etwa, ob zu einem betreffenden Zeitpunkt ein automatisiertes System eingeschaltet ist oder ob die Fahrerin oder der Fahrer die Kontrolle über die Fahrzeugführung innehat. Außerdem kann es im Schadensfall notwendig sein, einen Ereignis- oder Unfalldatenspeicher zu Beweiszwecken nutzen zu können. Dabei müssen entsprechende Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit erfüllt werden (siehe 4.4.3). Da die Daten den Fahrenden beziehungsweise den Nutzenden des Fahrzeugs nach dem Auslesen gegebenenfalls zugeordnet werden können, muss eine Rechtsgrundlage auch für die Speicherung und Nutzung der Daten geschaffen werden. Den Fahrenden und den Halterinnen und Haltern von Fahrzeugen, die mit einem Datenspeicher ausgestattet sind, müssen Zugriffs- und Verfügungsrechte auf diese Daten eingeräumt und praktisch zugänglich gemacht werden, damit deren Recht auf informationelle Selbstbestimmung angemessen berücksichtigt wird. So ist hierbei der verfassungsrechtliche „Nemo-Tenetur-Grundsatz“ zu Beweisverwertungsverböten zu beachten, der Personen das Recht einräumt, sich nicht selbst belasten zu müssen. Analog zu einem Datenspeicher bei der Fahrerin oder dem Fahrer, der Halterin oder dem Halter muss zur Klärung von Haftungs Voraussetzungen bei einem Unfall auch zwischen Fahrzeughersteller und Infrastrukturbetreiber geklärt werden können, ob aufseiten des Fahrzeuges oder aufseiten der Infrastruktur Systemfehler auftraten.

4.6.6 Testbetrieb und Erprobung in Living Labs



Erprobungen von Fahrfunktionen in Festfeldern und Living Labs sind Schlüssel für die Umsetzung des automatisierten und vernetzten Fahrens. In Kapitel 4.4.4 wird der Testbetrieb auf Fahrzeugebene bereits hinsichtlich sicherheitskritischer Fahrfunktionen beschrieben. Die zunehmende Anzahl von software-basierten Funktionen beim automatisierten und fahrerlosen Fahren muss das Fahrzeug ebenso wie eine wesentlich größere Anzahl von Situationen beherrschen. Nach simulationsbasierten Tests und Testphasen im Prüfgelände erfolgt die Erprobung im Feld. Derzeit ist der Zertifizierungsprozess für die Erprobung von Testfahrzeugen durch den Ausnahmegenehmigungsprozess der Bundesländer nach §70 StVZO geregelt. Dieser gewährleistet ein hohes Maß an Flexibilität, da die Hersteller ein spezifisches Fahrzeug mit durch geringen Reifegrad der neuen Fahrzeugfunktionen im Feld erproben können. Das Testen der einzelnen Fahrzeuge wird zudem zunehmend in Testfeldern und Teststrecken (siehe Kapitel 7) durchgeführt, in denen beispielsweise das Zusammenspiel der Fahrzeugsysteme mit der Infrastruktur erprobt (V2X-Kommunikation) sowie der Fahrzeuge untereinander (V2V-Kommunikation) erprobt werden können. Die Bundesregierung hat hierzu kürzlich die Förderung von Testfeldern bekanntgegeben (siehe Kapitel 2.2). Um die Erprobung im Feld darüber hinaus im Realverkehr – also einem Mischverkehr aus automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen sowie nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden (siehe Kapitel 4.1.2) – durchführen zu können, sind „Living Labs“-Konzepte notwendig, in denen Fahrzeugtechnologien getestet werden. In diesem Kontext können unter Beteiligung der Verkehrsteilnehmenden Systemlösungen entworfen werden, die die Vorteile des automatisierten und vernetzten Fahrens hinsichtlich der Erhöhung der Sicherheit, Ressourceneffizienz, sozialen Teilhabe und nutzerorientierten Mobilität ausschöpfen. Einige Beispiele aus europäischen Nachbarländern (siehe Kapitel 2.2) zeigen hier bereits, wie automatisierte Fahrzeuge z.B. im Nahverkehr getestet werden. Um die Kooperationen bei den Erprobungen zu ermöglichen, sind die Zulassungsvoraussetzungen für den Testbetrieb, insbesondere hinsichtlich des Testens von Flotten möglicherweise zu überprüfen. Diese könnten dazu beitragen, die Zulassungsvoraussetzungen für Flottenbetreiber und KMU zu verbessern und den Ausnahmegenehmigungsprozess komplementieren.

4.6.7 Beschäftigung und Arbeit



Mit der Einführung von Technologien der Automatisierung und Vernetzung werden stets auch arbeitsmarktpolitische Auswirkungen thematisiert, insbesondere wenn hiermit große Veränderungen in gesamten Branchen zu erwarten sind. Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr führt zu veränderten Anforderungen sowohl für Fahrende als auch für Beschäftigte im gesamten Berufsfeld Mobilität (siehe Kapitel 4.6.1). Auch im Mobilitätsbereich wird der Mensch auf absehbare Zeit weiterhin als Entscheider in vorhersehbaren Situationen eingreifen und als „letzte Instanz“ im Straßenverkehr agieren. Darüber hinaus tun sich schon heute neue Betätigungsfelder im automatisierten und vernetzten Straßenverkehr der Zukunft auf (siehe Kapitel 3.5). Eine konkrete Analyse zu quantitativen Beschäftigungseffekten kann heute noch nicht glaubwürdig durchgeführt werden. Allerdings ist bereits ersichtlich, dass die Umwälzung fast alle Bereiche des Arbeitsmarkts – wenngleich in unterschiedlicher Weise – betreffen wird. Das sind die Ergebnisse einer im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) durchgeführten Prognose. Im Bereich des Verkehrs bis 2030 liegt dem die Annahme zugrunde, dass bis dahin selbstfahrende Autos Standard sind, eine vollautomatische Lagerhaltung existiert, Carsharing sich auf breiter Ebene durchgesetzt hat und digitale Verkehrsleitsysteme an vielen Knotenpunkten existieren. Nach der Prognose wird die Sparte Verkehr ihren Beschäftigtenanteil geringfügig erweitern. Jedoch werden sich die Zusammensetzung der Berufe sowie die einzelnen Berufsbilder an sich innerhalb des Verkehrssektors massiv verändern. Für den Berufsbereich „Verkehr und Logistik“, in dem nur die Verkehrs- und Logistikberufe wachsen, während Fahrzeugführerinnen und Fahrzeugführer rückläufig sind, gilt dies noch verstärkt. Auch wenn im Verkehrsbereich zahlreiche Einfacharbeitsplätze entsprechend der Prognose erhalten bleiben, gilt für den breiter gefassten Bereich der Beschäftigung im Mobilitätssektor eindeutig der allgemeine Trend zur Höherqualifizierung. Gesucht werden Fachleute für Digitalisierung, E-Mobilität, Smart Mobility und vernetztes Auto. Sogar innerhalb des akademisch qualifizierten Personals wird es zu quantitativen Verschiebungen weg von den klassischen Maschinenbauern hin zu ganz spezifisch ausgebildeten IT-Fachleuten sowie Elektrotechnikerinnen und -technikern kommen. Der Mobilitätsbereich steht vor den Herausforderun-

gen, zugleich ein „Upgrading“ sowie eine Veränderung der einzelnen Berufsbilder und letztlich eine neue Zusammensetzung der Berufe innerhalb der Sparte organisieren zu müssen. Ferner können Rahmenbedingungen identifiziert werden, die unmittelbar Einfluss auf zukünftige Beschäftigungs- und Arbeitsformen insbesondere in der Logistikbranche nehmen werden:

- **Führerscheinklassen:** Die Einführung des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs kann es notwendig machen, neue Führerscheinklassen einzuführen. Diesbezüglich sind die europäische Führerschein-Richtlinie 2006/126/EG sowie die Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) zu überprüfen.
- **Qualifikation von Berufskraftfahrenden:** Für den Zugang zum Beruf der Berufskraftfahrerin und des -fahrers und dessen Qualifikationsanforderungen muss untersucht werden, inwieweit die Rechtsnormen den Gegebenheiten und Erfordernissen des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs angepasst werden müssen. Relevant hierzu sind die EU-Richtlinie 2003/59 EG sowie das Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG). Mit Blick auf die Ladetätigkeit von Berufskraftfahrenden ist es zum Beispiel vorstellbar, dass sich das körperliche Anforderungsprofil der Betroffenen durch Techniken des autonomen Fahrens ändert, sodass für leistungsgeminderte Arbeitnehmende neue Tätigkeitsfelder geschaffen werden könnten. Ferner gilt es auch für Berufskraftfahrende zu untersuchen, welche Nebentätigkeiten in Zukunft erlaubt sein werden.
- **Arbeitszeitregelungen, Lenk- und Ruhezeiten von Berufskraftfahrenden:** Es ist zu prüfen, wie die Arbeitszeit während des autonomen Fahrens bewertet wird und wie sich dies auf das Arbeitszeitgesetz (ArbZG) und die Tarifverträge auswirkt. In den meisten Tarifwerken bezieht sich die Eingruppierung der Berufskraftfahrerin oder des -fahrers auf den Qualifikationsstand der oder des Arbeitnehmenden. Geänderte Führerscheingruppen und Qualifikationsbedingungen könnten eventuell nicht mehr darstellbar sein. Auf europäischer Ebene sind die Verordnung Nr. 561/2006 sowie Nr. 165/2014 dahingehend zu überprüfen, wie sich automatisiertes Fahren auf die Lenk- und Ruhezeiten auswirkt.
- **Personenbeförderung:** Hinsichtlich der Personenbeförderung ist in der Fahrpersonalverordnung (FPersV) zu prüfen, ob sich durch das automatisierte und vernetzte Fahren Änderungen ergeben.



4.6.8 Ausbildung und Qualifizierung



Grundlage für die Realisierung eines automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs im Jahr 2030 ist die Ausbildung und Qualifizierung. Die Einführung und Bedienung komplexerer Systeme der Automatisierung und Vernetzung benötigt qualifizierte Berufsbilder im Mobilitätssektor. Dementsprechend ist es notwendig, frühzeitig die Qualifikationsanforderungen der zentralen Aktionsfelder zu überprüfen, entsprechenden Bedarf an Qualifikationsmaßnahmen zu identifizieren und geeignete Lösungen zu planen. Im Folgenden werden erste notwendige Veränderungen in der Bildung und Qualifizierung skizziert.

Führerscheinausbildung

Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr bedeutet neue Anforderungen für die Autofahrerin oder den Autofahrer. Deshalb gilt es, ein Rahmencurriculum für die Automatisierungsstufen 1 bis 4 mit den notwendigen neuen Ausbildungsinhalten sowie Lehrplänen und -programmen zu entwickeln. Fester Bestandteil der künftigen Fahrerqualifizierung sollte der Umgang mit Assistenzsystemen und automatisierten Fahrzeugen sein: Wo liegen deren Grenzen und Möglichkeiten, wie gestalten sich die Benutzerführung sowie Mensch-Maschine-Interaktionsprinzipien und wie kann ein System durch die Fahrerin oder den Fahrer übersteuert werden? Neben der Qualifizierung von Fahrenden, die den Führerschein gerade erst erwerben, wird es auch notwendig sein, Menschen weiter zu qualifizieren, die bereits über eine Fahrerlaubnis für konventionelle Fahrzeuge verfügen. Digitale Lern- und Lehrmethoden könnten hier eine geeignete Unterstützung bieten.

Berufliche Bildung

Im Kontext der Nationalen Plattform Elektromobilität wurden in den letzten Jahren die 21 relevanten Bildungsgänge in der Metall- und Elektroindustrie, in den elektro- und informationstechnischen Handwerken sowie im Kfz-Gewerbe und im Karosserie- und Fahrzeugbaugewerbe überarbeitet, sodass die in den letzten Jahren neu geordneten Berufsprofile den Qualifikationsanforderungen des automatisierten Straßenverkehrs schon heute teilweise gerecht werden. Die Berufsbilder sind nicht mehr auf einzelne Technologien fokussiert, sondern gestaltungsoffen durch typische Arbeitsabläufe und -prozesse charakterisiert. Damit können spezifische Ausbildungsinhalte der neuen Aktionsfelder des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs schnell inte-

griert werden. Beispielsweise wurden die Ausbildungsberufe zur Kfz-Mechatronikerin und -mechatroniker oder zur Karosserie- beziehungsweise Fahrzeugbaumechanikerin und -mechaniker nicht nur mit Blick auf die Elektromobilität, sondern auch – soweit absehbar – mit Blick auf den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr neu geordnet. Bei den industriellen Elektroberufen wurde der für die Fahrzeugintegration und -vernetzung zentrale Ausbildungsberuf der Elektronikerin beziehungsweise des Elektronikers für Informations- und Systemtechnik für diese Einsatzbereiche neu ausgerichtet und positioniert. Handreichungen und Umsetzungshilfen wurden auch schon erstellt oder befinden sich in der Anpassung. Bei der weiteren Entwicklung der Qualifizierungsinhalte für die berufliche Bildung sollten auch neue Wertschöpfungsketten und das sich noch entwickelnde Ökosystem Mobilität berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.5). Hinsichtlich der technischen Ausstattung von Bildungsstätten mit Blick auf Kompetenzanforderungen bezüglich des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs sollten der konkrete Handlungsbedarf simultan mit der Bearbeitung der Aktionsfelder festgestellt und entsprechende Anpassungen eingeleitet werden. In einem sich rasch wandelnden und technologisch anspruchsvollen Arbeitsumfeld wird der Arbeitsprozess selbst zur größten Lernquelle („training on the job“). Die zunehmende Digitalisierung eröffnet dabei vielfältige neue Möglichkeiten, die eigenen Fachkräfte bedarfsgerecht und zukunftsorientiert weiterzubilden. Das Lernen am Arbeitsplatz kann beispielsweise durch E-Medien und digitale Lernplattformen gefördert werden. Diese bieten die Chance, durch neue und flexible Lernangebote bestimmtes Wissen passgenau und berufsbegleitend zu vermitteln.

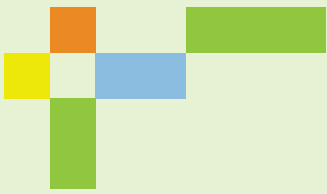
Akademische Bildung

Die Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs sowie die Bedeutungszunahme von Mobilitätsdienstleistungen schaffen neue Anforderungen für Fachkräfte in unterschiedlichen Bereichen. Forschung und Entwicklung sind ebenso betroffen wie Produktion, Transport und Logistik sowie Reparatur und Wartung. Entsprechend muss die Anpassung der akademischen Bildung sowie postgradualer Weiterbildung an verschiedenen Ebenen ansetzen. Neue Inhalte, insbesondere aus dem Bereich der angewandten Informatik und der Forschung der künstlichen Intelligenz, müssen in den Fachbereich des Fahrzeugbaus integriert werden. Neben den technischen Herausforderungen sind die betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkte Akzeptanz und Marketing hochrelevant. Parallel zu disziplinenübergreifenden Erneuerungen ist die Einrichtung speziell zugeschnittener, syste-

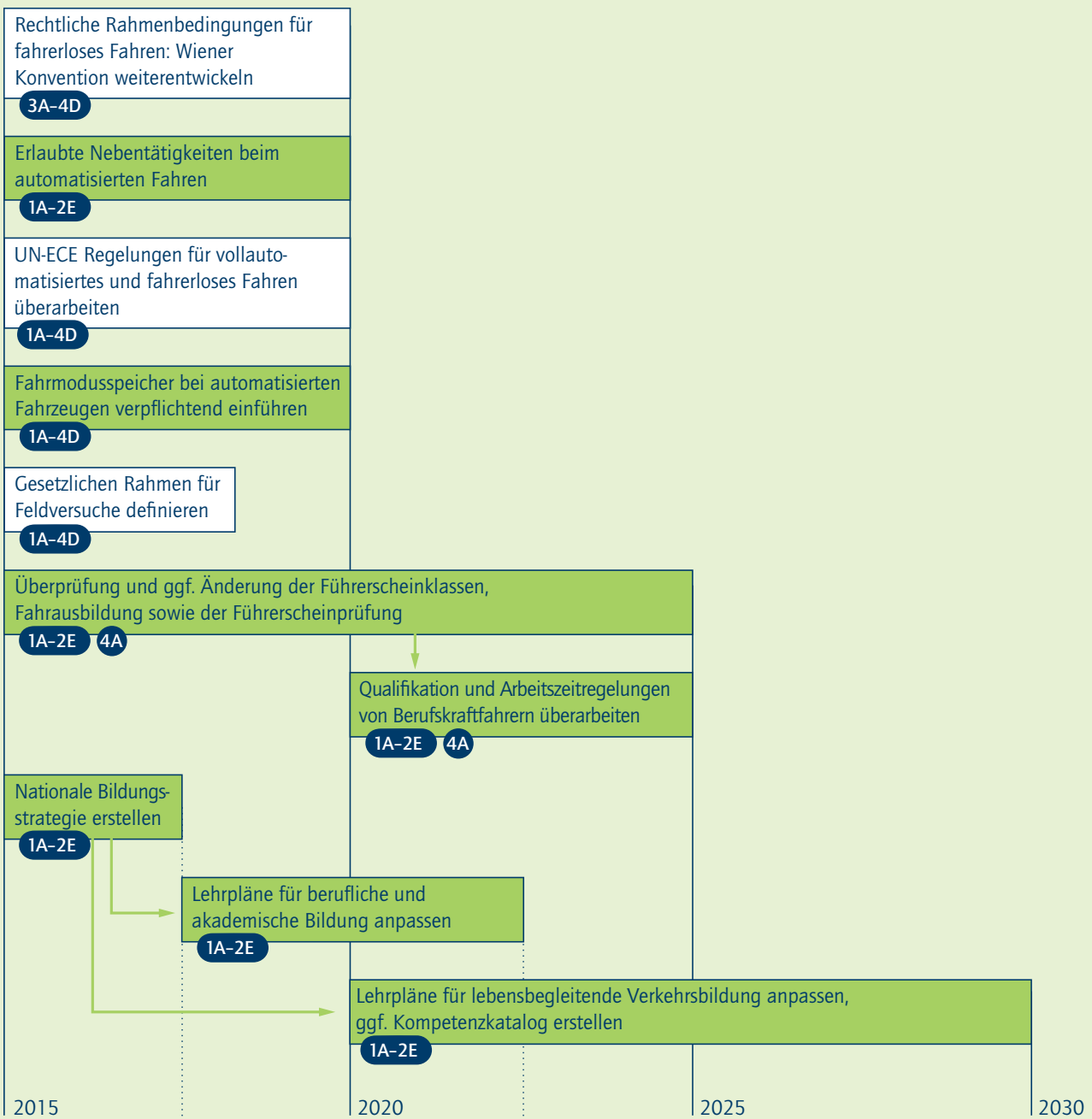
mischer Masterstudiengänge und postgradualer Weiterbildungsangebote ein zusätzlicher wichtiger Schritt, um künftige Fachkräfte auf die Neue autoMobilität vorzubereiten.

Lebensbegleitende Verkehrsbildung

Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr im Jahr 2030 wird sich grundlegend vom heutigen Straßenverkehr unterscheiden. Daher sind Bildung und Qualifizierung nicht nur auf Berufstätige beschränkt, sondern müssen alle Verkehrsteilnehmende umfassen. Auch Kinder, Fahrradfahrende und andere nicht motorisierte Verkehrsteilnehmende müssen künftig mit den Regeln des automatisierten Straßenverkehrs vertraut sein. Eine entsprechende Qualifizierung muss bereits heute in der lebensbegleitenden Verkehrsbildung berücksichtigt und entsprechend in die Lehrpläne der unterschiedlichen Bildungsträger – sowohl in der Fahrschule als auch in der Fahrlehrerausbildung – aufgenommen werden.



Rahmenbedingungen



1A Verweis auf Nutzungsszenario Kritisches Element

Abbildung 22: Roadmap Rahmenbedingungen (Quelle: eigene Darstellung)

Kategorie Rahmenbedingungen: Zusammenfassung

Zu den wesentlichen Rahmenbedingungen für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr gehören nicht nur nationale Rechtsfragen, sondern auch europäisches Recht und internationale Vereinbarungen. Gegenstand ist vor allem der Bereich des Straßenverkehrsrechts einschließlich der Bereiche Zulassungs- und Haftungsrecht. Dabei sind für den zukünftigen Straßenverkehr insbesondere die Regelungen zu Sorgfaltspflichten der Fahrenden, aber auch die Notwendigkeit zur Datenspeicherung, beispielsweise von Ereignissen und Aktivitäten der Fahrenden sowie des Fahrzeugsystems von Bedeutung. Während der rechtliche Rahmen automatisiertes Fahren bereits teilweise erlaubt beziehungsweise entsprechend angepasst wird, stellt die Ermöglichung des fahrerlosen Fahrens (Stufe 5 der Automatisierung) ein zentrales Handlungsfeld zur Erreichung des Zielbildes dar. Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen für das Fahren automatisierter Fahrzeuge werden auch nachgelagerte Fragen adressiert. Im Transportwesen gilt es vorhandene Arbeits- und Sozialstandards zu überprüfen. Des Weiteren muss auch der Anpassungsbedarf im Bereich der Führerscheinausbildung oder der allgemeinen Verkehrsbildung untersucht werden.



4.7 Technische Normen und Standards

Eine hierarchische Struktur aufeinander aufbauender Rechtsakte und diese weiter konkretisierender technischer Regeln bildet den normativen Rahmen (siehe Abbildung 23). Technische Regeln umfassen sowohl Normen als auch Standards. Als Normen gelten Dokumente, die konsensuell erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen wurden.¹⁰⁹ Normen legen die Anwendung von Regeln oder von Leitlinien für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse fest. Unter einem Standard wird eine vereinheitlichte und weithin anerkannte Art und Weise, etwas herzustellen oder durchzuführen, verstanden. Viele Standards sind weltweit bekannt, wie zum Beispiel der IEEE-Standard für WLAN. Standards können als Zweck und Ziel von Vereinheitlichung verstanden werden, wohingegen Normung die erforderlichen Mittel zur Durchsetzung von Vereinheitlichung bereitstellt.

Der zum Teil in Verordnungen explizit enthaltene Verweis auf die allgemein anerkannten Regeln der Technik gilt insbesondere für die Entwicklung zukünftiger E/E/PE-Fahrzeugsysteme. Im vorliegenden Kontext muss die ISO 26262 Road vehicles – Functional safety als relevante Norm genannt werden. Zudem ist die

Sicherheitsgrundnorm IEC 61508, welche die Basis der ISO 26262 darstellt, zu beachten. Auf der unverbindlichsten Ebene der Standards und Spezifikationen ist beispielsweise die Entwicklungspartnerschaft mehrerer Automobilhersteller und -zulieferer zur Automotive Open System Architecture (AUTOSAR) zu nennen, deren Ziel einheitliche Standards im Bereich Software- und Hardwareentwicklung sind. Ebenso sind hier die Bestrebungen des RESPONSE 3-Konsortiums einzuordnen, deren Code of Practice als Richtlinie für die Entwicklung und Validierung von sicheren Fahrerassistenzsystemen dienen soll.¹¹⁰

4.7.1 Bedeutung technischer Standardisierung und Normung

Vereinheitlichung ist eine Grundvoraussetzung für die Automatisierung und Vernetzung in Fahrzeugtechnik und Straßenverkehr. Bereits heute existiert eine Vielzahl von Standards und Normen zur Vereinheitlichung der Bedienelemente und Fahrzeugleuchten, der chemischen Kraftstoffe oder der Verkehrsregeln und -zeichen. Mit der Perspektive eines zunehmend automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs sind für die erforderlichen technischen Einrichtungen der Kraftfahrzeuge, der Straßeninfrastruktur und der Verkehrsinformations- und Kommunikations-

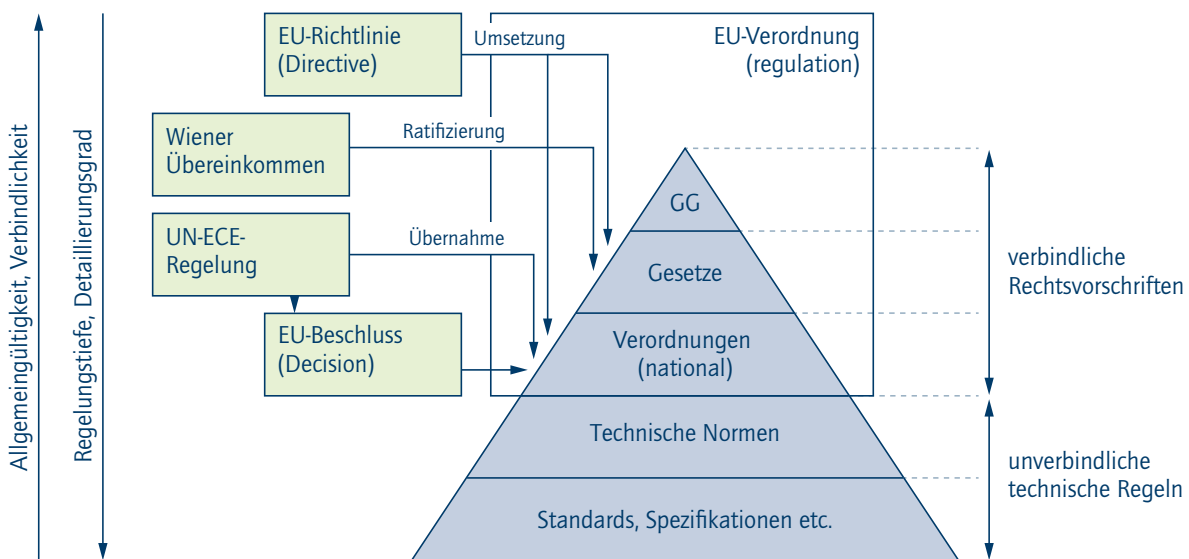


Abbildung 23: Bedeutung von Normen und Standards im internationalen Rechtsrahmen (Quelle: in Anlehnung an Schnieder/Schnieder 2013)

109 | DIN 2007, S. 25.

110 | Schnieder/Schnieder 2013.

infrastruktur, für den Ablauf autonomer Prozesse, für die Fahrzeugentwicklung und die Fahrzeugzulassung weitere Vereinheitlichungen erforderlich.

Aus der Anzahl der verschiedenen Bereiche, die von der Vereinheitlichung betroffen sind und von ihr profitieren, erschließt sich auch die wirtschaftliche Relevanz von Normen und Standards im automatisierten Straßenverkehr. Normung ist ein Motor für Innovation: Mit der Etablierung von verlässlichen Rahmenbedingungen für Hersteller und Betreiber von Fahrzeugen werden die Voraussetzungen geschaffen für die Einführung, die Serienproduktion, den Betrieb, die Migration, die Instandhaltung und die längere Vorhaltung automatisierter Fahrzeuge. Darüber hinaus schafft Normung auch Rahmenbedingungen für Verkehrsteilnehmende, Betreibende und Nutzende, die auf verlässliche und stabile Bedingungen vertrauen können. Schätzungen zufolge bewegt sich der auf diese Weise bewirkte gesamtwirtschaftliche Nutzen der Normung seit 1992 in einem Bereich zwischen 0,7 und 0,8 Prozent des Bruttoinlandsproduktes.¹¹¹ Unter anderem mit dem Ziel, wirtschaftliche Anreize zu schaffen, haben deshalb die europäischen Verkehrsminister die Amsterdamer Erklärung unterzeichnet. Gemeinsam mit den anderen EU-Mitgliedstaaten, der Europäischen Kommission und der Industrie wird darin an Regeln und Vorschriften gearbeitet, die den Weg für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge auf offener Straße ebnen.

Vorangetrieben wird Standardisierung und Normung weitgehend von nationalen oder internationalen Industriekonsortien (zum Beispiel AUTOSAR oder dem Car-to-Car-Consortium), Branchenverbänden (zum Beispiel der Verband der Automobilindustrie e.V. VDA oder die European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organisation ERTICO), Ingenieurverbänden (wie dem Verein deutscher Ingenieure e.V. VDI beziehungsweise dem Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE) und technisch-wissenschaftlichen Gesellschaften (Beispiele: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung VDI-GPP, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, European Road Transport Research Advisory Council ERTRAC, Society of Automotive Engineers SAE). Für Entwicklung, Pflege und Aktualisierung von technischen Normen sind andererseits behördliche, staatlich und völkerrechtlich anerkannte technische Regelsetzer verantwortlich. Diese Regelsetzer sind vorwiegend nach den verschiedenen Domänen auf die großen Bereiche Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Informations- und Kommunikationstechnik ausgerichtet und national, europäisch beziehungsweise international in entsprechenden Organisationen

beheimatet, wie zum Beispiel DIN/DKE, CEN/CENELEC, ISO/IEC oder ETSI beziehungsweise ITU. Da die Normung im Spannungsfeld zwischen Dynamik und Verbindlichkeit steht, wurden weitere Instrumente entwickelt, zum Beispiel DIN SPEC, DIN Vornorm oder CEN Workshop Agreement (CWA), um den technischen Fortschritt nicht zu bremsen.

Das für Straßenfahrzeuge zuständige ISO TC22 „Road vehicles“ wurde in den letzten zwei Jahren umstrukturiert, um eine bessere Abstimmung zwischen den Arbeitsausschüssen sicherzustellen. Der deutsche Normenausschuss VDA/Normenausschuss Automobiltechnik (NAAutomobiltechnik) des DIN hat diese Umstrukturierung maßgeblich mitgestaltet. Zusätzlich wurden die nationalen Gremien der Fahrerassistenzsysteme von ISO TC22 und ISO TC 204 zu „Intelligent Transport Systems“ im NAAutomobil gebündelt.¹¹²

Hinsichtlich Standards für das vernetzte Mobilitätssystem (beziehungsweise Fahrzeugvernetzung) sind folgende Standardisierungsgremien (SDOs) für die Europäische Standardisierung relevant: ETSI Technical Committee (TC) ITS, CEN TC 278, ISO TC 204 und 3GPP. Von besonderer Bedeutung sind die in Normen festzulegenden eindeutigen Definitionen von Begriffen, um die Missverständnisse verschiedener Interpretationen zu vermeiden. Als Grundlage kann der BAST-Bericht „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ (Heft F 83) oder der SAE Standard J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems dienen.¹¹³

Übergreifend muss festgehalten werden: Während für die sogenannte Industrie 4.0 entsprechende Gremien, Plattformen, Arbeitskreise usw. in erheblichem Umfang Strategien, Konzepte, Arbeitspapiere und Standardisierungen vorantreiben, existieren mit Blick auf die Neue autoMobilität bislang nur wenig vergleichbare Aktivitäten. Allein hinsichtlich Standardisierung und Normung wurde unter dem DIN/DKE-Steuerkreis „Normung Industrie 4.0“ der Arbeitskreis „Normungs-Roadmap“ eingerichtet, der unter dem Titel „Deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0“ ein 80-seitiges Papier verfasst hat.¹¹⁴ In struktureller und methodischer Hinsicht sind diese Empfehlungen beispielhaft für eine entsprechend notwendige Aktivität in Bezug auf die Neue autoMobilität.

111 | DIN 2011; vgl. auch Becker et al. 2010.

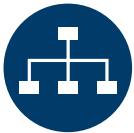
112 | VDA 2015.

113 | BAST 2012.

114 | DIN/DKE 2015.



4.7.2 Gesamtarchitekturen im intelligenten Verkehrssystem



Mit der informations- und kommunikationstechnischen Vernetzung bekommt der Straßenverkehr eine neue Qualität. Beim Informationsaustausch muss zwischen semantischen Dateninhalten und übertragungstechnischer Realisierung differenziert werden. In dieser Hinsicht muss auch die Standardisierung und Normung der Inhalte und Funktionen von der Standardisierung und Normung der Übertragungstechnik getrennt werden. In grober Aufteilung dient die Vernetzung einerseits unmittelbar der Durchführung der sicheren Fahrt, andererseits der Navigation und Verkehrsinformation. Darüber hinaus kann die Vernetzung Dienstleistungscharakter erfüllen, zum Beispiel für Logistikaufgaben, für Ferndiagnosen, für Mautzwecke, zur Parkraumbewirtschaftung oder zur Abwicklung des Zahlungsverkehrs bei der Versorgung mit Kraftstoffen oder elektrischer Energie. Weiterhin sind Werbezwecke, lokale Wetterdienst usw. Gegenstand der Vernetzung. Es ist zu erwarten, dass die Vernetzung letzter Zwecke eher eine Standardisierung ohne Normung erfährt und das Augenmerk stärker auf die Datensicherheit und den Datenschutz gelegt wird.

Normen und Standards zur Übertragungstechnik sind bereits zahlreich vorhanden und werden in Kapitel 4.7.5 dargestellt. Hier steht die Standardisierung und Normung der informationellen Vernetzung im Vordergrund. Anders als zum Beispiel im elektrischen Energieerzeugungs- und -verteilungssystem, wo die Vernetzung physikalisch erfolgt, ist bei informationell vernetzten Verkehrsteilnehmenden die physische Kopplung unerwünscht. Außerdem verfolgen die beteiligten Subjekte individuelle Ziele, sodass die entstehende Selbstorganisation etwa mit dem entstehenden Internet der Dinge oder Multiagentensystemen vergleichbar ist, die von einem standardisierten Informationsaustausch „leben“. Für Multiagentensysteme existieren seit einiger Zeit Frameworks und Kommunikationssprachen und -protokolle.

Perspektivisch muss der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr in eine umfassende Gesamtarchitektur des IVS integriert werden.¹¹⁵ Für deren Konzeption, Errichtung und Betrieb wurde 2010 vom Europäischen Parlament die Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern verabschiedet. In der Begründung dieser Richtlinie heißt es: „[Z]ur Gewährleistung einer koordinierten und effekti-

ven Einführung von IVS in der gesamten Union sollten Spezifikationen und, soweit angemessen, Normen mit detaillierteren Bestimmungen und Verfahren festgelegt werden.“ Im Artikel 8 der Richtlinie wird zu der Erstellung zugehöriger Normen eigens aufgefördert. Die in der Europäischen Richtlinie über intelligente Verkehrssysteme (2010/40/EU) vorgesehenen Normungsaktivitäten wurden bereits in das jährliche Arbeitsprogramm der Union für europäische Normung 2014 aufgenommen. Diese wurden auch in die nachfolgenden Arbeitsprogramme übernommen. Die Bundesregierung hat Mitte 2013 die Richtlinie 2010/40/EU national in das Intelligente Verkehrssysteme Gesetz (IVSG) in sehr knappem Umfang umgesetzt. Nach dessen § 5 ist deren Konkretisierung jedoch erst durch Rechtsverordnungen zu regeln. Gemäß dem zur EU-Richtlinie vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (heute BMVI) im Jahr 2012 veröffentlichten Aktionsplan für IVS-Maßnahmen gehört dazu die Entwicklung einer IVS-Referenzarchitektur für ein übergreifendes Verkehrsmanagement.

Im Zusammenhang mit der Neuen autoMobilität sind darin aus Sicht der Verkehrsinformations- und Kommunikationsinfrastruktur auch folgende Aspekte von Bedeutung:

- Erarbeitung eines funktionalen IVS-Regelwerkes als Grundlage für eine Integration von innovativen Systemelementen in die Investitionsplanung
- Konzeption und Erprobung kooperativer Systeme
- Verfahren zur optimierten Zugänglichkeit von kartenrelevanten Straßendaten für IVS

Zur Konkretisierung von Systemarchitekturen werden sogenannte Referenzmodelle etabliert und zum Teil standardisiert. Sie bilden einerseits einen begrifflichen und strukturellen Rahmen, bieten andererseits aber auch Spielraum zur individuellen Ausgestaltung für individuelle Implementierungen. Zudem kann dadurch sowohl Modularität in der Konfiguration, bei der Herstellung und bei einer unabhängigen Prüfung und Überwachung gewährt werden. Ausgehend von dem standardisierten Referenzmodell für Kommunikationssysteme (dem ISO/OSI-Schichtenmodell ITU-T. X.200) haben sich in vielen Bereichen ähnlich strukturierte Modelle für Referenzarchitekturen etabliert, die teilweise auch sektorspezifisch genormt wurden. Speziell für die Kommunikation intelligenter Verkehrssysteme spezifiziert die Norm ETSI EN 302 636-5-1 V1.2.1 (2014) eine Schichtenarchitektur für den Nachrichtentransport (siehe Kapitel 4.7.5).

115 | Schnieder 2007.

Eine generelle Architektur und Organisationsstruktur für kooperative ITS mit Diensten, Verantwortlichkeiten und Rollen unterschiedlicher Akteure verschiedener Industriezweige sowie deren Methoden aus einer prozessorientierten Sichtweise wird in der DIN CEN ISO/Technical Specification (TS) 17427 Intelligente Transportsysteme – Kooperative Systeme – Klassifikation und Steuerung von ITS-Anwendungen beschrieben. Hierzu gehören auch die Definitionen und Begriffe aus ISO/TR 17465-1, Klassifizierungen und Management der ISO/TS 17419 sowie die Anforderungen und Zielsetzungen für Kommunikationsprofile aus ISO/TS 17423. In Bezug auf die Subsystemarchitektur im Fahrzeug entwickelte die internationale Entwicklungspartnerschaft AUTOSAR im letzten Jahrzehnt einen umfangreichen Industriestandard für Funktionen und -geräte zur Steuerung, Informationserfassung und Auswertung sowie zur Aktorik und Kommunikation und Energieversorgung von Fahrzeugen (siehe Kapitel 4.3). Für diese Plattform gilt es neue Datenformate für die Manöverplanung, für die sensorische Erfassung und für die Interpretation der Fahrzeugumgebung und IVS-Integration zu definieren und zu standardisieren.

4.7.3 Funktionen und Verhalten



Automatisierung beruht auf reproduzierbaren Verhaltensweisen, denen sich die beteiligten Akteure unterwerfen. In diesem Zusammenhang sind standardisierte Fahrmanöver und ausgeführte Interaktionsschemata wiederholbare Prozesse, die einerseits Verlässlichkeit für alle am Verkehrsgeschehen beteiligten Akteure bieten, andererseits aber auch die technischen Funktionen in ihrer Komplexität einschränken und somit realisierbar, reproduzierbar und prüfbar machen. Für die mehr oder weniger neuartige automatische Manöverplanung und -ausführung, die bereits von einigen Assistenz- und Automatisierungsfunktionen für Einparkvorgänge, Spurhaltung und Überholmanöver auf Autobahnen sowie Nothaltemanöver beherrscht wird, sind für eine flächendeckende Penetration detailliertere Vorgaben erforderlich.

Die Problematik der Vereinheitlichung besteht unter anderem darin, die Manöver zu kategorisieren und zu beschreiben sowie zu entscheiden, ob die Manövertrajektorien eher nur kausal oder auch in ihrem zeitlichen Verhalten präzisiert werden müssen. In diesem Zusammenhang müssen die verschiedensten Szenarien, in denen sich diese Manöver abspielen, beschrieben und standardisiert werden. Für eine Reihe von Szenarien sind bereits Vor-

schläge seitens des C2C-Consortiums und anderer Gremien vorhanden. So wurde im Forschungsprojekt HAVEit eine Methode zur Beschreibung von Szenarien und Transitionen entwickelt. In Wachenfeld et al. (2015) wurden Einsatzszenarien für autonomes Fahren anhand von Merkmalen formal beschrieben.¹¹⁶ Die Identifikation und Beschreibung der Gesamtheit aller möglichen Verkehrssituationen wurde bisher jedoch nicht angestrebt. Bisher definierten die Normen im Bereich der Fahrdynamik hauptsächlich Fahrmanöver, um Randbedingungen zur Bewertung des Fahrverhaltens zu vereinheitlichen. Ein Beispiel ist der Spurwechseltest ISO 3888-2 – der sogenannte „Elchtest“. Mit der Erweiterung des Aufgabenbereichs des Normenausschusses (NA) Automobil sollen in Zukunft Methoden beschrieben werden, die einen normierenden Rahmen für neue Assistenzsysteme und das automatisierte Fahren abgeben.

Für die Fahrzeugmanöver müssen die Bedingungen sowohl der anderen Verkehrsteilnehmenden als auch der Umgebung (passiv, zum Beispiel Infrastruktur, Fahrbahnmarkierung etc.) spezifiziert werden. Für die straßenbauliche Infrastruktur ist die Standardisierung auf gesetzlicher Grundlage vorhanden (siehe Kapitel 4.5.1). Sie umfasst den Baukörper der Straße als Fahrweg, einschließlich der Beschilderung (§ 39 (2) StVO), der Fahrbahnmarkierungen (§ 39 (5) StVO), der Leiteinrichtungen (§ 43 (3) StVO) und der Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Die Automatisierung ab SAE-Level 3 (bedingte Automatisierung) erfordert für die Bestandteile der baulichen Infrastruktur mindestens ein verlässliches Qualitätsmanagement für bereits bestehende Standards. Darüber hinaus wird für höhere Automatisierungsstufen (ab SAE-Level 4 – Hoch- und Vollautomatisierung) eine Erweiterung der Funktionalität notwendig.

Wichtig für die Funktionen des automatisierten Fahrens ist die Interaktion der Automatisierungsfunktionen mit der Fahrzeugführerin oder dem Fahrzeugführer hinsichtlich der Prozessabläufe sowie der Bedienung und Anzeige im Mensch-Maschine-Interface (MMI). Dafür ist die Standardisierung der Kriterien für Fahrerbeobachtung und Fahrermodelle einschließlich der Prozesse zur Fahrtübergabe und -abgabe notwendig. Dies führt zu einer Erweiterung und Standardisierung von Verhaltensmodellen und Interaktionsmodellen von Menschen (Fahrende, andere Fahrende, Fußgängerinnen und Fußgänger, Zweiradfahrende etc.). Die Modelle des menschlichen Fahrerverhaltens sind auch Grundlage für Funktionspezifikationen, Funktionsentwicklung, Simulation, Test und gegebenenfalls auch für die Verifikation beziehungsweise Validation. Darüber hinaus dienen sie auch zur



Einführung internationaler Standards für MMI und die anschließende Produktentwicklung (siehe Kapitel 4.2).

Voraussetzung für ein fahrstreifengenaues automatisches Manövrieren ist eine valide Datengrundlage im Fahrzeug. Hierzu zählen einerseits eine präzise Ortung in Bezug auf die Referenzkoordinaten des Straßenverkehrswegenetzes und andererseits eine hochgenaue Umgebungserfassung einschließlich der Infrastruktureinrichtungen. Zu diesen beiden Aspekten sind für eine flottenweite Penetration der neuen Automobilität Standardisierungen erforderlich.

Zum Thema Präzisionsortung und Kartenreferenz: Da für sichere Fahrzeugmanöver neben der sensorisch erfassten Verkehrsumgebung und den kommunikationstechnisch zugeführten Daten (zum Beispiel von Lichtsignalanlagen, von Geländen, Gebäuden sowie von Verkehrswegen und -anlagen) insbesondere aktuelle und genaue digitale Karten erforderlich sind, ist die Standardisierung von Modellen, Dateninhalten und Formaten sowie von ihrer Genauigkeit und Verlässlichkeit erforderlich, um die Zuteilung der Verantwortlichkeiten zu regeln (siehe Kapitel 4.5.3). Zur Standardisierung einer Local Dynamic Map (LDM) werden folgende Spezifikationen für die Normung durch CEN und ISO vorbereitet:

- TS 18750 für die Definition der Konzeption und TS 17424 für die Bestandaufnahme zum Stand der Technik
- ETSI TS 102 636-4-2: „Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 2: Media-dependent functionalities for ITS-G5“
- Das ISO TC211 hat ebenfalls zahlreiche Standardisierungsaktivitäten zu geografischen Informationen in der Serie 191XX erarbeitet.¹¹⁷
- ISO 14825 spezifiziert die Konzeption und ein Datenmodell geografischer Datenbasen für IST-Anwendungen und -dienste, zum Beispiel für Navigation und Verkehrsleitzentralen.
- Im Bereich der satellitengestützten Ortung ist zum Beispiel von der CEN ein Ortungsstandard in Vorbereitung: prEN 16803-1:2014 beziehungsweise die deutsche Fassung DIN EN 16803-1:2015-02 – Entwurf.

Zwecks einer einheitlichen Referenzierung der Verkehrsteilnehmenden bei der Ortung und der Lokalisierung von Infrastruktureinrichtungen ist zudem eine Standardisierung unerlässlich, wie es zum Beispiel in der ISO 17572-Reihe beschrieben wird. Darü-

ber hinaus müssen diese Systeme hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, Einsatzbedingungen und Anforderungen nach einheitlichen Merkmalen und Prozessen geprüft werden. Insbesondere ist für die metrologische Bewertung eine Angabe der dynamischen Messunsicherheit für deren Messsysteme nach dem internationalen Standard „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) notwendig. Die für die Zertifizierung der Systeme infrage kommenden oder zuständigen Institutionen müssen nach ISO 17025 arbeiten und entsprechend akkreditiert werden.

Zum Thema Umgebungserfassung: Mittels verschiedenster fahrzeugseitiger Sensorik werden sowohl das eigene Verhalten eines Fahrzeuges selbst als auch das aktuelle Verkehrsgeschehen und die Verkehrsumgebung in Fahrzeugen erfasst. Seitens der straßenbaulichen Infrastruktur (siehe Kapitel 4.5.1) ist die Standardisierung auf gesetzlicher Grundlage vorhanden. Zwecks effizienter Entwicklung, aber auch hinsichtlich gleichartiger Interpretation derselben Situation von verschiedenen Verkehrsteilnehmenden ist eine standardisierte Modellierung und sich daraus ergebende Repräsentation der Fahrzeugzustände und der Verkehrsumgebung zweckmäßig. Um die in der Forschung vorhandenen Konzepte zu vereinheitlichen, ergibt sich ein umfangreicher Standardisierungsbedarf, zum Beispiel für Datenmodelle und ihre Repräsentation.

4.7.4 Kommunikation



Zur Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit Einrichtungen der Infrastruktur und möglicherweise mit weiteren Teilnehmenden am Straßenverkehr spielt die Kommunikation eine wesentliche Rolle. In diesem Abschnitt werden daher zuerst die funktionalen Aspekte zur Standardisierung von räumlich getrennten Kommunikationsverbindungen berücksichtigt.

Für die Kommunikation in sogenannten mobilen Ad-hoc-Netzen der V2V-Kommunikation und für die V2X-Kommunikation sind bereits zahlreiche Standards für Protokolle, Funksysteme und Anwendungen vorhanden. Dazu zählen:

- IEEE Std. 1609.2-2012 (draft D12): „Wireless Access in Vehicular Environments – Security Services for Applications and Management Messages“.
- IEEE Std. 1609.2-2012 (draft D17 and subsequent issues V3 D3 from 2015): „Wireless Access in Vehicular Environments – Security Services for Applications and Management Messages“.

117 | iMobility Support 2014.

- IEEE Std. 1609.3-2010: „Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Networking Services“.

Für die drahtlose Informationsaussendung von Lichtsignalanlagen (Ampeln) an Verkehrsteilnehmende haben sich im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte Informationsinhalte und Kommunikationsprotokolle auf der Grundlage von IEC 802.11 herauskristallisiert. In dieses zu standardisierende Nachrichtenangebot müssen Inhalte von möglicherweise zukünftig aktivierbaren Verkehrszeichen, von Wechselverkehrszeichen und von Verkehrsbeneinflussungsanlagen integriert werden (siehe Kapitel 4.4.1).

Folgende bereits etablierte Normen setzen dafür den Rahmen:

- Die Norm ISO TS 19091 spezifiziert zum Beispiel den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen an Kreuzungen.
- Die Norm ISO /TS 17419: 2014 dokumentiert die globale Klassifizierung und Verwaltung von ITS-Anwendungen auf der Grundlage der ITS-Station und der Kommunikationsarchitektur in ISO 21217. Sie beschreibt und spezifiziert global eindeutige Adressen, Kennungen, Parameter sowie Organisation und Verfahren zum Management der ITS-Stationen. ISO /TS 17423 dient den Kommunikationsdiensten der Anwendungsschicht und der automatischen Auswahl von Kommunikationsprofilen.
- Die ETSI-Normen zur Kommunikation in intelligenten Verkehrssystemen(ETSI EN 302 665 beziehungsweise 663) beziehen sich auf die Protokollstrukturen, die Normen der Reihe ETSI EN 302 636-1, -2, -3, -4 haben die Anforderungen, Szenarien, Netzwerkarbeit und geografische Adressierung zum Gegenstand sowie die Verbindungsarten. Im Kontext dieser Normen sind noch weitere von gewissem Belang, zum Beispiel ISO TS 19091 für den Informationsaustausch mit Lichtsignalanlagen an Kreuzungen, oder ISO/TR 24532:2006, wo mit der CORBA-Spezifikation ein Rahmen für den kooperativen Informationsaustausch spezifiziert wird.
- Auch der elektronische Unfallnotruf eCall beruht auf der Verwendung zahlreicher europäischer Normen, zum Beispiel DIN EN 16072:2015-08 beziehungsweise ISO/CD 15638-10.

Für eine umfassende Nutzung der erzeugten Daten in Form eines Datenmarktplatzes wäre die Erarbeitung einer allgemeinen Norm für anonyme Fahrzeugdaten innovationsfördernd. Derzeit wird mit dem nationalen Ansatz mFund ein Forschungsprogramm für die Nutzung der öffentlich verfügbaren Geo- und anderweitigen

Fachdaten aus dem Aufgabenbereich des BMVI-Geschäftsbereichs (zum Beispiel Mobilitäts-, Verkehrs-, Hydrografie, Klima- und Wetterdaten) ausgeschrieben. In diesem Kontext wäre auch eine geeignete Normung zu platzieren.

4.7.5 Informations- und Datensicherheit



In allen Fällen der Vernetzung ist die Sicherheit der Kommunikation mit den Aspekten Datenschutz, Datenspeicherung, Eigentum und Zugriffsrechten sowie Störungsresistenz besonders wichtig und wird zum Teil gesetzlich verlangt. Neben den standardisierten Dateninhalten der Nachrichten sind dabei die Kommunikationsprotokolle entscheidend. Die Bewertung der Datensicherheit und ein allgemeines Vorgehensmodell sind Gegenstand der Norm DIN ISO/IEC 15408, die unter anderem auch eine siebenstufige Skala der Vertrauenswürdigkeit, den „Evaluation Assurance Level“ (EAL) beinhaltet. Diese Norm wird in Deutschland vom Arbeitsausschuss DIN NIA-01-27 IT-Sicherheitsverfahren betreut.

Für eine Etablierung von IT-Sicherheitskonzepten bei Fahrzeugen sind dafür ebenfalls Standards und Zertifizierungen notwendig. Die IEEE hat im Rahmen der Standardisierung der Fahrzeugkommunikation hierzu den Vorschlag IEEE P1609.2/D12 (January 2012): „IEEE Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments – Security Services for Applications and Management Messages“ erarbeitet. Im übergeordneten Umfeld intelligenter Verkehrssysteme treten die gleichen Herausforderungen auf. Hier sind vom European Telecommunication Standards Institute innerhalb der Normenreihe 102 und 103 folgende Normen veröffentlicht worden:

- ETSI TS 102 637-2: „Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service“.
- ETSI TS 103 097 V1.1.1 (2013-04): „Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security header and certificate formats“
- ETSI TS 102 940 V1.1.1 (2012-06): „Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management“
- ETSI TS 102 941 V1.1.1 (2012-06): „Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Trust and Privacy Management“
- ETSI TS 102 942 V1.1.1 (2012-06): „Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Access Control“



- ETSI TS 102 943 V1.1.1 (2012-06) Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Confidentiality services"

National ist für die Vernetzung das 2015 als Artikelgesetz veröffentlichte Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) von Bedeutung, da mit der Vernetzung im Verkehr eine kritische Infrastruktur beeinflusst wird. In der zugehörigen Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV)¹¹⁸ ergeben sich für die Betreiber bestimmte Erfüllungsaufwände, insbesondere in § 5 für den Sektor Informationstechnik und Telekommunikation. Die Ausgestaltung dieser Verordnung wird derzeit betrieben, sollte jedoch auch für die informationstechnische Vernetzung der neuen Mobilität frühzeitig beachtet werden. In diesem Zusammenhang ist ein standardisiertes Informations-Sicherheitsmanagement-System (ISMS) für Hersteller, Betreiber und Anwender von hohem Nutzen.

Aufgrund der zugespitzten Bedrohungslage für eine sichere Datenkommunikation in allen Branchen hat sich in letzter Zeit eine erhebliche Normenlandschaft herausgebildet, die vorwiegend die industrielle Automatisierung und Eisenbahnen adressiert, aber auch für die digitale Vernetzung im Verkehr zu nutzen wäre. Zu den Normen zählen:

- VDI/VDE 2182 Informationssicherheit in der industriellen Automatisierung, Allgemeines Vorgehensmodell, Blatt 1, Januar 2011
- VDI/VDE V 0831-104, Electric signalling Systems for railways -Part 104: IT Security Guideline based on IEC 62443, Draft
- DIN EN 50159:2011-04; VDE 0831-159:2011-04: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme – Sicherheitsrelevante Kommunikation in Übertragungssystemen (deutsche Fassung EN 50159:2010)
- IEC/TS 62443-1-1, Industrial communication networks – Network and System security – Part 1-1: Terminology, concepts and models, Edition 1.0 2009-07
- IEC 62443-2-1, Industrial communication networks – Network and System security Part 2-1: Establishing an industrial automation and control system security program, Edition 1.0 2010-11
- IEC 62443-3-2, ISA 62443-3-2 (99.03.02) Security for industrial automation and control Systems, Part 3-2: Security risk assessment and system design, Draft 4, Edition 6.0, April 2013

- IEC 62443-3-3, ISA 62443 3 3 (99.03.03) "Security for industrial automation and control systems", Part 3-3: System security requirements and security levels, Draft 4, January 2013
- ISO/IEC 27001:2015-03 Informationstechnik – IT-Sicherheitsverfahren – Informationssicherheits-Managementsysteme – Anforderungen
- ISO/IEC 27005 Information technology Security techniques – Information security risk management, First edition 2008-06-15

Speziell im Bereich der V2V-Kommunikation ist die Datensicherheit entscheidend. Auch hier hat sich eine gewisse Standardisierung entwickelt, wenngleich noch nicht in Normen überführt. Von allgemeiner Bedeutung ist dabei auch die Einstufung in verschiedene Grade, sogenannte Security Level, zum Beispiel NIST FIPS 140-2, in dem vier verschiedene Grade definiert werden. In allen Fällen ist jedoch auch die fortlaufende Beobachtung, Aktualisierung und gegebenenfalls Nachrüstung zwingend. Insbesondere sind zur Aktualisierung von Software gesicherte Verfahren zu entwickeln und zu standardisieren.

4.7.6 Entwicklung

Da im automatisierten Straßenverkehr technische Einrichtungen mit ihren darin implementierten Funktionen für die Sicherheit im Straßenverkehr verantwortlich zeichnen, sind sowohl diese selbst entsprechend sicher zu gestalten als auch ihre Entwicklung mit besonderer Sorgfalt durchzuführen. Eine wichtige Konkretisierung ist die Vorgabe eines akzeptablen Risikos, welche für Hersteller und Betreiber von Einrichtungen des automatisierten Verkehrs nachzuweisen und einzuhalten ist. Für die Erfüllung der sicheren Fahrzeugführung ist die Garantie eines definierten Sicherheitsniveaus erforderlich. Hierfür muss einerseits das Sicherheitsniveau im normativen Kontext definiert werden, wie es beispielsweise durch Angabe von konkreten Gefährdungsraten bezüglich des Luftverkehrs erfolgt (DO 178) oder durch Bezug auf Referenzwerte des Verkehrs, wie es zum Beispiel im Eisenbahnverkehr geschieht (EN 50126).

Hinsichtlich eines zur Gefährdung führenden Produktfehlers zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens ist zu gewährleisten, dass Fahrzeuge grundsätzlich ein gewisses Sicherheitsniveau erfüllen müssen (siehe Kapitel 4.6.2). Dieses wird durch normgerechte Entwicklung nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erreicht. Ein akzeptables Sicherheitsniveau kann einer der

Beachtung im Verkehr erforderlichen Sorgfalt durch eine menschliche Fahrerin oder einen menschlichen Fahrer entsprechen. Dieses relative Sicherheitskriterium, demnach durch die Neue Automobilität ein mindestens ebenbürtiges Sicherheitsniveau wie im menschlich verantworteten Verkehr erreicht werden muss, wird als „mindestens gleiche Sicherheit“ (MGM) oder „globalement au moins aussi bon“ (GAMAB) bezeichnet und ist beispielsweise im Eisenbahnsektor ein Kriterium der DIN EN 50126, wenn gleich dort auch andere Risikowerte zu verzeichnen sind.

In den am vernetzten und automatisierten Verkehr beteiligten Fahrzeugen übernehmen zahlreiche vernetzte Steuergeräte (ECUs) per Software die Ausführung vieler Funktionen. Bei dieser ist nicht die Sicherstellung ihrer korrekten gewünschten Funktion, sondern auch die Vermeidung unerwünschten und unsicheren Verhaltens erforderlich. In allen Fällen ist die (staatliche) Überwachung der Sicherheitserfüllung nach standardisierten Kriterien notwendig. Die Prüfung der Entwicklungsprozesse und -dokumente, unter anderem ein Sicherheitsnachweis nach genormter Struktur, die Erprobung der entstandenen Artefakte sowie ein vorhandenes und praktiziertes Qualitäts- und darüber hinaus eigens ein Sicherheitsmanagementsystem (SMS) ist durch unabhängige und akkreditierte beziehungsweise behördlich beliehene Institutionen sinnvoll. Aufgrund einer positiven Empfehlung oder Zertifizierung durch solche anerkannten Überwachungsorganisationen kann dann die offizielle Zulassung für den Straßenverkehr behördlicherseits ausgesprochen werden.

Für die Entwicklung der sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen im Zusammenhang mit der Fahrerassistenz und teilautomatisierten Funktionen von Straßenfahrzeugen wurde die Norm ISO 26262 „Road vehicles – Functional safety“ erarbeitet. Die ISO 26262 muss für höhere Automatisierungsgrade jedoch noch angepasst werden. Die ISO 26262 baut auf der Verknüpfung von Betriebssituationen mit Betriebsmodi auf und leitet daraus zusammen mit den Gefährdungen auf Fahrzeugebene gefährliche Ereignisse ab. Dieses Vorgehen kann als ein szenarienbasierter Ansatz gewertet werden. Es wird allerdings nicht vorgegeben, wie die Szenarien zu fassen sind (Umfang, Aufbau, Detaillierungstiefe etc.). Für einzelne Assistenzsysteme wurden bereits diverse Erprobungsmethoden, die meist herstellerabhängig sind, entwickelt (siehe Kapitel 4.5.1). Grundlegende Anforderungen zum Test von Assistenzsystemen sind in der 2015 überprüften ISO 15622:2010 (Intelligent transport systems – Adaptive Cruise Control systems – Performance requirements and test procedures) genormt, die als Grundlage für den Test von automatisierten

Systemen verwendet werden kann. Die SAE J3018 Safety Guidelines for the On-Road testing of Prototype Models of Fully Automated Vehicles enthält Richtlinien für die sichere Durchführung von Prüfungen automatisierter Prototypfahrzeugen auf öffentlichen Straßen für hohe und voll automatisierte Fahrsysteme, die durch die Level 3-5 von SAE J3016 definiert sind. Die Richtlinie enthält keine Testanleitungen für zum öffentlichen Verkauf bestimmte Produkte.

Im Bereich der Softwareentwicklung kann die Software zuerst mit den Verfahren der modellbasierten Entwicklung in abstrakten Modellen, formalisierten Beschreibungen und Algorithmen konzipiert werden. Auf dieser Basis sind erste Analysen der Funktionalität mittels Verifikation und Validation mit Simulationsmodellen oder anderen Verfahren – zum Beispiel Model Checking oder formaler Analyse – möglich. Die hierfür mittlerweile bewährten Verfahren sind in Standards auszuweisen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Ergänzung des systemischen Ansatzes der Norm ISO 26262 durch einen auf Szenarien beruhenden Ansatz, wobei das Ziel die Anerkennung von virtuellen Tests in formalen Verfahren ist. Ausgehend von einer simulativen und damit umfassenden virtuellen Erprobung und dem Zusammenwirken von virtuellen Tests kann dann in einer spezifischen und standardisierten Testumgebung auf Prüfgeländen eine definierte Anzahl von Szenarien reproduzierbar und im akzeptablen Umfang durchgeführt werden.

Für die Durchführung der Tests sind unabhängige Organisationseinheiten oder Institutionen zweckmäßig, welche nach der IEC-Normenreihe 17000 arbeiten und dahingehend akkreditiert sind. Um die Tests reproduzierbar durchzuführen, sind einerseits entsprechende Einrichtungen, zum Beispiel Fahrroboter oder automatisch betriebene Fahrzeuge, zweckmäßig, während andererseits auch entsprechende Infrastrukturen benötigt werden. Neben den firmeneigenen abgeschlossenen Testgeländen können für Tests im öffentlichen Straßenraum und ihre Auswertung jüngst eingerichtete Testfelder und Infrastrukturen, wie zum Beispiel SimTD, der C-ITS-Korridor oder die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) genutzt werden (siehe Kapitel 4.6.4).



4.7.7 Zulassung und Überwachung



Auch die Zulassung automatisierter Fahrzeuge muss auf der in Kapitel 4.7.2 beschriebenen gesetzlichen Grundlage erfolgen. Wegen der beim automatischen Fahren besonders sensiblen Situation kann auch hier eine ähnliche Verfahrensweise wie beispielsweise in der Luftfahrt oder im Eisenbahnverkehr gewählt werden. Für den automatisierten und vernetzten Verkehr muss ein regulativer Rahmen definiert werden, an dem sich Fahrzeugentwickler/Prototypenprojekte bereits in der frühen Entwicklung orientieren können, um dann eine effiziente Typzulassung zu ermöglichen (siehe Kapitel 4.6.1). So können zum Beispiel für automatische Fahrzeuge auf der Grundlage einer normkonformen Entwicklung (zum Beispiel 61508 und ISO 26262) und Beachtung des herstellereitigen Qualitäts- und Sicherheitsmanagements ein Sicherheitsnachweis und eine Sicherheitserprobung nach standardisierten Methoden erbracht werden, um die behördliche Zulassung zu empfehlen.

Für die Vernetzung ist die Sachlage etwas komplexer, da die Informationsflüsse nicht mehr zentral erzeugt und verantwortet werden, sondern vorwiegend in mobilen Ad-hoc-Netzen entstehen, in denen keine zentrale Instanz existiert. Die Absicherung der Kommunikation erfolgt hier inhaltlich im Systemdesign und technisch auf den Kommunikationsknoten, zum Beispiel den Fahrzeugen. Insofern muss die Konformität mit dem genormten Systemdesign der Vernetzung seitens der Implementierer erklärt und unabhängig begutachtet werden. Eine vergleichbare Situation existiert seit einiger Zeit im Eisenbahnverkehr, wo das Systemdesign eines europäischen Eisenbahnsicherungssystems (ETCS) in mehreren Europäischen Verordnungen Gesetzeskraft erlangt hat und die Hersteller gegenüber sogenannten benannten Stellen die Konformität ihrer technischen Einrichtungen erklären müssen. Diese Konformität wird dann von autorisierten Institutionen überprüft.

Kategorie Technische Normen und Standards: Zusammenfassung

Bereits heute existiert eine Vielzahl von Normen im Kraftfahrzeugwesen, die durch Harmonisierung zur wirtschaftlichen Wertschöpfung beitragen. Im Bereich einer weitergehenden Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung im Fahrzeug- und Verkehrswesen sind die Normungsgremien angehalten zu prüfen, ob weiterer Normungsbedarf besteht und wie dieser in gremienübergreifende Strategien überführt werden kann.

Insbesondere mit der informations- und kommunikationstechnischen Vernetzung im Straßenverkehr wird die Integration der unterschiedlichen Automatisierungsfunktionen und verschiedenen Übertragungstechnologien in eine umfassende Gesamtarchitektur kooperativer intelligenter Verkehrssysteme notwendig sein. In Bezug auf die Fahrzeugarchitektur liegt bereits ein umfangreicher Industriestandard für Funktionen zur digitalen Steuerung und elektrischen Energieversorgung von Fahrzeugen vor. Hierbei ist weiterhin zu diskutieren, inwieweit eine Vereinheitlichung bezüglich Manöverplanung, sensorischer Erfassung oder der Interpretation der Fahrzeugumgebung notwendig ist.

Gleichermaßen ist im Bereich der informationellen Vernetzung und insbesondere in der mobilen Kommunikation, ein umfangreicher Normenbestand vorhanden. Speziell im Bereich der V2V-Kommunikation werden Standards entwickelt, die allerdings noch nicht in Normen überführt worden sind. In diesem Zusammenhang ist ein standardisiertes Informations-Sicherheitsmanagement-System für Hersteller, Betreiber und Anwender von hohem Nutzen. Bezüglich der funktionalen Sicherheit wird derzeit die ISO 26262 überarbeitet, die sich auf Maßnahmen zur Vermeidung und Beherrschung von zufälligen Hardwarefehlern bei E/E-Systemen und von systematischen Fehlern der Sicherheitsmaßnahmen bezieht.

Mit der Einführung von automatisierten Fahrzeugfunktionen müssen zudem Risiken durch Systemgrenzen intensiv bewertet werden. Dafür wurde im Rahmen der Überarbeitung der ISO 26262 eine Unterarbeitsgruppe „Safety of the intended function“ gegründet. Darin wird die Problematik der Leistungsgrenzen von Sensorsystemen in äußerst seltenen Gefahrensituationen thematisiert. Etwaige Standards zur Bewertung des Missbrauchspotentials oder der Leistungsgrenzen helfen Entwicklern die Komplexität der Systeme zu beherrschen und mögliche Risiken einzuschätzen.

5 Zusammenfassung der Roadmaps und Ausblick

Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr der Zukunft eröffnet Optionen für einen in vielerlei Hinsicht attraktiven Straßenverkehr der Zukunft. Insbesondere in Bezug auf Zugewinne an Verkehrssicherheit sowie auf die mit den neuen Technologien verbundenen wirtschaftlichen Potenziale lassen sich fundierte Trendaussagen treffen. Die Erstellung zuverlässiger Prognosen über positive Auswirkungen auf die Umwelt – etwa in Gestalt einer Verringerung von Treibhausgasemissionen oder des Landverbrauches – gebärdet sich jedoch ungleich schwieriger. Unter der Annahme einer vollständigen oder weitgehenden Automatisierung lässt sich mithilfe von Szenarien¹¹⁹ oder Simulationsstudien¹²⁰ zwar relativ gut abschätzen, wie stark etwa der Energieverbrauch durch effizienteres Fahren oder Platooning reduziert werden könnte.¹²¹ Auch die mögliche Verringerung von Treibhausgasemissionen durch Elektrifizierung lässt sich ansatzweise beziffern. Doch besteht eine große Unsicherheit hinsichtlich der Nutzungsszenarien.

Die gesteigerte Attraktivität des Verkehrsmittels Automobil könnte zum Beispiel dazu führen, dass das Auto insgesamt stärker genutzt wird. Wohngebiete in den Randlagen der Städte könnten an Attraktivität gewinnen, weil das Pendeln als weniger belastend empfunden wird. Dies wiederum würde sich ebenso auf das Verkehrsaufkommen wie auf den Landverbrauch durch Besiedlung und Straßenbau auswirken. Man spricht vom soge-

nannten Rebound-Effekt. Um diesen zu begrenzen, ist eine frühzeitige Debatte über die richtigen Rahmenbedingungen für automatisiertes und vernetztes Fahren notwendig, um die im Zielbild beschriebenen Effekte auch erreichen zu können.

Ein wichtiger Parameter, um den Umwelteffekt von automatisiertem Fahren zu bestimmen, ist, wie stark sich Carsharing als Mobilitätsmodell durchsetzt. Carsharing hat insbesondere bei der Nutzung in Form von ÖV-Shuttles, die mehrere Fahrgäste zugleich befördern, positive Auswirkungen auf den Energieverbrauch und ergänzend dazu einen direkten Einfluss auf die Anzahl der auf den Straßen befindlichen Fahrzeuge. Schätzungen zufolge könnte ein einziges geteiltes automatisiertes Fahrzeug neun bis 13 Privatfahrzeuge ersetzen.¹²² Entsprechend weniger Flächen würden für die Verkehrsführung und für Parkraum benötigt. Auch für die im Rahmen der notwendigen Dekarbonisierung angestrebte Umstellung auf Elektromobilität ist Carsharing ein entscheidender Faktor. Bewohnerinnen und Bewohner von Mehrfamilienhäusern in den Innenstädten, die nicht so einfach eigene Ladestationen unterhalten können, würde Carsharing insbesondere in Kombination mit Automatisierung (bis hin zum selbstständig zur Strom-Tankstelle fahrenden Auto) den Zugang zu Elektromobilität stark erleichtern.

Insgesamt lässt sich festhalten: Aufgrund der Unsicherheiten in Bezug auf die zukünftige Verbreitung und Ausgestaltung der neuen autoMobilität wird eine begleitende Technikfolgenabschätzung unerlässlich sein. Nur so können frühzeitig Anreize gesetzt und Rahmenbedingungen geschaffen werden, um das Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und Landverbrauch, das die Technologie des automatisierten Straßenverkehrs bietet, auch wirklich zu nutzen.

119 | Brown et al. 2014; vgl. auch Rammler 2016.

120 | Fagnant/Kockelman 2014; Spieser et al. 2014.

121 | Fagnant/Kockelmann 2013.

122 | Fagnant/Kockelmann 2014.



6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der acatech STUDIE werden zunächst ein Zielbild im Jahr 2030 sowie verschiedene Nutzungsszenarien als mögliche Ausgestaltung des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs skizziert. In der Beschreibung der Initiativen im internationalen Vergleich aber auch in der Beschreibung des technologischen Status Quo deuten sich bereits tiefgreifende Veränderungen für unser Mobilitätssystem an. Die folgenden Schlussfolgerungen orientieren sich an den vorgestellten Roadmaps, wobei deren zeitliche Verortung aufgrund der hohen Dynamik im Bereich des automatisierten Fahrens keinen Anspruch stellt, die Entwicklung zeitlich genau vorherzusagen. Vielmehr sind die Roadmaps und folgenden Schlussfolgerungen als Hinweise zu verstehen, frühzeitig damit zu beginnen die Rahmenbedingungen mitzubestimmen. Um unser Mobilitätssystem im Jahr 2030 im Sinne der Sicherheit, Ressourceneffizienz, der sozialen Teilhabe als auch Wettbewerbsfähigkeit zu gestalten, sollten Politik, Industrie, Wissenschaft als auch Verbände und gesellschaftliche Akteure bereits heute folgende Aspekte berücksichtigen:

1. F&E-Programm mit Förderlinien zu Automatisierung und Vernetzung

Um die technologischen Systemkompetenzen beim vernetzten und automatisierten Straßenverkehr zu erhalten und auszubauen, bedarf es Investitionen in Forschung und Entwicklung, die durch ein integriertes, langfristiges Förderprogramm mit mehreren spezifischen Förderlinien unterstützt werden. Kürzer werdende Innovationszyklen und die wachsende Bedeutung von Software im Fahrzeug und im gesamten Mobilitätssystem erfordern neue Kooperationen, auch im Bereich der Forschung und Entwicklung. Insbesondere ist es wichtig, in Deutschland neben der Erforschung und Weiterentwicklung einzelner Schlüsseltechnologien eine Gesamtsystemkompetenz zu erhalten und weiter auszubauen. Damit die deutschen Forschungsinstitutionen und Hersteller ihre führende Rolle in der Entwicklung von Automati-

sierungsfunktionen behalten, ist für deren Weiterentwicklung ein Förderprogramm notwendig, das zum einen die Entwicklung der Komponenten sowie unabhängig davon F&E-Förderung mit Bezug zur Vernetzung beinhaltet. Außerdem sollte ein Schwerpunkt der Forschungsförderung auf der Untersuchung komplexer Systemfunktionen für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr der Zukunft liegen. Der Einsatz von autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr als autonome ÖV-Shuttles bedarf ferner im Bereich der Forschung und Entwicklung der Berücksichtigung spezieller Aspekte, wie der Organisation, der Gestaltung von realen und virtuellen Haltestellen, der Überwachung des Fahrgastwechsels sowie der Interaktionsschnittstelle zu den Fahrgästen.

Die F&E-Förderung sollte zu diesem Zweck ein Förderprogramm mit verschiedenen Förderlinien schaffen, das außerdem die Vernetzung von Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen, vor allem KMU vorantreibt und durch vorwettbewerbliche, interdisziplinäre Forschung und Entwicklung die Grundvoraussetzungen für spätere Kooperationen im Ökosystem Mobilität legt.

Neben den Förderlinien (siehe Tabelle 1) wird empfohlen, das F&E-Programm durch eine Begleit- und Wirkungsforschung zu ergänzen, welche die Ergebnisse der einzelnen F&E-Projekte zusammenführt und dabei die Perspektive der Städte- und Raumplanung, der Techniksoziologie, der Umweltwissenschaften und Nachhaltigkeitsforschung einbezieht und die damit verbundenen gesellschaftlichen Fragen adressiert.

2. Koordination der Testfelder und Living Labs

Die Europäische Union, die deutsche Bundesregierung, einige Bundesländer und Kommunen haben innerhalb der letzten Jahre wichtige Pilotprojekte für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr initiiert (siehe Kapitel 7). Die Vielzahl bereits vorhandener und angekündigter Testfelder in verschiedenen Regionen Deutschlands erfordert es, die einzelnen Aktivitäten zu koordinieren – von der rein virtuellen Simulation über real-virtuelle Mischumgebungen, Tests im Prüfgelände bis hin zu Versuchsszenarien im halböffentlichen und öffentlichen Raum. Die Projektgruppe empfiehlt die Förderung und verstärkte Koordination von Testfeldern und Modellregionen durch eine gemeinsame Struktur und eine einheitliche Systemarchitektur sowie abgestimmte (Open-Data)-Datenformate. Dabei sollten die folgenden Kriterien berücksichtigt werden:

Living Labs an der Schnittstelle von Technologie, Markt und Gesellschaft

Um im Entwicklungsprozess frühzeitig die Nutzenden einzubeziehen und damit die technologische Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion gemeinsam mit den zukünftigen am Verkehr Teilnehmenden zu testen, sollen öffentlich zugängliche Testfelder in begrenzten Gebieten oder auf Teilstrecken errichtet werden. Im Vordergrund steht dabei der Erfahrungsgewinn für die Nutzenden, zum Beispiel durch teilautomatisierte Carsharing-Flotten in Städten. Gleichzeitig können die Ingenieure der Fahrzeugtechnologien, die Städteplaner und Verkehrsforscher die Feldversuche für die Weiterentwicklung des automatisierten Straßenverkehrs nutzen. Dadurch erhöht sich auch die Sichtbarkeit der Living Labs im öffentlichen Raum.

Modellregionen und Testfelder mit unterschiedlichen Anwendungsfällen

Die Modellregionen und Testfelder haben einen verkehrlichen Fokus, beispielsweise bestimmte Anwendungsgebiete (wie Auto-

bahn, Landstraße, Stadtverkehr oder grenzüberschreitender Verkehr). Um die herstellerübergreifende Kooperation der Systeme zu testen, müssen Test-Datenstandards etabliert werden. Dies ist auch international notwendig. Hier sollte Deutschland eine Vorreiterrolle einnehmen. Da die technische Umsetzung bereits weit fortgeschritten ist, steht grundsätzlich weniger der spezifische Anwendungsfall im Vordergrund als reale Erprobungsmöglichkeiten, die das Zusammenspiel der Subsysteme und Elemente unter den gegebenen Rahmenbedingungen im gesamten Verkehrssystem abbilden. Eine besondere Rolle wird dabei die Einführung von Datenstandards spielen. Es stehen also weniger Erprobungen einzelner Funktionen im jeweiligen Verkehrsträger, sondern das Verhalten der Fahrzeuge im gesamten Verkehrssystem im Vordergrund. Bei der Standortentscheidung sollte auch die geografische Nähe zu den Standorten der technischen Entwicklung berücksichtigt werden.

Förderlinie Automation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MMI-Konzeptentwicklung für vollautomatisiertes und fahrerloses Fahren (Fahrgastinformationen, Verkehrsleitzentralen etc.) ▪ Modellierung der Wechsel zwischen verschiedenen Automationsstufen (Transitionen) für Mensch- und Fahrermodelle ▪ Entwicklung von Fahrzeugfunktionen für automatisiertes Fahren in Sondersituationen ohne Übergabeaufforderung ▪ Forschung im Bereich Intentionserkennung und Gesteninterpretation
Förderlinie Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwicklung von V2V- und V2X-Funktionen für niedrige und höhere Marktdurchdringung automatisierter Fahrzeuge ▪ Entwicklung von V2X-Funktionen für die Vernetzung mit VRUs und der Verkehrsmanagementzentrale ▪ Ergänzende elektronische Informationsausstrahlung der Straßen- und Verkehrsinfrastruktur ▪ Modellierung und Georeferenzierung zur Erstellung von hochgenauen digitalen Karten
Förderlinie Vernetzung und Automation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kooperation der Automation mit der Infrastruktur und im Mischverkehr ▪ Verfahren zur Bewertung und Fusion externer Informationen ▪ Verteilte realzeitliche Datenanalyse für dynamische Verkehrssteuerung
Förderlinie Rahmenbedingungen, Begleit- und Wirkungsforschung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rechtsrahmen, Zulassungsprozesse und Standardisierungen ▪ Verkehrliche Auswirkung, insbesondere Verkehrssicherheit ▪ Stadt- und Raumplanung ▪ Gesellschaftliche Implikationen und Akzeptanz ▪ Umwelteinflüsse und Nachhaltigkeitswirkung

Tabelle 1: Prioritäre Forschungsfelder für den automatisierten Straßenverkehr



Koordinierung der Living Labs und Vergleichbarkeit der Ergebnisse

Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsgebiete ist es bereits heute absehbar, dass Living Labs mal in den Verantwortungsbereich des Bundes, mal im Verantwortungsbereich der Länder, mal im kommunalen Verantwortungsbereich liegen werden. Damit die konsistente Entwicklung der unterschiedlichen Living Labs entsprechend der geschilderten Kriterien gewährleistet werden kann, empfiehlt es sich auch für die Living Labs eine übergeordnete Begleit- und Wirkungsforschung zu installieren (siehe Abbildung 24). Darüber hinaus wird angeregt, eine nationale „Marke“ für die Living Labs zu schaffen. Living Labs können auf Basis eines gewissen Kriterienkatalogs assoziierte Partner der „Marke“ werden und diese nach außen tragen. Der Katalog benennt Maßstäbe (zum Beispiel vergleichbares Datenformat für Testverfahren), die notwendig sind, um eine nationale und europäische Vergleichbarkeit der Testfelder herzustellen. Über den Assoziierungsprozess ließe sich so, eine gewisse nationale Konsistenz der Living Labs organisieren. Dadurch können die Ergebnisse regelmäßig ausgetauscht und Ergebnisse als übergreifendes Monitoring veröffentlicht werden.

3. Integrierte Infrastrukturförderung für Bund, Länder, Kreise und Kommunen

Sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren erfordert Mindeststandards hinsichtlich der Ausstattung und Qualitätsüberwachung der straßenbaulichen und verkehrstechnischen Infrastruktur. Um diese Ausstattung zu schaffen und die notwendigen Prozesse für ein systematisches kontinuierliches Qualitätsmanagement einrichten zu können, wird analog zu anderen Instrumenten der Finanzierung öffentlicher Infrastruktur wie beispielsweise dem Bundesverkehrswegeplan ein staatliches Förderprogramm benötigt. Um die erforderliche Durchgängigkeit eines für das automatisierte Fahren geeigneten Straßennetzes zu gewährleisten, ist das Programm für die Finanzierung der Infrastruktur aller öffentlichen Straßenbaulastträger und somit für Straßen in der Zuständigkeit des Bundes, der Länder, der Kreise und der Kommunen anzulegen. Darüber hinaus ist eine Koordinierung der infrastrukturellen Förderung auf den unterschiedlichen Ebenen anzustreben. Nur mit einem zentralen Planungs- und Finanzierungsinstrument wird es möglich sein, eine zusammenhängende und baulastträgerübergreifende Infrastruktur für automatisiertes Fahren zu schaffen.

Die für automatisiertes Fahren erforderlichen straßenbaulichen und verkehrstechnischen Regeln, die sich unter anderem aus der

Straßenverkehrsordnung, der zugehörigen Verwaltungsvorschrift und den begleitenden Richtlinien ableiten lassen, sowie die notwendigen Maßnahmen für ein systematisches Qualitätsmanagement sollten als Fördertatbestände herangezogen werden. In den Kommunen ist insbesondere die Verzahnung mit dem öffentlichen Personennahverkehr zu beachten, die bisher in der Förderung für Infrastrukturen des automatisierten und vernetzten Fahrens noch nicht entsprechend berücksichtigt wird.

Für die Datenkommunikation des vernetzten und automatisierten Fahrens sind die Verkehrswege durch moderne Kommunikationsinfrastruktur auszustatten. Die Mindestanforderung der vollen Mobilfunkabdeckung der Hauptverkehrswege muss durch geringe Latenzzeiten und zuverlässige Dienst-Bereitstellung (Quality of Service) besonders für verkehrssicherheitsrelevante Anwendungen und hohe Datenraten für Infotainment Dienste unterstützt werden. Das betrifft insbesondere die Ergänzung und Weiterentwicklung der vorhandenen Mobilfunkinfrastruktur. Hierfür erscheint es erforderlich, parallel zur Einrichtung straßenbaulicher und verkehrstechnischer Standards ein entsprechendes Ausbauprogramm für die informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur vorzusehen. Eine Orientierung für ein geeignetes Vorgehen zur Schaffung einer flächenhaften und zusammenhängenden Ausstattung kann zum Beispiel der Rahmenplan des Bundesverkehrsministeriums von 1970 für Steuer- und Verkehrsfunkbereiche geben, der die erste Grundlage des heutigen Verkehrsfunks und der Verkehrsbeeinflussungssysteme bildete.

4. Zertifizierung für das Verkehrsmanagement von Straßen und Daten

Um das Potenzial der Vernetzung für den automatisierten Straßenverkehr zu nutzen, ist es essentiell unterscheiden zu können, welche Daten von außerhalb des Fahrzeugs vertrauenswürdig sind. Dies kann beispielsweise für per Funk übermittelte Informationen über Lichtsignalzustände, Verkehrszeichen, oder Kartendaten gelten. Dafür ist neben der Anwendung entsprechender IT-Technologien eine Zertifizierung der Datenquellen bzgl. ihrer Vertrauenswürdigkeit und Qualität sinnvoll. Neben Informationen zur Datenqualität sind verlässliche Informationen zu den verfügbaren beziehungsweise garantierten Vernetzungen und deren Übertragungsraten zwischen Fahrzeugen, Backend-Systemen und lokaler Infrastruktur förderlich. Daher wird empfohlen Zertifikate beziehungsweise eine Zertifizierungsstelle einzurichten. Die Zertifizierung kann auch die zuvor beschriebenen Kriterien für öffentliche und private Testfelder verwalten und neue Testfelder zertifizieren sowie Informationen über die Freigabe

Testbetrieb	Schaffung von grenzüberschreitenden Testszenarien
Zulassungsrecht	Internationale Harmonisierung und Synchronisation sowie europäische Rahmenvorgaben von Typgenehmigungen
Beschäftigung und Arbeit	Überarbeitung von Führerscheinklassen (Richtlinie 2006/126/EG), Prüfung der Qualifikation von Berufskraftfahrenden (Richtlinie 2003/59/EG) und Arbeitszeitregelungen für Berufskraftfahrende (Europäische Verordnung Nr. 561/2006, Nr. 165/2014)
Infrastruktur	Verständigung auf ein europaweit geltendes Qualitätsmanagement für die Infrastruktur des vernetzten Mobilitätssystems

Tabelle 2: Übersicht benötigter Rahmenbedingungen

von zusätzlichen Streckenabschnitten für das automatisierte Fahren im weiteren Ausbau der Verkehrsinfrastruktur absichern. Die Zertifizierungsstelle gewährleistet somit die Qualitätssicherung der Infrastrukturelemente, die als kritisch für das automatisierte Fahren definiert wurden. Dies betrifft die Baulastträger für straßenbauliche Standards sowie die Datenzertifizierung, deren Zuständigkeiten bei Bund, Ländern und Kommunen liegen. Dabei werden auch mögliche Haftungsfragen für Infrastrukturbetreiber adressiert.

Inhaltlich sollte auf Erkenntnisse bestehender Testfelder und Projekte zur Absicherung des automatisierten Fahrens wie PEGASUS zurückgegriffen werden. Aufbauend auf vorhandenen Strukturen der Zertifizierung kann die Institutionalisierung einerseits zur Beschleunigung der Zertifizierung beitragen und darüber hinaus eine bessere Sichtbarkeit für vorhandene Teststrecken schaffen.

5. Internationale Rahmenbedingungen weiterentwickeln

Die Gesetzgebung für das automatisierte und fahrerlose Fahren wird maßgeblich von EU-Institutionen beeinflusst. Zur Sicherstellung einer ergebnisorientierten Forschung, Entwicklung und Erprobung der neuen Technologie des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs wird ein funktionelles Regelwerk benötigt. Ziel ist die Sicherstellung eines reibungslosen grenzüberschreitenden Verkehrs. Es wird empfohlen, folgende Rahmenbedingungen in den Fokus zu nehmen:

Zur Bündelung der Handlungen von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft auf europäischer Ebene bietet es sich an, die nationale Strategie des automatisierten und vernetzten Fahrens um die eu-

ropäische Perspektive zu erweitern. Dies kann innerhalb der bestehenden Governance-Struktur (siehe Punkt 9) erarbeitet werden.

6. Einheitliche Prinzipien der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich

Deutsche Hersteller, Prüforganisationen und Bundesbehörden sollten darauf hinarbeiten, bei Entwicklung und der Etablierung von internationalen Standards der sicherheitsrelevanten Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich eine führende Rolle einzunehmen. Auch beim automatisierten Fahren erfolgt die Steuerung zentraler technischer Funktionen durch die Fahrerin oder den Fahrer. Dies ist etwa bei der Routenplanung der Fall oder beim Wechsel zwischen verschiedenen Stufen der Automation. Die Vereinheitlichung sollte daher die Standardisierung von zentralen Begrifflichkeiten innerhalb der Mensch-Maschine-Interaktion einschließen, wie zum Beispiel die Definition der verschiedenen Automationsgrade.

Aus Sicherheitsgründen sollte dafür gesorgt werden, dass dafür erforderliche Interaktionsprinzipien in Fahrzeugen unterschiedlichen Typs und unterschiedlicher Anbieter hinreichend ähnlich konzipiert sind. Dazu zählt etwa die Standardisierung von Interaktionsprinzipien (ähnlich wie bei dem bekannten Prinzip des Blinkens bei Spurwechsel). Von zentraler Wichtigkeit ist, dass der jeweils aktuelle Automationsgrad eindeutig erkennbar ist. Dies beinhaltet auch die Aufgabenverteilung zwischen Fahrerin beziehungsweise Fahrer und Automation. Auch die Zeit, die eine Fahrerin oder ein Fahrer maximal hat, um bei Bedarf die Kontrolle über das Fahrzeug wieder selber zu übernehmen, muss definiert sein. Die Vereinheitlichung von Steuerungsfunktionen ist nicht nur für den Dialog zwischen Fahrzeug auf der einen und Nutze-



rin oder Nutzer auf der anderen Seite unerlässlich, sondern auch für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sowie für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden. Damit Fußgängerinnen und Fußgänger, Radfahrende und andere Autofahrende das Verhalten eines automatisierten Fahrzeuges verlässlich antizipieren können, ist es absolut unerlässlich, dass für die Sicherheit Dritter relevante Verhaltensfunktionen wie zum Beispiel automatisches Abstandhalten typ- und herstellerübergreifend ähnlich funktionieren.

7. Normungs-Roadmap Neue autoMobilität

Insbesondere bei der speziell im automatisierten und vernetzten Straßenverkehr neuartigen Herausforderung ihrer sicherheitsverantwortlichen Wirkung wird derzeit der gesetzliche Rahmen ausgearbeitet und durch Normen als allgemein anerkannte Regeln der Technik konkretisiert. Normungsarbeit ist volks- und betriebswirtschaftlich insbesondere in diesem Technologiefeld essentiell, um Rechtssicherheit im Sinne der Haftung und den beteiligten Branchen der deutschen Industrie eine wettbewerbsfähige globale Position zu ermöglichen. Die Projektgruppe empfiehlt die Erarbeitung einer Normungsroadmap Neue autoMobilität, um den Katalog von technischen Normen von Redundanzen zu bereinigen und die internationale Harmonisierung voranzubringen. Die entsprechenden Aktivitäten sollten im Einklang mit der deutschen Normungsstrategie der DIN sein. In der Normungsroadmap sollten insbesondere folgende Punkte aufgegriffen werden:

- Standardisierung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (siehe oben)
- Kooperative Fahrmanöver
- Referenzarchitektur
- Sicherheitsziele und Nachweisverfahren
- Zulassung

8. Langfristig angelegter gesellschaftlicher Dialog

Hinsichtlich der Einführung fahrerloser Fahrzeuge werden häufig Dilemmasituationen angeführt, in denen ein fahrerloses Fahrsystem angeblich Abwägungsentscheidungen bei einem unvermeidbaren Unfall treffen muss. Das technische System muss also programmierte Regeln zur Vermeidung von Schäden in Unfallsituationen befolgen und damit muss im Vorfeld, also bei der Programmierung, eine bewusste Entscheidung herbeigeführt werden. Diese und weiterführende ethische Fragen stellen sich nicht ausschließlich beim automatisierten und fahrerlosen Fahren, sondern im gesamten Kontext der Künstlichen Intelli-

genz in Bezug auf die sogenannte Roboterethik (Algorithmic Decision Making). Bei der Auswahl der Datengrundlage etwa müssen ethische Grundsätze, die in unserem Rechtssystem verankert sind, beachtet werden. Beispielweise wenn durch maschinelle Lernverfahren eine Kategorisierung von Personendaten erfolgt, denen eine Diskriminierung zugrunde liegt. Längerfristig und insbesondere in Betrachtung der selbstlernenden Algorithmen muss auch unser grundsätzliches Verständnis eines auf den Menschen ausgerichteten Rechtssystems behandelt werden. Neben rechts- und technikphilosophischen Fragen, gibt es zudem konkrete Aspekte wie die Auswirkungen von Automatisierung im Straßenverkehr auf Beschäftigung oder das Transportwesen im öffentlichen Dialog zu thematisieren. Durch die zeitnahe Einführung von automatisierten Fahrfunktionen und IVS werden die Auswirkungen auf die Transport- und Logistikbranche exemplarisch für zahlreiche Anwendungsgebiete der Künstlichen Intelligenz stehen, insbesondere weil Mobilität ein Grundbedürfnis des Menschen ist.¹²³

Aufgrund der kürzer werdenden Entwicklungszyklen und der damit verbundenen zeitnahen Einführung des automatisierten Straßenverkehrs ist bereits heute ein permanenter und breit ausgelegter Dialog zwischen Öffentlichkeit, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft zu führen, bei der die Chancen und Risiken gleichermaßen beleuchtet werden. Damit die Potenziale – in diesem Fall ist hier insbesondere die Minimierung von Unfällen im Straßenverkehr zu nennen – automatisierter Fahrfunktionen bis hin zu fahrerlosen Fahrzeugen genutzt werden können, müssen sie in der gesellschaftlichen Wahrnehmung einen entsprechenden Mehrwert generieren, der das verbleibende Restrisiko rechtfertigt. Hierbei schafft die Weiterentwicklung des Rechtsrahmens eine vertrauensvolle Grundlage für die Nutzenden von automatisierten Fahrzeugen. Die politischen Entscheidungsträger, die die entsprechenden Rahmenbedingungen für fahrerloses Fahren schaffen, müssen die Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz daher im Vorfeld thematisieren und entsprechende gesetzliche Vorschriften kontinuierlich an die gesellschaftlichen Bedürfnisse anpassen. Öffentlich zugängliche Testfelder oder Dialogformate können die zukünftigen Nutzenden in den Entwicklungsprozess einbeziehen (sogenanntes nutzerzentriertes Design) und automatisiertes Fahren somit für viele am Verkehr Teilnehmende erfahrbar machen. Die Einrichtung einer unabhängigen und interdisziplinären „Ethik-Kommission Autonomes Fahren“ seitens des BMVI zur Betrachtung von ethischen Fragen wird daher von der Projektgruppe begrüßt. Um die Debatte um Dilemmata und Verantwortung in eine fundierte Diskussion zu lenken, sollten etwaige Ergebnisse für eine breite Masse zugänglich sein.

123 | Stone et al. 2016.

9. Übergeordnete Governance-Struktur für vernetztes und automatisiertes Fahren

Die Einführung von automatisiertem und vernetztem Straßenverkehr kann nur unter Einbeziehung verschiedener Branchen und Akteure funktionieren. Eine Vielzahl von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft haben sich zusammengefunden, den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr zu gestalten. Mit der acatech POSITION *Neue autoMobilität* wurde ein Zielbild formuliert, das einen konzeptionellen Rahmen für die unterschiedlichen Initiativen bietet. Nun gilt es die Umsetzung weiter zu strukturieren und unterschiedliche Handlungsstränge zu konsolidieren. In einer entsprechenden Innovationslandschaft sollten die strategische Weiterentwicklung des Themas (beispielsweise durch einen Visionskreis sowie den Runden Tisch für automatisiertes Fahren) und die praktische Umsetzung (F&E-Programme und Living Labs) Hand in Hand gehen.

Die Projektgruppe unterstützt die Empfehlungen einer verkehrsträgerübergreifenden Strategie zur intelligenten Mobilität und

einer Erweiterung des Runden Tisches für automatisiertes Fahren um eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe, die im Rahmen des Bundestagsantrags „Intelligente Mobilität fördern“¹²⁴ beschlossen worden sind. Neben der strategischen Beratung der Bundesregierung durch den „Runden Tisch Automatisiertes Fahren“ und des Ressortkreises unter Federführung des BMVI empfiehlt die Projektgruppe eine Koordinierung auch auf Seiten der Wissenschaft und der Industrie. Hier soll der Wissenstransfer als auch eine frühzeitig abgestimmte Position zur Mobilität der Zukunft im Vordergrund stehen. Darüber hinaus muss auch über die nationalen Grenzen hinweg ein attraktiver Leitmarkt für vernetztes und automatisiertes Fahren entstehen. Damit die nationalen und europäischen Aktivitäten zum vernetzten und automatisierten Fahren aufeinander aufbauen, sind Schnittstellen zwischen nationalen und EU-weiten Programmen zu definieren. Für Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist eine ineinander greifende Politik mit Blick auf den gemeinsamen digitalen Binnenmarkt auch für die Umsetzung von finanziell unterstützten gemeinsamen Projekten von großer Bedeutung. So können die nationalen Initiativen im EU-Rahmenprogramm verankert werden.

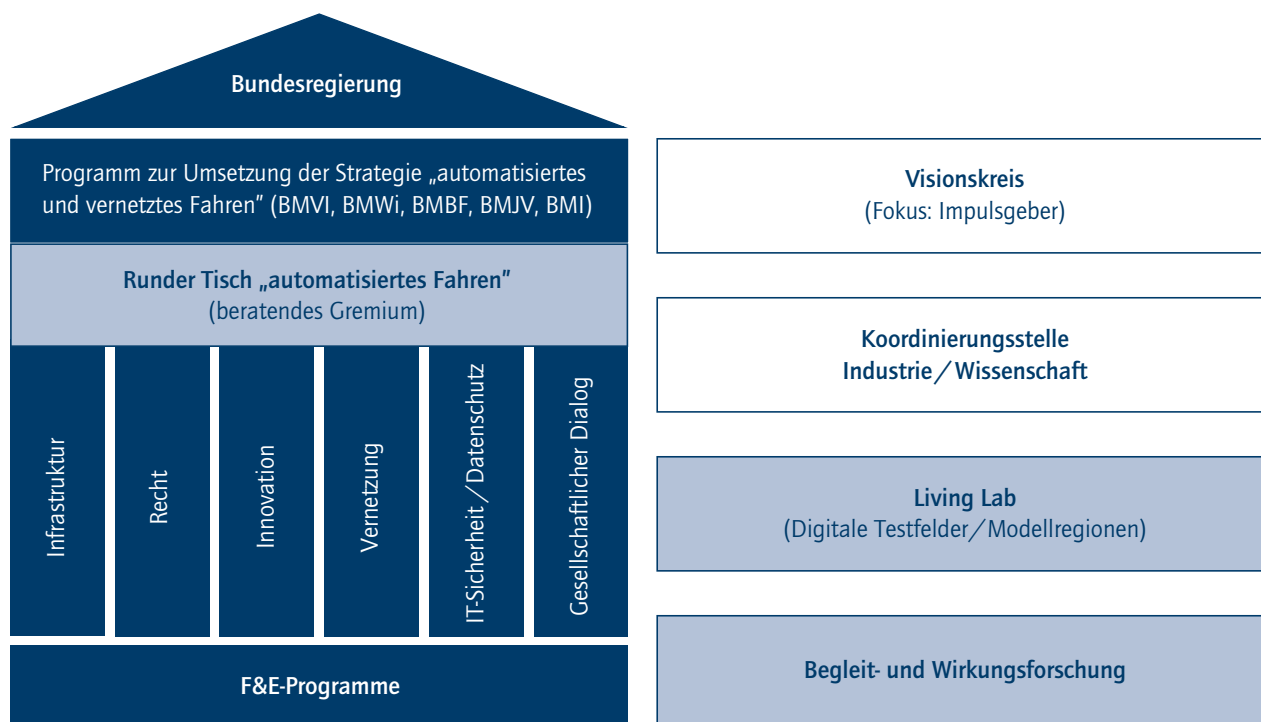


Abbildung 24: Organigramm einer Governance-Struktur für den automatisierten Straßenverkehr (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 25: Testfelder und Teststrecken in Deutschland (Quelle: eigene Darstellung)

7 Praxisbeispiele

Für die Verwirklichung des vernetzten und automatisierten Straßenverkehrs sind Anwendungsfälle und reale Erprobungen unerlässlich. Bund, Länder und Kommunen haben die Relevanz von Testfeldern über die Erkenntnisgewinne in Forschung und Entwicklung hinaus auch für die wirtschaftliche Entwicklung vor Ort erkannt und fördern ihre Einrichtung in vielfältiger Weise. Einige Vorhaben sind bereits umgesetzt, andere befinden sich aktuell in Planung. Allgemein unterscheiden lassen sich Teststrecken, Teststädte und IT-Testfelder mit dem Fokus auf Vernetzung und schnellere Datenübertragung.

7.1 Vorhandene Testfelder und Teststrecken

Testfeld Braunschweig – AIM

Mit der Großforschungsanlage AIM am DLR-Standort in Braunschweig verfügt das DLR über eine Forschungsinfrastruktur im Bereich der Mobilität, die sich im realen Umfeld der Stadt Braunschweig sowie in ausgewählter umliegender Regionen und auf speziellen Teststrecken befindet. Dies gibt ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Simulation und Beeinflussung großräumiger (z.B. Verkehrsflüsse) und mikroskopischer (z.B. Fahr- bzw. Fahrerverhalten) Aspekte von Verkehr/Mobilität her. In AIM involvierte Partner sind u.a. das Land Niedersachsen, die Stadt Braunschweig und weitere Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Hand, die in der Vergangenheit gemeinschaftlich eine Grundvoraussetzung dafür geschaffen haben, um Innovationszyklen zu verkürzen und eine rasche wie auch verantwortungsvolle Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse, fortschrittlicher Technologien und leistungsfähiger Applikationen in den erfahrbaren Alltag zu fördern. Die Weiterentwicklung von AIM sowie die Wiederverwendung der Technologiebausteine in (zukünftigen) mobilitätsbezogenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden durch ein offenes und flexibles Architekturkonzept gewährleistet.

Testfeld Digitale Autobahn A9

Seit September 2015 existiert das Digitale Testfeld Autobahn auf der A 9 zwischen München und Nürnberg als technologieoffenes Angebot für Industrie und Forschung. Innovative Unter-

nehmen aus dem In- und Ausland können hier zukunftsweisende Systeme und Technologien im Realbetrieb erproben. Eine Kooperation von Bundesverkehrsministerium, dem Chip-Hersteller Infineon und Siemens stattet die Strecke mit Radarsensoren aus, die Verkehrsdichte, Tempo, Abstand und andere Bewegungsdaten der Fahrzeuge in Echtzeit und anonym messen. Es geht vor allem um Technik, welche die Vernetzung der Fahrzeuge sowie die Kommunikation von selbstfahrenden Autos mit der Straße, Ampeln und anderen Infrastrukturen ermöglicht. Erste Anwendungen sind bereits gestartet, zum Beispiel die zentimetergenaue Erfassung der Strecke als hochpräzise, digitale Karte und ein Projekt zur Car-to-Car-Echtzeitkommunikation nahe des nächsten Mobilfunkstandards 5G. Dafür steuert der Bund etwa 25 Millionen Euro bei. Alle gesammelten Bewegungsdaten werden in einer Daten-Cloud gebündelt und offen zur Verfügung gestellt, so dass App-Entwickler damit digitale Anwendungen für das vernetzte Fahren entwickeln können.

C-ITS Corridor

Der Einsatz von IVS im Straßenverkehr dient dazu, gefährliche Verkehrshindernisse wie zum Beispiel Tagesbaustellen wahrzunehmen, bevor man sie sieht. Autofahrende sollen in Zukunft in Echtzeit erfahren, ob auf der Autobahn eine Spur gesperrt wird und Staugefahr droht. Technisch gelingt dies durch kooperative Systeme, die durch übergreifende Vernetzung die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen, straßenseitiger Verkehrstechnik und Verkehrsleitzentralen ermöglichen (C-ITS, Cooperative Intelligent Transport Systems).

Der C-ITS Corridor wendet diesen Gedanken seit 2015 in einem länderübergreifenden Korridor zwischen Rotterdam, Frankfurt und Wien an: Deutsche, niederländische und österreichische Straßenbetreiber starten mit Partnern aus der Industrie die schrittweise Einführung kooperativer Systeme in Europa. Denn der Straßenverkehr endet nicht an Ländergrenzen, und der Erfolg intelligenter Technologien hängt im Zeitalter des gemeinsamen europäischen Marktes von der erfolgreichen Zusammenarbeit unter den europäischen Partnern ab. Das Bundesverkehrsministerium vernetzt dazu die mobilen Warnanhänger vor Baustellen elektronisch, damit sie entsprechende Signale direkt an die Fahrzeuge senden. Außerdem sollen neue Telematiksysteme die Geschwindigkeit von Autos erfassen können und daraus Rückschlüsse auf die Verkehrslage ziehen. So kann letztlich das gesamte Verkehrsmanagement durch neu verfügbare Fahrzeugdaten verbessert werden.



ATC – Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University GmbH

Das 2014 eröffnete Aldenhoven Testing Center (ATC) ist ein interdisziplinäres Testzentrum für Mobilität auf einem etwa 40 Hektar großen Gelände mit sieben Teststrecken, beispielsweise für Off-Road, Bremsen oder Steigungen. Auf dem ATC können Anforderungen und Möglichkeiten zukünftiger Mobilität auf der Straße entwickelt und getestet werden. Ebenso lassen sich unterschiedliche Fahrsituationen, die Wirkung von Assistenzsystemen oder auch Kollisions- und Kreuzungssituationen sicher, reproduzierbar und unabhängig vom realen Straßenverkehr untersuchen.

Mit dem automotiveGATE steht eine Simulation des zukünftigen, europäischen Satellitennavigationssystems Galileo zur Verfügung. Mit den simulierten Galileo-Satellitensignalen können entsprechende Systeme erprobt werden, bevor hinreichend viele Galileo-Satelliten im Orbit kreisen. Weitere Bauabschnitte, die insbesondere die Forschung und Entwicklung zum vernetzten und automatisierten Fahren ermöglichen, sind in Planung und teilweiser Umsetzung. Errichtet wurde das ATC auf einem ehemaligen Zechengelände und stellt somit gelebten Strukturwandel dar. Die Errichtung wurde aus Eigenmitteln der Betreiber, des Kreises Düren und der RWTH Aachen University, finanziert sowie aus Fördermitteln des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) und der EU. Alle Einrichtungen können von interessierten Institutionen und allen klein- und mittelständischen Unternehmen, die im Bereich der Mobilität forschen, entwickeln oder testen, angemietet werden.

7.2 Geplante Testfelder und Teststrecken

Teststädte

Nach ersten Erprobungen des automatisierten Fahrens auf ausgewählten Teststrecken plant die Bundesregierung nun die Ausdehnung der Feldversuche im realen Betrieb auf die sechs Städte Braunschweig, Dresden, Düsseldorf, Hamburg, Ingolstadt und München. Es könnten je nach Eignung und Stadtkonzept auch noch zusätzliche Orte hinzukommen. Dies eröffnet vor allem die Chance, die Herausforderung der im Vergleich zur Autobahn komplexeren Verkehrssituationen zum Beispiel an Ampeln und Kreuzungen zu adressieren. Bis 2020 stellt die Bundesregierung dafür 80 Millionen Euro zur Verfügung. Damit können unter anderem Straßen mit Sensoren ausgestattet und die Fahrzeuge als fahrende Computer über die Rechenzentren der Städte mit

leistungsfähiger Verkehrsleittechnik verbunden werden. Auch neue Mobilfunktechnologien können damit aufgebaut werden. Das Projekt Teststädte kann wie zum Beispiel in Braunschweig an vorhandene Entwicklungen anschließen. Dort wurden mit dem Forschungslabor Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig bereits erste Schritte gegangen und automatisierte, kooperative Systeme im realen Straßenraum erprobt und evaluiert.

Testfeld Niedersachsen/Braunschweig

Bis 2018 wird das Land Niedersachsen laut Verkehrsministerium auf den Autobahnen 2, 7 und 39 im Raum zwischen Hannover, Braunschweig und Salzgitter einen Testring für autonomes Fahren aufbauen. Insgesamt soll der Ring etwa 262 Kilometer umfassen. Die Strecken sollen schrittweise mit der erforderlichen Technik ausgerüstet werden. Federführend bei dem Projekt sind das Land Niedersachsen und das DLR, die bis 2018 fünf Millionen Euro in das Projekt investieren wollen. Aufgebaut und betrieben wird das Testfeld mit den Unternehmen Volkswagen und Continental. Zu dem Testfeld soll auch das Stadtgebiet Braunschweig gehören, in dem bereits seit 2010 vom DLR autonomes Fahren getestet wird. Innerhalb der „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität“ des DLR im Innenstadtbereich von Braunschweig kommunizieren Fahrzeuge auch mit Ampeln und übermitteln Daten zum Verkehrsgeschehen an die Zentralrechner der Verkehrsbetriebszentrale der Stadt.

Karlsruher Testfeld für autonomes und vernetztes Fahren

Auch in Karlsruhe wird ein Testfeld für autonomes und vernetztes Fahren aufgebaut. In unterschiedlichsten Verkehrsszenarien sollen autonome Fahrzeuge getestet werden. Hinzu kommen zwei Anbindungen auf der Autobahn nach Heilbronn und nach Bruchsal. Auf diesem Testfeld können Firmen und Forschungseinrichtungen zukunftsorientierte Technologien und Dienstleistungen rund um das vernetzte und automatisierte Fahren im alltäglichen Straßenverkehr erproben. Das baden-württembergische Wirtschaftsministerium stellt 2,5 Millionen Euro aus dem Etat zur Verfügung. Diese werden um 2,5 Millionen des baden-württembergischen Wissenschaftsministeriums im Rahmen des Forschungsförderprogramms „Smart Mobility“ ergänzt. Das Karlsruher Konsortium sowie die assoziierten Partner bringen zusätzlich Eigenmittel von rund 4,2 Millionen Euro in das Vorhaben ein. 2016 wird mit den notwendigen Vorarbeiten begonnen. Der erste Probelauf soll ein Jahr später erfolgen. Nach einem weiteren halben Jahr will Karlsruhe in den regulären Betrieb übergehen, sodass Nutzende dann autonome Systeme testen

können. Zudem lassen sich die regulatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen fortschreiben. Das Konsortium will die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Testfeld auch in weitere Regionen in Baden-Württemberg übertragen.

Synchrone Mobilität 2023 – Intelligente Verkehrssysteme in Sachsen

Im Großraum Dresden-Chemnitz entstehen urbane Testkorridore für die Erprobung automatisierten und vernetzten Fahrens im realen Verkehrsgeschehen. Die Testkorridore bieten Unternehmen und Forschungseinrichtungen exzellente Möglichkeiten zur Erprobung von Fahrzeug- und Kommunikationstechnologien unter realen Bedingungen. Sie werden ergänzt durch spezialisierte Test- und Prüffelder, Verkehrs- und Kommunikationstechnik sowie durch anwendungsbezogene Komponenten und Dienste. Über das vernetzte, automatisierte Fahren im urbanen Kontext hinaus werden auch kooperative, über mehrere hochautomatisierte Fahrzeuge abgestimmte Fahrmanöver getestet. Dabei spielt die Integration in den Mischverkehr mit nicht beziehungsweise unterschiedlich ausgestatteten Fahrzeugen eine wichtige Rolle. Die bedarfsgerechte Einbeziehung infrastrukturseitiger Einrichtungen sowie unterschiedlicher Kommunikationstechnologien unterstützt die fahrzeugseitige Funktionalität und Sicherheit. Die Anwendungsszenarien erstrecken sich über alle Verkehrsträger und beziehen insbesondere auch den Öffentlichen Personennahverkehr sowie Nutzfahrzeuge mit ein. Neuartige Funktionen und Dienste für Infrastruktur und Verkehrsleitzentrale erlauben eine effektivere Verkehrsbeeinflussung.

Die Initiative „Synchrone Mobilität 2023 – Intelligente Verkehrssysteme in Sachsen“ wurde durch den Freistaat Sachsen initiiert und wird durch die Städte beziehungsweise die zuständigen Ämter und Behörden unterstützt. Sie integriert unterschiedlichste F&E-, Erprobungs- und Umsetzungsvorhaben, die offen für potenzielle Anwender aus Industrie und Wissenschaft sind. Mit derzeit über 20 Partnern aus unterschiedlichen Branchen und Disziplinen wurden erste Projekte bereits gestartet, und weitere sind in Vorbereitung. Auch erste Versuchsfahrten mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen im realen Verkehrsgeschehen haben bereits stattgefunden.

Teststrecke für automatisiertes Fahren Düsseldorf

Laut dem Verkehrsministerium Nordrhein-Westfalen soll in Düsseldorf im Rahmen eines innerstädtischen Projekts eine Teststrecke für automatisiertes Fahren eingerichtet werden. Dazu finden bereits Gespräche zwischen Landes- und Bundesministerium für Verkehr statt. Die Stadtverwaltung unterstützt die Pläne.

Teststrecke für automatisiertes Fahren in Wuppertal

2015 wurde eine 17 Kilometer lange Teststrecke für automatisiertes Fahren in Wuppertal genehmigt. 2016 sollen die ersten Prototypen selbstständig auf der L418 unterwegs sein. Die Strecke bietet viele unterschiedliche Verkehrssituationen: Schnellstraße, Kreisverkehr, Ampeln, Zebrastreifen und Fußgängerwege sowie viele Schilder. Sie verläuft unter anderem entlang der Deutschlandzentrale des Automobilzulieferers Delphi, der das automatisierte Fahren nun direkt vor Ort weiterentwickeln kann. Bislang mussten solche Testfahrten in den USA durchgeführt werden.

Digitale Testfelder Stadtverkehr Berlin

Der Stadtverkehr der Zukunft soll in Berlin in mehreren digitalen Testfeldern mit unterschiedlichen Anwendungsfällen erprobt werden. Dazu sollen Voraussetzungen geschaffen werden, um die Konzentration und wissenschaftliche Begleitung mehrerer Pilotprojekte zu ermöglichen (Infrastruktur und Technologien, Datengrundlagen, Ordnungsrecht, Kommunikation). Im Fokus stehen neben dem Pkw-Verkehr (unter anderem Navigation im komplexen Stadtverkehr, automatisiertes Parken und Laden, Datenaustausch Car to Infrastructure), die City-Logistik (unter anderem Last-Mile-Lieferverkehr, Entsorgung), der Busverkehr (Fahrerassistenzsysteme, Last-Mile- und Shuttle-Verkehr) sowie Flottenanwendungen im B2C- und B2B-Bereich inklusive Sharing. Darüber hinaus sollen Pilotprojekte im wachsenden Bereich der Light Electric Vehicles (LEV) mit Fahrzeugen unterhalb des Pkw (vor allem Fahrrad, Scooter, Lastenräder) erprobt und gefördert werden. Räumlich fokussieren sich die digitalen Testfelder auf den Bereich (1) „EUREF-Campus“ in Verbindung mit dem Zukunftsbahnhof „Berlin-Südkreuz“ in Berlin-Schöneberg, (2) den Technologiepark Berlin-Adlershof in Verbindung mit dem Stadtteil Berlin-Oberschöneweide im Bezirk Treptow-Köpenick, (3) dem hochverdichteten Standquartier „City West“ im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf (Gebiet um den Kurfürstendamm/Jochimsthaler Straße) sowie (4) nach Schließung des Flughafens Tegel, „TXL Urban Tech Republic“ in Berlin-Reinickendorf. In diesen Testfeldern sollen die Voraussetzungen für Pilotprojekte mit speziellem Anwendungsfokus geschaffen und Pilotprojekte konzentriert werden.

Mit der Möglichkeit, Technologien unter „Reallabor“-Bedingungen zu erproben, zu qualifizieren und zu optimieren, soll der Aufbau industrieller Wertschöpfung in den zukunftssträchtigen Feldern der Intelligenten Mobilität in der Hauptstadtregion unterstützt werden. Während für das Testfeld (1) bereits Projekte beginnen und konkret geplant sind, werden für die Gebiete (2)



und (3) Potenzialstudien mit der Definition von Anwendungsfällen, Voraussetzungen und Pilotprojekten erstellt. Für das Testfeld (4) sind die Planungen bezüglich Infrastruktur und Voraussetzungen stark auf den Verkehr der Zukunft ausgerichtet.

Die Testfelder werden im Rahmen der von Berlin Partner und der Berliner Agentur für Elektromobilität eMO organisierten „Initiative Intelligente Mobilität“ mit maßgeblicher Rolle des Berliner Senats und rund 50 Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen umgesetzt. Im Land Brandenburg werden derzeit die Potenziale des automatisierten Straßenverkehrs analysiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

7.3 Testfelder und Teststrecken mit dem Fokus auf Vernetzung

5GLab Germany – Dresden

The 5G Lab Germany ist ein Zusammenschluss von Lehrstühlen der TU Dresden, die in enger Kooperation mit der Industrie in einem interdisziplinären Team an Schlüsseltechnologien für die fünfte Generation des Mobilfunks (5G) forschen. Neben der weiteren Steigerung der Datenrate kann durch die starke Verringerung der Latenz und die Erhöhung der Zuverlässigkeit durch 5G neue Anwendungsfelder erschlossen werden. Damit leistet das 5GLab Germany einen wichtigen Beitrag zur Vernetzung des Mobilitätssystems und die Kommunikationsunterstützung bei der Fahrzeugautomatisierung.

5G Lab Berlin

In Berlin wird die nächste schnelle Datenfunk-Generation 5G erprobt. Die Senatsverwaltung für Wirtschaft und die Deutsche

Telekom wollen beim Aufbau eines Testfeldes zusammenarbeiten. 2020 soll es marktreif sein. Die ersten Sendeanlagen der neuen Generation könnten einen Radius von etwa einem Kilometer abdecken. In diesem Bereich könnten 5G-Anwendungen in Echtzeit in Berlin-Charlottenburg getestet werden. Als LTE-Nachfolgetechnik soll der Mobilfunk der fünften Generation deutlich leistungsfähigere Datenverbindungen bringen, durch die bestimmte Anwendungen im E-Health-Bereich („ferngesteuerte Operationsroboter“), hochautomatisierte Roboterfabriken sowie autonom operierende Fahrzeuge möglich werden.

Der internationale Wettkampf um die 5G-Technologieführerschaft läuft trotz des Experimentierstadiums bereits. Mit dem Berliner Testfeld bündeln neben Telekom, Berliner Senat, den Fraunhofer Instituten FOKUS und HHI eine Reihe von Unternehmen der Ausrüsterindustrie und Softwareentwicklung ihre Kräfte, um beim Thema 5G entscheidende Wettbewerbsvorsprünge zu erarbeiten.

Mit schrittweisem Aufbau, der Integration und der Inbetriebnahme der neuen 5G-Technologiekomponenten werden Anwendungsszenarien spezifiziert. Zu den besonders anspruchsvollen Anwendungsgebieten zählt die Erprobung von autonom operierenden Fahrzeugen in komplexen urbanen Verkehrssituationen. Um einen sicheren autonomen Fahrzeugbetrieb in Zukunft zu ermöglichen, werden fahrzeugseitige Sensoren und Algorithmen nicht ausreichen. Stattdessen werden Vernetzung und kooperative Systeme an Bedeutung gewinnen. Höchst zuverlässige, mobile Datenkommunikation großer Bandbreite wird dafür die technologischen Voraussetzungen schaffen müssen – und erfordert hierfür die Leistungsfähigkeit des zukünftigen 5G-Standards.

Über das Projekt

Die erfolgreiche Einführung des automatisierten Straßenverkehrs in Deutschland bedarf kontinuierlicher Arbeit und eines gemeinschaftlichen Gestaltungswillens. An den Schnittstellen unterschiedlicher Branchen müssen vielfältige Strategien konzipiert, geprüft und gegebenenfalls angepasst und weiterentwickelt werden. Die Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs wird auch in den kommenden Jahren das bestimmende Innovationsthema in der Mobilitätsbranche sein. Dabei müssen alle beteiligten Akteure an einem Strang ziehen – auf Basis eines systemischen, technologieoffenen und marktorientierten Ansatzes.

Die Projektgruppe „Neue autoMobilität“ hat in 18-monatiger Arbeit die Basis für die weitere Diskussion des Themas erarbeitet. 70 Mitglieder aus über 40 Organisationen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft haben in fünf Arbeitsgruppen (siehe Abbildung 26) ein Zielbild für den automatisierten Straßenverkehr der Zukunft definiert, systemische Roadmaps zur Erreichung des Zielbildes erarbeitet, Themenfelder priorisiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Weitere Informationen zur Arbeit der Projektgruppe finden Sie unter: www.acatech.de/neue-automobilitaet

Projektgruppe Neue autoMobilität				
AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5
Forschung & Entwicklung	Standardisierung & Normung	Rahmenbedingungen	Infrastruktur	Geschäftsmodelle
Sprecher: Karsten Lemmer DLR	Sprecher: Eckehard Schnieder TU Braunschweig	Sprecher: Achim Kampker Deutsche Post	Sprecher: Bernhard Friedrich TU Braunschweig	Sprecher: Michael Bültmann HERE Deutschland

Abbildung 26: Projektgruppe Neue autoMobilität



Literatur

1 Einleitung

acatech 2015

acatech (Hrsg.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2015.

2 Aktuelle Trends und internationaler Vergleich

2.1 Die digitale Transformation der Mobilität

acatech 2015

acatech (Hrsg.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2015.

Christensen 1997

Christensen, C. M.: *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Causes Great Firms to Fail*, Watertown: Harvard Business Review Press 1997.

Roland Berger 2016

Roland Berger/Automotive Competence Center/ fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen: *Index „Automatisierte Fahrzeuge“*, 1.Quartal 2016, München 2016. URL: <http://www.fka.de/consulting/studien/index-automated-vehicle-2016-01-q1-d.pdf> [Stand: 28.07.2016].

2.2 Automatisiertes Fahren und Mobilitätsdienste im internationalen Vergleich

Alba 2016

Alba, D.: „Didi To Uber China in Most Anticlimactic Tech Merger Ever“. In: *WIRED* (Artikel vom 1. August 2016). URL: <http://www.wired.com/2016/08/didi-buys-uberchina-anticlimactic-tech-merger-ever/> [Stand: 25.08.2016].

BBC News 2016

BBC News: „Volvo to test self-drive cars in UK“ (Artikel vom 27. April 2016). URL: <http://www.bbc.com/news/technology-36149043> [Stand: 15.08.2016].

Europäisches Parlament 2016

Europäisches Parlament, Generaldirektion der inneren Politikbereiche der Union (Hrsg.): *Research for Tran Committee – Self-Piloted Cars: The Future of Road Transport?* (STUDY des Policy Department B des Europäischen Parlaments), Brüssel 2016. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/573434/IPOL_STU\(2016\)573434_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/573434/IPOL_STU(2016)573434_EN.pdf) [Stand: 28.07.2016].

European Telecommunications Network Operators' Association 2016

European Telecommunications Network Operators' Association: *Joint Industry Statement – Powerful digital highways for Europe's Connected and Automated Driving*, (Pressemitteilung vom 16. September 2015), URL: <https://etno.eu/news/etno/2015/311> [Stand: 16.09.2016].

Fraunhofer IAO 2015

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hrsg.): *Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen*, 2015. URL: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/H/hochautomatisiertes-fahren-auf-autobahnen,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: 22.07.2016].

Fraunhofer IAO/Horváth&Partners 2016

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO / Horváth&Partners (Hrsg.): *The Value of Time. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren*, 2016. URL: https://blog.iao.fraunhofer.de/images/blog/studie-value_of_time.pdf [Stand: 28.07.2016].

Gao et. al 2016

Gao et al.: *Automotive Revolution – Perspectives towards 2030*. McKinsey, *Advanced Industries*, Januar 2016. URL: <http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx> [Stand: 19.09.2016].

Japanmarkt Online 2015

Japanmarkt Online: „Autonome Autos. Rückstand auf deutsche Zulieferer“ (Artikel vom 06.03.2015). URL: <http://www.japanmarkt.de/2015/03/06/fe/forschung/autonome-autos-rueckstand-auf-deutsche-zulieferer/> [Stand: 28.07.2016].

Meissner/Wübbecke 2016

Meissner, M./Wübbecke, J.: *MERICs China Monitor: Digitalisierung des Autos - Anfang vom Ende des China Booms für internationale Autobauer?*, Berlin 2016. URL: http://www.merics.org/fileadmin/user_upload/downloads/China-Monitor/MERICs_ChinaMonitor_31_160301_Web.pdf [Stand: 22.07.2016].

Regierung der Niederlande 2016

Regierung der Niederlande: *Self-Driving Vehicles*. URL: <https://www.government.nl/topics/mobility-public-transport-and-road-safety/contents/self-driving-vehicles> [Stand: 28.07.2016].

Roland Berger 2016

Roland Berger/Automotive Competence Center/ fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen: *Index „Automatisierte Fahrzeuge“*, 1.Quartal 2016, München 2016. URL: <http://www.fka.de/consulting/studien/index-automated-vehicle-2016-01-q1-d.pdf> [Stand: 28.07.2016].

Russell, J. 2016

Russell, J.: „MIT Spinout NuTonomy just Beat Uber to Launch the World's First Self-Driving Taxi“. In: *Techcrunch* (Artikel vom 25. August 2016). URL: <https://techcrunch.com/2016/08/24/mit-spinout-nutonomy-just-beat-uber-to-launch-the-worlds-first-self-driving-taxi/> [Stand: 25.08.2016].

TU Automotive 2016

TU Automotive: „The UK Is Going Autonomous“ (Artikel vom 2. März 2016). URL: <http://analysis.tu-auto.com/autonomous-car/uk-going-autonomous> [Stand: 15.08.2016].

3 Nutzungsszenarien

3.5 Geschäftsmodelle für den automatisierten und vernetzten Straßenverkehr

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech (Hrsg.): *Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft* (Abschlussbericht), Berlin 2015.

Flügge 2016

Flügge, B. (Hrsg.): *Smart Mobility – Trends, Konzepte, Best Practices für die intelligente Mobilität*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.

Fraunhofer IAO/Horváth&Partners 2016

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO / Horváth&Partners (Hrsg.): *The Value of Time. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren*, 2016. URL: https://blog.iao.fraunhofer.de/images/blog/studie-value_of_time.pdf [Stand: 28.07.2016].

Hoffmann 2016

Hoffmann, D.: „Startups mit Chuzpe“. In: *Automotive IT*, Ausgabe 08/09 2016, S. 30-32.

VDV 2015

Verband deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) (Hrsg.): *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen* (Positionspapier), 2015. URL: <https://www.vdv.de/positionensuche.aspx?id=9daae371-2f2c-43b9-b614-26ff397f0bb7&mode=detail> [Stand: 03.08.2016].

4 Aktionsfelder und Roadmaps

4.2 Mensch

acatech 2013

acatech (Hrsg.): *Technikwissenschaften. Erkennen – Gestalten – Verwalten* (acatech IMPULS), München: Herbert Utz Verlag 2013.

acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Perspektiven der Biotechnologiekommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2012.

acatech 2011

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen gesellschaftlichen Problem* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2011.

ACV 2015

ACV Automobil-Club Verkehr (Hrsg.): *ACV Akzeptanzstudie: Autonomes Fahren*, Köln 2015. URL: <https://www.acv.de/uploads/2015/02/acv-akzeptanzstudie-autonomes-fahren.pdf> [Stand: 28.07.2016].

Bellet et al. 2012

Bellet, T./Mayenobe, P./Bornard, J./Gruyer, D./Claverie, B.: „A Computational Model of the Car Driver Interfaced with a Simulation Platform for Future Virtual Human Centred Design Applications: COSMO-SIVIC“. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (7), 2012, S. 1488-1504.



Cisco 2013

Cisco (Hrsg.): *Cisco Customer Experience Research. Automotive Industry, Global Data*, 2013. URL: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/ccer_report_manufacturing.pdf [Stand: 28.07.2016].

Deceton 2016

Deceton Consulting (Hrsg.): *Autonomes Fahren: Wenn das Lenkrad zur Sonderausstattung wird. Eine empirische Untersuchung der Akzeptanz autonom fahrender Fahrzeuge*, 2016. URL: https://www.detecon.com/sites/default/files/gladbach_-_studie_autonomes_fahren_final.pdf [Stand: 03.08.2016].

Deml/Neumann 2008

Deml, B./Neumann, H.: „Prädiktion der Fahrerablenkung durch Kognitive Modellierung“. In: *ATZelextronik*, 3(2), 2008, S.26-31.

Dziennus et al. 2015

Dziennus, M./ Kelsch, J./Schieben, A.: „Ambient Light Based Interaction Concept for an Integrative Driver Assistance System – a Driving Simulator Study“ (Konferenzbeitrag für die HFES Europe Chapter Annual 2015 Conference in Groningen, 14-16.10.2015). URL: <http://www.hfes-europe.org/wp-content/uploads/2015/12/Dziennus2016.pdf> [Stand: 27.07.2016].

Eilers et al. 2013

Eilers, M./Möbus, C./Tango, F./Pietquin, Olivier: „The Learning of Longitudinal Human Driving Behavior and Driver Assistance Strategies“. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 2013, S. 295-314.

Flemisch et al. 2012

Flemisch, F./Heesen, M./Hesse, T./Kelsch, J./Schieben, A./Beller J.: „Towards a Dynamic Balance between Humans and Automation: Authority, Ability, Responsibility and Control in Shared and Cooperative Control Situations“. In: *Cognition, Technology and Work*, 14(1), 2012, S.3-18.

Fraedrich et al. 2016

Fraedrich, Eva/Cyganski, Rita/Wolf, Ingo/Lenz, Barbara: *User Perspectives on Autonomous Driving. A Use-Case-Driven Study in Germany* (Arbeitsbericht), Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Heft 187, Berlin 2016.

Fraedrich/Lenz 2015a

Fraedrich, E./Lenz, B.: „Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens“. In: Maurer M./ Gerdes J. C./Lenz B./Winner H.(Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S.637-658.

Fraedrich/Lenz 2015b

Fraedrich, Eva/Lenz, Barbara: „Vom (Mit-)Fahren. Autonomes Fahren und Autonutzung“. In: Maurer M./ Gerdes J. C./Lenz B./Winner H.(Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S.687-709.

Gipps 1981

Gipps, P. G.: „A Behavioural Car-following Model for Computer Simulation“. In: *Transportation Research Part B: Methodological*, 15 (2), 1981, S. 105-111.

Gouy et al. 2014

Gouy, M./Wiedemann, K./Stevens, A./Brunett, G./Reed, N.: „Driving next to Automated Vehicle Platoons: How Do Short Time Headways Influence Non-Platoon Drivers' Longitudinal Control?“ In: *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 2014, S. 264-273.

Griesche et al. 2016

Griesche, S./Nicolay, E./Assmann, D./Dotzauer, M./Käthner, D.: „Should my Car Drive as I Do? What Kind of Driving Style Do Drivers Prefer for the Design of Automated Driving Functions?“. In: ITS automotive nord e.V. (Hrsg.): *AAET-Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (Beiträge zum gleichnamigen 17. Braunschweiger Symposium vom 10. und 11. Februar 2016), Braunschweig 2016, S.185-205.

Grunwald 2015

Grunwald, A.: „Gesellschaftliche Risikokonstellation für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung“. In: Maurer M./ Gerdes J. C./Lenz B./Winner H.(Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S.661-686.

Hohenberger et al. 2016

Hohenberger, C./Spörrle, M./Welpel, I. M.: *The Why and How Sex Differences in the Willingness to Use Automated Cars: Emotions Across Different Age Groups*, (Beitrag für Präsentation auf der 2016 International Conference on Traffic and Transport Psychology), Brisbane 2016.

Körber et al. 2016

Körber, M./Gold, C./Lechner, D./Bengler, K.: „The Influence of Age on The Take-Over Of Vehicle Control in Highly Automated Driving“. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 2016, S.19-32.

Laphoehn et al. 2015

Lapoehn, S./Schieben, A./Hesse, T./Schindler, J./Köster, F.: „Concept of Controlling the Usage of Nomadic Devices in Highly Automated Vehicles“. In: *Intelligent Transport Systems*, IET 9 (6), 2015, S. 599-605.

Neumerkel et al. 2002

Neumerkel, D./Rammelt, P./Reichardt, D./Stolzmann, W.: „Fahrermodelle – Ein Schlüssel für unfallfreies Fahren?“. In: *KI Künstliche Intelligenz*, 3, 2002, S.34-36.

Petermann-Stock/Rhede 2013

Petermann-Stock, I./Rhede, J.: „Intelligente Strategien für nutzerzentrierte MMI Konzepte im urbanen Raum“. In: *VDI Gesellschaft Fahrzeug-Verkehrstechnik* (Hrsg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Nr. 2205), Düsseldorf: VDI-Verlag 2013, S.263-286. URL: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1362714> [Stand: 20.07.2016].

Preuk et al. 2016

Preuk, K./Stemmler, E./Schießl, C./Jipp, M.: „Does Assisted Driving Behaviour Lead to Safety Critical Situations in Interaction with Non-Equipped Drivers?“. In: *Accident Analysis and Prevention*, 95 (Part A), In Progress, 2016, S.149-156.

Salvucci 2006

Salvucci, D.D.: „Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture“. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 48 (2), 2006, S. 362-380.

Stemmler et al. 2015

Stemmler, E./Oeltze, K./Schießl, C.: „Is Driving Assisted Behaviour Infectious?: Using Spectral Analysis to Understand Car Following Behaviour of Naïve Drivers“. In: *IFAC-PapersOnLine*, 48 (1), 2015, S. 673-674.

TÜV SÜD 2015

TÜV SÜD: *Beim automatisierten Fahren für Vertrauen sorgen* (Pressemitteilung vom 19.06.2015). URL: <http://www.tuev-sued.de/tuev-sued-konzern/presse/pressearchiv/tuv-sud-beim-automatisierten-fahren-fur-vertrauen-sorgen> [Stand 28.07.2016].

Unni et al. 2015

Unni, A./ Ihme, K./Surm, H./Weber, L./Lüdtke, A./Nicklas, D./Jipp, M./Rieger, J.: „Brain Activity Measured with fNIRS for the Prediction of Cognitive Workload“. In: *IEEE (Hrsg.): IEEE Conference on Cognitive Infocommunications. 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications*, Győr 2015, S.349-354.

Winner et al. 2015

Winner, H./Hakuli, S./Lotz, F./Singer, C. (Hrsg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ/MTZ-Fachbuch), Wiesbaden: Springer Vieweg 2015.

Winner et al. 2016

Winner H./Lotz, F./Bauer, E./Konigorski, U./Schreier, M./Adamy, J./Pfromm, M./Bruder, R./Lüke, S.: Cieler, S.: „PRORETA 3: Comprehensive Driver Assistance by Safety Corridor and Cooperative Automation“. In: Winner, H./Hakuli, S./Lotz, F./Singer, C.: *Handbook of Driver Assistance Systems. Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort*, Cham: Springer International Publishing 2016, S.1449-1469.

Woisetschläger 2015

Woisetschläger, David M.: „Marktauswirkungen des automatisierten Fahrens“. In: Markus Maurer M./Gerdes J. C./Lenz B./Winner H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S.709-732.

WEF/BCG 2015

World Economic Forum/Boston Consulting Group: *Self-driving Vehicles in an Urban Context* (Pressemitteilung vom 24.11.2015). URL: <http://www.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/self-driving-vehicles-in-an-urban-context> [Stand: 28.07.2016].

4.3 Fahrzeug

Castanedo 2013

Castanedo, F.: „A Review of Data Fusion Techniques“. In: *The Scientific World Journal*, 2013. URL: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/704504/> [Stand: 28.07.2016].

Donges 1982

Donges, E.: „Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen“. In: *AUTOMOB-IND*, 27 (2), 1982, S-183-190.



EC 2016

Europäische Kommission (Hrsg.): *C-ITS Platform (Final Report)*, Brüssel 2016. URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en.htm [Stand: 27.07.2016].

Siciliano/Kathib 2008

Siciliano, B./Khatib, O. (Hrsg.): *Springer Handbook of Robotics*, Berlin: Springer 2008.

Strohl 2014

Strohl, D.: „Oldsmobile's Hydra-Matic, First Mass-produced Fully Automatic Transmission, Turns 75" (Artikel vom 16.05.2014). URL: <http://blog.hemmings.com/index.php/2014/05/16/oldsmobiles-hydra-matic-first-mass-produced-fully-automatic-transmission-turns-75/> [Stand:27.07.2016].

VDE 2016

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (Hrsg.): *Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive? Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur*, 2016. URL: http://dialoginstitut.de/wp-content/uploads/2016/01/IKT-EM-II_Studie-Mobilit%C3%A4t-2025.pdf [Stand: 27.07.2016].

4.4 Sicherheit

Breuer et al. 2015

Breuer, J./von Hugo, C./Mücke, S./Tattersall, Simon.: „Nutzerorientierte Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen". In: Winner, H./Hakuli, S./Lotz, F./Singer, C. (Hrsg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S.183-196.

Buchmann 2013

Buchmann, J. (Hrsg.): *Internet Privacy. Options for Adequate Realisation* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2013.

Checkoway et al. 2011

Checkoway, S./ McCoy, D./ Kantor, B./Anderson, D./Shacham, H./Savage, S.: *Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces* (Konferenzbeitrag für die USENIX Security in San Francisco), 10.-11.08.2011. URL: <http://www.autosec.org/pubs/cars-usenixsec2011.pdf> [Stand: 28.07.2016].

Glauner et al. 2012

Glauner P./Blumenstock A./Haueis M.: „Effiziente Felderprobung von Fahrerassistenzsystemen". In: UNI DAS e.V.(Hrsg.): 8. Workshop Fahrerassistenzsystem, Walting 2012, 2012, S.5-15.

Hilgendorf 2015b

Hilgendorf, E.: "Recht und autonome Maschinen – ein Problem-aufriß". In: Hilgendorf, E./Hötitzsch, S.(Hrsg.): *Das Recht vor den Herausforderungen der modernen Technik*, (Beiträge der 1. Würzburger Tagung zum Technikrecht im November 2013), 2015, S. 14 f.

Hilgendorf 2015c

Hilgendorf, E.: „Teilautonome Fahrzeuge: Verfassungsrechtliche Vorgaben und rechtspolitische Herausforderungen". In: Hilgendorf, E./Hötitzsch, L./Lutz, L. S.(Hrsg.): *Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge*, (Beiträge zur 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht) Baden-Baden: Nomos 2015, S. 15–32.

Hilgendorf/Hötitzsch 2013

Hilgendorf, E./Hötitzsch, S.(Hrsg.): *Das Recht vor den Herausforderungen der modernen Technik*, Beiträge der 1. Würzburger Tagung zum Technikrecht im November 2013, Baden-Baden: Nomos 2013.

Hoppe et al. 2008

Hoppe, T./Kiltz, S./Dittmann, J.: „Security Threats to Automotive CAN Networks – Practical Examples and Selected Short-Term Countermeasures". In: Harrison, M. D./Sujan, M. (Hrsg.): *Computer Safety, Reliability, and Security*, Bd. 5219. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 235–248.

Miller/Valasek 2014

Miller, C./Valasek, C.: „A Survey of Remote Automotive Attack Surfaces", (Konferenzbeitrag für Black Hat USA in Las Vegas), 02.-07.08.2014. URL: <http://illmatics.com/remote%20attack%20surfaces.pdf> [Stand: 28.07.2016].

Ranneberg 2015

Ranneberg, K.: „Erhebung und Nutzbarmachung zusätzlicher Daten – Möglichkeiten und Risiken". In: Markus Maurer M./Gerdes J. C./Lenz B./Winner H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S. 516-537.

Schaar 2010

Schaar, P.: „Privacy by Design“. In: *Identity in the Information Society*, 3, 2010. URL: http://www.bfdi.bund.de/SharedDocs/Publikationen/%22PrivacyByDesign%22.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 28.07.2016].

Schöner et al. 2011

Schöner, H./Hurich, W./ Luther, J./Herrtwich, R. G.: „Koordiniertes automatisiertes Fahren für die Erprobung von Assistenzsystemen“. In: *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift*, 113 (1), 2011, S. 40–45.

Wachenfeld/Winner 2015

Wachenfeld, W./Winner, H.: „Die Freigabe des autonomen Fahrens“. In: Mauer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin, Heidelberg: Springer 2015, S. 439–464.

Wachenfeld et al. 2015

Wachenfeld, W./Winner, H./Gerdes, C./Lenz, B./Maurer, M./Beiker, S./ Fraedrich, E./ Winkle, T. „Use-Cases des autonomen Fahrens“. In: Mauer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin, Heidelberg: Springer 2015, S. 9–37.

Winner/Wachenfeld 2013

Winner, H./Wachenfeld, W.: „Absicherung automatischen Fahrens“, (Workshop-Beitrag für die 6. FAS-Tagung in München), 28.-29.11. 2013, München.

4.5 Vernetztes Mobilitätssystem

BMI 2009

Bundesministerium des Inneren (Hrsg.): *Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)*, 2009. URL: http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2009/kritis.pdf?__blob=publicationFile [Stand 29.07.2016].

BMVI 2015

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einhalten*, 2015. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/broschuerestrategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 29.07.2016].

digitalradio.de 2016

digitalradio.de (Hrsg): *Fakten zum deutschen Digitalradio*, 2016. URL: <http://www.digitalradio.de/index.php/de/fakten-zum-deutschen-digitalradio> [Stand: 03.08.2016].

Dupuis 2015

Dupuis, M.: *Format Specification*, Rev. 1.4 (OpenDRIVE, Nr. VI2014.106, H), 2015. URL: <http://www.opendrive.org/docs/OpenDRIVEFormatSpecRev1.4H.pdf> [Stand: 02.08.2014].

everis 2015

everis (Hrsg.): *Connected Car Report*, 2015. URL: <http://www.everis.com/global/WCRepositoryFiles/everis%20connected%20car%20report.pdf> [Stand: 03.08.2015].

FGSV 2013

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement: *Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen (MDV 2013)*, Köln: FGSV Verlag 2013.

FGSV 1993

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: *Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS). Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen (RMS-1)*, Köln 1993.

FGSV 1980

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: *Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS). Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen (RMS-2)*, Köln 1980.

Kinane et al. 2014

Kinane, D./Schnitzler, F./Mannor, S./Liebig, T./Morik, K./Marecek, J./Gorman B./Zygouras, N./Katakis, Y./Kalogeraki, V./Gounopoulos, D.: *Intelligent Synthesis and Real-time Response using Massive Streaming of Heterogeneous Data (INSIGHT) and its anticipated effect on Intelligent Transport Systems (ITS) in Dublin City, Ireland*. 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland 16–19 June 2014.

ITU-R 2015

ITU-R (Hrsg.): *IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond. Recommendation ITU-R M.2083-0 (M Series Mobile, Radiodetermination, Amateur and Related Satellite Services)*, 2015. URL: <http://www.itu.int/md/R12-SG05-C-0199/en> [Stand: 03.08.2016].



Leonard/Durrant-Whyte 1991

Leonard, J. L./ Durrant-Whyte, H. F.: „Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons“. In: *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7 (3), 1991, S.376-382.

Matheus et al. 2004

Matheus, K./Morich, R./Lübke, A.: „Economic Background of Car-to-Car-Communication“. In: *IMA 2004, Informationssysteme für mobile Anwendungen* (Beiträge zum gleichnamigen 2. Braunschweiger Symposium vom 20. und 21. Oktober 2004), Braunschweig 2004.

Smith/Cheeseman 1986

Smith, R.C./Cheeseman, P.: „On the Representation of Spatial Uncertainty“. In: *The International Journal of Robotics Research*, 5(4), 1986, S.56-68.

5G PPP 2015a

5G Infrastructure Public Private Partnership (Hrsg.): *5G Vision. The 5G Infrastructure Public Private Partnership: the Next Generation of Communication Networks and Services*, 2015. URL: <http://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>, [Stand: 03.08.2016].

5G PPP 2015b

5G Infrastructure Public Private Partnership (Hrsg.): *5G Automotive Vision*, 2015. URL: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Automotive-Vertical-Sectors.pdf> [Stand: 03.08.2016].

4.6 Rahmenbedingungen

Bonnefon et al. 2015

Bonnefon, J./ Shariff, A./ Rahwan, I.: *Autonomous Vehicles Need Experimental Ethics: Are We Ready for Utilitarian Cars?* arXiv:1510.03346 [cs.CY], 13. Oktober 2015.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2013

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.): *Arbeitsmarktprognose 2030: Eine strategische Vorausschau auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in Deutschland*, Bonn 2013.

Hilgendorf 2015a

Hilgendorf, E.: „Automatisiertes Fahren und das Recht“, In: *Zeitschrift für Verkehrsrecht (ZVR)*, Sonderheft, Dezember 2015, S. 469-472.

Hilgendorf 2015b

Hilgendorf, E.: „Recht und autonome Maschinen – ein Problemabriss“. In: Hilgendorf, E./Hötitzsch, S.(Hrsg.): *Das Recht vor den Herausforderungen der modernen Technik* (Beiträge der 1. Würzburger Tagung zum Technikrecht im November 2013), 2015, S. 14 f.

Hilgendorf/Hötitzsch 2013

Hilgendorf, E./Hötitzsch, S.(Hrsg.): *Das Recht vor den Herausforderungen der modernen Technik* (Beiträge der 1. Würzburger Tagung zum Technikrecht im November 2013), Baden-Baden: Nomos 2013.

Kian/Tettenborn 2015

Kian, B./Tettenborn, A.: „Ist die Providerhaftung im Lichte vernetzter autonomer Systeme noch zeitgemäß?“. In: *Beiträge der 2. Würzburger Tagung zum Technikrecht*, Fn. 12, 2015, S. 101 ff.

4.7 Technische Normen und Standards

BAST 2012

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (Hrsg.): *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*, Heft F 83, Carl Schünemann Verlag GmbH: Bremen 2012.

Becker et al. 2010

Becker, D./Beverungen, D./Knackstedt, R./Behrens, H./Glauner, C./Wakke, P.: *Stand der Normung und Standardisierung der hybriden Wertschöpfung. Ein Beitrag zum Forschungsprojekt „Flexible Informationssystem-Architektur für hybride Wertschöpfungsnetzwerke* (Arbeitsbericht Nr. 126 des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster), 2010.

DIN 2007

DIN 2007: *DIN EN 45020:2007-03. Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – allgemeine Begriffe*, ISO/IEC Guide 2: 2004, Berlin: Beuth Verlag 2007.

DIN 2011

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (Hrsg.): *Der gesamtwirtschaftliche Nutzen der Normung. Eine Aktualisierung der DIN-Studie aus dem Jahr 2000*, 2011. URL: <http://www.din.de/blob/79542/946e70a818ebdaacce9705652a052b25/gesamtwirtschaftlicher-nutzen-der-normung-data.pdf> [Stand: 03.08.2016].

DIN/DKE 2015

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)/DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik (Hrsg.): *Deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0*, Version 2, 2015. URL: <http://www.din.de/blob/95954/42935f7a165f16e341967b8a9f91c026/aktualisierte-roadmap-i40-data.pdf>/ [Stand: 03.08.2016].

iMobilitySupport 2014

iMobilitySupport (Hrsg.): *D3.6 Report on Standardization Activities*, 2014. URL: <http://www.imobilitysupport.eu/library/imobility-support-activities/its-deployment-deliverables/standardisation/deliverables-2/2392-d3-6a-report-on-standardization-activities-v1-0/file/> [Stand: 03.08.2016].

Schnieder 2007

Schnieder, E. (Hrsg.): *Verkehrsleittechnik. Automatisierung des Straßen- und Schienenverkehrs*, Berlin, Heidelberg: Springer 2007.

Schnieder/Schnieder 2013

Schnieder, E./Schnieder, L.: *Verkehrssicherheit. Maße und Modelle, Methoden und Maßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr*. Berlin: Springer Vieweg 2013.

VDA 2015

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) (Hrsg.): *Normenausschuss Automobiltechnik (Jahresbericht)*, 2015. URL: <https://www.vda.de/dam/vda/Medien/DE/Verband/Fachabteilungen/Normung/jahresbericht-naautomobil-2015.pdf> [Stand: 03.08.2016].

Wachenfeld et al. 2015

Wachenfeld, W./Winner, H./Gerdes, C./Lenz, B./Maurer, M./Beiker, S./Fraedrich, E./Winkle, T. „Use-Cases des autonomen Fahrens“. In: Mauer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin, Heidelberg: Springer 2015, S. 9–37.

5 Zusammenfassung der Roadmap und Ausblick

Brown et al. 2014

Brown, A./Repac, B./Gonder, J.: „An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicles“. In: *TRB 93rd Annual Meeting Compendium Papers*, Washington DC 2014.

Fagnant/Kockelman 2014

Fagnant, D./Kockelman, K.: „The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-Based Model Scenarios“. In: *Transportation Research Part C*, 40, 2014, S.1–13.

Fagnant/Kockelman 2013

Fagnant, C./Kockelman, K.: *Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations*, The Eno Center for Transportation, 2013. URL: <https://www.enotrans.org/wp-content/uploads/2015/09/AV-paper.pdf> [Stand: 29.07.2015].

Rammler 2016

Rammler, S.: *Digitaler Treibstoff. Chancen und Risiken des Einsatzes digitaler Technologien und Medien im Mobilitätssektor*, Edition Hans-Böckler-Stiftung, Band 310, Hans Böckler Stiftung, 2016.

Spieser et al. 2014

Spieser, K./Treleavne, R./Zhang, R./Frazzoli, E./Motron, D./Pavone, M.: „Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore“. In: Meyer, G./Beike, S.: *Road Vehicle Automation*, Springer: Berlin 2014, S.229–245.

6 Schlussfolgerungen

BT 2016

Deutscher Bundestag (Hrsg.): *Antrag der Fraktionen der CDU/CSU und SPD: Intelligente Mobilität fördern – Die Chance der Digitalisierung für den Verkehrssektor nutzen*, BT-Drucksache 18/7362, Berlin 2016. URL: <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/073/1807362.pdf> [Stand: 29.07.2016].

Stone et al. 2016

Stone, P. et al.: „Artificial Intelligence and Life in 2030“. In: *One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015–2016 Study Panel*, Stanford University, Stanford, CA, September 2016. Doc: <http://ai100.stanford.edu/2016-report> [Stand: September 6, 2016].



Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem	DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
ACC	Adaptive Cruise Control	DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ACV	Automobil-Club Verkehr	DMB	Digital Multimedia Broadcasting
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems	DSRC	Dedicated Short Range Communication
AF	Automatisiertes Fahren	DSL	Digital Subscriber Line
AIM	Anwendungsplattform Intelligente Mobilität	D2D	Device-to-Device
ArbZG	Arbeitszeitgesetz	dWiSta	Dynamischer Wegweiser mit Stauinformation
ATC	Aldenhoven Testing Center	EAL	Evaluation Assurance Level
AUTOSAR	Automotive Open System Architecture	ECE(-R)	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (-Regelungen)
BAB	Bundesautobahn	EC	Europäische Kommission
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	ECU	Electronic Control Unit
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales	EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz	EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	E/E	elektrisch/elektronisch
BMI	Bundesministerium des Innern	E/E/PE	elektrisch/elektronisch/programmierbar
BMJV	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz	elektronisch	
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	eMBMS	Broadcastfunktionen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	ERTRAC	European Road Transport Research Advisory Council
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	ERTICO	European Road Transport Telematics Implementation Coordination
BKrfQG	Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz	ESoP	European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle Information and Communications Systems
BSI(-KritisV)	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (-Kritisverordnung)	ETCS	European Train Control System
BVWP	Bundesverkehrswegeplan	ETSI (EN)	European Telecommunications Standards Institute (Europäische Norm)
CAN	Controller Area Network	EU	Europäische Union
CEN	European Committee for Standardization	EU-DS-GVO	EU-Datenschutz-Grundverordnung
CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung	FAS	Fahrerassistenzsystem
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems	FeV	Fahrerlaubnis-Verordnung
cm	Zentimeter	FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
CORBA	Common Object Request Broker Architecture	FOT	Field Operational Test
CWA	European Committee for Standardization Workshop Agreement	FPersV	Fahrpersonalverordnung
DAB	Digital Audio Broadcasting	FTTH	Fiber to the Home
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	FTÜ	Fahrzeugteileübereinkommen
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft	F&E	Forschung und Entwicklung
DIN (EN)	Deutsche Institut für Normung (Europäische Norm)	GAMAB	Globalement au moin aussi bon
		Gbit/s	Gigabit/Sekunde
		GG	Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
		GHz	Gigahertz
		GPRS	General Packet Radio Service
		GPS	Global Positioning System
		GSM	Global System for Mobile Communication

GUM	Guide to Expression of Uncertainty in Measurement	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
HSPA	High Speed Packet Access	ÖV	Öffentlicher Verkehr
IEC	International Electrotechnical Commission	RADAR	Radio Detection and Ranging
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	RDS	Radio Data System
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien	RDW	Dienst Wegverkehr
IP	Internetprotokoll	RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
ISO TR	Internationale Organisation für Normung (Technical Report)	SAE	Society of Automotive Engineers
ISMS	Informations-Sicherheitsmanagement-System	SARTRE	Safe Road Trains for the Environment
IT	Informationstechnik	SDN	Software-Defined Networking
ITU	International Telecommunication Union	SDO	Standard Development Organization
ITS	Intelligent Transport System	SMS	Sicherheitsmanagementsystem
ITS UK	United Kingdom Association for Intelligent Transport Systems	StGB	Strafgesetzbuch
IVS	Intelligente Verkehrssysteme	StVG	Straßenverkehrsgesetz
IVSG	Intelligente Verkehrssysteme Gesetz	StVO	Straßenverkehrsordnung
kbps	Kilobit pro Sekunde	TCG	Trusted Computing Group
Kfz	Kraftfahrzeug	TNO	Netherlands Organisation for Applied Science Research
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen	TMC	Traffic Message Channel
KPI	Key Performance Indicator	TPEG	Transport Protocol Experts Group
LDM	Local Dynamic Map	StVZO	Straßenverkehrszulassungsordnung
LSA	Lichtsignalanlage	TC	Technical Committee
LTE(-A)	Long Term Evolution(-Advanced)	TÜV	Technischer Überwachungsverein
MaaS	Mobility as a service	UKW	Ultrakurzwellen
MBMS (eMBMS)	Multimedia Broadcast Multicast Service (evolved MBMS)	UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems
MDV	Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen	UN	United Nations
MGM	Mindestens gleiche Sicherheit	VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
MIT	Massachusetts Institute of Technology	VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
mm	Millimeter	VDI(-GPP)	Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung)
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion	VM	Verkehrsmanagement
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle	VRU	Vulnerable Road User
ms	Millisekunde	VWV	Verwaltungsvorschrift
M2M	Machine-to-Machine	V2V	Vehicle-to-Vehicle
NAAutomobil	DIN-Normenausschuss Automobiltechnik	V2X	Vehicle-to-X
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	V&V	Verifikation und Validierung
NRW	Nordrhein-Westfalen	WLAN(11p)	Wireless Local Area Network (speziell für V2V- und V2X-Kommunikation, basierend auf IEEE-Standards 802.11p)
OCB	Outside the Context of a Basic Service Set	WÜ	Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr
OCIT	Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems	3G/4G/5G	dritte Generation/vierte Generation/fünfte Generation im Mobilfunk
OEM	Original Equipment Manufacturer		
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing		
OSI	Open Systems Interconnection		





acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de

**Herausgeber:****Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Reihenherausgeber:**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2016**

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0

F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0

F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13

1000 Brüssel

T +32 (0)2/2 13 81-80

F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de

www.acatech.de

Empfohlene Zitierweise:

Lemmer, K. (Hrsg.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.

ISSN 2192-6174/ISBN 978-3-8316-4503-9

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2016

Koordination: Stefanie Baumann, Dr. Tobias Hesse, Michael Püschner

Redaktion: Dr. Ralf Grötter

Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

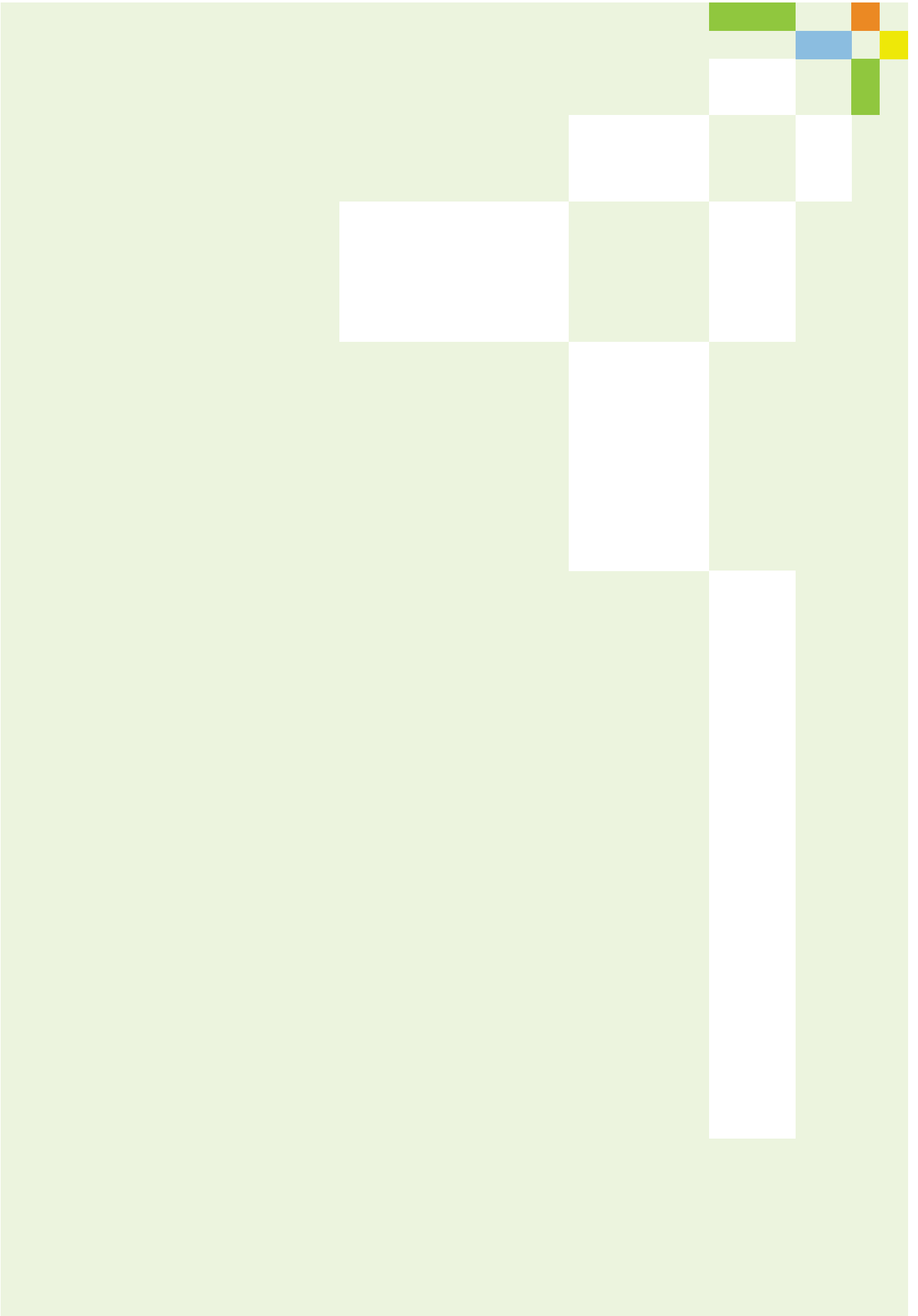
Titelfoto: iStock/Heiko Küverling

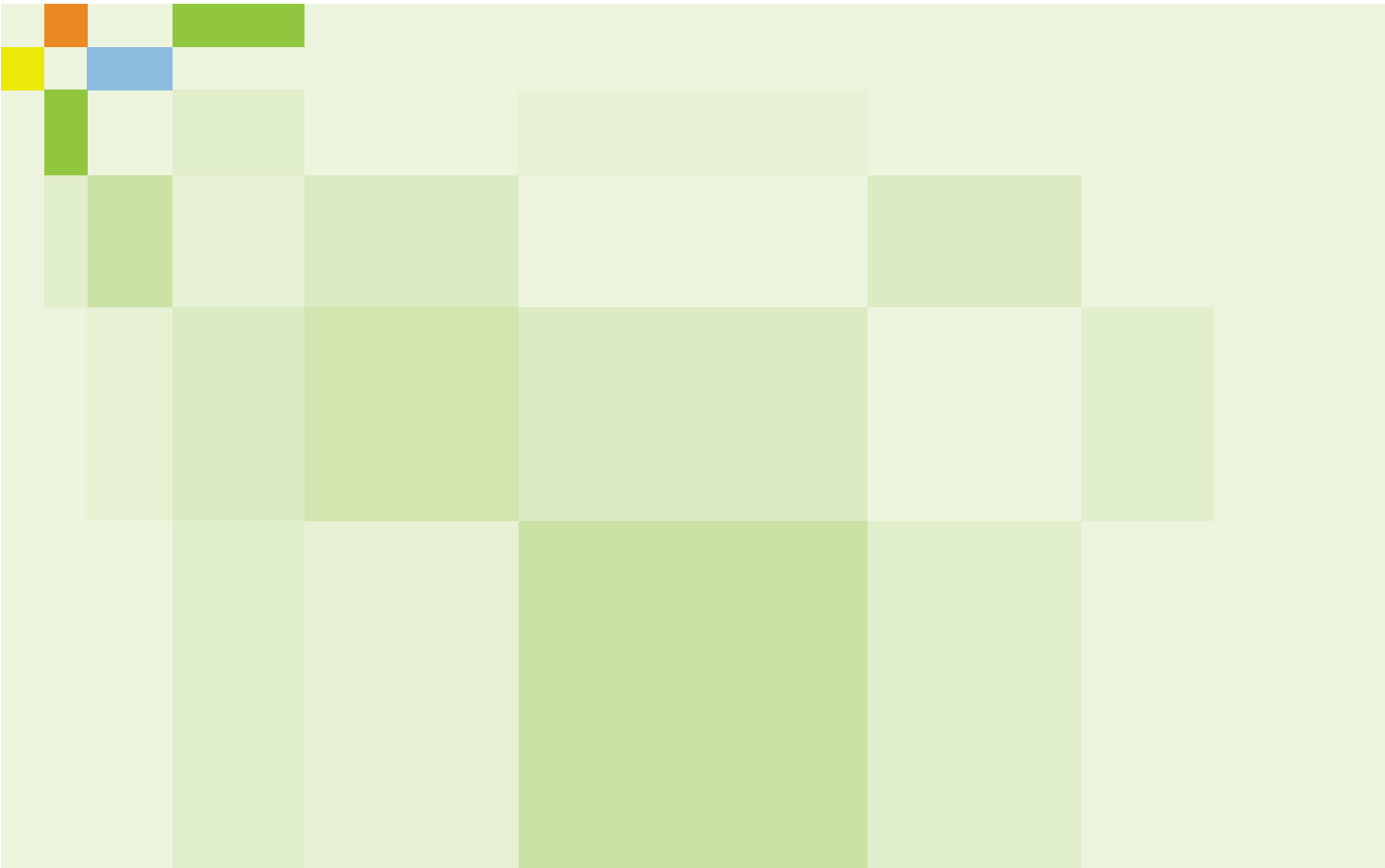
Konvertierung und Satz: kognito gestaltung, Berlin

Printed in EC

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.utzverlag.de





Nach der Definition eines Zielbildes für den automatisierten Straßenverkehr 2030 in einer acatech POSITION (2015) erörtert die acatech Projektgruppe Neue autoMobilität mit dieser STUDIE nun detailliert, welche Weichenstellungen erfolgen müssen, um dieses Zielbild erfolgreich zu realisieren. Die STUDIE gibt zunächst einen Überblick zum Entwicklungsstand, zu den rechtlichen Rahmenbedingungen sowie zur Markteinführung von Technologien des automatisierten Fahrens in ausgewählten Ländern. Die Nutzungsszenarien präsentieren mögliche Anwendungsfälle und den individuellen Nutzen des automatisierten und vernetzten Fahrens in Hinblick auf Verkehrssicherheit, Lebensqualität oder soziale Teilhabe. In sechs übergeordneten Kategorien wird der aktuelle Stand, beispielsweise in Forschung und Entwicklung, Standardisierung und Normung sowie zu notwendigen infrastrukturellen als auch rechtlichen Rahmenbedingungen detailliert. Anhand von Roadmaps werden der Handlungsbedarf aufgezeigt und entsprechende Schlussfolgerungen formuliert, um Automatisierung und Vernetzung im Sinne einer ganzheitlichen Mobilitätswende voranzubringen.