

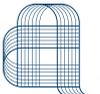


acatech **STUDIE**

Neue autoMobilität II

Kooperativer Straßenverkehr und intelligente
Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft

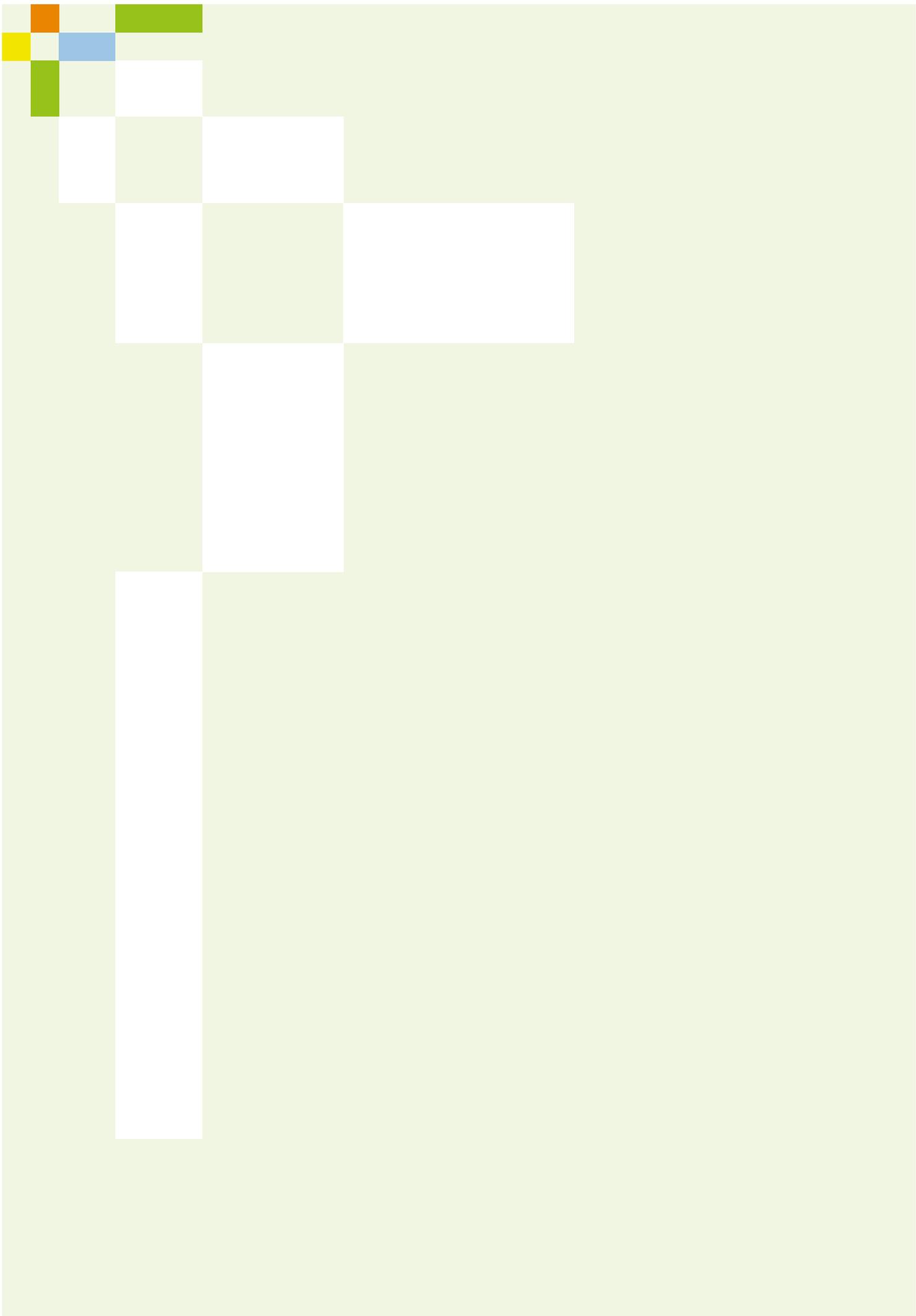
Karsten Lemmer (Hrsg.)

 Neue
autoMobilität II

Ein Projekt von acatech

 **acatech**

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech STUDIE

Neue autoMobilität II

Kooperativer Straßenverkehr und intelligente
Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)



Ein Projekt von acatech



DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen 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

Zusammenfassung	5
Projekt	9
1 Einleitung	11
2 Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte MOBILITÄT 2030+	12
3 Zukunftsbilder der Mobilität	18
3.1 Kooperativer Mischverkehr	18
3.2 Ländlicher Mobilitäts-Hub	20
3.3 Automatisierter und vernetzter Güterfernverkehr	21
3.4 Sektorenkopplung	22
3.5 Verkehrsträgerübergreifend unterwegs	24
3.6 Flächenumnutzung und Parkraummanagement	26
3.7 Gebündelte Paketzulieferung	28
3.8 Intelligente Verkehrssteuerung und prognosebasiertes Routing	30
3.9 Sicherheit und neue Interaktionsmöglichkeiten	32
3.10 Rundumversorgung mit Sharing-Angeboten	34
3.11 Dynamische Fahrspuraufteilung	35
3.12 Ökonomische Verkehrssteuerung	36
4 Die Rolle der Kommunen beim automatisierten und vernetzten Fahren	38
4.1 Daseinsvorsorge und Gemeinwohlverpflichtung	39
4.2 ÖPNV neu denken: hybrider öffentlicher Verkehr	40
4.3 Rechtliche Rahmenbedingungen	41
4.4 Finanzierung	42
4.5 Unterstützung, Vernetzung und Lernen in Experimentierräumen	43



5 Kooperativer Mischverkehr	44
5.1 Umfelderkennung, Kooperation und Verhaltensgenerierung	44
5.2 Funktionale Sicherheit automatisierter, vernetzter Fahrzeuge	52
6 Intelligente Verkehrssteuerung	57
6.1 Prognosebasierte Mehrebenen-Steuerung	58
6.2 Virtuelles Abbild der realen Lage – digitaler Zwilling	60
6.3 Ökonomische Steuerungsmechanismen	61
6.4 Verkehrsdaten	62
6.5 Sektorenkopplung und Verkehrssteuerung	69
6.6 Automatisierter und vernetzter Güterverkehr	71
7 Die gesellschaftliche und internationale Dimension der neuen autoMobilität	76
7.1 Gesellschaftliche Akzeptanz – eine Auswertung repräsentativer Befragungen potenzieller Nutzerinnen und Nutzer	76
7.2 Ethik	83
7.3 Gesellschaftliche Partizipation und Transparenz	84
7.4 Internationaler Vergleich: kulturelle und regulative Aspekte	89
8 Schlussfolgerungen	95
Anhang	100
Anhang A: Abkürzungen und Glossar	100
Anhang B: Abbildungen	102
Anhang C: Tabellen	103
Literatur	104

Zusammenfassung

Die vorliegende acatech STUDIE *Neue autoMobilität II* beschreibt, wie sich automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sinnvoll in ein erstrebenswertes automatisiertes und vernetztes Mobilitätssystem der Zukunft einbinden lassen. Denn Mobilität eröffnet Chancen und ermöglicht Teilhabe und ist so Voraussetzung zu Selbstbestimmung und individuelle Lebensführung. Gleichzeitig steht sie vor wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Herausforderungen. Innovative Mobilitätssysteme auf Basis von Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung sollen einen entscheidenden Beitrag zu einer Zukunft leisten, in der Ressourcen, Raum, Fahrzeuge und Infrastrukturen effizienter genutzt werden.

Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+

Das systemische Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ zeigt auf, wie ein automatisiertes und vernetztes Mobilitätssystem zukünftig gestaltet werden kann. Dabei wird zwischen drei unterschiedlichen Ebenen differenziert: der physischen Ebene des Verkehrsraums, der Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements sowie der Ebene der Werte und Ziele. Die „neue autoMobilität“ steht dabei für leistungsfähige Personenbeförderung und Gütertransporte, eine erhöhte Lebensraumqualität, eine gleichwertige Versorgung mit Mobilitätsdiensten, einen Beitrag zu Klima- und Umweltschutz, die Wahrung von Persönlichkeits- und Datenschutzrechten sowie eine gute Wettbewerbsposition deutscher Hersteller und Anbieter im internationalen Vergleich.

Die Rolle der Kommunen beim automatisierten und vernetzten Fahren

Kommunen stehen vor der Herausforderung, auch zukünftig die Mobilität ihrer Bürgerinnen und Bürger sicherzustellen, denn Mobilität ist ein wesentlicher Bestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge. Auf dem Weg zu einem integrierten und multimodalen Mobilitätssystem der Zukunft kann automatisiertes und vernetztes Fahren als Mittel zur Lösung dieser Aufgaben entwickelt und eingesetzt werden. Kommunen müssen dafür allerdings dazu befähigt werden, die Verkehrsentwicklung auf

gemeinwohlorientierte Ziele hin zu steuern. Die Verfügbarkeit und Nutzbarmachung von Daten sind dabei Schlüsselfaktoren für ein kommunales Mobilitätsmanagement und eine nutzergerechte Vernetzung von Verkehrsmitteln und Verkehrsteilnehmenden. Denn mit der Digitalisierung des Verkehrssystems lassen sich Mobilitätsbedarfe und -angebote flexibler, bedarfsorientierter und individueller aufeinander abstimmen. Mit dem gemeinsamen Ziel eines integrierten Verkehrskonzepts, in dem verschiedene öffentliche und private Diensteanbieter den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) mit individueller Mobilität nahtlos vernetzen, kann eine insgesamt bessere Mobilitätsversorgung bereitgestellt werden. Multi- und Intermodalität, also die gezielte Inanspruchnahme verschiedener und vor allem umweltfreundlicher Verkehrsträger, spielen in einem hybriden öffentlichen Verkehrssystem (ÖV-System) eine entscheidende Rolle. Ein vernetztes Mobilitätssystem kann dazu beitragen, einer möglichen Verkehrszunahme durch mehrheitlich privat oder individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge entgegenzuwirken. Damit lassen sich auch die Potenziale des automatisierten und vernetzten Fahrens ausschöpfen, um den Ressourcen-, Energie- und Flächenverbrauch zu vermindern.

Kooperativer Mischverkehr

Vernetzung und Automatisierung schließen immer auch Kooperation mit ein. Kooperation bezieht alle Fahrzeuge von manuell bis automatisiert gesteuert genauso mit ein wie die lokale Infrastruktur, Fußgänger und Fußgängerinnen und Radfahrer. Das Ziel von Kooperation ist es, die Anzahl sicherheitskritischer Ereignisse zu reduzieren und den Verkehrsfluss zu optimieren.

Eine wesentliche technische Voraussetzung für Kooperation ist die Umfelderkennung. Weitere Vorteile verspricht hier eine verteilte kooperative Umfelderkennung, die alle Möglichkeiten der umgebenden Fahrzeuge und infrastrukturbasierter Sensorik zusammenfasst. Um neue Datenquellen zu erschließen, insbesondere für die Fahrwegabsicherung, ist eine herstellerübergreifende Standardisierung von Schnittstellen und abgesicherten architektonischen Konzepten notwendig.

Herausforderungen entstehen beim Zusammenwirken von technischen Systemen und menschlichen Akteuren. Hier braucht es mensch-kompatible und konsistente Interaktionsprinzipien und -designs. Die technische Vernetzung ist eine wichtige Grundlage, um eine kooperative Verhaltensgenerierung etablieren und neue Algorithmen zur verteilten Entscheidungsfindung nutzen zu können. Unabhängig vom Übertragungsstandard bedarf es eines gemeinsamen Protokollmodells, mit dem Kooperation in



unterschiedlichen Situationen und mit unterschiedlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern sicher und nutzbringend realisiert werden kann. Insgesamt müssen Interoperabilität und Konformität mindestens europaweit harmonisiert und in den Zulassungsprozess integriert werden. Unabhängige Prüfeinrichtungen müssen standardisierte und frei zugängliche Testfälle beziehungsweise Testszenarien durchführen und somit einen möglichst reibungslosen und effizienten Betrieb vorbereiten. Eine wesentliche Erkenntnis aus bisherigen Forschungsprojekten ist, dass zum Nachweis der Sicherheit automatisierter und vernetzter Fahrzeuge ein szenarienbasierter Ansatz zugrunde gelegt werden sollte, der potenziell kritische Verkehrssituationen in den Mittelpunkt rückt. Eines der wichtigen Werkzeuge sind in diesem Zusammenhang die Testfelder für automatisiertes und vernetztes Fahren. Darüber hinaus müssen insbesondere mit Blick auf das Thema KI zum Testen von sicherheitsrelevanten Funktionen wie zum Beispiel der Fußgängererkennung Alternativen zum bisherigen Vorgehen entwickelt werden.

Intelligente Verkehrssteuerung

Um die gesellschaftlichen Ziele im Bereich der Mobilität zu erreichen und den Beitrag von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen im Verkehrssystem zu maximieren, ist eine intelligente Verkehrssteuerung unabdingbar. Während bisher oft noch statische Verkehrssteuerungsmaßnahmen wie feste Ampelschaltungen oder einfache, regelbasierte Steuerungen wie Umleitungsempfehlungen bei Stau genutzt werden, muss die Verkehrssteuerung in Zukunft dynamischer und vorausschauender werden.

Dafür sind die Kenntnis des Mobilitätsangebots und des Mobilitätsbedarfs sowie die Erfassung der Verkehrslage in Echtzeit auf Basis aller dafür verfügbaren Datenquellen insbesondere aus Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugen notwendig. Simulationsbasierte Methoden und Algorithmen der künstlichen Intelligenz erlauben eine zuverlässige Vorhersage, die auch die Auswirkung von Ereignissen, Störungen und Gegenmaßnahmen berücksichtigt. Die vorausschauende, intelligente Verkehrssteuerung sollte als ganzheitliche Mehrebenen-Steuerung aufgebaut sein, die netzweite Steuerung, lokale dynamische Optimierung an Kreuzungen und kooperative Fähigkeiten der Fahrzeuge optimal zu einer resilienten Gesamtsteuerung verbindet. Dabei können auch neue Elemente virtueller Verkehrsinfrastruktur genutzt werden, wie beispielsweise die dynamische Anpassung von Fahrtrichtungen auf flexibel nutzbaren Fahrspuren oder die dynamische Einrichtung von Bedarfshaltestellen.

Den organisatorisch-technischen Rahmen setzt eine leistungsfähige Dateninfrastruktur. Diese benötigt die Integration von IT-Netzwerken und Großdatenspeichern, aber auch Supporteinrichtungen sowie Authentifizierungs- und Zertifizierungsstellen. Wichtig ist, dass die beteiligten Akteure zum Zwecke einer gemeinwohlorientierten Verkehrssteuerung die benötigten Daten ohne Zeitverzögerung und frei zur Verfügung stellen. Fairer Wettbewerb, Teilhabe sowie die Wahrung von Grundrechten und Geschäftsgeheimnissen sind hier wichtige regulative und normative Leitplanken.

Neben den technologischen Erfordernissen ist auch ein entsprechendes Anreizsystem nötig, um eine bessere räumliche oder zeitliche Verteilung der Verkehrsströme oder eine Verlagerung auf andere Verkehrsmittel und einen bewussteren Mobilitätskonsum zu bewirken. Ökonomische Steuerungsmechanismen wie dynamische Straßennutzungsgebühren könnten hier eine wichtige Rolle spielen.

Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen über alle Transportmodi hinweg lässt die vorhandene Infrastruktur in Deutschland an vielen Orten bereits heute an ihre Grenzen stoßen. Digitalisierungs- und Automatisierungsprozesse in der Logistik wie die Einbindung von automatisierten Fahrzeugen in die digitale Supply-Chain, neue ganzheitliche Logistikkonzepte für Städte, Platooning im Güterverkehr und eine bessere Aufteilung auf die Verkehrsträger können einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, dem entgegenzuwirken.

Die gesellschaftliche und internationale Dimension der neuen autoMobilität

Akzeptanz von automatisiertem und vernetztem Fahren wird in der vorliegenden STUDIE nicht nur unmittelbar, sondern auch mit Blick auf Faktoren betrachtet, die den Nutzen der neuen Technologie in der öffentlichen oder in der individuellen Wahrnehmung beeinflussen. Dazu zählen die Erwartungen und Wünsche der Bevölkerung und verschiedener Nutzergruppen, Techniksicherheit, die Akzeptanz von Komponenten künstlicher Intelligenz (KI) sowie der Umgang mit Daten. Resultate aus Meinungserhebungen zeichnen in Bezug auf diese Fragen ein sehr gemischtes Bild.

In der Diskussion um ethische Leitlinien werden zwei Kernpunkte als essenziell erachtet: zum einen, dass dem Schutz menschlichen Lebens höchste Priorität gebührt, und zum anderen, dass bei etwaigen Personenschäden keine Bewertung von Menschen nach persönlichen Merkmalen stattfinden darf.

Gleichzeitig muss der rechtliche Rahmen die maximale persönliche Entscheidungsfreiheit gewährleisten. Um die öffentliche Akzeptanz zu erhöhen, sollen nutzerorientierte Designs für die Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens gestärkt und die gesellschaftliche Debatte über die Rolle der Ethik gefördert werden.

Wesentlich für eine erfolgreiche Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens ist die aktive Partizipation von Verkehrsteilnehmenden sowie Bürgerinnen und Bürgern. Beteiligung reicht von der Nutzung und Inanspruchnahme von Angeboten bis hin zur Mitwirkung an der Erarbeitung politischer Zielsetzungen und Handlungsempfehlungen. Erlebnis- und Experimentierräume eignen sich ganz besonders, um die Bürgerinnen und Bürger vor Ort in die Gestaltung systemischer Mobilitätslösungen einzubinden.

Im internationalen Vergleich sind zahlreiche Faktoren bestimmend für die weitere Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr. Zu diesen zählen Siedlungsstrukturen, Pkw-Besitz, Prestigeerwerb durch Pkw-Besitz, ÖPNV-Angebot und -Nutzung, Technikakzeptanz, Einkommensniveau, die Existenz von Demonstrationsprojekten und Testgeländen, technologische Infrastruktur, industrielle Basis sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen. Es zeigt sich, dass in Bezug auf diese Faktoren große Unterschiede bestehen. Dies erschwert die weitere Entwicklung zum automatisierten Fahren zu prognostizieren.

Schlussfolgerungen

Verkehrsträger vernetzen und zusammenführen

Attraktive Mobilitätsangebote und intermodale Reiseketten setzen Anreize für Veränderungen im Mobilitätsverhalten. Für eine optimierte multimodale Verkehrs- und Mobilitätssteuerung sollten alle Verkehrsträger auch kommunikationstechnisch als Teil einer Internet-der-Dinge-Vision zukünftiger Mobilität vernetzt werden. Wichtig für eine unkomplizierte intermodale Verkehrsmittelnutzung sind die Erleichterung von physischen Umsteigesituationen (Hubs) und die Möglichkeit flexibel nutzbarer Flächen für bedarfsgerechte Übergabepunkte.

Kommunen stärken und fit für die Gestaltung des automatisierten und vernetzten Fahrens machen

Im Sinne der Daseinsvorsorge sollten Kommunen ihre Rolle als Mobilitätsanbieter und Betreiber zentraler Verkehrsinfrastruktur nutzen und Rahmenbedingungen für öffentlich nutzbare Mobilitätsangebote vorgeben können. Kommunen müssen darüber hinaus

ermächtigt werden, von Akteuren der privaten Wirtschaft den Zugang zu fahrzeugseitig erzeugten Informationen zur aktuellen Verkehrslage in angemessener Form einfordern zu können.

Kooperations- und Interaktionsprinzipien für den Mischverkehr entwickeln

Für einen funktionierenden kooperativen Mischverkehr müssen Forschungseinrichtungen, Hersteller, Zulieferer und beteiligte Behörden gemeinsam geeignete einheitliche Interaktions- und Kooperationsprinzipien entwickeln und einführen. Unter anderem sollten neben den Automatisierungsgraden auch einheitliche Kooperationsstufen definiert werden.

Zulassungsmethoden für kooperative Fahrzeuge auf den Weg bringen

Eine sichere Einführung von automatisierten vernetzten Fahrzeugen für einen kooperativen Mischverkehr der Zukunft erfordert die Erarbeitung von Verifikations- und Validierungsmethoden für den Nachweis von funktionaler Sicherheit. Wie Erfahrungen aus verschiedenen Domänen zeigen, sollten dazu unabhängige Testeinrichtungen für die Durchführung von Conformance-Tests etabliert werden, um Interoperabilität auch herstellerübergreifend und bei Funktionsupdates sicherzustellen.

Ein Ökosystem für Mobilitätsdaten schaffen

Ein Großteil der Verkehrsdaten – ob infrastrukturseitig erfasst, durch Fahrzeuge oder auch andere Verkehrsteilnehmer erfasst – befindet sich derzeit noch in unverbundenen Datenspeichern. Nur mit Vernetzung und zielgerichteten Zugriffsmöglichkeiten auf detaillierte Echtzeit-Informationen und Vorhersagen zu Verkehrslage, Mobilitätsnachfrage und Mobilitätsangebot jedoch kann das volle Datenpotenzial zum Nutzen einer verbesserten Verkehrssteuerung ausgeschöpft werden. Zum gemeinwohlorientierten Ziel der Verkehrssteuerung sollen diese Daten frei zur Verfügung stehen. Durch den Aufbau eines Datenökosystems, das zu fairen Bedingungen allen Anbietern und Nutzern offensteht, können innovative Angebote und Anreize für neue Lösungen entstehen.

Intelligente Verkehrssteuerung einführen und föderale Kompetenzen abstimmen

Für die flächendeckende Umsetzung von raum- und zeitabhängigen Steuerungsstrategien müssen neue politische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Hierfür bedarf es vor allem einheitlicher Regulierungen, um die Zuständigkeiten zwischen Bund, Ländern und Städten abzustimmen. Dies beinhaltet die Ermöglichung von ökonomischen Steuerungsmechanismen wie beispielsweise Roadpricing durch die Kommunen.



Erlebnis- und Experimentierräume mit gesellschaftlichem Dialog und Beteiligungsformaten verbinden

Damit die Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens und die Transformation unseres Mobilitätssystems gelingen, muss der Prozess von einem breiten gesellschaftlichen Dialog und der nötigen Sensibilität für Akzeptanzfragen begleitet werden. Wichtig dabei ist eine starke Einbindung von Kommunen in Forschungsaktivitäten, etwa in Form von Erlebnisräumen und Living Labs, in denen Kommunen ganzheitliche Lösungen für neue Mobilitätssysteme mit allen Beteiligten gestalten können.

In Forschung & Entwicklung investieren, Industrie und Wissenschaft stärken

Um die deutsche Markt- und Technologieführerschaft bei Themen wie Sensorik, Elektronik und Assistenzsystemen zu wahren und strategische Wertschöpfungsketten für vernetztes automatisiertes Fahren aufzubauen, bedarf es zielgerichteter Kooperationen in Forschung, Entwicklung und Demonstration. Für eine frühe Umsetzung ist eine kohärente Koordination der Testfelder und Erprobungsprojekte notwendig. Zu fördernde Forschungsthemen beinhalten Methoden zur Absicherung von Fahrzeugen insbesondere bei Funktionsupdates, Methoden zur verteilten, kooperativen Erfassung und Bewegungsplanung, Algorithmen für eine resiliente, prognosebasierte Mehrebenen-Verkehrssteuerung sowie die Erforschung virtueller Verkehrsinfrastruktur.

Projekt

Projektleitung

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

Projektgruppe

- Dr. Till Ackermann, Verband deutscher Verkehrsunternehmen
- Dr.-Ing. Uwe Becker, TU Braunschweig
- Michael Bültmann, HERE Deutschland GmbH
- Phillip Dahl, Fraunhofer EMI
- Susanne Ernst, TU Braunschweig
- Bernd Fastenrath, HERE Deutschland GmbH
- Bernhard Fehr, DLR
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Form, VW AG
- Prof. Dr. Martin Fränzle, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, OFFIS
- Felix Grün, TU Braunschweig
- Dr. Ivo Häring, Fraunhofer EMI
- Kirstin Hegner, UnternehmerTUM
- Dr. Tobias Hesse, DLR
- Dipl.-Ing. Mathias Höhne, DLR
- Dr. Stefan Hopf, BMW Group
- Prof. Dr. Andreas Jain, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
- Dr. Johann Kelsch, DLR
- Dipl.-Ing. Sascha Knake-Langhorst, DLR
- Prof. Dr. Frank Köster, DLR
- Henry Kuhle, VDA
- Barbara Lausmann, Deutsche Bahn AG
- Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig
- Kerstin Mayr, Robert Bosch GmbH
- Wiebke Metzler, Siemens Mobility GmbH
- Prof. Dr. Katharina Morik, TU Dortmund
- Stephan Pfeiffer, ioki - Deutsche Bahn AG
- Wolfram Pfister, Deutsche Bahn AG
- Christopher Plachetka, TU Braunschweig
- Dr. Uwe Pützschler, Nokia
- Jan Richelmann, TU Braunschweig
- Dr. Lutz Rittershaus, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- Jan Schepmann, VdTÜV
- Frank Schneider, VdTÜV
- Dr. Dustin Schöder, Deutsche Bahn AG

- Dr. Christoph Schroth, BMW Group
- Graham Smethurst, VDA
- Joerg Tegtmeier, Robert Bosch GmbH
- Dr. Chung-Anh Tran, Deutsche Bahn AG
- Dr. Jan Henrik Voß, Siemens Mobility GmbH
- Prof. Dr. Ralf Wörner, Hochschule Esslingen/Daimler AG
- Olaf Zinne, ZVEI e. V.
- Markus Zwick, Siemens Mobility GmbH

Projektkoordination und Redaktion

- Dr. Tobias Hesse, DLR
- Lennart Schultz, acatech
- Yulika Zebuhr, acatech

Redaktionelle Unterstützung und Gestaltung

- Dr. Nadine Fritz-Drobeck, DLR
- Dr. Ralf Grötter, explorat
- kognito Gestaltung GmbH

Workshops

Workshop „Datengetriebene Mobilitätskonzepte in der Logistik: Autonomes Fahren im Güterverkehr“
geleitet von Katrin Hinne-Mohrmann, Deutsche Bahn AG, und Barbara Lausmann, Deutsche Bahn AG

Workshop „World Café – Weiterentwicklung des interdisziplinären und branchenübergreifenden Zielbilds für den automatisierten Straßenverkehr 2030“
geleitet von Prof. Dr. Ralf Wörner, Hochschule Esslingen/Daimler AG

Workshop „Daten im vernetzten Mobilitätssystem – Perspektiven verschiedener Marktteilnehmer“
geleitet von Michael Bültmann, HERE Deutschland GmbH, und Frank Schneider, VdTÜV

Workshop „Datengetriebene Mobilitätskonzepte im Personenverkehr – Beitrag zur Verringerung von Verkehrsstaue und Emissionen in der Stadt?“
geleitet von Kirstin Hegner, UnternehmerTUM



Workshop „Testen automatisierter und vernetzter Fahrzeuge“

geleitet von Prof. Dr. Frank Köster, DLR,
und Dipl.-Ing. Lennart Asbach, DLR

Workshop „Intelligente Verkehrssteuerung und Mobilitätsmanagement des automatisierten und vernetzten Verkehrs der Zukunft“

geleitet von Prof. Dr. Katharina Morik, TU Dortmund

Workshop „Funktionale Sicherheit für automatisierte Fahrzeuge mit selbstlernenden Komponenten“

geleitet von Prof. Dr. Martin Fränzle, Carl von Ossietzky
Universität Oldenburg

Workshop „Kommunale Perspektiven auf automatisiertes vernetztes Fahren – Gemeinwohlorientierte Mobilitätskonzepte“

geleitet von Prof. Dr. Andreas Jain, Ostfalia Hochschule für
angewandte Wissenschaften, und Dr. Till Ackermann, Verband
deutscher Verkehrsunternehmen

Workshop „Interaktions- und Kooperationsprinzipien im Mischverkehr“

geleitet von Johann Kelsch, DLR,
und Dr. Tobias Hesse, DLR

Workshop „Internationaler Vergleich“

geleitet von Henry Kuhle, VDA

Projektlaufzeit

15.01.2018 bis 30.09.2019

Förderung

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wir danken auch folgenden Partnern
für ihre Unterstützung der Studie:

- BMW AG
- Deutsche Bahn AG
- HERE Deutschland GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Siemens AG
- Volkswagen AG

1 Einleitung

Mobilität bewegt die Menschen in Deutschland. Mobilität eröffnet Chancen und ermöglicht Teilhabe und ist so Voraussetzung zur Selbstbestimmung und individuellen Lebensführung. Nicht zuletzt ist Mobilität auch ein Standort- und Wettbewerbsfaktor für Städte und Kommunen.

Eine durch acatech beauftragte und im Mai 2019 erschienene Umfrage offenbart, was die Bürgerinnen und Bürger in Deutschland als größte Mobilitätsprobleme erachten: Staus und überlastete Innenstädte, Luft, Klima- und Lärmbelastung, Ressourcenknappheit im Hinblick auf fossile Energieträger und zu hohe Unfallquoten.¹ Hinzu kommt, dass der öffentliche Raum zu stark durch Kraftfahrzeuge in Anspruch genommen wird und die Versorgung mit dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) verbesserungswürdig ist. Ein Teil der Bevölkerung rechnet zukünftig mit einer stärkeren Regulierung der Mobilität, sei es durch drohende Fahrverbote, die Sperrung von Innenstädten für den Autoverkehr oder mehr Vorschriften und Vorgaben für die individuelle Mobilität.² Die Umfrage zeigt auch, dass ein Großteil der Befragten nicht auf das Auto verzichten kann; das ist insbesondere in ländlichen Regionen und Kleinstädten der Fall. Die Bürgerinnen und Bürger möchten in ihrer Mobilität möglichst flexibel und unabhängig und dabei verlässlich, sicher und schnell unterwegs sein. Gleichzeitig wünschen sich die Bürgerinnen und Bürger den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs und einen flüssigeren Verkehr in den Städten, zum Beispiel durch intelligente Ampelschaltungen. Innovative Mobilitätssysteme auf Basis von Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung sowie innovative Mobilitätskonzepte sollen einen entscheidenden Beitrag zu einer Zukunft leisten, in der Ressourcen, Raum, Fahrzeuge und Infrastrukturen effizienter genutzt werden. Das Mobilitätssystem der Zukunft soll die individuellen Mobilitätsbedürfnisse bedarfsgerechter und effizienter bedienen können.

Das Vorgängerprojekt dieser STUDIE *Neue autoMobilität I* erörterte grundsätzlich die Chancen des automatisierten Fahrens der Zukunft mit Fokus auf den Straßen- und Individualverkehr und untersuchte relevante Aktionsfelder.³ Im Vertiefungsprojekt *Neue autoMobilität II* geht es um die Frage, wie wir automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sinnvoll in ein erstrebenswertes automatisiertes und vernetztes Mobilitätssystem der Zukunft, die „neue autoMobilität“, einbinden. Leitbild im Sinne eines ganzheitlichen, integrativen Ansatzes für die Mobilität der Zukunft ist die menschengerechte Stadt beziehungsweise der menschengerechte Verkehr. Nicht mehr nur die Frage, ob, sondern wie Automatisierung und Vernetzung unsere Mobilität besser machen, ist Gegenstand der vorliegenden STUDIE.

Das Zielbild ist darauf angelegt, sowohl in urbanen als auch in ländlichen Gebieten den Konflikt zwischen wachsenden Mobilitätsbedürfnissen, dem zur Verfügung stehenden Verkehrsraum und einem lebenswerten Umfeld aufzulösen. Besonders interessant ist dabei die Rolle der Städte und Kommunen sowie der kommunalen Verkehrsbetriebe. Sie haben ihrem Auftrag der Daseinsvorsorge auch im Bereich der räumlichen Mobilität nachzukommen und müssen gleichzeitig ihre Rolle in einem sich wandelnden Mobilitätssystem neu definieren. Darüber hinaus vertieft die STUDIE technologische Aspekte der Implementierung automatisierten und vernetzten Fahrens auf Straße und Schiene. Zwei Zukunftsthemen werden schwerpunktmäßig beleuchtet: Wie können unterschiedlich bis gar nicht automatisierte Verkehrsteilnehmende in einem zukünftigen Mischverkehr sicher und zum allgemeinen Nutzen kooperieren? Und wie kann dieser Mischverkehr durch Digitalisierung intelligent gesteuert werden? Die STUDIE eröffnet auch einen Blick auf gesellschaftspolitisch elementare Fragen nach Akzeptanz, Ethik und demokratischer Beteiligung bei der Gestaltung der Mobilität der Zukunft. Diesem thematisch ausgewogenen Ansatz von gesellschaftspolitischer und technologischer Vertiefung folgend, leitet die STUDIE wesentliche Schlussfolgerungen ab, wie Mobilität entlang der identifizierten Zukunftsthemen gestaltet werden kann und soll.

1 | Vgl. IfD-Allensbach im Auftrag von acatech 2019.

2 | Vgl. IfD-Allensbach im Auftrag von acatech 2019.

3 | Vgl. Lemmer 2016.



2 Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte MOBILITÄT 2030+

In zwei Workshops mit Expertinnen und Experten zu Beginn der Projektlaufzeit und im März 2019, durch eine Befragung der Mitglieder der Projektgruppe und auf einer Projektgruppensitzung wurden wesentliche Elemente für das systemische Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ gesammelt. Diese ergänzen das Zielbild der Vorgängerstudie von 2016⁴ und arbeiten dieses weiter aus. Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem Vorgängerprojekt ist die Differenzierung in drei Ebenen. Damit wird es möglich, über den physisch greifbaren Verkehrsraum hinaus Erkenntnisse und Zusammenhänge eines ganzheitlich gedachten Mobilitätssystems darzustellen. Der Blick geht dabei teils weit über das Jahr 2030 hinaus.

Den größten Wiedererkennungseffekt besitzt das Zielbild auf der physischen Ebene des greifbaren Verkehrsraums. Hier werden verschiedene Räume (urban, ländlich, „Speckgürtel“) in einen verkehrssystemischen Zusammenhang gestellt und mit Szenarien verbunden, die insbesondere die Vertiefungsthemen der STUDIE adressieren: Kooperation in einem Mischverkehr, intelligente Verkehrssteuerung sowie neue Infrastrukturen, die nahtloses und verkehrsträgerübergreifendes Reisen ermöglichen. Verkehrsflächen, die durch Effizienzgewinne nicht mehr als solche benötigt werden, werden im Sinne eines menschengerechten Verkehrs zu Erholungsräumen für Mensch und Umwelt, Räumen für wirtschaftliche Tätigkeiten oder auch Wohnraum umgewidmet. Stärker als in der Vorgängerversion des Zielbilds finden sich auch Perspektiven von Nutzerinnen und Nutzern verschiedener Mobilitätsformen sowie von Personen wieder, die beispielsweise als Anwohnerinnen und Anwohner oder als nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmende vom aktuellen Verkehrsgeschehen mehr betroffen sind, als dass sie durch ihr eigenes Verhalten dieses selbst verursachen.

Über der physischen Ebene liegt nun eine weitere Ebene: die des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements. Auf dieser werden Verkehrsströme, Mobilitätsbedarfe und betriebliche Aspekte

dargestellt. Hier greifen insbesondere die drei Bereiche Steuerung, digitale Dienste sowie der Betrieb von Fahrzeugen und Infrastruktur auf der Basis von Daten und Informationen ineinander. Mobilitätsmanagement ist die zielorientierte und zielgruppenspezifische Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens. Dies geschieht durch koordinierende, informatorische, organisatorische und beratende Maßnahmen.⁵ Aufgabe des Mobilitätsmanagements ist beispielsweise Personen- und Warenströme digital miteinander zu vernetzen und effizient zu steuern, Mobilitätsdienste für barrierefreie intermodale Reiseketten bereitzustellen oder im öffentlichen Verkehr (ÖV) den Betrieb einer Flotte von Shuttles nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, Mobilitätsbedarfen und aktueller Verkehrslage zu optimieren. Hier kommt das operative Verkehrsmanagement zum Tragen.

Mobilitäts- und Verkehrsmanagement werden von bestimmten Werten und Zielen geleitet. Diese Ziele und damit verbundene Unterziele bilden als normative Prämissen die dritte und oberste Ebene des Zielbilds. Sie definieren das Leitbild der menschengerechten Stadt und sind daher auch strategisch und politisch relevant. Ziele und normative Prämissen setzen die Rahmenbedingungen, innerhalb derer technologische Trends zu innovativen Mobilitätskonzepten verbunden werden. Die Mobilitätsversorgung wird darin zu einem wesentlichen Bestandteil der Gestaltung von Wohn- und Lebensräumen. Die neue autoMobilität soll dementsprechend:

- leistungsfähige Personenbeförderung und Gütertransporte gewährleisten. Eine Voraussetzung dafür sind interoperable Schnittstellen für Daten und Dateninfrastrukturen.
- die Lebensraumqualität der vom Verkehr Betroffenen, zum Beispiel von Anwohnerinnen und Anwohnern, erhöhen. Es sollen nicht nur Nutzerinnen und Nutzer oder Anbieter von neuen autoMobilitätssystemen profitieren. Auch die Verbesserung der Luftqualität sowie die Rückgewinnung von Flächen für lokalen Bedarf wie Wohnraum, Erholung, Gewerbe oder Spiel gehören dazu.
- eine annähernd gleichwertige Versorgung mit Mobilitätsdiensten bieten und sowohl Kindern als auch älteren oder mobilitätseingeschränkten Menschen soziale Teilhabe ermöglichen. Voraussetzung für die Gewährleistung einer gleichwertigen Versorgung in unterschiedlichen Regionen und Stadtquartieren ist eine Stärkung der verantwortlichen Rolle der Kommunen bei der Einführung von neuen autoMobilitätssystemen. In den Verwaltungen auch kleinerer Städte oder Landkreise müssen Wissen und Kompetenzen für eine

4 | Vgl. Lemmer 2016.

5 | Vgl. FGSV 2018.

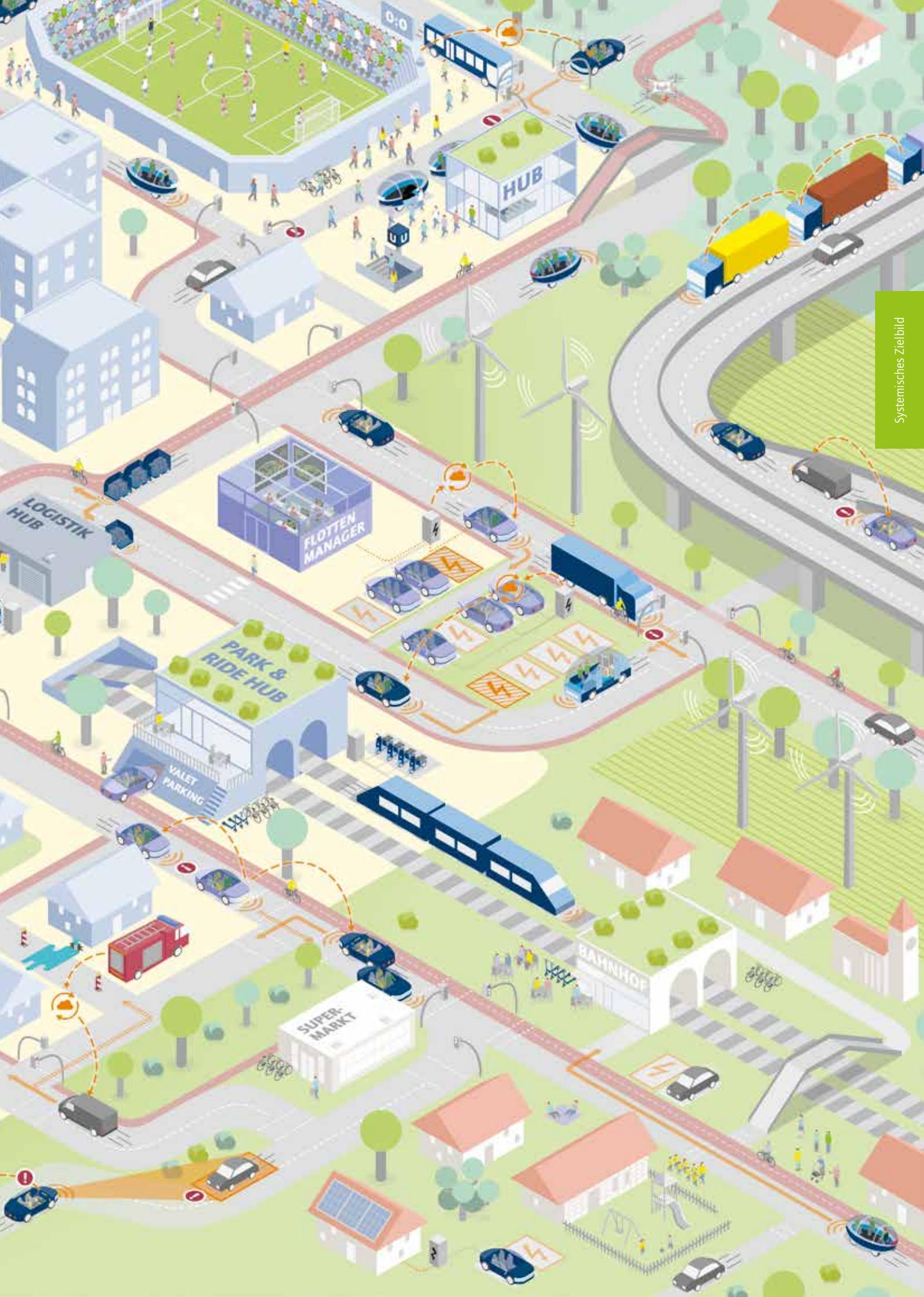
- gemeinwohlorientierte Verkehrsplanung und -steuerung aufgebaut werden.
- die Verkehrssicherheit weiter verbessern, indem kritische Ereignisse reduziert werden. Das bisher erreichte Sicherheitsniveau soll auch in einem automatisierten und vernetzten Mischverkehr mindestens erhalten bleiben.
 - einen entscheidenden Beitrag zum Klima- und Umweltschutz leisten. Dazu gehört die Reduzierung von Emissionen durch den Umstieg auf erneuerbare (Antriebs-)Energien und durch Effizienzgewinne, die durch eine Ausweitung von Carsharing und ÖV-Diensten möglich werden. Dazu gehört auch ein effektiver Ressourceneinsatz für Infrastruktur und Hintergrundsysteme sowie die Förderung einer menschen- und klimagerechten Baukultur. Ehemals durch den Verkehr beanspruchte Flächen sollen für eine klima- und menschengerechte, integrierte Stadtentwicklung verfügbar gemacht werden.
 - die Persönlichkeits- und Datenschutzrechte wahren und diese als Selbstverständlichkeit anerkennen. Die rechtlichen Vorgaben haben auch einen Vorteil: Sie werden bei der Entwicklung neuer autoMobilitätssysteme zum Innovationstreiber.
 - in Verbindung mit innovativen Geschäftsmodellen eine gute Wettbewerbsposition deutscher Hersteller und Anbieter im internationalen Vergleich schaffen.

Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+

(Quelle: eigene Darstellung)

Systemisches Zielbild





Systemisches Zielbild

Systemisches Zielbild Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements

(Quelle: eigene Darstellung)

Systemisches Zielbild

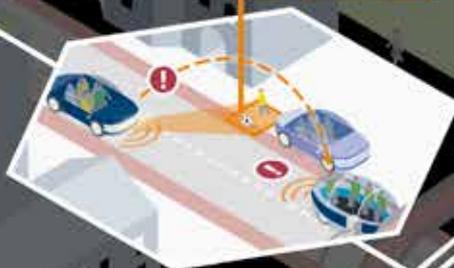
intermodale Mobilitätsangebote



Förderung aktiver Mobilität

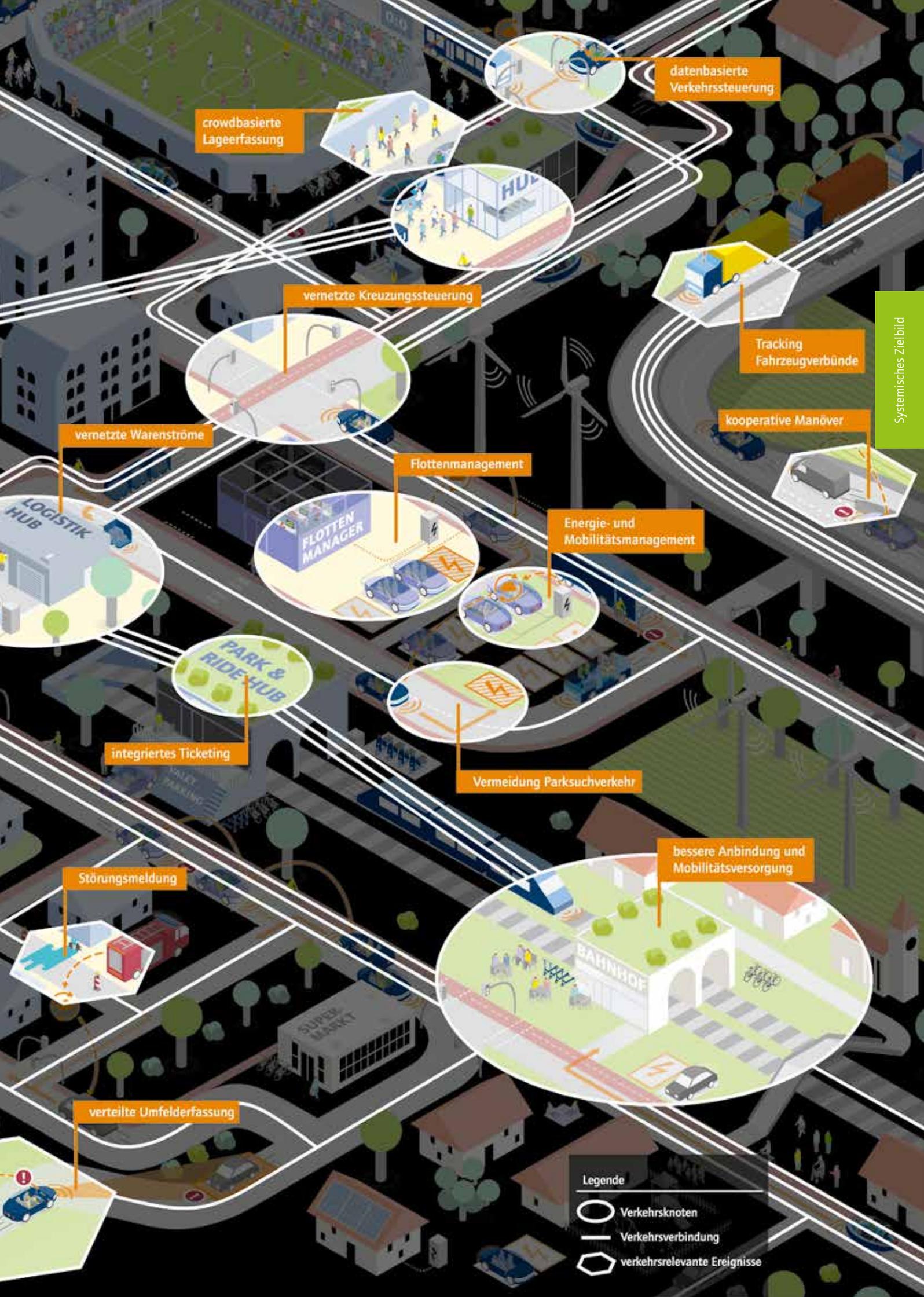


Ereignisanalyse



bedarfsorientierter
Verkehr





datenbasierte Verkehrssteuerung

crowdbasierte Lageerfassung

vernetzte Kreuzungssteuerung

Tracking Fahrzeugverbünde

kooperative Manöver

Systemisches Zielbild

vernetzte Warenströme

Flottenmanagement

Energie- und Mobilitätsmanagement

PARK & RIDE HUB

integriertes Ticketing

Vermeidung Parksuchverkehr

Störungsmeldung

bessere Anbindung und Mobilitätsversorgung

verteilte Umfelderfassung

Legende

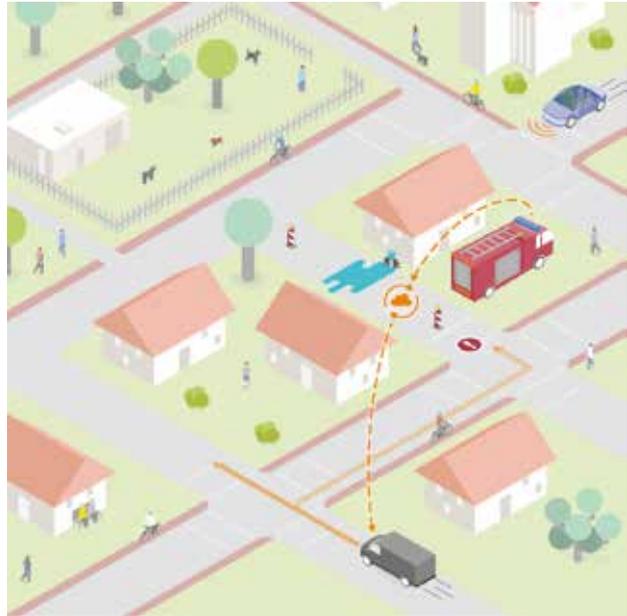
- Verkehrsknoten
- Verkehrsverbindung
- ⬡ verkehrsrelevante Ereignisse



3 Zukunftsbilder der Mobilität

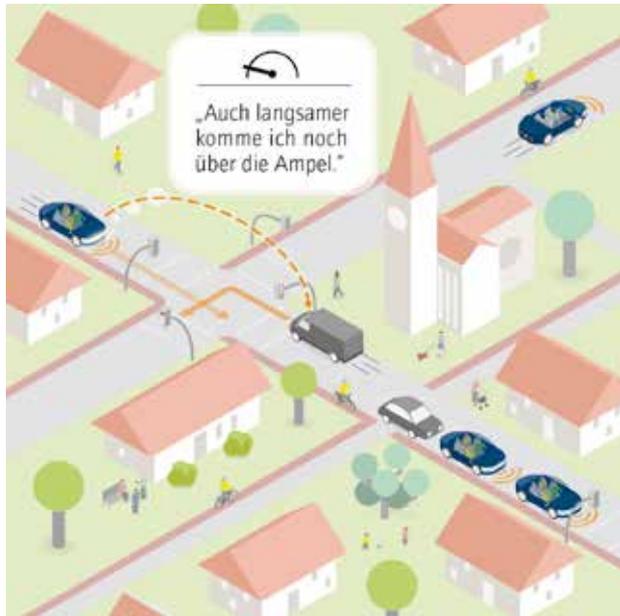
Die STUDIE arbeitet, wie bereits der Zwischenbericht des Projekts, mit Zukunftsbildern der Mobilität. Sie zeigen und beschreiben mögliche Entwicklungen hin zu einem integrierten Mobilitätskonzept der Zukunft. Durch die Zukunftsbilder werden beispielsweise Vorher-Nachher-Effekte sichtbar, oder es lässt sich ein Teilaspekt des Gesamtbilds vergrößern und detaillierter analysieren. Insgesamt folgt die Analyse einem integrativen und ganzheitlichen Ansatz. Die Zukunftsbilder werden in den folgenden Kapiteln mit ihren jeweiligen Bezügen zum Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ dargestellt und erörtert.

3.1 Kooperativer Mischverkehr



3.1.1 Echtzeitinformationen zur Verkehrslage
(Quelle: eigene Darstellung)

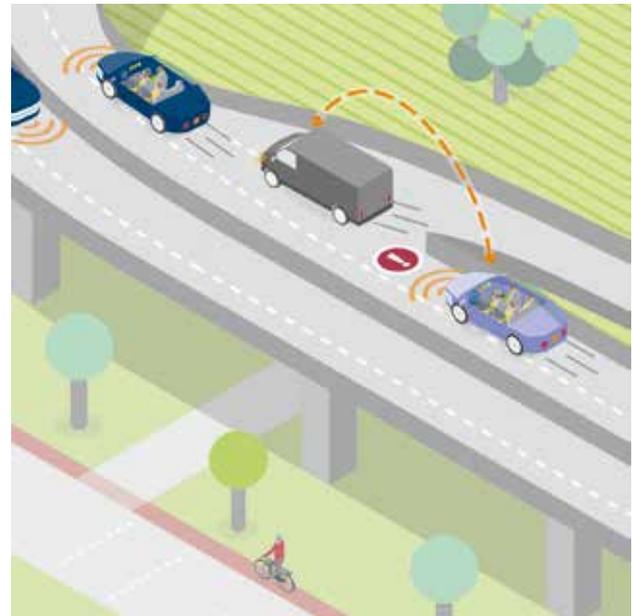
Autonom fahren? Für Hundetrainer Finn aus einer Stadt mit hunderttausend Einwohnern im Osten Deutschlands war dies lange keine Option, denn er besitzt einen Kastenwagen mit Oldtimer-Status. Seitdem sein altes Auto aber mit einem kleinen Einbaugerät ausgestattet wurde, das Signale von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen empfangen kann, machen ihm die vielen Fahrten deutlich mehr Spaß. Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sind immer mehr in der Stadt unterwegs und eröffnen Möglichkeiten für lokale kooperative Fahrmanöver. In den verschiedensten Verkehrssituationen wird dabei Finns Fahrverhalten mit dem anderer automatisierter und vernetzter Fahrzeuge optimal abgestimmt. Streckensperrungen oder -blockaden sind kein Problem mehr, seitdem Verkehrsleitdienste solche Störungen berücksichtigen und rechtzeitig Empfehlungen für Ausweichrouten geben.



3.1.2 Kooperationsmanöver beim Linksabbiegen
(Quelle: eigene Darstellung)

Wenn Finn an einer Ampel auf dem Linksabbiegerfahrstreifen steht, geben die entgegenkommenden „Neuen“ Finn oftmals die Vorfahrt und zeigen dies durch fokussierte Lichtsignale an. Für die Fahrgäste in den automatisierten Fahrzeugen entsteht dadurch kein Nachteil, denn ihr Fahrzeug „weiß“, dass es trotz leichter Tempodrosselung immer noch bei Grün über die Ampel kommt und bei schnellerer Fahrt ohnehin an der nächsten roten Ampel abbremsen müsste.

Angesichts solcher Vorteile ist Finn gerne bereit, die „Neuen“ seinerseits zu respektieren, auch wenn diese für ihn vielleicht einmal etwas zu korrekt fahren. Besonders angenehm findet er, dass die „Neuen“ sich unauffällig einfügen. Durch eine klar gestaltete Interaktion nach immer gleichen Prinzipien – sei es mit Anzeigen, Lichtsignalen oder einem eindeutigen Verhalten – versteht er immer, was die Fahrzeuge vorhaben oder ihm vorschlagen. Die Fahrt durch die Stadt gestaltet sich viel entspannter, seitdem das Miteinander durch Funktionen des kooperativen Fahrens gestärkt wurde.



3.1.3 Kooperatives Einfädeln auf der Autobahn
(Quelle: eigene Darstellung)

Viel angenehmer ist auch das Fahren auf der Stadtautobahn geworden. Bei dichtem Verkehr war das Auffahren früher stets eine Stresssituation und verursachte oft stockenden Verkehr, weil andere Autofahrerinnen und -fahrer abbremsen mussten, um Finn reinzulassen. Durch die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander ist ein effizientes kooperatives Einfädeln bei hoher Geschwindigkeit möglich. Finn weiß durch die Anzeige seines Hintermanns jederzeit, welches Fahrmanöver gerade vereinbart ist und umgesetzt wird. Er kann sich auf eine reibungslose Funktionsweise verlassen, und auch die anderen Fahrzeuge profitieren von einem fließenden Verkehr.



3.2 Ländlicher Mobilitäts-Hub



3.2.1 Bessere Anbindung des ländlichen Raums durch attraktive Mobilitätsangebote (Quelle: eigene Darstellung)

Frauke lebt mit ihrer Familie außerhalb einer kleinen Ortschaft im Norden Deutschlands. Ihr Mann bewirtschaftet einen Bauernhof, sie arbeitet als Kindergärtnerin in der fünfzig Kilometer entfernten Landeshauptstadt. Aufgrund der Einzellage des Hofes war Frauke früher auf das Auto angewiesen. Wenn ihr Mann tagsüber den Wagen benötigte, musste er Frauke morgens zum weit entfernt liegenden Bahnhof bringen und konnte erst dann über das Fahrzeug verfügen. Weil Frauke auf dem Weg in die Landeshauptstadt auch noch umsteigen musste und nur wenige Züge auf der Strecke eingesetzt wurden, musste sie in diesen Fällen teilweise sehr lange Reisezeiten zwischen Wohnort und ihrer Arbeitsstätte in Kauf nehmen.

Deutlich besser wurde die Situation, als eine zwischenzeitlich stillgelegte Gleisstrecke wieder reaktiviert und speziell für automatisierte Züge genutzt wurde. Seitdem wird auch die Haltestelle im Nachbardorf wieder bedient. Durch den signifikanten Ausbau der Mobilitätsangebote auf der „letzten Meile“ ist die Fahrt mit dem Zug inzwischen auch auf dem Land zu einer echten Alternative geworden. Überall gibt es nun Leihfahrräder und E-Scooter, die eine schnelle Anbindung an den reaktivierten Bahnhof ermöglichen.



3.2.2 Autonomer Bürgerbus (Quelle: eigene Darstellung)

Außerdem hat der Landkreis einen autonom fahrenden Bürgerbus eingerichtet, der allen Einwohnerinnen und Einwohnern als Shuttle zur Verfügung steht. Die Auslastung ist inzwischen so weit gestiegen, dass sich die kleine Flotte für den Betreiber wirtschaftlich rechnet. Sogar ein E-Carsharing, bei dem die Anwohnerinnen und Anwohner stunden- oder tageweise ein Fahrzeug leihen können, gibt es nun. Die attraktiven Angebote haben das Mobilitätsverhalten der Menschen auch im ländlichen Bereich bereits verändert. Manche verzichten inzwischen auf ein eigenes Fahrzeug. Auch Frauke schätzt die Vorzüge der verkehrsträgerübergreifenden Reisekette, statt morgens am Rande der Großstadt im Stau zu stehen. Und wenn sie abends nach Hause kommt, genießt sie es, dass sich das ehemals leerstehende Bahnhofsgebäude zur „neuen Ortsmitte“ entwickelt hat, mit einem Laden, einem Café und einem kleinen Gesundheitszentrum.

3.3 Automatisierter und vernetzter Güterfernverkehr



3.3.1 Platooning im automatisierten und vernetzten Güterfernverkehr (Quelle: eigene Darstellung)

Manuel ist Geschäftsführer eines mittelständischen Transportdienstleisters mit Sitz in Aachen. Er hat den Betrieb von seinem Vater übernommen und frühzeitig in eine hochautomatisierte Güterverkehrsflotte investiert. Seine Fernverkehrsflotte ist mit der neusten herstellerübergreifenden Platooning-Technologie ausgestattet. Das bedeutet, die Lkw können die Transportstrecke auf der Autobahn in hochautomatisierten Konvois bewältigen. Die Fahrerin oder der Fahrer an der Spitze übernimmt in diesem Fall die Steuerung – alle anderen können die Hände vom Steuer nehmen und sich anderen Tätigkeiten widmen. Fahrzeugtyp und -hersteller spielen dabei keine Rolle. Die Bildung eines sogenannten Platoons geschieht fast von selbst über einen Plattformdienst. Die Führung des Gespanns ändert sich regelmäßig, sodass jeder davon profitiert. Hat ein Lkw die für ihn relevante Autobahnausfahrt erreicht, verlässt er den Konvoi und bringt seine Ladung zu einem der Logistik-Hubs am Stadtrand.

Durch den hochautomatisierten Güterverkehr kann Manuel die variablen Kosten deutlich senken und umweltfreundlicher transportieren. Die elektronische Kopplung ermöglicht einen geringeren Sicherheitsabstand, wodurch sich der Windwiderstand reduziert. Dadurch spart Manuel Kraftstoff und vermindert den



3.3.2 Neue Berufsbilder im automatisierten und vernetzten Güterfernverkehr (Quelle: eigene Darstellung)

Ausstoß von CO₂. Bei der Maut wird dies durch eine Reduzierung der Gebühren belohnt. Manuel kann auf diese Weise seinen Kunden günstigere Preise anbieten. Die Technologie entspricht zudem den neuesten Umweltstandards.

Zusätzlich können seine Fahrerinnen und Fahrer während des Platooning Dispositions- und Verwaltungsaufgaben erledigen. Das spart erhebliche Personalkosten. Positiv wirkt sich dies auch auf den Arbeitsmarkt der Berufskraftfahrerinnen und -fahrer aus. Die zusätzlichen, anspruchsvollen Aufgaben haben den Beruf wieder attraktiv gemacht. Nicht nur die Vergütung ist entsprechend gestiegen, auch das Image des Konvoi-Piloten als fahrendem Disponenten sorgt für hohe Ausbildungszahlen. Personal-mangel ist für Manuel ebenso wie die gestiegene Güternachfrage im Stückgutverkehr kein Problem mehr.



3.4 Sektorenkopplung



3.4.1 Intelligentes Verkehrs- und Energienetzmanagement
(Quelle: eigene Darstellung)

Im Zuge des Wandels der Mobilität haben sich Fahrzeuge mit alternativen Antrieben auf Basis regenerativer Energien und synthetischer Kraftstoffe immer stärker durchgesetzt. Neben den positiven Effekten für Klima- und Umweltschutz ergaben sich dabei auch Vorteile für das Zusammenwachsen von Mobilitäts- und Energiesektor. Als mit dem Ausbau der Elektromobilität den Fahrzeugbatterien und Wasserstoffspeichern eine immer wichtigere Rolle im Energienetz zukam, hat sich die Stadtverwaltung entschieden, die früheren Bereiche Verkehrssteuerung und Energieversorgungscoordination zusammenzuführen. Dabei setzt die Kommune konsequent auf offene Standards und Schnittstellen, um eine problemlose Zusammenarbeit und Vernetzung mit anderen Diensteanbietern wie beispielsweise den eigenständigen Koordinierungsstellen autonomer und elektrischer Fahrzeugflotten zu ermöglichen.



3.4.2 Sektorenkopplung von Energie und Verkehr – Fahrzeuge als mobiler Stromspeicher (Quelle: eigene Darstellung)

Moritz ist Flottenmanager bei einem Mobilitätsdienstleister, der elektrisch betriebene Fahrzeuge für Carsharing sowie ÖV-Shuttles zur Verfügung stellt. Seine Firma profitiert von dem neuen, integrativen Ansatz der Stadtverwaltung. Durch ein intelligentes Dispositions- und Routenmanagement können die Flottenfahrzeuge den Kunden jederzeit möglichst kostengünstig zur Verfügung gestellt werden. Als Flottenbetreiber kann Moritz' Firma dabei ungleich wirtschaftlicher als Besitzerinnen und Besitzer von Privatfahrzeugen agieren. Die Bedarfe einer großen Anzahl von Kunden lassen sich in der Gesamtheit besser prognostizieren, als individuelle Nutzerinnen oder Nutzer dies vermögen. Damit einher geht, dass der Flottenbetrieb auch die Ladezeiten optimaler kalkulieren kann, als dies für Endverbraucher in den meisten Fällen praktikabel ist.



3.4.3 Fahrzeuge als mobile Energiespeicher für das Smart Home (Quelle: eigene Darstellung)

Weil Moritz' Flotte die Stromüberschüsse an Tagen abfängt, an denen der Wind stärker weht als sonst, und er seine Fahrzeuge als mobile Stromspeicher einsetzt, kann er die Fahrzeuge besonders günstig laden. Die geladenen Fahrzeuge kann er dann, wenn die Netzauslastung sehr hoch ist, trotzdem zu angemessenen Preisen vermieten. Nicht vermietete Fahrzeuge speisen in Lastspitzen die überschüssige Energie dann wieder in das Stromnetz ein, wodurch sich zusätzliche Einnahmen erzielen lassen. Durch das integrierte Management unterstützen die elektrischen Flotten so eine effiziente Auslastung des Energienetzes. Für Moritz hat die Sektorenkopplung auch ganz persönliche Vorteile: Zu Hause koppelt er sein eigenes Elektrofahrzeug an sein Smart Home. Dadurch kann er die über seine Photovoltaikanlage erzeugte Energie für sein Fahrzeug nutzen. Gleichzeitig dient sein Fahrzeug als lokaler Stromspeicher für sein Zuhause. Seine Energiekosten haben sich seither deutlich reduziert.



3.5 Verkehrsträgerübergreifend unterwegs



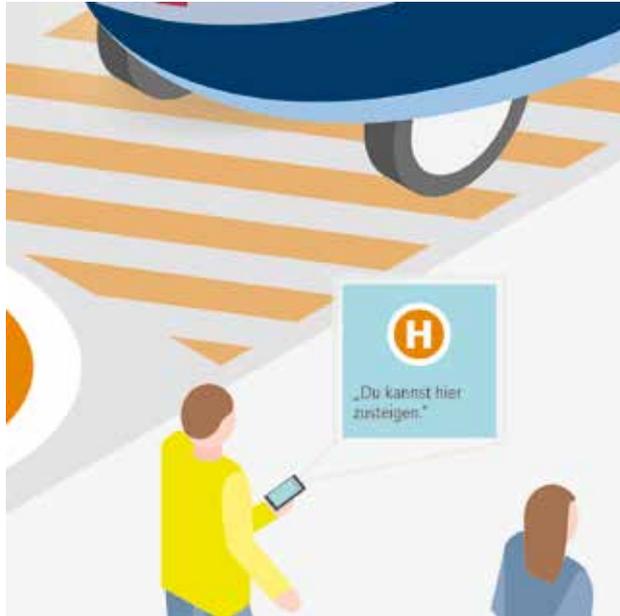
3.5.1 Routeninformation für intermodales Reisen und Ticket-erwerb aus einer Hand (Quelle: eigene Darstellung)

Michelle ist mittlerweile schon seit dreißig Jahren im Außendienst unterwegs – an fünf Werktagen, quer durch die Republik. Früher verbrachte Michelle dabei die meiste Zeit auf der Autobahn. Der Weg vom Bahnhof oder vom Flughafen zu den Kunden in den Industriegebieten am Stadtrand wäre für Michelle einfach zu aufwendig gewesen. Dies hat sich schlagartig geändert, als die neuen Plattformdienste entstanden: Informationen über verschiedene Reiserouten und Verkehrsmittel, Reisezeiten und -kosten sowie Ticketerwerb aus einer Hand und auf Knopfdruck. Hatte Michelle früher noch von ihrem Arbeitgeber einen Firmenwagen mit Tankkarte zur Verfügung gestellt bekommen, verfügt sie nun über ein Mobilitätsbudget, das sie für alle Verkehrsträger einsetzen kann. Das macht sie deutlich flexibler, und sie hat mehr Zeit für ihre Kunden. Da sie nur noch wenig selbst fahren muss, kann sie unterwegs andere Aufgaben erledigen.



3.5.2 Flexible On-Demand-Shuttles halten an virtuellen Haltestellen (Quelle: eigene Darstellung)

Zur gleichen Zeit haben die Kommunen ihre ÖPNV-Angebote weiterentwickelt und durch flexible Shuttles ergänzt, die mehrere Fahrgäste zugleich aufnehmen und auf einer den individuellen Wünschen angepassten Route befördern. Mehr Taxi als Bus, bieten diese Shuttles somit eine Alternative zum eigenen Auto – bei ÖPNV-ähnlichen Preisen. Die Shuttles sind rund um die Uhr im Einsatz und halten an virtuellen Haltestellen überall dort im Einsatzgebiet, wo eine Person eine Beförderung per App nachfragt. Die Shuttles stimmen ihre Routen flexibel mit der aktuellen Verkehrslage und -prognose ab. Den nachfolgenden Fahrzeugen wird das Haltemanöver vorzeitig angekündigt, sodass diese rechtzeitig das Hindernis umfahren können und nicht zum Stehenbleiben gezwungen werden. Die Shuttles bringen Fahrgäste auf Wunsch auch zum nächsten ÖPNV-Knotenpunkt, von wo aus sie ihre Fahrt mit Bus oder Bahn fortsetzen können. Dadurch reduziert sich die Verkehrsbelastung der Innenstädte.



3.5.3 Orientierungshilfe für Verkehrsteilnehmende
(Quelle: eigene Darstellung)

Selbst wenn Michelle sich an einem dunklen Winternachmittag von ihrem Kundentermin auf den Heimweg macht, fühlt sie sich im fahrerlosen Shuttle sicher aufgehoben: Alle Mitfahrerinnen und Mitfahrer werden in den Mobilitätszentralen der Anbieter angemeldet, eine Remote-Assistenz ist für die Fahrgäste jederzeit auf Zuruf verfügbar. Diese Maßnahmen tragen zum hohen Vertrauen in das Verkehrsmittel bei. Die Remote-Assistenz ist nicht nur für Wünsche der Fahrgäste zuständig, sondern greift auch immer dann ein, wenn die automatisierten Fahrzeuge in Situationen geraten, die sie allein nicht bewältigen können.

Zum Ausbau der ÖPNV-Angebote gehört auch die teilweise Automatisierung von Straßenbahn- und U-Bahnlinien. Dadurch können ÖPNV-Betreiber flexibler auf Engpässe reagieren. Zu Stoßzeiten können jetzt automatisierte Zusatzfahrzeuge eingesetzt werden, ohne dass fehlende Fahrzeugführerinnen und -führer ein Hindernis sind.



3.6 Flächennutzung und Parkraummanagement



3.6.1 Vorher: Unproduktive Flächennutzung
(Quelle: eigene Darstellung)



3.6.2 Nachher: Verkehrsreduzierung durch Sharing-Flotten und
menschengerechte Flächennutzung
(Quelle: eigene Darstellung)

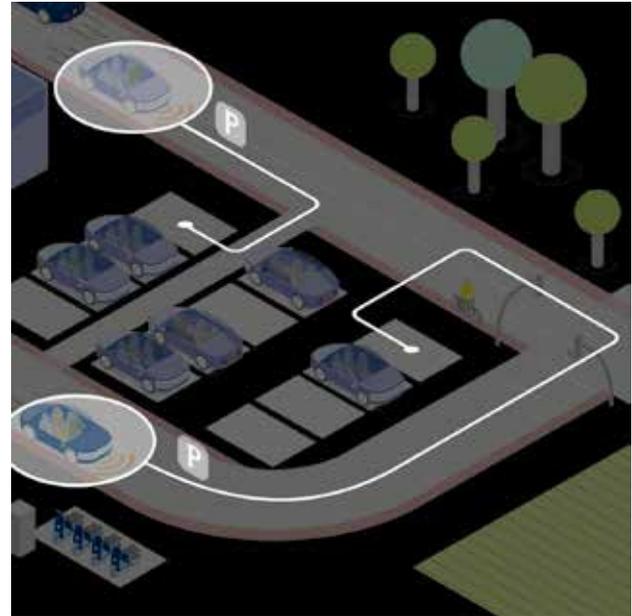
Christian wohnt schon seit Langem in der südlichen Innenstadt einer nordrhein-westfälischen Großstadt. Das Quartier ist geprägt von Altbauten der 1920er Jahre, die zumeist als Wohnhäuser dienen. Zahlreiche Restaurants und kleinere Ladengeschäfte verteilen sich über das gesamte Quartier. Anwohnerinnen und Anwohner sowie Gewerbetreibende unterstützten die Wahl des Viertels als Pilotquartier für automatisierte Mobilität. Der

Parkraum wurde größtenteils in Tiefgaragen verlegt, an der Oberfläche konnten zwischen den Wohnhäusern Grünflächen für die Bewohnerinnen und Bewohner angelegt werden. Genutzt werden dürfen die Garagen von automatisierten Fahrzeugen, darunter die Fahrzeuge einer Carsharing-Flotte, die von den Bewohnerinnen und Bewohnern des Quartiers nachgefragt wird. Ein- oder ausgestiegen wird vor der Garage, deshalb



3.6.3 Valet-Parking und produktivere Flächennutzung
(Quelle: eigene Darstellung)

können die automatisierten Fahrzeuge in der Garage besonders eng und platzsparend untergebracht werden. Mit einer Smartphone-App bestellt Christian sein Auto direkt vor die Haustür und genießt somit den vollen Komfort des geteilten, automatisierten Individualverkehrs, ohne Freiraum in der eng bebauten Stadt als Parkplatz zu verbrauchen. Die Straßen sind seitdem weitgehend frei von parkenden Autos. Einige der Straßen konnten sogar in Spiel- und Erholungsräume umgewidmet werden.



3.6.4 Intelligentes Parkraummanagement
(Quelle: eigene Darstellung)

Die im Quartier noch vorhandenen Straßenparkplätze werden über ein intelligentes räumliches und zeitliches Parkraummanagement bewirtschaftet. Die Kosten für das Parken variieren dabei je nach Tageszeit und Nachfrage. Über Navigationssysteme oder Mobiltelefone werden die Autofahrerinnen und Autofahrer schon vor Fahrtantritt über Verfügbarkeit und Preise für Parkraum in ihrem Wunschgebiet informiert und zu einem für sie idealen Parkplatz geleitet. So sparen sie Zeit bei der Parkplatzsuche, und die Stadt profitiert von den besseren Steuerungsmöglichkeiten sowie den Parkgebühren.

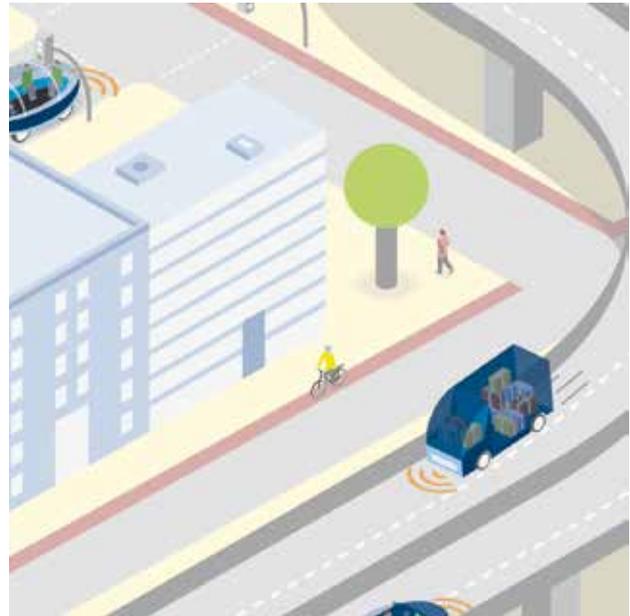


3.7 Gebündelte Paketzulieferung



3.7.1 Paketzulieferung I: Logistik-Hubs außerhalb der Städte
(Quelle: eigene Darstellung)

Josef ist Paketbote in einem urbanen Ballungsraum aus mehreren großen Städten im Westen Deutschlands. Früher wurde das Durchfahren des städtischen Raums erschwert, da Lkw in zweiter Reihe hielten, um ihre Waren auszuliefern. Josef brauchte viel Zeit auf seinen Ausliefertouren und war dabei selbst Teil des Problems. Heute ist das anders: Sein Arbeitstag beginnt direkt vor seiner Haustür. Pünktlich auf die Minute fährt sein elektrischer Lieferwagen vor. Bereits nachts ist das Fahrzeug bei einem der Logistik-Hubs vor den Toren der Stadt mit den Sendungen des



3.7.2 Paketzulieferung II: Gebündelte Auslieferung
(Quelle: eigene Darstellung)

Tags beladen worden und morgens autonom in die Stadt gefahren. Die Anwohnerinnen und Anwohner haben sich in ihrem Zustellbezirk auf einen Anbieter geeinigt, der als Zusteller auf der „letzten Meile“ sämtliche Warenlieferungen in Privathaushalte tätigt. So wird vermieden, dass eine Vielzahl von Lieferfahrzeugen mit jeweils wenigen Paketen im Quartier unterwegs ist. Josefs Arbeit hat sich stark gewandelt. Sein Bezirk ist deutlich kleiner geworden, da er jetzt als alleiniger Zusteller hier verantwortlich ist. Er hat Spaß am Kundenkontakt, und dafür ist



3.7.3 Paketzulieferung III: Ein Anbieter als Zusteller auf der letzten Meile (Quelle: eigene Darstellung)

nun auch mehr Zeit. Da die Anwohnergemeinschaft die Verträge ändern und einen anderen Paketdienst mit den Zustellungen beauftragen könnte, ist ihm guter Service besonders wichtig. Viele Anwohnerinnen und Anwohner stellen Josef Zeitfenster zur Verfügung, in denen er die Auslieferungen vornehmen soll. Seine Tour wird ständig neu berechnet und optimiert. Die Zustellung gelingt so meistens schon beim ersten Anlauf, und da die Arbeit in der Branche deutlich effizienter wurde, sind auch die Gehälter gestiegen. Josefs Kolleginnen und Kollegen, die im Stadtzentrum unterwegs sind, fahren mit Lastenfahrrädern, die in Micro-Hubs stets neu beladen werden. Seit Kurzem kommen im innerstädtischen Lieferverkehr auch kleine automatisierte Züge zum Einsatz, deren Waggons sich ihren Weg zum Kunden eigenständig bahnen. Dadurch konnte der innerstädtische Logistikverkehr deutlich reduziert werden.



3.8 Intelligente Verkehrssteuerung und prognosebasiertes Routing

Maike wohnt in einem kleinen Ort in einer ländlichen Gegend im Südosten des Landes. Etwa 35 Fahrminuten benötigt sie in die nächstgelegene Kreisstadt zu ihrer Arbeitsstelle. Früher hat sie für diesen Weg länger gebraucht, obwohl sie heute noch Kolleginnen und Kollegen aus dem Nachbarort mitnimmt. Der Weg führt sie über Landstraßen, zwei Bundesstraßen und die

Autobahn. Maike steuert ihr Auto gerne selbst, schätzt aber die Vorzüge des automatisierten Fahrens gerade zu Stoßzeiten oder im Berufsverkehr. Denn dann zahlt sich aus, dass beim automatisierten Fahren nicht mehr „auf Sicht“ gefahren wird, sondern dass sich das Fahrzeug im ständigen Austausch mit seinem Umfeld befindet. Maike spart auf diese Weise wertvolle Zeit.



3.8.1 Dynamische Streckenführung durch prognosebasiertes Routing (Quelle: eigene Darstellung)

Heute beispielsweise profitierte Maike schon bei Antritt ihrer Fahrt: Aufgrund der Informationsübertragung in Echtzeit aus übergeordneten Leitstellen konnte sie einer größeren Verkehrsbeeinträchtigung durch ein Fußballspiel im städtischen Stadion aus dem Weg gehen. Verkehrsteilnehmende, die nicht zum Fußballspiel möchten, werden durch prognosebasiertes Routing schon im Vorfeld auf andere Strecken umgeleitet.



3.8.2 Intelligente Ampelschaltung ermöglicht zügiges Vorankommen (Quelle: eigene Darstellung)

Aber auch dann, wenn keine größeren Vorkommnisse stattfinden, wählen die vernetzten Fahrzeuge optimierte Routen aus – selbstständig mit Blick auf die Reisezeit und die aktuelle Auslastung des Verkehrsraums. Durch die prognosebasierte Steuerung sowie die intelligente Vernetzung der Ampeln miteinander werden auf den Ausweichrouten nun viel häufiger Grüne-Welle-Phasen geschaltet, was die Fahrt deutlich schneller macht.

Für Maïke ist es eine Selbstverständlichkeit, dass auch sie ihre persönlichen Mobilitätsdaten den kommunalen Verkehrsleitstellen und ausgewählten Serviceanbietern zur Verfügung stellt, damit die Verkehrsströme in der Stadt besser gesteuert werden können. Sie entscheidet dabei selbst, welche Daten das sind und wofür diese verwendet werden dürfen.



3.8.3 Optimierung der Verkehrssteuerung durch Weitergabe mobilitätsbezogener Daten (Quelle: eigene Darstellung)

In ihrem Fahrzeug und auf ihrem Smartphone sind die Einstellungen der Datenweitergabe mit wenigen Klicks veränderbar. So unterbricht Maïke die Datenübermittlung zum Beispiel bei Fahrten zu Ärzten, um ihre Privatsphäre zu schützen. Maïke schätzt es sehr, Herrin über ihre eigenen Daten zu sein und diese bewusst freigeben zu können. Nach vielen anfänglichen Vorbehalten, die sie gegen das automatisierte und vernetzte Fahren hatte, vertraut sie den neuen Systemen inzwischen. Besonders zertifizierten Datenplattformen stellt Maïke regelmäßig Informationen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Hier gibt es eine Infrastruktur, auf die autorisierte Akteure Zugriff haben, um große, anonymisierte Datenmengen für die Aktualisierung, Optimierung und Weiterentwicklung von Mobilitätskonzepten und -angeboten nutzen zu können.



3.9 Sicherheit und neue Interaktionsmöglichkeiten



3.9.1 Verteilte Umfelderkennung und Vernetzung schafft zusätzliche Sicherheit und vermeidet vorausschauend Notfallsituationen (Quelle: eigene Darstellung)

Das Gehen fällt Oliver nicht immer leicht, und er stützt sich daher häufig auf einen Gehstock. Nach einem Besuch im Theater kommt er auf der Treppe am Ausgang ins Straucheln und stürzt auf die Straße. Weil die Sicht durch ein anderes Fahrzeug verdeckt ist, können ihn die Sensoren des auf seiner Seite herannahenden Autos nicht rechtzeitig wahrnehmen. Zum Glück sind

inzwischen viele Fahrzeuge mit vernetzten Sicherheitssystemen ausgestattet und warnen sich bei erkannten Gefahren gegenseitig. Als Oliver nach seinem Sturz aufschaut, bemerkt er zu seiner Überraschung, dass alle Fahrzeuge auf der Straße bereits ohne Reifenquietschen zum Stillstand gekommen sind. Ein Fahrer ist bereits ausgestiegen, um ihm Hilfe anzubieten. Die Sensoren eines Fahrzeugs auf der anderen Straßenseite haben Olivers Stolpern detektiert und alle anderen Fahrzeuge in der Nähe gewarnt, sodass diese vorausschauend agieren konnten und eine abrupte Notbremsung gar nicht notwendig wurde.

Von dieser Verteilung der Sicherheitsfunktion erfährt Oliver bei der neu eingerichteten Untersuchungsstelle zur technischen Auswertung von Unfällen mit autonom fahrenden Fahrzeugen, die er aus Neugierde aufsucht. Bei selten auftretenden tatsächlichen Unfällen werden in dieser Untersuchungsstelle die internen Protokolle der Fahrzeuge ausgelesen, um zukünftige Unfälle zu vermeiden. Betroffene können diese Daten decodieren lassen und sich so auch als Laien ein genaues Bild davon verschaffen, warum es zu einem Unfallgeschehen gekommen ist. Dieses Prüfverfahren schafft die Transparenz, die für die Akzeptanz der Technologie und für Rechtssicherheit erforderlich ist. Jedes Einzelereignis trägt somit unmittelbar zur Verkehrssicherheit bei, da das neue Unfallszenario detailliert ausgewertet wird und in Steuerungs-Updates berücksichtigt werden kann.

Olivers anfängliches Misstrauen gegenüber der Sicherheit der automatisierten Fahrzeuge hat sich durch seine zunehmend positiven Erfahrungen nahezu aufgelöst. Er fühlt sich im Straßenverkehr inzwischen sicherer als vorher.



3.9.2 Technologische Ausstattung ermöglicht neue Interaktionsformen und Kooperationsmöglichkeiten (Quelle: eigene Darstellung)

Ganz begeistert ist Oliver auch von einer weiteren neuen Fahrzeugtechnologie, die ihm immer häufiger begegnet: Er muss auf dem Weg zur Arbeit eine mittelmäßig stark befahrene Straße ohne gesicherten Überweg queren. Aufgrund seiner Einschränkung fühlte er sich früher dabei sehr unsicher. Seitdem aber die neuen virtuellen Zebrastreifen verfügbar sind, ist das Überqueren der Straße für Oliver wesentlich einfacher geworden. Er benutzt dafür einen besonderen Gehstock mit eingebautem Sender. Die sich nähernden Fahrzeuge empfangen seinen Wunsch, die Straße zu queren. An Signalen, die die Fahrzeuge aussenden, kann Oliver erkennen, dass ein Haltemanöver eingeleitet wird und er losgehen kann. Er kann sich darauf verlassen, dass die Fahrzeuge untereinander so vernetzt sind, dass alle Fahrzeuge anhalten werden und ihn über die Straße lassen.



3.10 Rundumversorgung mit Sharing-Angeboten



3.10.1 Integriertes Mobilitätskonzept für belastete Tourismusdestinationen (Quelle: eigene Darstellung)

Die niedergelassene Landärztin Stefanie ist an zwei Tagen in der Woche auf einer Ostseeinsel und auf dem angrenzenden Festland unterwegs zu Hausbesuchen. Früher wären diese Hausbesuche kaum möglich gewesen, da gerade während der Ferienmonate und zu Stoßzeiten der Verkehr auf der Insel ins Stocken geriet. Die Situation hat sich sehr verändert, seit die Inselkommunen neue, integrierte Verkehrskonzepte erprobt haben. Für den Anfang wurden dabei die saisonal stark schwankenden Touristenströme ins Auge gefasst. Es wurde ein alternatives Mobilitätskonzept für die Insel entwickelt, das die Belastung durch den saisonal steigenden Personen- und Güterverkehr stark senkte, ohne dass die Besucherinnen und Besucher in der Bequemlichkeit der An- und Abreise Abstriche machen mussten. Auf einem ehemaligen Werftgelände auf dem Festland richteten die Inselkommunen einen Umsteigebahnhof und Parkplätze für mit eigenem Pkw anreisende Touristinnen und Touristen ein. Hier wird in die neuen Mobilitätsangebote der Insel umgestiegen. Der touristische Personenverkehr auf der Insel wird nur noch über E-Carsharing, ÖPNV-On-Demand-Shuttles sowie Leih-E-Roller und Mietfahrräder abgewickelt. Auch die Inselbevölkerung braucht keinen eigenen Pkw mehr, nachdem eine langfristige, bedarfsorientierte ÖPNV-Versorgung zu attraktiven

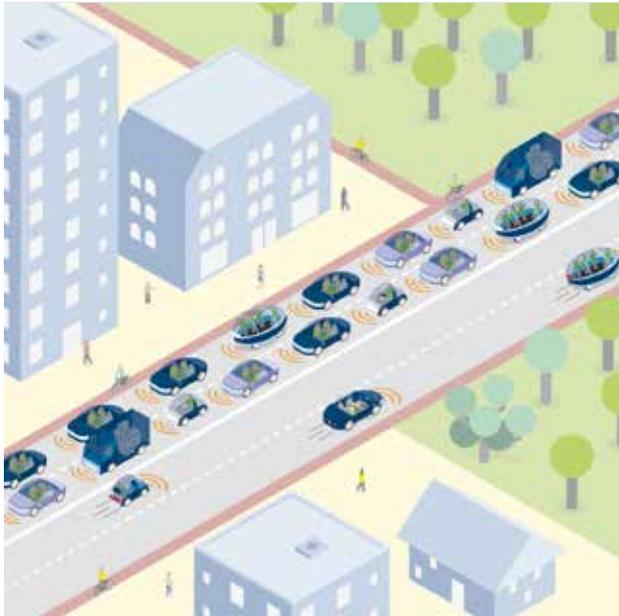


3.10.2 Vollautomatisiertes Gepäck-Shuttle (Quelle: eigene Darstellung)

Konditionen verbindlich zugesichert werden konnte. Mit einem Mobilitätspass und der dazugehörigen App für alle zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel der Inselgemeinden können sie nunmehr Fahrräder, E-Scooter und Roller, Elektrofahrzeuge, ÖPNV-Shuttles sowie Busse und Schienenfahrzeuge einfach und nahtlos miteinander kombinieren.

Viele Hoteliers sowie Vermieterinnen und Vermieter von Ferienunterkünften hatten vor der Umsetzung des neuen Mobilitätskonzepts befürchtet, dass viele Reisende – zumal ältere Menschen oder Familien – auf den Komfort, das Reisegepäck im eigenen Pkw zu transportieren, nicht verzichten wollen. Diese Bedenken zerstreuten sich, als die Kommune zusätzlich spezielle automatisierte Shuttles für den Gepäcktransport von der und auf die Insel plante. Diese erwiesen sich für die Gäste als ebenbürtiger Ersatz für den eigenen Kofferraum. An den Tagen, an denen Stefanie Sprechstunden in ihrer Praxis abhält, schickt auch sie ein spezielles automatisiertes medizinisches Einsatz-Shuttle los. An den lokalen Mobilitätsanbieter angeschlossen, kann ihr Spezialfahrzeug Patientinnen und Patienten aus dem Umkreis in die Praxis befördern.

3.11 Dynamische Fahrspuraufteilung



3.11.1 Vorher: Verkehr ohne dynamische Fahrspurmarmarkierung
(Quelle: eigene Darstellung)



3.11.2 Nachher: Verkehr mit dynamischer Fahrspurmarmarkierung
(Quelle: eigene Darstellung)

Lea ist Handwerkerin und täglich mit ihrem Fahrzeug in der Stadt unterwegs. Durch Pendlerströme und Lieferverkehr wurde die städtische Infrastruktur früher tagsüber oft sehr unterschiedlich ausgelastet. Morgens und nachmittags waren insbesondere die Ausfallstraßen völlig überlastet. Lea verlor viel Zeit im stehenden Verkehr. Das änderte sich, als die Kommune begann, in einem Modellversuch die Fahrbahnmarkierungen vollständig zu digitalisieren. Dadurch wurden nicht nur Kosten für die Instandhaltung eingespart, sondern vor allem erreicht, dass der Verkehr dynamischer steuerbar ist und somit flüssiger läuft. So entstehen in der morgendlichen Rushhour zusätzliche

Fahrstreifen, indem die vorhandenen Spuren je nach Verkehrsaufkommen verengt oder anders aufgeteilt werden. Da sich der Verkehr zu Stoßzeiten ohnehin langsamer bewegt, lässt sich dies gut organisieren. Fahrstreifen mit freien Kapazitäten stadtauswärts können für stadteinwärts fließenden Verkehr einbezogen werden. So wurde eine für alle spürbare Verbesserung der Verkehrsqualität erzielt und trotz Zunahme des Verkehrsaufkommens der langfristig notwendige Ausbaubedarf reduziert. Lea steht deutlich weniger in Staus, und ihr Arbeitsalltag ist besser planbar geworden. Sie kann sich nun in der gleichen Zeit um mehr Kunden kümmern.



3.12 Ökonomische Verkehrssteuerung



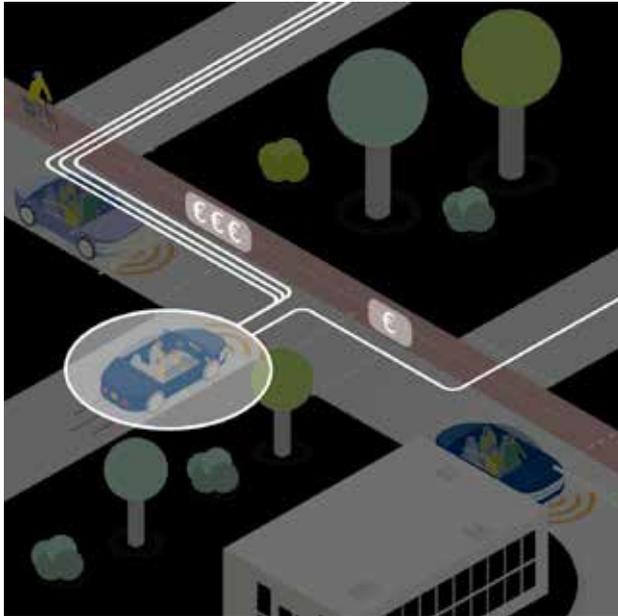
3.12.1 Vorher: Keine ökonomische Verkehrssteuerung
(Quelle: eigene Darstellung)

Als pendelnde Berufstätige profitiert Lea ganz persönlich vom neu eingeführten Mobility Pricing in ihrer Stadt: Seitdem Fahrzeuge auf den besonders überlasteten Strecken zu Stoßzeiten eine Befahrungsgebühr entrichten müssen, hat sich die Verkehrssituation völlig verändert. Die Preisfindung erfolgt dabei dynamisch und orientiert sich stets an der aktuellen Nachfrage nach Verkehrsraum. Das verschafft alternativen Verkehrsträgern, die Beförderung zu günstigeren Preisen anbieten können, in Stoßzeiten einen zusätzlichen Wettbewerbsvorteil. Gleichzeitig



3.12.2 Nachher: Verkehrssteuerung durch Mobility Pricing
(Quelle: eigene Darstellung)

werden Anreize geschaffen, starre Verhaltensmuster zu hinterfragen, ohne dabei die Stadt für Autos zeitweise oder komplett zu sperren. Viele Verkehrsteilnehmende haben ihr Mobilitätsverhalten angepasst, sind auf andere Wege oder andere Verkehrsmittel ausgewichen oder teilen sich Fahrzeuge. Auch Betriebe und Unternehmen haben zu einer Entspannung der Verkehrssituation beigetragen, indem sie Anwesenheitszeiten flexibel gestalten. Frühere permanente Stauzonen, etwa die Straße am Seeufer entlang, sind nun ganztägig flüssig befahrbar.



3.12.3 Dynamische Preisfindung (Quelle: eigene Darstellung)

Zwar gab es vor der Einführung große Vorbehalte gegen diese Maßnahme: Viele Bürgerinnen und Bürger lehnten die Gebühren für die Nutzung des Verkehrsraums als unsozial ab. Nach einem umfassenden Partizipationsprozess, der auch Simulationen und Erfahrungen aus anderen Städten einbezog, zeigten sich jedoch auch Möglichkeiten, Kriterien der sozialen Gerechtigkeit anzuwenden. Das überzeugte den Stadtrat letztendlich, den Pilotversuch zu beginnen. Nach der Testphase stimmten Bürgerinnen und Bürger aller sozialen Schichten mit großer Mehrheit für die Beibehaltung des Mobility Pricing.



4 Die Rolle der Kommunen beim automatisierten und vernetzten Fahren

Kommunen stehen als Garanten der Daseinsvorsorge vor der Herausforderung, für ihre Bürgerinnen und Bürger auch in Zukunft eine adäquate Mobilität sicherzustellen. Dabei gilt es, die Mobilität an den Erfordernissen des Klima- und Umweltschutzes auszurichten, den Flächenverbrauch durch den Verkehr angemessen zu begrenzen sowie Investitionen für Infrastrukturerhalt und -ausbau zu planen. In ländlichen Regionen ist es zudem wichtig, Herausforderungen zu bewältigen, die mit dem demografischen Wandel verbunden sind. Nur so können gute und gleichwertige Lebensverhältnisse in ganz Deutschland sichergestellt werden. Automatisiertes und vernetztes Fahren kann als Mittel zur Lösung dieser Aufgaben entwickelt und eingesetzt werden und liefert damit einen Beitrag zur „neuen autoMobilität“, dem automatisierten und vernetzten Mobilitätssystem der Zukunft. Möglich wird dies durch eine geeignete politische Steuerung und Finanzierung, ausgerichtet auf gemeinwohlorientierte Ziele. Darüber hinaus müssen Kommunen, unabhängig von ihrer Größe und Lage, dazu befähigt werden, in der Verkehrssteuerung eine integrierende Rolle einzunehmen. Dort, wo die entsprechenden Kompetenzen und Gestaltungsräume noch nicht vorhanden sind, sollten sie aufgebaut und gefördert werden. Mögliche Szenarien für eine automatisierte und vernetzte Mobilität der Zukunft gibt es viele. Sie unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich des Einflusses der wichtigsten Akteure: Szenarien können marktgetrieben, politikgetrieben oder zivilgesellschaftlich getrieben sein. Auch die Art und Weise, wie bauliche Infrastruktur und Versorgungswege gestaltet oder Belange des Umwelt- und Klimaschutzes berücksichtigt werden, sind Unterscheidungsmerkmale von Szenarien. Szenarien dieser Art reichen von der regenerativen über die hypermobile bis hin zur endlosen Stadt, wie man sie aus Ballungsräumen wie etwa dem Ruhrgebiet kennt.^{6,7,8,9} Nicht alle möglichen Szenarien sind mit dem in der vorliegenden STUDIE entworfenen Zielbild der automatisierten und vernetzten Mobilität vereinbar. Um die gewünschten Ziele zu erreichen, bedarf es einer starken politischen Rahmensetzung. Kommunen, zu Teilen auch den Bundesländern, fällt durch ihre originäre Aufgabe der

Daseinsvorsorge und Gemeinwohlorientierung eine Schlüsselrolle in der Entwicklung der neuen autoMobilität zu. Kommunen sind außerdem in der Lage, Bürgerinnen und Bürger in die an soziodemografischen Faktoren ausgerichtete Planung und Bereitstellung von mobilitätsbezogenen Dienstleistungen miteinzubeziehen.

Die Transformation zu einer wirklich bedarfsgerechten Mobilität, nicht nur für berufstätige Pendlerinnen und Pendler, sondern auch für Senioren, Kinder oder Menschen mit Einschränkungen, einschließlich ihrer Betreuungspersonen, bedeutet eine enorme soziale Innovation.

Datensouveränität (also die Verfügung über den Zugriff und die Nutzung mobilitätsbezogener Daten) ist ein Schlüsselfaktor, um automatisiertes und vernetztes Fahren als Mittel der Daseinsvorsorge und im Sinne des Gemeinwohls zu implementieren. Kommunen sollten in der Lage sein, Daten und Informationen an geeigneter Stelle in die Planungsprozesse zu integrieren, um einerseits ein kommunales Mobilitätsmanagement aufzusetzen, andererseits aber auch über noch zu entwickelnde Leistungskennzahlen das Verkehrssystem zu bewerten. Unerwünschte Nebeneffekte wie Rebound-Effekte werden durch Datenanalysen sichtbar, das System lässt sich gezielt weiterentwickeln und verbessern. Dazu bedarf es einer breiten Wissens- und Datenbasis über alle Verkehrsträger hinweg, auch über den nichtmotorisierten Verkehr, der informationstechnisch noch wenig erfasst und integriert wird. Daten und Informationen sind die Basis für eine integrierte Stadt-, Mobilitäts- und Verkehrsplanung, für definierte Rahmenbedingungen einer intelligenten Verkehrssteuerung, für abgestimmte digitale Services und damit insgesamt für eine gute Mobilitätsversorgung der Bürgerinnen und Bürger. Daten sind das Rückgrat für automatisierte und vernetzte Konzepte kommunaler Mobilität. Dies gilt nicht nur für das Management von ÖPNV und Car- beziehungsweise Ridesharing-Flotten, sondern auch für die nutzergerechte Vernetzung mit umweltfreundlicheren und stadtgerechteren Verkehrsmitteln wie nichtmotorisierten Verkehrsträgern (Fußgängerinnen und -gänger sowie öffentliche oder private Fahrräder) und öffentlichen Verkehrsmitteln (Bahn, Trambahn, Bus und Taxi). Stärker vernetzt und mithilfe digitaler Services ideal aufeinander abgestimmt, können sie zu einer bedarfsorientierten Mobilitätsversorgung beitragen. Statt einer modalen Trennung (privater versus öffentlicher Verkehr) führt dies in der Konsequenz zu einer eher funktionalen Trennung, in der beispielsweise die Nutzung eines eigenen Autos dann sinnvoll sein kann, wenn es am wenigsten externe Kosten verursacht oder am schwierigsten ersetzt werden kann.

6 | Vgl. raumtaktik – office from a better future 2011.

7 | Vgl. Heß/Polst 2017.

8 | Vgl. Landeshauptstadt München 2018.

9 | Vgl. Henzelmann et al. 2017.

Um all dies zu erreichen, bedarf es einer konzertierten Aktion, die den öffentlichen Verwaltungen das Know-how und die Instrumente an die Hand gibt, die Potenziale und Chancen der Transformation des Mobilitäts- und Verkehrssystems zu nutzen und die damit verbundenen Herausforderungen innovativ zu meistern.^{10, 11, 12, 13, 14}

4.1 Daseinsvorsorge und Gemeinwohlverpflichtung

Kommunen haben den Auftrag, im Sinne des Gemeinwohls zu handeln. Gleichbedeutend werden auch die Begriffe „öffentliches Interesse“ oder „Wohl der Allgemeinheit“ verwendet. Was Verkehrsinfrastruktur und Mobilitätsangebote betrifft, stehen Kommunen darüber hinaus in der Pflicht, Versorgung zu gewährleisten. Mobilität ist ein wesentlicher Bestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge. Für kommunale Mobilitätskonzepte und automatisiertes und vernetztes Fahren in den Kommunen bedeutet dies:

- dauerhaftes Verfügbarmachen von Mobilitätsoptionen zur Sicherung der Daseinsvorsorge und der sozialen Teilhabe
- insbesondere in bisher unterversorgten Regionen gleichwertige Lebensverhältnisse im Hinblick auf Mobilität herbeiführen
- Verminderung des Verkehrsaufwands und von überlastungsbedingten Zeitverlusten
- Gewährleistung von Verkehrssicherheit und Abwehr von Gefahren durch Verkehr oder im Verkehr
- Verminderung von verkehrsbezogenen Emissionen und Förderung der öffentlichen Gesundheit sowie Verminderung des Flächenverbrauchs durch fahrenden und ruhenden Verkehr
- verantwortungsvoller Umgang mit Daten im Sinne der Verbraucherinnen und Verbraucher beziehungsweise Bürgerinnen und Bürger
- Werterhalt der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur

Diese generelle Gemeinwohlorientierung lässt sich in konkrete Ziele überführen. Für kommunale Mobilitätskonzepte der Zukunft, also auch für die Einführung und Umsetzung des automatisierten und vernetzten Fahrens, gelten international und national festgelegte Ziele und Abkommen. Dazu zählen etwa die Sustainable Development Goals oder die Ziele des Klima- und Ressourcenschutzes (Pariser Abkommen zum Klimaschutz, Klimaschutzplan 2050, das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm).¹⁵

Die Umsetzung dieser Ziele ist mit der Forderung nach einer Verkehrswende verbunden sowie mit dem Ziel, wachsenden Wohlstand und steigende Einwohnerzahlen von individuell gefahrenen Pkw-Kilometern zu entkoppeln.¹⁶ Neben verkehrssparsamen Raumstrukturen („Stadt der kurzen Wege“) bieten hier Digitalisierung, Vernetzung und Sharing große Chancen. Bereits heute existieren Lösungen und Routinen, um Verkehr zu vermeiden, auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel zu verlagern oder verträglicher zu gestalten. Die Entwicklung von automatisierten und vernetzten Verkehrssystemen sollte auf diesen Lösungen und Routinen aufbauen. Zentral ist hier der Ausbau von Multi- und Intermodalität im Personen- und Wirtschaftsverkehr, das heißt die gezielte Inanspruchnahme verschiedener und vor allem umweltfreundlicher Verkehrsträger. Digitalisierung und Automatisierung bieten Chancen, bestehende Nutzungshürden abzubauen und Services anzubieten, die es Nutzerinnen und Nutzern erleichtern, umwelt- und stadtfreundlichere Verkehrsmittel in ihre Reise einzubauen. Dazu gehören Tür-zu-Tür-Informationen zu intermodalen Reiseketten, individuelle Routenempfehlungen sowie vereinheitlichte Preismodelle und Bezahlssysteme im öffentlichen oder halböffentlichen Nah- und Fernverkehr.

Die Gemeinwohlorientierung und die Verpflichtung zur Daseinsvorsorge stehen nicht nur in engem Bezug zur Umwelt- und Klimapolitik, sondern auch zu digitalpolitischen Fragen. Zur Planung und Steuerung des Verkehrs ist die öffentliche Hand auf Daten angewiesen. Diese Daten fallen heute in einer Fülle an, die vorher nicht abzusehen war. Für die Kommunen bedeutet dieser Datenreichtum eine enorme Chance, ihrem Daseinsvorsorgeauftrag sowie ihren sonstigen Verpflichtungen, etwa hinsichtlich menschen- und klimagerechter Stadtplanung und Luftreinhaltung, besser als je zuvor gerecht zu werden. Das zentrale Instrument ist die intelligente Verkehrssteuerung (siehe Kapitel 5), deren volles Potenzial mit der Zunahme von Vernetzung und Automatisierung entfaltet werden kann. Intelligente Verkehrssteuerung kann insbesondere ganze Flotten von automatisierten ÖV-Shuttles steuern. Dazu bestünde bei den kommunalen Verkehrsunternehmen mit ihren Leitstellen bereits eine grundsätzlich geeignete personelle und technische Infrastruktur. Über die Verkehrssteuerung hinaus können auch die Mobilitätsbedarfe einzelner Menschen oder Bedarfe neuer Fahrradinfrastrukturen in den Städten besser als früher ermittelt und schnell verfügbar gemacht werden. Über spezielle Apps können Fahrradnutzerinnen und -nutzer ihrer Kommune mitteilen, wo sich der Ausbau der Fahrradinfrastruktur lohnen würde.

10 | Vgl. Deutscher Städtetag 2016.

11 | Vgl. Horn et al. 2018.

12 | Vgl. Heinrichs 2016.

13 | Vgl. International Association of Public Transport 2017.

14 | Vgl. Dörr et al. 2017.

15 | Vgl. auch Günther et al. 2019.

16 | Vgl. Rudolph et al. 2017.



Kommunale datengetriebene Mobilitätskonzepte, die im Hinblick auf Daseinsvorsorge und Gemeinwohl sowie übergeordnete Nachhaltigkeitsziele entwickelt werden, binden den umweltfreundlichen Nahverkehr besser an und stärken umweltverträgliche Verkehrsmittel. Sie können somit einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung von Verkehrsstaus und Emissionen in der Stadt leisten.

4.2 ÖPNV neu denken: hybrider öffentlicher Verkehr

Basis und Rückgrat für ein neues autonomes und vernetztes Mobilitätssystem der Zukunft ist ein hochleistungsfähiges, integriertes, multimodales Komplettangebot als ÖV-System. Neben Bus und Bahn stellt es flexible, individuelle Angebote bereit, die sich der Nutzerin/dem Nutzer niederschwellig und barrierefrei anbieten lassen. So lässt sich ein maximaler Einklang mit den genannten übergeordneten, teils verpflichtenden Zielen erreichen. Bei der Implementierung steuern die Kommunen (und teilweise auch die Bundesländer) sowohl in ihrer Rolle als Betreiber als auch als Partner und Wegbereiter für die Angebote dritter Parteien. Mit der Digitalisierung des Verkehrssystems lassen sich Mobilitätsbedarfe und -angebote individueller sowie räumlich und in Echtzeit aufeinander abstimmen. In einem digitalisierten Mobilitätssystem wandelt sich die klassische Trennung zwischen öffentlichem und privatem Verkehr zu einer eher funktionalen Aufgabenteilung mit dem gemeinsamen Ziel eines integrierten Verkehrskonzepts, in dem verschiedene öffentliche und private Diensteanbieter den ÖPNV mit individueller Mobilität nahtlos vernetzen und somit eine verbesserte Mobilitätsversorgung bereitstellen, die auch unter ökologischen Aspekten optimiert ist, indem etwa umweltfreundlichere Verkehrsmittel gestärkt werden.

Um dies zu garantieren, bedarf es einer Orchestrierung durch die Kommunen und ihre Verkehrsbetriebe. Denn empirische Erhebungen in amerikanischen Großstädten sowie Modellierungen und Berechnungen, etwa die Lissabon-Studie (OECD)¹⁷ oder die Studie der ETH Zürich¹⁸, zeigen auf, dass eine Einführung von mehrheitlich als Privatfahrzeuge oder als Shuttles für den individuellen Bedarf („Robotaxis“) genutzten automatisierten

Fahrzeugen zu einer Verkehrszunahme und sogar zu Überlastungssituationen auf den Straßen führen könnte.^{19, 20, 21, 22} Die Chancen, durch automatisiertes und vernetztes Fahren den Energie- und Flächenverbrauch des Verkehrs zu vermindern, würden in diesem Fall verspielt. Wenn private Anbieter auf lukrative Strecken in der Innenstadt fokussieren und dort bessere Angebote platzieren („Cherry Picking“), bestünde außerdem die Gefahr, dass eine flächendeckende ÖPNV-Versorgung möglicherweise nicht mehr wirtschaftlich sein könnte. Der Grund dafür: Der kommunale ÖPNV könnte die gewinnbringenden Strecken in der Innenstadt nicht mehr zur Refinanzierung von eher unwirtschaftlichen Routen in den Randbezirken verwenden. Die Folge wären Einschränkungen der Daseinsvorsorge und der sozialen Ausgewogenheit innovativer Mobilitätsangebote.

Dagegen zeigen Szenarien hochleistungsfähiger ÖV-Systeme, die die individuelle, öffentliche und kollektive Mobilität durch automatisierte, bedarfsorientierte und vernetzte ÖPNV-Shuttles gewährleisten, dass eine vollständige Abdeckung der Mobilitätsbedarfe und -wünsche aller Bevölkerungsgruppen und Mobilitätstypen möglich ist. Das gilt auch für Personen, die heute nur einen eingeschränkten Zugang zu Mobilität besitzen. Mobilitätsangebote wie Carsharing, Bikesharing oder Ridepooling werden als ergänzende Services für unterschiedliche Zielgruppen in ein solches Gesamtsystem bereits heute integriert. Zur Realisierung solcher Szenarien wäre es notwendig, dass Kommunen individuelle Betriebsverträge mit privaten Mobilitätsanbietern schließen können, die beispielsweise Vereinbarungen etwa hinsichtlich der Daseinsvorsorge, des Bedienegebiets und der Fahrpreisbildung beinhalten. Weiterhin bedarf es bewertbarer Qualitätskriterien für öffentliche und private Betreiber hinsichtlich der Betriebs- und Bedienkonzepte, des angebotenen Servicelevels und der Effekte auf den Verkehr. Wichtig ist, dass letztendlich alle Gebiete bedient werden, inklusive der wirtschaftlich unattraktiven, und dass sich in attraktiven Gebieten Angebote sinnvoll ergänzen, statt zu einer Mehrbelastung des Verkehrsraums zu führen. Durch intelligente Integration bestünde die Chance auf ein vernetztes Gesamtangebot an öffentlichen und privaten Mobilitätsangeboten, das den Besitz eines eigenen Pkws in vielen Szenarien verzichtbar macht. Ressourcen-, Flächen- und Energieverbrauch können reduziert, verkehrliche Überlastungssituationen abgebaut beziehungsweise die Verkehrsmenge insgesamt reduziert und der Verkehrsfluss verbessert werden.

17 | Vgl. OECD/ITF 2015.

18 | Vgl. Hörl et al. 2019.

19 | Vgl. San Francisco County Transportation Authority (SFCTA) 2017.

20 | Vgl. Friedrich/Hartl 2016.

21 | Vgl. International Association of Public Transport 2017.

22 | Vgl. Henzelmann et al. 2017.

Kommunen und Ländern als Eigentümern und Betreibern der Verkehrsinfrastruktur sowie als Aufgabenträgern und teilweise als Betreibern des öffentlichen Verkehrs kommt bei der Ausgestaltung eines hybriden öffentlichen Verkehrs eine Schlüsselrolle zu. Für Aufbau, Integration und Betrieb der erforderlichen digitalen Verkehrs- und Mobilitätsinfrastruktur bietet es sich an, das kommunale Mandat entsprechend zu erweitern. Somit ließen sich Verkehrssystem und neue Mobilitätsangebote koordiniert integrieren und im Bedarfsfall nachsteuern. In Bezug auf den Wirtschaftsverkehr sollten Kombinationsmöglichkeiten von Individualverkehr, öffentlichem Verkehr und Lieferverkehr mitgedacht werden.

Stadt- und Raumplanung sowie Angebotsplanung

Für die erfolgreiche Entwicklung und Implementierung eines Hochleistungs-ÖPNV ist eine integrierte Stadt-, Raum-, Mobilitäts- und Verkehrsplanung erforderlich. Dazu gehört auch die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung an den ÖV-Achsen. Automatisierte, in den ÖV integrierte Shuttles können – je nach technologischer Leistungsfähigkeit – zunächst gebietsbeschränkt im Zu- und Abbringer sowie im Erschließungsverkehr zum Einsatz kommen. Die digitale und physische Mobilitäts- und Verkehrsinfrastruktur muss auch zukünftigen Anforderungen und Nachfragen nach Kapazitäten standhalten. Mit der Automatisierung, Vernetzung und Bedarfsorientierung des zukünftigen ÖPNV kann der Verkehrsraum (Straße und Schiene) deutlich flexibler genutzt werden, was weitere Potenziale hinsichtlich neuer Stadt- und Raumstrukturen bietet.

Rolle der kommunalen Verkehrsbetriebe

Wesentliche Voraussetzung für den Betrieb eines zielbildgerechten hybriden ÖPNV-Systems ist die Stärkung der kommunalen Verkehrsunternehmen, die nicht nur als Betreiber von Schienen- und Busverkehrssystemen agieren, sondern auch ein gewachsenes Vertrauensverhältnis zur Kommune und zu ihren Bürgerinnen und Bürgern innehaben. Gleichzeitig garantiert die Realisierung der ÖPNV-Versorgung durch kommunale Unternehmen, dass die Kommunen über wichtige Daten zur Planung und Steuerung der Mobilität verfügen. Eine Verpflichtung von

privaten Anbietern zur Übergabe der gesammelten relevanten Mobilitätsdaten an die Kommunen könnte dies ebenfalls zu einem gewissen Grad gewährleisten.

4.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Voraussetzung für die Entstehung eines hybriden ÖV ist zunächst die Genehmigungsfähigkeit von vollautomatisierten, fahrerlosen, vernetzten Fahrzeugen. Bundesweit einheitliche Zulassungs- und Genehmigungsverfahren wären für eine Investitions- und Betriebsplanung sowohl für Betreiber und Mobilitätsanbieter als auch für Kommunen förderlich.

Aufgrund ihrer bereits beschriebenen Schlüsselrolle und ihres Mandats für Daseinsvorsorge und Gemeinwohl sollten Kommunen bei der Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) berücksichtigt werden. Denn der Novellierung des PBefG wird eine zentrale Rolle bezüglich rechtlicher Rahmenbedingungen für die Einführung von automatisierten Flotten zugesprochen. Die Einführung könnte beispielsweise an einen multimodalen Mobilitäts- oder Nahverkehrsplan gebunden werden, oder es könnten Genehmigungsverfahren eingerichtet werden, die die Möglichkeit der Eigenerbringung eröffnen. Eine Liberalisierung des Markts ohne Genehmigungsverfahren oder Verpflichtung auf gesellschafts- oder klimapolitische Ziele würde den Kommunen die nötigen Steuerungsmöglichkeiten entziehen. Es ist also auf faire Wettbewerbsbedingungen zu achten, die es öffentlichen und privaten Anbietern von Mobilitätsdienstleistungen gleichermaßen ermöglichen, im Rahmen der kommunalen Planung ihre Dienste betriebswirtschaftlich sinnvoll anzubieten und volkswirtschaftlich bewertbar zu halten.

Zudem sollten auch in einem bestimmten Umfang eigenwirtschaftliche Dienstleistungen der kommunalen Anbieter, beispielsweise die Nutzung einer Fahrzeugflotte als aufpreispflichtiger Premiumservice zur Querfinanzierung von Leistungen der Daseinsvorsorge, ermöglicht und im Kommunalwirtschaftsrecht geregelt werden. Das bestehende PBefG erlaubt bereits heute verschiedenste Formen von differenzierten Bedienweisen und Ridepooling-Verkehren, die als Vorläufer und zur Stärkung der gesellschaftlichen Akzeptanz auch weiter gefördert werden sollten.



Als neuer und zentraler Wert im Portfolio kommunaler Verkehrsinfrastrukturen werden sich hochgenaue Karten mit lokalen, dynamischen Inhalten erweisen (siehe Kapitel 5.2). Vernetzter Verkehr und zu einem späteren Zeitpunkt auch automatisierter Verkehr lassen sich über dieses Werkzeug im Sinne der Kommune sowohl strategisch als auch operativ steuern. Beim Aufbau der dafür erforderlichen technischen Kommunikationsinfrastruktur gilt es darauf zu achten, dass die Kommune die Hoheit über die erforderlichen Handlungsspielräume hat.

Durch die Notwendigkeit der Genehmigung und die Möglichkeit der Selbsterbringung durch kommunale Unternehmen in Kooperation mit privaten Anbietern auf diversen Wertschöpfungsstufen können die Kommunen auf die Einführung und die Qualität des automatisierten Fahrens (nicht nur im Flottenbetrieb) Einfluss nehmen. Damit können sie weiterhin ihrer Verpflichtung der Daseinsvorsorge und der sozialen Inklusion bei einem hohen Level-of-Service nachkommen. Entsprechende Genehmigungsverfahren und transparente Qualitätskriterien ermöglichen darüber hinaus einen gesunden Wettbewerb für innovative Mobilitätslösungen im Dienste des Gemeinwohls und für eine integrierte Stadtentwicklung, der vermeidet, dass private Anbieter lediglich profitable Strecken bedienen.

4.4 Finanzierung

Langfristig verspricht der fahrerlose Betrieb eine wesentliche Kostensenkung im ÖPNV und somit eine Ausweitung in Angebote, die heute wirtschaftlich nicht darstellbar wären. Im Vorfeld setzt dies jedoch eine langfristig geplante und verfügbare robuste Finanzierung voraus, gegebenenfalls inklusive Investitionszuschüssen. Nötig ist eine solche Finanzierung insbesondere für Ausbau, Ersatz und Erweiterung der physischen und digitalen Infrastruktur. Neben noch nicht absehbaren neuen Infrastrukturelementen zeichnet es sich jedoch ab, dass intermodale Verknüpfungspunkte, sogenannte Hubs oder Smart Stations, zeitnah geplant, entwickelt und implementiert werden müssen. Sie sind wichtige, mehrschichtige Zugangs- und Umstiegspunkte eines leistungsfähigen neuen Mobilitätssystems, sowohl auf der physischen als auch auf der digitalen Ebene. Dabei gilt es, betriebliche, kommunale und nutzerorientierte Bedürfnisse gleichermaßen zu berücksichtigen.

In der Skalierungsphase sind Finanzierungsinstrumente notwendig, die es den Kommunen und Betreibern ermöglichen, den

Flottenaufbau, die notwendige Infrastruktur und die zu erwartenden Anfangsverluste des Betriebs zu tragen.

Auch aus Sicht einer nachhaltigen Finanzplanung der öffentlichen Haushalte müssen die Rahmenbedingungen für die Betriebserlaubnisse eines hybriden ÖV-Systems so gesetzt werden, dass sowohl die gewinnbringenden als auch die defizitären Bediengebiete ein wirtschaftlich auskömmliches Gesamtangebot ermöglichen und die Akkumulation der Verluste bei der Öffentlichen Hand verhindern. Die Kommunen können schon heute für die Bereitstellung ihrer Leistungen, beispielsweise für den öffentlichen Parkraum, Gebühren erheben. Fahrerlose Fahrzeuge machen eine Anpassung der verkehrslenkenden Abgaben erforderlich, da nun weniger das Parken selbst als vielmehr der (pro Person beziehungsweise durch Leerfahrten) in Anspruch genommene Straßenraum die Steuerungsgröße sein sollte. Kommunen sollten auch ermächtigt werden, für die Bereitstellung und Bewirtschaftung digitaler Services (Straßenbetrieb, Road-Side-Management, Verkehrsleitzentrale) und für die öffentlichen Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs Erträge zu erwirtschaften (Parkraummanagement, Straßennutzungsgebühren). Finanzierungs- und Lenkungenfunktionen gehen hier Hand in Hand; zum Beispiel sollen Leerfahrten automatisierter Fahrzeuge möglichst verhindert und die Auslastung der Fahrzeuge erhöht oder Anreize für intermodales Verhalten geschaffen werden.

Quellen zur Finanzierung von Mobilitätsangeboten könnten auch erweiterte Nutznießermodelle sein, zum Beispiel unter Beteiligung von Arbeitgebern, Gewerbetreibenden oder Wohnungsbau-Gesellschaften, für die eine Transformation des Verkehrssystems wertschöpfende Effekte erzeugt. Durch eine geschickte Kombination dieser und anderer Finanzierungselemente kann eine Kommune eine nachhaltige Finanzierung des Betriebs der öffentlich zugänglichen Mobilitätsangebote gewährleisten (siehe auch Kapitel 5.3).

Für die Preisbildung der neuen Mobilitätsangebote sollten neben den betriebswirtschaftlichen Faktoren auch die gesamtgesellschaftlichen Kosten herangezogen werden. Welcher Anteil davon auf Nutzerin und Nutzer der Services umgelegt wird (Preis für Fahrt, Bereitstellung, Skalierung weitere Dienstleistungen), sollte sich darüber hinaus nicht allein an dem Aufwand für die Bereitstellung und dem Komfortgewinn für die Nutzerinnen und Nutzer orientieren, sondern auch an Kriterien, die sich aus dem kommunalen Mandat für Daseinsvorsorge ableiten.

4.5 Unterstützung, Vernetzung und Lernen in Experimentierräumen

Um gleichwertige Lebensverhältnisse zu sichern, müssen Kommunen unabhängig von ihrer Größe, Lage und Finanzkraft die gleichen Chancen haben, die neue automatisierte und vernetzte Mobilität in ihr Aufgabenspektrum zu integrieren. Dies ist nicht nur eine Kostenfrage, sondern vor allem eine Frage von Innovationsfreudigkeit, Personalkapazitäten und Kompetenzen beziehungsweise Know-how. Deshalb erfordert die gemeinwohlorientierte Einführung von automatisierten Fahrzeugen eine vielfältige Unterstützung der Kommunen. In der Übergangszeit bis zur rechtlichen und technischen Umsetzbarkeit müssen sie in die Lage versetzt werden, eigene Kompetenzen aufzubauen, zum Beispiel in Form von Kompetenzzentren, Plattformen oder

Werkzeugen, die sich in kommunale Verwaltungs- und Planungsstrukturen integrieren lassen. Ein erster Schritt wäre die Erarbeitung einer gemeinsamen Strategie für die gemeinwohlorientierte Einführung automatisierter vernetzter Mobilität. Weiterhin könnten Plattformen, Werkzeuge und Kompetenzzentren Migrations-szenarien ausarbeiten, praktische Hilfestellungen bei der Umsetzung oder bei Standardisierungsentscheidungen leisten sowie ein Forum für Best Practices bieten. Um eine nutzer- und menschengerechte Entwicklung zu gewährleisten, ist die Partizipation der Zivilgesellschaft zentral (siehe Kapitel 6.3). Neben der Etablierung geeigneter Partizipationsinstrumente ist auch der Aufbau von Großversuchen mit hundert und mehr vollautomatisierten Shuttles, die komplett vernetzt mit Mobilitätsangeboten sind, förderlich. Weiterhin sollten breit angelegte Forschungs- und Förderprojekte die kommunalen Erfahrungen einbeziehen und den Akteuren die Möglichkeit geben, sich zu vernetzen.



5 Kooperativer Mischverkehr

Der Straßenverkehr der Zukunft ist nicht nur vernetzt und automatisiert, sondern auch kooperativ. Die Kooperation bezieht alle Fahrzeuge, von manuell bis automatisiert gesteuert, mit ein, genauso wie die lokale Infrastruktur, Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrerinnen und Radfahrer. Bei jeder Technologieauswahl sollten deshalb Systeme bevorzugt werden, die eine sichere Interaktion mit schwachen Verkehrsteilnehmenden fördern. Dabei sollten im Markt bereits verbreitete Systeme berücksichtigt werden. Für eine sichere Kooperation müssen automatisierte Fahrzeuge dabei die Verhaltensweise nicht automatisierter Fahrzeuge und anderer Verkehrsteilnehmenden interpretieren und auch verständlich und erfolgreich mit ihnen interagieren können. Ziel ist ein kooperativer Mischverkehr aller Verkehrsteilnehmenden, der auch eine einfache Einführungs- und Migrationsphase für neue Fahrzeugtypen erlaubt. Zusätzlich lassen sich durch den kooperativen Mischverkehr bereits mittelfristig deutliche Zugewinne an Sicherheit erzielen, denn die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur erlaubt die Übermittlung von Warnsignalen oder sogar das Auslösen automatisierter Manöver, um Kollisionen zu vermeiden.

Die in den automatisierten Fahrzeugen vorhandenen Informationen lassen sich im Zuge der Datenvernetzung austauschen und gemeinsam nutzen. Dadurch eröffnen sich für die vernetzten Fahrzeuge zusätzliche Informationen, die mit der eigenen Sensorik nicht erfasst werden; diese Informationen betreffen zum Beispiel verdeckte Bereiche. Auch können Informationen über den eigenen Zustand bis hin zum geplanten Verhalten in hoher Güte bereitgestellt beziehungsweise ausgetauscht werden. Durch die fahrzeugübergreifende Fusion aller bereitgestellten Informationen entsteht in der Summe eine gemeinsame Wahrnehmung der Gesamtsituation, die auch die nicht automatisierten Verkehrsteilnehmenden einschließt. Auf diese Weise lässt sich durch den kooperativen Mischverkehr die Anzahl sicherheitskritischer Ereignisse reduzieren und der lokale Verkehrsfluss optimieren – bis hin zur effizienteren Handhabung von Ausnahmesituationen, etwa im Kontext von Baustellen oder Unfällen.

Folgendes Beispielszenario einer Verkehrssituation mit gemischten Verkehrsteilnehmenden verdeutlicht den Mehrwert der kooperativen Wahrnehmung. Durch Vernetzung und verteilte Umfelderkennung wird das hinterste Auto vor nicht vernetztem Gegenverkehr gewarnt und ein gefährliches Überholmanöver vermieden:



5 Kooperative Wahrnehmung durch Vernetzung und verteilte Umfelderkennung (Quelle: eigene Darstellung)

5.1 Umfelderkennung, Kooperation und Verhaltensgenerierung

Kooperativer Mischverkehr aus vernetzten, automatisierten und nicht automatisierten Verkehrsteilnehmenden sowie intelligenten Infrastrukturkomponenten erfordert eine Fahrzeugautomation, die (bezüglich der Fahraufgabe) die menschliche Fahrerin oder der Fahrer ergänzen beziehungsweise ersetzen kann. Dazu werden Technologien und Algorithmen benötigt, die das Verhalten des Fahrzeugs in Kooperation mit anderen Verkehrsteilnehmenden und Systemkomponenten vorausplanen und abstimmen.

Zunächst muss das technische System das Fahrzeugumfeld und die aktuelle Verkehrssituation sensorisch erfassen und interpretieren. Durch Kooperation und gezielte Interaktion der beteiligten Verkehrsteilnehmenden sollen Konflikte erkannt und aufgelöst werden, bevor ein Verkehrsproblem entsteht. Mit dieser Zielvorstellung und unter diesen Randbedingungen erfolgt die Verhaltensgenerierung der kooperativen Fahrzeuge. Die Kommunikation und Abstimmung mit den umgebenden Verkehrsteilnehmenden sind je nach möglichem Kooperationslevel unterschiedlich ausgeprägt. Beispielsweise kommunizieren Fahrzeuge untereinander, um kooperative Spurwechsel oder das Linksabbiegen in Kooperation mit dem Gegenverkehr abzustimmen und zu vereinfachen. Fahrzeuge kommunizieren mit lokaler Infrastruktur wie Ampelanlagen, um kooperativ die Ampelphasen für die Gesamtheit gerade kreuzender Verkehrsteilnehmender zu optimieren. Dies geschieht unter Berücksichtigung aller Fahrzeuge sowie kooperativer Fahrzeugmanöver und urbaner Platoons.

Strategisches, taktisches und operatives Verhalten

In der Verhaltensgenerierung werden typischerweise folgende Ebenen der Fahrzeugführung unterschieden: strategisch, taktisch und operativ.²³ Auf der strategischen Ebene führt das durch die Verkehrssteuerung ermöglichte Routing das Fahrzeug von einem Startpunkt im Straßennetz zu einem Ziel. Die relevanten Zeiträume sind hier oft Minuten bis Stunden. Auf der taktischen Ebene geht es um kürzere Zeiträume im Bereich mehrerer Sekunden. Hier werden die nächsten konkreten Fahrmanöver in der aktuellen Verkehrssituation vorausgeplant und detailliert Wege beziehungsweise Weg-Zeit-Verläufe („Trajektorien“) generiert. Auf der operativen Ebene sind dynamische Regelkreise angeordnet, die beispielsweise sicherstellen, dass das Fahrzeug ein geplantes Manöver ausführt beziehungsweise einer geplanten Trajektorie folgt oder dass die Fahrdynamik stabilisiert wird, wie beispielsweise beim Electronic Stability Program (ESP). Die relevanten Zeiträume auf dieser Ebene sind Sekundenbruchteile.

Drohnen

Durch die mögliche Einführung eines bodennahen (automatisierten) Luftverkehrs ergeben sich neue Kooperationen. So können Drohnen und Fahrzeuge bei der Situationserfassung kooperieren, indem sie ihre visuellen Informationen kombinieren. Drohnen könnten sogar zielgerichtet an Orte entsandt werden, um die temporäre Überwachung von Ausnahmesituationen zu ermöglichen, etwa wenn eine Freifläche ad hoc in einen überwachten, automatisiert gemanagten Parkplatz umgewandelt wird. Die Kooperation zwischen Straßenverkehr und bodenahem Flugverkehr ist insbesondere bei Hilfeinsätzen relevant. So kann bei einem Notfall am Boden eine Drohne oder ein Helikopter zur medizinischen Versorgung notwendig werden und auf einer Autobahn eine sichere Landemöglichkeit benötigen. Hier können vernetzte Fahrzeuge einen Landeplatz freihalten und auch nachfolgenden Verkehr aufhalten, wenn die Situation es zulässt.

Verteilte Umfelderkennung

Klassische, bereits im Markt etablierte Assistenzsysteme arbeiten entweder auf der Stabilisierungsebene des Fahrzeugs (zum Beispiel ein ESP) oder besitzen einen eingeschränkten Wirkungsbereich mit engen Funktionsgrenzen (zum Beispiel Assistenzsysteme für das Spurhalten oder für Notbremsungen). Während auch solche Systeme schon extrem hohe sicherheitsrelevante Anforderungen erfüllen müssen, teilen sie doch die Gemeinsamkeit, dass die Erfassung und Verarbeitung von Informationen im Allgemeinen auf den Bereich der fahrzeugeigenen Ressourcen beschränkt bleibt. Dieser Rahmen wird durch die Anforderungen einer fahrzeugübergreifend vernetzten Systemwelt deutlich erweitert.

Für die Umfelderkennung und -interpretation ist ein technisch vernetzter Systemverbund aus mehreren Fahrzeugen, Verkehrsinfrastruktur und Hintergrundsystemen wichtig. In der aktuellen Förderlandschaft gibt es bereits einige öffentlich geförderte Forschungsprojekte, die sich mit den komplexen Fragestellungen rund um die Konzeption und technische Abbildung von automatisierten Fahrfunktionen und damit auch mit der Umfelderkennung und -interpretation auseinandersetzen. All diese Projekte haben sehr unterschiedliche Zielstellungen und beschäftigen sich auf der Konzeptionsebene mit spezifischen Use Cases. Die mit prototypischen Ausgestaltungen verknüpften Forschungsarbeiten konzentrieren sich dabei meist auf die technologiegetriebene (Weiter-)Entwicklung von Sensorsystemen oder auf Vernetzungsfragestellungen. Die technischen Schwerpunkte dieser Projekte reichen von einer hochverfügbaren Eigenlokalisierung über die datengesteuerte Perception von Fahrzeugen und Infrastruktur bis hin zu drahtlosen Kommunikationsstrukturen.²⁴ Dabei werden zumeist spezifische, abgegrenzte Anwendungsfälle untersucht. Aufbauend auf diesen Einzelbausteinen erfolgt die verteilte Situationsanalyse als Grundlage für die Fahrfunktionen, wobei sehr unterschiedlich geprägte Konzepte für die technische Ausgestaltung unter Nutzung verschiedener Systemebenen vorliegen. Ein abgestimmtes Gesamtsystemkonzept jedoch, das den Umgang mit der Vielzahl an Fragestellungen rund um die technische Realisierung beantwortet, ist zurzeit noch Forschungsgegenstand.²⁵ Die weitere Förderung dieser zentralen Technologien sollte daher mit dem Ziel erfolgen, Gesamtsysteme aus Fahrzeugen, anderen Verkehrsteilnehmenden, Infrastrukturkomponenten und Hintergrundsystemen weiterzuentwickeln. Zusätzlich wird gegenwärtig intensiv an möglichen Migrationspfaden und -strategien geforscht.

23 | Vgl. Donges 1982.

24 | Vgl. Brunsmann et al. 2014.

25 | Vgl. Mazzega et al. 2017.



Daneben besteht die Aufgabe, auf Basis der vorherrschenden Anforderungen neue Datenquellen aufzubauen und zu erschließen, die insbesondere die Fahrwegabsicherung ermöglichen. Dies führt zur Forderung nach einer notwendigen herstellerübergreifenden Standardisierung zur Absicherung architektonischer Konzepte.²⁶ Dabei könnten Schemata aus anderen Verkehrsbereichen mit ähnlichen Fragestellungen, zum Beispiel aus der Luftfahrt oder dem Schienensystem, zu einer Lösung beitragen. In jedem Fall erscheint es unerlässlich, als Kernanforderung die effiziente Ausnutzung von Systemressourcen miteinzubeziehen, um die flächendeckende Sicherung einer standardisierten Dienstlandschaft zu ermöglichen. Wichtig sind in diesem Zusammenhang die dezentrale Datenverarbeitung, Cyber Security sowie rechtliche Themen, die noch nicht abschließend bearbeitet scheinen. Testfelder helfen dabei maßgeblich, die Konzepte fernab von Laboren und Testgeländen in der Realität zu entwickeln und ihre Wirksamkeit zu erproben.^{27,28}

Kooperation und Interaktion

Kooperation im Mischverkehr ist eine zeitlich begrenzte Interaktion von mindestens zwei Verkehrsteilnehmenden mit dem Ziel, Konkurrenz aufgrund von möglichen Bewegungskonflikten aufzulösen und einen Mehrwert hinsichtlich Sicherheit, Fairness, Komfort und Effizienz des gesamten Mischverkehrs zu schaffen.

Aktuell begegnen sich ausschließlich menschliche Akteure im öffentlichen Straßenverkehr. Dabei interagieren und kooperieren die Verkehrsteilnehmer miteinander, um ihre jeweiligen Ziele zu erreichen. Das Zusammenwirken von motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden ist dabei auf die Anforderungen menschlicher Kommunikation und Informationsverarbeitung ausgelegt (zum Beispiel Handzeichen, Blickkontakt, Interpretation von Blickrichtungen, Berücksichtigung menschlicher Reaktionszeiten). Dies gilt ebenfalls für die Ausgestaltung der Infrastruktur, die an die menschliche Wahrnehmung angepasst ist. Nehmen in Zukunft zusätzlich Fahrzeuge unterschiedlicher Automatisierungsgrade am Verkehr teil, ergeben sich daraus Herausforderungen, die vor allem das Zusammenwirken von technischen Systemen und Menschen mit unterschiedlichen Erwartungshaltungen und Einstellungen gegenüber neuen Technologien betreffen. So unterscheiden sich maschinelle und menschliche Akteure bezüglich der Charakteristiken ihrer Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie der Handlungsausführung.

Es sind daher menschengerechte und konsistente Interaktionsprinzipien und -designs notwendig, die sicherheitskritische Missverständnisse vermeiden und geeignet sind, die Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge zu fördern. Nur so lassen sich kooperative, automatisierte Fahrzeuge erfolgreich in einen Mischverkehr integrieren. Andernfalls drohen Geschwindigkeitsbegrenzungen oder die Erhöhung von Sicherheitsabständen als Sicherheitsmaßnahmen, die möglicherweise verhindern, dass das volle Potenzial der Technologie beispielsweise im Hinblick auf den Verkehrsfluss ausgeschöpft werden kann.

Maschine-Mensch-Kommunikation

Einige Hersteller setzen bei der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Menschen auf Lichteffekte. Durch Lichtsignale wie Lichtpunkte auf dem Dach oder Lichtbänder, die um den Wagen laufen, vermitteln die Fahrzeuge ihre „Absichten“. Permanent leuchtendes Licht bedeutet beispielsweise „Fahrzeug ist im autonomen Fahrmodus (sowohl stehend als auch fahrend)“. Langsames Blinken signalisiert ein Bremsen des Fahrzeugs, schnelles Blinken Beschleunigung. Mithilfe von Laserscheinwerfern lassen sich auch Linien auf die Straße projizieren, die die Fahrtrichtung anzeigen. Bei Abbiegemanövern erscheinen blinkende Pfeile auf dem Boden.

Zusammen mit mehreren Organisationen, darunter die Internationale Organisation für Normung (ISO) und die Society of Automotive Engineers, erarbeiten die Automobilhersteller derzeit einen Industriestandard zur Kommunikation von Fahrabsichten. Dabei ist insbesondere die Wirkung im Mischverkehr sowie im Zusammenspiel vieler automatisierter Fahrzeuge mit neuen Interaktions- und Anzeigemöglichkeiten zu berücksichtigen, damit beispielsweise an einer Kreuzung mit vielen Fahrzeugen kein „Disco-Effekt“ entsteht, bei dem Menschen durch ein Übermaß an dargebotenen Informationen überfordert werden und sich die Reaktionszeiten erhöhen.

26 | Vgl. Knake-Langhorst et al. 2018.

27 | Vgl. Knake-Langhorst et al. 2016.

28 | Vgl. Köster et al. 2018.

Auch die bisherigen Verkehrsteilnehmenden müssen sich folglich auf die neuen Akteure im öffentlichen Raum einstellen, um mit ihnen interagieren und kooperieren zu können. Technische Systeme haben dabei Stärken und Schwächen, die sich von denen menschlicher Akteure unterscheiden. So können Wetterverhältnisse die maschinelle Wahrnehmung einschränken oder Verdeckungen durch Gebäude, parkende Fahrzeuge oder Bewuchs die Sensorik limitieren. Wenn Menschen Bereiche nicht einsehen können, nutzen sie Informationen der Umgebung zur Interpretation einer Situation und zur Vorhersage über den weiteren Verlauf, beispielsweise wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass Personen hinter der Verdeckung hervortreten. Maschinelle Wahrnehmungsalgorithmen haben hier noch Schwächen und erbringen aktuell nicht die Leistungsfähigkeit eines menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses.

Die Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmenden, die zur kooperativen Planung und Ausführung von Manövern notwendig sind, vollziehen sich bei Menschen in Form von Handzeichen, Blickkontakten oder auch gesprochener Sprache, um die individuellen Ziele zu erreichen. Maschinen können diese Zeichen nicht in gleichem Maße wahrnehmen und interpretieren, sodass eine Interaktion mit den bisherigen Mitteln nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Um die aufgezeigten Herausforderungen beim Zusammenwirken von technischen und menschlichen Akteuren im öffentlichen Straßenverkehr meistern zu können, müssen neue Wege der Interaktion und Kooperation etabliert werden. Dazu gehören zunächst Transparenz und das Verständnis für das Handeln anderer Verkehrsteilnehmender. Die darauf aufbauende Kooperation muss gleichermaßen auf die Informationsaufnahme und -verarbeitung von maschinellen Systemen wie von Menschen ausgelegt sein. Auch die speziellen Anforderungen und Eigenschaften lernender technischer Systeme müssen hier in Zukunft beachtet werden.

Neben der Kommunikation durch Zeichen muss auch insbesondere das Bewegungsverhalten wahrgenommen und als kommunikatives Signal verstanden werden, unabhängig davon, ob es von einem Menschen oder einem technischen System erzeugt wurde.

Beispielsweise könnte es rechnerisch optimal sein, die Fahrzeugbewegung nicht abzubremesen, wenn eine Person an einem Zebrastreifen queren will, da diese auch bei unverminderter Geschwindigkeit des Fahrzeugs rechtzeitig die andere Straßenseite erreichen kann. Ein Mensch wird jedoch in vielen Fällen verunsichert, wenn das sich nähernde Fahrzeug nicht langsamer wird, selbst wenn ihm durch das Fahrzeug auf einer Anzeige dargestellt würde, dass er erkannt wurde und queren darf.

Für das erfolgreiche Zustandekommen eines kooperativen Verhaltens spielt die Identifizierung von gemeinsamen Zielvorstellungen eine entscheidende Rolle. Zu unterscheiden sind hierbei einerseits individuelle Ziele, die für die einzelnen Verkehrsteilnehmenden in spezifischen Situationen persönliche Vorteile versprechen (zum Beispiel die Minimierung der Reisezeit). Andererseits existieren übergeordnete, gesamtgesellschaftliche Ziele, die im Einzelfall den persönlichen, für den einzelnen Akteur relevanten Zielen entgegenstehen können (wie die Steigerung der Verkehrssicherheit, die Optimierung des Verkehrs oder der Umweltschutz). Die große Herausforderung liegt darin, die persönlichen und gemeinschaftlichen Ziele in Einklang miteinander zu bringen, um so eine Basis für Kooperationen herzustellen. Ohne gemeinsam anerkannte Ziele und die Akzeptanz der beteiligten Akteure sowie ihrer spezifischen Ziele wird keine Kooperation stattfinden. Deshalb muss bei allen Akteuren Vertrauen in faire Rahmenbedingungen hergestellt werden.

Eine Lösung hierfür könnten Verfahren sein, mit denen sich messen lässt, wie gut die beteiligten Akteure ihre individuellen Ziele im Verkehr tatsächlich realisieren können. Auf Basis solcher Messverfahren ließe sich Fairness objektiv bewerten und vergleichen. Die Messdaten könnten außerdem dazu dienen, die Regeln der Kooperation weiterzuentwickeln und zu optimieren.

Ein Beitrag zu Kooperationsprinzipien ist der aktuelle Entwurf der Vereinheitlichung von Kooperationsstufen, der im Rahmen der Arbeitsgruppe automatisiertes und vernetztes Fahren des Runden Tisches für automatisiertes Fahren des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) erarbeitet wurde (siehe Infokasten).



Stufen der Kooperation

Ein erster Ansatz zur Definition von Stufen der Kooperation ist im Rahmen der Arbeitsgruppe automatisiertes und vernetztes Fahren des Runden Tisches für automatisiertes Fahren des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) erarbeitet worden:

Stufe a stellt eine minimal denkbare Form der Kooperation dar. Hier werden Informationen unidirektional weitergegeben, ohne dass eine Reaktion auf den Empfang der Informationen erfolgt. Es werden funktionspezifische Daten beziehungsweise Informationen bereitgestellt, die von Dritten wahrgenommen werden können. Die Nutzung dieser Informationen erfolgt ohne explizites Feedback an den Sender. Ein Beispiel für eine solche Kooperation ist die infrastrukturseitige Bereitstellung von Verkehrsmeldungen über Radiosender.

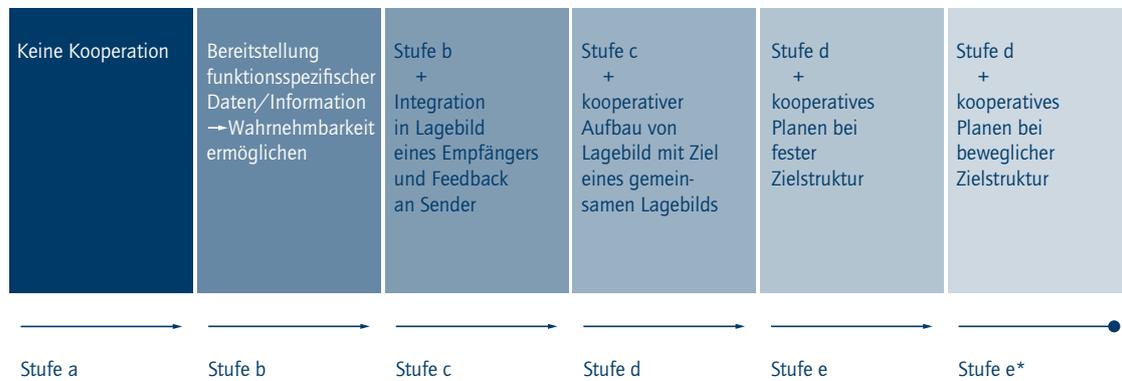
Bei **Stufe b** verarbeitet der Datenempfänger die Informationen und fügt sie in sein eigenes Lagebild der aktuellen Umgebungssituation ein. Es erfolgt eine äquivalente Rückmeldung an den Sender, zum Beispiel die bidirektionale Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation über Nahbereichsfunk zwischen Fahrzeugen und sogenannten Roadside Units, die Informationen von Fahrzeugen erhalten und weiterleiten.

Kooperationsstufe c beinhaltet zusätzlich den Aufbau eines abgestimmten Lagebilds zur Realisierung einer harmonisierten Situationswahrnehmung. Entscheidungen über künftige Aktionen werden aber nach wie vor von jedem Akteur autark

getroffen. Die Stufen b und c zusammen bilden die Kooperationsform der Informationsgewinnung, bei der durch Vernetzung der Partner das situative Wissen bei allen Teilnehmenden gemehrt und damit die Basis für Prädiktionen und Handlungsentscheidungen verbessert wird.

Stufe d ergänzt zusätzlich den Aspekt der Planung und Handlungsabsprache auf der taktischen Ebene. Auf Grundlage eines gemeinsamen Lagebilds werden beabsichtigte Aktionen mitgeteilt, worauf der Kooperationspartner mit der Mitteilung seiner bevorstehenden Aktionen, die gegebenenfalls an die Bedürfnisse des Partners angepasst sind, antwortet. Dadurch wird eine Bestärkung oder Ablehnung der beabsichtigten Aktion kommuniziert, die eventuell mit möglichen Handlungsoptionen angereichert sein kann. Letztlich kommt es zu einer räumlich und zeitlich begrenzten Absprache über künftige Aktionen. Dabei muss es auch möglich sein, auf ein von der Straßenverkehrsordnung gewährtes Vorrecht zu verzichten.

Die höchste **Stufe e** der Kooperation berücksichtigt auch die strategische Ebene und hat Auswirkungen nicht nur lokal, sondern weiträumig und langfristig im Blick. Hierbei werden verkehrssystemweite Effekte berücksichtigt und die Nutzen und Kosten der Akteure eines Kollektivs aus unterschiedlichsten Verkehrsteilnehmenden optimiert. Zum Erreichen dieser Kooperationsstufe sind eine übergeordnete Orchestrierung und eine Art Governance erforderlich, die Rahmenbedingungen und Regeln festlegen und überwachen, ob das Gesamtziel erreicht wird.



5.1 Übersicht Kooperationsstufen (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die Ergebnisse der Arbeitsgruppe automatisiertes und vernetztes Fahren des Runden Tisches für automatisiertes Fahren des BMVI 2017)

Verhaltensgenerierung und Vernetzung

Für die Kooperation mit anderen Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmenden muss ein Fahrzeug mit der notwendigen Hardware und Software zur Kommunikation, Planung und Ausführung des Verhaltens ausgerüstet sein. Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, ist es essentiell, dass auch das (manuell oder technisch generierte) Bewegungsverhalten eines Fahrzeugs als integrierter Teil der impliziten Kommunikation und Interaktion wahrgenommen wird. Daher sollte es nicht unabhängig vom Design der expliziten Interaktion und der Mensch-Maschine-Schnittstellen wie Anzeigen am Fahrzeug entwickelt werden.

Während aktuell noch viel notwendige Forschung auf dem Gebiet einer mensch-kompatiblen und verifizierbaren sicheren Verhaltensgenerierung sowie Bewegungsplanung läuft, liegen weitere Herausforderungen in der Verhaltensgenerierung für das angestrebte kooperative Verhalten.

Lokale Kooperation zwischen Fahrzeugen beziehungsweise Verkehrsteilnehmenden kann sowohl zu einer Optimierung der lokalen Verkehrssituation als auch zu einer Verbesserung des Gesamtsystems führen. Gegenüber einer rein zentralisierten Steuerung hat die lokale Kooperation den Vorteil einer besseren Resilienz bei Störungen. Allerdings liegen gegenwärtig gerade in der verteilten Entscheidungsfindung und dezentralen Manöverkoordination über mehrere Fahrzeuge hinweg noch große Herausforderungen, die weiter erforscht werden müssen. Die kooperativen Entscheidungen müssen eindeutig und sicher sein, auch wenn ein Fahrzeug beispielsweise gleichzeitig mit mehreren anderen kooperiert. Die Organisationsprinzipien müssen außerdem effizient und skalierbar sein, sodass sie auch bei einer großen Menge an kooperativen automatisierten Fahrzeugen funktionieren. Dabei müssen verschiedenste Informationen wie Routenempfehlungen oder koordinative Vorgaben aus der Verkehrssteuerung oder einer lokalen Kreuzungssteuerung auf mehreren Ebenen gleichzeitig berücksichtigt werden (siehe auch Kapitel 5).



Forschungsprojekt zum kooperativen Verhalten automatisierter Fahrzeuge

Das Forschungsprojekt Hamburg Electric Autonomous Transportation (HEAT)²⁹ vernetzt eine Flotte automatisierter Kleinbusse mit verkehrstechnischen Infrastrukturen wie Ampeln und straßenseitig installierten Sensoren zur Umfelderkennung. Letztere übertragen Informationen des lokalen Verkehrsgeschehens mit geringstmöglicher Verzögerung an die automatisierten Fahrzeuge. Künftig werden neben Ampeln auch Wechselverkehrszeichen, Baustellenmarkierungen oder andere Fahrzeuge über entsprechende Vernetzungen den Flottenfahrzeugen Informationen übertragen können.

In einem weiteren Anwendungsfall im Projekt HEAT digitalisieren straßenseitig installierte Sensoren das Fahrzeugumfeld und erstellen ein Umweltmodell. Dieses Modell wird dann wieder den automatisierten Fahrzeugen zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise können die digital vernetzten Kleinbusse unübersichtliche Verkehrsabschnitte in Gänze erfassen und hinter Sichtbehinderungen oder sogar um die Ecke „schauen“.

Die dezentralen Funktionen werden durch koordinierende Zentralfunktionen ergänzt. Die automatisierten Fahrzeugflotten profitieren so nicht nur von der lokalen Vernetzung mit straßenseitigen Infrastrukturen und umgebenden Fahrzeugen, sondern stehen darüber hinaus ebenfalls im stetigen Austausch mit übergeordneten Leitstellen.

Im Projekt HEAT sind Route und Fahrzeugflotte festgelegt. Künftig können aber auch andere Fahrzeuge in das System eingebunden und zu einer Flotte gebündelt werden, um auf aktuelle Mobilitätsbedarfe zu reagieren. Dabei findet ein kontinuierlicher Abgleich mit der aktuellen und prognostizierten Verkehrslage statt, sodass die Routen bei ungeplanten Verkehrsstörungen oder hohen Verkehrsdichten umgeplant werden können.

Für die Planung und Durchführung kooperativer Manöver ist insbesondere die technische Vernetzung eine wichtige Grundlage, die in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet wird. Für diese Vernetzung gibt es zukünftig verschiedene Optionen. Hervorzuheben ist die mögliche Nutzung von Mobilfunkstandards (LTE, 5G) sowie die Nutzung eines WLAN-ähnlichen Standards (802.11p beziehungsweise ITS-G5). Insbesondere bei der Nutzung von Mobilfunkstandards gibt es neben der direkten Punkt-zu-Punkt-Kommunikation (wie bei C-V2X) die Möglichkeit einer netzwerkbasierter Nutzung. In Zukunft könnten weitere Optionen der Vernetzung wie optische Kommunikation oder auch Satellitenkommunikation hinzukommen. Die verschiedenen Übertragungstechnologien können dabei alternativ oder teilweise auch komplementär beziehungsweise zur Minimierung von Ausfallrisiken redundant genutzt werden.

Aus funktionaler Sicht ist es unabhängig vom Übertragungsstandard wichtig, ein gemeinsames, konkretes Protokollmodell zu verwenden, mit dem Kooperation in unterschiedlichen Situationen und mit unterschiedlichen Teilnehmenden sicher und effizient realisiert werden kann. Das aktuelle System enthält bereits mehrere Nachrichtentypen, die unter den Verkehrsteilnehmenden beziehungsweise mit der Infrastruktur ausgetauscht werden können. Für die Weiterentwicklung der kooperativen Umfelderkennung oder der kooperativen Manöverabsprachen sind voraussichtlich weitere Nachrichtentypen notwendig.

Nachrichtentypen

Nach dem ITS-Standard gibt es aktuell bereits mehrere Nachrichtentypen für die Vernetzung von Fahrzeugen. Beispielsweise gibt es eine Cooperative Awareness Message (CAM), die jeder Verkehrsteilnehmende zyklisch aussendet, um seine aktuelle Position und gegebenenfalls den aktuellen Zustand transparent zu machen. Eine Decentralized Environmental Notification Message (DENM) kann von der Infrastruktur oder von Fahrzeugen ausgesendet werden, um auf lokale Ereignisse hinzuweisen. Die Collective Perception Message (CPM) dient der kooperativen Umfelderkennung. Sie kann beispielsweise auch durch Infrastruktur erzeugt und versendet werden, wenn bauliche Gegebenheiten die Erfassung anderer Verkehrsteilnehmender verhindern und infrastrukturseitige Einrichtungen an Gefahrenschwerpunkten diese Informationen in besonders hoher Qualität liefern können. Die Protokolle sind so gestaltet, dass viele aktuelle sowie bereits einige mögliche zukünftige Anwendungsfälle mitgedacht sind, beispielsweise die Kommunikation, die notwendig ist, um einen Bereich für die Landung eines Rettungshubschraubers zu sperren oder freizuräumen (DENM-Nachricht).

Interoperabilität und Konformität

Eine verlässliche Kommunikation zwischen den Beteiligten ist Grundlage für kooperative Manöver im Straßenverkehr. Der Informationsaustausch ist folglich hochgradig relevant für die kooperative Fahrzeugautomation und hat einen erheblichen Einfluss auf die Sicherheit des Systems. Dies spiegelt sich auch in der Weiterentwicklung der ITS-Standards sowie der neuen Mobilfunkstandards für 5G ab Release 16 wider.

Ähnliche Verfahren sind bereits aus dem Eisenbahnsystem bekannt. Auch dort werden sicherheitsrelevante Informationen über Funkschnittstellen ausgetauscht. Was die Übertragung dieser Informationen betrifft, gewinnt insbesondere bei Nutzung einer Luftschnittstelle Interoperabilität auf funktionaler Ebene erheblich an Bedeutung.

Der erste Schritt, um funktionale Interoperabilität für ein Gesamtsystem sicherzustellen, ist die Überprüfung der Konformität. Das physikalische Signal muss dem jeweiligen Standard (zum Beispiel 802.11p oder LTE Release 14) genügen. Gleichzeitig müssen die übertragenen Inhalte dem Nachrichtenstandard entsprechen (zum Beispiel ITS-Standard) und auf Konformität getestet werden. Aufgrund der hohen Komplexität der übertragenen Nachrichten können hier gegebenenfalls nur Stichproben durchgeführt werden. In realen und simulationsbasierten Ansätzen müssen zusätzlich die entsprechenden Verhalten der unterschiedlichen Teilsysteme gegeneinander getestet werden.

Eine besondere Herausforderung ist in diesem Kontext die Etablierung der hinter dem Verhalten liegenden betrieblichen Regeln sowie der Regeln der Interpretation des resultierenden (automatisierten) Verhaltens. Auch diese Aspekte müssen mindestens europaweit harmonisiert werden, und die Interpretation einer Information muss einheitlich zu gleichem Verhalten führen. Beispielsweise könnte es zu sicherheitskritischen Situationen kommen, wenn eine unverbindliche Information über das geplante Bewegungsverhalten fehlinterpretiert wird als verbindliche Zusage für die freie Nutzbarkeit des übrigen Straßenraums.

Die Sicherstellung von Konformität und Interoperabilität muss in den Zulassungsprozess integriert werden. Unabhängige Prüfeinrichtungen müssen standardisierte und frei zugängliche Testfälle beziehungsweise Testszenarios durchführen und somit einen möglichst reibungslosen und effizienten Betrieb vorbereiten. Die Gesetzgebung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die Verfügbarkeit unabhängiger Testzentren ist sicherzustellen, und entsprechende Anforderungen in Form einer Testspezifikation sind zu definieren. Idealerweise ist die Testspezifikation so formal wie möglich und bereits für die Hersteller der Teilsysteme verfügbar. Trotzdem ist eine neutrale Instanz als Prüfstelle zwingend einzurichten, denn die Selbstzertifizierung durch Hersteller hat in der Vergangenheit, insbesondere im Umfeld von Verkehrssystemen, zu ungewollten Abweichungen geführt.

Wird die Testspezifikation frühzeitig von allen Beteiligten, insbesondere den späteren Prüfstellen und den Herstellern, entwickelt, so kann ein Mehrwert für die Hersteller entstehen: Hausinterne Tests können dann aus der offiziellen Testspezifikation abgeleitet oder übernommen werden. Die entsprechende Unterstützung aller Stakeholder ist sichergestellt.



5.2 Funktionale Sicherheit automatisierter, vernetzter Fahrzeuge

Zu den zentralen gesellschaftlichen Erwartungen an Verkehrssysteme der Zukunft gehört neben der Steigerung der ökologischen wie verkehrlichen Effizienz ebenso die Minderung der Mobilitätsrisiken. Diese Risiken sind in erster Linie auf Unfallgeschehen zurückzuführen und betreffen Leben, Gesundheit und Eigentum individueller Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer, aber auch öffentliche Infrastrukturen und die weitere Lebensumwelt. Da das Unfallgeschehen häufig ursächlich mit menschlichem Versagen oder unzureichenden Informationen über den aktuellen Verkehrskontext verbunden ist, wird Mechanismen der Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen ein signifikantes Potenzial zur Reduktion von Unfallgeschehen und damit zur Minderung der verkehrlichen Risiken zugeschrieben.

Es liegt dabei auf der Hand, dass diese Mechanismen die verkehrlichen Risiken nicht vollständig eliminieren werden. Denn zum einen werden sich automatisierte Fahrzeuge in der Übergangszeit sehr lange im Mischverkehr bewegen und dort gegebenenfalls mit ihrer auf Regelkonformität ausgelegten Funktionalität auf Verkehrsteilnehmende treffen, die Regelübertretungen in Kauf nehmen. Zum anderen lassen sich bei keinem technischen System Fehler, Verfügbarkeits- oder Zuverlässigkeitsmängel komplett ausschließen. Hinzu kommt, dass automatisierte Systeme durch im Detail abweichende Funktionalität ihrer Fahrfunktionen durchaus auch neue Verkehrsrisiken, also inhärente Automationsrisiken, auslösen können. Vernetzte Systeme können möglicherweise auch missbräuchlich nutzbare Schnittstellen enthalten. Von zentraler Bedeutung ist demnach, die mit Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen verbundenen Risiken möglichst weitgehend durch stringente Vorschriften und Kontrollen zu reduzieren. Dies ist die Aufgabe der Prozesse der „funktionalen Sicherheit“.

Die zu erreichenden Sicherheitsziele liegen dabei extrem hoch: Nach US-amerikanischen Statistiken liegen in den USA zwischen zwei Unfällen mit Personenschaden 61.400 Kfz-Betriebsstunden, das entspricht sieben Jahren ununterbrochenen Fahrens. Zwischen zwei Unfällen mit Todesfolge liegen sogar 3.400.000 Betriebsstunden beziehungsweise 390 Betriebsjahre. Schwere Unfallgeschehen sind also extrem seltene Ereignisse und werden

durch die Kombination von ebenfalls seltenen Elementarereignissen hervorgerufen, deren Kombinatorik kaum überschaubar ist. Eine entsprechende Testabdeckung lässt sich mithin aufgrund der Seltenheit bestimmter kritischer Situationen nicht allein durch Testfahrten im regulären Straßenverkehr (sogenanntes Freifahren) erzielen, sondern erfordert die systematische Erzeugung von Testsituationen wichtiger ausgewählter Szenarien. Um die sehr hohe Anzahl an Szenarien und eben auch sicherheitskritische Szenarien testen zu können, ist eine Kombination von realen und virtuellen Testfahrten notwendig. Eine besondere Herausforderung bei der Prüfung funktionaler Sicherheit stellen Komponenten der Funktionsarchitektur im Auto oder der Verkehrsinfrastruktur dar, die mit Mechanismen maschinellen Lernens trainiert oder gar selbstlernend sind.

Es ist zu erwarten, dass der mit Automation verbundene Testaufwand den Entwicklungsaufwand signifikant übersteigen wird, wie ein Blick auf die Avionik in der Luft- und Raumfahrttechnik zeigt. Hier erreicht der Validierungs- und Verifikationsaufwand für die Software der elektronischen Geräte etwa 50 Prozent der Gesamtentwicklungskosten. Die Realisierung von Absicherungsmaßnahmen vor Markteinführung muss deshalb möglichst effizient erfolgen, damit die mit Automatisierungsvorhaben verbundenen Zeit- und Kostenaufwände für die Fahrzeughersteller und Zulieferer als nationale Schlüsselindustrie im ökonomisch machbaren Rahmen bleiben.³⁰

Testen automatisierter Fahrzeuge

Im Bereich des Testens automatisierter und vernetzter Fahrzeuge können das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt PEGASUS³¹ sowie das EU-Projekt ENABLE-S3³² als national wie international zentrale Forschungs- und Entwicklungsprojekte angesehen werden. ENABLE-S3 bezieht dabei neben dem Straßenverkehr auch schienengebundene und maritime Systeme sowie die Luftfahrt mit ein.

Eine wesentliche Grunderkenntnis aus den Projekten PEGASUS und ENABLE-S3 ist, dass Prozeduren zum Nachweis der Sicherheit automatisierter und vernetzter Fahrzeuge ein szenariobasierter Ansatz zugrunde gelegt werden sollte. Dieser kann eine differenzierte Betrachtung potenziell kritischer Verkehrssituationen in den Mittelpunkt stellen und dabei auch Themen wie eine ökologisch valide Expositionsschätzung oder eine systematische

30 | Vgl. Cacilo et al. 2015.

31 | www.pegasusprojekt.de.

32 | www.enables3.eu.

Herleitung von Testfällen explizit behandeln. Als Testfälle können auch Corner Cases – das sind Ausnahmesituationen – berücksichtigt werden. Hierdurch entstehen Vorteile gegenüber beispielsweise generellen statistikbasierten Testprozeduren, die vergleichsweise undifferenziert mit Fahrkilometern in Simulationen und realen Feldtests argumentieren.

Weiterhin ist deutlich, dass eine plausible Sicherheitsargumentation nicht auf Grundlage einzelner Testansätze geführt werden kann. Aktuell sind weder rein simulationsbasierte Ansätze (hier fehlen teilweise Aussagen zur Validität und Überdeckung der Realwelt) noch etablierte Ansätze der Fahrzeugerprobung für Fahrzeuge bis zur Teilautomatisierungsstufe (nicht darstellbar im Bereich mehrerer Hundert Millionen Fahrkilometer) auf den Bereich des Testens von bedingt- oder hochautomatisierten Fahrzeugen übertragbar.

PEGASUS und ENABLE-S3 liefern bereits erste Erkenntnisse zum Aufbau geeigneter Werkzeugketten, die im Allgemeinen eine Vielzahl simulationsbasierter Methoden, verschiedene Prüfstände, Prüfgeländeerprobungen und Feldtests integrieren.

Intensiver werden solche Fragestellungen im aktuell laufenden BMWi-Projekt SET Level 4to5 und im in Vorbereitung befindlichen BMWi-Projekt V&V-Methoden bearbeitet. Für spezielle Fragestellungen zur Handhabung KI-basierter Fahrzeugfunktionen sind ebenfalls bereits verschiedene Projekte im Gang (zum Beispiel das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt KI-Plattformkonzept) beziehungsweise in Vorbereitung (zum Beispiel die Projekte KI-Plattform und KI-Absicherung). Allerdings ist aufgrund der Umfänge der beschriebenen Herausforderungen absehbar, dass der Bedarf an Verbundprojekten dieser Art damit bei Weitem nicht abgedeckt ist. Vielmehr werden nicht zuletzt diese Projekte weitere Fragestellungen generieren, die kooperativ zu beantworten sind.

Darüber hinaus liegt aktuell der Fokus im Bereich der Testmethoden für automatisierte Fahrzeuge auf der Absicherung eines Einzelfahrzeugs. Höhere Kooperationslevel werden hier zusätzliche Herausforderungen mit sich bringen, für die noch erheblicher Forschungsbedarf besteht.

Ein wichtiges Werkzeug sind in diesem Zusammenhang die Testfelder für automatisiertes und vernetztes Fahren. Testfelder begleiten den gesamten Prozess von der Anforderungsermittlung

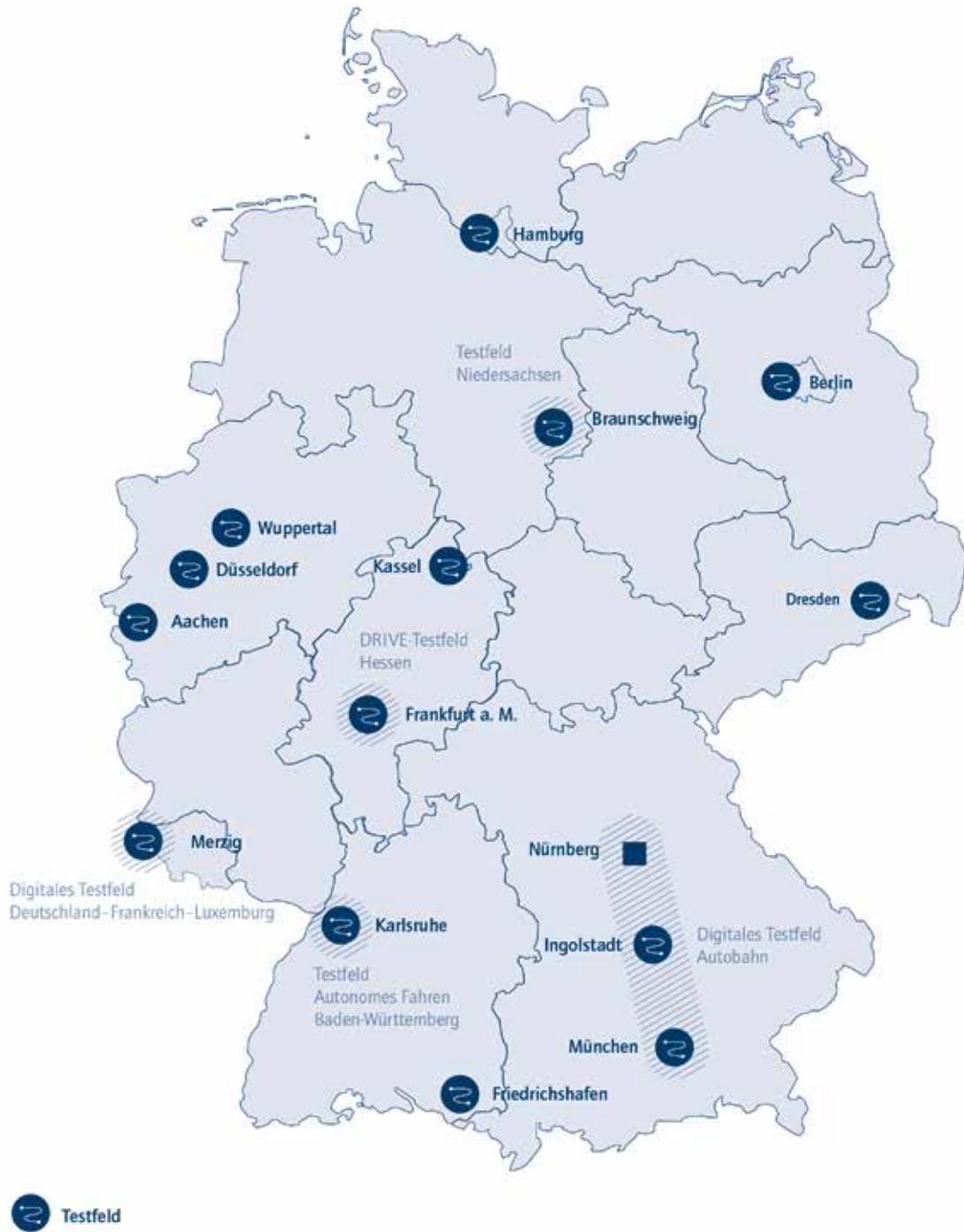
über die Funktionskonzeption, -entwicklung, -demonstration und -erprobung, die Umsetzung der Funktionen in Pilot- und Referenzimplementierungen bis hin zur Wirkanalyse und Information des politischen und gesellschaftlichen Diskurses. Der Ausbau von Testfeldern, auch für das automatisierte Fahren auf der Schiene und im Mischverkehr, wird empfohlen, um die bestehenden Systeme durch dort gewonnene Erkenntnisse zu verbessern und damit die Umsetzung in den produktiven Betrieb zu beschleunigen. Dabei ist insbesondere eine gute Koordination der Testfelder wichtig, damit beispielsweise Ergebnisse übertragbar werden und der Erkenntnisgewinn sich insgesamt verbessert.

Testfelder

Die Errichtung von Testfeldern wird in der Bundesrepublik bereits seit etwa 2009 beispielsweise in Form der Anwendungsplattform für intelligente Mobilität (AIM) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt verfolgt.³³ AIM ermöglicht seit 2011 die Forschung und Entwicklung im Bereich intelligenter Mobilitätsdienste und besitzt hierzu Infrastruktur im Straßennetz der niedersächsischen Stadt Braunschweig sowie ausgewählter umliegender Regionen, spezielle Teststrecken sowie ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Simulation und Beeinflussung großräumiger Aspekte von Verkehr und Mobilität (zum Beispiel Verkehrsflüsse) wie auch mikroskopischer (zum Beispiel Fahr- beziehungsweise Fahrerverhalten). Inzwischen existieren verschiedene weitere Testfelder im Bundesgebiet (siehe Abbildung 5.2). Hervorzuheben sind das Digitale Testfeld Autobahn (A9) und die Testfelder in Berlin (SAFARI | Diginet-PS), Dresden, Düsseldorf, Frankfurt (insbesondere DRIVE-Testfeld), Friedrichshafen, Hamburg, Ingolstadt, Karlsruhe, Kassel, Merzig (verbunden mit dem trilateralen Testfeld Deutschland-Frankreich-Luxemburg) sowie München. Darüber hinaus gibt es Testfeldaktivitäten in weiteren Regionen, zum Beispiel in Aachen.³⁴

33 | Vgl. Köster/Frankiewicz 2012.

34 | Vgl. BMWI 2018d.



5.2 Übersicht nationaler Testfelder (Quelle: eigene Darstellung)

Funktionale Sicherheit und Security

Prozesse der funktionalen Sicherheit werden traditionell in die Bereiche der Betriebssicherheit (Gewährleistung von Sicherheit für Nutzende und Umgebung, englisch „Safety“) und der Angriffssicherheit (Schutz vor Missbrauch des Systems und seiner Daten durch Dritte, englisch „Security“) getrennt. Diese Unterscheidung kann im Bereich vernetzter automatisierter Fahrzeuge allerdings nicht durchgängig aufrechterhalten werden, da einerseits Angriffe auf die IT-Infrastruktur unmittelbare Auswirkungen auf die Dynamik der vernetzten Fahrzeugflotte und somit auf deren Betriebssicherheit entfalten können, andererseits primär der Betriebssicherheit dienende Mechanismen der Fehlererkennung und -toleranz auch maskierende Wirkung auf physische Konsequenzen von Angriffen auf die IT-Infrastruktur besitzen. Einer integrierten Betrachtung von Safety und Security, wie sie in den Standards der ISO 26262 („Road Vehicles – Functional Safety“) und SOTIF/ISO/PAS 21448 („Safety Of The Intended Functionality“) bislang nur unzureichend angelegt ist, kommt deshalb zunehmend Bedeutung zu.

Die wachsende Diversität von möglichen Einfallstoren für Angriffe auf Fahrzeuginfrastrukturen muss dabei Berücksichtigung finden. Einfallstore für Angriffe sind neben existierenden drahtlosen Netzwerkschnittstellen, insbesondere im Infotainment-Subsystem (primär Bluetooth und 4G), Technologien für Over-the-Air-Updates, Car2X-Netzwerke und durch Sensoren exponierte Systemschnittstellen mit spezifischen Angriffsmechanismen (beispielsweise können Aufkleber auf Verkehrsschildern die Wahrnehmung behindern). Ein weiteres Einfallstor könnten möglicherweise manipulierbare Mechanismen maschinellen Lernens sein. Um diese Angriffe und Risiken sicher abwehren zu können, sollten entsprechende Forschungsaktivitäten eine weitere Förderung erfahren.

Funktionale Sicherheit bei lernenden Systemen

Für höhere Level des automatisierten Fahrens ist zu erwarten, dass die beschriebenen Probleme nicht mehr allein mittels regelbasierter Software gelöst werden können, wie es bis jetzt bei sicherheitsrelevanten Funktionen realisiert wird, sondern dass auf Techniken aus dem Bereich der KI, zum Beispiel das maschinelle Lernen, zurückgegriffen werden muss. Derartige Komponenten bieten erhebliche Chancen für die Verbesserung der Situationsangemessenheit, die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit automatisierter Fahrzeuge, indem sie beispielsweise mittels Big-Data-Techniken die Zuverlässigkeit von Situationsanalysen und die Genauigkeit von Verhaltensvorhersagen deutlich steigern.

Die Handhabung dieser lernenden beziehungsweise angelernten Algorithmen stellt ein neues Paradigma in der Funktionsentwicklung dar, dessen Anforderungen und Auswirkungen überdacht werden müssen. Themen sind unter anderem die technische Umsetzung und Einhaltung ethischer Rahmenbedingungen, der Datenschutz und die Qualität der benötigten massenweisen Erhebung von Realdaten für Trainings- und Testzwecke sowie die Nachvollziehbarkeit algorithmenbasierter Entscheidungsfindung.

Die steigende Komplexität, diese lernenden beziehungsweise angelernten Algorithmen zu handhaben und ihre Integrität hinsichtlich funktionaler Sicherheit zu gewährleisten, ist mit einem einzelnen Prüfdurchgang bis zur Markteinführung in der nötigen Tiefe bereits heute schwierig bis gar nicht mehr zu gewährleisten. Dies ist unter anderem damit zu begründen, dass bei Tests eines Fahrzeugs nur schwer auf einzelne sicherheitsrelevante Funktionen und Fahrzeugkomponenten zugegriffen werden, um diese im Detail zu testen. Spätestens für sicherheitsrelevante Funktionen wie die Fußgängererkennung wird recht schnell klar, dass mögliche Alternativen zum bisherigen Vorgehen diskutiert werden müssen.

Die korrekte Einhaltung der sicherheitskritischen Eigenschaften sowie ihre unabhängige Bestätigung sind Teil der allgemeinen Qualität des Produkts. Schon die Art und Weise der Durchführung des Entwicklungsprozesses und der dazugehörigen Dokumentation etabliert dieses Qualitätskriterium. Auch für den Funktionsentwurf mit lernenden oder angelernten Verfahren müssen entlang eines definierten Entwicklungszyklus Methoden des sogenannten Requirements Engineering erarbeitet werden, wie sie in vielen Domänen, der Luftfahrt, der Medizintechnik, aber auch dem Automobilbau, bereits etabliert sind.

Hinsichtlich des Lernverhaltens der Komponenten sind hierbei die folgenden Varianten des Lernens im Produktlebenszyklus zu unterscheiden: „Offline Learning“ (oder „Ex-situ-Lernen“) beschreibt die Eigenschaft eines KI-Algorithmus, ausschließlich innerhalb einer definierten, der Betriebsphase vorgelagerten Trainingsphase die Funktion des Algorithmus zu ändern. In der späteren Betriebsphase (zum Beispiel beim Betrieb im Straßenverkehr) ändert sich die Funktion der Komponente nicht, womit Absicherung wesentlich in der Entwicklungsphase stattfinden kann. „Iterative Learning“ (oder „zyklisches Lernen“) weicht dies auf, indem ein im Betrieb stationärer KI-Algorithmus während des Betriebs im Hintergrund Informationen erfasst, die zu einem definierten Zeitpunkt zu einer erneuten Offline-Lern-Iteration genutzt werden können. Nach einer solchen Iteration kann der Algorithmus erneut evaluiert werden und die Änderungen als



Update wieder auf die Systeme im Feld eingespielt werden. „Online Learning“ (oder „In-situ-Lernen“) schließlich erlaubt, die Funktion auch in der Betriebsphase durch weiteres Lernen verändern zu können. Dieses Verhalten bedingt, dass eine Evaluation nach den heute üblichen Methoden ihre Gültigkeit durch die nachfolgende Funktionsänderung verliert.

Zusammenfassend ergibt sich, dass Forschung und Entwicklung zu Methoden der Absicherung von KI-Komponenten bezüglich funktionaler wie nicht funktionaler Eigenschaften erst am Anfang stehen. Substanzielle Investitionen in Forschung und Entwicklung dieser Methoden und ihrer Absicherung sind

notwendig, damit KI-basierte Technologien mittels einer stringenten Sicherheitsklassifikation in verantwortbarer Form Eingang in sicherheitskritische Anwendungen wie das automatisierte und vernetzte Fahren erhalten können.

Dies gilt umso mehr, als die gesellschaftliche Akzeptanz dieser Schlüsseltechnologie durch oftmals unklare beziehungsweise undifferenzierte Begrifflichkeiten und Beschreibungen bedroht ist. Diesen Tendenzen sollten insbesondere Wissenschaft und Politik durch eine klare und nachvollziehbare Beschreibung von Funktionalitäten, Chancen und Risiken spezifischer Methoden der KI in konkreten Anwendungsfällen begegnen.

6 Intelligente Verkehrssteuerung

In deutschen Großstädten verlieren Autofahrerinnen und Autofahrer im Jahr durchschnittlich zwischen 100 und 150 Stunden in Staus.³⁵ Der Verkehr in den Städten ist Studien zufolge für rund sechzig Prozent der Emissionen von Stickoxiden verantwortlich.³⁶ Es wird geschätzt, dass ein Fünftel des öffentlichen Raums in Großstädten praktisch als Parkplatz dient – für Fahrzeuge, die im Schnitt 23 Stunden am Tag ungenutzt herumstehen.³⁷ Dieses Bild könnte sich in Zukunft weiter zuspitzen, wenn durch die steigende Einwohnerzahl in den Großstädten auch die Anzahl der Pkw und die mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer zunehmen werden – laut Prognose des BMVI bis 2030 um zehn Prozent.³⁸

Ein Baustein des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs ist die intelligente Verkehrssteuerung. Sie kann diese Situation entscheidend entschärfen. Wenn ein Auto heute bei der Fahrt beispielsweise durch die Berliner City meist nicht schneller als mit 18 Stundenkilometern³⁹ vorankommt, so ließe sich die Durchschnittsgeschwindigkeit mit einer intelligenten Verkehrssteuerung bei sonst gleichen Rahmenbedingungen um knapp 30 Prozent erhöhen.⁴⁰ Gleichzeitig verringerten sich die Emissionen von Feinstaub, Stickoxiden und CO₂ um bis zu 15 Prozent.⁴¹ Auch der Verkehr, der durch das Parkplatzsuchen entsteht, ließe sich signifikant reduzieren. Dies jedenfalls legen

Erfahrungen in Städten wie Singapur oder Stockholm nahe, die mit Systemen intelligenter Verkehrssteuerung bereits erfolgreich experimentiert haben.

Ermöglicht wird die effizientere Steuerung des Verkehrs durch die Digitalisierung der Infrastruktur, durch Sensoren, die in Echtzeit Daten erheben, durch selbstlernende Systeme, die Routen kalkulieren, sowie durch Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer, die in Echtzeit miteinander und mit der Infrastruktur kommunizieren. Neben den technologischen Voraussetzungen ist eine weitere Bedingung für die Einführung einer intelligenten Verkehrssteuerung, dass einer integrierenden Instanz das Mandat erteilt wird, den urbanen Verkehr nach Gesichtspunkten des Gemeinwohls zu optimieren. Diese Instanzen könnten idealerweise die Kommunen sein. Auch Mobilitätsanbieter, Hersteller von Infrastruktur oder Unternehmen anderer Branchen wären in der Lage, den Verkehr datenbasiert zu steuern. Dann sind jedoch die betrieblichen Interessen der jeweiligen Unternehmen mit den Interessen der Kommunen sowie denen der Bürgerinnen und Bürger in Einklang zu bringen.

Damit Kommunen in den Stand gesetzt werden, intelligente Verkehrssteuerung zu betreiben, müsste zunächst die nötige technologische Infrastruktur aufgebaut werden. Eine andere Herausforderung besteht darin, Verkehrsteilnehmende dazu zu bewegen, den von der Verkehrssteuerung erteilten Routenempfehlungen auch Folge zu leisten. Dies kann durch Anreize wie die Preisung von Straßennutzung herbeigeführt werden oder im Fall von automatisierten Fahrzeugen dadurch, dass die Steuerung quasi an die Verkehrsleitstelle abgegeben wird.

35 | Vgl. INRIX 2019.

36 | Vgl. Schader 2017.

37 | Vgl. Rohwetter 2019.

38 | Vgl. BMVI 2014.

39 | Vgl. INRIX 2019.

40 | Vgl. US DOT FHWA 2017.

41 | Vgl. Croci 2016.



Status quo heute	2030 +
Lokale Umfelderkennung mithilfe von Ampeln	Zusätzliche Umfelderkennung durch mit Sensoren ausgestattete Fahrzeuge und straßenseitige Infrastrukturen
Optimierung durch Verkehrsrechenzentrum und manuelle Steuerung (zum Beispiel das Schalten einer grünen Welle) ⁴²	Lokale Optimierung mit intelligenten Ampeln unter Berücksichtigung der Gesamtverkehrslage
Kommunikation Verkehrsrechenzentrum zu Ampel	Zusätzliche Kommunikation Verkehrsrechenzentrum zu Fahrzeug (Routenempfehlungen) ⁴³
Kommunikation Fahrzeug zu Ampel (zur Grünschaltung von Ampeln zum Beispiel für den ÖPNV) ^{44, 45}	Zusätzliche Kommunikation Ampel zu Fahrzeug ^{46, 47} , inklusive dezentraler Datenverarbeitung
Planungsgrundlage: statische Karten	Planungsgrundlage: dynamische Karten (digitaler Zwilling) mit Vorausschau
Regelbasierte Steuerung	Prognosebasierte Steuerung (mit Methoden der KI)
Fahrzeuge mit statischem Fahrplan und fester Route (zum Beispiel Busse)	Bedarfsgerechte Fahrzeuge mit algorithmischer Steuerung unter Einsatz von Routenoptimierung
Individuelle Parkplatzsuche	Digitale Verwaltung freier Parkplätze und vollautomatisiertes Einparken
Parkraumbewirtschaftung	Straßen- und Mobilitätsbepreiung

Tabelle 1 Intelligente Verkehrssteuerung (Quelle: eigene Darstellung)

6.1 Prognosebasierte Mehrebenen-Steuerung

Die heute im Verkehrsmanagement etablierten Methoden basieren vorrangig auf einem statischen, regelbasierten Ansatz: Dieser reagiert auf Veränderungen der Nachfrage, indem das Angebot kontinuierlich optimiert wird. Zukünftig wird jedoch durch den Einsatz von infrastrukturbasierter Sensorik sowie der Sensorik der automatisierten und vernetzten Fahrzeuge und anderer vernetzter Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer die Menge an verwertbaren Echtzeit-Verkehrsinformationen signifikant steigen. Die Verkehrslage kann durch sehr viele verteilte Sensoren und Teilsysteme hochgenau erfasst werden. Zusätzlich erlaubt diese Erfassung, lokale Vorkommnisse zu klassifizieren und ihre Auswirkungen auf die Verkehrslage simulationsbasiert vorherzusagen. Auf dieser Basis wird durch verschiedene Optimierungsansätze die Effizienz des Verkehrsablaufs wesentlich verbessert, insbesondere in dicht besiedelten, urbanen Bereichen. Vor allem wird das Verkehrsmanagement auf diese Weise an die tatsächliche Verkehrsnachfrage angepasst, sodass auch verkehrliche Sondersituationen, zum Beispiel bei Großereignissen oder Vollsperrungen, besser bewältigt werden können.

Stärker als bisher werden im Zuge der intelligenten Verkehrssteuerung Ampelanlagen lokal optimiert. Bereits wenn jede

Kreuzung für sich die Grünphasen so einrichtet, dass möglichst wenige Fahrzeuge warten müssen, sind die Effekte für die gesamte Verkehrssituation meist günstiger, als sich dies auf dem Wege einer Top-down-Steuerung erreichen lässt. Bei hohen Verkehrsaufkommen jedoch stößt die lokale Steuerung an ihre Grenzen: Sie kann nicht erkennen, wo ein großflächiger Verkehrsinfarkt droht. Diese Gefahr zu erfassen, ist Aufgabe einer netzweiten, zentralen Steuerungsebene. Für einen optimal und resilient gesteuerten Verkehr ist deshalb die passgenaue Zusammenarbeit zwischen der lokalen, dezentralen Steuerung und den netzweiten, zentralen Steuerungsansätzen entscheidend.

Zukünftig berücksichtigt eine Mehrebenen-Verkehrssteuerung insgesamt mindestens drei Ebenen: Neben netzweiter und lokaler Steuerung werden auch auf der individuellen Ebene die kooperativen Fähigkeiten einzelner vernetzter und möglicherweise automatisierter Verkehrsteilnehmer berücksichtigt. Jede Ebene kann die anderen über bewertete Optionen informieren oder Randbedingungen für Entscheidungsspielräume setzen.

Durch die passgenaue Verschränkung von lokaler und netzweiter Steuerung werden unter anderem auch die Fahrtabläufe von Rettungswagen, öffentlichen Verkehrsmitteln oder Lieferrobotern gezielt optimiert. Routenempfehlungen, koordinierte Eingriffe in Kreuzungssteuerungen und individuelle Informationen oder Anweisungen an kooperative Fahrzeuge in der direkten Umgebung

42 | Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz o. J.

43 | Vgl. BMVI 2018b.

44 | Vgl. Siemens AG 2014.

45 | Vgl. Siemens Mobility GmbH o. J.

46 | Vgl. DLR 2016.

47 | Vgl. Ritter 2017.

werden entsprechend koordiniert genutzt. Auch weitergehende dynamische, ökonomische Steuerungsmechanismen, wie die temporäre Anpassung von Geschwindigkeitsbeschränkungen oder die Erweiterung der Anzahl von Fahrstreifen pro Richtung, können als Teil einer ganzheitlichen Steuerungsstrategie eingesetzt werden.

Zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Straßenverkehr werden selbstlernende Systeme entwickelt, die mithilfe statistischer Methoden und Deep-Learning-Ansätzen große Datenmengen auswerten, um Einflussfaktoren auf Unfallschwerpunkte zu identifizieren. Resultierende Informationen fließen wiederum in die Kreuzungssteuerung ein. Auf diese Weise können Unfälle und gefährliche Situationen bereits im Vorfeld verhindert werden.

On-street- und Off-street-Parken

Neuartige KI-basierte Systeme erfassen und kartografieren Parkplätze in Straßenseitenlage.⁴⁸ Parkplatzbeschilderungen beziehungsweise Parkverbotsschilder werden automatisiert erkannt, verortet und in digitale Geoinformationssysteme (GIS) überführt. Daten über aktuell verfügbare Parkplätze in Straßenseitenlage („On-street-Parken“) werden in Zukunft in vielen Städten leichter zugänglich sein und das Angebot vieler Mobilitätsdienstleister ergänzen. Ebenfalls wichtiger Bestandteil städtischer Verkehrsplanung wird ein erweitertes Parkraummanagement sein, das auch die mögliche dynamische Nutzung von Parkflächen oder Abschnitten des Straßenrands als Bedarfshaltestellen berücksichtigt.

Einsparpotenziale an Parkflächen im öffentlichen Raum durch die gemeinschaftliche Nutzung von Autos wurden eindrucksvoll am Beispiel von Singapur und Stuttgart belegt. Durch selbstfahrende Autos, die ihre Passagiere abliefern, bevor sie einen Parkplatz ansteuern oder eine weitere Fahrt für andere Fahrgäste unternehmen, können 70 bis 90 Prozent der Fahrzeuge und Parkplätze eingespart werden.^{49, 50}

Weiteres Einsparpotenzial bieten automatisierte Lösungen für das sogenannte Off-street-Parken in Parkhäusern oder auf abgeschlossenen Flächen in halböffentlichen Bereichen. Fahrerlose Systeme wie das sogenannte Automated Valet Parking (AVP) erledigen zukünftig mittels vernetzter Technik und kooperativer

Fahrfunktionen sowohl die lästige Parkplatzsuche als auch den Parkvorgang selbst. Das spart nicht nur Zeit und schont die Nerven, sondern verdichtet auch das vorhandene Angebot an verfügbaren Parkplätzen. Beim AVP bewegen sich die Fahrzeuge selbstständig auf den ihnen zugewiesenen Stellplatz. Der Vorgang wird unterstützt von Sensoren im Parkhaus, die den Fahrkorridor und dessen Umfeld kontrollieren und das Fahrzeug mit zusätzlichen Informationen versorgen. Grundvoraussetzung für AVP sind äußerst zuverlässige, hochauflösende Karten. Damit können sowohl ganze Stockwerke, inklusive etwaiger Hindernisse, dargestellt als auch befahrbare von nicht befahrbaren Flächen unterschieden werden. Die automatisierten Fahrzeuge können sich somit sicher und schnell im Parkhaus orientieren. Detaillierte und robuste Umfeldinformationen sind entscheidend für die Sicherheit des automatisierten Parkens. Sämtliche Daten und Informationen der Fahrzeug- und Infrastruktur-Sensorik sowie der hochauflösenden Karten fließen in einer Zentrale beziehungsweise in einem Control Hub zusammen.⁵¹ Dort werden sie ausgewertet und in konkrete Anweisungen für das zu parkende automatisierte Fahrzeug umgewandelt. Ein Control Hub im Parkhaus ist vergleichbar mit der Verkehrsmanagementzentrale einer Stadt, in der alle Fäden zusammenlaufen. Als offene Plattform und Unterzentrale entworfen, lässt sich der Control Hub unkompliziert in bestehende städtische Systeme integrieren und in übergeordnete Managementstrategien einbinden.

Verkehrssteuerung für ÖV-Shuttles

Auch beim Betrieb von automatisierten Taxis („Robo-Cabs“) oder ÖV-Shuttles sind Daten und daraus gelernte Modelle nötig, um Fahrten zu vermitteln. Ein Mobilitätsauftrag sollte anhand folgender Kriterien an Taxis vergeben werden: Fairness gegenüber der Konkurrenz, Effizienz bei den Kosten pro Kunde und Umweltfreundlichkeit durch möglichst wenig gefahrene Kilometer. Auch hierzu gibt es bereits hervorragende datengestützte Methoden.⁵²

Besonders effizient ist das sogenannte Ridepooling. Hier nimmt ein Taxi oder ÖV-Shuttle während der Fahrt weitere Fahrgäste auf und passt ständig die Route den Wünschen der verschiedenen Fahrgäste an. Falls Fahrgäste durch Umwege verlängerte Fahrzeiten in Kauf nehmen müssen, verringert sich der Fahrtpreis.

48 | www.aipark.io.

49 | Vgl. Kondor et al. 2018.

50 | Vgl. Friedrich/Hartl 2016.

51 | www.promotives.de.

52 | Vgl. Kaggle Inc. 2015.



6.2 Virtuelles Abbild der realen Lage – digitaler Zwilling

Für automatisierte Fahrzeuge stellt das funktionssichere Erkennen von Hindernissen und von Abweichungen der Verkehrsinfrastruktur vom Standardzustand eine der größten Herausforderungen dar. Als Lösungsansatz kommt insbesondere die Bereitstellung eines laufend aktualisierten digitalen Abbilds der Realität in Frage. Ein solcher sogenannter digitaler Zwilling der realen Umwelt wird technisch durch eine hochgenaue, geschichtete digitale Referenzkarte mit temporären Merkmalen umgesetzt. Diese Karte ermöglicht die Lokalisierung der Fahrzeuge, relevanter Einrichtungen der Infrastruktur sowie der darauf befindlichen Störungen im Ablauf. Zugleich hat sie das Potenzial, aktuelle Situationen oder Ereignisse weit über die Reichweite fahrzeugeigener Sensoren hinaus verfügbar zu machen und so den Horizont der Umfelderkennung deutlich zu vergrößern. Infrastruktureitige Randbedingungen stehen damit für die Fahrzeugsteuerung zur Verfügung.

Die Informationen, die zur Erstellung der digitalen Referenzkarte notwendig sind, kommen aus vielen unterschiedlichen Quellen. Digitales Kartenmaterial von Vermessungs- und Katasterämtern bildet zusammen mit digitalen Karten privater Anbieter die Basis. Periodisch wird die Karte durch Daten aktualisiert, die Fahrzeugsensoren generieren, sowie durch Nutzerrückmeldungen. Hierzu werden im Straßennetz verteilte Fahrzeuge (ÖV-Shuttles wie Privatfahrzeuge) mit geeigneter Sensorik ausgestattet sein, wie Kamera, Lidar, Radar und GNSS. Informationen zur Verkehrsregelung liefern Straßenverkehrsbehörden und Verkehrsmanagement- oder Verkehrssteuerungszentralen. Hinzu kommen Bewegungsdaten aus Mobilfunkendgeräten sowie Messdaten der Straßeninfrastrukturbetreiber. Auch Drohnen könnten standardmäßig oder in Ausnahmefällen zur Gewinnung von Verkehrsdaten eingesetzt werden.

Die Vielzahl der an der Erzeugung einer digitalen Referenzkarte beteiligten heterogenen Quellen macht die Herausforderung deutlich, die notwendigen Informationen verlässlich und mit ausreichender Funktionssicherheit zu den Verkehrsteilnehmenden zu bringen. Hier gilt es, einen organisatorisch-technischen Rahmen zu schaffen, um die Prozesse zur Bereitstellung des digitalen Zwillings dauerhaft zu etablieren. Da automatisierte und vernetzte Mobilität nicht an Ländergrenzen Halt macht, ist dieser Rahmen darüber hinaus nicht national, sondern vielmehr international – mindestens aber europäisch⁵³ – zu denken.

KI-basierte Verkehrsprognose mit Daten einer städtischen Infrastruktur

Die EU-Forschungsprojekte Intelligent Synthesis and Real-time Response using Massive Streaming of Heterogeneous Data (INSIGHT)⁵⁴ und Variety, Veracity, VaLue: Handling the Multiplicity of Urban Sensors (VaVel)⁵⁵ haben in enger Zusammenarbeit mit den Städten Dublin und Warschau die Verkehrslenkung anhand von datengestützter Prognose untersucht. Die in den Projekten genutzte Dateninfrastruktur sorgt einerseits dafür, die städtische Verkehrsleitzentrale in ihren Aufgaben zu unterstützen, andererseits werden die Daten dazu verwendet, den Verkehrsteilnehmenden gute Verbindungen zu empfehlen. Bei dem Dubliner Projekt INSIGHT kamen dabei unter anderem Daten zum Einsatz, die den Verkehrsfluss an Straßenabschnitten (Kreuzungen) angeben, GPS-Daten und Fahrpläne der Busse sowie Kameras, die bestimmte Streckenabschnitte des Straßennetzes überwachen.⁵⁶ Zusätzlich wurden Meldungen von Twitter sowie Radioverkehrsmeldungen und Meldungen von Anruferinnen und Anrufern in das System eingespeist.

Die Daten wurden so aufbereitet, dass aus ihnen für jeden Wochentag Prognosen im Halbstundentakt abgeleitet werden konnten. Das mit Methoden des maschinellen Lernens generierte Modell gibt nicht einfach für bestimmte Tage und Uhrzeiten die erwartete Verkehrsdichte an, sondern kann auf Basis der aktuellen Zustände an bestimmten Kreuzungen Rückschlüsse auf die übrigen Kreuzungen ziehen.⁵⁷ Die Prognose wird dann für eine Busroutenempfehlung mit möglichst wenig Stau genutzt.

Die Integration der aufbereiteten Datenquellen erfolgt bei Bedarf durch einen „Runden Tisch“ für bestimmte Anomalien oder Ereignisse. So kann beispielsweise aus dem Fahrtverlauf eines Busses eine Verspätung gegenüber dem Fahrplan erkannt und ein Runder Tisch dazu aufgerufen werden. Dieser verbindet dann die Busverspätung mit anderen Ereignissen, wie Staus auf bestimmten Strecken, die durch die Datenanalyse prognostiziert wurden, oder Twitter-Nachrichten zu bestimmten Ereignissen, etwa einem Unfall auf einem Streckenabschnitt. Eine Architektur aus einzelnen Datenquellen, die lokal analysiert werden, sogenannten lokalen Informationssensoragenten (ISA),

53 | Vgl. Reichhardt 2019.

54 | Vgl. Europäische Kommission CORDIS 2017a.

55 | Vgl. Europäische Kommission CORDIS 2017b.

56 | Vgl. Roads and Maritime Services o. J.

57 | Vgl. Piatkowski et al. 2013.

und einem Runden Tisch für die globale Integration der Informationen ist allgemein für die Verkehrsdateninfrastruktur geeignet.^{58,59}

Bei dem Warschauer Projekt VaVel wurden zusätzlich zu den Bussen auch Straßenbahnen und Leihfahräder überwacht. Eine App für private Verkehrsteilnehmende gibt aktuelle Routenempfehlungen aus, die der Verkehrslage angepasst sind und Staus auf Umleitungsstrecken vermeiden.^{60,61}

6.3 Ökonomische Steuerungsmechanismen

Stärker noch als Routenempfehlungen kann in der Verkehrssteuerung ein finanzielles Anreizsystem wirken, das die individuellen Verkehrsteilnehmenden in ihrem Verhalten beeinflusst. Ein dynamisches Preissystem in Kombination mit einer strategischen Netzsteuerung könnte generell die Nachfrage steuern und die Verkehrsinfrastruktur unter den verschiedenen Verkehrsträgern oder Zwecken aufteilen.⁶² Ein Ziel dabei ist insbesondere die Vermeidung von Staus. Denn während sich bei dichtem Verkehr zwar die individuellen Fahrzeiten verlängern, dabei aber immer noch viele Fahrzeuge die Strecke passieren, sinkt beim Stau die Anzahl der Fahrzeuge, die pro Stunde eine Strecke passieren. Das Gesamtsystem büßt somit an Effizienz ein. Finanzielle Anreizsysteme zur Verkehrssteuerung haben deshalb unter anderem dafür zu sorgen, dass die Anzahl der Fahrzeuge auf den Straßen unter der Stauschwelle bleibt. Gleichzeitig wird damit für individuelle Verkehrsteilnehmende die Fahrzeit, insbesondere zu Stoßzeiten, besser kalkulierbar, sodass weniger Pufferzeit einberechnet werden muss.

Heutzutage ist die Nutzung von Straßen und Parkraum nicht angemessen bepreist.⁶³ Ein erster Schritt in diese Richtung sind strecken- oder flächenbezogene Straßennutzungsgebühren („Road Pricing“, auch bekannt als „Congestion Charge“). Gerade in den USA und in Ostasien sind solche Gebühren seit

Jahrzehnten fester Bestandteil der Verkehrspolitik und -planung. Neben einer seit Langem eingeführten Autobahngebühr wurden in Singapur und in Norwegen Konzepte für städtisches Road Pricing realisiert. Ziel von Road Pricing ist sowohl die Finanzierung von Infrastrukturvorhaben als auch die Verkehrslenkung. Straßennutzungsgebühren richten sich meist nach dem Verkehrsaufkommen und ändern sich entweder räumlich (stark frequentierte Verbindungen sind teurer) oder zeitlich (zu Stoßzeiten liegen die Gebühren höher). Die unterschiedlichen Preise für die Straßennutzung bewirken eine bessere Raum-Zeit-Verteilung der Verkehrsströme und stimulieren das Umsteigen auf alternative Verkehrsmittel, zum Beispiel den ÖPNV oder das Fahrrad.

Ein bekanntes Beispiel für eine einfache Variante des Road Pricing ist die Innenstadtmaut, die Pkw-Nutzerinnen und -nutzer im Zentrum von London entrichten müssen.⁶⁴ Rund 136.000 Menschen leben in der Mautzone. Nach Einführung der Maut reduzierte sich die Anzahl der in das Gebiet einfahrenden Fahrzeuge um 14 Prozent. Gleichzeitig wurde die Zahl der Busse und Taxis im Mautbereich um 31 Prozent erhöht. Die Zahl blieb bis heute konstant.⁶⁵

Damit die Einführung einer Straßennutzungsgebühr nicht an der mangelnden Akzeptanz der Bevölkerung scheitert, müssen attraktive alternative Mobilitätsangebote zur Verfügung stehen. Die Maßnahme muss so gestaltet sein, dass die positiven Effekte der Verkehrsverminderung und Verbesserung von Luft- und Lebensqualität möglichst breiten Teilen der Bevölkerung zugutekommen.⁶⁶ Akzeptanz scheitert oft daran, dass betroffene Bürgerinnen und Bürger den persönlichen Nutzen, der ihnen durch Straßengebühren entstehen würde, im Voraus nicht gut erkennen können. In Stockholm wurden deshalb Straßennutzungsgebühren zunächst für eine sechsmonatige Testphase eingeführt. Nach der Testphase stimmten die Bürgerinnen und Bürger angesichts einer Verringerung des Verkehrsaufkommens um 20 Prozent und einer Reduzierung von Staus um 30 bis 50 Prozent in einem Volksentscheid für die Beibehaltung der Gebühren.⁶⁷ Während vor der Einführung 70 Prozent der Bevölkerung gegen die Maut waren, sind heute 70 Prozent dafür.

Ein ernst zu nehmendes Bedenken ist, dass sich durch Straßennutzungsgebühren für einkommensschwächere Haushalte der

58 | Vgl. Europäische Kommission CORDIS 2017a: Deliverable 2.3 des Projekts INSIGHT.

59 | Vgl. Roads and Maritime Services o. J.

60 | Vgl. Liebig et al. 2017.

61 | Vgl. Liebig/Sotzny 2017.

62 | Vgl. Cramton et al. 2019, die in ihrem 2018 in „Nature“ erschienenen Aufsatz beschreiben, wie Märkte für Straßengebühren designed werden könnten.

63 | Vgl. RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung 2019.

64 | Vgl. Finke 2017.

65 | Vgl. Transport for London 2008.

66 | Vgl. Sammer 2012.

67 | Vgl. Eliasson 2014.



Zugang zu Mobilität erschweren könnte. Befürworter des Gebührenmodells halten dem entgegen, dass gerade Angehörige einkommensschwacher Haushalte oft besser in der Lage sind, auf weniger nachgefragte Verkehrszeiten oder Routen auszuweichen und in diesen Zeiten dann wirtschaftlicher unterwegs sein können als unter dem Status quo. Darüber hinaus könnten Einnahmen, die durch Straßennutzungsgebühren erlangt werden, gezielt dafür eingesetzt werden, den ÖPNV zu verbessern oder preiswerter zu gestalten. Einkommensschwächere Personen können gezielt durch günstige ÖPNV-Tickets gefördert werden. Eine Straßennutzungsgebühr ist als Lösung gegen die Überlastung der Verkehrsinfrastruktur überdies sozial ausgewogener als Fahrverbote.⁶⁸

Eine Erweiterung zum Road Pricing stellt das sogenannte Mobility Pricing dar. Mobility Pricing ist ein verkehrsübergreifendes Konzept. Es umfasst sowohl die Straße als auch den ÖPNV. In der Schweiz beispielsweise soll Mobility Pricing in einem Pilotversuch eingesetzt werden, um durch örtlich und zeitlich differenzierte Preise eine gleichmäßigere Auslastung nicht nur der Straßen, sondern auch von Zügen zu erreichen.⁶⁹ Durch die Einbeziehung des ÖPNV eröffnet Mobility Pricing Gemeinden und Städten Möglichkeiten, gezielt regionale Lösungen im Zusammenspiel mit Schulen, Universitäten und größeren Unternehmen zu finden. Mit Mobility Pricing können weitere Maßnahmen kombiniert werden, wie beispielsweise flexible Arbeitszeitmodelle, Telearbeit, die zeitliche Verschiebung von Unterrichtszeiten, Ridepooling oder ÖPNV-Gutscheine.

Auch für Deutschland bietet sich Mobility Pricing an, um die Gesamtkosten des Verkehrs zu senken, indem Übermobilität gedämpft und Kapazitäten besser genutzt werden. Ein weiterer Ausbau der Straßenverkehrsinfrastruktur kann so oft vermieden werden.⁷⁰

6.4 Verkehrsdaten

Im Straßenverkehr fallen sehr viele Daten an, die ein hohes Potenzial für weitere Nutzung haben. Dies können Bewegungs- und Verkehrsdaten sein, Informationen zum öffentlichen Personennahverkehr, von privaten Mobilitätsanbietern, Wetterdaten oder Daten zur Feinstaubbelastung in bestimmten Straßen. Relevante Daten liegen sowohl bei den Kommunen als auch bei privaten Unternehmen und individuellen Nutzerinnen

und Nutzern. Denkbare Nutzungsszenarien gibt es entsprechend zahlreich. Im Sinne des Zielbilds liegt der Fokus hier auf der Nutzung von Verkehrsdaten für gesellschaftliche Ziele wie der Verkehrssicherheit und einer intelligenten Verkehrssteuerung (siehe Abschnitte 5.1 und 5.3). Diese Datennutzung wird in den folgenden Abschnitten diskutiert. Anschließend werden Anforderungen bezüglich der Datenverwaltung und Dateninfrastruktur thematisiert sowie Optionen im Bereich „offener“ Plattformen und der Nutzung von Verkehrsdaten für kommerzielle Mehrwertdienste.

Daten und Datenquellen

Die für eine intelligente Verkehrssteuerung wichtigsten Daten betreffen Informationen zur Mobilitätsnachfrage, zum Mobilitätsangebot sowie zur Verkehrslage.

All diese Daten lassen sich in verschiedenen Detaillierungsgraden erheben und einteilen – von makroskopisch, beispielsweise für den aktuellen Verkehrsfluss zwischen Stadtteilen oder die Nachfrage für ein bestimmtes Verkehrsmittel, bis mikroskopisch, beispielsweise für die Positionen von Einzelfahrzeugen oder Reisewünsche einzelner Verkehrsteilnehmer. Dabei können mikroskopisch vorliegende Daten in der Regel zu makroskopischen Informationen aggregiert und spätestens durch diesen Verarbeitungsschritt anonymisiert werden.

Nutzbar sind zahlreiche Arten von Datenquellen, wie Fahrpläne und Baustellenpläne, Verkehrserhebungen, infrastrukturbasiert erhobene Daten, fahrzeugbasiert erhobene Daten sowie von Einzelpersonen zur Verfügung gestellte Daten („Crowdsourcing“).

Fahrpläne aus dem öffentlichen Verkehr beziehungsweise von Mobilitätsanbietern dienen als Quelle für das Mobilitätsangebot über einen bestimmten Erhebungszeitraum. Ebenso relevant sind Pläne für Baustellen oder andere bauliche Maßnahmen im Verkehr, die Einfluss auf die Verkehrslage und das mögliche Mobilitätsangebot haben.

Klassische Erhebungsmethoden wie Verkehrszählungen, Fahrgastbefragungen im Verkehrsnetz oder Mobilitätsstudien generieren Informationen zur Mobilitätsnachfrage und schaffen einen Abgleich aus Angebot und Nachfrage. Auch soziografische Daten werden hier häufig berücksichtigt.

68 | Vgl. RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung 2019.

69 | Vgl. Bundesamt für Strassen ASTRA 2017.

70 | Vgl. Roth 2009.

Infrastrukturbasiert erhobene Daten spielen aktuell eine wesentliche Rolle für die Erfassung der aktuellen Verkehrslage. Im Bereich des Schienenverkehrs werden beispielsweise Positionen von Zügen über Informationspunkte, sogenannte Balisen, erfasst. Die unter anderem in London zur Anwendung kommende SCOOT-Technik⁷¹ (Split Cycle Offset Optimization Technique) ermöglicht beispielsweise über Sensorik wie Induktionsschleifen oder Stausensoren an den Autobahnbrücken Fahrzeuge auf der Straße zu erkennen. Bei SCOOT werden zusätzlich Fußgänger mittels spezieller Sensorik berücksichtigt. Induktionsschleifen kommen auch für Fahrradzählungen oder zur Erfassung von Jahresfahrleistungen zum Einsatz sowie bei der Ableitung täglicher Verkehrsstärken und bei Entscheidungen über verkehrs- und bautechnische Maßnahmen.⁷² Auch an Maut-Kontrollbrücken auf Autobahnen und Kontrollsäulen auf Bundesstraßen werden Daten generiert, die insbesondere Rückschlüsse über das Verkehrsaufkommen im Transportbereich zulassen. Im städtischen Bereich sowie an Unfallschwerpunkten werden darüber hinaus zunehmend weitere infrastrukturbasierte Sensoren wie Kameras, Laserscanner, Radar oder die Antennen für die Detektion von Bluetooth oder WLAN-Signalen zur Erfassung von Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmenden installiert. Auch anonymisierte Mobilfunkdaten lassen Rückschlüsse auf Verkehrsströme zu, wenn sich Verkehrsteilnehmende von einer Mobilfunkzelle in eine andere bewegen. Neben Informationen zur reinen Verkehrslage liefern infrastrukturbasierte Sensoren auch Informationen über das Wetter oder aktuelle Emissionsbelastung der Luft.

Eine zunehmend wichtige Quelle zur Verkehrsdatenerhebung sind fahrzeugsbasiert erhobene Daten. Moderne Fahrzeuge erheben routinemäßig zahlreiche Daten. Bereits heute ist es technisch möglich, mit Zustimmung des Halters Daten an die Fahrzeughersteller oder andere Stellen zu senden, zum Beispiel Anzahl und Zeitpunkt von Fahrten, Kilometerstand, Fahrzeit, Besetzungsgrad, Tankstand, Standort-Information oder Abstellposition. Dies ist allerdings noch nicht implementiert. Über diese Daten ließen sich Informationen über das individuelle Fahr- und Mobilitätsverhalten generieren. Als personenbezogene Daten sind die datenschutzrechtlichen Vorgaben der Europäischen Datenschutz-Grundverordnung und des Bundesdatenschutzgesetzes zu beachten. Zunehmend sind Fahrzeuge in der Lage, durch eigene Sensorik auch das Verkehrsumfeld zu beobachten und abzubilden. So können Informationen zu Gefahrenstellen, Hindernissen, freien Parkplätzen oder der allgemeinen lokalen

Verkehrslage durch Fahrzeuge gesammelt werden. Durch Vernetzung der Fahrzeuge untereinander sowie mit der Verkehrsinfrastruktur können Informationen zur Verkehrslage oder zur Gefahrenwarnung verarbeitet, weitergegeben und intelligent genutzt werden, beispielsweise die Wahl einer alternativen Route oder, im Falle automatisierter Fahrzeuge, bei situationsbedingten Bremsmanövern.⁷³

Schließlich können individuelle Verkehrsteilnehmende auch unabhängig von einem Fahrzeug Datenquelle sein, indem sie über mobile Endgeräte im Sinne des „Crowdsourcing“ freiwillig wertvolle Daten liefern. Dies können freigegebene Positionsdaten oder Anfragen bei Routing- und Mobilitätsdiensten sein. Möglich wären außerdem inhaltliche Rückmeldungen über Erwartungen und Probleme im Verkehr wie überfüllte Verkehrsmittel, ungünstige Ampelschaltungen oder schlechte Straßenzustände.

Die verschiedenen diskutierten Datenquellen sowie die daraus resultierenden Daten sind in hoheitlichem beziehungsweise öffentlichem, in privatwirtschaftlichem oder in privatem Besitz. Dementsprechend liegen sie aktuell in verschiedenen Datenspeichern vor. Ihre Verwendungsmöglichkeiten hängen auch von den Rechten verschiedener Parteien an den Daten ab.

Gemäß einer Ergänzung zur Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments aus dem Jahr 2017⁷⁴ hinsichtlich der Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationsdienste sind die EU-Mitgliedsstaaten dazu verpflichtet, zu gewährleisten, dass sämtliche Daten, die für Mobilitätsdienste benötigt werden, den Nutzerinnen und Nutzern diskriminierungsfrei und möglichst unentgeltlich zur Verfügung und Weiterverwendung bereitgestellt werden. Datenlieferanten können dabei sowohl öffentliche als auch private Stellen sein. Die betreffenden Datenkategorien sind nicht personenbezogen und beziehen sowohl statische als auch dynamische Reise- und Verkehrsdaten mit ein. In Deutschland wurde daran anknüpfend 2017 das „Erste Gesetz zur Änderung des Intelligente Verkehrssysteme Gesetzes“⁷⁵ durch den Bundestag beschlossen. Auf Grundlage dessen nimmt in Deutschland die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) eine neutrale Rolle als National Access Point (NAP) ein. Damit einhergehend wurde in Deutschland der Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) eingerichtet, welcher durch die BASt betrieben wird. Sie prüft die Einhaltung von Anforderungen wie Verfügbarkeit, Zugänglichkeit und Rechtzeitigkeit von Echtzeitdaten, insbesondere bei sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen.

71 | Vgl. Hunt et al. 1981.

72 | Vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen 2017.

73 | Vgl. TÜV Nord Group 2016.

74 | Vgl. Europäische Kommission 2017.

75 | Siehe Deutscher Bundestag 2017.



Datennutzung zur Verkehrssteuerung

Eine intelligente Verkehrssteuerung, mit der die übergeordneten Ziele im Interesse der Gesellschaft erreicht werden, benötigt detaillierte Informationen und Vorhersagen zu Verkehrslage, Mobilitätsnachfrage und Mobilitätsangebot. Unabhängig davon, wer die Verantwortung für Verkehrssteuerung für urbane, rurale oder überregionale Mobilität im Sinne der Daseinsfürsorge für die Gesellschaft übernimmt – nur wenn wir es schaffen, diese wertvollen Informationen in qualitativer und verwertbarer Form bereitzustellen, kann die Mobilität aller Bürgerinnen und Bürger verbessert werden. Dies betrifft insbesondere hoheitlich beziehungsweise von öffentlicher Seite sowie privatwirtschaftlich erhobene Verkehrsdaten.

Mit Ausnahme von Daten für die Verkehrssicherheit sind qualitativ gut aufbereitete und hochaktuelle Daten heutzutage in vielen Fällen ausschließlich für kommerziell angebotene Verkehrslage- und Mobilitätsdienste verfügbar, da die Aufbereitung dieser teils anonymen, teils personenbezogenen Daten zumeist sehr aufwendig ist. Für Firmen, welche entsprechende Dienste anbieten, ist die Fusion und Veredelung der Daten die Grundlage ihres Geschäftsmodells. Somit besteht die Herausforderung darin, zu definieren, welche Rahmenbedingungen bezüglich Anreizen für zukünftige Formen des Wettbewerbs auf Grundlage frei zugänglicher Daten gelten sollen. Vom Wettbewerb ausgenommen werden sollten Daten, die für die Gewährleistung von Verkehrssicherheit nötig sind.

In Bezug auf die Zeitskalen lässt sich zwischen einer Datennutzung für die Verkehrsplanung und der Datennutzung für eine Echtzeit-Steuerung unterscheiden.

Langfristige Trends und Vorhersagen gehen in eine abgestimmte Stadt- und Verkehrsplanung ein und geben Aufschluss über den Bedarf neuer, maßgeschneiderter Mobilitätsangebote. Daten dieser Art werden aktuell häufig durch klassische Erhebungsmethoden wie Befragungen generiert. Daneben existieren weitere technisch erhobene Verkehrs- und Mobilitätsdaten, die, wenn sie über einen ausreichenden Zeitraum erhoben wurden und verfügbar sind, in diesem Kontext ebenfalls nützlich sind. In Zukunft sollten für diese gemeinwohlorientierten Zwecke der Verkehrsplanung alle hilfreichen verfügbaren Daten anonymisiert zur Verfügung gestellt werden. Auch über Daten, die von Unternehmen für den eigenen Gebrauch erhoben werden, wie beispielsweise Transportdaten und Tracking in Logistik und Supply-Chain-Management,

lassen sich Abschätzungen zum Mobilitätsbedarf treffen. Durch die Auswertung von GPS-Trajektorien, also einem Abbild von Weg-Zeit-Verläufen, lassen sich Muster für Mobilitätsbedarfe erkennen. In Verknüpfung mit statischen Informationen wie beispielsweise Kartenmaterial ergeben sich in diesem Zusammenhang neue Grundlagen für detailliertere Verkehrsplanungen und langfristige Steuerung.

MovingLab – Erhebung von Bewegungsdaten

Im Bereich der Verkehrs- und Mobilitätsforschung stellt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit dem MovingLab⁷⁶ eine auf mobilen Endgeräten basierende Erhebungsmethode zur Verfügung. Dabei werden über die Aufzeichnung und Verarbeitung von Bewegungsdaten die wesentlichen Merkmale von Wegen, wie die Start- und Endzeit, der genaue Routenverlauf und die etappengenaue Bestimmung des genutzten Verkehrsmittels automatisch auf Grundlage von Algorithmen der „Mode-Detection“ bestimmt. Darüber hinaus können über App- und webbasierte Interaktionen umfangreiche zusätzliche Befragungsinhalte wie beispielsweise der Wegezweck erhoben werden. Die so erhobenen Daten könnten beispielsweise in der Mobilitäts- und Verkehrsplanung eingesetzt werden.

Über eine langfristige Steuerung beziehungsweise Planung hinaus ist das Ziel die intelligente Echtzeit-Steuerung des Verkehrs. Zu diesem Zweck ist entsprechend die Echtzeit-Datenerfassung zwingend notwendig, um Vorhersagen zu treffen und Steuerungsmaßnahmen einzuleiten. Lageinformationen betreffen insbesondere Verkehrsbeeinträchtigungen wie Staus, die zu Verzögerungen führen können. Ebenso beinhalten sie Informationen zum aktuellen Mobilitätsbedarf sowie dem aktuellen Mobilitätsangebot.

Alle für die Erfassung der aktuellen Lage hilfreichen Daten sollten zum Zweck einer gemeinwohlorientierten Verkehrssteuerung ohne Zeitverzögerung frei zur Verfügung gestellt werden. Die benötigten Daten sollten möglichst entpersonalisiert erhoben und anonymisiert aggregiert werden.

Daten über die aktuelle Verkehrslage werden wie oben beschrieben unter anderem durch infrastrukturbasierte und zunehmend auch fahrzeugbasierte Sensorik erhoben. Daten über das

76 | Vgl. DLR 2019.

aktuelle Mobilitätsangebot liefern unter anderem Betriebsdaten, Fahrpläne und aktuelle Positionsdaten (Echtzeit-Informationen) der Bahn oder öffentlicher Verkehrsmittel. So werden zum Beispiel Echtzeit-Informationen über Pünktlichkeit, Verspätungen und Ausfälle von U-Bahnen, Straßenbahnen, Bussen oder Zügen über die Informationsinfrastruktur erfasst. Die aktuelle Mobilitätsnachfrage kann über die Verkehrslage hinaus über Anfragen und Buchungen von Angeboten beispielsweise über mobile Dienste und Apps, aber auch Anforderungen von Taxifahrten erfasst werden.

Diese Mobilitäts- und Verkehrslageinformationen können Betreibern und Nutzern als Basis für informierte Entscheidungen zur Verfügung gestellt werden. Verkehrsbeeinträchtigungen werden heute bereits in vielen europäischen Ländern im TPEG⁷⁷-Format per digitaler Übertragungs- und Anzeigemöglichkeiten, wie zum Beispiel dem digitalen Radio-Mehrwertdienst DAB+, übermittelt. Diese Daten werden auch von Anbietern von Navigationssystemen⁷⁸ für die dynamische Zielführung verwendet.

Über die Lagerfassung hinaus geht die Echtzeit-Vorhersage der Mobilitäts- und Verkehrslage mit Hilfe von maschinellem Lernen und intelligenten Analysetools. Durch diese neuen Werkzeuge können auf Basis von Daten aus der Vergangenheit Faktoren wie Ferienzeiten, Wochentag, Uhrzeit, Wetter, aktuelle Großereignisse oder andere aktuelle Störungen einkalkuliert werden. Diese Vorhersage verbessert die Informationslage als Entscheidungsgrundlage für alle Beteiligten.

Auf Basis der aktuellen und vorhergesagten Verkehrslage kann schlussendlich eine vorausschauende, intelligente Verkehrssteuerung den Verkehr durch gezielte Eingriffe und Empfehlungen optimieren (siehe Abschnitte 5.1 und 5.3).

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung sowie die immer höhere Verfügbarkeit verkehrsrelevanter Daten im Zusammenspiel mit neuen Analyse- und Prognosemethoden ermöglichen bereits heute neue Spielräume für Verkehrsleitung und verkehrsmittelübergreifende Routenempfehlungen.⁷⁹ Dabei können auch individuelle Routenanforderungen oder Qualitätsmerkmale wie beispielsweise Barrierefreiheit, Attraktivität der Route oder gute Beleuchtung berücksichtigt werden. Intelligente Verkehrsleitsysteme können Ampelschaltungen, Geschwindigkeitsanpassungen, Durchfahrtsbeschränkungen oder Überholverbote generieren, um auf die Verkehrsprognose und angestrebte Lastverteilung im Netz zu reagieren. Effekte, die

durch Routenempfehlungen oder situationsbedingte Umleitungen hervorgerufen werden, können dabei antizipiert werden.

Auch eine Anpassung von bedarfsorientiertem öffentlichem Verkehr an die vorhergesagte Mobilitätsnachfrage und eine intelligente Berücksichtigung der Sektorenkopplung bei der Steuerung und dem Betrieb von Flotten sind auf Basis ausreichender Informationen möglich.

Verwendung von GPS-Daten in New York

Die Stadt New York verpflichtet schon seit längerem Taxiunternehmen, GPS-Daten, die über deren Kreditkartenlesegeräte automatisch erhoben werden, der Kommune zur Verfügung zu stellen. Die Kommune verwendet die Daten, um unter anderem die Steuerung von Ampelphasen zu optimieren. Kürzlich wurden auch Anbieter von Fahrdiensten wie Uber und Lyft verpflichtet, entsprechende Daten an die kommunale Verwaltung weiterzuleiten. Darüber hinaus wurde den Fahrdiensten auferlegt, Informationen zu einzelnen Fahrten, Autokennzeichen, Fahrerinnen und Fahrern sowie Beförderungstarifen zur Verfügung zu stellen. Auf Basis der Daten möchte die Stadtverwaltung kontrollieren, ob Mindestlohn-Bestimmungen eingehalten werden.

Datennutzung für Verkehrssicherheit

Ein weiterer aus gesellschaftlicher Sicht essentieller Bereich, der von der Bereitstellung verfügbarer Verkehrsdaten profitieren kann, ist die Verkehrssicherheit. Alle am Verkehr Beteiligten sollten verkehrssicherheitsrelevante Daten ohne Zeitverzögerung frei zur Verfügung stellen, sodass diese zum Zweck der Verkehrssicherheit genutzt werden können. Dies betrifft sowohl Daten in hoheitlichem beziehungsweise öffentlichem Besitz als auch privatwirtschaftlich erhobene Daten. Bei besonderer Notwendigkeit wäre es möglich, hier auch private Daten nutzbar zu machen.

Die Daten können durch Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) wie der Polizei oder Feuerwehr genutzt werden, aber auch direkt von Verkehrsteilnehmenden beziehungsweise insbesondere privaten und öffentlich genutzten Fahrzeugen im Verkehr zum individuellen und kollektiven Sicherheitsgewinn verarbeitet werden.

77 | Vgl. TISA 2014.

78 | www.garmin.com/de/pnd/dab-traffic.

79 | Vgl. Liebig/Sotzny 2017.



Relevante Informationen betreffen Baustellen, Wetterereignisse, Straßenzustand, Staus, Hindernisse, Unfälle oder andere Gefahren. Auch die Unfallprognose auf Basis von sicherheitsrelevanten Infrastrukturmerkmalen und Mustern wird durch die Verfügbarkeit von Daten verbessert. Die durch Prognosen gewonnenen Informationen können in der Verkehrs- und Stadtplanung für die Erhöhung der Verkehrssicherheit eingesetzt werden. Entsprechende Modelle befinden sich bereits in der Entwicklung.⁸⁰

Durch die stark steigende Verfügbarkeit von Daten durch infrastrukturbasiert, aber insbesondere fahrzeuggesteuert erhobene Daten, die immer leistungsfähigere Vernetzung von Infrastruktur, Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden sowie die Möglichkeiten der Echtzeit-Datenverarbeitung ist es in Zukunft zunehmend möglich, auch Echtzeitinformationen aus verschiedenen Quellen zur Steigerung der Verkehrssicherheit zu nutzen.

Beispielsweise kann ein Fahrzeug Informationen über einen erkannten Fußgänger auf der Fahrbahn weitergeben, sodass auch andere Fahrzeuge sicher bremsen können.

Teil der allgemeinen Verkehrssicherheit ist die Gewährleistung der Sicherheit aller im Verkehr befindlichen Verkehrsmittel. Die Nutzung von Fahrzeugdaten zu diesem Zweck erlaubt beispielsweise die Prüfung der Betriebssicherheit und Umweltverträglichkeit vernetzter und automatisierter Fahrzeuge durch amtlich anerkannte Prüfstellen (wie in Deutschland beispielsweise durch den TÜV)^{81,82} oder die Analyse von Unfällen oder sicherheitskritischen Vorfällen. Übertragen werden die Daten zunehmend über drahtlose Schnittstellen. Grundlage dafür, dass Mobilitätsdaten für Genehmigung und Überwachung genutzt werden können, ist die Glaubwürdigkeit und Integrität der Daten. Dies macht ein Identitätsmanagement moderner, „onlinefähiger“ Fahrzeuge notwendig sowie eine geprüfte, zertifizierte und konsequent sichere Verschlüsselung der Daten bei ihrer Übertragung aus dem Fahrzeug. Hochautomatisiertes und vernetztes Fahren wird dazu führen, dass sich die unabhängige technische Überwachung künftig nicht nur auf das Fahrzeug, sondern auch auf die mit ihr verbundene Verkehrsinfrastruktur erstrecken sollte.

Dateninfrastruktur und -verwaltung

Wie beschrieben liegen Verkehrsdaten bei verschiedenen privaten, privatwirtschaftlichen und öffentlichen Stellen vor. Insbesondere im Stadtgebiet tragen häufig Kommunen die Verantwortung für die Mobilitäts- und Verkehrssteuerung im Sinne der

Daseinsfürsorge für die eigenen Bürgerinnen und Bürger. Gerade Kommunen sind allerdings häufig noch nicht ausreichend vorbereitet, um die eigenen oder ihnen zusätzlich verfügbar gemachten Daten zum Zweck einer intelligenten Verkehrssteuerung zu verwalten und verarbeiten zu können. Es fehlen in den Kommunalverwaltungen Ressourcen, Strategien und Prozesse für ein umfassendes Konzept der Data-Governance. Daten werden oft an verschiedenen Stellen verwaltet, die nicht immer ausreichend miteinander vernetzt sind. Oft liegen die Daten nicht in einheitlichen Formaten vor, sie sind veraltet oder werden nicht als nützliche Mobilitätsdaten erkannt. Fehlende standardisierte Schnittstellen erschweren auch den interkommunalen Austausch zu Mobilitätsdaten. Die Umsetzung zukunftsweisender Mobilitätskonzepte inklusive des automatisierten und vernetzten Fahrens hängt deshalb entscheidend vom politischen Gestaltungswillen und von den verfügbaren Ressourcen der jeweiligen Kommune ab. Besonders hilfreich können in diesem Zusammenhang Austauschformate zwischen den Kommunen sein, in denen sich Best-Practice-Formate herauskristallisieren, die dann auf freiwilliger Basis implementiert werden können.

Für eine vernetzte Mobilität der Zukunft bedarf es außerdem einer leistungsfähigen Dateninfrastruktur, die in der Lage ist, immense Datenmengen in Echtzeit zu transportieren und zu verarbeiten. Jede Sekunde werden mobilitäts- und verkehrsseitig große Mengen an Rohdaten erzeugt, die interpretiert und verarbeitet werden müssten. Für eine intelligente Verkehrssteuerung, neue digitale Services und zielgenaue Mobilitätsangebote reichen die Rechenleistungen und Dateninfrastrukturen der einzelnen Systeme heutzutage kaum mehr aus. Um die Möglichkeiten vernetzter Mobilität voll ausschöpfen zu können, wird der Zugang zu Hochleistungscomputern und leistungsstarken Daten Netzwerken zukünftig unabdingbar sein. Eine leistungsfähige Dateninfrastruktur erfordert dabei die Integration von Netzwerken, Großdatenspeichern, aber auch Supporteinrichtungen sowie Authentifizierungs- und Zertifizierungsstellen.

Die europäische Politik hat die Herausforderung bereits erkannt und über die Europäische Kommission mehrere große Projekte gestartet, die gemeinsam den Aufbau einer europäischen Dateninfrastruktur zur Verwirklichung eines gemeinsamen europäischen digitalen Binnenmarkts vorantreiben sollen. Die European Cloud Initiative⁸³ hat zum Ziel, Europa im Bereich Big Data zur Weltspitze zu machen. Zahlreiche Einzelprojekte sowie der Aufbau zweier Supercomputer sollen dazu beitragen, die digitale Infrastruktur zu schaffen, die Forschung, Industrie, Verkehr und Dienstleistungen der Zukunft benötigen. Dabei sind aktuell fast ausschließlich

80 | Projekt KI4Safety des DLR, vgl. BMVI 2019.

81 | Vgl. Wittenhorst 2019.

82 | Vgl. Dekra SE 2019.

83 | Vgl. Europäische Kommission 2018b.

Forschungseinrichtungen in die Ausgestaltung und den Aufbau der europäischen Dateninfrastruktur eingebunden.

Der Aufbau einer Europäischen Dateninfrastruktur wird dabei helfen, bestehende, fragmentierte Infrastrukturen besser miteinander zu vernetzen und den Kommunen einen zuverlässigen Zugang zu leistungsstarken Rechenressourcen zu ermöglichen, damit sie ihre Dienstleistungen optimieren und schneller anbieten können.

Zur Nutzbarmachung von fahrzeugseitigen Daten existiert die freiwillige Initiative der Fahrzeughersteller, die im Rahmen des NEVADA⁸⁴-Konzepts (Neutral Extended Vehicle for Advanced Data Access) umgesetzt wurde und die sichere Übertragung der im Fahrzeug erzeugten Daten an Dritte, sowohl Behörden als auch Unternehmen, gewährleistet.

Die öffentlich-private Partnerschaft „European Data Task Force“ aus Automobilherstellern, Dienstleistern und Behörden stellt außerdem bereits Konzepte bereit, um Daten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Basis eines neutralen Servers auszutauschen.⁸⁵

Das Konzept eines neutralen Servers wird auch mit Blick auf die Einführung von sogenannten TrustCentern diskutiert, die als Datentreuhänder fungieren. Im Rahmen des TrustCenter-Konzepts definieren Serviceanbieter bestimmte Datenpunkte des Fahrzeugs für hoheitlich relevante Anwendungsfälle in der Mobilität. Bei Abfrage werden die Datenpunkte im Fahrzeug verschlüsselt und signiert, an den Herstellerserver übertragen und von dort an das TrustCenter weitergeleitet. Voraussetzung ist die Einwilligung der Fahrzeugnutzerin/des Fahrzeugnutzers in die Datenverarbeitung und -weitergabe an Dritte. Die Implementierung eines solchen TrustCenters soll offen und transparent erfolgen, das Center selbst für Verbraucherinnen und Verbraucher, Partner und Dienstleister gleichermaßen zugänglich sein. Ein offenes und international verfügbares TrustCenter erfordert darüber hinaus standardisierte und leistungsfähige Schnittstellen. Damit Fahrzeugnutzerin und -nutzer zwischen verschiedenen TrustCenter-Betreibern wählen und wechseln können, sollten diese in einer dezentralen Architektur im Verbund arbeiten und konkurrierend gestaltet werden.

Eine Kernherausforderung für die Einrichtung neutraler Server, wie sie die NEVADA-Initiative oder das Konzept der TrustCenter vorsehen, ist die nutzerfreundliche Anwendung der Datenschutzbestimmungen. Insbesondere gilt dies für viele fahrzeugseitig erzeugte Daten wie Positionsdaten oder für Daten zum Nutzer-beziehungsweise Fahrverhalten, die beispielsweise über

die Zuordnung zur Fahrzeugidentifikationsnummer oder durch die Erkennung wiederholt angefahrener Adressen personenbezogen sind. Entscheidend ist hier ein Konzept, welches es Nutzerinnen und Nutzern erlaubt, sehr einfach die Verwendung und Weitergabe der eigenen, personenbezogenen Daten zu autorisieren und zu kontrollieren. Beispielsweise könnte der Fahrzeughalter entscheiden, Daten, die beim Datentreuhänder liegen, für eine Kfz-Werkstatt freizugeben, um so zusätzliche Prüfungen der Fahrzeugfunktion zu ermöglichen.

Aufklärung, Transparenz und Zustimmung sind hier die wichtigsten Punkte, um den Bürgerinnen und Bürgern Nutzen und Risiken vor Augen zu führen. Dem korrekten Umgang mit den Daten kommt eine entscheidende Bedeutung zu, damit die Menschen Vertrauen in neue Mobilitätsangebote und eine weitergehende Verkehrssteuerung entwickeln. Dabei müssen zahlreiche funktionale, rechtliche und höchste sicherheitstechnische Anforderungen an Security und Datenschutz berücksichtigt werden.

Die Konzeptvarianten der Datenspeicherung und -weitergabe sollten nicht nur auf die Erfüllung konkreter Anforderungen geprüft werden, sondern auch einer detaillierten Risikoanalyse unterzogen werden. Der Betrieb einer Plattform mit einer Vielzahl hochsensibler personenbezogener und geschäftsrelevanter Daten birgt schließlich hohe wirtschaftliche und politische Risiken. Bei Security-Problemen könnte sich ein Plattform-Betreiber weltweit Klagen ausgesetzt sehen.

Datennutzung für kommerzielle Mehrwertdienste und Plattformen

Digitale Plattformen haben, mehr als andere Geschäftsmodelle, eine Tendenz, monopolartige Strukturen zu entwickeln. Gründe dafür sind die für Netzwerk-Ökonomie charakteristischen Skalenvorteile sowie Lock-in-Effekte, die der Nutzerin/dem Nutzer den Wechsel von Dienstleistern erschweren. Monopolartige Strukturen werden jedoch auch durch die Kombination verschiedener Dienstleistungen unter dem Dach eines Anbieters begünstigt. Ein aus Sicht des Betreibers von digitalen Plattformen wesentlicher Aspekt ist, dass im Zuge der Transaktion immer auch ein Überschuss an Daten produziert wird, der für das Unternehmen in anderen Kontexten von kommerziellem Nutzen ist. So konnte beispielsweise Google mit seiner gratis verfügbaren Internet-Suchmaschine Verhaltensdaten von Nutzerinnen und Nutzern generieren, die später dafür eingesetzt wurden, einen kommerziellen Dienst für Online-Anzeigen auf den Markt zu bringen.

84 | Vgl. VDA o. J.

85 | Vgl. Reichhardt 2019.



Vor diesem Hintergrund hat das Bundeswirtschaftsministerium im Zuge eines breit angelegten Konsultationsprozesses mit Akteuren aus Wirtschaft und Gesellschaft nach sinnvollen Ansätzen für eine staatliche Regulierung digitaler Plattformen gesucht. Aus dem Prozess ist das Weißbuch „Digitale Plattformen“ (2017)⁸⁶ entstanden. Zwei Ziele werden in dem Weißbuch besonders hervorgehoben: fairer Wettbewerb und die Gewährleistung von individuellen Grundrechten und Teilhabe. Statt Ausschließlichkeit bei der Nutzung von Daten soll vielmehr der Zugang zu Daten stärker im Fokus stehen. Um dies zu bewerkstelligen, wird als Instrument nicht weniger als die „Aufhebung von Blockaden“ gefordert, die durch Rechte an Daten verursacht werden. Dies sind weitreichende Forderungen. Auch wenn man moderatere Positionen bezieht, stellt sich die Frage, wie fairer Wettbewerb und die Gewährleistung von Geschäftsgeheimnissen von Unternehmen sowie individueller Grundrechte in Bezug auf digitale Plattformen sichergestellt werden können.

Mit NEVADA hat die deutsche Automobilindustrie bereits ein Konzept entwickelt, das die sichere Weitergabe von im Fahrzeug generierten Daten an diverse Plattformen ermöglicht. So wird ein Beitrag zur Entwicklung digitaler Innovationen und neuer Geschäftsmodelle geleistet, indem Fahrzeughersteller die im Fahrzeug generierten Daten über standardisierte Schnittstellen diskriminierungsfrei zur Verfügung stellen. Für Anbieter kommerzieller Dienste und Betreiber digitaler Plattformen entsteht damit ein „Level Playing Field“, auf dem alle Beteiligten nach den gleichen Regeln spielen.

Anders als bei der Verwendung von Verkehrsdaten für die Verkehrssicherheit oder die gemeinwohlorientierte Verkehrssteuerung stehen Verkehrsdaten zur kommerziellen Verwendung in Mehrwertdiensten allerdings eingeschränkter beziehungsweise nicht unentgeltlich zur Verfügung. Zusätzlich muss bei personenbezogenen Daten der Nutzerinnen und Nutzer die Kontrolle ausüben können, welche seiner Daten von wem und zu welchem Zweck genutzt und weitergegeben werden dürfen. Fairer Wettbewerb ist nicht nur eine politische Vorgabe. Standards von Fairness zu inkorporieren, kann insbesondere für kleinere digitale Plattformen auch über gesetzliche Vorgaben hinaus aus betriebswirtschaftlicher Sicht durchaus rational sein. Dies zeigt insbesondere der Blick auf externe App-Entwickler, die über eine Plattform auf eigene Rechnung Dienstleistungen anbieten. Plattformen wie beispielsweise Smartphone-Betriebssysteme

profitieren von der Aktivität externer App-Entwickler, weil diese die Plattform für Nutzerinnen und Nutzer attraktiver macht. App-Entwickler auf der anderen Seite erhalten durch die Nutzung der Plattform Zugang zu einem größeren Kundenstamm und eventuell auch zu Daten, die den Betrieb einer App überhaupt erst ermöglichen. Grundsätzlich handelt es sich also um eine Win-Win-Situation. Dennoch hängt für die beteiligten Akteure die Attraktivität einer gemeinsamen Geschäftsbeziehung von einer Reihe von Designmerkmalen ab.

Aus Sicht von App-Entwicklern ist das Governance-Modell einer Plattform ein wichtiges Designmerkmal, welches über die Attraktivität einer digitalen Dienst-Plattform entscheidet. Das Governance-Modell legt unter anderem den Grad der „Offenheit“ der Plattform fest. Auch wenn es für „Offenheit“ keine allgemein anerkannte und umfassende Definition gibt, so lassen sich doch einige Komponenten umreißen, die im Kontext digitaler Plattformen besonders relevant sind. Ein zentraler Punkt ist etwa der Zugang – Zugang nicht nur zu einem Netzwerk von Kundinnen und Kunden, welches durch die Plattform bereitgestellt wird, sondern auch zu Daten und Analysetools, die die Plattform zur Verfügung stellt. So könnte beispielsweise ein digitaler Kartendienst seine Plattform so konzipieren, dass Entwickler externer Apps eigene Daten auf die Plattform einspielen können, um dort damit zu arbeiten. „Offen“ wäre eine solche Plattform dann, wenn sie es externen Entwicklern gestatten würde, auch Geodaten von konkurrierenden Anbietern einzuspielen und zu verwenden. „Offenheit“ kann freilich noch weiter gehen und Ansätze umfassen, wie sie die freie Softwarebewegung verfolgt.

Ein Beispiel dafür sind kommerzielle Plattformen, die mit offenen Daten arbeiten, welche unter einer freien Softwarelizenz stehen, wie zum Beispiel den Daten von OpenStreetMap (OSM). Die Besonderheit hier: Freie Lizenzen ermöglichen zwar eine Vielzahl von Nutzungen, aber sie erlauben eine Geltendmachung von Urheberrechten nur unter Bedingungen, die unter Verwendung einer Share-Alike-Lizenz nach Art von Creative-Commons entstanden sind. Für viele Entwickler und Drittanbieter ist dieses Plattformmodell deshalb nur bedingt attraktiv.

Die Beispiele und Überlegungen zeigen: Standards von Fairness, Teilhabe und Offenheit können auf verschiedene Weise und in graduell abgestufte Weise implementiert werden – oftmals sogar zum wirtschaftlichen Vorteil von Plattform-Anbietern.

86 | Vgl. BMWi 2017.

6.5 Sektorenkopplung und Verkehrssteuerung

Intelligente Verkehrssteuerung ist ein zentraler Baustein, um unter Einsatz von Technologien der Automatisierung und digitalen Vernetzung den Verkehr effizienter zu gestalten und Verkehrsaufkommen zu reduzieren. Ein Ziel ist dabei auch die Einsparung von Emissionen; dieses Ziel verfolgt auch die Sektorenkopplung. Aus einer engeren Verzahnung des Energiesektors und damit der Energiewende hin zu erneuerbaren Energien (EE) mit dem Verkehrssektor, der zunehmend auf alternative Antriebe setzt, die direkt oder indirekt auf regenerativ erzeugtem Strom basieren, sollen die Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) im Verkehrssektor gesenkt werden. Aus der Kopplung von Energie- und Verkehrssteuerung lassen sich weitere Effizienzgewinne und Synergieeffekte erreichen. Auf Grundlage eines integrierten Dispositions-, Routing- und Lastmanagements automatisierter und kooperativ gemanagter Elektrofahrzeugflotten wie bei E-Car-Sharing wird es zum Beispiel möglich, durch räumlich und zeitlich optimierte Energienetzsteuerung Lastspitzen beim Laden zu vermeiden. Dabei könnten auch Batteriekapazitäten von stehenden Elektrofahrzeugen als dezentraler Stromspeicher genutzt werden. Ebenfalls könnten Verbraucherinnen und Verbraucher im Rahmen der Anwendung von intelligenten SmartHome-Systemen ihre Energieeffizienz steigern und Kosten einsparen. Die Kombination von Erzeugungsanlagen, wie zum Beispiel einer Photovoltaik-Anlage auf dem Hausdach, und Heimspeichern ermöglicht es der Nutzerin/dem Nutzer zudem, den eigenproduzierten Strom für sein Elektrofahrzeug zu verwenden.

Zum Hintergrund: Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 55 Prozent und bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 Prozent (bezogen auf das Basisjahr

1990) zu senken. Für den Sektor Verkehr ist dabei bis 2030 eine Reduktion von 40 bis 42 Prozent der THG-Emissionen vorgesehen. Nach den neuesten Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist sogar eine noch schnellere und intensivere Senkung der THG-Emissionen erforderlich, um das internationale Zwei-Grad-Ziel (beziehungsweise 1,5-Grad-Ziel) zu erreichen. Bisher konnte der Verkehrssektor allerdings noch keine relevanten Reduktionen von THG-Emissionen vorweisen, und auch der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch konnte nicht erhöht werden.⁸⁷

Ziel im Verkehrssektor muss deshalb die weitestgehende Ersetzung fossiler Energieträger durch erneuerbare Energieträger sein.

Die Batterie-Elektromobilität spielt eine bedeutende Rolle für ein Zusammenführen der Sektoren Energie und Verkehr, weil sie die geringsten Umwandlungsverluste hat. Im Güterverkehr kann, aufgrund des hohen Gewichts der Batterien und der schlechten Speicherbarkeit, auch die Straßenelektrifizierung durch Oberleitungen eine sinnvolle Alternative sein. Wo die direkte elektrische Nutzung ökonomisch oder ökologisch nicht möglich ist, sollten fossile Energieträger durch Wasserstoff, Gas und Biokraftstoffe ersetzt werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass Biokraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wegen indirekter Landnutzungsänderungen oft höhere THG-Emissionen haben und ethische Bedenken bestehen.⁸⁸ Bei fortschrittlicheren Biokraftstoffen aus Rest- und Abfallstoffen entfällt dies. Daher sind diese zu bevorzugen. Durch strombasierte Kraftstoffe (e-Fuels) können beispielsweise saisonale Schwankungen bei den erneuerbaren Energien abgefangen und längerfristig durch Power-to-X-Technologien gespeichert werden. Sie haben zwar vergleichbare Werte an THG-Emissionen wie auf Elektromobilität basierende Antriebe, jedoch deutlich höhere Endenergieverbräuche.

87 | Vgl. Ausfelder et al. 2017, S. 37 f.

88 | Vgl. Agora Verkehrswende 2017, S. 61.



Das Akademienprojekt *Energiesysteme der Zukunft* nennt in seinem Bericht „Sektorkopplung“ neben Umwandlungsverlusten und THG-Emissionen als weiteren Faktor den technischen Wirkungsgrad sowie Kriterien wie Transportier- und Speicherebarkeit, Kosten und gesellschaftliche Akzeptanz.⁸⁹ Beachtet werden muss auch, dass durch die Folgen der intendierten Sektorkopplung der Strombedarf massiv steigt und große und vor allem zusätzliche Herausforderungen an den Ausbau der EE gestellt werden.

Zusammenfassend haben das Akademienprojekt ESYS, die Deutsche Energieagentur (dena) und der Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) in ihrem Studienvergleich⁹⁰ übereinstimmend gezeigt, dass

- a) Elektromobilität die Schlüsseltechnologie für den Pkw-Bereich ist
- b) Dennoch ein Technologiemix im Verkehr wichtig, da Strom im Verkehrssektor voraussichtlich nicht in allen Bereichen eingesetzt werden kann. Insbesondere werden Biokraftstoffe und aus erneuerbarem Strom erzeugte synthetische Kraftstoffe (e-Fuels) eine Rolle spielen.
- c) Synthetische Energieträger (fortschrittliche Biokraftstoffe und e-Fuels) eine tragende Rolle im künftigen Energiesystem spielen werden. Diese können in Deutschland hergestellt oder importiert werden. Dafür muss die Forschung vorangetrieben und die Markteinführung geprüft werden.



6.5 THG-Emissionen bezogen auf den Energieverbrauch 2020 (Well-to-Wheel)
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Agora Verkehrswende 2017)

89 | Vgl. Ausfelder et al. 2017, S. 37 f.

90 | Vgl. acatech/Leopoldina/Akademienunion/BDI/dena 2019.

Auch im Sinne einer marktwirtschaftlichen Energiewende und da aktuell Preisentwicklungen der einzelnen Technologien noch nicht sicher abschätzbar sind, sollten mit Blick auf einen Technologiemix alle Optionen offenbleiben, die eine klimaneutrale Mobilität garantieren.

Bisher zeigen sich Privatkundinnen und -kunden noch eher zurückhaltend in Bezug auf den Erwerb batterieelektrischer Fahrzeuge. Eine Markteinführung von batterieelektrischen Fahrzeugen in Form von gemanagten Fahrzeugflotten, die von Kundinnen und Kunden in einer bestimmten Region leihweise genutzt werden, ohne bisher als Nachteile empfundene Aspekte mitkaufen zu müssen, könnte diese Zurückhaltung überwinden und damit zu einem beschleunigten Hochlauf der Elektromobilität führen. Insbesondere ÖV-integrierte, vernetzte, vollautomatische ÖV-Shuttles könnten mit Blick auf die Sektorenkopplung als Vorteile bieten, dass

- der Flottenbetreiber – gegebenenfalls unterstützt durch die öffentliche Hand – die Investitionen in die Fahrzeuge und in die Ladeinfrastruktur trägt.
- die Beschaffung durch Skaleneffekte preiswerter und das Wertverlustrisiko durch die Menge beherrschbar wird.
- die zeitabhängigen Kosten gegenüber dem Einzelfahrzeug auf die 10- bis 15-fach größere tägliche Einsatzzeit und -strecke umgelegt werden können.
- sich durch die regionalen Einsatzräume, die stetige Überwachung und die Möglichkeit zur automatischen Fahrt zur Ladestation bereits in der Automatisierungsstufe 4 des automatisierten und vernetzten Fahrens ein attraktives Szenario ergibt, das im Betrieb bereits die überwiegende Mehrzahl der Nutzungszwecke und Kundenwünsche abdeckt.
- durch die Erhöhung des Besetzungsgrads mittels Ride-sharing der verkehrsleistungsbezogene Effekt des Umstiegs auf Elektromobilität nochmals um den Faktor 1,5 bis 3 erhöht werden kann
- die Energiewende im Verkehr und die Erreichung der Klimaziele durch die zentrale Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen durch den Flottenbetreiber unterstützt werden kann. Durch das zentrale Lademanagement der Flottenfahrzeuge sind auch Konzepte wie „Vehicle to Grid“ zur optimalen Nutzung von erneuerbaren Energien leichter umsetzbar als mit einer Vielzahl von Privatpersonen mit individuellen, kurzfristigen Nutzungswünschen.

In verschiedenen Szenarien (vergleiche OECD-Lissabon, MEGAFON) wurde die Einführung von vollautomatischen ÖV-Shuttles in Verkehrsmodellen simuliert.^{91,92} Dabei könnte ein ÖV-Shuttle den Einsatz von etwa 14 Fahrzeugen ersetzen. Die Wirkung von vollautomatischen, elektrischen ÖV-integrierten Shuttles könnte dementsprechend zu einer massiven Beschleunigung der klimarentlastenden Wirkungen der Elektromobilität führen.

6.6 Automatisierter und vernetzter Güterverkehr

Die wirtschaftliche Bedeutung der Logistik

Logistik wird über den reinen Gütertransport hinaus als Querschnitts- und Managementfunktion gesehen. Sie umfasst die Planung, Durchführung, Steuerung und Kontrolle von Informations- und Materialflüssen zwischen den beteiligten Akteuren.⁹³

Der europäische Markt für Logistik hat 2017 über eine Milliarde Euro Umsatz gemacht, wovon rund 25 Prozent auf Deutschland entfallen. Dies liegt zum einen an der geografischen Lage Deutschlands in Europa, zum anderen an der Leistungsfähigkeit der hiesigen Branche, die international eine Spitzenposition in Infrastrukturqualität und Logistiktechnologie einnimmt.^{94,95}

Das Verkehrsaufkommen

Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen über alle Transportmodi hinweg lässt die vorhandene Infrastruktur in Deutschland an vielen Orten bereits heute an ihre Grenzen stoßen. Die Güterverkehrsleistung des Straßengüterverkehrs in Deutschland betrug 2016 rund 464 Milliarden Tonnenkilometer und hat sich somit gegenüber 1990 nahezu vervierfacht. Auch die Güterverkehrsleistung des Schienenverkehrs konnte sich in diesem Zeitraum nahezu verdoppeln und lag 2016 bei 116,2 Milliarden Tonnenkilometern.⁹⁶ Die Prognose zum Bundesverkehrswegeplan geht bis zum Jahr 2030 von einem weiteren Wachstum des Schienengüterverkehrs auf 153,7 Milliarden Tonnenkilometer und im Straßengüterverkehr auf 607,4 Milliarden Tonnenkilometer aus.⁹⁷ Hinzu kommen eine zu erwartende Zunahme der

91 | Vgl. OECD/ITF 2015.

92 | Vgl. Friedrich/Hartl 2016.

93 | Vgl. Straube 2004, S. 29 ff.

94 | Vgl. BVL 2018.

95 | Vgl. Arvis et al. 2018, S. 40.

96 | Vgl. Deutscher Bundestag 2018, S. 11.

97 | Vgl. BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt/Intraplan Consult/Ingenieurgruppe IVV/Planco Consulting 2014.



Verkehrsstärke in Ballungsgebieten und die Auslastung des Verkehrsträgers Straße auf den zentralen Transportkorridoren in Deutschland.^{98,99}

Eine Betrachtung der Verteilung des Transportaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger zeigt, dass sich die steigende Güterverkehrsleistung in der Vergangenheit stetig zugunsten des straßengebundenen Güterverkehrs verändert hat. In 2017 betrug der Anteil der Straße am Güterverkehr 71,7 Prozent. Der Verband deutscher Verkehrsunternehmen erwartet bis 2030 einen Anstieg des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Verkehrsleistung um 22 Prozent im Vergleich zu der Prognose des Bundesverkehrswegeplans.¹⁰⁰

Geändertes Nachfrageverhalten und Fachkräftemangel

Im Endkundengeschäft änderte sich in der jüngeren Vergangenheit das Nachfrageverhalten, insbesondere durch den Onlinehandel. Damit verbunden ist eine Zunahme von Zustelldienstleistungen, die gerade in Ballungszentren zu einer steigenden Verkehrsbelastung geführt haben. Darüber hinaus ist im Endkundengeschäft, aber auch in den Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen ein allgemeiner Trend hin zum Transport von kleinteiligeren Sendungen zu beobachten. Diese Entwicklungen sind insbesondere auch dem wirtschaftlichen Umfeld mit einem in der Vergangenheit stetig zunehmenden Kostendruck in allen Branchen geschuldet. Gerade in der fertigen Industrie finden Lean-Prinzipien sowie logistische Just-in-Time- und Just-in-Sequence-Konzepte zunehmend Anwendung. Diese Entwicklungen hin zu einem kleinteiligeren, in der Frequenz des Aufkommens jedoch zunehmenden Sendungsaufkommen einzelner Wirtschaftsteilnehmer treiben das Güterverkehrsaufkommen nach oben. Aufgrund des zunehmenden Fachkräftemangels im Straßen- und Schienengüterverkehr, der auf die demografische Entwicklung, aber auch die allgemeinen Arbeitsbedingungen und die Vergütungsstruktur zurückzuführen ist,^{101,102} und der damit einhergehenden geringen Laderaumverfügbarkeit herrscht heute ein Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage. Hält die aktuelle Entwicklung der

Sendungsvolumina auf dem deutschen Transportmarkt an, ist davon auszugehen, dass das Sendungsvolumen in Gänze steigen wird.

Güterverkehr der Zukunft

Die zunehmende Vernetzung aller Transportbeteiligten durch das Internet der Dinge schafft transparente Warenströme von der Rohstoffgewinnung bis zum Endkunden. Produkte, die mit ihrer Umwelt (zum Beispiel mit Maschinen) kommunizieren können, bahnen sich ihren Weg eigenständig durch Werkshallen und planen die nächsten Schritte – beispielsweise den Transport zu anderen Standorten – selbst. Dadurch kann zu jeder Zeit für jeden Beteiligten ein exaktes digitales Abbild des Logistikprozesses mit allen notwendigen Informationen erzeugt werden. Die Einbindung des autonomen Fahrens in ein Informations- und Produktionsnetz und die damit verbundene direkte Steuerung von automatisierten Lkw aus den Kontrollzentren der Logistikdienstleister oder produzierenden Unternehmen heraus lassen das Fahrzeug zu einem bedeutenden Faktor in der Produktionskette werden. Die Einbindung der Fahrzeuge in die digitale Liefer- und Versorgungskette vereinfacht die Abstimmung mit anderen Prozessen und verringert Ineffizienzen, zum Beispiel Wartezeiten. Bis 2025 könnten die Transportkosten durch Digitalisierung und Automatisierung um 35 bis 50 Prozent reduziert werden.¹⁰³ Diese Entwicklung wird durch die gleichzeitig in der gesamten Wirtschaft stattfindenden digitalen Veränderungen getrieben, die von digitalen Geschäfts- und Marktmodellen ausgehen.

Auch der Transportprozess im engeren Sinne wird signifikanten Veränderungen unterworfen sein. Dies betrifft sowohl neue Antriebstechnologien für Schienen- und vor allem Straßenfahrzeuge als auch die Automatisierung der Fahrzeugsteuerung, die eine effizientere Auslastung und stetigen Einsatz erlaubt. Zukünftig ist zudem eine Diversifizierung der gewerblich genutzten Fahrzeugflotten möglich. Insbesondere Fahrräder, Klein- und Kleinstfahrzeuge werden bereits heute durch innovative Antriebstechnologien zu effizienten Transportmitteln für die Feinverteilung.

98 | Vgl. BMVI 2018a, S. 244 f.

99 | Vgl. BAG/SSP Consult 2017, S. 23 ff.

100 | Vgl. VDV 2018.

101 | Vgl. Janning-Backfisch 2018.

102 | Vgl. Herrler/Klaus 2012, S. 9 ff.

103 | Vgl. McKinsey & Company 2016, S. 19 ff.

Bessere Aufteilung der Transporte auf die Verkehrsträger

Die Effizienz des Güterfernverkehrs wird zukünftig durch Digitalisierung und Automatisierung sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene signifikant steigen. Durch die Digitalisierung von Strecken und Fahrzeugen lassen sich auf vorhandener Infrastruktur signifikante Kapazitätssteigerungen erreichen. Neben der Effizienzsteigerung auf den einzelnen Verkehrsträgern wird sich der intermodale Transport, das heißt die Nutzung verschiedener Verkehrsträger in einer Transportkette, optimal gestalten und zu einer Entlastung der Infrastruktur beitragen. Der Schienengüterverkehr kann aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit auf längeren Distanzen den flexiblen Straßengüterverkehr optimal ergänzen. Im Fernverkehr kann zudem durch das Kolonnenfahren, das sogenannte Platooning, die Effizienz von Transporten weiter erhöht werden.

Platooning

Im straßengebundenen Güterwirtschaftsverkehr ermöglicht das sogenannte Platooning die elektronische Kopplung von zwei oder mehr Lkw. Der vorderste Lkw wird dabei von einer Berufskraftfahrerin beziehungsweise einem -fahrer gelenkt, während die weiteren Lkw automatisiert folgen. Das System wird derzeit in der Teilautomatisierungsstufe erprobt, das heißt, es erfordert aktuell noch die stetige Überwachung durch die Fahrerinnen und Fahrer im Platoon-Verband. Die elektronische Kopplung erlaubt einen geringeren Sicherheitsabstand von etwa 12 bis 15 Metern und reduziert damit den Platzbedarf auf der Autobahn. Durch den geringeren Luftwiderstand sinken außerdem Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß. Der geringe Sicherheitsabstand birgt keine Sicherheitsrisiken, denn durch die elektronische Kopplung des Lkw-Verbands liegen die systemischen Reaktionszeiten der Folge-Lkw auf den Führungs-Lkw im Bereich von wenigen Millisekunden. Zusätzlich werden Fahrerinnen und Fahrer der Folge-Lkw entlastet und können bei entsprechender Systemreife potenziell andere Tätigkeiten übernehmen. Dem zunehmenden Lkw-Fahrermangel kann insbesondere auf den Hauptstrecken mit einem solchen technischen Konzept begegnet werden. Perspektivisch lassen sich auf dem Weg zum hochautomatisierten und vollautomatisierten Fahren höhere Automatisierungsstufen im Platooning

verhältnismäßig leicht umsetzen, da die Situationsbewertung und Vorausschau durch den Mensch im Lkw an der Spitze erfolgt und nicht durch die automatisierten Folge-Lkw des Platoon-Verbands. Das Platooning-Konzept kann einen Beitrag zur Optimierung des Verkehrsträgers Straße leisten, indem es die Sicherheit der gewerblichen Verkehre und die Raumnutzung der Straße erhöht.

Citylogistik: Nachhaltige Zustellkonzepte und Micro-Hubs

Neue ganzheitliche Logistikkonzepte für Städte eröffnen sowohl den Unternehmen als auch den Bewohnerinnen und Bewohnern verbesserte Versand- und Zustelllösungen. In der Zukunft wird die Zustellung und Abholung von Sendungen – die sogenannte letzte Meile – in Innenstadtgebieten zunehmend mit alternativ angetriebenen Klein- und Kleinstfahrzeugen und mit automatisierten Fahrzeugen erfolgen. Geräuscharme Fahrzeuge ermöglichen eine innerstädtische Distribution auch in neuen Lieferzeitfenstern, insbesondere nachts. Auch öffentliche Verkehrsmittel werden bereits zu einem (Nischen-)Bestandteil in die Verteiler- und Abholverkehre eingebunden.¹⁰⁴ Daneben prägen E-Lastenräder das Stadtbild, die derzeit von Post- und Kurierdienstleistern, in zunehmendem Maße jedoch auch im Stückgutsegment, genutzt werden.

Intelligentes Ladezonenmanagement

Ein intelligentes Ladezonenmanagement ermöglicht, dass Logistik- sowie Kurier- und Express-Paket-Dienstleister über eine App Zugriff auf alle innerstädtischen Lade- und Lieferzonen haben sowie auf Parkplätze und deren Belegung. Für den gewünschten Zeitpunkt und Ort der Logistikdienstleistung kann über die App ein kostenloser, dreißigminütiger „Slot“ gebucht werden, der exklusiv für das angemeldete Fahrzeug zur Verfügung steht. Die App zeigt die verbleibende Nutzungszeit in Echtzeit an. Über das zentrale Management der Lieferzonen kann die Verfügbarkeit erhöht werden. Parksuchverkehre und Halten in zweiter Reihe oder auf Fuß- und Radwegen werden reduziert, sodass sich der innerstädtische Verkehr insgesamt verflüssigt. In Barcelona wird ein entsprechendes Modell bereits seit 2015 erprobt.



Sogenannte Mikro-Depots können zukünftig ortsvariabel oder stationär konzipiert werden. Aufgrund der Flächenkonkurrenz im öffentlichen Raum werden in Zukunft vermehrt anforderungsgerechte Flächen im nicht öffentlichen Bereich, wie private Flächen mit Gewerbeerlaubnis in zentraler verkehrsgünstiger Lage, als sogenannte Mikro-Hubs oder Mikro-Depots verwendet.¹⁰⁵ So eignen sich beispielsweise leerstehende gewerbliche Immobilien und saisonal ungenutzte Freiflächen im Stadtgebiet (beispielsweise Festplätze oder Supermarktparkplätze) besonders gut.^{106,107} Auch in Neubausiedlungen und Quartiersentwicklungen sollten künftig Logistik-Konzepte schon im Planungsprozess mitgedacht werden.

Micro-Hubs werden von Nutzfahrzeugen versorgt, wobei dort die Sendungen mehrerer Logistikdienstleister und Spediteure gebündelt werden können. Die Zustellung beziehungsweise Abholung beim Kunden wird mit nachhaltigen Transportfahrzeugen oder automatisierten Einheiten durchgeführt. Abhängig von weiteren zukünftigen regulativen Eingriffen kann es sein, dass die Distribution ab dem Micro-Hub gebündelt durch einen Dienstleister oder aber individuell durch die jeweiligen Logistikdienstleistungsunternehmen und -kooperationen erfolgt. Micro-Hub-Konzepte mit einer zusätzlichen Distributionsstufe verheißen in einer Kombination mit einer Bündelung von Sendungsmengen und dem Einsatz von autonomen und nachhaltigen Technologien signifikante Effizienzpotenziale für die beteiligten Unternehmen. Durch derartige Konzepte wird nicht nur der Schadstoffausstoß in der Stadt reduziert, sondern auch der Verkehr entlastet.

Weiterhin können zukünftig die Lieferzeiten durch autonome Zustellfahrzeuge und Roboter flexibler und kundenindividueller gestaltet werden. Ergänzt wird die Angebotspalette zukünftig durch Zustelltechnologien wie unbemannte automatisierte Luftfahrzeuge (Drohnen), die insbesondere im Bereich der Hochverfügbarkeitslogistik und der Ver- und Entsorgung von abgelegenen Gebieten (Inseln, Täler etc.) wirtschaftlich tragfähig eingesetzt werden können.

Innenstadtbelieferung in Parma

Seit 2006 darf die Innenstadt von Parma, Italien, nur noch unter bestimmten Auflagen von Logistikdienstleistern angefahren werden. Generell müssen die Nutzfahrzeuge alternativ angetrieben sein oder zumindest bestimmte Abgasnormen erfüllen (Euro 3 oder höher), sie dürfen ein zulässiges Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen nicht überschreiten und müssen zu 70 Prozent oder mehr ausgelastet sein. Sind diese Kriterien erfüllt, können die Fahrzeuge für die Innenstadtbelieferung akkreditiert werden. Alternativ werden die Waren an einem City-Hub am Stadtrand abgeladen. Dort werden sie für die Innenstadtdistribution gebündelt und von einem einzelnen, neutralen Anbieter auf der „letzten Meile“ verteilt.¹⁰⁸

105 | Vgl. Ninnemann et al. 2017, S. 154.

106 | Vgl. Ninnemann et al. 2017, S. 117.

107 | Vgl. Soénius/IHK zu Köln 2018, S. 53.

108 | Vgl. Straube et al. 2017, S. 30.

Verlagerung auf die Schiene

Momentan wird die steigende Transportnachfrage von eilbedürftigen und in ihrem Aufkommen unvorhersehbaren Sendungen aus ökonomischen und zeitlichen Gründen auf der Straße abgewickelt. Gerade auf Mittel- und Langstrecken wäre der Gütertransport auf der Schiene als Massentransportmittel ein wirtschaftlicher und ökologisch attraktiver Verkehrsträger. Bereits in der Vergangenheit gab es immer wieder Bestrebungen, die Kapazität des Gütertransports auf der Schiene zu erhöhen. Für die Attraktivität der Schiene spielen die Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen Absender und Empfänger der Fracht sowie die Zuverlässigkeit des Verkehrsträgers eine wichtige Rolle. Durch ein Anheben der Höchstgeschwindigkeit ließe sich die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit erhöhen. Hochgeschwindigkeitsfrachtverkehre auf der Schiene für den Paketbereich befinden sich derzeit in der Konzeptphase (siehe Infokasten Next Generation Station). Die Kapazitäten der Schiene können zudem durch die Digitalisierung von Infrastruktur und Fahrzeugen erhöht werden. Die Deutsche Bahn strebt mit der Digitalisierung des gesamten Schienennetzes Kapazitätsgewinne von bis zu zwanzig Prozent an.¹⁰⁹

Automatisierung und Autonomisierung der Umschlagprozesse erhöhen die Leistungsfähigkeit des gesamten Transportsystems und ermöglichen kürzere und zuverlässigere Lieferzeiten. Dies trifft sowohl auf den straßengebundenen als auch auf den schienengebundenen sowie den intermodalen Güterumschlag zu. Automatisierte Umschlagterminals können durch die Vernetzung aller Systeme den Güterumschlag zwischen Schiene und Straße situativ besser planen und koordinieren. Besonders auf unvorhergesehene Ereignisse, wie verspätete Ankünfte oder ein hohes kurzfristiges Sendungsaufkommen, kann durch einen intelligenten und vernetzten Güterumschlag zukünftig optimal reagiert werden.

Next Generation Station

Das Logistik-Terminal Next Generation Station (NGS)¹¹⁰, ein Modell des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), ist ein Güterumschlagbahnhof, der als Schnittstelle zwischen automatisierter Schiene und dem lokalen Güterverkehr für die Nahstrecke agiert. Wesentlicher Bestandteil des Konzepts sind autonom und modular aufgebaute Züge auf der Schienenseite und speziell angepasste Fahrzeugkonzepte auf der Nahstrecke. Durch den vollautomatischen Umschlag der Transportgefäße von Schiene zu Straße geht der Geschwindigkeitsgewinn auf der Fernstrecke nicht verloren.

Das Terminal befindet sich, in der Regel gut angebunden an das Straßennetz, am Rand oder inmitten urbaner Räume. Das Herzstück des Terminals bilden vollautomatisch bediente Hochregallager, die beidseitig parallel zum Gleis verlaufen. Die Hochregale dienen als Lagerflächen in direkter Gleisnähe. Hier werden die Güter beziehungsweise Transportgefäße wagenweise für den anschließenden Beladungsvorgang vorbereitet.

Fahrerlose Einzelwagen koppeln sich mit (teil-)identischem Laufweg autonom zu Wagenzügen. Als Ladungsträger ist der Wagenzug für die weit verbreiteten und etablierten Systeme Europalette und die hauptsächlich in der Luftfahrt verwendeten sogenannten Unit Load Devices ausgelegt. Dank eines integrierten Energiespeichers können die Wagenzüge energieautark direkt Gleisanschlüsse bedienen.

Für die Feinverteilung im urbanen Raum erfolgt die Zuführung, Auslagerung und Übergabe der Ladeeinheiten und Paletten vollautomatisch an die elektrifizierten Straßenfahrzeuge, die, abgesehen von Ladepausen, rund um die Uhr im Betrieb sein können. Dadurch kann der Nachtbelieferungsanteil deutlich steigen. Da die Kapseln nicht zwingend nachts entladen werden müssen, fallen auch keine hohen Personalkosten an.

109 | www.digitale-schiene-deutschland.de.

110 | Vgl. Winter et al. 2017.



7 Die gesellschaftliche und internationale Dimension der neuen autoMobilität

7.1 Gesellschaftliche Akzeptanz – eine Auswertung repräsentativer Befragungen potenzieller Nutzerinnen und Nutzer

Der Erfolg des automatisierten und vernetzten Fahrens hängt nicht mehr von der technologischen Marktreife ab, sondern maßgeblich von der grundsätzlichen Akzeptanz der Technologie und der durch sie veränderten Lebenswirklichkeit der Menschen.

Akzeptanz wiederum gründet auf dem erkennbaren individuellen oder gesellschaftlichen Nutzen einer Technologie.¹¹¹ Wir betrachten Akzeptanz im Folgenden mit Blick auf diejenigen Faktoren, die diesen Nutzen in der öffentlichen oder in der individuellen Wahrnehmung beeinflussen. Dazu zählen die Erwartungen und Wünsche der Bevölkerung und verschiedener Nutzergruppen, die Techniksicherheit, die Akzeptanz von KI-Komponenten sowie der Umgang mit Daten. Wir stützen uns vorwiegend auf repräsentative Umfragen,¹¹² die bis Frühjahr 2019 erschienen sind. Diese Umfragen geben oft nicht mehr, aber auch nicht weniger als eine Momentaufnahme der gegenwärtigen Einstellungen wieder, teilweise auch ihre Entwicklung über die letzten Jahre. In vielen Fällen sind diese Einstellungen noch nicht durch persönliche Erfahrungen untermauert und können deshalb auch nicht als gefestigt gelten. Als Ergebnis unserer Analyse zeichnen wir im Folgenden ein Bild der Erwartungen von Bürgerinnen und Bürgern an die neue autoMobilität, das Ausgangspunkt für eine konstruktive gesellschaftliche Diskussion sein soll und aus dem sich Schlussfolgerungen über Möglichkeiten und Hindernisse auf dem Weg zur Einführung neuer Mobilitätssysteme ableiten lassen.

Erwartungen, Bereitschaft und Wünsche der Nutzerinnen und Nutzer

Nach einer repräsentativen Studie aus dem Jahr 2019 erwarten 39 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland, dass im Jahr 2030 Autos untereinander vernetzt sind, um sich gegenseitig zum Beispiel vor Staus zu warnen.¹¹³ Ein Drittel der Bevölkerung erwartet sogar, dass Autos sich dann weitgehend selbst steuern.

Aktuell erklären sich 35 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland dazu bereit, „die Verantwortung an das vollautomatisierte Fahren abzugeben“.¹¹⁴ Eine deutliche Mehrheit von 64,8 Prozent lehnt dies eher oder vollständig ab.¹¹⁵ Differenziert man bei der Bereitschaft, ein autonomes Fahrzeug zu nutzen, nach dem Alter, ergibt sich eine ungleiche Verteilung: Junge Menschen und Erwachsene bis zu einem Alter von 30 Jahren zeigen mit 81 Prozent die höchste „Bereitschaft, zukünftig in einem autonomen Fahrzeug unterwegs zu sein“.¹¹⁶ Mit zunehmendem Alter verneinen immer mehr Bürgerinnen und Bürger, mit einem automatisierten Pkw fahren zu wollen.

Das persönliche Fahrvergnügen wird in Deutschland zur Herausforderung für die Akzeptanz des automatisierten Fahrens. Rund 64 Prozent aller Autofahrerinnen und Autofahrer in der Bundesrepublik genießen das Autofahren. Eine Mehrheit sieht genau diesen Fahrspaß bedroht.^{117,118} Bei der Frage, was am meisten gegen selbstfahrende Autos spreche, gibt mehr als jeder dritte Befragte an, nicht auf das Selbstfahren verzichten zu wollen.¹¹⁹ Insgesamt glauben mehr als 70 Prozent der Menschen in der Bundesrepublik, dass autonomes Fahren den individuellen Fahrspaß beenden wird.¹²⁰ Da diesen Einschätzungen überwiegend keine Erfahrungen zugrunde liegen, könnten Erprobungsräume und Testmöglichkeiten dieses Bild schnell verändern.

Auch ein differenzierter Blick auf unterschiedliche Fahrsituationen zeigt, dass durchaus Offenheit für bestimmte Anwendungsfälle herrscht. Mehr als zwei Drittel der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland würden vor allem in monotonen und stressigen Situationen vom automatisierten Fahren Gebrauch machen.¹²¹ An zweiter Stelle folgt das Fahren im Stau. Hier würde rund die Hälfte der Frauen und Männer in Deutschland auf autonomes

111 | Vgl. Lemmer 2016, S. 42.

112 | Im Rahmen dieser umfassenden Analyse wurden aktuelle Umfragen und Studien aus den Jahren 2017, 2018 und 2019 zur Akzeptanz von automatisiertem und vernetztem Fahren ausgewertet.

113 | Vgl. IfD-Allensbach im Auftrag von acatech 2019.

114 | Siehe acatech/Körper-Stiftung 2018, S. 33.

115 | Vgl. acatech/Körper-Stiftung 2018, S. 33.

116 | Siehe Ernst & Young GmbH 2017, S. 5.

117 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

118 | Vgl. auch Ernst & Young GmbH 2017, S. 9.

119 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 19.

120 | Vgl. Continental AG 2018, S. 17.

121 | Vgl. Continental AG 2018, S. 14.

Fahren zurückgreifen. Darüber hinaus würden zwei von drei Pkw-Nutzerinnen und Nutzern das Ein- und Ausparken gerne einem automatisierten Fahrzeug überlassen¹²² und 65 Prozent das Parken in Parkhäusern.¹²³ 43,5 Prozent der Befragten möchten sich zudem von der Parkplatzsuche in der Stadt befreien.

Jede vierte Pkw-Nutzerin/jeder vierte Pkw-Nutzer würde bei einer Fahrt auf der Autobahn sowie im innerstädtischen Verkehr gerne mit einem automatisierten Fahrzeug unterwegs sein.¹²⁴ 18 Prozent der Bürgerinnen und Bürger möchten dies auch im fließenden Verkehr auf der Landstraße.¹²⁵

Bürgerinnen und Bürger haben darüber hinaus mit Blick auf absehbare Vorteile Interesse am automatisierten Fahren. So erwarten 39,5 Prozent der befragten Personen, dass in automatisierten Fahrzeugen die Zeit nun produktiv genutzt werden kann,^{126,127} etwa für Büroarbeiten,¹²⁸ und damit das persönliche Zeitmanagement aufgewertet wird.¹²⁹ Mehr als jeder vierte Befragte sieht als Potenzial automatisierten Fahrens einen höheren Fahrkomfort (26 Prozent) und eine positivere Verkehrsdynamik (41 Prozent). Schneller am Ziel durch einen selbstfahrenden Pkw sehen sich acht Prozent der Befragten.^{130,131} Überdies räumen vierzig Prozent dem autonomen Fahren das Potenzial ein, mehr Sicherheit gewähren zu können.¹³² Für neun Prozent der befragten Personen sind autonome Fahrzeuge auch deshalb interessant, weil sie den Erwerb eines Führerscheins überflüssig machen. Diesen Vorteil sehen junge Menschen doppelt so häufig.¹³³ Vier von zehn befragten Deutschen spricht der geringere Verbrauch an, und fast jeder Dritte erkennt die reduzierte Umweltbelastung durch geringere CO₂-Emissionen als Bonus für das automatisierte Fahren an. Trotzdem stimmt fast jeder dritte Befragte der Aussage zu, er sehe keinerlei Vorteile im Zusammenhang mit dieser Technologie.^{134,135}

Ein positives Meinungsbild gewinnt man hinsichtlich der Vorteile für spezifische Nutzergruppen. Berufspendlerinnen und -pendler, Fernfahrerinnen und -fahrer¹³⁶ sowie ältere Menschen sind die Personengruppen, denen – nach Mehrheit der deutschen Befragten – automatisierte Fahrzeuge am meisten

zugutekommen werden. Für Berufstätige, die ihren Arbeitsalltag zum größten Teil auf Bundesstraßen und Autobahnen verbringen, sehen 56 Prozent der Befragten großes Potenzial in den neuen Technologien des automatisierten Fahrens. Für ältere Menschen können automatisierte Fahrzeuge sehr nützlich sein, wenn sie sich nicht mehr zutrauen, selbst zu fahren.¹³⁷ Des Weiteren geben knapp vier von zehn Bürgerinnen und Bürgern an, dass automatisierte Fahrzeuge besonders für Personen in ländlichen Gebieten mit nicht ausreichend ausgebautem ÖPNV ein Gewinn sein können, wenn Versorgungslücken geschlossen werden. Jede dritte Bundesbürgerin/jeder dritte Bundesbürger stuft den Nutzen automatisierter Pkw auch für Menschen mit Handicap als sehr hoch beziehungsweise hoch ein. Personen, die beispielsweise unter einer Sehschwäche leiden, können ihre Mobilität steigern. Ebenso viele sehen auch den Nutzen für Personen, die keinen Führerschein besitzen und zusätzlich an Mobilität gewinnen.¹³⁸

Außerdem würden 41 Prozent der Fahrerinnen und Fahrer im müden Zustand und 36 Prozent im Krankheitsfall automatisiert fahren.¹³⁹ Des Weiteren würden 17 Prozent automatisiertes Fahren in sicherheitskritischen Situationen bevorzugen, um Unfälle abzuwenden.¹⁴⁰

Die vermuteten sozioökonomischen Auswirkungen des automatisierten Fahrens spielen bei der Frage nach der Akzeptanz eine wichtige Rolle. Mit fortschreitender Automatisierung werden bestimmte Berufe, die das Nutzen und Bedienen von Fahrzeugen beinhalten, zunehmend überflüssig. Mit diesem Strukturwandel entstehen jedoch auch neue Berufsbilder, die sogar attraktiver sein können. Außerdem herrscht momentan eher ein Fachkräftemangel vor. Dennoch ist zu erwarten, dass Ängste vor Arbeitsplatzverlusten kritische Reaktionen und emotional geführte Diskussionen in der Gesellschaft hervorrufen werden und das Potenzial des automatisierten Fahrens für neue Berufe und Ausbildungen wenig wahrgenommen wird. Deshalb sollte dieser Aspekt sozioökonomischer Auswirkungen ernst genommen und als wichtiger Bestandteil des gesellschaftlichen Dialogs thematisiert werden.

122 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 13.

123 | Vgl. Continental AG 2018, S. 22.

124 | Vgl. Continental AG 2018, S. 22.

125 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 13.

126 | Vgl. Continental AG 2018, S. 14, S. 17.

127 | Vgl. auch Ernst & Young GmbH 2017, S. 10.

128 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 17.

129 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

130 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 17.

131 | Vgl. auch Ernst & Young GmbH 2017, S. 10.

132 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2017, S. 10.

133 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

134 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 17.

135 | Vgl. auch Ernst & Young GmbH 2017, S. 10.

136 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

137 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 14.

138 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 14.

139 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

140 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 13.



Techniksicherheit

Die technische Sicherheit ist essenziell für die Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge. Die Gefährdung von Personen und Sachgütern durch die neue Technologie muss ausgeschlossen werden können – jedenfalls wenn gesellschaftliche Akzeptanz gewonnen werden soll. Aktuelle Umfragen zeigen, dass bei den meisten Bürgerinnen und Bürgern eine große Unsicherheit gegenüber der verwendeten Technologie für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge vorhanden ist. Rund zwei Drittel der Befragten äußern „Angst vor technischen Problemen“.^{141,142} Mehr als die Hälfte glaubt aktuell nicht, dass automatisierte Fahrzeuge verlässlich funktionieren werden.^{143,144} Diese Haltung findet sich auch bei denen wieder, die selbst keine Autofahrer sind.¹⁴⁵ Mindestens zwei von drei befragten Personen „erwarte[n] Verkehrschaos durch Computerpannen“.¹⁴⁶ Die Skepsis in der Bevölkerung gegenüber automatisierten Fahrzeugen scheint sich mit jedem weiteren Automatisierungslevel zu erhöhen.¹⁴⁷ Knapp zwei Drittel der Gesellschaft kann automatisierten Fahrzeugen kein Vertrauen entgegenbringen.¹⁴⁸ Die Hälfte der deutschen Befragten hat Bedenken, ein automatisiertes Fahrzeug zu nutzen,¹⁴⁹ und bezeichnet automatisierte Fahrzeuge als einen „(sehr) sensiblen Fortschritt“.¹⁵⁰ Zugleich interessiert sich jeder vierte Befragte nur bedingt für Technik.¹⁵¹ Es handelt sich also oft um gefühlte Risiken, was den dringenden Bedarf zeigt, eine fakten- und erfahrungsbasierte Debatte zu führen, in der sich technikmündige Bürgerinnen und Bürger eine fundierte Meinung bilden können. Der (sehr) häufig vorgebrachte Wunsch, in Gefahrensituationen jederzeit doch noch selbst die Kontrolle über das Auto übernehmen zu können,^{152,153,154} bietet etwa einen guten Ansatzpunkt, Ängste zu nehmen. Fast die Hälfte der Befragten sieht sich gegenüber automatisierten Systemen als überlegen.¹⁵⁵ Jeder Dritte glaubt, dass automatisierte Fahrzeuge in gefährlichen Situationen schlechter abschneiden als eine Fahrerin oder ein Fahrer am Steuer.¹⁵⁶ Die Sicherheit ist eines der wichtigsten Kriterien beim Kauf eines neuen Pkw; darin sind sich 98 Prozent der deutschen Männer und Frauen einig.¹⁵⁷

141 | Siehe VdTÜV 2018, S. 19.

142 | Vgl. auch Continental AG 2018.

143 | Vgl. Continental AG 2018, S. 13.

144 | Vgl. acatech/Körber-Stiftung 2018, S. 33.

145 | Vgl. Continental AG 2018, S. 17.

146 | Siehe acatech/Körber-Stiftung 2018, S. 33.

147 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 2.

148 | Vgl. CosmosDirekt 2018.

149 | Vgl. Deloitte AG 2019, S. 7.

150 | Vgl. Siehe Continental AG 2018, S. 15.

151 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 19.

152 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2017, S. 66.

153 | Vgl. auch TÜV Rheinland 2018.

154 | Vgl. auch VdTÜV 2018.

155 | Vgl. acatech/Körber-Stiftung 2018, S. 33.

Bei automatisierten Fahrzeugen sehen aktuell 53 Prozent diese wichtige Eigenschaft als gegeben an.¹⁵⁸ Aber nur 42 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland nehmen darüber hinaus an, dass automatisierte Autos auch sicherer fahren werden als menschliche Fahrerinnen und Fahrer.¹⁵⁹ Doch gleichzeitig sprechen 55 Prozent der Befragten automatisierten Fahrzeugen die Fähigkeit zu, schwere Unfälle verhindern zu können. Auch 49 Prozent der Nichtautofahrenden stimmen dem zu.¹⁶⁰ Etwas ältere Umfragen weisen mit 29¹⁶¹ beziehungsweise 37,4¹⁶² Prozent deutlich geringere Werte auf. Die Gesellschaft blickt diesbezüglich also inzwischen optimistischer in die Zukunft. Im Ländervergleich zeigt sich, dass die Bevölkerungen in den USA und Japan mit 51 Prozent in ihrem Optimismus etwas hinter Deutschland liegen, während in China zwei von drei Bürgerinnen und Bürgern optimistisch waren, automatisiertes Fahren könne schwere Unfälle vermeiden.¹⁶³ Außerdem ist der Preis für 93 Prozent der deutschen Befragten eines der ausschlaggebendsten Merkmale bei der Wahl eines Autos.¹⁶⁴ Automatisierte Fahrzeuge findet jeder Dritte „zu teuer“.¹⁶⁵

Akzeptanz von künstlicher Intelligenz

Mit dem automatisierten vernetzten Fahren halten KI-Komponenten Einzug in die Fahrzeuge. Inwiefern beeinflusst dies die Akzeptanz? Im europäischen Vergleich zeigt sich, dass die deutschen Bürgerinnen und Bürger zusammen mit der polnischen Bevölkerung am besten über dieses Thema informiert sind. Den Begriff „Künstliche Intelligenz“ haben laut einer aktuellen Studie 93,7 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in der Bundesrepublik bereits einmal gehört, gut drei Viertel von ihnen können diesen grob beschreiben und jeder Vierte sogar genauer.¹⁶⁶ Diese Angaben zeigen eine deutliche Steigerung zum Jahr 2017: Hier schwankten die Zahlen derjenigen, die den Begriff KI bereits einmal gehört hatten, zwischen 61¹⁶⁷ beziehungsweise 75¹⁶⁸ Prozent, und nur 33 Prozent konnten ihn erklären.¹⁶⁹ Die meisten Befragten wissen um den Einsatz von Algorithmen und haben aus den Medien erfahren, dass persönliche Lebensbereiche davon tangiert werden.

156 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 19.

157 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 22 f.

158 | Vgl. Deloitte AG 2019, S. 4.

159 | Vgl. Ford Motor Company 2019, S. 34.

160 | Vgl. Continental AG 2018, S. 17.

161 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 16 f.

162 | Vgl. acatech/Körber-Stiftung 2018, S. 33.

163 | Vgl. Continental AG 2018, S. 14.

164 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 22, S. 24.

165 | Siehe VdTÜV 2018, S. 19.

166 | Vgl. Sausen 2018.

167 | Vgl. PwC 2017, S. 4.

168 | Vgl. Berg 2017, S. 2.

169 | Vgl. PwC 2017, S. 4.

In Deutschland sind die Einstellungen zu KI gemischt. Mehr als die Hälfte der Bürgerinnen und Bürger teilt die Überzeugung, dass sich Vor- und Nachteile der KI die Waage halten. 18 Prozent glauben, dass es durch KI zu einer Verschlechterung des eigenen Lebens kommen wird. Fast jeder Vierte erwartet stattdessen eine Verbesserung.¹⁷⁰ Diese Einstellung hat sich in den letzten zwei Jahren nicht merklich verändert. Schon 2017 hielten sich negative und positive Angaben zur Bewertung der KI die Waage: Während 47 Prozent KI als gefährlich einstufen, sahen 48 Prozent KI als Chance. Das Potenzial der KI wird vor allem in der Medizin, der Cybersicherheit, dem Klimawandel, der Organisation des Alltags und der Arbeit sowie im Straßenverkehr gesehen.^{171, 172}

Trotz erwartbarer Vorteile denkt nahezu jeder zweite Befragte, „dass der Mensch die Kontrolle [an eine künstliche Intelligenz] verlieren“^{173, 174, 175} und diese ihn rechtlos machen wird.¹⁷⁶ Darüber hinaus verknüpfen knapp dreißig Prozent der Bürgerinnen und Bürger das Wort „Algorithmus“ mit Manipulation.¹⁷⁷ 2017 vertraten jedoch noch 78 Prozent diese Einstellung, die sich zu einer deutlich positiveren Haltung entwickelt hat.¹⁷⁸ Weiter stellen vier von zehn Bürgerinnen und Bürger eine Verbindung zwischen dem Wort „Algorithmus“ und „viel Macht für Programmierer“¹⁷⁹ her. Es gibt durchaus ein Bewusstsein für die Reichweite und Wirkungskraft von KI und wer den größten Einfluss ausübt. 67 Prozent der Befragten meinen, dass KI die Vorurteile der Programmierer widerspiegeln wird. Mehr als zwei Drittel teilen die „Einschätzung, dass KI faktenbasierte Entscheidungen vortäuscht“.¹⁸⁰ Die Hälfte der deutschen Gesellschaft unterstützt die Aussage, „dass sich KI ‚irgendwann gegen den Menschen‘ wenden wird“.¹⁸¹

Weiterhin erklären 64 Prozent der EU-Bürgerinnen und -Bürger: „Algorithmen mögen objektiv sein, aber ich fühle mich unwohl, wenn Computer Entscheidungen über mich treffen. Ich bevorzuge, dass Menschen diese Entscheidungen treffen.“¹⁸² Lediglich 16 Prozent und damit nicht einmal zwei von zehn

EU-Bürgerinnen und -Bürgern setzen stattdessen auf Algorithmen: „Ich bevorzuge es, dass Algorithmen mich anstelle von Menschen beurteilen. Sie treffen objektivere Entscheidungen, die für alle gleich sind.“¹⁸³ Es fällt auf, dass sich auch Bürgerinnen und Bürger mit Wissen über Algorithmen mehrheitlich gegen KI als Entscheidungsinstanz entscheiden.¹⁸⁴

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in Deutschland die Meinungen über KI und Algorithmen sehr gemischt ausfallen. Es werden zahlreiche positive wie negative Einstellungen geäußert, die verdeutlichen, dass noch ein starker Aufklärungsbedarf besteht. Europaweite Umfragen haben ergeben, dass mit viel Wissen auch eine positivere Grundeinstellung gegenüber Algorithmen einhergeht.¹⁸⁵ Des Weiteren gilt es, die bestehenden Ängste und Sorgen ernst zu nehmen und durch klare rechtliche und ethische Maßgaben die Implementierung von KI zu kontrollieren.

So sehen neun von zehn Bürgerinnen und Bürgern in der Bundesrepublik einen klaren Handlungsbedarf seitens der Politik bei der Frage nach Regelungen und Vorschriften für die Handhabung von KI und Algorithmen.¹⁸⁶ 63 Prozent der Befragten stimmen darin überein, dass es bei Algorithmen strengerer Kontrollmechanismen bedarf.¹⁸⁷ So befürworten achtzig Prozent der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland bei automatisierten Entscheidungen ein Recht auf zweite Beurteilung beziehungsweise ein Auskunftsrecht. Mehr als zwei von drei befragten Personen möchten die Möglichkeit haben, zwischen der Beurteilung durch einen Menschen oder durch einen Algorithmus entscheiden zu können. 79 Prozent stimmen einer Kennzeichnungspflicht bei Entscheidungen durch Algorithmen zu. Für drei Viertel der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland ist es wichtig, dass auch unabhängige Fachleute Zugang zu Algorithmen bekommen. Ebenso erachtet es eine große Mehrheit als notwendig, dass eine Art TÜV für Algorithmen eingeführt werden sollte. Rund 73 Prozent unterstützen ein Verbot automatisierter Entscheidungen. 65 Prozent wünschen sich eine Ethik-Kommission und moralische Verhaltensregeln

170 | Vgl. Sausen 2018.

171 | Vgl. PwC 2017, S. 6.

172 | Vgl. Berg 2017, S. 7 f.

173 | Siehe Sausen 2018.

174 | Vgl. auch Grzymek/Puntschuh 2019, S. 22.

175 | Vgl. auch Marsden 2017, S. 9 ff.

176 | Vgl. Berg 2017, S. 9.

177 | Vgl. Grzymek/Puntschuh 2019, S. 22.

178 | Vgl. Berg 2017, S. 9.

179 | Siehe Grzymek/Puntschuh 2019, S. 22.

180 | Siehe Berg 2017, S. 9.

181 | Siehe Berg 2017, S. 9.

182 | Siehe Grzymek/Puntschuh 2019, S. 25.

183 | Siehe Grzymek/Puntschuh 2019, S. 25.

184 | Vgl. Grzymek/Puntschuh 2019.

185 | Vgl. Grzymek/Puntschuh 2019.

186 | Vgl. Berg 2017, S. 10.

187 | Vgl. Fischer/Petersen 2018, S. 28.



bei der Entwicklung von Algorithmen. Die Schaffung eines Klagerechts für Verbraucherschutzorganisationen findet bei 64 Prozent der Befragten Zustimmung.¹⁸⁸

Betrachtet man konkrete Anwendungsfelder, gaben 2017 rund 85 Prozent der Frauen und Männer in der Bundesrepublik an, für den Einsatz von KI bereit zu sein. Dabei sollte KI besonders im privaten und beruflichen Alltag zum Einsatz kommen, um dort zu Zeitersparnis und effizienteren Prozessen beizutragen.¹⁸⁹

Um mit einem automatisierten Fahrzeug den Arbeitsweg zurückzulegen, befürworteten 31 Prozent die Verwendung von KI.¹⁹⁰ Aktuell betrachten 89 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in der Bundesrepublik KI-Systeme für Fahrzeuge als förderlich, „um die optimale Route zu finden, Staus zu umfahren und bei Unfallgefahren rechtzeitig gewarnt zu werden“.¹⁹¹ Bezüglich des Mobilitätssektors nimmt also die Offenheit für KI-Komponenten zu. Darüber hinaus sehen mehr als acht von zehn Bürgerinnen und Bürgern großes Potenzial für den gesamten Verkehr, etwa für die Optimierung von Ampelschaltungen. Zusätzlich könnte KI nach Meinung von rund neunzig Prozent der deutschen Befragten dabei unterstützen, die Effizienz von Pkw-Fahrten zu steigern und unnötige Leerfahrten zu reduzieren. Ein Ergebnis war zudem, dass der „Wunsch nach menschlichen Entscheidungen immer dann besonders ausgeprägt [ist], wenn es um Bewertungen des Individuums geht, die den Einzelnen in besonderem Maße beeinflussen“.¹⁹² Diese Ergebnisse zeigen insgesamt, dass die Akzeptanz für den Einsatz von KI im Mobilitätsbereich seitens der EU-Bevölkerung und damit auch der deutschen Bevölkerung vergleichsweise hohe Werte aufweist. Im Jahr 2018 hat die Bundesregierung eine KI-Strategie beschlossen. Durch ein Maßnahmenpaket und aktive politische Gestaltung soll Deutschland zu einem führenden Standort für die Entwicklung und Anwendung von KI-Technologien werden. Eine verantwortungsvolle und gemeinwohlorientierte Entwicklung und Nutzung von KI steht dabei im Vordergrund. Flankiert wird die Strategie durch einen breiten gesellschaftlichen Dialog, um KI ethisch, rechtlich, kulturell und institutionell in die Gesellschaft einzubetten.¹⁹³

Datenerhebung, Datenschutz und Datensicherheit

Das Erheben und Verarbeiten von Daten ist zentral für eine ganzheitliche, intelligente Verkehrssteuerung aller Verkehrsträger. Die Vielfalt, die Verfügbarkeit und der Schutz von Daten spielen eine essenzielle Rolle und sind gleichzeitig Grund für Vorbehalte von Bürgerinnen und Bürgern gegenüber automatisiertem und vernetztem Fahren.

Die meisten Autofahrerinnen und Autofahrer sind sich bewusst, dass für automatisierte Systeme sensible Daten erhoben werden müssen.¹⁹⁴ Trotzdem betrachteten im Jahr 2017 19 Prozent die Notwendigkeit, große Datenmengen zu sammeln, als kritisch. Hier kann jedoch eine Abnahme des Misstrauens verzeichnet werden, da 2013 noch 28 Prozent skeptisch waren.¹⁹⁵ Außerdem besteht Unsicherheit darüber, welche spezifischen Daten zu welchem Zweck, von welchen Akteuren und unter welchen Datenschutzbedingungen erhoben werden. Im Vergleich zu China, wo nur 15 Prozent der Befragten diese Sorgen teilen, bemängelt über die Hälfte (52 Prozent) aller deutschen Befragten fehlende Informationen diesbezüglich.¹⁹⁶

Bei der Nutzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge entstehen kontinuierlich Daten über den Zustand einzelner Pkw-Komponenten und -Funktionen bis hin zu Informationen zu Standort und Nutzerverhalten. Transparenz spielt hierbei eine bedeutende Rolle für die Nutzerinnen und Nutzer. So ist es für die Mehrheit der Befragten (83 Prozent) wichtig zu wissen, welche Daten bei der Nutzung entstehen.¹⁹⁷ Hier kann im Allgemeinen zwischen drei Datentypen unterschieden werden: Daten bezüglich des Fahrzeugzustands, Bewegungsdaten und personenspezifische Daten. Die Unterscheidung zwischen nicht personenbezogenen und personenbezogenen Daten verursacht jedoch auf Seiten der Nutzerinnen und Nutzer Unsicherheiten.¹⁹⁸ Insbesondere das Erheben letzterer wird von den Befragten kritisch gesehen. So stört sich die Mehrheit (65 Prozent) daran, dass überhaupt personenbezogene Daten von Fahrzeugen erhoben werden.¹⁹⁹ Auch die Sicherheit von personenbezogenen Daten

188 | Vgl. Fischer/Petersen 2018, S. 29.

189 | Vgl. PwC 2017, S. 5.

190 | Vgl. PwC 2017, S. 7.

191 | Siehe Bitkom 2018.

192 | Siehe Grzymek/Puntschuh 2019, S. 28.

193 | Vgl. Die Bundesregierung 2018.

194 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 4.

195 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2017, S. 8.

196 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 4.

197 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 33.

198 | Vgl. Kühling/Sackmann 2018, S. 10 ff.

199 | Vgl. acatech/Körper-Stiftung 2018, S. 7.

ist für 42 Prozent der deutschen Befragten potenziell Anlass zur Sorge. 2015 waren sogar noch deutlich weniger der Befragten (32 Prozent) skeptisch eingestellt.²⁰⁰ Dieser Trend der zunehmenden Besorgnis hängt möglicherweise mit dem abnehmenden Vertrauen in große Technologiekonzerne und deren nachlässigem Umgang mit personenbezogenen Daten zusammen.^{201,202} Beispielsweise sind 60 Prozent der befragten Deutschen besorgt, dass personenbezogene Daten wie Herzfrequenz, Blutdruck oder Blutalkoholspiegel erfasst und anschließend mit Dritten geteilt werden. Auch das Teilen weiterer personenbezogener Informationen beunruhigt die Befragten. 55 Prozent sind besorgt, wenn Fahrzeugstandorte beziehungsweise Ortungsdaten der mobilen Endgeräte geteilt werden, 48 Prozent, wenn Daten bezüglich des eigenen Fahrstils und 27 Prozent, wenn Daten bezüglich des Fahrzeugzustands geteilt werden.²⁰³

Wir können festhalten: Daten sind die Basis für die intelligente Mobilität der Zukunft. Da insbesondere das Sammeln und Teilen von personenbezogenen Daten auf große Skepsis bei den Bürgerinnen und Bürgern stößt, müssen geeignete Datenschutzmaßnahmen das Vertrauen der potenziellen Nutzerinnen und Nutzer stärken.

Die Haltung gegenüber technologischen Entwicklungen wird maßgeblich davon bestimmt, ob man einen gesellschaftlichen Mehrwert oder einen eigenen Vorteil erkennt. Das wird auch in Bezug auf das automatisierte und vernetzte Fahren deutlich. Nur ein geringer Teil (15 Prozent) der Befragten ist grundsätzlich damit einverstanden, dass Daten über das Fahrzeug, das eigene Fahrverhalten sowie den Standort gesammelt und weiterverarbeitet werden.²⁰⁴ Die Mehrheit der Befragten knüpft das Einverständnis in die Speicherung und Verarbeitung von Daten an einen individuellen beziehungsweise gesellschaftlichen Mehrwert. So würden 27 Prozent der Datenerhebung nur zustimmen, wenn sie daraus persönliche Vorteile, wie personalisierte Verkehrsmeldungen, Routenvorschläge oder Parkplatzreservierungen, ziehen.²⁰⁵

Durch die Nutzung und den Betrieb von vernetzten Fahrzeugen kann ein Mehrwert bei der Verkehrssicherheit geschaffen werden. Deswegen plädierte acatech bereits in einem ersten

Zwischenbericht dieses Projekts dafür, dass Daten, die dem gesellschaftlichen Gemeinwohl dienen, von allen Verkehrsteilnehmenden erhoben und bereitgestellt werden sollten.²⁰⁶ Datenerhebung, die darüber hinausgeht, sollte nur freiwillig und mit Zustimmung erfolgen. Neben persönlichen Vorteilen motiviert vor allem das Argument einer erhöhten Verkehrssicherheit dazu, der Erhebung und Freigabe von Daten zuzustimmen.

Das Wissen über die Nutzungsrechte an den generierten Daten ist für 93 Prozent der Bürgerinnen und Bürger bedeutsam. Neben einer transparenten Information darüber, wer die generierten Daten nutzen darf, spielt für die Bürgerinnen und Bürger eine bedeutende Rolle, wer letztendlich die Datensouveränität besitzt, das heißt, wer darüber entscheiden darf, in welcher Art und zu welchem Zweck die generierten Daten von wem genutzt werden dürfen. Zwei Drittel der Befragten meinen, dass die Eigentümerin oder der Eigentümer des Autos über die Datennutzung bestimmen sollte. Falls Halterin/Halter und Nutzerin/Nutzer des Fahrzeugs nicht identisch sind, wie es bei Autovermietungen der Fall ist, befürworten 57 Prozent ein Mitspracherecht der Nutzerin/des Nutzers. Weiter ziehen 28 Prozent eine Entscheidungsgewalt des Gesetzgebers in Betracht, nur zwei Prozent hingegen sehen die Automobilhersteller in der Position, über die Datennutzung zu entscheiden.²⁰⁷

Insgesamt wird deutlich, dass der Zugang zu Daten sorgfältig und auch im Interesse der Nutzerinnen und Nutzer geregelt werden muss, damit sich die Akzeptanz für das automatisierte Fahren erhöht. Bei konkreten Mehrwerten wie verbesserter Sicherheit oder hochwertigeren Services steigt die Bereitschaft der Befragten, Daten mit Automobilherstellern zu teilen, auf 45 Prozent.²⁰⁸

Um generierte Fahrzeugdaten zu speichern, werden unabhängige Datenplattformen²⁰⁹ empfohlen. Als mögliche Betreiber der erforderlichen Datenplattformen bekommen nur unabhängige Prüforganisationen eine mehrheitliche Zustimmung (55 Prozent). Der Großteil der Befragten widerspricht der Speicherung von Daten auf Datenplattformen, die von Automobilclubs, staatlichen Behörden, Automobilherstellern, Versicherungen oder

200 | Vgl. Arthur D. Little 2018, S. 15.

201 | Vgl. Tagesschau 2019.

202 | Vgl. Tagesschau 2018.

203 | Vgl. Deloitte AG 2019, S. 20.

204 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 36 f.

205 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 36 f.

206 | Vgl. acatech 2018, S. 30.

207 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 33 f.

208 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 4.

209 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 38 f.



Digital- und Internetunternehmen betrieben werden.²¹⁰ Die intelligente Verkehrslenkung auf Autobahnen durch Behörden oder Kommunen wäre jedoch erschwert, wenn diese keine externen Anbieter damit beauftragen könnten, die notwendigen Daten zu erheben, zu speichern und zu verarbeiten.

In Kombination mit mangelnden Sicherheitsstandards kann zunehmende Vernetzung und Automatisierung dazu führen, dass Fahrzeugsysteme anfälliger für Angriffe von außen oder Funktionsausfälle sind. Neben der Gewährleistung der Betriebssicherheit des Fahrzeugsystems (Safety) spielen der Schutz vor Datenmissbrauch durch Dritte und vor dem Angriff von außen (Security) eine elementare Rolle.²¹¹ Ängste gegenüber dem automatisierten Fahren fußen vor allem auf Bedenken wegen des unzureichenden Datenschutzes und der Angriffssicherheit (siehe hierzu auch Kapitel 4.2).

Um den richtigen Umgang mit den Daten sorgen sich je nach Umfrage beziehungsweise Studie zwischen einem Drittel²¹² und drei Viertel²¹³ der Befragten. Neben dem ungebremsten Sammeln von personenbezogenen Daten beunruhigt die Befragten auch die Möglichkeit des Datenmissbrauchs durch unterschiedliche Akteure. So befürchten laut verschiedenen Umfragen 52 Prozent²¹⁴ beziehungsweise 76 Prozent²¹⁵ der Befragten, dass personenbezogene Daten, die in Verbindung mit der Nutzung eines automatisierten Fahrzeugs stehen, ohne ihr Wissen durch Dritte genutzt werden. Damit geht für über die Hälfte der Befragten (55 Prozent) ein Verlust ihrer Privatsphäre einher.²¹⁶

Die Angst vor Datendiebstahl besorgt ebenfalls die Mehrheit der Befragten (56 Prozent).²¹⁷ So sind in Bezug auf den Schutz persönlicher Daten je nach Umfrage 62²¹⁸ bis 74 Prozent²¹⁹ der Befragten besorgt, dass ein automatisiertes Auto gehackt werden könnte. Über 67 Prozent sind sich sogar sicher, dass durch Hacker verursachte konkrete Störungen oder gar Unfälle passieren werden.²²⁰ Während nur 35 Prozent an den positiven Nutzen von Vernetzung glauben, befürchten 64 Prozent der Befragten, dass drahtlose Vernetzung die Gefahr von Cyberkriminalität mit sich bringt.²²¹ Es handelt sich bei den Ergebnissen dieser Umfragen allerdings um momentane Gefühlslagen, da bislang kaum Erfahrungswerte vorliegen. Im Vergleich mit Umfragewerten aus dem

Vorjahr wird zudem deutlich, dass die Folgen von Vernetzung bereits positiver gesehen werden.²²²

Wie zentral der Schutz der Daten vor Angriffen von außen für die Akzeptanz des automatisierten Fahrens ist, zeigt die Einschätzung der Befragten: 79 Prozent geben an, den Angriffsschutz als „sehr wichtig“ oder „eher wichtig“ anzusehen.²²³ 66 Prozent der Befragten würden sogar so weit gehen, den Hersteller zu wechseln, sobald Hackerangriffe auf eine bestimmte Automarke bekannt werden. Für Hersteller ist es also essentiell, in die entsprechende Angriffssicherheit zu investieren, um das Vertrauen der Kundinnen und Kunden zu gewinnen und zu halten. Momentan sehen über die Hälfte der Befragten (55 Prozent) die deutschen Fahrzeughersteller in der Lage, automatisierte Fahrzeuge vor unbefugtem Zugriff zu schützen.²²⁴ 95 Prozent der Nutzerinnen und Nutzer sind der Meinung, dass vernetzte Fahrzeugsysteme regelmäßig in puncto Datenschutz und -sicherheit überprüft werden sollten, etwa alle zwei Jahre im Rahmen der Hauptuntersuchung, und über die Hälfte der Befragten (55 Prozent) wäre sogar bereit, dafür zusätzliche Kosten zu tragen.²²⁵ Außerdem befürworten 64 Prozent der deutschen Befragten regelmäßige Systemaktualisierungen (Over-the-air-Updates), um sich gegen Fremdangriffe zu schützen und mehr Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten.²²⁶

Cybersicherheit ist auch zentral für die Verkehrs- und Kommunikationsinfrastruktur eines zukünftigen vernetzten Mobilitätssystems. Der Schutz vor Übergriffen ist eine Voraussetzung, um das Vertrauen der Nutzerinnen und Nutzer zu gewinnen und ihr Einverständnis für die Datenkommunikation zu erhalten. Erst dann kann der Datenaustausch zwischen allen Verkehrsteilnehmenden verlässlich funktionieren und ein sicheres Verkehrssystem ermöglichen.

Vertrauen in eine neue Technologie wie das automatisierte und vernetzte Fahren kann nicht kurzfristig durch Akzeptanzbeschaffung hergestellt werden. Vielmehr spielen sachgerechte Informationen und die Partizipation von Bürgerinnen und Bürgern eine wichtige Rolle, um eine positive Beurteilung des automatisierten und vernetzten Fahrens, also Akzeptabilität, zu ermöglichen. Veränderungen im individuellen und gesellschaftlichen

210 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 38 f.

211 | Vgl. Lemmer 2016, S. 57 ff.

212 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2017, S. 8.

213 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 3.

214 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 18 f.

215 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 3.

216 | Vgl. Bertelsmann Stiftung 2017, S. 4.

217 | Vgl. Bertelsmann Stiftung 2017, S. 4.

218 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 18 f.

219 | Vgl. Bertelsmann Stiftung 2017, S. 4.

220 | Vgl. acatech/Körper-Stiftung 2018, S. 33.

221 | Vgl. Deloitte AG 2019, S. 15.

222 | Vgl. Deloitte AG 2019, S. 15.

223 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 28 f.

224 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 3.

225 | Vgl. VdTÜV 2018, S. 29.

226 | Vgl. TÜV Rheinland 2018, S. 3.

Mobilitätsverhalten können nur gemeinsam mit den Nutzerinnen und Nutzern bewirkt werden. Hierbei spielt natürlich das Vertrauen in die Fahrzeugtechnologie eine wichtige Rolle, aber auch in die Systeme, in die das automatisierte und vernetzte Fahren eingebettet ist und die entscheidend zu dessen Wahrnehmung beitragen.²²⁷ Der Erfolg des automatisierten und vernetzten Fahrens hängt von einer sauberen datenschutzrechtskonformen Ausgestaltung und von der Gewährleistung von Safety und Security ab. Die im Herbst 2018 eingerichtete Datenethikkommission erarbeitet aktuell einen Entwicklungsrahmen für Datenpolitik sowie den Umgang mit Algorithmen, KI und digitalen Innovationen. Die Ergebnisse sollen Regierung und Parlament bis Ende Oktober 2019 vorliegen.²²⁸

7.2 Ethik

Aus der Rede des ehemaligen Bundesverkehrsministers Alexander Dobrindt zur Veröffentlichung des Berichts der Ethik-Kommission zum automatisierten Fahren²²⁹ wird deutlich, dass zwei wichtige Prinzipien in der Diskussion um ethische Leitlinien für automatisierte und vernetzte Fahrsysteme bereits im Vorhinein als essenziell erachtet werden: Zum einen wird dem Schutz menschlichen Lebens höchste Priorität eingeräumt. Zum anderen darf in Situationen, die unausweichlich zu Personenschäden führen müssen, keine Bewertung von Menschen nach persönlichen Merkmalen stattfinden.²³⁰ Diese Prinzipien finden sich als Kernpunkte in den zwanzig von der Ethik-Kommission entwickelten Leitlinien wieder, die einen auch internationalen Meilenstein der Auseinandersetzung mit ethischen Fragen des automatisierten und vernetzten Fahrens bilden. So steht der Schutz menschlichen Lebens stets vor dem von Tieren und Sachen, und automatisierte Systeme sollen weder Alter, Geschlecht, körperliche noch geistige Konstitution in sogenannten Dilemma-Situationen, also unvermeidbaren Unfallsituationen, zur Entscheidungsfindung

nutzen. Weitere Kernpunkte umfassen das Gebot einer positiven Risikobilanz in Bezug auf die Verkehrssicherheit, also eine geringere Anzahl von Schäden im Vergleich zu menschlicher Steuerung. Außerdem wird die Verantwortung bei automatisierten und vernetzten Fahrsystemen von den Autofahrerinnen und Autofahrern auf Hersteller und Betreiber ausgedehnt und eine Protokollierung der Abläufe zwischen Mensch und Maschine im Fahrzeug selbst gefordert, um gegebenenfalls Verantwortung eindeutig zuordnen zu können. In Bezug auf die Erhebung von Daten soll die Datenhoheit der Verkehrsteilnehmenden respektiert werden. Die eigene Datensouveränität obliegt der Fahrerin oder dem Fahrer. Allgemein setzt die Ethik-Kommission voraus, dass der rechtliche Rahmen für die weitere Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens maximale persönliche Entscheidungsfreiheit für die Bürgerinnen und Bürger gewährleistet.²³¹ Der Bericht der Ethik-Kommission leistet wichtige Pionierarbeit und bietet Anknüpfungspunkte für den weiteren Dialog auf nationaler und internationaler Ebene. So hat die Bundesregierung aufbauend auf den ethischen Leitlinien der Ethik-Kommission einen Maßnahmenplan entwickelt, um Ethikregeln für die Weiterentwicklung der Technologie des automatisierten und vernetzten Fahrens zu schaffen und voranzutreiben.²³²

Auf europäischer Ebene folgte 2017 die Initiierung der „Task Force on Ethical Aspects of Connected and Automated Driving (Ethics Task Force)“.²³³ Aufgabe dieser Arbeitsgruppe ist es zu überprüfen, welche ethischen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Interaktion zwischen Mensch und Maschine beim automatisierten und vernetzten Fahren geschaffen werden sollten, um eine breit angelegte Akzeptanz in der Gesellschaft zu schaffen. Diesem Auftrag entsprechend präsentierte die Ethik-Task-Force in ihrem Bericht²³⁴ im Juni 2018 Empfehlungen und Diskussionsergebnisse,²³⁵ die sich sowohl an nationale Regierungen als auch die EU-Ebene richten. Im Bereich der öffentlichen Akzeptanz und Partizipation empfiehlt die Ethik-Task-Force

227 | Vgl. Hampel et al. 2018.

228 | Vgl. BMI 2019.

229 | Als erster Staat überhaupt hat die Bundesrepublik 2017 durch den Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur eine unabhängige Ethik-Kommission einberufen mit dem Auftrag, „die notwendigen ethischen Leitlinien für das automatisierte und vernetzte Fahren zu erarbeiten“ (siehe BMVI 2017c, S. 2). Diese 14-köpfige Kommission besteht aus „Vertreter(n) der Philosophie, der Rechts- und Sozialwissenschaften, der Technikfolgenabschätzung, des Verbraucherschutzes und der Automobilindustrie sowie der Softwareentwicklung“ (siehe BMVI 2017a, S. 7).

230 | Vgl. BMVI 2017b.

231 | Vgl. BMVI 2017a, S. 10 ff.

232 | Vgl. BMVI 2017c, S. 6 f.

233 | Die Task Force besteht aus Mitgliedern der Länder Deutschland,

Österreich, Luxemburg, Großbritannien sowie Vertreterinnen und Vertretern der Europäischen Kommission und der Institutionen European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) und European Association of Automotive Suppliers (CLEPA). Der Vorsitz obliegt Deutschland und wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur repräsentiert.

234 | Vgl. BMVI 2018c.

235 | Diese greifen die relevanten ethischen Fragestellungen auf, die (weiterhin) gemeinsam auf europäischer Ebene behandelt werden sollten, sowie die Themen, die (eher) auf nationaler und internationaler Ebene bearbeitet werden sollten. Der Erarbeitung dieser Vorschläge lag dabei das Ziel zugrunde, einen kohärenten Ansatz im Kontext des Binnenmarkts und des Schutzes der in der Charta der Grundrechte der Europäischen Union verankerten Bürgerrechte zu gewährleisten und auch dem Subsidiaritätsprinzip gebührend Rechnung zu tragen.



unter anderem, nutzerzentriertes Design für die Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens zu stärken und Projekte zu fördern, die eine Mischung aus technischer und sozialer Forschung im Hinblick auf das automatisierte und vernetzte Fahren und seine ethischen Auswirkungen leisten, sowie den Wissensaustausch zwischen diesen Projekten zu unterstützen.²³⁶ Damit soll das Ziel verfolgt werden, die öffentliche Meinung und öffentliche Bedenken besser abzubilden und zu verstehen. Auf EU-Ebene sollte die gesellschaftliche Debatte über die Rolle der Ethik bei der Entwicklung und Einführung von automatisiertem und vernetztem Fahren in Europa gefördert sowie eine Kommunikationsstrategie erarbeitet werden. Für den Umgang mit Dilemma-Situationen wird die Entwicklung eines gemeinsamen europäischen Konzepts empfohlen. Weitere Diskussion und Forschung werden vorgeschlagen. Außerdem soll der Handlungsbedarf im Hinblick auf die Produkthaftung im EU-Rechtsrahmen sowie in den Rechtsrahmen der Mitgliedsstaaten einer Überprüfung unterzogen werden. In Bezug auf Cybersicherheit, Datenschutz und die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine wird die weitere Unterstützung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa empfohlen. Des Weiteren rät die Ethik-Task-Force der Europäischen Kommission sowie den Mitgliedsstaaten, die sozioökonomischen Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens zu untersuchen und mögliche Maßnahmen als Reaktion auf diese Auswirkungen zu entwickeln.²³⁷

Besonders beachtet werden müssen ethische Aspekte des Einsatzes von KI, da die Frage nach den ethischen Grundsätzen der Funktionen von lernenden Systemen und damit der KI essentiell für das 21. Jahrhundert ist.²³⁸ Gerade für die Mobilität als eines der ersten Anwendungsgebiete der Mensch-Maschine-Interaktion ist es zentral, ethische Grundsätze zu definieren.²³⁹ Fragen, die sich im Zuge der Automatisierung ergeben, sind zahlreich. So muss etwa beantwortet werden, welchen Grad an Abhängigkeit von automatisierten Systemen die Gesellschaft für „mehr Sicherheit, Mobilität und Komfort“²⁴⁰ einzugehen bereit ist. Nicht zuletzt sollte eine humane Gesellschaft erhalten bleiben.²⁴¹

2018 folgte auf EU-Ebene die Einrichtung einer 52-köpfigen Expertenkommission, die mit der Aufgabe betraut wurde, für die gesamte EU ethische Leitlinien für die Entwicklung und den Einsatz von KI zu erarbeiten. In dem im März dieses Jahres

eingereichten Abschlussbericht²⁴² werden vier zentrale ethische Prinzipien formuliert: Respekt vor der menschlichen Autonomie, Schadensvermeidung, Fairness sowie Erklärbarkeit.²⁴³ Dabei bilden die fundamentalen Rechte aus den EU-Verträgen, der EU-Charta und die allgemeinen Menschenrechte die Grundlage für die Erarbeitung der Ethik-Prinzipien.²⁴⁴

7.3 Gesellschaftliche Partizipation und Transparenz

Der Übergang zum automatisierten und vernetzten Straßenverkehr der Zukunft bedeutet einen vielversprechenden, aber auch gravierenden gesellschaftlichen Umbruch. Er wird deshalb ohne die aktive Beteiligung von Verkehrsteilnehmern sowie Bürgerinnen und Bürgern nicht möglich sein – ob als Einzelpersonen oder organisiert in zivilgesellschaftlichen Interessenvereinigungen. Beteiligung kann dabei sehr verschiedene Formen annehmen, im Folgenden beschrieben mithilfe der Differenzierung in die drei Ebenen des Zielbilds automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ (siehe Kapitel 2).

Auf der Ebene des Verkehrsraums, das heißt der Fahrzeuge und der physischen Verkehrsinfrastrukturen, beginnt Beteiligung bereits mit der Nutzung und Inanspruchnahme von Angeboten. Aber auch die Mitwirkung und das Mitbestimmen darüber, wie Verkehrsräume und -mittel gestaltet werden, ist eine Form der Beteiligung auf der unmittelbaren Ebene des Verkehrs. Auf der Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements, die im Wesentlichen die Verkehrssteuerung betrifft, bezieht sich Beteiligung darauf, wie zum Beispiel ÖPNV-Angebote weiterentwickelt werden. Bürgerinnen und Bürger können Daten freiwillig zur Verfügung stellen, damit auf deren Basis Dienstleistungen im Bereich der Verkehrssteuerung verbessert werden können. Auf der Ebene der Werte und Ziele schließlich kann Beteiligung darin bestehen, dass Bürgerinnen und Bürger an der Erarbeitung von politischen Zielsetzungen und Handlungsempfehlungen mitwirken.

Auf allen drei Ebenen kann Partizipation in unterschiedlicher Intensität erfolgen (siehe Abbildung 7.3). Auf einer niedrigen Stufe sind Vorstufen der Partizipation angesiedelt: umfangliche und transparente Information, Anhörungen von Anspruchsberechtigten (Stakeholdern) und Einbeziehung von Bürgerinnen

236 | Vgl. BMVI 2018c, S. 6.

237 | Vgl. BMVI 2018c, S. 6 ff.

238 | Vgl. BMVI 2017c, S. 1.

239 | Vgl. BMVI 2017c, S. 1.

240 | Siehe BMVI 2017a, S. 6.

241 | Vgl. BMVI 2017a, S. 6.

242 | Vgl. Krauter 2019.

243 | Vgl. Europäische Kommission 2019, S. 11 f.

244 | Vgl. Europäische Kommission 2019, S. 9.



7.3 Intensitätsgrade oder „Leiter“ der Partizipation (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Arnstein 1969)

und Bürgern in den Entscheidungsprozess. Partizipation im eigentlichen Sinne beginnt mit der Mitbestimmung und reicht von der Überantwortung von Entscheidungsbefugnissen an Bürgerinnen und Bürger bis hin zur Selbstorganisation. Oft bestimmt der Kontext darüber, welche Intensität von Partizipation überhaupt realisierbar ist. In anderen Fällen ist dies aber auch eine politische Entscheidung. In Stockholm beispielsweise wurden im Innenstadtbereich 2006 Straßennutzungsgebühren eingeführt, obwohl ein Großteil der Bevölkerung diese ablehnte. Allerdings war die Einführung lediglich als Experiment angelegt. Nach einer sechsmonatigen Testphase konnten die Bürgerinnen und Bürger in einem Volksentscheid (einer sehr mächtigen Form von Partizipation) darüber entscheiden, ob die Gebühren beibehalten werden sollen, und stimmten dafür.²⁴⁵

Zusätzlich zu den drei Ebenen und den Stufen der Partizipations-Intensität ist es sinnvoll, zwischen Methoden der Partizipation zu unterscheiden. Die Partizipationsmethoden, die auf den drei Ebenen Verkehr, Mobilität sowie Werte und Ziele zum Einsatz kommen können, sind sehr vielfältig. Sie reichen von Dialogveranstaltungen²⁴⁶ und Reallaboren über Co-Creation-Projekte bis hin zur Einrichtung von Fahrgasträten für den

ÖPNV. Auch hier gilt: Die Intensität der Beteiligung, die mit einer einzelnen Maßnahme verknüpft ist, kann sich aus dem Charakter der Maßnahme ergeben oder aber frei gewählt sein. Ob beispielsweise die Resultate einer Co-Creation etwa als bloße Vorschläge im Raum stehen bleiben oder verbindlich umgesetzt werden, ist letztendlich eine Entscheidung der Auftraggeber von Beteiligungsprozessen.

Partizipation auf der Ebene des Verkehrsraums

Ein innovativer Ansatz für Beteiligungsformate, bei denen Bürgerinnen und Bürger auf experimentellem Wege an der Gestaltung von urbanen Räumen, Technologien und Regulierungen beteiligt werden, ist das sogenannte Reallabor (auch bekannt als „Living Lab“ oder „Experimentierraum“). Dabei handelt es sich weniger um eine spezifische Methode als vielmehr um ein Setting, in dem Akteure aus der Zivilgesellschaft (einzelne Bürgerinnen und Bürger, aber auch Vereine und Nichtregierungsorganisationen) mit Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammenkommen. Im Fokus stehen dabei das gemeinsame Experimentieren und Generieren von Erkenntnissen, die sich auch auf andere Kontexte übertragen lassen.

245 | Vgl. Eliasson 2014.

246 | www.themobilitydebate.net/de.



„Co-Creation“ ist hier ein vorherrschender methodischer Ansatz.²⁴⁷ Institutionell sind Reallabore meist stärker an Forschungsinstituten gebunden, die Reallabore ausrichten, als an Auftraggeber aus der Politik. Der Ansatz des Reallabors wird in Deutschland seit 2015 auf Landesebene²⁴⁸ und seit 2017 auf Bundesebene (Projektgruppe Reallabore des Bundeswirtschaftsministeriums) strategisch gefördert.²⁴⁹

Zwar nicht unter dem Titel „Reallabor“ durchgeführt, aber dennoch als Gesellschaftsexperiment in großem Maßstab angelegt, war die bereits erwähnte temporäre Einführung von Straßennutzungsgebühren in der Stockholmer Innenstadt.²⁵⁰

Ein in Bezug auf das Zielbild der automatisierten und vernetzten Mobilität einschlägiges Reallabor war das von 2016 bis 2018 von der Technischen Universität Berlin realisierte und durch die BMW Group geförderte Projekt Neue Mobilität Berlin.²⁵¹ Ziel des Projekts war es, Bürgerinnen und Bürger in zwei Berliner Quartieren für die Entwicklung von multimodalen, individuellen Mobilitätsangeboten zu gewinnen. Im Rahmen von Aktionswochen konnten Anwohnerinnen und Anwohner zum Beispiel E-Autos, E-Roller, Segways und andere Verkehrsmittel testen oder das eigene Fahrrad kostenlos reparieren lassen. Außerdem wurden temporär Carsharing-Parkplätze eingerichtet, um den Anwohnerinnen und Anwohnern das niedrigschwellige Ausprobieren von Carsharing-Diensten zu ermöglichen. Begleitend zu den Aktionen fanden Diskussionsveranstaltungen statt.

Andere Projekte mit Reallaborcharakter sind im Rahmen von Planungsverfahren durchgeführte Verkehrsversuche. So wurde in München eine stark frequentierte Einkaufsstraße in der Innenstadt – die Sendlingerstraße – testweise für ein Jahr in eine Fußgängerzone umgewandelt. Um während der Versuchsphase die Aufenthaltsqualität auf der nunmehr leeren Fahrbahn zu erhöhen, wurden an mehreren Stellen Hochbeete und Sitzgelegenheiten angebracht. Die Testphase wurde von einer umfassenden Evaluierung und Bürgerbeteiligung begleitet, um herauszufinden, wie sich der Verkehr in den umliegenden Straßen verändert und die frei gewordenen Flächen genutzt werden. Bei einem ähnlichen Projekt in Berlin-Kreuzberg wurden im Vorfeld der Errichtung einer verkehrsreduzierten Begegnungszone in einer

Einkaufsstraße auf vormaligen Parkplätzen temporäre Sitzgelegenheiten (sogenannte Parklets) aufgestellt. Ein weiteres, derzeit in Planung befindliches Projekt sieht die Einrichtung einer 200 Meter langen Demostrecke für einen Radschnellweg durch die Berliner City vor.²⁵²

Gerade die letzten beiden Beispiele zeigen auch, dass experimentelle Interventionen in der Verkehrsplanung oftmals nicht unumstritten sind. So werden die mit 2,16 Millionen Euro vergleichsweise hohen Kosten für den Radschnellweg kritisiert. Die Testphase für die Begegnungszone in der Berliner Bergmannstraße wurde nach Beschwerden von Anwohnerinnen und Anwohnern über vermehrten Müll und nächtliche Ruhestörungen sowie aufgrund von Planungsunsicherheiten in Bezug auf ein traditionell in der Straße stattfindendes Straßenfest beinahe vorzeitig abgebrochen. Eine konstruktive Einbeziehung der Bevölkerung über die verschiedenen Planungsschritte hinweg sowie eine transparente Durchführung können die Erfolgsaussichten steigern.

Partizipation auf der Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements

Auf der Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements stehen auf der niedrigsten Intensitätsstufe Meinungserhebungen zum individuellen Verkehrsverhalten und zu Präferenzen hinsichtlich Verkehrslenkung und Wahl von Verkehrsmitteln. Neben telefonischen Umfragen sind hier auch anspruchsvollere Befragungen im Rahmen von Workshops („Deliberative Polling“) zu nennen. Darüber hinaus können zu den Meinungserhebungen auch Szenarienspiele gezählt werden, wie sie in verhaltensökonomischen Experimenten durchgeführt werden. Derartige Versuche sind sehr wahrscheinlich aufschlussreicher als Befragungen, wenn es darum geht, tatsächliche Präferenzen herauszufinden oder Hypothesen über eigenes Verhalten in möglichen Zukunftsszenarien zu testen. So konnte ein Team von italienischen Ökonomen in Verhaltensexperimenten einen Effekt beobachten, den sie „Car Stickyness“ nannten: Versuchspersonen bevorzugten in interaktiven Szenarienspielen selbst dann das Auto gegenüber dem ÖPNV, wenn dieser in der Kombination von Kostenersparnis und Verspätungsrisiko eigentlich die bessere Wahl gewesen wäre. Die

247 | Für ein Fallbeispiel für Co-Creation aus dem Bereich Automotive vgl. Buhse et al. 2011.

248 | So etwa in Baden-Württemberg, vgl. Verbund für Nachhaltige Wissenschaft 2015.

249 | Vgl. BMWi 2019.

250 | Vgl. Eliasson 2014.

251 | Vgl. TU Berlin 2019.

252 | Vgl. Wiehler 2019.

Wahl des Verkehrsmittels, so das Fazit der Forscherinnen und Forscher, resultiert aus „Entscheidungsroutinen und kognitiven Verzerrungen, die eine klare Abweichung von rationalem Verhalten darstellen. Verkehrspolitik sollte [deshalb] darauf abzielen, die kognitive Wahrnehmung der Optionen von Verkehrsmitteln zu verändern.“²⁵³

Eine höhere Intensität von Beteiligung geht einher mit dem sogenannten Hackathon. Ein Hackathon (aus dem Englischen „Hack“, technischer Kniff, und „Marathon“) ist eine Methode aus der kollaborativen Soft- und Hardwareentwicklung. Ziel eines Hackathons ist es, im Rahmen eines Workshops gemeinsame Lösungen für gegebene Probleme zu finden. Selbstorganisiertes Arbeiten und provisorische Umsetzungen im Skizzenmodus („Rapid Prototyping“) sind dabei typische Vorgehensweisen. Resultate eines Hackathons werden präsentiert und von einer Jury bewertet, bevor sie eventuell in weitere Phasen der Umsetzung gehen.

Digitale Partizipation

Im Rahmen der Ideenschmiede Digitale Mobilität in Baden-Württemberg beschäftigten sich bei einem Hackathon 45 Teilnehmerinnen und Teilnehmer zwei Tage lang mit aktuellen Mobilitätsfragestellungen und entwickelten Ideen und erste Lösungsansätze zur Gestaltung einer neuen Mobilität in der Region. Für die Veranstaltung stellten 15 „Datengeber“ Datensätze zur Verfügung und brachten auch eigene praxisrelevante Fragestellungen mit ein. Unter den Hackathon-Gewinnern und -Gewinnerinnen wurden im weiteren Verlauf Stipendien zur weiteren Ausarbeitung der Konzepte vergeben. Heraus stachen ein Projekt zur datengetriebenen Parkraumbewirtschaftung, eine App zum Straßenerhaltungsmanagement, ein Staufrühwarnsystem, ein Konzept zur Optimierung von City-Logistik und Anreizsysteme zur Nutzung von Fahrrad und ÖPNV.²⁵⁴

Hackathon-ähnliche Wettbewerbe werden regelmäßig auch im Kontext der Open-Data-Initiative der Stadt Barcelona veranstaltet. Themen der Wettbewerbe sowie weitere Aktivitäten des Portals werden gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern im Rahmen von Co-Creation-Workshops identifiziert. Im Rahmen des

EU-Forschungsprojekts VaVeL wurden – allerdings mit Forscherinnen und Forschern – zwei Hackathons organisiert, um Echtzeitdaten über Bus- und Tramabfahrtszeiten in verschiedenen Formaten aufzubereiten und so ÖPNV-Nutzerinnen und -Nutzern optimierte Reiserouten zu ermöglichen.²⁵⁵

Eine andere Form der Beteiligung, die sich stärker an Laien richtet, ist die – manchmal auch unter dem Label „Bürgerwissenschaft“ oder „Citizen Science“ angepriesene – aktive Zurverfügungstellung von Daten. Dabei helfen Bürgerinnen und Bürger, mobilitätsbezogene Daten zum Zwecke der Forschung oder der kommunalen Verkehrssteuerung zu erheben und zu sammeln, etwa Daten zum privaten Mobilitätsverhalten.^{256, 257}

Als Beteiligungsformat auf der Ebene „Mobilität“ ist ebenfalls die Einrichtung von Fahrgastbeiräten im ÖPNV zu nennen. In Fahrgastbeiräten vertreten Bürgerinnen und Bürger unterschiedlichen Alters und verschiedener sozialer Gruppen sowie Mitglieder von Interessenverbänden die Sicht von Nutzerinnen und Nutzern. Sie können zum Beispiel eine beratende Stimme in Bezug auf die Gestaltung von Fahrplänen haben. Das Berliner nexus Institut für Kooperationsmanagement und interdisziplinäre Forschung hat in seinem bereits 2008 abgeschlossenen Projekt BUSREP Fragestellungen zu Fahrgastinteressen europäisch vergleichend untersucht und unter anderem ein wissenschaftliches Handbuch zu Beteiligung und Verbraucherschutz im ÖV erstellt.

Fahrgastbeiräte sind Formate, die eher von Kommunen oder Mobilitätsdienstleistern ausgerichtet werden und die hinsichtlich der Intensität der Partizipation (siehe Abbildung 7.3) auf der mittleren Stufe Einbeziehung oder Mitbestimmung anzusiedeln sind. Darüber hinausgehende Partizipationsprojekte haben den Charakter bürgerschaftlicher Selbstorganisation und verkörpern somit eine noch höhere Partizipationsstufe. Ein Beispiel dafür ist das aus der Ideenschmiede für Digitale Mobilität hervorgegangene Projekt Mitfahren-BW.de, das privat organisierte Fahrgemeinschaften mit dem ÖPNV verknüpft.

Partizipation auf der Ebene der Werte und Ziele

Verschiedene Partizipationsansätze beschäftigen sich mit politischer Schwerpunkt- und Zielsetzung oder der strategischen politischen Umsetzung. Im Rahmen des Projekts Ideenschmiede für

253 | Siehe Innocenti et al. 2013.

254 | Vgl. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) 2018.

255 | Vgl. Warsaw University of Technology 2018.

256 | Vgl. Waag Society 2016.

257 | Vgl. Citizen Sense 2017.



Digitale Mobilität in Baden-Württemberg wurde beispielsweise von einem aus zwanzig Mobilitätsexpertinnen und -experten zusammengestellten Think Tank, der während der Laufzeit des Projekts immer wieder zu Sitzungen zusammenkam, eine Liste von Handlungsempfehlungen verabschiedet. In diesem Fall handelte es sich um eine Form wissenschaftlicher Politikberatung. Ähnliche Verfahren ließen sich, unter Einsatz geeigneter Verfahren, aber auch mit Laien realisieren. Die Next-Generation-Internet-Initiative der EU ist ein weiteres Beispiel für zivilgesellschaftliche Beteiligung auf dem Weg zu gemeinwohlorientierten Normen für Informationsinfrastrukturen, wie sie auch im Bereich der vernetzten Mobilität zum Einsatz kommen.²⁵⁸

Handlungsempfehlungen bewegen sich meist auf der Partizipationsstufe einer bloßen Anhörung, das heißt, Handlungsempfehlungen werden im besten Fall von politischen Entscheidungsträgern zur Kenntnis genommen oder in ihre Entscheidung mit einbezogen. Anders ist dies bei dem Projekt DECODE,²⁵⁹ an dem das Open-Data-Portal der Stadt Barcelona federführend beteiligt ist. Hier handelt es sich um Partizipation auf der Stufe der Selbstorganisation – allerdings nur in Bezug auf die Entwicklung eines Tools. Wesentlicher Bestandteil von DECODE ist die gemeinsame Konzeption einer Anwendung, die Bürgerinnen und Bürgern in den Stand setzt zu kontrollieren, welche ihrer personenbezogenen Daten sie geheim halten und welche sie für die öffentliche Nutzung bewusst und aktiv zur Verfügung stellen wollen. An DECODE sind neben Forschungsinstitutionen auch Organisationen der Zivilgesellschaft beteiligt.

Smart City Barcelona: Smart City in Bürgerhand

Barcelona gilt international als Vorreiter, wenn es um die Verfügbarmachung und Nutzung kommunaler Daten im Rahmen von Smart-City-Projekten geht. Im Fokus der kommunalen Datenpolitik der spanischen Stadt steht, „Digital Entrepreneurship“ und gesellschaftliche Transformation voranzutreiben. Wichtigste Schnittstelle ist das im Jahr 2011 vom Stadtrat eingesetzte Open-Data-BCN-Portal.²⁶⁰ Betrieben wird es von einem eigens gegründeten kommunalen Datenbüro, und es verantwortet die Verfügbarmachung und Vereinheitlichung kommunaler Daten. Zu den Angeboten des Portals

zählen Schulungen und ein „Municipal Management Dashboard“ in Form eines Datenvisualisierungswerkzeugs. Durch das Dashboard lassen sich in Echtzeit Daten abrufen, anhand derer sich Rückschlüsse auf die Leistungen von Kommunalpolitik und Verwaltung ziehen lassen – etwa zum Wohnungsmarkt, zum Beschäftigungsstand, zum Pflegebereich oder zum Verkehrsaufkommen am Flughafen El Prat. Außerdem richtet das Portal Ausschreibungen und Wettbewerbe aus, bei denen sich Schulen sowie kleine und mittelständische Unternehmen daran beteiligen, auf öffentlichen Daten basierende Anwendungen zu erstellen, die dem Gemeinwohl dienen. Themen der Ausschreibungen sowie weitere Aktivitäten des Portals werden unter der Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern im Rahmen von Co-Creation-Workshops identifiziert.

Fazit

Um das Zielbild automatisierte vernetzte Mobilität 2030+ zu erreichen, ist die Partizipation der Bürgerinnen und Bürgern sowie der Nutzer von Mobilitätsdiensten auf allen drei Zielbildebene nicht nur nützlich und volkswirtschaftlich sinnvoll – es fördert auch die Akzeptanz und Berücksichtigung gesellschaftlicher Bedürfnisse oder konkreter Herausforderungen der Umsetzung, die vorher nicht oder nicht in dem Maße bekannt waren. Für Partizipationsvorhaben existieren zahlreiche verschiedene methodische Ansätze, die oftmals bereits auch schon eingeführt oder zumindest in Referenzprojekten erfolgreich getestet worden sind. Bei der praktischen Realisierung von Partizipationsprojekten können Kommunen wie politische Akteure auf Bundesebene auf ein breites Netzwerk an potenziellen Partnern zurückgreifen, die sich mit Partizipationsprojekten mit Bezug auf Verkehr und Mobilität bereits in der Zivilgesellschaft etabliert haben. Dazu gehören beispielsweise das Deutsche Institut für Urbanistik, der Verkehrsclub Deutschland e. V., das Netzwerk Bürgerbeteiligung und das Umweltbundesamt mit seinem Portal Kommunal mobil. Akteure aus der Forschung, die sich etwa im Rahmen von Reallaboren in verkehrs- und mobilitätsbezogenen Partizipationsprojekten engagieren, werden im Forschungs-Informationssystem des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für Verkehr und Mobilität²⁶¹ gelistet.

258 | Vgl. Europäische Kommission 2018c.

259 | www.decodeproject.eu.

260 | www.opendata-ajuntament.barcelona.cat/en.

261 | Vgl. BMVI o. J.

7.4 Internationaler Vergleich: kulturelle und regulative Aspekte

Die Einführung von automatisiertem und vernetztem Fahren im internationalen Vergleich

Verkehrssysteme in allen Regionen der Welt begegnen heute sehr ähnlichen Herausforderungen. Klima- und Umweltschutz stehen dabei einem stetigen Verkehrswachstum und einer fortschreitenden Urbanisierung gegenüber. Gleichzeitig ist gelingende Mobilität eine wichtige Voraussetzung für eine funktionsfähige Wirtschaft und für Wohlstand. Entwicklungen und Technologien im Kontext des automatisierten Fahrens können hier Lösungen für die Zukunft bieten. Zentrale Faktoren für die weitere Automatisierung im Straßenverkehr sind Siedlungsstruktur, Pkw-Besitz und seine Prestigewirkung, ÖPNV-Angebot und -Nutzung, Technikakzeptanz, Einkommensniveau, Erfahrungen aus Demonstrationsprojekten und Testgeländen, technologische Infrastruktur und industrielle Komponenten sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen. In Bezug auf diese Faktoren ist die Situation in Ländern und Regionen sehr verschieden, wie sich im internationalen Vergleich zeigt.

So leben in Deutschland nur rund 15 Prozent der Bevölkerung in Städten mit mehr als 500.000 Einwohnern.²⁶² Europaweit leben rund 28 Prozent der Bürgerinnen und Bürger in Städten mit mehr als 500.000 Einwohnern. In Nordamerika sind es 60 Prozent, in Asien 34 Prozent. Die Bevölkerungsdichte spiegelt sich in Faktoren wie ÖPNV-Nutzung und privater Pkw-Besitz wider. Beides sind Themen, die für automatisiertes und vernetztes Fahren auch im Zusammenspiel unmittelbar relevant sind. Dort, wo ein ÖPNV nur rudimentär vorhanden ist, sind die Anreize zur Nutzung beispielsweise von automatisierten Ridepooling-Diensten oder von kleinformatigen ÖV-Shuttles ungleich stärker ausgeprägt. Andererseits sind Nutzerinnen und Nutzer von ÖPNV, anders als Nutzerinnen und Nutzer privater Pkw, bereits daran gewöhnt, öffentliche Infrastrukturen zu verwenden, und deshalb leichter dazu zu bewegen, Automatisierung im ÖPNV zu akzeptieren oder Dienste wie ÖV-Shuttles zu nutzen. Dies zeigen internationale Beispiele wie aus Tokio. Während der ÖPNV in Europa und in China gut ausgebaut ist, wird er in den USA eher selten genutzt oder ist nicht vorhanden.

Automatisierte Fahrzeuge als Ergänzung zum ÖPNV

Tokio verfügt über ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrssystem. Über fünfzig Prozent des Verkehrs werden durch die intermodale Verknüpfung verschiedener öffentlicher Verkehrsmittel zurückgelegt. Ein engmaschiges Netz aus U-Bahn, S-Bahn und Fernbahn mit breit ausgebauten und verkehrsträgerübergreifend abgestimmten Buslinien bildet schon heute die Basis für Mobilität. Die japanische Zuverlässigkeit mit einer kaum zu übertreffenden Pünktlichkeit bei einer extrem hohen Taktfrequenz charakterisiert das System. Mit einem Aufkommen von über drei Milliarden Passagierinnen und Passagieren jährlich steht die Tokioer U-Bahn auf Platz eins der Welt. Nur durch die Kooperation verschiedener Betreiber und die Verknüpfung und gemeinsame Nutzung der Strecken lässt sich das Fahrgastaufkommen bewältigen. Die Anbindung des suburbanen Raums erfolgt zu großen Teilen auf direktem Weg (ohne Umsteigen). Ein einheitliches Fahrkartenverbundsystem sorgt für einen guten Kundenkomfort. Mit einer wiederaufladbaren Guthabekarte können alle U-Bahn-Linien sowie die Bahnen und Busse von über fünfzig verschiedenen Unternehmen genutzt werden. Das Tokioer System lebt von Disziplin und hoher Toleranz: Vor allem in den Pendlerstoßzeiten gibt es auf manchen Linien eine zweihundertprozentige Auslastung. Die Pendlerinnen und Pendler stehen so dicht gedrängt, dass es praktisch keine Bewegung mehr gibt. Den Herausforderungen der Olympischen Sommerspiele 2020 will Tokio unter anderem durch technische Innovationen wie zum Beispiel fahrerlose Taxis begegnen. Dieser Service ist jedoch allenfalls eine Ergänzung zum vorhandenen Verkehrssystem und für die Besucherinnen und Besucher der Olympiade und Touristen ein Demonstrationsprojekt.



Um zu beurteilen, wie sich Einflussfaktoren konkret auswirken, ist es außerdem notwendig, Annahmen darüber zu treffen, auf welchem Entwicklungspfad die Automatisierung vom jetzigen Stand bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus erfolgen wird. Viele Analysten sehen für die unmittelbare Zukunft die Nachfrage nach automatisierten Pkw im Premiumbereich als den hauptsächlichsten Treiber für die Markteinführung. Dementsprechend würden Faktoren wie Einkommensniveau und -verteilung oder der Prestigeerwerb, der mit Pkw-Besitz assoziiert wird, eine wichtige Rolle spielen. Während in China Prestige ein wichtiges Kriterium für den Kauf eines privaten Pkw darstellt, spielt in Europa für die jüngeren Generationen Pkw-Besitz eine immer geringere Rolle für den sozialen Status.

Eine weitere Annahme über die zukünftige Entwicklung hin zu einer stärkeren Automatisierung im deutschen und europäischen Straßenverkehr ist, dass Technologien und Dienste, wie das ÖV-Shuttle oder ein automatisierter ÖPNV wie in Tokio, zunächst in einigen wenigen Großstädten starten und sich von dort aus in kleinere Städte ausbreiten werden. Hier kommt Demonstrationsprojekten und Testfeldern eine besondere Bedeutung zu.

Testmöglichkeiten

In Schweden will Scania Anfang 2020 in Kooperation mit Nobina, dem größten Transportunternehmen in Skandinavien, automatisiert fahrende Busse auf regulären Routen in Stockholm testen. Laut Scania verfügt die Technologie bereits heute über einen ausreichenden Reifegrad, um Tests auf öffentlichen Straßen einzuleiten. Vorgesehen ist, dass zwei zwölf Meter lange, fahrerlos fahrende Elektrobusse eine etwa zwanzig Kilometer lange Strecke von der Stockholmer Innenstadt zu einer nahegelegenen U-Bahnstation verbinden. Das Testprojekt soll in zwei Phasen verlaufen: In Phase 1 sollen die Busse ohne Passagiere auf einer Teilstrecke von einem Kilometer fahrerlos fahren. In Phase 2 sollen dann Passagiere mit dem Bus transportiert werden. In beiden

Phasen soll sich stets eine Fahrerin oder ein Fahrer zur Sicherheit und zur Überwachung der Fahrfunktionen an Bord befinden.²⁶³

Im Bereich Testing haben verschiedene chinesische Ministerien mit gemeinsamen Richtlinien für das Testen von automatisierten Fahrzeugen einen Meilenstein geschaffen.²⁶⁴ Während diese Richtlinien strenge Anforderungen an Fahrzeug und Fahrer oder Fahrerin formulieren, schaffen sie gleichzeitig zuverlässige Rahmenbedingungen für Tests. Großflächige Fahrzeugvernetzung wird in Wuxi, in der Jiangsu-Provinz nördlich von Shanghai, getestet. Das Testgebiet wurde im September 2017 eröffnet und dient hauptsächlich der Erprobung von V2X Use Cases, also dem Testen von Funktionen der Fahrzeugvernetzung. Die getesteten Use Cases basieren auf LTE-V2X-Technologie. Im Rahmen des Projekts, das sich derzeit bereits in Phase 2 befindet, werden mit Fahrzeugen der Automationsstufe 4 auf öffentlichen Straßen 15 verschiedene V2X Use Cases getestet. Zu diesem Zweck wurden beispielsweise bereits 220 Ampeln mit entsprechender Technologie ausgestattet. Unterstützt wird das Projekt von staatlicher Seite vom Ministerium für Industrie und Informationstechnologie, vom Ministerium für Wissenschaft und Technologie sowie von der Lokalregierung der Provinz Jiangsu. Außerdem schlossen das chinesische Telekommunikationsunternehmen Huawei und die Audi AG eine Kooperation, um gemeinsam hochautomatisierte Fahrfunktionen zu entwickeln und zu testen.²⁶⁵ Insgesamt entstanden aus dem Wuxi-Testprojekt bereits mehr als 10.000 Patentanmeldungen, elf internationale und 49 nationale Standards. Das Projekt zählt aufgrund seiner hohen Investitionen und des Gesamtumfangs zu einem der größten weltweit. Generell zeigen sich asiatische Märkte in der Vernetzung wesentlich weiter fortgeschritten: So entschied sich Japan beispielsweise kürzlich, mehr als 200.000 Ampelanlagen für die Erprobung automatisierten und vernetzten Fahrens flächendeckend mit 5G auszustatten und somit die auf WLAN basierende ITS-G5-Technologie zu überspringen.²⁶⁶

263 | Vgl. Scania 2019.

264 | Vgl. MIIT 2018.

265 | Vgl. Audi 2018.

266 | Vgl. Tobita 2019.

Demonstrationsprojekte anlässlich Großevents

Der ITS World Congress bietet für die jährlich wechselnden Gastgeberländer die Möglichkeit, Demonstrationsprojekte im Bereich vernetztes und automatisiertes Fahren zu demonstrieren. So auch bei den folgenden ITS 2019²⁶⁷ in Singapur, 2020 in Los Angeles und 2021 in Hamburg.

Anlässlich der Olympischen Spiele in Tokio 2020 plant der Autohersteller Toyota fahrerlose Shuttles für Athletinnen und Athleten und offizielle Gäste zu installieren. Dieser Service soll von anderen Demonstrationsprojekten mit Fahrzeugen der Automationsstufe 4 im Stadtgebiet Tokio begleitet werden. China plant, zu den Olympischen Winterspielen 2022 automatisierte Züge in den Regionen um Peking einzusetzen. Hierzu haben bereits Tests auf der Beijing-Shenyang-Strecke begonnen.

Industriepolitik und Infrastruktur

Eine wesentliche Rolle für die Einführung von Technologien des automatisierten Fahrens spielen auch die Infrastruktur von Verkehrswegen und Datennetzen sowie das lokale Engagement der Industrie. Zwar ist das Vorhandensein einer starken Automobilindustrie keine zwingende Voraussetzung für eine zügige Entwicklung von automatisiertem und fahrerlosem Fahren. Allerdings zeigen die empirischen Befunde, dass es vor allem in Ländern mit starker industrieller Basis – etwa USA, China, Deutschland – besonders steile Entwicklungskurven gibt, gemessen an Patentanmeldungen, Standards und Fortschritten im Bereich Testing. Ausnahmen sind hier jedoch Schweden, Niederlande und Singapur, die über keine starke Automobilindustrie verfügen, sich jedoch durch einen generell sehr hohen Entwicklungsstand, eine herausragende Straßen- und Mobilfunkinfrastruktur sowie vorteilhafte regulatorische Rahmenbedingungen auszeichnen.

USA, Deutschland und China zeichnen sich durch die Ansiedlung von Unternehmen aus, die Pionierarbeit auf dem Feld der Automatisierung von Mobilität leisten. Im US-amerikanischen Kontext sind hier vor allem Google und sein Tochterunternehmen Waymo anzuführen, das mit seinen mit hauseigener Software ausgestatteten Fahrzeugen schon unzählige fahrerlose

Testkilometer absolviert hat. Um ähnliche Erfolge bemüht ist derzeit das chinesische Google-Pendant Baidu. Auf deutscher Seite ist der in Berlin ansässige Kartendienst HERE einer der weltweit führenden Anbieter hochpräziser Echtzeitkarten. HERE hat beispielsweise mit der Regierung in Dubai eine Partnerschaft geschlossen, um hochautomatisiertes Fahren zur Expo 2020 möglich zu machen. Des Weiteren soll HERE die dubaische Smart City Strategy unterstützen, deren Ziel es ist, bis 2030 ein Viertel des ÖPNV komplett zu automatisieren und zu vernetzen.

Insgesamt ist festzuhalten: Durch viele in ihren Effekten nicht immer eindeutig zu kalkulierende Einflussfaktoren ist es schwierig bis unmöglich, die weitere Entwicklung hin zum automatisierten Fahren solide zu prognostizieren. Das stellt die Unternehmen im Automobilssektor vor deutliche Herausforderungen. Die größte strukturelle Veränderung ist die von Analysten erwartete Verlagerung von Fahrzeugverkäufen hin zum Angebot mobiler Dienstleistungen. „Early Mover Advantage“ ist hier ein wichtiges strategisches Ziel. Mit den neuen Geschäftsmodellen einher gehen tiefgreifende Veränderungen der gesamten Wertschöpfungskette. Flottenmanagement, hochauflösende Karten und Software für die Routenplanung erhalten auf einmal eine völlig neue Bedeutung. Schon heute zeichnet sich ab, dass die Hersteller diese Herausforderungen nicht im Alleingang werden bewältigen können, sondern strategische Partnerschaften eingehen müssen. Viele solcher Partnerschaften sind bereits entstanden – so zwischen BMW und Intel; Uber und Volvo; Daimler, Audi und Alibaba; HERE und Audi; BMW und Daimler; oder Bosch, Vodafone und Huawei. Von industriepolitischer Seite profitieren die Kooperationen, insbesondere zwischen europäischen Unternehmen, von den Bemühungen der Europäischen Kommission, die mit ihren in den vergangenen Jahren verabschiedeten Mobilitätspaketen auf die Harmonisierung von Standards hinarbeitet. Das dritte Mobilitätspaket mit dem Titel „Europa in Bewegung“²⁶⁸ wurde 2018 auf den Weg gebracht. Strategische Ziele sind die Entwicklung von Schlüsseltechnologien und -infrastrukturen als Mittel zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der EU, die Gewährleistung der sicheren Einführung des vernetzten und automatisierten Fahrens und die Bewältigung der sozioökonomischen Auswirkungen der automatisierten Mobilität. Im Rahmen bisheriger Mobilitätspakete wurden bereits die Grundlagen für die Harmonisierung von zukünftigen Mobilfunkstandards geschaffen, das europäische Typengenehmigungssystem wurde überarbeitet, und neue Datenschutzvorschriften wurden etabliert.

267 | www.itsworldcongress2019.com.

268 | Siehe Europäische Kommission 2018a.



Regulierung

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind im internationalen Vergleich sehr unterschiedlich. Aufgrund fehlender internationaler technischer Regulierungen gehört Deutschland zu jenen Ländern, in denen hochautomatisiertes Fahren im Realverkehr noch nicht möglich ist. Auf der anderen Seite hat Deutschland im Bereich Verhaltensrecht mit der Änderung des

Straßenverkehrsgesetzes (StVG) von 2017 das erste Gesetz weltweit im Bereich automatisiertes und fahrerloses Fahren geschaffen, mit dem Rechte und Pflichten der Fahrzeugführenden bei der Nutzung automatisierter Fahrfunktionen geregelt werden. Das Gesetz definiert die hohen technischen Anforderungen an die automatisierten Systeme, bei deren Nutzung sich die Fahrenden auf das Funktionieren der automatisierten Fahrfunktion verlassen dürfen.

Technische Regulierung



Stand heute:

- EU-Richtlinie 2007/46/EG (ab 01.09.2020, neue EU-Verordnung 2018/858)
- UN-ECE-Regeln
- StVZO (zuletzt geändert am 20.10.2017)

Perspektive morgen:

- UN-ECE-Regelung für ALKS (noch in Bearbeitung)
- Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007
- Neuer Regulierungsansatz (horizontale Regelung) unter UN/WP.29

▪ Falls UN-ECE-Regelungen auf EU-Ebene angenommen, dann für alle MS verbindlich

▪ Ausstehende UN-ECE-Regelung bezüglich Automated Lane Keeping Systems (ALKS)



Stand heute:

- FMVSS-Standards

Perspektive morgen:

- UN-ECE-Regelung für ALKS (falls Unterzeichner)
- Neuer Regulierungsansatz (horizontale Regelung) unter UN/WP.29

▪ Überführung von UN-ECE-Regeln in nationales Recht auf freiwilliger Basis

▪ Oft stattdessen Anerkennung von Global Technical Regulations (GTRs) (soweit vorhanden)



Stand heute:

- Ca. 90 Standardisierungsvorhaben als Grundlage für nationale Regulierung wurden Anfang 2018 vorgestellt
- Homologierbarkeit nicht gegeben: keine Basis für Zulassung vorhanden, Widersprüche bei Lenkungsanforderungen (Power steering)

Perspektive morgen:

- UN-ECE-Regelung für ALKS (falls Unterzeichner)
- Neuer Regulierungsansatz (horizontale Regelung) unter UN/WP.29
- Umsetzung der Roadmap „Intelligent Connected Vehicles“ (ICV) durch Standardisierungsgruppen mit Industriebeteiligung. Ziel: 30 neue Standards bis 2020, 100 Standards bis 2025.

7.4.1 Übersicht technische Regulierung im weltweiten Vergleich (Quelle: VDA)

Ein wichtiger Treiber der technischen Regulierung auf internationaler Ebene ist die Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN-ECE). Dort ist das UN-ECE World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) zuständig für Fahrzeugregulierung. Mit dem „Abkommen der UN ECE vom 20. März 1958 über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung der Genehmigungen“ ist ein Meilenstein auf dem

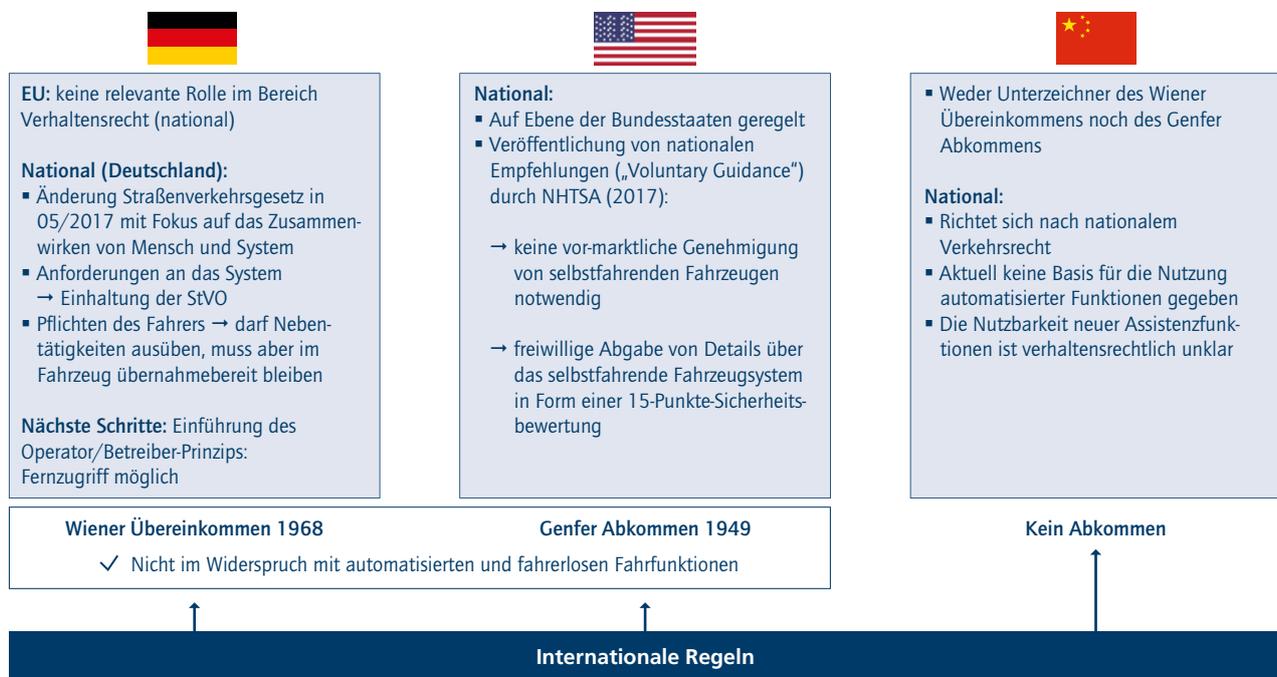
Weg zu einheitlichen technischen Zulassungsvorschriften gesetzt worden. Inzwischen umfasst das Abkommen 143 technische Regelungen. Diese betreffen neben Systemen und Bauteilen für die aktive und passive Sicherheit auch umweltrelevante Vorschriften. Das Abkommen wurde zwischenzeitlich von 51 Staaten unterzeichnet.

Das Abkommen von 1958 basiert auf dem Verfahren der Typgenehmigung. Eine unabhängige Prüfinstitution erstellt ein

Gutachten mit dem Ziel, den Nachweis der ECE-Anforderungen zu bestätigen. Eine Behörde stellt auf dieser Basis die Typgenehmigung aus, das heißt, die Fahrzeuge können in Serie produziert und in den Markt gebracht werden. Daher können die USA dem Abkommen von 1958 grundsätzlich nicht beitreten, denn das in den Vereinigten Staaten angewendete Verfahren der Selbstzertifizierung ist mit der Typgenehmigung nicht kompatibel. Aus diesem Grund wurde unter dem Schirm der UN

ein weiteres Abkommen auf den Weg gebracht: die sogenannten Globalregelungen unter dem Abkommen der UN ECE von 1998 („Global technical regulations for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles“). Dieses Abkommen haben inzwischen 33 Staaten unterzeichnet – unter ihnen einige EU-Mitgliedsstaaten, die Volksrepublik China, die Republik Korea und die Vereinigten Staaten von Amerika.

Verhaltensrecht



7.4.2 Übersicht Verhaltensrecht im weltweiten Vergleich (Quelle: VDA)

Deutschland

Der nationalen Regulierung in Deutschland sind ein regionales (EU) und ein internationales Regulierungsregime (im Verhaltensrecht das Wiener Übereinkommen, als technische Regulierung UN-ECE) übergeordnet. Diese Regime weisen einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad auf. Im Bereich Verhaltensrecht erfolgt auf europäischer und internationaler Ebene keine spezifische Regulierung. Reformen im Bereich Verhaltensrecht werden national über Änderungen im StVG umgesetzt. Im Bereich technische Regulierung ist Deutschland an Übereinkünfte der

UN-ECE gebunden, wenn diese über die EU-Rahmenrichtlinien (bevorstehende Richtlinie: 2018/858) in EU-Recht überführt wird. In Bereichen, in denen keine internationale technische Regulierung existiert, kann Deutschland eigens technische Regulierung erlassen, solange diese keinen anderen internationalen Vorschriften widersprechen oder eine Diskriminierung anderer nach sich ziehen. Mit der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) von 2017 ist Deutschland mit Blick auf das Verhaltensrecht Vorreiter bei der Gesetzgebung im Bereich automatisiertes und fahrerloses Fahren.



USA

Im Bereich Verhaltensrecht sind die USA Unterzeichner des Genfer Abkommens von 1949. Seitens der technischen Regulierung sind die Vereinigten Staaten zwar Unterzeichner des UN-ECE Agreements von 1998, besitzen allerdings im Gegensatz zu Deutschland die alleinige Entscheidungshoheit über die Unterzeichnung und die Überführung in nationales Straßenverkehrsrecht. Regulierung im Bereich automatisiertes und fahrerloses Fahren findet in den USA auf bundesstaatlicher Ebene in Form von Änderungen der jeweiligen Straßenverkehrsgesetze statt. Aktuelle nationale Anforderungen des Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) mit Bezug zum automatisierten und fahrerlosen Fahren können durch die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) interpretiert und gegebenenfalls durch eine Ausnahmegenehmigung freigegeben werden (insbesondere im Falle von fehlenden Steuerelementen, zum Beispiel Pedalerie oder Lenkrad).

China

Im Bereich Verhaltensrecht ist China weder Unterzeichner des Wiener Übereinkommens noch des Genfer Abkommens. Wie die USA ist China in einigen Arbeitsgruppen unter der UN-ECE vertreten (zum Beispiel im WP.29) und hat ebenfalls das UN-ECE Agreement von 1998 unterzeichnet. Die Regulierung in China – sowohl verhaltensrechtlich als auch technisch – befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Im Bereich Verhaltensrecht ist in China das „Road Traffic Safety Law“ von 2004 elementar, das eine Fahrerin oder einen Fahrer mit gültiger Fahrerlaubnis im Fahrzeug zwingend vorschreibt. Im Bereich technische Regulierung hat die chinesische Regierung Ende 2017 ein neues Subkomitee im National Technical Committee 114 on Road Vehicles eingerichtet, das für die Entwicklung von nationalen und industrietechnischen Standards im Bereich Fahrerassistenzsysteme und Fahrzeuginformationssicherheit verantwortlich ist. Das Komitee hat bereits Anfang 2018 etwa neunzig Standardisierungsvorhaben in diesem Bereich vorgestellt.

8 Schlussfolgerungen

Aus dem Zielbild und den in dieser STUDIE untersuchten Vertiefungsthemen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen in Bezug auf Handlungsfelder, in denen Mobilität gestaltet werden kann.

Verkehrsträger vernetzen und zusammenführen

Nie war die Situation für den Umstieg auf klima-, umwelt- und stadtverträglichere Verkehrsträger günstiger. Ein vielfältiger werdendes Angebot unterschiedlichster Verkehrsmittel, die dank Digitalisierung mit minimalem Aufwand zu intermodalen Reiseketten verbunden werden können – von der Fahrtenplanung über die Buchung bis hin zur Bezahlung, setzt starke Anreize für Veränderungen im Mobilitätsverhalten. Alle Verkehrsträger sollten idealerweise kommunikationstechnisch als Teil einer Internet-der-Dinge-Vision zukünftiger Mobilität vernetzt werden, damit Verkehr und Mobilität multimodal optimal gesteuert werden können.

Zentral für eine unkomplizierte intermodale Verkehrsmittelnutzung ist es, die physischen Umsteigesituationen zu erleichtern und zu vereinfachen. Mobility Hubs als angenehme Umsteigeorte mit einer hohen Aufenthaltsqualität und der Anbindung von Geschäften und anderen Dienstleistungen des täglichen Lebens spielen eine zentrale Rolle. Kommunen sollten beim Aufbau dieser integralen Infrastruktur unterstützt werden.

Im Zuge dieser sich verändernden Nutzung von Verkehrsträgern sollten Verkehrsflächen nach Produktivitätsaspekten neu verteilt werden. Effizienzgewinne durch höhere Besetzungsgrade gemeinschaftlich genutzter Mobilitätsdienste sollten in Flächenumwidmungen resultieren, die umweltfreundlicheren Verkehrsmitteln oder einer gesteigerten Aufenthaltsqualität in den Städten zugute kommen. Ziel der Neuverteilung sollte sein, dass neue Verkehrsträger effizient ineinandergreifen. Dazu sind flexibel nutzbare Flächen für bedarfsgerechte Übergabepunkte etwa von automatisierten Shuttles hilfreich.

Kommunen stärken und fit für die Gestaltung des automatisierten und vernetzten Fahrens machen

Die Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens soll der Lösung der durch Verkehr induzierten Probleme und den kommunalen verkehrlichen Zielen von Gemeinwohl und Daseinsvorsorge dienen. Die Kommunen sollten klare Kriterien zur Messbarkeit (Leistungskennzahlen) definieren und Anbieter entsprechend bewerten können. Im Sinne der Daseinsvorsorge sollten Kommunen ihre Rolle als Mobilitätsanbieter und Betreiber zentraler Verkehrsinfrastruktur nutzen und Rahmenbedingungen für öffentlich nutzbare Mobilitätsangebote vorgeben können, die ihnen die Möglichkeit einer intelligenten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung für einen menschengerechten Verkehr geben. Rebound-Effekte oder gar verkehrsinduzierende Effekte durch Funktionen des automatisierten vernetzten Fahrens müssen ausgeschlossen werden. Die Kommunen müssen über einen hierarchischen Mobilitätsplan die Integration neuer Angebote und Services in den ÖPNV sicherstellen können.

Voraussetzung dazu ist die Interoperabilität der Systeme aller an einem Mobilitätsökosystem beteiligten Anbieter, verbunden mit Steuerungs- beziehungsweise Koordinierungsmöglichkeiten der Städte. Insbesondere bedarf es der verbindlichen Nutzung offener Schnittstellenstandards. Kommunen müssen darüber hinaus befähigt werden, von Akteuren der privaten Wirtschaft den Zugang zu fahrzeugeitig erzeugten Informationen zur aktuellen Verkehrslage in angemessener Form einfordern zu können. Nur so können Kommunen ihrer Aufgabe einer integrierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung nachkommen sowie multi- und intermodale Mobilitätsökosysteme mit Blick auf ihren Auftrag der Daseinsfürsorge gemeinsam mit privatwirtschaftlichen Anbietern von Mobilitätsdiensten vorantreiben.

Damit Kommunen vor Ort ihre Gestaltungshoheit ausüben können, müssen sie in rechtlicher und auch finanzieller Hinsicht die Rahmenbedingungen dafür schaffen können. Kommunen können Mobilität bisher in erster Linie über die Begrenzung von Raum steuern (zum Beispiel durch Parkraumbewirtschaftung oder Straßensperrungen). Darüber hinaus sollten sie die Möglichkeit zur abgestuften Bepreisung der Inanspruchnahme kommunaler Mobilitätsinfrastruktur erhalten.



Kooperations- und Interaktionsprinzipien für den Mischverkehr entwickeln

Für einen funktionierenden kooperativen Mischverkehr müssen Forschungseinrichtungen, Hersteller, Zulieferer und beteiligte Behörden gemeinsam geeignete einheitliche Interaktions- und Kooperationsprinzipien einführen. Dadurch wird vermieden, dass neue Funktionalitäten in ein zu komplexes Verkehrserlebnis münden und kommunikative Missverständnisse zu Akzeptanzproblemen, Effizienzeinbußen oder sogar sicherheitskritischen Situationen führen.

Diese Kooperations- und Interaktionsprinzipien müssen alle Beteiligten einbeziehen, also sowohl die Nutzerinnen und Nutzer an Bord der Fahrzeuge als auch Verkehrsteilnehmende außerhalb der Fahrzeuge, darunter vor allem besonders gefährdete Verkehrsteilnehmende.

Ein Beitrag zu Kooperationsprinzipien ist der in dieser STUDIE dargestellte Entwurf der Vereinheitlichung von Kooperationsstufen. Auf den Kooperationsprinzipien aufbauend sollten Gestaltungsprinzipien für die Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt sowie Anforderungen für die Umsetzung des automatisierten vernetzten Verhaltens definiert werden.

Zulassungsmethoden für kooperative Fahrzeuge auf den Weg bringen

Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sollten zeitnah im Straßenverkehr erprobt werden können, damit in der Entwicklung insbesondere auch die Eigenschaften und Erfahrungen des deutschen Straßenverkehrs ausreichend Berücksichtigung finden können. Fahrten auf öffentlichen Straßen sind aktuell nur für Pilotfahrzeuge mit Ausnahmegenehmigung und einem Sicherheitsfahrer oder einer Sicherheitsfahrerin zugelassen. Klare Zulassungsprozesse für automatisierte vernetzte Fahrzeuge müssen gegeben sein. Gesetzgeber und zuständige Behörden sollten hier einen möglichst einfachen und beschleunigten Weg bereiten.

Eine sichere Einführung von automatisierten vernetzten Fahrzeugen für einen kooperativen Mischverkehr der Zukunft erfordert die Erarbeitung von Verifikations- und Validierungsmethoden für den Nachweis von funktionaler Sicherheit. Nötig sind auch Methoden, die Funktionsupdates nach Inbetriebnahme erlauben, die gleichzeitig sicherstellen, dass Security-Erfordernisse gewahrt sind.

Gesetzgeber und zuständige Behörden sollten Spezifikationen zu kooperativen Funktionen einführen. Dabei geht es einerseits um kooperative Funktionen zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden, andererseits aber auch um die Realisierung von Koordinationsfunktionen zwischen Verkehrssteuerung, lokalen Infrastrukturelementen und Verkehrsteilnehmenden. Wie Erfahrungen aus verschiedenen Domänen zeigen, sollten dazu unabhängige Testeinrichtungen für die Durchführung sogenannter Conformance Tests etabliert werden, um Interoperabilität, insbesondere auch herstellerübergreifend und bei Funktionsupdates, sicherzustellen.

Ein Ökosystem für Mobilitätsdaten schaffen

Eine intelligente Verkehrs- und Mobilitätssteuerung bedarf detaillierter Echtzeit-Informationen und Vorhersagen zu Verkehrslage, Mobilitätsnachfrage und Mobilitätsangebot. Schaffen wir es, diese wertvollen Informationen in qualitativer und verwertbarer Form bereitzustellen, kann die Mobilität aller Bürgerinnen und Bürger verbessert werden. Ein Großteil der Verkehrsdaten – ob infrastrukturseitig erfasst, durch Fahrzeuge oder auch andere Verkehrsteilnehmer – befindet sich jedoch in unverbundenen Datenspeichern. Nur mit Vernetzung und zielgerichteten Zugriffsmöglichkeiten kann das volle Datenpotenzial zum Nutzen des Verkehrs ausgeschöpft werden. Zum gemeinwohlorientierten Ziel der Verkehrssteuerung sollen die relevanten Daten frei und unentgeltlich zur Verfügung stehen.

Durch den Aufbau eines Datenökosystems, das zu fairen Bedingungen allen Anbietern und Nutzerinnen und Nutzern offensteht, können innovative Angebote und Anreize für neue Lösungen entstehen, die Anbietern und Bürgerinnen und Bürgern gleichermaßen zugutekommen. Solch ein Datenökosystem, datenschutzkonform ausgestaltet, geprägt durch gleiche Rechte und Pflichten für alle Beteiligten und durch kooperatives Zusammenwirken von öffentlichen und privaten Anbietern, könnte Ideen und Mobilitätskonzepte hervorbringen, an die wir heute noch nicht denken. Nutzerinnen und Nutzer müssen ganz bewusst entscheiden können, welche Daten sie zum Wohle des Mobilitätssystems und für die Bereitstellung eines individualisierteren Angebots aktiv beitragen und was mit ihren Daten passieren soll.

Neue Mobilitätsdienste sollten zudem allen Beteiligten (Betreibern, Nutzerinnen und Nutzern und Verwaltungen) transparent darstellen, auf welche Weise zum Beispiel Angebote, Preis, Verfügbarkeit oder Qualität bestimmter Angebote ermittelt wurden. In diesem Zusammenhang sollte sich Deutschland dafür

einsetzen, das europäische Wettbewerbsrecht zu modernisieren sowie dessen rechtliche Grundlagen im Digitalbereich zu harmonisieren und zusammenzuführen.

Intelligente Verkehrssteuerung einführen und föderale Kompetenzen abstimmen

Zunächst müssen politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die eine Umsetzung raum- und zeitabhängiger Steuerungsstrategien flächendeckend zulassen. Hierfür bedarf es vor allem hoheitlicher Regulierungen, um die Zuständigkeiten zwischen Bund, Ländern und Städten abzustimmen. Dies beinhaltet auch die Ermöglichung von ökonomischen Steuerungsmechanismen wie beispielsweise einer gezielten Parkraumbewirtschaftung oder Road-Pricing-Ansätzen, über die die Kommunen nach lokalen Bedarfen und möglichem Beitrag zu den übergeordneten Zielen individuell entscheiden können sollten.

Das Ganze sollte als Mehrebenen-Steuerung umgesetzt werden, um das Zusammenspiel aus übergeordneten Zielen wie Nachhaltigkeit, netzweiter Verkehrssteuerung, lokaler Optimierung an Knotenpunkten wie Mobilitäts-Hubs oder Kreuzungen sowie individueller, technisch unterstützter Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmenden optimieren zu können.

Vielversprechend ist der Ansatz einer engen Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen, Kommunen, Anbietern von Mobilitätsdiensten sowie Flotten- und Infrastrukturbetreibern mit kurzen Innovationszyklen. Forschungsergebnisse können als Updates in Zukunft direkt Eingang in die kontinuierliche Verbesserung unseres Verkehrsgeschehens finden. Dies ist insbesondere bei der konsequenten Verwendung standardisierter, offener Schnittstellen und der Verfügbarkeit der relevanten Verkehrsdaten für diese Zwecke der Fall. Fördermaßnahmen der betreffenden Bundes- und Landesministerien sollten so konzipiert werden, dass sie auf die Zusammenarbeit der genannten Partner zielen und neben Forschungserkenntnissen eine direkte Anwendbarkeit erlauben.

Erlebnis- und Experimentierräume mit gesellschaftlichem Dialog und Beteiligungsformaten verbinden

Die Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens kann nur gelingen, wenn sie von einem breiten gesellschaftlichen Dialog und der nötigen Sensibilität für Akzeptanzfragen begleitet wird. Die Transformation unseres Mobilitätssystems hin zu einem umweltfreundlicheren Verkehr mit einem stärkeren

intermodalen Mobilitätsverhalten kann von einer Einbindung der Bürgerinnen und Bürger vor Ort sogar sehr profitieren. Sie kennen ihre Mobilitätsbedarfe am besten und können etwa mit der Bereitschaft, Daten bewusst und aktiv zur Verfügung zu stellen, ihre Stadt über ihr Mobilitätsverhalten informieren. Aus Daten dieser Art können Städte und Kommunen beispielsweise Infrastrukturbedarfe ableiten oder neue Mobilitätskonzepte entwickeln. Welche Lösungen es zum Beispiel den Nutzerinnen und Nutzern erleichtern würden, zugunsten von Sharing-Angeboten auf die Annehmlichkeiten eines Privatwagens zu verzichten, ist nur eine von vielen Fragen, deren Erforschung in Erlebnisräumen und Living Labs lohnend wäre.

Wichtig ist auch eine stärkere Einbindung der Kommunen in Forschungsaktivitäten. Sie sollten als entscheidende Akteure die Zukunft bereits auf Forschungs- und Erprobungsebene mitgestalten. Dabei sollten Aspekte wie die Digitalisierung der Infrastruktur (beispielsweise eine virtuelle Fahrbahnmarkierung), lokale Kooperation im Güterverkehr, aber auch Konzepte zur Neuverteilung und Umwidmung von Verkehrsflächen mit Partnern aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam durchgespielt und getestet werden.

Gegenstand des gesellschaftlichen Dialogs sollten auch die Chancen und Risiken sein, die mit der Automatisierung des Verkehrssystems einhergehen, besonders mit Blick auf Verbraucherschutz, gesellschaftliche Interessen im Umgang mit Daten, Arbeitnehmerbelange und Gesundheitsaspekte. Auch Szenarien für die positiven Veränderungen urbaner und ländlicher Lebensräume sollten aufgegriffen werden.

In Forschung und Entwicklung investieren, Industrie und Wissenschaft stärken

Die Einführung des automatisierten vernetzten Fahrens ist zentral für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Eine starke Prägnanz kann uns nur gelingen, wenn Kooperationen zwischen Industrie und Wissenschaft gewünscht und gefördert werden. Eine besondere Chance liegt in der Entwicklung von Technologien, die durch Sicherheit und Datenschutz international überzeugen. Um die deutsche Markt- und Technologieführerschaft bei Themen wie Sensorik, Elektronik und Assistenzsystemen zu wahren und strategische Wertschöpfungsketten für vernetztes automatisiertes Fahren aufzubauen, bedarf es zielgerichteter Kooperationen in Forschung, Entwicklung und Demonstration. Insbesondere die Schritte zum hochautomatisierten und kooperativen Fahren stellen in der aktuellen sich verschärfenden globalen



Wettbewerbssituation nicht nur technisch eine große Hürde dar, sondern erfordern auch erhebliche finanzielle Investitionen von Industrie und Politik.

Das BMVI hat mit seinem Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr²⁶⁹ sowie der Förderrichtlinie Automatisiertes und vernetztes Fahren bereits entscheidende Impulse zur Forschung, Erprobung und Einführung dieser Technologie in den regulären Straßenverkehr gegeben. Diese Anstrengungen gilt es nun weiter zielgerichtet zu verstärken. Um auch angesichts neuer, finanzstarker Akteure aus China, Korea, Japan und den USA ein „Level-Playing-Field“ herzustellen und die Markteinführung in Deutschland voranzutreiben, sollten die kostenintensiven Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Wissenschaft und Industrie um großskalige, öffentlich geförderte Projekte auf nationaler und europäischer Ebene ergänzt werden.

Insbesondere bedarf es einer kohärenten Koordination der Testfelder und Erprobungsprojekte, um Erkenntnisse zu bündeln, für eine bessere Anschlussfähigkeit einzelner Projekte zu sorgen und eine frühe industrielle Umsetzung anzustoßen. In diesem Zusammenhang sollten Methoden zur simulationsbasierten und formalen Absicherung verstärkt erforscht und etabliert werden, insbesondere die Absicherung kooperativer Automation sowie bei Funktionsupdates nach der Inbetriebnahme, beispielsweise durch lernende Verfahren. Zur Realisierung höherer Kooperationsstufen ist insbesondere die Erforschung neuer Methoden zur verteilten Umfelderkennung und kooperativen Bewegungsplanung notwendig. Darauf aufbauend sollten neue Verfahren der prognosebasierten Mehrebenen-Verkehrssteuerung erforscht werden. Schließlich sollte auch dem Zukunftsthema der Erforschung virtueller Verkehrsinfrastrukturen ein hoher Stellenwert eingeräumt werden, um beispielsweise virtuelle Hubs, neugestaltete Kreuzungen oder flexibler genutzte Fahrspuren als Elemente neuer Systemlösungen vorzubereiten.





Anhang

Anhang A: Abkürzungen und Glossar

4G/5G	Vierte Generation/fünfte Generation im Mobilfunk
802.11p (Wi-Fi)	WLAN-ähnlicher Kommunikationsstandard, um WLAN-Technik in Personenkraftfahrzeugen und eine Schnittstelle für Anwendungen intelligenter Verkehrssysteme zu etablieren
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
AIM	Anwendungsplattform für intelligente Mobilität des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
AVP	Automated Valet Parking
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BUSREP	Projekt „Strategies for Better USer REPresentation in public transport“ des Berliner nexus Instituts
CLEPA	European Association of Automotive Suppliers
C-V2X	„Cellular Vehicle to Everything“-Technologie. Basierend auf LTE ist diese Technologie darauf ausgelegt, Fahrzeuge miteinander sowie mit der straßenseitigen Infrastruktur, anderen Verkehrsteilnehmern und Cloud-basierten Diensten zu verbinden.
DAB+	Digital Audio Broadcasting
Dignet-PS	Projekt „Protokollstrecke – urbanes Testfeld automatisiertes und vernetztes Fahren in Berlin“ des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
e-Fuels	Aus erneuerbarem Strom erzeugte synthetische Kraftstoffe
ENABLE-S3	European Initiative to Enable Validation for Highly Automated Safe and Secure Systems
ESP	Electronic Stability Program
ESYS	Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard
GIS	Geoinformationssysteme
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung und Navigation
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
HEAT	Projekt „Hamburg Electric Autonomous Transportation“ der Hamburger Hochbahn
INSIGHT	Forschungsprojekt der EU „Intelligent Synthesis and Real-time Response using Massive Streaming of Heterogeneous Data“
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Internationale Organisation für Normung (International Organization for Standardization)
ITS	Intelligent Transport Systems
ITS-G5 (kurz „G5“)	WLAN-ähnlicher Standard, basierend auf IEEE802.11p mit einer Frequenzbandbreite von 5.9 GHz, auch bekannt als „pWLAN“
LTE	Long Term Evolution, andere Bezeichnung für den Mobilfunkstandard 4G

MEGAFON	Projekt „Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs“ des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart
MDM	Mobilitäts-Daten-Marktplatz
NAP	National Access Point
NEVADA-Konzept	Neutral Extended Vehicle for Advanced Data Access
NGS	„Next Generation Station“. Güterumschlagbahnhof des DLR
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
NO_x	Oberbegriff für Stickoxide: Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO ₂)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	„OpenStreetMap“-Internetplattform
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PEGASUS	Projekt „Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen“ des DLR
Power-to-X Technologie (PtX oder P2X)	Umwandlung von Strom als Primärenergie in einen Energieträger, beispielsweise Power-to-Gas, Power-to-Liquids, Power-to-Chemicals
PV	Photovoltaik
SAFARI	Projekt „Sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren mit selbstaktualisierenden Karten im Testfeld Berlin Reinickendorf“ der Technischen Universität Berlin
SCOOT Technik	Split Cycle Offset Optimization Technique
SET Level 4to5	Projekt „Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von Level 4 und 5 Systemen“ des BMWi
SOTIF/ ISO/ PAS 21448	„Safety Of The Intended Functionality“. Aus ISO 26262 hervorgegangener Sicherheitsstandard für funktionale Sicherheit der elektronischen Hardware- und Softwarekomponenten von Fahrzeugen
StVG	Straßenverkehrsgesetz
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen
TMC	Traffic Message Channel
TPEG	„Transport Protocol Experts Group“, Dateiformat ähnlich JPEG oder MPEG
UN-ECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa
VaVel	EU-Forschungsprojekt „Variety, Veracity, VaLue: Handling the Multiplicity of Urban Sensors“
V&V-Methoden	Projekt „VV-Methoden: Validierung und Verifikation für hochautomatisiertes Fahren“ des DLR
V-Modell	Vorgehensmodell für IT-Entwicklungsprojekte der Bundesrepublik Deutschland
Well-to-Wheel	„vom Bohrloch bis zum Rad“; Prozess der Gewinnung und Bereitstellung eines Treibstoffs beziehungsweise Energieträgers bis hin zur Umwandlung in Bewegungsenergie
WLAN	Wireless Local Area Network – Technik zur drahtlosen Vernetzung nach dem Funkstandard IEEE 802.11
WP.29	„Working Party 29“; Arbeitsgruppe innerhalb des UN-ECE World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations



Anhang B: Abbildungen

Abbildung 1: Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+	14
Abbildung 2: Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ – Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements	16
Abbildung 3.1.1: Echtzeitinformationen zur Verkehrslage	18
Abbildung 3.1.2: Kooperationsmanöver beim Linksabbiegen	19
Abbildung 3.1.3: Kooperatives Einfädeln auf der Autobahn	19
Abbildung 3.2.1: Bessere Anbindung des ländlichen Raums durch attraktive Mobilitätsangebote	20
Abbildung 3.2.2: Autonomer Bürgerbus	20
Abbildung 3.3.1: Platooning im automatisierten und vernetzten Güterfernverkehr	21
Abbildung 3.3.2: Neue Berufsbilder im automatisierten und vernetzten Güterfernverkehr	21
Abbildung 3.4.1: Intelligentes Verkehrs- und Energienetzmanagement	22
Abbildung 3.4.2: Sektorenkopplung von Energie und Verkehr – Fahrzeuge als mobiler Stromspeicher	22
Abbildung 3.4.3: Fahrzeuge als mobile Energiespeicher für das Smart Home	23
Abbildung 3.5.1: Routeninformation für intermodales Reisen und Ticketerwerb aus einer Hand	24
Abbildung 3.5.2: Flexible On-Demand-Shuttles halten an virtuellen Haltestellen	24
Abbildung 3.5.3: Orientierungshilfe für Verkehrsteilnehmende	25
Abbildung 3.6.1: Vorher: Unproduktive Flächennutzung	26
Abbildung 3.6.2: Nachher: Verkehrsreduzierung durch Sharing-Flotten und menschengerechte Flächennutzung	26
Abbildung 3.6.3: Valet-Parking und produktivere Flächennutzung	27
Abbildung 3.6.4: Intelligentes Parkraummanagement	27
Abbildung 3.7.1: Paketzulieferung I: Logistik-Hubs außerhalb der Städte	28
Abbildung 3.7.2: Paketzulieferung II: Gebündelte Auslieferung	28
Abbildung 3.7.3: Paketzulieferung III: Ein Anbieter als Zusteller auf der letzten Meile	29
Abbildung 3.8.1: Dynamische Streckenführung durch prognosebasiertes Routing	30
Abbildung 3.8.2: Intelligente Ampelschaltung ermöglicht zügiges Vorankommen	30
Abbildung 3.8.3: Optimierung der Verkehrssteuerung durch Weitergabe mobilitätsbezogener Daten	31
Abbildung 3.9.1: Verteilte Umfelderkennung und Vernetzung schafft zusätzliche Sicherheit und vermeidet vorausschauend Notfallsituationen	32
Abbildung 3.9.2: Technologische Ausstattung ermöglicht neue Interaktionsformen und Kooperationsmöglichkeiten	33
Abbildung 3.10.1: Integriertes Mobilitätskonzept für belastete Tourismusdestinationen	34
Abbildung 3.10.2: Vollautomatisiertes Gepäck-Shuttle	34
Abbildung 3.11.1: Vorher: Verkehr ohne dynamische Fahrspurmarkierung	35
Abbildung 3.11.2: Nachher: Verkehr mit dynamischer Fahrspurmarkierung	35

Abbildung 3.12.1: Vorher: Keine ökonomische Verkehrssteuerung	36
Abbildung 3.12.2: Nachher: Verkehrssteuerung durch Mobility Pricing	36
Abbildung 3.12.3: Dynamische Preisfindung	37
Abbildung 5: Kooperative Wahrnehmung durch Vernetzung und verteilte Umfelderfassung	44
Abbildung 5.1: Übersicht Kooperationsstufen	49
Abbildung 5.2: Übersicht nationaler Testfelder	54
Abbildung 6.5: THG-Emissionen bezogen auf den Energieverbrauch 2020 (Well-to-Wheel)	70
Abbildung 7.3: Intensitätsgrade oder „Leiter“ der Partizipation	85
Abbildung 7.4.1: Übersicht technische Regulierung im weltweiten Vergleich	92
Abbildung 7.4.2: Übersicht Verhaltensrecht im weltweiten Vergleich	93

Anhang C: Tabellen

Tabelle 1: Intelligente Verkehrssteuerung	58
---	----



Literatur

acatech 2018

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Zwischenbericht Neue Automobilität II. Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft*, München 2018.

acatech/Körper-Stiftung 2018

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Körper-Stiftung (Hrsg.): *TechnikRadar 2018. Was die Deutschen über Technik denken*, 2018.

acatech/Leopoldina/Akademienunion/BDI/dena 2019

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V./Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V./Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V./Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI)/Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): *Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!. Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in Deutschland*, 2019. URL: https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/2019-02-20_Studenvergleich/Gemeinsame_Empfehlungen_von_ESYS__BDI_und_dena.pdf [Stand: 20.02.2019].

Agora Verkehrswende 2017

Agora Verkehrswende: *Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende*, 2017.

Arnstein 1969

Arnstein, S. R.: „A Ladder of Citizen Participation“. In: *Journal of the American Planning Association*, 35:4, 1969, S. 216–224.

Arthur D. Little 2018

Arthur D. Little: *Future of Automotive Mobility – Reloaded. How End-Customer Perspective Has Developed on Key Mobility Trends in the Last 3 Years* (Executive Summary), 2018. URL: https://www.adlittle.de/sites/default/files/viewpoints/adl_future_of_automotive_mobility_global_study_executive_summary-min_0.pdf [Stand: 28.05.2019].

Arvis et al. 2018

Arvis, J.-F./Ojala, L./Wiederer, C./Shepherd, B./Raj, A./Dairabayeva, K./Kiiski, T.: *Connecting to Compete 2018. Trade Logistics in Global Economy. The Logistics Performance Index and its Indicators*, 2018. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29971/LPI2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Stand: 04.06.2019].

Audi 2018

Audi AG: *Audi China Tests Autonomous Driving and Connected Infrastructure* (Pressemitteilung), 2018. URL: http://www.audichina.cn/cn/brand/audi_china_en/audichina_news_detail.news~pool~2018~03~Audi-China-tests-autonomous-driving-and-connected-infrastructure.html [Stand: 14.09.2018].

Ausfelder et al. 2017

Ausfelder, F./Drake, F.-D./Erlach, B./Fischedick, M./Henning, H.-M./Kost, C./Münch, W./Pittel, K./Rehtanz, C./Sauer, J./Schätzler, K./Stephanos, C./Themann, M./Umbach, E./Wagemann, K./Wagner, H.-J./Wagner, U.: *»Sektorkopplung« – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), hrsg. von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V./Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V./Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V., München 2017.

BAG/SSP Consult 2017

Bundesamt für Güterverkehr (BAG) – Luftverkehr/SSP Consult – Beratende Ingenieure GmbH: *Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr* (Kurzfristprognose Sommer 2017), 2017. URL: https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Verkehrsprognose_Sommer_2017.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 04.06.2019].

Berg 2017

Berg, A.: *Künstliche Intelligenz* (Präsentation am 15.11.2017), 2017. URL: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaenge-an-Pls/2017/11-November/Bitkom-Charts-PK-AI-15-11-2017-final.pdf> [Stand: 15.11.2017].

Bertelsmann Stiftung 2017

Bertelsmann Stiftung: *Automatisiertes Fahren: Aktuelle Einstellungen in Deutschland* (Factsheet), Gütersloh 2017. URL: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Factsheet_LK_Automatisiertes-Fahren_Aktuelle-Einstellungen-in-Deutschland_2017.pdf [Stand: 03.07.2019].

Bitkom 2018

Bitkom e. V.: *Künstliche Intelligenz soll das Steuer übernehmen* (Pressemitteilung), 2018. URL: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Kuenstliche-Intelligenz-soll-das-Steuer-uebernehmen> [Stand: 09.02.2018].

BMI 2019

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): *Arbeitsergebnisse der Datenethikkommission. Datenethikkommission wird Abschlussbericht voraussichtlich im Herbst 2019 vorlegen*, 2019. URL: https://www.bmi.bund.de/DE/themen/itund-digitalpolitik/datenethikkommission/arbeitsergebnisse-der-dek/arbeitsergebnisse-der-dek-node.html;jsessionid=55D7496F7F8353B02C60AFBC843C9E9A.2_cid295 [Stand: 17.06.2019].

BMVI o. J.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Personenverkehr, Mobilität und Raum*, o. J. URL: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/Entry1021..Display/?category=1021&displayType=2&classificationId=276646&clsId0=276646> [Stand: 29.05.2019].

BMVI 2014

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Verkehrsprognose 2030*, 2014. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-presentation.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 27.05.2019].

BMVI 2016

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr*, 2016. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/forschungsprogramm-avf.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 22.06.2016].

BMVI 2017a

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Ethik-Kommission. Automatisiertes und Vernetztes Fahren* (Bericht Juni 2017), 2017. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 12.06.2019].

BMVI 2017b

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *BM Dobrindt zum Bericht der Ethik-Kommission zum automatisierten Fahren* (Redebeitrag zur Pressekonferenz mit Pressemitteilung vom 20.06.2017), 2017. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Presse/redebeitrag-dobrindt-pk-bericht-der-ethikkommission.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 20.06.2017].

BMVI 2017c

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg.): *Maßnahmenplan der Bundesregierung. Zum Bericht der Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren (Ethik-Regeln für Fahrcomputer)*, 2017.

BMVI 2018a

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Verkehr in Zahlen 2018/2019*, 2018.

BMVI 2018b

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Citizen Science for Traffic Management – CITRAM*, 2018. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/citram.html?nn=326002> [Stand: 27.05.2019].

BMVI 2018c

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg.): *Task Force on Ethical Aspects of Connected and Automated Driving (Ethics Task Force). Established by the 2nd High Level Structural Dialogue in Frankfurt/M. on 14 and 15 September 2017* (Report), 2018.

BMVI 2018d

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Digitale Testfelder*, 2018. URL: www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Digitale-Testfelder/Digitale-Testfelder.html [Stand: 27.05.2019].

BMVI 2019

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): *Künstliche Intelligenz für die Verkehrssicherheitsarbeit – KI4Safety* (Projekt KI4Safety des DLR), 2019. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/kiforsafety.html?nn=326002> [Stand: 03.07.2019].



BMWi 2017

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Weissbuch Digitale Plattformen. Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe*, Berlin 2017.

BMWi 2019

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Reallabore – Testräume für Innovation und Regulierung*, 2019. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/reallabore-testraeume-fuer-innovation-und-regulierung.html> [Stand: 28.05.2019].

Brunsmann et al. 2014

Brunsmann, U./Breuel, G./Dietmayer, K./Doll, K./Fritzsche, M./Fuchs, E./Goldhammer, M./Haselhoff, A./Janda, F./Kasper, D./Klanner, F./Kloeden, H./Kopetzki, S./Krug, S./Krzikalla, R./Liebner, M./Meißner, D./Naujoks, F./Neukum, A./Papierok, S./Petrich, D./Quittenbaum, P./Rauch, A./Seeliger, F./Striegel, E./Vetter, J./Wankler, M./Wedel, A./Weidl, G./Wertheimer, R.: *Forschungsinitiative Ko-FAS – Verbundprojekt Ko-PER. Fahrerassistenz und präventive Sicherheit mittels kooperativer Perception* (Partnerübergreifender Schlussbericht), 2014. URL: http://ko-fas.de/files/19-S-9022_Ko-PER_partneruebergreifender-Schlussbericht.pdf [Stand: 07.06.2019].

Buhse et al. 2011

Buhse, W./Reppesgaard, L./Henkel, S./Lessmann, U.: *Der Case Local Motors: Co-Creation und Collaboration in der Automotive-Industrie. Analyse und Reaktionen aus der Industrie* (Aktualisierte Fassung), 2011. URL: <https://doubleyuu.com/der-case-local-motors-co-creation-und-collaboration-in-der-automotive-industrie> [Stand: 03.07.2019].

Bundesamt für Strassen ASTRA 2017

Bundesamt für Strassen ASTRA: *Mobility Pricing*, 2017. URL: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/mobility-pricing.html> [Stand: 05.07.2017].

Bundesanstalt für Straßenwesen 2017

Bundesanstalt für Straßenwesen: *Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen*, 2017. URL: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Verkehrszaehlung.html [Stand: 29.04.2019].

BVL 2018

Bundesvereinigung Logistik (BVL): *Logistikumsatz und Beschäftigung. Bedeutung der Logistik für die deutsche Wirtschaft*, 2018. URL: <https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/umsatz-und-beschaeftigung> [Stand: 28.09.2018].

BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt/Intraplan Consult/Ingenieurgruppe IVV/Planco Consulting 2014

BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH/Intraplan Consult GmbH/Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG/Planco Consulting GmbH: *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs* (Schlussbericht), 2014. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 11.06.2014].

Cacilo et al. 2015

Cacilo, A./Schmidt, S./Wittlinger, P./Herrmann, F./Bauer, W./Sawade, O./Doderer, H./Hartwig, M./Scholz, V.: *Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen* (Dienstleistungsprojekt 15/14, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)), 2015. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/H/hochautomatisiertes-fahren-auf-autobahnen.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D1 [Stand: 18.11.2015].

Citizen Sense 2017

Citizen Sense: *Urban Sensing: Launch*, 2017. URL: <https://citizensense.net/urban-sensing> [Stand: 14.11.2017].

Continental AG 2018

Continental AG: *Where Are We Heading? Paths to Mobility of Tomorrow. The 2018 Continental Mobility Study*, 2018. URL: <https://www.continental-corporation.com/resource/blob/155638/143035a4e9f11245f39d7583c70cde9e/the-study-data.pdf> [Stand: 31.12.2018].

CosmosDirekt 2018

CosmosDirekt: *Autonomes Fahren: Was die Deutschen über die neue Technik denken*, 2018. URL: <https://www.cosmosdirekt.de/veroeffentlichungen/autonomes-fahren-236510> [Stand: 25.04.2018].

Cramton et al. 2019

Cramton, P./Geddes, R. R./Ockenfels, A.: *Markets for Road Use. Eliminating Congestion through Scheduling, Routing, and Real-Time Road Pricing*, 2019. URL: <http://www.cramton.umd.edu/papers2015-2019/cramton-geddes-ockenfels-markets-for-road-use.pdf> [Stand: 15.04.2019].

Croci 2016

Croci, E.: „Urban Road Pricing. A Comparative Study on the Experiences of London, Stockholm and Milan“. In: *Transportation Research Procedia*, 14, 2016, S. 253–262. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651630062X/pdf?md5=8fed949fd6f8c83d69f77e7c44d6f687&pid=1-s2.0-S235214651630062X-main.pdf> [Stand: 27.05.2019].

Dekra SE 2019

Dekra SE: *Offensive for More Digital Safety*, 2019. URL: <https://www.dekra.com/en/offensive-for-more-digital-safety> [Stand: 29.04.2019].

Deloitte AG 2019

Deloitte AG: *2019 Deloitte Global Automotive Consumer Study. Autonomous, Connected Vehicles and Multi-Modal Mobility, Germany*, 2019. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/2019_Deloitte_Global-Automotive-Consumer-Study_Germany.pdf [Stand: 04.07.2019].

Deutscher Bundestag 2017

Deutscher Bundestag: *Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Intelligente Verkehrssysteme Gesetzes*, 2017.

Deutscher Bundestag 2018

Deutscher Bundestag: *Verkehrswege und Transportleistungen in Deutschland* (Sachstand, WD 5 - 3000 - 111/18), 2018. URL: <https://www.bundestag.de/resource/blob/572622/c280a5b0d2bdf99d5d783e9aac00bbed/WD-5-111-18-pdf-data.pdf> [Stand: 10.09.2018].

Deutscher Städtetag 2016

Deutscher Städtetag: *Öffentlicher Raum und Mobilität* (Positionspapier des Deutschen Städtetags), 2016. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/positionspapier_oeffentlicher_raum_mobilitaet_160928.pdf [Stand: 29.05.2019].

Die Bundesregierung 2018

Die Bundesregierung: *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*, 2018. URL: https://www.ki-strategie-deutschland.de/files/downloads/Nationale_KI-Strategie.pdf [Stand: 30.11.2018].

DLR 2016

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR): *VITAL. Verkehrsabhängig intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen*, 2016. URL: https://www.dlr.de/ts/Portaldata/16/Resources/projekte/vital/VITAL-Flyer_Onlineversion.pdf [Stand: 31.10.2016].

DLR 2019

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR): *DLR Moving Lab: Verkehrserhebung der Zukunft*, 2019. URL: <https://verkehrsforschung.dlr.de/public/documents/2019/MovingLab.pdf> [Stand: 01.07.2019].

Donges 1982

Donges, E.: „Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen“. In: *Automobil-Industrie*, 27:2, 1982, S. 183–190.

Dörr et al. 2017

Dörr, H./Marsch, V./Romstorfer, A.: „Automatisiertes Fahren im Mobilitätssystem. Spannungsbogen zwischen Ethik, Mobilitätsausübung, technischem Fortschritt und Markterwartungen“. In: *Internationales Verkehrswesen*, 69:3, 2017, S. 40–46.

Eliasson 2014

Eliasson, J.: *The Stockholm Congestion Charges: An Overview* (CTS Working Paper 2014:7), 2014. URL: <http://www.transportportal.se/swopec/cts2014-7.pdf> [Stand: 28.05.2019].

Ernst & Young GmbH 2017

Ernst & Young GmbH: *Autonomes Fahren in Deutschland. Ergebnisse einer Befragung von 1.000 Verbrauchern*, 2017. URL: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-autonomes-fahren-in-deutschland/\\$FILE/ey-autonomes-fahren-in-deutschland.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-autonomes-fahren-in-deutschland/$FILE/ey-autonomes-fahren-in-deutschland.pdf) [Stand: 28.05.2019].

Europäische Kommission 2017

Europäische Kommission: *Delegierte Verordnung (EU) .../... Der Kommission vom 31.5.2017 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationssysteme* (Text von Bedeutung für den EWR), 2017. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:61eaac18-98a3-11e7-b92d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF [Stand: 01.07.2019].



Europäische Kommission 2018a

Europäische Kommission: *Europa in Bewegung. Nachhaltige Mobilität für Europa: sicher, vernetzt und umweltfreundlich* (Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen), Brüssel 2018.

Europäische Kommission 2018b

Europäische Kommission: *The European Cloud Initiative*, 2018. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/%20european-cloud-initiative> [Stand: 17.08.2018].

Europäische Kommission 2018c

Europäische Kommission: *Next-Generation-Internet-Initiative*, 2018. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/next-generation-internet-initiative> [Stand: 10.09.2018].

Europäische Kommission 2019

Europäische Kommission: *Ethics Guidelines for Trustworthy AI* (High-Level Expert Group on Artificial Intelligence Set Up by the European Commission), 2019. URL: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60419 [Stand: 08.04.2019].

Europäische Kommission CORDIS 2017a

Europäische Kommission CORDIS: *Intelligent Synthesis and Real-Time Response Using Massive Streaming of Heterogeneous Data* (FP7-318225), 2017. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/106624/factsheet/de> [Stand: 22.04.2017].

Europäische Kommission CORDIS 2017b

Europäische Kommission CORDIS: *Variety, Veracity, VaLue: Handling the Multiplicity of Urban Sensors* (FP8-688380), 2017. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/199181/factsheet/de> [Stand: 04.08.2017].

FGSV 2018

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): *Empfehlungen zur Anwendung von Mobilitätsmanagement*, Köln 2018.

Finke 2017

Finke, B.: „London befindet sich im Kriechgang“. In: *Sueddeutsche.de*, 2017. URL: <https://www.sueddeutsche.de/auto/mehr-staus-denn-je-london-befindet-sich-im-kriechgang-1.3400406> [Stand: 01.03.2017].

Fischer/Petersen 2018

Fischer, S./Petersen, T.: *Was Deutschland über Algorithmen weiß und denkt. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*, 2018. URL: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Was_die_Deutschen_ueber_Algorithmen_denken.pdf [Stand: 19.06.2019].

Ford Motor Company 2019

Ford Motor Company: *Looking Further with Ford. 2019 Trends*, 2019.

Friedrich/Hartl 2016

Friedrich, M./Hartl, M.: *MEGAFON. Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs* (Schlussbericht), 2016. URL: https://www.ptvgroup.com/de/mobilitynext/public/media/PDF/MEGAFON_Abschlussbericht.pdf [Stand: 12.12.2016].

Gerbert et al. 2018

Gerbert, P./Herhold, P./Burchardt, J./Schönberger, S./Rechenmacher, F./Kirchner, A./Kemmler, A./Wünsch, M.: *Klimapfade für Deutschland*, 2018. URL: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland> [Stand: 18.01.2018].

Grzymek/Puntschuh 2019

Grzymek, V./Puntschuh, M.: *Was Europa über Algorithmen weiß und denkt. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*, 2019. URL: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/WasEuropaUEberAlgorithmenWeissUndDenkt.pdf> [Stand: 19.06.2019].

Günther et al. 2019

Günther, J./Lehmann, H./Lorenz, U./Purr, K.: *Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten*, hrsg. von Umweltbundesamt, 2019. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/190215_uba_fachbrosch_rtd_bf.pdf [Stand: 31.01.2019].

Hamburger Hochbahn AG o. J.

Hamburger Hochbahn AG: *Projekt Heat. Das Hochbahn-Forschungsprojekt zu autonomen Kleinbussen*, o. J. URL: https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster-Halt/Ausbau_und_Projekte/projekt_heat [Stand: 03.07.2019].

Hampel et al. 2018

Hampel, J./Kropp, C./Zwick, M. M.: „Zur gesellschaftlichen Wahrnehmung des voll autonomen Fahrens und seiner möglichen nachhaltigkeitsbezogenen Implikationen. Ergebnisse einer Repräsentativbefragung.“ In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 27:2, 2018, S. 38–45.

Heinrichs 2016

Heinrichs, D.: „Autonomous Driving and Urban Land Use“. In: Mauerer, M./Gerdes, J. C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): *Autonomous Driving. Technical, Legal and Social Aspects*, Berlin: Springer Verlag 2016, S. 213–231.

Henzelmann et al. 2017

Henzelmann, T./Frei, D./Schönberg, T./Wunder, T./Neuenhahn, C.: *Urbane Mobilität 2030: zwischen Anarchie und Hypereffizienz. Autonomes Fahren, Elektrifizierung und die Sharing Economy bestimmen den Stadtverkehr von morgen* (Roland Berger Focus), 2017. URL: https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_urban_mobility_2030.html [Stand: 07.06.2018].

Herrler/Klaus 2012

Herrler, B./Klaus, P.: *Mehr als Lohn – Eine Untersuchung zu Praktiken und Kosten der Gewinnung, Ausbildung und Erhaltung des Fahrpersonals in der Lkw-Transportwirtschaft*, hrsg. von Bayern Innovation GmbH, Nürnberg 2012.

Heß/Polst 2017

Heß, A./Polst, S.: *Mobilität und Digitalisierung: Vier Zukunftsszenarien*, 2017. URL: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie_LK_Mobilitaet-und-Digitalisierung__Vier-Zukunftsszenarien_2017.pdf [Stand: 27.05.2019].

Hörl et al. 2019

Hörl, S./Becker, F./Dubernet, T./Axhausen, K. W.: *Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung* (Forschungsprojekt SVI 2016/001 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)), Bern 2019.

Horn et al. 2018

Horn, B./Kiel, T./von Lojewski, H.: *Nachhaltige städtische Mobilität für alle. Agenda für eine Verkehrswende aus kommunaler Sicht* (Positionspapier des Deutschen Städtetags), 2018. URL: <http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/veroeffentlichungen/mat/positionspapier-nachhaltige-staedtische-mobilitaet.pdf> [Stand: 29.05.2019].

Hunt et al. 1981

Hunt, P. B./Robertson, D. I./Bretherton, R. D./Winton, R. I.: *SCOOT – A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals* (TRRL Laboratory Report 1014), 1981. URL: <https://trl.co.uk/reports/LR1014> [Stand: 05.07.2019].

IfD-Allensbach im Auftrag von acatech 2019

Institut für Demoskopie Allensbach im Auftrag von acatech (Hrsg.): *Mobilität und Klimaschutz. Gesellschaftliches Problembewusstsein und individuelle Veränderungsspielräume* (acatech STUDIE), München 2019. URL: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2019/05/acatech_Studie_Mobilitaet_Grafiken_final2_060519.pdf [Stand: 06.05.2019].

Innocenti et al. 2013

Innocenti, A./Lattarulo, P./Pazienza, M. G.: „Car Stickiness: Heuristics and Biases in Travel Choice“. In: *Transport Policy. A Journal of the World Conference on Transport Research Society*, 25, 2013, S. 158–168.

INRIX 2019

INRIX: *Berlin ist Deutschlands Stauhauptstadt* (Pressemitteilung), 2019. URL: <http://inrix.com/press-releases/scorecard-2018-de> [Stand: 12.02.2019].

International Association of Public Transport 2017

International Association of Public Transport (UITP): *Autonomous Vehicles: A Potential Game Changer for Urban Mobility* (Policy Brief), 2017. URL: https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/PolicyBrief_Autonomous_Vehicles_LQ_20160116.pdf [Stand: 31.01.2017].

Janning-Backfisch 2018

Janning-Backfisch, N.: *Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen in der Logistik. Empirische Analyse betrieblicher Anforderungen mit Fokus Baden-Württemberg und Bayern*, Springer Gabler Verlag 2018.

Kaggle Inc. 2015

Kaggle Inc.: *ECML/PKDD 15: Taxi Trajectory Prediction (I)*, 2015. URL: <https://www.kaggle.com/c/pkdd-15-predict-taxi-service-trajectory-i> [Stand: 02.07.2019].

Knake-Langhorst et al. 2016

Knake-Langhorst, S./Gimm, K./Frankiewicz, T./Köster, F.: „Test Site AIM – Toolbox and Enabler for Applied Research and Development in Traffic and Mobility“ (6th Transport Research Arena, 18.-21.04.2016). In: *Transportation Research Procedia*, 14, 2016, S. 2197–2206.



Knake-Langhorst et al. 2018

Knake-Langhorst, S./Gimm, K./Köster, F.: *Aufbau von Lösungen für eine kooperative Umfeldinterpretation in urbanen Räumen für vernetztes automatisiertes Fahren* (VDI-Fachkonferenz Umfeld-erfassung im Fahrzeug, Nürnberg, 16.-17.05.2018), 2018.

Kondor et al. 2018

Kondor, D./Zhang, H./Tachet, R./Santi, P./Ratti, C.: „Estimating Savings in Parking Demand Using Shared Vehicles for Home-Work Commuting“. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, S. 1-10.

Köster/Frankiewicz 2012

Köster, F./Frankiewicz, T.: „Die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität im Kontext der Entwicklung sicherheitsgerichteter Assistenz und Automation für Straßenfahrzeuge“. In: *AAET 2012 – Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (Beiträge zum gleichnamigen 13. Braunschweiger Symposium, 08.-09.02.2012, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. am Forschungsflughafen, Braunschweig), 2012, S. 58-76.

Köster et al. 2018

Köster, F./Mazzege, J./Knake-Langhorst, S.: „Automatisierte und vernetzte Systeme. Effizient erprobt und evaluiert“. In: *ATZ extra*, 23, Sonderheft Nr. 5, 2018, S. 26-29.

Krauter 2019

Krauter, R.: „Europa hat die geistige Führung übernommen“ (Thomas Metzinger im Gespräch mit Ralf Krauter), hrsg. vom Deutschlandradio, 2019. URL: https://www.deutschlandfunk.de/debatte-um-kuenstliche-intelligenz-europa-hat-die-geistige.676.de.html?dram:article_id=445805 [Stand: 08.04.2019].

Kühling/Sackmann 2018

Kühling, J./Sackmann, F.: *Rechte an Daten. Regulierungsbedarf aus Sicht des Verbraucherschutzes?* (Rechtsgutachten im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbands e. V.), 2018. URL: https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/2018/11/26/18-11-01_gutachten_kuehling-sackmann-rechte-an-daten.pdf [Stand: 20.11.2018].

Landeshauptstadt München 2018

Landeshauptstadt München: *Zukunftsschau 2040+. Szenarien zur Stadtentwicklung*, 2018. URL: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Stadtentwicklung/Perspektive-Muenchen/Zukunftsschau.html> [Stand: 07.06.2018].

Lemmer 2016

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

Liebig et al. 2017

Liebig, T./Piatkowski, N./Bockermann, C./Morik, K.: „Dynamic Route Planning with Real-Time Traffic Predictions“. In: *Information Systems*, 64, 2017, S. 258-265.

Liebig/Sotzny 2017

Liebig, T./Sotzny, M.: „On Avoiding Traffic Jams with Dynamic Self-Organizing Trip Planning“. In: Clementini, E./Donnelly, M./Yuan, M./Kray, C./Fogliaroni, P./Ballatore, A. (Hrsg.): *13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)*, 86, Dagstuhl 2017, S. 17:1-17:12.

Marsden 2017

Marsden, P.: *Sex, Lies and A.I. Wie Deutsche zu künstlicher Intelligenz stehen* (SYZYGY Digital Insight Report Oktober 2017), 2017. URL: <https://think.szygy.net/ai-report/de> [Stand: 19.06.2019].

Mazzege et al. 2017

Mazzege, J./Kaul, R./Frankiewicz, T.: *Gestaltung und Regelung städtischer Knotenpunkte für sicheres und effizientes, automatisiertes Fahren im gemischten Verkehr (Digitaler Knoten 4.0)*, (Fachtagung „Automatisiertes und vernetztes Fahren“, Berlin, 30.11.-01.12.2017), 2017. URL: <https://elib.dlr.de/117346> [Stand: 12.06.2019].

McKinsey & Company 2016

McKinsey & Company: *Delivering Change. The Transformation of Commercial Transport by 2025* (Advanced Industries), 2016. URL: https://www.mckinsey.com/~/_media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Delivering%20change%20The%20transformation%20of%20commercial%20transport%20by%202025/Delivering%20Change_brochure_engl_final.ashx [Stand: 30.09.2016].

MIIT 2018

Ministry of Industry and Information Technology of China (MIIT): *Administrative Rules on Intelligent and Connected Vehicle Road Testing*, 2018. URL: <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757018/c6128243/content.html> [Stand: 13.09.2018].

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) 2018

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM): *verWEGener Höhepunkt der Ideenschmiede digitale Mobilität*, 2018. URL: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/ministerium/presse/pressemitteilung/pid/verwegener-hoehepunkt-der-ideenschmiede-digitale-mobilitaet> [Stand: 14.11.2018].

Ninnemann et al. 2017

Ninnemann, J./Hölter, A.-K./Beecken, W./Thyssen, R./Tesch, T.: *Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelloogistik. Studie im Auftrag der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation der Freien und Hansestadt Hamburg*, 2017. URL: https://www.hsba.de/fileadmin/user_upload/bereiche/forschung/Forschungsprojekte/Abschlussbericht_Last_Mile_Logistics.pdf [Stand: 28.05.2019].

OECD/ITF 2015

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/International Transport Forum (ITF): *Urban Mobility System Upgrade. How Shared SelfDriving Cars Could Change City Traffic* (Corporate Partnership Board Report), 2015. URL: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf [Stand: 30.04.2015].

Piatkowski et al. 2013

Piatkowski, N./Lee, S./Morik, K.: „Spatio-Temporal Random Fields: Compressible Representation and Distributed Estimation“. In: *Machine Learning Journal*, 93:1, 2013, S. 115–139.

Pesch 2009

Pesch, C.: *Die Stadt in Zahlen*, 2009. URL: <https://www.brand-eins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2009/stadt/die-stadt-in-zahlen> [Stand: 29.05.2019].

PwC 2017

PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC): *Bevölkerungsbefragung: Künstliche Intelligenz Juli 2017*, 2017. URL: <https://www.pwc.de/de/consulting/bevoelkerungsbefragung-kuenstliche-intelligenz-2017.pdf> [Stand: 05.06.2019].

raumtaktik – office from a better future 2011

raumtaktik – office from a better future (Hrsg.): *Urban Futures 2050 – Szenarium. Szenarien für die Zukunft der Städte Europas* (im Rahmen eines Workshops während der Konferenz URBAN FUTURES 2050, 26.-27.05.2011, Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin), 2011. URL: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/052011_urbanfutures2050_300dpi.pdf [Stand: 14.06.2019].

Reichhardt 2019

Reichhardt, M.: *Europa: Hersteller teilen Echtzeitdaten zur Verkehrssicherheit*, 2019. URL: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/europa-hersteller-teilen-echtzeitdaten-zur-verkehrssicherheit-a-835618> [Stand: 04.06.2019].

Ritter 2017

Ritter, H. S.: *VW: Golf VIII erhält serienmäßig Car-to-X-Kommunikation*, 2017. URL: <http://www.autokiste.de/psg/1706/12203.htm> [Stand: 29.06.2017].

Roads and Maritime Services o. J.

Roads and Maritime Services: *How SCATS Works*, o. J. URL: <https://www.scats.com.au/how-scats-works.html> [Stand: 28.05.2019].

Rohwetter 2019

Rohwetter, M.: „Platz da!“ In: *Die Zeit*, Nr. 20/2019, S. 25–26.

Roth 2009

Roth, N.: *Wirkungen des Mobility Pricing* (Schriftenreihe des Instituts für Verkehr, Heft 22V), hrsg. von Technische Universität Darmstadt, Darmstadt 2009.

Rudolph et al. 2017

Rudolph, F./Koska, T./Schneider, C.: *Verkehrswende für Deutschland. Der Weg zu CO2-freier Mobilität bis 2035* (Langfassung), 2017. URL: https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Mobilitaetsszenario_2035_Langfassung.pdf [Stand: 31.08.2017].

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung 2019

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung: *Weniger Staus, Staub und Gestank per sozial ausgewogener Städte-Maut. Gemeinsames Plädoyer initiiert von RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und der Stiftung Mercator* (RWI Position #74), 2019. URL: http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-positionen/rwi-position_74_plaedoyer_fuer_eine_staedtemaut.pdf [Stand: 18.05.2019].

Sammer 2012

Sammer, G.: „Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts“. In: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität. Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte*, Wiesbaden: Gabler Verlag/Springer Fachmedien 2012, S. 479–491.



San Francisco County Transportation Authority (SFCTA) 2017
San Francisco County Transportation Authority (SFCTA): TNCs Today, 2017. URL: <https://www.sfcta.org/projects/tncs-today> [Stand: 15.06.2019].

Sausen 2018
Sausen, T.: *BVDW-Umfrage: Vor- und Nachteile Künstlicher Intelligenz halten sich die Waage*, 2018. URL: <https://www.bvdw.org/der-bvdw/news/detail/artikel/bvdw-umfrage-vor-und-nachteile-kuenstlicher-intelligenz-halten-sich-die-waage> [Stand: 23.04.2018].

Scania 2019
Scania Schweiz AG: *Nobina und Scania sind Pioniere der autonomen 12 M Busse in Schweden*, 2019. URL: <https://www.scania.com/ch/de/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/02/scania-nobina-bus.html> [Stand: 29.06.2019].

Schader 2017
Schader, N.: *Stickoxide – welchen Anteil hat der Verkehr?*, 2017. URL: <https://www.swr.de/abgasalarm/luftschadstoffe-stickoxide-welchen-anteil-hat-der-verkehr/-/id=18988100/did=20682692/nid=18988100/ai23qt/index.html> [Stand: 28.11.2017].

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz o. J.
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz: *Verkehrsregelungs zentrale (VKRZ)*, o. J. URL: <https://www.berlin.de/senuvk/verkehr/lenkung/vkrz> [Stand: 27.05.2019].

Siemens AG 2014
Siemens AG: *Satellitengestützte Bevorrechtigung Sitraffic Stream. Vorfahrt für den ÖPNV*, 2014.

Siemens Mobility GmbH o. J.
Siemens Mobility GmbH: *Sitraffic SiBike*, o. J. URL: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/mobilitaet/strassenverkehr/connected-mobility-solutions/sitraffic-sibike.html> [Stand: 27.05.2019].

Soénius/IHK zu Köln 2018
Soénius, U. S./Industrie- und Handelskammer zu Köln (Hrsg.): *Die Ladezone im Blickpunkt. Anforderungen an die Güterversorgung in Köln und Leverkusen*, Köln 2018.

Straube 2004
Straube, F.: *e-Logistik. Ganzheitliches Logistikmanagement*, Berlin: Springer-Verlag 2004.

Straube et al. 2017
Straube, F./Reipert, J./Schöder, D.: „City-Logistik der Zukunft – im Spannungsfeld von Elektromobilität und Digitalisierung“. In: *Wirtschaftsinformatik & Management*, 9:3, 03/2017.

Tagesschau 2018
Tagesschau: *Vom Weltverbesserer zur Datenkrake*, 2018. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/google-20-jahre-101.html> [Stand: 04.09.2018].

Tagesschau 2019
Tagesschau: *Millionen Facebook-Kundendaten öffentlich*, 2019. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/facebook-daten-cloud-101.html> [Stand: 03.04.2019].

Transport for London 2008
Transport for London: *Central London Congestion Charging. Impacts Monitoring (Sixth Annual Report)*, 2008. URL: <https://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/central-london-congestion-charging-impacts-monitoring-sixth-annual-report.pdf> [Stand: 28.05.2019].

TISA 2014
Traveller Information Services Association (TISA): *TPEG – What Is It All About?. A Guideline for Understanding TPEG Quickly!*, 2014. URL: <http://tisa.org/wp-content/uploads/documents/TISA14001TPEGWhatisitalabout2014.pdf> [Stand: 27.01.2014].

Tobita 2019
Tobita, R.: *Japan to Greenlight 5G Base Stations on 200,000 Traffic Signals*, 2019. URL: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/5G-networks/Japan-to-greenlight-5G-base-stations-on-200-000-traffic-signals> [Stand: 04.06.2019].

TU Berlin 2019
Technische Universität Berlin (TU Berlin): *Projekt Neue Mobilität Berlin*, 2019. URL: https://www.tu-berlin.de/ztg/menue/projekte_und_kompetenzen/projekte_laufend/neue_mobilitaet_berlin/ [Stand: 13.05.2019].

TÜV Nord Group 2016
TÜV Nord Group: *Was bedeutet Car-to-Car-Kommunikation?*, 2016. URL: <https://www.tuev-nord.de/explore/de/erklaert/was-bedeutet-car-to-car-kommunikation> [Stand: 28.05.2019].

TÜV Rheinland 2018

TÜV Rheinland: *TÜV Rheinland-Studie zur Sicherheit autonomer Fahrzeuge: Fahrer wollen jederzeit eingreifen können* (Pressemeldung vom 15.02.2018), 2018. URL: https://www.tuv.com/de/deutschland/ueber_uns/presse/meldungen/newscontentde_358792.html [Stand: 15.04.2019].

US DOT FHWA 2017

United States Department of Transportation (US DOT) – Federal Highway Administration (FHWA): *Lessons Learned From International Experience in Congestion Pricing*, 2017. URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08047/02summ.htm> [Stand: 01.02.2017].

VDA o. J.

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): *Datensicherheit für vernetzte Mobilität*, o. J. URL: www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/datensicherheit/funktion.html [Stand: 03.07.2019].

VdTÜV 2018

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV) (Hrsg.): *Mobility Studie 2018*, 2018. URL: https://www.vdtuev.de/dok_view?oid=703815 [Stand: 15.06.2019].

VDV 2018

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) (Hrsg.): *Deutschland mobil 2030: Szenarien für die Umsetzung der Verkehrswende in Deutschland*, 2018. URL: <https://www.deutschland-mobil-2030.de/vdv-broschuere-doppelseiten-deutschland-mobil-2030.pdf> [Stand: 29.05.2019].

Verbund für Nachhaltige Wissenschaft 2015

Verbund für Nachhaltige Wissenschaft (NaWis): *Begleitforschung der geförderten Reallabore in Baden-Württemberg*, 2015. URL: <http://transformativwissenschaft.de/tag/reallabor> [Stand: 18.06.2015].

Waag Society 2016

Waag Society: *Urban AirQ. Tackling the most polluted streets in Amsterdam*, 2016. URL: <http://making-sense.eu/campaigns/urbanairq> [Stand: 05.06.2019].

Warsaw University of Technology 2018

Warsaw University of Technology 2018: *Variety, Veracity, VaLue: Handling the Multiplicity of Urban Sensors*, 2018. URL: http://www.vavel-project.eu/sites/default/files/publications/D83_Final_VaVeL.pdf [Stand: 29.05.2019].

Wiehler 2019

Wiehler, S.: „Bund fördert Radschnellweg unter der U1“. In: *Der Tagesspiegel*, 2019. URL: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/millionenzuschuss-bund-foerdert-radschnellweg-unter-der-u1/24186674.html> [Stand: 05.04.2019].

Winter et al. 2017

Winter, J./Böhm, M./Malzacher, G./Krüger, D.: „NGT CARGO – Schienengüterverkehr der Zukunft“. In: *Internationales Verkehrswesen*, 69:2, 2017, S. 82–85.

Wittenhorst 2019

Wittenhorst, T: *Dekra-Prüfer fordern ungefilterten Zugang zu Fahrzeugdaten*, 2019. URL: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Dekra-Pruefer-fordern-ungefilterten-Zugang-zu-Fahrzeugdaten-4409559.html> [Stand: 29.04.2019].

Zeitler 2019

Zeitler, M.: *Lieferung per Straßenbahn – eine praktikable Lösung für die nachhaltige Stadtlogistik*, 2019. URL: <https://newsroom.hermesworld.com/letzte-meile-lieferung-per-strassenbahn-eine-praktikable-loesung-fuer-die-nachhaltige-stadtlogistik-17327> [Stand: 08.04.2019].





Über acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de



Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer

Vorstand für Energie und Verkehr

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Linder Höhe

51147 Köln

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2018

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4

80333 München

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

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

info@acatech.de

www.acatech.de

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 (Belgien)

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

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

Vorstand i. S. v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl, Prof. Dr. Hermann Requardt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr. Martina Schraudner, Manfred Rauhmeier

Empfohlene Zitierweise:

Lemmer, K. (Hrsg.): *Neue autoMobilität II. Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft* (acatech STUDIE), München: utzverlag GmbH 2019.

ISSN 2192-6174/ISBN 978-3-8316-4724-8

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 © utzverlag GmbH • 2019

Koordination und Redaktion: Dr. Tobias Hesse, Lennart Schultz, Yulika Zebuhr

Redaktionelle Unterstützung: Dr. Nadine Fritz-Drobeck, Dr. Ralf Grötter, Alrun Straudi

Lektorat: Lektorat Berlin, Berlin

Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

Titel-Illustration: acatech

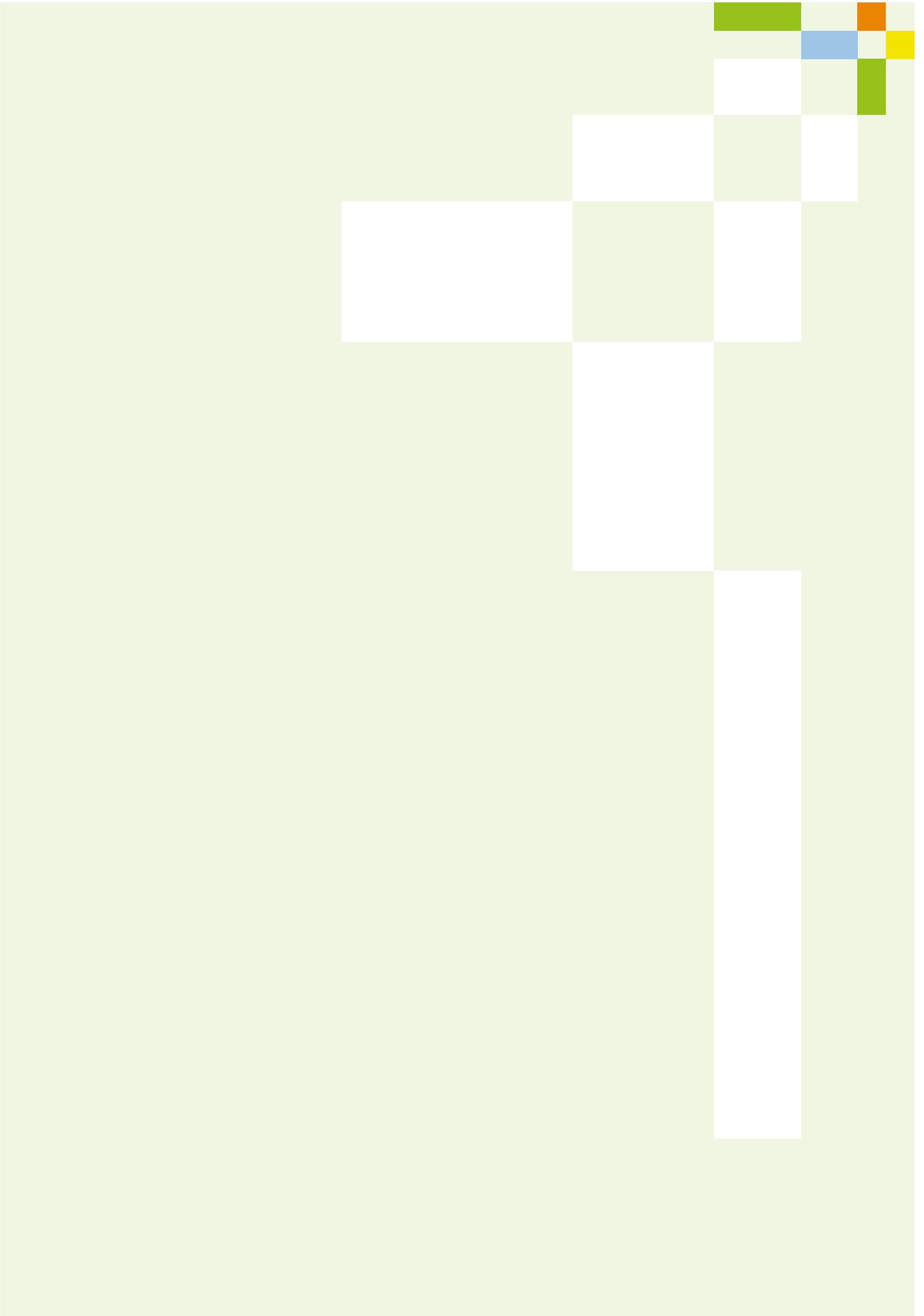
Grafische Gestaltung:ognito Gestaltung GmbH

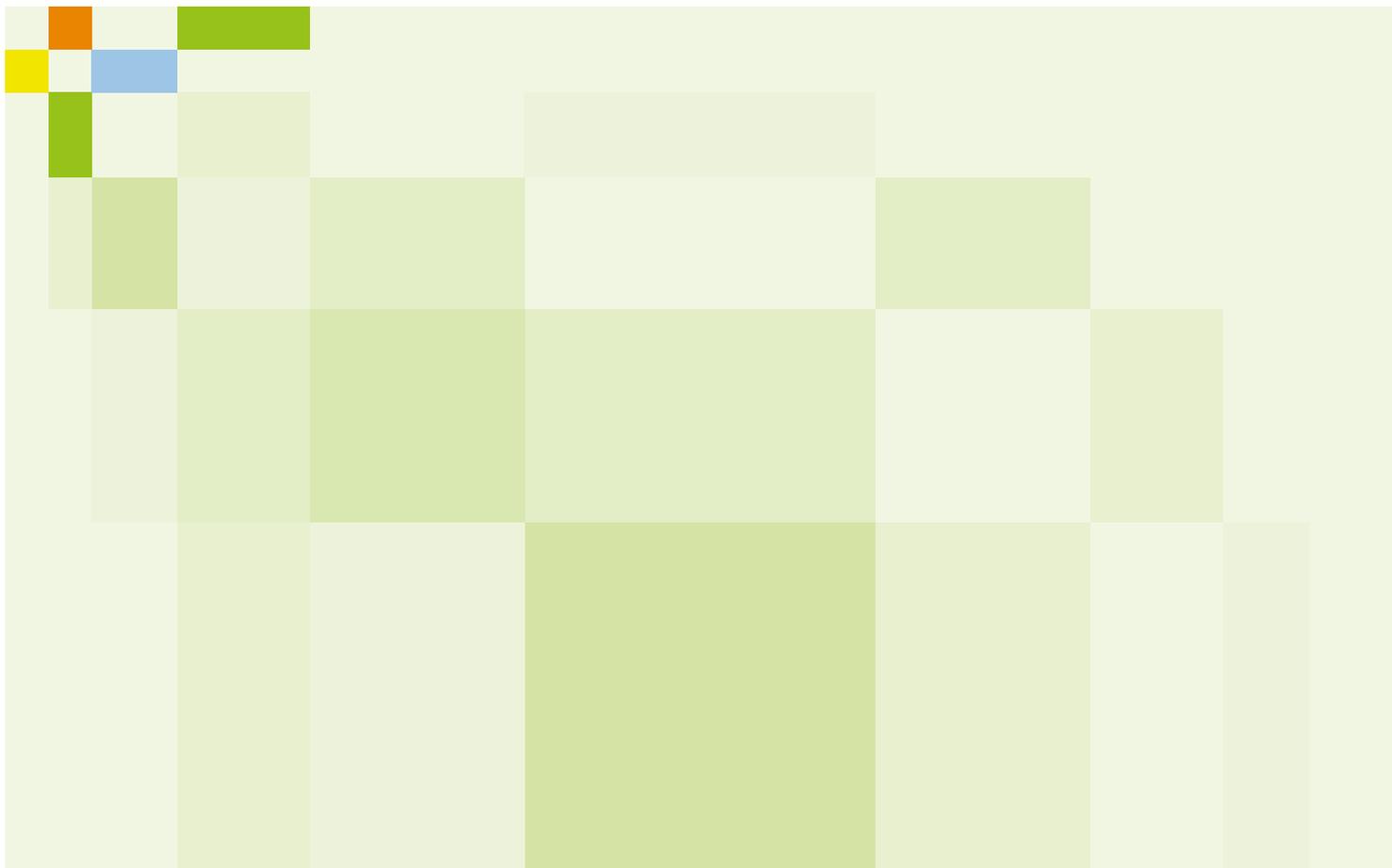
Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Printed in EC

utzverlag GmbH, München

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





Verkehrspolitik in Deutschland ist zu einem Top-Thema der Berichterstattung geworden. Angesichts der aktuellen Herausforderungen, aber auch der vielversprechenden Trends, insbesondere automatisierter vernetzter Mobilität, stellt sich die Frage: Wie gestalten wir den Verkehr der Zukunft? Die acatech STUDIE Neue autoMobilität II leistet einen Beitrag zur Vision der Mobilität der Zukunft: orientiert an den individuellen Bedürfnissen der Nutzerinnen und Nutzer, nachhaltig und klimaschonend sowie eingefügt in das Leitbild menschengerechter Siedlungsräume auf dem Land und in der Stadt.

Die STUDIE beschreibt ein systemisches Zielbild für den automatisierten vernetzten Verkehr ab dem Jahr 2030+. Der gesellschaftspolitische Schwerpunkt geht der Rolle der Kommunen bei der Neuen autoMobilität nach und beleuchtet die gesellschaftliche Akzeptanz, Partizipation und ethische Gesichtspunkte. Der technologische Schwerpunkt beschreibt Möglichkeiten einer intelligenten Verkehrssteuerung und neuer Kooperationsformen zwischen unterschiedlich bis gar nicht automatisierten Verkehrsteilnehmern. Zwölf Zukunftsbilder der Mobilität illustrieren diese Themen und vertiefen das Zielbild. Mit innovativen Mobilitätssystemen und -konzepten können wir Ressourcen, Räume, Fahrzeuge und Infrastrukturen effizienter nutzen.

ISBN 978-3-8316-4724-8



9 783831 647248