



Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen

Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität

ANALYSE



Impressum

Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen

Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für
nachhaltige Mobilität
ANALYSE

ERSTELLT IM AUFTRAG VON

Agora Verkehrswende

Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

PROJEKTLEITUNG

Marena Pützschler
Projektmanagerin Neue Mobilität–Agora Verkehrswende
marena.puetzschler@agora-verkehrswende.de

Alexander Jung
Projektleiter Neue Mobilität–Agora Verkehrswende
(bis Februar 2020)

DURCHFÜHRUNG

Auftragnehmer.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Verkehrsforschung
Rudower Chaussee 7 | 12489 Berlin
www.dlr.de/vf

Autoren:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR):
Viktoriya Kolarova, Kerstin Stark, Lars Hedemann,
Prof. Dr. Barbara Lenz
Agora Verkehrswende: Alexander Jung, Marena Pützschler

Lektorat: Anne Vonderstein

Satz: Marica Gehlfuß, Agora Verkehrswende

Titelbild: iStock/metamorworks

Veröffentlichung: August 2020

43-2020-DE

Bitte zitieren als:

Agora Verkehrswende (2020): *Die Automatisierung des
Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbst-
fahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität.*

www.agora-verkehrswende.de

Vorwort

„Wagen, hol schon mal den Harry!“, so müsste einer der bekanntesten Sätze der deutschen Fernsehgeschichte wahrscheinlich umformuliert werden, wenn in ein paar Jahren eine neue Folge der Krimiserie Derrick produziert würde.¹ Denn das Automobil kann zunehmend Dinge übernehmen, die bisher der Mensch erledigen musste. Zwar galt es schon bei seiner Erfindung als Fahrzeug, das sich – wie der Name sagt – „selbst bewegt“, weil es nicht mehr wie eine Kutsche oder ein Karren gezogen werden musste. Doch durch die Digitalisierung eröffnen sich neue Möglichkeiten. Das Auto wird weiter automatisiert, so dass es bald wahrscheinlich sogar auf Zuruf den Assistenten des Oberinspektors abholen könnte.

Was bedeutet die Digitalisierung für den Verkehrssektor und die Verkehrswende? Schon heute hat sie Einfluss darauf, welche Verkehrsträger genutzt und kombiniert, welche Routen gewählt und welche Mobilitätsdienstleistungen in Anspruch genommen werden. Dabei stehen wir erst am Anfang des digitalen Wandels. Dass Fortschritte in Automatisierung und Vernetzung noch wesentlich tiefergreifende Veränderungsprozesse in Mobilitätsverhalten und Verkehrssystem in Gang setzen werden, zeichnet sich bereits deutlich ab.

Im Vordergrund der politischen Debatte über die fortschreitende Automatisierung hin zum fahrerlosen Pkw standen bislang vor allem ethische, sicherheitsbezogene und rechtliche Fragestellungen: Inwiefern trägt der Mensch noch die Verantwortung, wenn er in einem automatisierten Fahrzeug fährt? Darf eine Maschine entscheiden, welches Manöver in einer Notsituation den geringsten Schaden anrichtet? Wer haftet, wenn es zu einem Unfall kommt? Der Einfluss der Fahrzeugautomatisierung auf die Verkehrswende und damit auf Klima und Umwelt ist dagegen ein untergeordnetes Thema geblieben. Dabei ist gerade die Frage nach dem Mehrwert für die Verkehrswende zentral.

Bereits im Rahmen unserer ersten Publikation, den 12 Thesen zur Verkehrswende, haben wir uns deshalb dem Megatrend Automatisierung und dessen möglichen Folgen zugewandt. Obwohl weiterhin nicht feststeht, wann genau wir mit den ersten hochautomatisierten Serienfahrzeugen rechnen können, ist doch eines inzwischen gewiss: Das automatisierte Fahren wird kommen und es wird einen erheblichen Einfluss auf die Verkehrswende haben. Umso wichtiger, sich frühzeitig mit den positiven wie den negativen Effekten der möglichen technologischen Entwicklungspfade auseinanderzusetzen.

Während der Nutzen der Automatisierung für den öffentlichen und den Wirtschaftsverkehr weitestgehend unstrittig ist, ist die Automatisierung des motorisierten Individualverkehrs neben den Chancen auch mit größeren Risiken für die nachhaltige Mobilität verbunden und steht daher im Fokus dieser Publikation. Die hier vorgelegte Analyse soll den politischen und öffentlichen Diskurs fördern, indem sie den Forschungsstand aufbereitet und die Frage in den Mittelpunkt stellt, ob mit dem digitalen Wandel ein Nutzen für die Verkehrswende generiert werden kann oder ob sich die Probleme des motorisierten Individualverkehrs durch Automatisierung weiter zuspitzen. Damit lenkt sie den Blick auf die Notwendigkeit, die Anwendung der Technologie im Sinne der Verkehrswende zu steuern – denn auch in einer Welt mit selbstfahrenden Autos wird die Verkehrswende nicht zum Selbstläufer.

Christian Hochfeld

für das Team von Agora Verkehrswende
Berlin, 5. August 2020

1 Dass der Satz „Harry, hol schon mal den Wagen!“ in der Serie gar nicht vorkommt und auch ähnlich lautende Formulierungen nur vereinzelt zu finden sind, ist eine andere Geschichte der Verselbstständigung.

Leitlinien

Auf Basis der vorliegenden Analyse empfehlen Agora Verkehrswende und das Institut für Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt sechs Leitlinien für die Entwicklung des automatisierten Fahrens:

1

Die Politik gestaltet und steuert die Entwicklung, damit das automatisierte Fahren einen Beitrag zur Verkehrswende leisten kann.

Gelingt es, die Fahrzeugautomatisierung für neue Mobilitätsangebote und eine bessere Verkehrsabwicklung zu nutzen, kann sie zu einem unterstützenden Faktor der Verkehrswende werden. Ohne politische Steuerung wie zum Beispiel durch Preisinstrumente besteht das Risiko, eine neue Ära der Massenmotorisierung einzuleiten. Deshalb ist es wichtig, nicht nur die technische Entwicklung zu fördern, sondern auch die politischen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen für eine zukunftsfähige Entwicklung zu setzen.

2

Automatisierte Fahrzeuge werden gemeinschaftlich genutzt und in den öffentlichen Verkehr integriert, um einen Anstieg von Fahrleistung sowie von Energie- und Flächenverbrauch zu vermeiden.

Automatisiertes Fahren kann zu einem erheblichen Anstieg der Fahrleistung sowie des Energie- und Flächenverbrauchs führen. Denn Autofahren wird komfortabler und auch für Menschen möglich, die bisher nicht dazu in der Lage waren. Die Reisezeit kann zum Arbeiten oder zum Entspannen genutzt werden. Leere Fahrzeuge könnten herumfahren, statt auf einem kostenpflichtigen Parkplatz zu stehen. Um Mehrverkehre zu vermeiden, gilt es, den Betrieb möglichst effizient zu gestalten, die Fahrzeuge gemeinschaftlich zu nutzen und in den öffentlichen Verkehr zu integrieren.

3

Verkehrssicherheit wird auch bei Mischverkehr aus automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen gewährleistet.

Langfristig könnte das automatisierte Fahren den Verkehr spürbar sicherer machen. Verschiedene Fahrstufen unterhalb der Vollautomatisierung, die eine zeitweise Übernahme durch den Menschen erfordern, sowie automatisierte und nicht automatisierte Mischverkehre aus motorisiertem Individualverkehr, ÖPNV, Wirtschaftsverkehr und aktiver Mobilität könnten dagegen zunächst zu neuen Gefahrenquellen führen. Bei der Gestaltung der Übergangsphase hin zu Vollautomatisierung sollte die Frage der Verkehrssicherheit deshalb besonders berücksichtigt werden.

4

Der Aufbau der öffentlichen Infrastruktur für automatisiertes Fahren folgt dem Leitbild der nachhaltigen Raumordnung und Stadtentwicklung.

Eine Trennung zwischen dem automatisierten und nicht automatisierten Verkehr durch physische Infrastruktur (zum Beispiel Absperrungen zwischen Straßen und Radwegen sowie Bürgersteigen), die sich vorrangig an den Belangen des motorisierten Verkehrs orientiert, passt nicht zu einer nachhaltigen Verkehrssystemgestaltung und Verkehrspolitik. Automatisierte Fahrzeuge, die in Sharing-Systemen überwiegend auf den Straßen unterwegs sind, benötigen weniger Parkraum. Dieses Potenzial sollte gezielt genutzt werden.

5

Klare Regeln und Standards ermöglichen einen reibungslosen und sicheren Austausch der Daten.

Die Potenziale des automatisierten Fahrens für die Verkehrswende können nur erschlossen werden, wenn der Austausch von Daten unter den relevanten Akteuren reibungslos funktioniert. Dadurch entstehen aber auch Risiken für den Datenschutz und die Datensouveränität (Zugang, Nutzung, Missbrauchsgefahr). Daher müssen Konzepte, technische Standards und rechtliche Regelungen entwickelt werden, die sowohl die Datennutzung ermöglichen als auch den Datenschutz und das Recht auf Privatheit gewährleisten.

6

Eine breite gesellschaftliche Diskussion begleitet die Entwicklung des automatisierten Fahrens – auch mit Fokus auf die Verkehrswende.

In der bisherigen Diskussion über das automatisierte Fahren stehen vor allem ethische, sicherheitsbezogene und rechtliche Fragestellungen im Mittelpunkt. Zukünftig sollte der Einfluss der Fahrzeugautomatisierung auf die Verkehrswende und damit auf Klima und Umwelt stärker thematisiert werden. Die breite Diskussion dieser Fragen ist eine wichtige Voraussetzung für den Klimaschutz im Verkehr.

Inhalt

Vorwort	3
Leitlinien	5
Einleitung	9
1 Markt und Einführung automatisierter Fahrzeuge im Personenverkehr	11
1.1 Wie automatisierte Verkehrssysteme zum Einsatz kommen, ist nicht allein eine Frage der technischen Entwicklung	11
1.2 Neben der individuellen Nutzung bestehen erhebliche Potenziale im Bereich ÖPNV und Sharing	11
1.3 Die Fahrzeugautomatisierung muss als Struktur- und Prozesswandel der traditionellen Automobilindustrie verstanden werden	11
2 Nutzer und individuelle Mobilität im Zeitalter der Automatisierung	13
2.1 Der Autoverkehr wird komfortabler	13
2.2 Das automatisierte Fahren ermöglicht individuelle Mobilität für alle	13
2.3 Die Fahrzeugautomatisierung kann eine Reduktion des Motorisierungsgrades unterstützen	13
2.4 Subjektives Empfinden kann zur Akzeptanzbarriere werden	14
3 Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung auf das Verkehrssystem	15
3.1 Die Fahrzeugautomatisierung kann zu einer höheren Verkehrssicherheit führen, aber auch zu neuen Gefahrenquellen im Mischverkehr aus manuell geführten und automatisierten Fahrzeugen	15
3.2 Effizienz- und Kapazitätsgewinne im Verkehr ergeben sich erst bei einer hohen Durchdringungsrate	15
3.3 Das automatisierte Fahren kann trotz effizienterer Fahrweise zu einer Steigerung des Energieverbrauchs führen	16
3.4 Das automatisierte Fahren kann zu einem Anstieg des motorisierten Individualverkehrs führen	16
4 Raumstrukturelle Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung	19
4.1 Das automatisierte Fahren kann mehr Raum für nachhaltigen Verkehr schaffen	19
4.2 Das automatisierte Fahren wird nicht nur die Alltagsmobilität, sondern auch langfristige Wohnstandortentscheidungen beeinflussen	19
4.3 Die Separierung der Infrastruktur für automatisierte Fahrzeuge steht im Widerspruch zu nachhaltiger Stadtentwicklung	19
5 Anforderungen an Vernetzung, Daten und Algorithmen	21
5.1 Die zusätzliche Vernetzung der Fahrzeuge bringt Vorteile für das Gesamtsystem. Ihre Umsetzung bedarf geeigneter Konzepte und rechtlicher Regelungen für den Datenschutz	21
5.2 Algorithmische selbstlernende Systeme stellen eine Herausforderung für Haftung und Prüfung dar	21

6 Mit automatisiertem Fahren zu nachhaltiger Mobilität	23
6.1 Ohne politische Rahmensetzung droht die Fahrzeugautomatisierung in eine neue Ära der Massenmotorisierung zu führen	23
6.2 Auch in einem automatisierten Verkehrssystem gilt: Verkehr vermeiden und zugunsten nachhaltiger Verkehrsträger verlagern	23
6.3 Neue Mobilitätsangebote als Plattform für eine nachhaltige Integration automatisierter Fahrzeuge in den Personenverkehr etablieren	24
6.4 Verbessern des motorisierten Verkehrs mithilfe von Technologien	24
6.5 Das automatisierte Fahren als eines von vielen Elementen der Verkehrswende verstehen	25
7 Anhang	27
7.1 Automatisiertes und vernetztes Fahren	27
7.2 Rechtliche Rahmenbedingungen des automatisierten Fahrens	28
7.3 Mögliche Einführungsszenarien des automatisierten Fahrens	28
7.4 Anwendungsmöglichkeiten/-fälle automatisierter Fahrzeuge	29
7.5 Die Entwicklung des automatisierten Fahrens im internationalen Vergleich	31
8 Literaturverzeichnis	33

Einleitung

Die zunehmende Automatisierung und Vernetzung birgt Potenziale für einen Gewinn an Sicherheit, Komfort, Flexibilität und Effizienz im Personenverkehr und ermöglicht seine kostengünstigere Gestaltung. Wie jede andere technische Erneuerung birgt die Fahrzeugautomatisierung neben diesen Chancen aber auch Risiken und Herausforderungen, etwa durch nicht intendierten Gebrauch. Um das volle Potenzial der Fahrzeugautomatisierung für die Gestaltung eines nachhaltigen Verkehrssystems zu entfalten und Risiken bei der Implementierung im bestehenden System zu begegnen, kommt es daher darauf an, bereits im Vorhinein potenzielle Auswirkungen zu analysieren und einen fundierten Handlungsprozess über Gestaltungs- und Steuerungsmöglichkeiten der technologischen Optionen anzustoßen.

Der vorliegende Bericht möchte dazu die Grundlage liefern. Er fasst die wesentlichen Erkenntnisse der einschlägigen Fachliteratur in Thesenform zusammen und bietet damit einen systematischen Überblick über die verkehrlichen Potenziale, Herausforderungen und Risiken des automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF). Er diskutiert die möglichen Wirkungen der Fahrzeugautomatisierung im Hinblick auf Mobilitätsmarkt, Nutzer, Verkehrssystem, Raumstruktur und Gesellschaft und zeigt mögliche Handlungsoptionen für die Gestaltung eines nachhaltigen Verkehrssystems auf. Aus dem Überblick über mögliche Entwicklungsrichtungen der Fahrzeugautomatisierung ergibt sich – obwohl sie ebenso wie ihre verkehrlichen Auswirkungen zurzeit noch mit einer ganzen Reihe von Unsicherheiten verbunden ist – dennoch ein deutliches Ergebnis: Der Prozess bedarf der politischen Steuerung. Denn die zentrale Fragestellung muss lauten, wie die Automatisierung des Personenverkehrs zum Gelingen der Verkehrswende und zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr beitragen kann.

1 | Markt und Einführung automatisierter Fahrzeuge im Personenverkehr

Die Fahrzeugautomatisierung betrifft nicht allein Veränderungen in der Technik. Sie wirkt sich aller Voraussicht nach mittel- und langfristig auch auf Faktoren wie die individuelle Mobilität, das Verkehrssystem, die Raumstruktur sowie auf die Gesellschaft als Ganzes aus. Bei aller Unabsehbarkeit der konkreten Auswirkungen im Einzelnen zeichnet sich aber bereits heute ab: Die Konsequenzen der Fahrzeugautomatisierung werden im Wesentlichen davon abhängen, in welcher Art von Geschäftsmodell und auf welcher Automatisierungsstufe die Fahrzeuge zum Einsatz kommen.

1.1 Wie automatisierte Verkehrssysteme zum Einsatz kommen, ist nicht allein eine Frage der technischen Entwicklung

Automatisiertes Fahren kann verschiedene Formen annehmen mit je unterschiedlichen Auswirkungen auf die Verkehrsentwicklung.² Das reicht von der Evolution des assistierten Autofahrens bis hin zur Transformation des städtischen Straßenverkehrs. Entscheidend dafür, wann und in welcher Form hoch- oder vollautomatisierte Fahrzeuge regulär im Straßenverkehr eingeführt sein werden, sind nicht nur technische Fragestellungen (Herausforderungen im Mischverkehr, Sensorik, Entscheidungsalgorithmen, Infrastruktur etc.). Ebenso wichtig ist der politische Wille, die Entwicklung und Einführung automatisierter Fahrzeuge steuernd zu begleiten.

1.2 Neben der individuellen Nutzung bestehen erhebliche Potenziale im Bereich ÖPNV und Sharing

Automatisiertes Fahren kann sowohl auf verschiedenen Automatisierungsstufen zur Anwendung kommen als auch in unterschiedlichen Arten von Geschäftsmodellen. Neben der privaten Nutzung von automatisierten Fahrzeugen sind dabei vor allem *kollaborative Mobilitätsangebote* zu nennen, bei denen Fahrzeuge unter verschiedenen Nutzern geteilt werden (Carsharing- oder Taxi-ähnliche Angebote), sowie der automatisierte öffentliche Verkehr

(ÖV).³ Die Automatisierung von individuell genutzten automatisierten Fahrzeugen besteht in der schrittweisen Weiterentwicklung von Assistenzsystemen, mit denen Privat-Pkw bereits heute ausgestattet sind. Im Unterschied dazu sind etwa Carsharing oder Taxi-ähnliche Angebote neue Formen von On-Demand-Mobilitätsangeboten, die erst durch höchste Automatisierungsstufen ermöglicht werden und digitale Möglichkeiten nutzen, um Fahrzeugflotten flexibel zu disponieren und Fahrtwünsche in Echtzeit ohne Fahrplan zu erfüllen. Solche Angebote haben das Potenzial, Tür-zu-Tür-Mobilität ohne Besitz eines Privatfahrzeugs zu ermöglichen. Darüber hinaus können sie eine sinnvolle Ergänzung zum regulären öffentlichen Personenverkehr darstellen oder zu seiner Attraktivitätssteigerung beitragen, indem sie beispielsweise in das ÖV-System integriert oder auf der ersten und letzten Meile eingesetzt werden.

1.3 Die Fahrzeugautomatisierung muss als Struktur- und Prozesswandel der traditionellen Automobilindustrie verstanden werden

Im Bereich des automatisierten Fahrens zählt Deutschland zu den weltweit führenden Ländern, muss sich jedoch zunehmend gegen starke Wettbewerber aus dem restlichen europäischen, asiatischen und US-amerikanischen Raum behaupten.⁴ Digitalkonzerne, Softwareentwickler, aber auch Halbleiter- und Sensorikhersteller zählen zu den neuen Marktteilnehmern, die immer stärker in die automobilen Wertschöpfung hineindrängen und den Fachkräftebedarf am Arbeitsmarkt spürbar verändern.⁵

Als zentrale Voraussetzung dafür, dass der deutsche Markt seine Führungsposition in der Automobilbranche beibehalten und sich als Leitanbieter im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens durchsetzen kann, gelten vor allem die Bereiche Infrastruktur, Recht, Innovationen, Vernetzung sowie IT-Sicherheit und

2 Weiterführende Informationen im Anhang (Kapitel 7.3 und 7.4).

3 Weiterführende Informationen im Anhang (Kapitel 7.4).

4 Weiterführende Informationen im Anhang (Kapitel 7.5).

5 Grunwald (2015); McKinsey & Company (2019).

Datenschutz.⁶ In allen genannten Feldern sollten in den nächsten Jahren die Voraussetzungen für Erprobung und Umsetzung des automatisierten und vernetzten Fahrens geschaffen werden. Dabei gilt auch die frühzeitige Einbeziehung relevanter Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologieentwicklung als entscheidend.⁷

6 BMVI (2015); VDA (2015).

7 Fraedrich; Lenz (2014).

2 | Nutzer und individuelle Mobilität im Zeitalter der Automatisierung

Das automatisierte Fahren bietet Vorteile für die Verbesserung und Veränderung der Mobilität unterschiedlicher Nutzergruppen. Auch für die Verkehrswende ergeben sich mögliche positive Implikationen. Für die Akzeptanz automatisierter Verkehrssysteme wird nicht zuletzt aus-schlaggebend sein, ob bei der Einführung die Bedürfnisse der Nutzer, ihre je individuellen Anforderungen und potenziellen Bedenken hinsichtlich der Technik berücksichtigt werden.

2.1 Der Autoverkehr wird komfortabler

Die stetig steigende Zahl an Assistenzsystemen (z. B. Autobahn- und Staupilot, Einparksysteme, Spurhalte- und Bremsassistent) macht das Autofahren nicht nur sicherer, sondern auch komfortabler, weil Fahrerinnen und Fahrer zunehmend von der Fahr- und Aufsichtsaufgabe entlastet werden und während der Fahrt anderen Tätigkeiten nachgehen können.⁸ Zu den Komfortgewinnen gehört neben einer produktiveren Nutzung der Unterwegszeit auch, dass die Parkplatzsuche mit zunehmender Automatisierung überflüssig wird und das subjektive Wohlbefinden⁹ im motorisierten Individualverkehr (MIV) sich verbessert (weniger Stress und Aggressivität im Straßenverkehr). Während die Sicherheitsgewinne unbestreitbar positiv zu bewerten sind, geht mit den Komfortgewinnen auch das Risiko sogenannter Rebound-Effekte einher – etwa eine steigende Fahrleistung durch Verlagerung von Rad- und Fußverkehr und durch das Erschließen neuer Nutzergruppen.

2.2 Das automatisierte Fahren ermöglicht individuelle Mobilität für alle

Höhere Automatisierungsstufen und neue fahrerlose Angebote eröffnen auch solchen Nutzergruppen Zugang zu motorisierter individueller Mobilität, die bislang kein motorisiertes Straßenfahrzeug fahren konnten, durften oder wollten.¹⁰ Dazu gehören etwa Nutzergruppen, die aufgrund gesundheitlicher oder altersbedingter Ein-

schränkungen¹¹, aufgrund ihres Wohnstandortes oder ihres sozioökonomischen Status in ihrer Mobilität eingeschränkt sind und mit wachsender Fahrzeugautomatisierung die Möglichkeit erhalten, individuell, flexibel und komfortabel mobil zu sein. Gesamtgesellschaftlich öffnet sich damit die Chance, künftigen demografischen Herausforderungen zu begegnen. Andererseits bergen die potenziell hohen Kosten für Technik und Infrastruktur das Risiko, dass nicht alle Nutzergruppen gleichermaßen von der neuen Technologie profitieren. Solchen Benachteiligungen lässt sich nur entgegenwirken, wenn bei der Einführung neuer digitaler und automatisierter Mobilitätsangeboten auch Sozialverträglichkeit, Verbraucherschutz und Inklusion berücksichtigt werden.

2.3 Die Fahrzeugautomatisierung kann eine Reduktion des Motorisierungsgrades unterstützen

Die Verfügbarkeit neuer automatisierter Mobilitätsangebote, die auf eine geteilte Nutzung von Fahrzeugen setzen (Carsharing- oder Taxi-ähnliche Angebote, Ridepooling) und sich gegenüber konventionellen geteilten Mobilitätsangeboten (Carsharing mit konventionellen Fahrzeugen) und Taxis durch einen vereinfachten Zugang und niedrigere Nutzerkosten auszeichnen, kann zu einer relevanten Verkehrsmittelalternative werden und damit zu einer Reduktion des privaten Pkw-Besitzes führen. Modellrechnungen zeigen, dass Fahrzeuge in Flotten automatisierter geteilter Mobilitätsanbieter das tägliche Fahrtenaufkommen von bis zu elf privaten Fahrzeugen übernehmen können – ohne Einschränkungen in der Mobilität.¹² Allerdings ist die tatsächliche Bereitschaft von Haushalten, auf den eigenen Pkw zu verzichten oder seine Nutzung einzuschränken, nicht allein von der Verfügbarkeit automatisierter Mobilitätsangebote abhängig, sondern von weiteren Faktoren wie täglichen Mobilitätsmustern, Pendelwegen, der Zugehörigkeit zu bestimmten Alterskohorten („Generation Y“) oder gesellschaftlichen Trends (insbesondere Trend zum Nutzen statt Besitzen eines Fahrzeugs).¹³ Die Automatisierung allein wird

8 Trommer et al. (2016b); Anderson et al. (2014).

9 Singleton (2019); Kolarova et al. (2019).

10 Trommer et al. (2016b); Zmud et al. (2017).

11 Harper et al. (2016).

12 Bischoff; Maciejewski (2016).

13 Menon et al. (2019).

demnach wohl nicht zu einer signifikanten Reduzierung des Pkw-Bestandes führen.

Zu berücksichtigen ist darüber hinaus, dass die Automatisierung gegenläufige Wirkungsrichtungen entfalten kann: Weil sie Autos für neue Nutzergruppen verfügbar und die Autonutzung insgesamt attraktiver macht, kann sie sogar zu einer Steigerung des privaten Pkw-Besitzes beitragen. Andererseits kann sie bei mehrfach motorisierten Haushalten – jedenfalls bei günstigen Rahmenbedingungen der Haushaltsstruktur (Familien mit einem höheren Einkommen, Wohnort im suburbanen Raum) und günstigen räumlichen Aktivitätsmustern (viele kurze Fahrten) – eine Reduktion der Anzahl der Pkw erwirken, weil automatisiertes Fahren ohne Fahrerüberwachung Leerfahrten ermöglicht.¹⁴

2.4 Subjektives Empfinden kann zur Akzeptanzbarriere werden

Den zu erwartenden Vorteilen, die mit automatisiertem Fahren und neuen flexiblen Angebote verbunden sind, stehen Akzeptanzbarrieren im Wege, etwa mangelndes Vertrauen in die Technik oder Umstellungsschwierigkeiten vom manuellen zum automatisierten Fahren. Häufig geäußerte Bedenken beziehen sich auf die (vollständige) Kontrollabgabe des Fahrers, den Verlust des Fahrvergnügens und befürchtete Langeweile.¹⁵ Aber auch gegenläufige Vorbehalte werden vorgetragen, etwa dass die Möglichkeit der alternativen Zeitnutzung im Fahrzeug einem zunehmenden Effizienzdruck weiter Vorschub leisten könnte.¹⁶

In Bezug auf die Nutzung automatisierter Fahrzeuge für neue Mobilitätsangebote, insbesondere kollaborative Angebote mit geteilten Fahrten (Ridepooling), wird zudem auf potenzielle Einschränkungen der Privatsphäre und des Komforts sowie auf Sicherheitsbedenken (z. B. Vertrauenswürdigkeit der Mitfahrenden oder Hackerangriffe) verwiesen.¹⁷ Auch datenschutzrechtliche Bedenken stellen eine wichtige Akzeptanzbarriere dar.¹⁸

14 Zhang et al. (2018).

15 Trommer et al. (2016a); Yap et al. (2016); Becker; Axhausen (2017); Howard; Dai (2014).

16 Fraedrich; Lenz (2015).

17 Bansal et al. (2016); Stegmüller et al. (2019).

18 Lemmer (Hg.) (2019).

3 | Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung auf das Verkehrssystem

Zu den erwarteten positiven Auswirkungen der Automatisierung auf das Verkehrssystem gehören Verbesserungen in Sicherheit, Effizienz und Kapazität sowie das Entstehen komfortablerer, kostengünstiger und flexiblerer Mobilitätsoptionen. Demgegenüber werden potenzielle Rebound-Effekte diskutiert, die vor allem die gestiegene Attraktivität des Individualverkehrs, neue Nutzergruppen, Leerfahrten und eine entsprechende Zunahme der Verkehrsleistung betreffen. Daraus ergibt sich, dass auch negative externe Effekte des Verkehrs (Stau, Luftschadstoffe, CO₂-Emissionen etc.) durchaus anwachsen könnten.

3.1 Die Fahrzeugautomatisierung kann zu einer höheren Verkehrssicherheit führen, aber auch zu neuen Gefahrenquellen im Mischverkehr aus manuell geführten und automatisierten Fahrzeugen

Die verbesserte Sicherheit im Straßenverkehr durch Regelkonformität von automatisierten Fahrzeugen gehört zu den wohl wichtigsten Vorteilen der Fahrzeugautomatisierung und Vernetzung – immerhin 88 Prozent aller Unfälle sind derzeit auf menschliches Versagen zurückzuführen.¹⁹ Allerdings wird sich der Beitrag von Automatisierung zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und der Verkehrslage nicht „wie von alleine“ ergeben – entscheidend wird vielmehr sein, wie bedienerfreundlich die Technik ist und wie einfach sich die Mensch-Maschine-Interaktion gestalten lässt. Denn für die verschiedenen Automatisierungsstufen unterhalb der Vollautomatisierung ist jeweils ein verändertes Fahrverhalten bzw. eine Anpassung der Fahreignungseigenschaften erforderlich, insbesondere beim Umgang mit der Technik, im Verständnis von Fähigkeiten und Grenzen der Systeme sowie bei der Aufgabenverteilung zwischen Technik und Nutzer. Als besondere Herausforderung gelten Übernahmesituationen bei einem Fahrzeug mit der Autonomiestufe 3, bei denen der Fahrer die manuelle Kontrolle wieder übernimmt. Auf nationaler und internationaler Ebene wird daher an Standards und Leitlinien für die Gestaltung der Kommunikation zwischen Technik und Mensch gearbeitet – dies sowohl in Hinblick auf die

Nutzer als auch andere Verkehrsteilnehmer.²⁰ Es soll insbesondere bei mittleren Automatisierungsstufen und im Mischverkehr in der Stadt ausgeschlossen werden, dass durch die Einführung automatisierter Fahrzeuge neue Gefahrenquellen entstehen.

Aufgrund der nur schrittweise erfolgenden Technologieentwicklung und Marktdurchdringung wird es zu einer herausfordernden Übergangszeit mit einem Mischverkehr aus manuell geführten und automatisierten Fahrzeugen sowie aus verschiedenen Modellen und Stufen der Automatisierung kommen. Daraus sowie aus einem noch ungeübten und möglicherweise falschen Umgang mit der Technik können sich neue Gefahrenquellen und Beeinträchtigungen der Sicherheit im Verkehr ergeben.²¹

3.2 Effizienz- und Kapazitätsgewinne im Verkehr ergeben sich erst bei einer hohen Durchdringungsrate

Die Automatisierung bietet Chancen für eine Verbesserung der Effizienz im Verkehrsablauf und für eine höhere Kapazität der Verkehrsinfrastruktur,²² die sich aus einer abgestimmten Fahrweise der Fahrzeuge und kleineren Sicherheitsabständen zwischen den Fahrzeugen ergibt. Das Ausmaß der Kapazitätssteigerung variiert je nach Durchdringungsrate mit Automatisierungstechnologien und nach Höhe der jeweiligen Streckengeschwindigkeit. Je höher die Streckengeschwindigkeit, desto größer der mögliche Kapazitätszuwachs.²³ Im städtischen Umfeld sind Kapazitätszuwächse auch im Kreuzungsbereich durch kooperatives Anfahren (ein durch die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen abgestimmtes Anfahren) und kürzere Wartezeiten möglich.²⁴ Abschätzungen der Potenziale der Kapazitätszuwächse reichen bei einer vollständigen Durchdringung der Flotte mit autonomen Fahrzeugen bis zu einem Wert von 80 Prozent auf Autobahnen und 40 Prozent in Kreuzungsbereichen.²⁵

19 Destatis (2018).

20 VDA (2019); Campbell et al. (2018); NHTSA (2017).

21 Sivak; Schoettle (2015); Lutin (2015).

22 Hartmann et al. (2017); Lutin (2015); Fagnant; Kockelman (2015).

23 USTUTT (2018).

24 Le Vine et al. (2015).

25 Friedrich (2015).

Auf der Basis niedrigerer Durchdringungsraten prognostizieren andere Studien einen Kapazitätsrückgang von lediglich bis zu 10 Prozent. In diese niedrigere Berechnung geht insbesondere die Annahme ein, dass die Notwendigkeit eines regelkonformen Verhaltens von automatisierten Fahrzeugen im Mischverkehr im Vergleich zum Ausgangszustand zu teilweise größeren Zeitlücken beim Einscheren in den Verkehr führen wird. Nach diesem Szenario ergeben sich positive Auswirkungen auf Kapazitätswachse erst bei zusätzlichen Vernetzung der Fahrzeuge untereinander.²⁶ Eine erhöhte Infrastrukturkapazität führt zu einer abgestimmten Fahrweise der Fahrzeuge und dementsprechend zu einer Verminderung der Fahrzeiten im vormals überlasteten Bereich sowie zu einer Effizienzsteigerung im Sinne einer Energiereduktion, da sich die Zahl der Brems- und Beschleunigungsvorgänge vermindert.²⁷

3.3 Das automatisierte Fahren kann trotz effizienterer Fahrweise zu einer Steigerung des Energieverbrauchs führen

Bei gleichmäßiger und abgestimmter Fahrweise – weniger starkem Beschleunigen und Abbremsen – ermöglichen automatisierte Fahrzeuge eine energieeffizientere Fortbewegung als manuell gesteuerte Fahrzeuge.²⁸ Schätzungen zufolge beträgt die mögliche Energieersparnis 10 bis 20 Prozent.²⁷ Demgegenüber ist aufgrund von erhöhten Geschwindigkeiten im Verkehr sowie durch den Betrieb und das Gewicht der zusätzlich benötigten Technik im Fahrzeug von einer Steigerung des Energiebedarfs auszugehen.²⁹ Der Energiebedarf wird von der Automatisierungsstufe der Fahrzeuge, ihren jeweiligen Vernetzungsfunktionen und der zusätzlichen Fahrzeugausstattung abhängen. Weil Leistung und Effizienz der Technik (z. B. Computerchips, Sensoren) sich schnell weiterentwickeln,³⁰ sind Prognosen in diesem Bereich mit Unsicherheit behaftet. Doch auch bei fortschrittlicher Technik der Zukunft ist nicht auszuschließen, dass

die für die Automatisierung der Fahraufgaben benötigte Umgebungserfassung und Datenverarbeitung durch den Onboard-Computer hohe Rechenleistung erfordern und zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führen werden. Potenziell reduzieren lässt sich der Bedarf an Rechenleistung und Technik im Fahrzeug, wenn die (Sensor-) Daten von einem vernetzten Fahrzeug an ein Backend-System gesendet, dort verarbeitet, mit weiteren Informationen angereichert und in aufbereiteter Form an das Fahrzeug zurückgeschickt werden. Auch dann ist aber davon auszugehen, dass für den Automatisierungsprozess zusätzliche Energie bereitgestellt werden muss (z. B. für Serverkapazitäten).

Ersten Studien zufolge wird der zusätzliche Energiebedarf durch die Automatisierungstechnik im Fahrzeug bei 4 bis 15 Prozent liegen.³¹ Andere Experten halten diese Zahlen für zu niedrig und gehen mit Hinweis auf weitere zu berücksichtigende Parameter (Datenverarbeitung im Fahrzeug oder auf einem externen Server, Energieeffizienz der Technikkomponenten, Fahrzeugantriebsart) davon aus, dass sich eine realistische Abschätzung der Effizienz von automatisierten Fahrzeugen nur ergibt, wenn der gesamte Energieaufwand – sowohl im Fahrzeug als auch außerhalb des Fahrzeuges – betrachtet wird.

3.4 Das automatisierte Fahren kann zu einem Anstieg des motorisierten Individualverkehrs führen

Verschiedenen Studien zufolge könnte die Fahrzeugautomatisierung zu einem höheren Verkehrsmittelwahlanteil des motorisierten Individualverkehrs führen, etwa aufgrund der steigenden Attraktivität für neue Nutzergruppen und der veränderten Zeit- und Komfortbewertung des Pkw-Verkehrs.³¹ Ausgegangen wird darüber hinaus von sinkenden Nutzerkosten für automatisierte Sharing- und Pooling-Angebote, die sich zulasten der aktiven Verkehrsmodi (Fahrradfahren und Zufußgehen) sowie des konventionellen öffentlichen Verkehrs (ÖV) auswirken könnten. Bei einer Durchdringung der Pkw-Flotte mit automatisierten Fahrzeugen von etwa 40 Pro-

26 Hartmann et al. (2017).

27 Lee; Kockelman (2019).

28 Lee; Kockelman (2019); Wadud et al. (2016); EIA (2018).

29 Gawron et al. (2018).

30 Dunietz (2018).

31 Childress et al. (2014); Fraedrich et al. (2017).

zent beläuft sich die Gesamtverminderung nach Modellrechnungen bei Fuß- und Radwegen auf etwa 10 Prozent, im städtischen Raum sogar auf etwa 15 Prozent.³² Signifikante Effekte ergeben sich aber nicht allein aufgrund von Nachfrageverschiebungen. Hinzu kommen die durch die Einführung automatisierter Fahrzeuge erzeugten Leerfahrten – sowohl bei kollaborativen Mobilitätskonzepten als auch bei der Nutzung von Privat-Pkw.³³ Auch wenn Schätzungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch mit einer beträchtlichen Ungewissheit behaftet sind, wird aufgrund steigender Fahrleistung (neue Nutzergruppen, Leerfahrten und längere Wegstrecken) von einem bis zu 50 bis 60 Prozent höherer Energiebedarf gegenüber dem heutigen Stand ausgegangen.³⁴

Der öffentliche Verkehr hat gegenüber dem motorisierten Individualverkehr erhebliche Kapazitäts-, Kosten- und Umweltvorteile. Um Überlastungen der Straßeninfrastrukturen entgegenzuwirken, müssen öffentliche Verkehrsmittel auch in Zukunft – und insbesondere in den Städten – weiterhin eine entscheidende Stütze des Verkehrssystems bleiben.³⁵ Die Integration spezifischer neuer automatisierter Mobilitätsangebote (z. B. automatisierter bedarfsgerechter Kleinbusse bzw. Rufbusse oder anderer automatisierter Carsharing-/Ridepooling-Angebote) kann die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs und des Umweltbundes insgesamt erheblich verbessern. Allerdings werden auch diese neuen Angebotskonzepte zulasten von aktiven Verkehrsmodi (Zufußgehen, Radfahren) und konventionellem ÖV gehen. Mit neuen Formen des individuellen motorisierten Verkehrs (z. B. automatisiertes Carsharing) lässt sich daher nur bei ausreichend hohem Besetzungsgrad bzw. durch geteilte/gemeinschaftliche Nutzung (Ridepooling) eine Reduktion der straßengebundenen Verkehrsleistung erreichen bzw. ein deutlicher Anstieg vermeiden.³²

32 Fraedrich et al. (2017).

33 Bischoff; Maciejewski (2016); Zhang et al. (2018).

34 Wadud et al. (2016); Lee; Kockelman (2019).

35 Basu et al. (2018)

4 | Raumstrukturelle Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung

4.1 Das automatisierte Fahren kann mehr Raum für nachhaltigen Verkehr schaffen

Welche Auswirkungen haben automatisierte Fahrzeuge und automatisierte Sharing-Systeme auf den Parkflächenbedarf? Dieser Frage wird in einer Reihe von Studien nachgegangen, die höchst unterschiedliche Szenarien entwerfen.³⁶ Als eine der am häufigsten vermuteten Auswirkung gilt die Reduktion des Parkflächenbedarfs durch flächeneffiziente Bündelung von Parkflächen in innerstädtischen Parkhäusern.³⁷ Es spricht allerdings auch vieles dafür, dass Parkflächen nicht innerstädtisch, sondern am Stadtrand oder im Umland neu entstehen, weil beim Einsatz automatisierter Fahrzeuge der Parkplatz nicht mehr möglichst nah am Zielort seiner Nutzer sein muss. Das Fahrzeug kann nach Zielankunft eigenständig weiterfahren, außerhalb parken und den Passagier auf Zuruf wieder abholen.⁴⁰ Die Parknachfrage könnte sich so in dünn besiedelte und preiswerte Randgebiete verlagern, vor allem dann, wenn in zentralen Lagen Parkgebühren anfallen.³⁸ Damit würden autonome Fahrzeuge zwar zum Freiwerden städtischer Flächen beitragen, zugleich aber aufgrund zunehmender Leerfahrten zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens.

Das veranschlagte Aufkommen von Leerfahrten bemisst sich dabei unter anderem danach, wie raumgreifend die Parkraumbewirtschaftung und wie hoch die Parkgebühren wären. Diese Faktoren sind maßgeblich dafür, ob es sich lohnt, das Fahrzeug nicht zu parken, sondern es bis zum nächsten Einsatz leer umherfahren zu lassen.³⁹ Mit den Leerfahrten sind zwar Flächengewinne durch frei werdende Parkflächen verbunden sowie eine mögliche Umnutzung von Infrastrukturen für aktive Verkehrsmodi und für eine bessere Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Aber Leerfahrten führen auch zu einem Anstieg des Verkehrsaufkommens, der Fahrleistung und des Energieverbrauchs automatisierter Fahrzeuge. Diesem Risiko lässt sich nur entgegenwirken, wenn es nicht beim klassischen Individualverkehr bleibt und die Integration automatisierter Fahrzeuge in den ÖPNV gelingt, etwa

in Form von neuen Mobilitätsdienstleistungen (z. B. mit automatisierten bedarfsgerechten Kleinbussen bzw. Rufbussen). Die Integration in den ÖPNV gilt daher als ein übergeordnetes verkehrspolitisches Ziel der Fahrzeugautomatisierung.

4.2 Das automatisierte Fahren wird nicht nur die Alltagsmobilität, sondern auch langfristige Wohnstandortentscheidungen beeinflussen

Das automatisierte Fahren ermöglicht es, die Unterwegszeit im Fahrzeug für andere Tätigkeiten als Fahraufgaben zu nutzen. Mit der Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge könnte daher die Bereitschaft wachsen, häufigere und längere Wege in Kauf zu nehmen, etwa zwischen Wohnort und Arbeitsplatz. Einige Studien weisen auf den Zusammenhang zwischen Fahrzeugautomatisierung und einer wachsenden Attraktivität von Wohngebieten am Stadtrand sowie der Entwicklung von dispersen Siedlungsstrukturen mit geringer Nutzungsdichte und hoher Flächeninanspruchnahme hin.⁴⁰ Sollten mit dem automatisierten Fahren keine höheren Kosten als mit dem heutigen Privatauto verbunden sein, könnte sich daraus eine fortschreitende Zersiedelung und eine neue Suburbanisierungswelle ergeben. Das automatisierte Fahren hätte dann aus raumstruktureller Sicht einen ähnlichen Effekt wie die Massenverbreitung des Automobils in der Vergangenheit.

4.3 Die Separierung der Infrastruktur für automatisierte Fahrzeuge steht im Widerspruch zu nachhaltiger Stadtentwicklung

Ein weiteres in der Forschung häufig diskutiertes Thema ist die Separierung von automatisiertem und nicht automatisiertem Verkehr durch physische Infrastruktur. Bereits heute bestehen separierte Verkehrswege mit exklusiven Nutzungsrechten, etwa Autobahnen oder Straßen, die Schnellfahrzeugen vorbehalten und nicht für

36 Soteropoulos et al. (2019).

37 Kummerle et al. (2009); Mitchell et al. (2010); Li; Shao (2015).

38 Chapin et al. (2016).

39 Correia, G. H. d. A.; van Arem, B. (2016).

40 Apel (2019); Heinrichs (2015); Lutin (2015).

Fuß- oder Radverkehr zugelassen sind. Aus Sicht künftiger Anbieter und Entwickler automatisierter Angebote stellt sich der Mischverkehr aus automatisierten und nicht automatisierten Verkehrsmitteln auf gemeinsamen Verkehrswegen als eine der größten Herausforderungen für die technischen Systeme (Bilderkennung und -verarbeitung) dar. Er ist aufgrund des Sicherheits-/Unfallrisikos zudem eine Barriere für eine zeitnahe Genehmigung von automatisierten Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen.

Aus Sicht von Befürwortern einer nachhaltigen Verkehrspolitik widerspricht eine separierte Infrastruktur für automatisierte Fahrzeuge allerdings den Grundsätzen einer integrierten Stadt- und Verkehrsplanung, für die nicht allein die Belange des motorisierten Verkehrs relevant sind, sondern die sich auch an Radfahrern und Fußgängern sowie an der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum orientiert. Sie befürchten eine „autogerechte Stadt 2.0“. Entwicklung und Einsatz von automatisierten Angeboten sollten daher immer im Hinblick auf ein integriertes Verkehrssystem stattfinden.⁴¹

41 Kolarova et al. (2020); DST (Hg.) (2018).

5 | Anforderungen an Vernetzung, Daten und Algorithmen

Die Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen beruht auf datengetriebenen technischen Lösungen. Sie bieten Potenziale für eine effizientere Organisation des Verkehrs. Zugleich wachsen aber mit der verarbeiteten Datenmenge auch die Herausforderungen im Bereich der Sicherheit und des Schutzes personenbezogener Daten.

5.1 Die zusätzliche Vernetzung der Fahrzeuge bringt Vorteile für das Gesamtsystem. Ihre Umsetzung bedarf geeigneter Konzepte und rechtlicher Regelungen für den Datenschutz

Die Potenziale der Automatisierungstechnologie lassen sich nur dann in Gänze heben, wenn Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge über Datenaustausch zusammengedacht werden. Ein vernetztes automatisiertes Fahrzeug ist ein mit Kommunikationstechnologie ausgestattetes Auto, das den Fahrzeugführer von der Verantwortung des Beschleunigens, Navigierens etc. entbindet und einen direkten Datenaustausch zwischen der Außenwelt und dem Fahrzeug erlaubt. Durch Datenaustausch („Vernetzung“) wird es möglich, die Anforderungen verschiedener Fahrzeuge auf einer übergeordneten Ebene auszubalancieren, für das System zu optimieren und die vorhandene Straßenkapazität effizienter zu nutzen. Dies beruht im Wesentlichen auf der Verbesserung des Verkehrsflusses durch Vermeidung von Stop-and-go und durch geringere Abstände zum Folgefahrzeug.⁴² Weitere Potenziale der Vernetzung sind nahtlose Reiseketten über verschiedene Verkehrsmittel hinweg und eine an der tatsächlichen Nachfrage bemessene Kapazitätsplanung im öffentlichen Verkehr.

Sammlung und Austausch von Daten bergen allerdings Risiken hinsichtlich Datenschutz und Datensouveränität (Zugang, Nutzung, Missbrauchsgefahr). Daher sind geeignete Konzepte und rechtliche Regelungen für die Belange des Datenschutzes und des Rechts auf Privatheit unerlässlich. Die Entwicklung dieser Konzepte sollte unter Einbeziehung der öffentlichen Debatte statt-

finden und setzt die Informiertheit der Gesellschaft über die Ziele der Technologie und ihre möglichen Folgen voraus.⁴³

5.2 Algorithmische selbstlernende Systeme stellen eine Herausforderung für Haftung und Prüfung dar

Selbstlernende Systeme mit algorithmischer Entscheidungsfindung machen eine Anpassung bisher gültiger Rechtsbegriffe nötig, insbesondere in Hinblick auf Haftungsfragen und den Umgang mit auf mehrere Instanzen verteilten Verantwortlichkeiten. Derzeit werden bereits alternative Haftungskonzepte zur Herstellerhaftung entwickelt und diskutiert.

Da sich diese Systeme schnell verändern und mit neuen Fahrsituationen weiterentwickeln, stellen sie darüber hinaus auch die Prüfinstanzen vor neue und hohe Anforderungen. Die Sicherheitsprüfung kann in Zukunft nicht mehr einmalig am „ganzen“ Fahrzeug erfolgen, sondern hat sich kontinuierlich auf die einzelnen Systemkomponenten zu erstrecken. Um Risiken für die Sicherheit im Straßenverkehr zu verringern, müssen algorithmische Systeme in möglichst vielfältigen realen Umweltsituationen trainiert werden, um aus Zwischenfällen zu lernen. Als Herausforderung gilt dabei insbesondere die Abwägung von wirtschaftlichen Interessen und Sicherheitsinteressen.

⁴² Talebpour et al. (2016).

⁴³ Lemmer (Hg.) (2019); Kolarova et al. (2020).

6 | Mit automatisiertem Fahren zu nachhaltiger Mobilität

Der Überblick über den Forschungsstand zeigt: Die Fahrzeugautomatisierung im Personenverkehr führt keineswegs auch „automatisch“ zu positiven Effekten für die Verkehrswende. Vielmehr ergeben sich Handlungsbedarfe für Entwicklungspfade in Richtung nachhaltiges Mobilitätssystem. Diese Handlungsbedarfe werden im Folgenden aufgezeigt und diskutiert.

6.1 Ohne politische Rahmensetzung droht die Fahrzeugautomatisierung in eine neue Ära der Massenmotorisierung zu führen

Der kursorische Überblick über die Ergebnisse der verkehrswissenschaftlichen Wirkungsforschung legt nahe, dass das automatisierte Fahren ohne flankierende Maßnahmen die Attraktivität des motorisierten Individualverkehrs sowie die Fahrleistung noch steigern, den Besetzungsgrad hingegen senken dürfte. Anlass zu dieser Annahme bieten vor allem Faktoren wie die Vereinfachung der Fahrzeugnutzung, die technische Ermöglichung von und mögliche wirtschaftliche Anreize für Leerfahrten, längere Pendelwege aufgrund geänderter Wohnstandortpräferenzen sowie der Zugang neuer Nutzergruppen zum MIV. Das Risiko eines wachsenden Verkehrsaufkommens auf der Straße ergibt sich darüber hinaus aus der Tatsache, dass neue automatisierte Mobilitätsdienstleistungen in direkte Konkurrenz zum konventionellen ÖV treten und diesen an Attraktivität überbieten könnten. Dass der Anstieg der Fahrleistung und der steigende Energieverbrauch durch Effizienzsteigerungen etwa in Form einer gleichmäßigeren Fahrweise kompensiert oder gar überkompensiert werden könnte, ist hingegen nicht zu erwarten. Ob das automatisierte Fahren Verkehrsprobleme lösen oder neue schaffen wird, darüber wird also nicht allein die technologische Entwicklung entscheiden. Ausschlaggebend dafür werden ebenso die planerischen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenvorgaben sein.

6.2 Auch in einem automatisierten Verkehrssystem gilt: Verkehr vermeiden und zugunsten nachhaltiger Verkehrsträger verlagern

Soll die Fahrzeugautomatisierung nicht zu einem Anstieg der Verkehrsleistung führen bzw. sogar zu einer Verringerung der Verkehrsleistung beitragen, ist eine deutliche Stärkung kollaborativer Mobilitätsangebote und des öffentlichen Verkehrs (ÖV) unerlässlich. Eine Attraktivitätssteigerung des ÖV lässt sich etwa erreichen, indem bedarfsgerechte automatisierte Angebote gezielt auf der ersten und letzten Meile bzw. als Zubringer zur nächsten Haltestelle/Station eingesetzt werden. Insbesondere im städtischen und suburbanen Raum kann die Integration kollaborativ genutzter neuer Mobilitätsangebote für gemeinschaftliche/geteilte Fahrten (Ridepooling) zu einer Reduzierung der Gesamtfahrzeugkilometer führen; mit individueller Nutzung wird dies nicht gelingen. Im ländlichen Raum steht weniger die Integration als vielmehr die Attraktivitäts- und Effizienzsteigerung durch bedarfsgerechte Bedienformen (z. B. automatisierte bedarfsgerechte Kleinbusse bzw. Rufbusse) im Vordergrund.

Allerdings kann die Einführung bedarfsgerechter automatisierter ÖV-Angebote auch Verlagerungswirkungen zulasten umweltverträglicher Verkehrsmittel bzw. Verkehrsarten des Stadtverkehrs (Umweltverbund) erzeugen. Auf kürzeren Strecken kann der vereinfachte Zugang etwa verstärkt zu einer Verlagerung der aktiven Verkehrsmodi Radfahren und Zufußgehen führen. Daher sollten automatisierte Mobilitätsangebote nicht als Konkurrenz zum klassischen ÖV treten, sondern als Ergänzung hinzutreten, insbesondere in Räumen und zu Zeiten mit weniger effizientem Betrieb der konventionellen ÖV-Angebote. Dies können etwa Zubringerverkehre im urbanen und suburbanen Raum sowie Nachtverkehre außerhalb der Innenstädte sein. Eine „Kannibalisierung“ des konventionellen ÖV ist insbesondere auf den Hauptachsen zu vermeiden. Negativen Verlagerungseffekten zulasten der aktiven Verkehrsmodi lässt sich vorbeugen, indem diese beim Infrastrukturausbau eines automatisierten Verkehrssystems priorisiert werden.

Um die Verlagerung zugunsten nachhaltiger Verkehrsträger zu unterstützen und potenzielle Rebound-Effekte zu vermeiden, sind neben der Angebotsaufwertung

durch automatisierte Mobilitätsangebote auch regulatorische Eingriffe in den motorisierten Individualverkehr im Sinne einer Gleichbehandlung aller Verkehrsträger erforderlich. Dabei ist insbesondere eine gerechte Verteilung von Verkehrsflächen und eine grundlegende Verschiebung des verkehrspolitischen Fokus weg vom privat genutzten Pkw von entscheidender Bedeutung: Nur wenn neue automatisierte Mobilitätsdienstleistungen im Einklang mit öffentlichen und nicht motorisierten Verkehrsträgern eingesetzt werden, lässt sich auch gewährleisten, dass sie positive Klima- und Umweltwirkungen entfalten. Nicht zuletzt können auch fiskalpolitische Maßnahmen (etwa zur Beschränkung von Leerfahrten) zu einer klima- und umweltverträglichen Integration automatisierter Fahrzeuge in den Personenverkehr beitragen.

6.3 Neue Mobilitätsangebote als Plattform für eine nachhaltige Integration automatisierter Fahrzeuge in den Personenverkehr etablieren

Damit neue Mobilitätsangebote auf die Zielstellungen einer nachhaltigen Mobilität hinwirken, sind entsprechende Regulierungen des Marktzugangs und der Marktgestaltung in Einklang mit der Regulierung des ÖV erforderlich. So ist etwa bei der aktuell laufenden Anpassung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) das Grundprinzip der Daseinsvorsorge des ÖV aufrechtzuerhalten, damit einerseits die grundsätzliche Möglichkeit der Integration neuer Angebotsformen berücksichtigt wird, andererseits die regulatorischen Grundlagen für ein Gesamtsystem gelegt werden, das nachhaltige Mobilität fördert und die Mobilität jedes und jeder Einzelnen sicherstellt. Mögliche Umsetzungen bei der Einführung bedarfsgerechter automatisierter ÖV-Angebote sind etwa die Vergabe von Konzessionen in Form von Angebotsbündeln, um zu vermeiden, dass das Angebot dieser Dienstleistungen sich nur auf die lukrativen urbanen Gebiete mit starker Konkurrenz zum konventionellen ÖV beschränkt.

Für den Beitrag neuer Mobilitätsangebote zur nachhaltigen Mobilität wird auch ihre Akzeptanz eine entscheidende Rolle spielen, insbesondere im Hinblick auf die

Nutzung neuer kollaborativer Angebote in Kombination mit dem konventionellen ÖV. Daher sind die Anforderungen, aber auch die Bedenken potenzieller Nutzerinnen und Nutzer bereits bei der Entwicklung und in der Umsetzung der neuen Mobilitätsdienstleistungen zu berücksichtigen. Erreichen lässt sich die bedarfsgerechte Gestaltung etwa durch Testprojekte unter Einbeziehung von Städten, Kommunen sowie bereits vorhandenen und neuen Mobilitätsdienstleistern, damit sowohl Stakeholder (etwa Stadt- und Verkehrsverwaltung, Fahrzeughersteller, regionale ÖV-Betreiber) als auch zukünftige Nutzer erste Erfahrungen mit solchen Angeboten sammeln können. Im Sinne einer vertikalen Integration sollte der Bund dabei die Kommunen durch die Förderung von Testprojekten – in Form finanzieller Mittel oder erleichterter Antragsbedingungen – unterstützen. Auch der kommunale Handlungsspielraum für regulatorische Eingriffe in den motorisierten Individualverkehr lässt sich nutzen und erweitern, um den Einfluss von Maßnahmen zur Verkehrsverlagerung bei gleichzeitiger Aufwertung alternativer Mobilitätsoptionen zu erproben. Im Zuge einer horizontalen Integration sind der Erfahrungsaustausch über Testprojekte sowie die Koordination der Antragsaktivitäten zwischen den Kommunen zu intensivieren. So können Synergien und Effizienzgewinne genutzt und Rückschlüsse auf Politiken bei unterschiedlichen strukturellen Rahmenbedingungen gezogen werden.

6.4 Verbessern des motorisierten Verkehrs mithilfe von Technologien

Die Nachfrage nach motorisiertem Verkehr, die nicht vermieden und nicht verlagert werden kann, gilt es mit sichereren, effizienteren und umweltfreundlicheren Mitteln zu bedienen. Das automatisierte und vernetzte Fahren (AVF) bietet hier in Verbindung mit weiteren technologischen Entwicklungen eine Reihe von Möglichkeiten.

Dies betrifft zum einen die Ermöglichung und Vereinachung nahtloser Wegeketten mit zuverlässigen und optimierten Anschlüssen (Intermodalität) durch digitale Vernetzung von Fahrzeugen untereinander sowie durch den Datenaustausch zwischen verschiedenen Verkehrsmittelanbietern und -anbietern. Gerade im öffentlichen

Verkehr können mit einer intermodalen Reiseplanung⁴⁴ und -buchung klassische Defizite, wie bspw. die geringe Bedienung in Schwachlastzeiten, adressiert und die Attraktivität des ÖV erhöht werden. Die Vernetzung von automatisierten Fahrzeugen untereinander sowie zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (Vehicle-to-Vehicle, V2V und Vehicle-to-Infrastructure, V2I) führt außerdem – unabhängig davon, ob es sich um einen öffentlich genutzten Bus oder einen Privat-Pkw handelt – zu einer Angleichung der Geschwindigkeiten aller Verkehrsteilnehmer und zu einer effizienteren und emissionsparenden Fahrweise: die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit und der Verkehrsfluss steigen, das ineffiziente und höhere Emissionen verursachende Stop-and-go oder Beschleunigen und Abbremsen wird vermieden. Voraussetzung dafür ist, dass die Nutzer von Individualfahrzeugen keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Fahrzeuge nehmen, das System also nicht übersteuern können, und der Optimierung auf Systemebene Folge leisten müssen. Eine weitere Voraussetzung ist, dass es keinen Mischverkehr von automatisierten/vernetzten und nicht automatisierten Fahrzeugen gibt.

Verbesserungen des motorisierten Verkehrs sind zum anderen durch *technologische Entwicklungen bei Antrieben und Treibstoffen* möglich, etwa auf dem Gebiet der Elektromobilität. Fahrzeugautomatisierung ist zwar auch ohne Elektrifizierung des Antriebsstranges denkbar, aber die durch Automatisierung motivierte Erneuerung der Fahrzeugflotte kann für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge genutzt und so zum Katalysator für die Elektrifizierung werden.

6.5 Das automatisierte Fahren als eines von vielen Elementen der Verkehrswende verstehen

Der Verkehr in Städten sollte – auch unabhängig von der Fahrzeugautomatisierung – angesichts der zunehmenden gesellschaftlichen Herausforderungen neu gedacht werden. Aber Automatisierung und Vernetzung des

Verkehrs können sich bei entsprechender Gestaltung als zentrale Elemente der Verkehrswende erweisen. Für eine nachhaltige Umgestaltung des Verkehrs in Städten gilt es, der Mobilitätswende Priorität einzuräumen: Das heißt, Verkehrszunahme ist zu vermeiden und der motorisierte Individualverkehr auf Fuß- und Radverkehr bzw. ÖPNV zu verlagern, indem die entsprechenden Strukturen dafür geschaffen oder optimiert werden. Der nicht zu vermeidende oder zu verlagernde motorisierte Verkehr sollte durch Automatisierung, Vernetzung, durch den Einsatz emissionsarmer Antriebe sowie im Sinne kollaborativer Mobilität und Multimodalität möglichst klimaverträglich gestaltet werden.

44 „Reise“ ist in der Verkehrswirtschaft definiert als eine Verkehrsdienstleistung in Form der Ortsveränderung einer oder mehrerer Personen mit öffentlich oder nicht öffentlich zugänglichen Verkehrsmitteln (vgl. Ammoser; Hoppe (2006)) und bezieht sich hier auf den Alltagsverkehr.

7 | Anhang

7.1 Automatisiertes und vernetztes Fahren

Die Automatisierung von Fahrzeugen erfolgt stufenweise. Nach einer der am häufigsten verwendeten Klassifikationen (siehe Abbildung 1) werden vier bis fünf Automatisierungsstufen bzw. Levels unterschieden, je nachdem, welche Fahraufgaben vom Fahrer bzw. vom System übernommen werden: keine Automation (Level 0), assistiertes und teilautomatisiertes Fahren (Level 1 und 2), hochautomatisiertes Fahren bzw. vollautomatisiertes Fahren in konkret definierten Anwendungsszenarien

(Level 3 und 4) sowie vollständig automatisiertes Fahren bzw. fahrerloser Betrieb (Level 5).

Während die Levels 1 und 2 zur Unterstützung des Fahrens dienen, ermöglicht eine Automatisierung ab Level 3 den Nutzern eine zumindest temporär begrenzte Abgabe der Fahr- und Überwachungsaufgabe an das Fahrzeug. Auf Level 3 muss der oder die Fahrende bereit sein, die Fahraufgaben wieder zu übernehmen, wenn für das Fahrzeug unlösbare Situationen eintreten. Ab Level 4 entfällt die Fahraufgabe in spezifischen Anwendungsszenarien, etwa auf Autobahnen oder beim Einparken,

Stufen der Automatisierung von (Straßen-)Fahrzeugen

Abbildung 1

STUFE 0 DRIVER ONLY	STUFE 1 ASSISTIERT	STUFE 2 TEIL- AUTOMATISIERT	STUFE 3 HOCH- AUTOMATISIERT	STUFE 4 VOLL- AUTOMATISIERT	STUFE 5 FAHRERLOS
Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus.	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus.	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall.	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich.
Kein eingreifen- des Fahrzeug- system aktiv.	System über- nimmt die jeweils andere Funktion.	System über- nimmt Längs- und Querführung in einem spezifi- schen Anwen- dungsfall*.	System über- nimmt Längs- und Querfüh- rung in einem spezifischen Anwendungs- fall*. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.	System kann im spezifischen Anwendungs- fall* alle Situatio- nen automatisch bewältigen.	Das System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßen- typen, Geschwin- digkeitsbereichen und Umfeldbedin- gungen.

■ Fahrer

■ Automatisierungsgrad der Funktion

Agora Verkehrswende Darstellung nach VDA (2015), S. 15;

* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

kann jedoch in nicht definierten Anwendungsszenarien noch erforderlich sein. Auf Level 5 entfallen Fahr- und Überwachungsaufgaben vollständig; erst ab diesem Level spricht man gemeinhin vom vollautomatisierten oder „autonomen“ Fahren.

Die Umsetzung und Zulassung der Automatisierungsfunktionen ab Level 3 steht noch vor einigen technischen und rechtlichen Herausforderungen, da komplexe Fahr- und Überwachungsaufgaben von der Technik übernommen werden. Zugleich ergeben sich aber auch erst ab dieser höheren Automatisierungsstufe Vorteile für Nutzerinnen und Nutzer, die zu spürbaren Änderungen des Mobilitätsverhaltens führen könnten. In Hinblick auf die potenziellen Verkehrsauswirkungen steht daher vor allem die Frage im Vordergrund, ob und inwieweit die Nutzer das automatisierte bzw. autonome Fahren akzeptieren werden.

Vernetztes Fahren basiert auf der Kommunikation zwischen Fahrzeugen (Vehicle-to-Vehicle; V2V), zwischen einem Fahrzeug und der Infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure; V2I) oder zwischen einem Fahrzeug und einer damit digital vernetzten (Internet-)Plattform (V2X).⁴⁵

Automatisiertes und vernetztes Fahren sind grundsätzlich voneinander unabhängig, die Verbindung beider Technologiebereiche kann allerdings zu Sicherheits-, Kosten- und Effizienzvorteilen führen.⁴⁶

7.2 Rechtliche Rahmenbedingungen des automatisierten Fahrens

Zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge gehören sowohl die technische Regulierung als auch das Verhaltensrecht.⁴⁷

Technische Regulierung und Standards

Der Einsatz autonomer Fahrzeuge wird in Deutschland durch nationale und internationale Gesetzgebung reguliert. Mit der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) im Jahr 2017 wurden erste Schritte unternommen, um genaue rechtliche und technische Anforderungen für die Zulassung und das Führen eines automatisierten

Fahrzeugs zu formulieren. Unter anderem muss demnach der Fahrzeugführer dauerhaft wahrnehmungs- bzw. übernahmebereit sein (vgl. BGBI S. 1648f). International sind die Regelungen der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) und des Wiener Übereinkommens (WÜ) maßgeblich sowie EU-Verordnungen wie die zuletzt beschlossene Verordnung (EU) 2018/858⁴⁸. Das Testen von autonomen Fahrzeugen ist in Deutschland nur mit Sondererlaubnis auf vorher festgelegten Straßenabschnitten möglich, das deutsche Recht ist dabei eng an den Regularien des WÜ ausgerichtet⁴⁹.

Verhaltensrecht

Abgesehen von der WÜ besteht bislang in Deutschland keine international bindende verhaltensrechtliche Maßgabe. Die Pflichten des Fahrzeugführers sind national durch die Straßenverkehrsgesetze (StVG) bzw. die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) geregelt und gelten auch für Fahrer und Fahrerinnen automatisierter und vernetzter Fahrzeuge. Mit Änderung der StVG 2017 werden für Fahrerinnen und Fahrer automatisierter Fahrzeuge darüber hinausgehende Anforderungen und Pflichten formuliert, aber auch das Recht eingeräumt, während der Fahrt andere Tätigkeiten auszuüben und das automatische und vernetzte Fahrzeug (AVF) dabei im Prinzip weitgehend autonom fahren zu lassen.

7.3 Mögliche Einführungsszenarien des automatisierten Fahrens

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Unsicherheiten werden im Folgenden drei Einführungsszenarien⁵⁰ des automatisierten Fahrens diskutiert. Sie unterscheiden sich in Hinblick auf die angenommenen Entwicklungspfade des privaten und des öffentlichen Verkehrs, auf die Art der Einführung der Technik und auf die Stakeholder-Gruppe, von der die Entwicklung der Technik vorangetrieben wird.

- Im *evolutionären* Szenario werden Assistenzsysteme in privaten Fahrzeugen sukzessiv verbessert; gleichzeitig wird der Automatisierungsgrad der privaten Fahrzeuge schrittweise ausgebaut.

45 VDA (2015); Zmud et al. (2015).

46 KPMG (2012).

47 Lemmer (Hg.) (2019).

48 Deutscher Bundestag (2018).

49 ITF (2015).

50 Fraedrich et al. (2015); Beiker (2015).

- Im *revolutionären* Szenario wird die Nutzung des Pkw radikal verändert und neue Mobilitätsanbieter nehmen einen bedeutsamen Marktanteil ein.
- Im *transformativen* Szenario findet ein Zusammenwachsen von motorisiertem Individualverkehr und öffentlichem Personenverkehr statt.

Die drei beschriebenen Entwicklungen stehen nicht zwangsläufig in Konkurrenz zueinander. Denkbar ist auch, dass sie Synergien erzeugen, sich parallel zueinander vollziehen oder sich in unterschiedlicher Geschwindigkeit vollziehen und dabei gegenseitig beeinflussen.⁵¹

Das Szenario *Evolution* des automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF) basiert auf verschiedenen Annahmen für Einsatz bzw. Anwendung der Technik, etwa Fahren auf der Autobahn, Fahren im Stau, eigenständiges Einparken. Je nach Stufe der Fahrzeugautomatisierung übernimmt das System dabei die Fahraufgabe teilweise oder vollständig. Vorangetrieben wird die in diesem Szenario beschriebene Entwicklung von den Hauptakteuren Automobilhersteller und Systemlieferanten. Die Einführungszeiträume für die einzelnen Anwendungsfälle sind in verschiedenen Roadmaps nachzulesen.⁵² Der Fokus liegt dabei auf der stufenweisen Steigerung der Verkehrssicherheit, der Effizienz und des Komforts. Bis ein signifikanter Anteil der Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen höhergradig automatisiert ist⁵⁴, vergeht in allen Varianten dieses Szenarios ein längerer Zeitraum.

Anders das Szenario *Revolution*: Hier liegt die Annahme einer sprunghaften fundamentalen Veränderung bei Entwicklung und Nutzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge zugrunde, die direkt von fahrergeführten Fahrzeugen zum vollständig autonomen Fahren führt. Haupttreiber der Entwicklung sind automobilfremde Technologiefirmen bzw. Akteure aus der Computer- und Kommunikationsindustrie (IT-Branche), deren Konzepten für autonomes Fahren im Wesentlichen auf dem Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) beruhen. Die Produktziele der automobilfremden Firmen sind weniger transparent als die von traditionellen Automobilherstellern, aber richten sich unter anderem auf: die Entwicklung von Dienstleistungen und Online-Softwareprodukten für die automatisierte Fahrzeugführung (etwa Karten- und

Grafikinformationen), Angebote von Internetdiensten für Nutzerinnen und Nutzer vollautomatisierter Fahrzeuge und die Erschließung von Marktanteilen für vernetzte Angebote sowie die Sicherung von Marktanteilen im Mobilitätsdienstleistungssektor (sowohl Personen- als auch Warentransport). Beim Einführungsszenario *Revolution* wird von einer anfänglich regional beschränkten Einführung automatisierter Fahrzeuge und einer anschließend schnellen räumlichen Ausbreitung ausgegangen.⁵³

Das Szenario *Transformation* beruht auf der Annahme einer allmählichen Verknüpfung von Individualmobilität und öffentlichem Personenverkehr, die allmählich zu einer grundlegenden Veränderung des städtischen Straßenverkehrs führen wird. Denkbar ist das etwa in Form langsam fahrender und bedarfsgerechter Fahrzeuge zur Personenbeförderung, die die Vorteile von Individualmobilität (Unabhängigkeit und Flexibilität), mit denen des öffentlichen Personenverkehrs (Energieeffizienz und Raumökonomie) verbinden und Lösungen für die erste und letzte Meile anbieten. Die Hauptakteure, die die Einführung solcher Angebote vorantreiben, können Start-up-Unternehmen, Mobilitätsdienstleister, aber auch Gemeinden oder Betreiber von Großeinrichtungen sein. Der Fokus der Implementierung liegt je nach Akteur auf der Erschließung neuer bzw. der Erweiterung bestehender Geschäftsfelder, der Entlastung innerstädtischer Bereiche oder der besseren Anbindung von Regionen. Es ist denkbar, dass solche Angebote zu Beginn ein eingeschränktes Einsatzgebiet haben, das nach und nach ausgeweitet wird.⁵⁴

7.4 Anwendungsmöglichkeiten/-fälle automatisierter Fahrzeuge

Automatisiertes Fahren kann auf verschiedenen Automatisierungsstufen zur Anwendung kommen und in unterschiedlichen Formen von Geschäftsmodellen – zu nennen sind vor allem private automatisierte Fahrzeuge, Carsharing- oder Taxi-ähnliche Angebote sowie der automatisierte öffentliche Verkehr. Diese stehen in einer direkten Verbindung zu den oben dargestellten Entwicklungsszenarien (Evolution, Revolution, Transformation), da sie das Ergebnis der unterschiedlichen Einführungsstrategien darstellen.

51 Fraedrich et al. (2015); Beiker (2015).

52 ERTRAC (2019); Dokic et al. (2015); VDA (2015).

Privat genutzte Fahrzeuge und automatisierte Fahrzeugfunktionen

Gerade in höherpreisigen Segmenten sind Privat-Pkw bereits heute mit Assistenzsystemen ausgestattet und insofern nicht mehr als Level-0-Fahrzeuge zu betrachten. Zukünftig werden neue und höhere Stufen an Automatisierungstechnologien nach und nach in den Pkw-Markt diffundieren. Unterschiedliche Anwendungsfälle (Use Cases) des automatisierten Fahrens ergeben sich dabei aus den Automatisierungsstufen und den unterschiedlichen von der Technik übernommenen Fahr- und Parkaufgaben (Fahren im Stau, Fahren auf der Autobahn, Fahren in der Stadt, Einparken). Wie bei anderen neuen Technologien werden die Marktanteile auch bei den höheren Automatisierungsstufen aufgrund anfänglich hoher Preise sowie aufgrund von Vorbehalten und heterogener Präferenzen der Nutzer nur allmählich zunehmen.^{53,54,55} Aufbauend auf dem wahrgenommenen Gewinn durch die Nutzung von Automatisierungstechnologien, können sich Präferenzen für deren weiterreichende und dauerhafte Nutzung, zum Beispiel beim täglichen Pendeln, entwickeln.^{54,56} Außerdem bietet sich für Haushalte mit potenziell neuen Nutzergruppen von Level-5-Fahrzeugen (etwa körperlich eingeschränkte Personen, Kinder oder Jugendliche unter 18, ältere Personen) durch den Kauf eines solchen Pkw eine dauerhafte Nutzungsmöglichkeit für Neunutzer.⁵⁴ Diese stufenweise Erweiterung der Fahrzeugfunktionen von privaten Fahrzeugen entspricht dem oben dargestellten evolutionären Szenario.

Geteilt genutzte automatisierte Fahrzeuge/Anwendungen im Sharing-Bereich

Im Sharing-Bereich ermöglicht die Automatisierung durch fahrerloses Fahren neue bzw. weiterentwickelte Formen von On-Demand-Mobilitätsangeboten. Insgesamt kommt es zu einer Annäherung vieler unterschiedlicher Angebotsformen (darunter Taxi, Carsharing, Mietwagen). Dabei lassen sich im Wesentlichen zwei Formen unterscheiden. Zum einen Taxi- bzw. Carsharing-ähnliche Systeme, bei denen die Fahrzeuge nacheinander von unterschiedlichen Personen genutzt werden, zum anderen Systeme, bei denen die Fahrzeuge gleichzeitig von mehreren Nutzern mit ähnlichen Start- und Ziel-

orten geteilt werden (Ridepooling). Marktakteure können hier bestehende Betreiber im öffentlichen Verkehr, Car-sharing-Unternehmen und Autovermietungsfirmen⁵⁷ oder aber neue Akteure aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sein. Wesentliche Unterschiede gegenüber konventionellen Systemen sind zum einen die realisierbaren geringen Nutzerkosten aufgrund des Wegfalls der Personalkosten für den Fahrer, die erleichterten Zugangsbedingungen aus Nutzersicht aufgrund der automatisierten Zufahrt des Fahrzeugs zu den Nutzern sowie einfache Repositionierungs- und Überführungsfahrten als Leerfahrten. Voraussetzung für die Attraktivität des Geschäftsmodells sind hohe Flottendichten bei entsprechender Nachfrage, was aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte im urbanen Raum aus Betreibersicht am besten zu realisieren ist.⁵⁸ Angebote können sowohl im Alltagsverkehr als auch im Fernverkehr entstehen. Auf der Langstrecke können neue Konzepte als Carsharing und Ridepooling im Vergleich zu klassischen Mietwagenangeboten zukünftig einfacheren Zugang der Nutzer zu einem Fahrzeug ermöglichen. Im Vergleich zu klassischen Mitfahrzentralen lassen sich Wartezeiten verkürzen und die Zuverlässigkeit verbessern. Somit könnten diese Angebote häufiger genutzt werden als ihre heutigen Entsprechungen und zu einer Konkurrenz zum Schienenfernverkehr, zum Fernbusverkehr oder sogar zum Luftverkehr werden.⁵⁹ Die Anwendungsfälle einer geteilten Nutzung automatisierter Fahrzeuge können je nach Art der Umsetzung sowohl dem revolutionären Szenario als auch dem transformativen Szenario entsprechen.

Automatisierung im öffentlichen Verkehr

Der Betrieb automatisierter Mobilitätsangebote kann sowohl durch die klassischen Verkehrsunternehmen erfolgen als auch durch privatwirtschaftlich organisierte Unternehmen. Eine Reihe von klassischen Verkehrsunternehmen ist bereits dabei, Fragen der Automatisierung anzugehen, um zukunftsfähig zu sein und den neuen Geschäftsbereich nicht an die Privatwirtschaft

53 Litman (2017).

54 Trommer (2016b).

55 Daziano et al. (2017).

56 Haboucha et al. (2017).

57 Aktuell wurden bereits erste strategische Kooperationen zwischen Autovermietungsfirmen und IKT-Unternehmen vor allem mit Fokus auf Management von automatisierten Fahrzeugen-Flotten angekündigt. Vgl. Webb; Welch (2017).

58 Bösch et al. (2018); Kröger; Kickhöfer (2017).

59 LaMondia et al. (2016).

zu verlieren.⁶⁰ Inwieweit automatisierte Angebote im Rahmen des regulären ÖV-Angebots oder eher als eine Art Premium-ÖPNV organisiert werden sollen, ist derzeit noch offen. Angebote wie bspw. der Berlkönig⁶¹ in Berlin zeigen, dass auch die Verkehrsunternehmen neue Dienstleistungen in Ergänzung zum konventionellen ÖV-Angebot testen.

Für den bestehenden öffentlichen Verkehr (ÖV) ergeben sich durch die Automatisierung neben vielfältigen Chancen auch Risiken. Dies gilt grundsätzlich für schienen- wie straßengebundenen Verkehr, der Fokus im Stadtverkehr liegt jedoch auf straßengebundenen Fahrzeugen. Zu den Chancen von flexibleren Verkehrsangeboten zählt der kostengünstigere Ausbau des Angebots sowohl in Bezug auf die Betriebszeiten als auch auf die Verbesserung der Quartierserschließung, insbesondere der Erschließung peripherer Wohnlagen. Zudem wird seitens der Betreiber erwartet, dass die flexibleren Dienste neue Kundengruppen anziehen können, die bisher auf Individualverkehr gesetzt haben. Wesentlich ist auch das Potenzial für die Lösung des Fahrermangels. Gegebenenfalls wird weiterhin Personal an Bord benötigt, das jedoch im Vergleich zum Fahrpersonal geringere Einstellungsanforderungen zu erfüllen hat.⁶²

Aus Sicht der öffentlichen Verkehrsbetriebe sind automatisierte On-Demand-Verkehre allerdings nur dann eine Chance, wenn sie als Ergänzung zum regulären öffentlichen Personenverkehr entwickelt werden und in der Hand der öffentlichen Verkehrsbetreiber bleiben.⁶⁰ Denn On-Demand-Verkehre bergen als Kehrseite das Risiko einer „Kannibalisierung“ des regulären öffentlichen Verkehrs durch neue Mobilitätsdienstleister, insbesondere aus der IKT-Branche bzw. durch Betreiber von Plattformen. Zum einen geht es dabei um das „Cherry-Picking“, bei dem sich neue Mobilitätsdienstleister die lukrativen Strecken – etwa in zentralen Gebieten – „herauspicken“. Den regulären ÖV-Betreibern bleiben dann die weniger lukrativen Strecken, zum Beispiel in Randlagen, überlassen. Zum anderen betrifft das den Zugang zu den strategisch wichtigen Kundendaten,

wenn die neuen Mobilitätsdienstleister als Vermittler zwischen Angebot und Nachfrage treten, also nur die Plattform bereitstellen, und sich somit zwischen die (ÖV-) Flotten-Betreiber und deren Kunden schalten. Auch aus Sicht der Allgemeinheit besteht hier ein Risiko, denn der reguläre ÖV erfüllt aufgrund seiner hohen Beförderungskapazität die für das Verkehrssystem wichtige Funktion der Bündelung der Verkehrsnachfrage. Der ÖV ist zudem Teil der gesetzlich verankerten Daseinsvorsorge, was mit der Pflicht einhergeht, auch in dünn besiedelten Gebieten oder für Kunden mit eingeschränkter Zahlungsfähigkeit ein Mobilitätsangebot zu gewährleisten. Eine mögliche Folge wäre ein einsetzender Teufelskreis aus Unterfinanzierung und Verschlechterung des ÖV-Angebots.

7.5 Die Entwicklung des automatisierten Fahrens im internationalen Vergleich

Die Entwicklung sowie die potenzielle Art der Implementierung des automatisierten und vernetzten Fahrens im europäischen, asiatischen und US-amerikanischen Raum unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen soziokulturellen, ökonomischen, industriepolitischen, raumstrukturellen sowie regulatorischen Rahmenbedingungen erheblich voneinander.

Während Deutschland und die USA weit entwickelte Mobilitätsmärkte mit Sättigungstendenzen und unterschiedlichen Mobilitätskulturen sind, stellt China einen der größten und am schnellsten wachsenden Mobilitätsmärkte weltweit dar.⁶³ Alle drei Länder haben eine starke industrielle Basis und sind gemessen an angemeldeten Patenten, Standards und Testfeldern⁶⁴ durch eine steile Entwicklungskurve im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens charakterisiert. In den USA und China wird die Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge vor allem von IKT-Unternehmen und Technologiekonzernen vorangetrieben (etwa Google und seine Tochterfirma Waymo oder Uber und Lyft in den USA und Baidu in China). In Deutschland dagegen liegt der Fokus darauf, dass sich die Automobilindustrie durch einen Prozess- und Strukturwandel auf die Zukunft der Automobilität vorbereitet. Dabei gehen traditionelle

60 VDV (2015).

61 Berlkönig ist ein gemeinsames Angebot von BVG und ViaVan, einem privatwirtschaftlichen Joint Venture aus Mercedes-Benz Vans und Via.

62 Stark et al. (2019).

63 Trommer et al. (2016b).

64 Lemmer (Hg.) (2019).

Automobilhersteller strategische Kooperationen mit internationalen IT-Konzernen ein (zum Beispiel BMW, Intel und Mobileye⁶⁵) und kooperieren miteinander, um Ressourcen für die Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge zu bündeln (zum Beispiel Daimler AG und BMW Group⁶⁶). Eine nicht unwesentliche Rolle für die regional unterschiedlichen Marktakteure spielt auch die Verfügbarkeit und Verteilung von (Risiko-) Kapital für innovative Technik sowie die daraus entstehende Bedeutung der Start-up-Kultur. Die meisten Investitionen in nicht börsennotierte Unternehmen oder Start-ups im Allgemeinen sowie in der Mobilitätsbranche werden in den USA (2017 ca. 85 Milliarden US Dollar) und in China (2017 ca. 41 Milliarden Dollar) getätigt.⁶⁷ Deutschland ist zwar der größte Investor innerhalb der Europäischen Union, allerdings liegen die Investitionen hier auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in den USA und in China (2017 ca. 3 Milliarden US Dollar).⁶⁷

Neben Deutschland sind im europäischen Raum unter anderem Großbritannien, die Niederlande und Schweden führend in Entwicklung und Testen des automatisierten und vernetzten Fahrens. Die Niederlande und Schweden zeichnen sich vor allem durch einen generell hohen Entwicklungsstand und gute digitale und bauliche Straßeninfrastruktur aus.⁶⁸ In den Niederlanden sowie in Großbritannien gibt es darüber hinaus begünstigende gesetzliche Rahmenbedingungen für das Testen automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im öffentlichen Raum und daher bereits zahlreiche Pilotprojekte und Kooperationen.⁶⁹

Im außereuropäischen Raum sind vor allem Israel, Japan und Singapur als führende Länder im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens zu nennen. Israel zeichnet sich durch einen äußerst dynamischen Start-up-Sektor aus sowie durch einzelne Technologieunternehmen, die weltweit zu den dominierenden Entwicklungsunternehmen für autonomes Fahren zählen (etwa Mobileye)⁷⁰. In Japan werden die Aktivitäten im Bereich des automatisierten Fahrens seit einigen Jahren

verstärkt und maßgeblich von der Regierung vorangetrieben und gefördert. Dabei wurde unter anderem die Fünfjahre-Förderstrategie „Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program“ (SIP) für Forschung und Entwicklung verabschiedet. Ein wesentlicher Treiber der Entwicklung sind gesellschaftliche Herausforderungen im Zusammenhang mit der alternden Bevölkerung des Landes.⁶⁹ Zwischen Deutschland und Japan existiert darüber hinaus eine enge Kooperation in der Forschung zum autonomen Fahren.⁷¹ In Singapur ist die Förderung des automatisierten und vernetzten Fahrens ein wesentlicher Teil der nationalen „Smart Nation“-Agenda. Das Land zeichnet sich durch eine weit entwickelte Infrastruktur, vorteilhafte regulatorische Rahmenbedingungen sowie realitätsnahe Testfelder für automatisiertes und vernetztes Fahren aus.⁷²

65 BMW Group (2017).

66 Daimler AG (2019).

67 Demling et al. (2019).

68 Lemmer (Hg.) (2019).

69 ERTRAC (2019).

70 KPMG (2019).

71 BMBF (2019).

72 ERTRAC (2019; KPMG (2019)).

8 | Literaturverzeichnis

Ammoser, H., and Hoppe, M. (2006): *Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften: Definitionen und Erläuterungen zu Begriffen des Transport- und Nachrichtenwesens (No. 2/2006)*. Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr.

Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., and Oluwatola, O. A. (2014): *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.

Apel, D. (2019): Der Einfluss der Verkehrsmittel auf Städtebau und Stadtstruktur. 2.5. 7.1 – Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung.

Bansal, P., Kockelman, K.M., and Singh, A. (2016): *Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 67, 1–14.

Basu, R., Araldo, A., Akkinepally, A. P., Nahmias Biran, B. H., Basak, K., Seshadri, R., Deshmukh, N., Kumar, N., Azevedo C.L., and Ben-Akiva, M. (2018): *Automated mobility-on-demand vs. mass transit: a multi-modal activity-driven agent-based simulation approach*. Transportation Research Record, 2672(8), 608–618.

Becker, F., and Axhausen, K. W. (2017): *Literature review on surveys investigating the acceptance of automated vehicles*. Transportation, 44(6), 1293–1306.

Beiker, S. A. (2015): *Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge*. In: Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Bischoff, J., and Maciejewski, M. (2016): *Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin*. Procedia computer science, 83, 237–244.

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): *Gemeinsame Pressemitteilung: "Was will mir das Auto sagen?"*. Deutschland und Japan intensivieren gemeinsame Forschung zum autonomen Fahren. Online verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/de/gemeinsame-pressemittelung-was-will-mir-das-auto-sagen-7815.html>.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren*. BMVI.

BMW Group (2017): *BMW Group, Intel und Mobileye testen ab der zweiten Jahreshälfte 2017 autonomes Fahren auf der Straße*. Pressemitteilung. Online verfügbar unter: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0266961DE/bmw-group-intel-und-mobileye-testen-ab-der-zweiten-jahreshaelfte-2017-autonomes-fahren-auf-der-strasse?language=de>

Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., and Axhausen, K. W. (2018): *Cost-based analysis of autonomous mobility services*. Transport Policy, 64, 76–91.

Campbell, J. L., Brown, J. L., Graving, J. S., Richard, C. M., Lichty, M. G., Bacon, L. P., Morgan, J.F., Li, H., Williams, S.N., and Sanquist, T. (2018): *Human factors design guidance for level 2 and level 3 automated driving concepts (Report No. DOT HS 812 555)*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Chapin, T., Stevens, L., Crute, J., Crandall, J., Rokyta, A., and Washington, A. (2016): *Envisioning Florida's Future: Transportation and Land Use in an Automated Vehicle Automated Vehicle World*. Tallahassee: Florida Department of Transportation.

Childress, S., Nichols, B., Charlton, B., and Coe, S. (2014): *Using an activity-based model to explore possible impacts of automated vehicles*. 94th Annual Meeting of the Transport Research Board, 11–15 January 2015, Washington, D.C.

Correia, G. H. d. A., and van Arem, B. (2016): *Solving the User Optimum Privately Owned Automated Vehicles Assignment Problem (UO-POAVAP): A model to explore the impacts of self-driving vehicles on urban mobility*. Transportation Research Part B: Methodological, 87, 64–88.

Daimler AG (2019): *Daimler und BMW Group: Langfristige Entwicklungskooperation für automatisiertes Fahren*. Online verfügbar unter: <https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/entwicklungskooperation-daimler-bmw.html>.

- Daziano, R. A., Sarrias, M., and Leard, B. (2017):** *Are consumers willing to pay to let cars drive for them? Analyzing response to autonomous vehicles.* Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 78, 150–164.
- Demling, A., Müller, A., and Rickens, C. (2019):** *Keine Lust auf Risiko.* Handelsblatt, G 02531 Nr. 137.; ursprüngliche Quellen: Capital IQ, CB Insights, Pitchbook Data, Weltbank, Global Entrepreneurship Monitor.
- Deutscher Bundestag (2018):** *Autonomes und vernetztes Fahren auf der Straße – rechtlicher Rahmen.* Ausarbeitung. WD 7 – 3000 – 111/18.
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2018):** *Verkehr. Verkehrsunfälle.* Fachserie 8, Reihe 7. Statistisches Bundesamt.
- Dokic, J., Müller, B., and Meyer, G. (2015):** *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving.* EPoSS – European Technology Platform on Smart Systems Integration, 39.
- DST – Deutscher Städtetag (2018):** *Nachhaltige städtische Mobilität für alle. Agenda für eine Verkehrswende aus kommunaler Sicht.* Positionspapier des Deutschen Städtetages. Berlin.
- Dunietz, J. (2018):** *Autonomous driving takes power. Will that matter for electrification? The FUSE.* Online verfügbar unter: <http://energyfuse.org/autonomous-driving-takes-power-will-that-matter-for-electrification/>
- EIA – U.S. Energy Information Administration (2018):** *Autonomous Vehicles: Uncertainties and Energy Implications.* Issue in Focus of the Annual Energy Outlook 2018. May 2018. U.S. Energy Information Administration, Washington, DC 20585.
- ERTRAC – European Road Transport Research Advisory Council (2019):** *Connected Automated Driving Roadmap.* Version 8, 08.03.2019. ERTRAC Working Group "Connectivity and Automated Driving". Brussels: ERTRAC.
- Fagnant, D. J., and Kockelman, K. (2015):** *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 77, 167–181.
- Fraedrich, E., Beiker, S., and Lenz, B. (2015):** *Transition pathways to fully automated driving and its implications for the sociotechnical system of automobility.* European Journal of Futures Research, 3, 1–11.
- Fraedrich, E., Kröger, L., Bahamonde-Birke, F., Frenzel, I., Liedtke, G., Trommer, S., Lenz, B. and Heinrichs, D. (2017):** *Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen.* Stuttgart, Deutschland: e-mobil BW.
- Fraedrich, E., and Lenz, B. (2014):** *Autonomes Fahren-Mobilität und Auto in der Welt von morgen. Ausblick zur Akzeptanz des autonomen Fahrens im Projekt "Villa Ladenburg" der Daimler und Benz Stiftung.* Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis, 23(1), 46–53.
- Fraedrich, E., and Lenz, B. (2015):** *Vom (Mit-)Fahren: autonomes Fahren und Autonutzung.* In: Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.* Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Friedrich, B. (2015):** *Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge.* In: Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.* Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Gawron, J.H., Keoleian, G.A., De Klein, R.D., Wallington, T.J., and Kim, H.C. (2018):** *Life cycle Assessment of connected and automated vehicles: sensing and computing subsystem and vehicle level effects.* Environmental Science & Technology, 52, 3249–3256.
- Grundwald, A. (2015):** *Gesellschaftliche Risikokonstellation für Autonomes Fahren. Analyse, Einordnung und Bewertung.* In: Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.* Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Haboucha, C. J., Ishaq, R., and Shiftan, Y. (2017):** *User preferences regarding autonomous vehicles.* Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 78, 37–49.

Harper, C.D., Hendrickson, C.T., Mangones, S., and Samaras, C. (2016): *Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions.* Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 72, 1–9.

Hartmann, M., Motamedidehkordi, N., Krause, S., Hoffmann, S., Vortisch, P., and Busch, F. (2017): *Impact of Automated Vehicles on Capacity of the German Freeway Network.* ITS World Congress Montreal.

Heinrichs, D. (2015): *Autonomes Fahren und Stadtstruktur.* In: Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.* Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Howard, D., and Dai, D. (2014): *Public Perceptions of Self-driving Cars: The Case of Berkeley, California.* 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.

ITF – International Transport Forum (2015): *Automated and Autonomous Driving. Regulation under uncertainty.* International Transport Forum Policy Papers, 1–33. Paris: OECD Publishing.

Kolarova, V., Cyganski, R., and Lenz, B. (2019): *Activities while travelling? Travel time perception and travel time use in an era of automated driving.* In: Ben-Elia, E. (Ed.). *The Evolving Impact of ICT on Activities and Travel Behaviour* (Vol. 3). Academic Press.

Kolarova, V., Stark, K., and Lenz, B. (2020): *Projekt „DIVA – Gesellschaftlicher Dialog zum vernetzten und automatisierten Fahren“. Schlussbericht.* Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

KPMG (2012): *Self-driving cars: The next revolution.* KPMG LLP.

KPMG (2019): *2019 Autonomous Vehicles Readiness Index. Assessing countries' preparedness for autonomous vehicles.* KPMG International.

Kriechel, B., Düll, N., and Vogler-Ludwig, K. (2016): *Arbeitsmarkt 2030 – Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter: Prognose 2016.* Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag. <https://doi.org/10.3278/6004556w>.

Kröger, L., and Kickhöfer, B. (2017): *Autonomous car- and ride-sharing systems: A simulation-based evaluation of various supply options for different regions.* ITEA Annual Conference on Transportation Economics, Barcelona. ITF/OECD.

Kummerle, R., Hahnel, D., Dolgov, D., Thrun, S., and Burgard, W. (2009): *Autonomous driving in a multi-level parking structure.* IEEE International Conference on Robotics and Automation, 3395–3400. IEEE.

LaMondia, J.J., Fagnant, D.J., Qu, H., Barrett, J., and Kockelman, K. (2016): *Long-Distance Travel Mode Shifts Due to Automated Vehicles: A Statewide Mode-Shift Simulation Experiment and Travel Survey Analysis.* 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.

Lee, J., and Kockelman, K. M. (2019): *Energy implications of self-driving cars.* 98th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.

Lemmer, K. (Hg.) (2019): *Neue autoMobilität II. Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft (acatech STUDIE).* München: Herbert Utz Verlag.

Le Vine, S., Zolfaghari, A., and Polak, J. (2015): *Autonomous cars: The tension between occupant experience and intersection capacity.* Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 52, 1–14.

Li, B., and Shao, Z. (2015): *A unified motion planning method for parking an autonomous vehicle in the presence of irregularly placed obstacles.* Knowledge-Based Systems, 86, 11–20.

Litman, T. (2017): *Autonomous Vehicle Implementation Predictions.* Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute.

- Lutin, J. M. (2015):** *The Challenge of Planning for a World of Automated Vehicles—Definitions, Characteristics, and Modal Use Considerations*. 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.
- McKinsey & Company (2019):** *RACE 2050 – A vision for the European Automotive Industry*. McKinsey Center for Future Mobility.
- Menon, N., Barbour, N., Zhang, Y., Pinjari, A. R., and Mannering, F. (2019):** *Shared autonomous vehicles and their potential impacts on household vehicle ownership: An exploratory empirical assessment*. International Journal of Sustainable Transportation, 13(2), 111–122.
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C. E., and Burns, L. D. (2010):** *Reinventing the automobile: Personal urban mobility for the 21st century*. MIT press.
- NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration (2017):** *Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety*. US Department of Transportation, Washington, D.C.
- Singleton, P.A. (2019):** *Discussing the “positive utilities” of autonomous vehicles: will travellers really use their time productively?*. Transport reviews 39 (1), 50–65.
- Sivak, M., and Schoettle, B. (2015):** *Road safety with self-driving vehicles: General limitations and road sharing with conventional vehicles*. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.
- Soteropoulos, A., Berger, M., and Ciari, F. (2019):** *Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies*. Transport reviews, 39(1), 29–49.
- Stark, K., Gade, K., and Heinrichs, D. (2019):** *What Does the Future of Automated Driving Mean for Public Transportation?*. Transportation Research Record, 2673(2), 85–93.
- Stegmüller, S., Werner, M., Kern, M., Birzle-Harder, B., Götz, K., and Stein, M.:** *Akzeptanzstudie „ROBOCAB“. Autonome Mobilitätskonzepte aus Sicht der Nutzer*. Fraunhofer IAO.
- Talebpour, A., Mahmassani, H. S., and Bustamante, F. E. (2016):** *Modeling driver behavior in a connected environment: Integrated microscopic simulation of traffic and mobile wireless telecommunication systems*. Transportation Research Record, 2560(1), 75–86.
- Trommer, S., Fraedrich, E. and Kolarova, V. (2016a):** *Exploring user expectations on autonomous driving*. Automated Vehicle Symposium 2016. San Francisco, USA.
- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B., and Phleps, P. (2016b):** *Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*. Institute for Mobility Research, A research facility of the BMW Group.
- USTUTT – University of Stuttgart (2018):** *CoEXist. Deliverable 2.7: AV-ready macroscopic modelling tool*. CoEXist project (grant agreement No. 723201-2).
- VDA – Verband der Automobilindustrie (2015):** *Automatisierung von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*. VDA, Berlin.
- VDA – Verband der Automobilindustrie (2019):** *Normungs-Roadmap zum automatisierten Fahren*. VDA, Berlin.
- VDV – Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2015):** *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen*. Positionspapier. November 2015. Online verfügbar unter <https://www.vdv.de/position-autonome-fahrzeuge.pdf?forced=true>.
- Wadud, Z., MacKenzie, D., and Leiby, P. (2016):** *Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 86, 1–18.
- Webb, A. and Welch, D. (2017):** *Apple is working with Hertz to manage its self-driving car fleet*. Bloomberg. Online verfügbar unter: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-26/appleworking-with-hertz-unit-to-manage-small-autonomous-fleet>.

Yap, M. D., Correia, G., and Van Arem, B. (2016). *Preferences of travellers for using automated vehicles as last mile public transport of multimodal train trips.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 94, 1–16.

Zhang, W., Guhathakurta, S., and Khalil, E. B. (2018): *The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation.* Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 90, 156–165.

Zmud, J., Tooley, M., Baker, R., and Wagner, J. (2015): *Paths of Automated and Connected Vehicle Deployment: Strategic Roadmap for State and Local Transportation Agencies.* Texas A&M Transportation Institute, College Station, TX.

Zmud, J., Green, L., Kuhnimhof, T., Le Vine, S., Polak, J., and Phleps, P. (2017): *Still going ... and going: the emerging travel patterns of older adults.* Institute for Mobility Research, A research facility of the BMW Group.

Agora Verkehrswende hat zum Ziel, gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft die Grundlagen dafür zu schaffen, dass der Verkehrssektor in Deutschland bis 2050 dekarbonisiert werden kann. Hierfür erarbeiten wir Klimaschutzstrategien und unterstützen deren Umsetzung.

Agora Verkehrswende

Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

