

Robert Yen
Nadja Braun Binder
Constantin Pitzen
Jens Schippl *Hrsg.*

Automatisierter ÖPNV

Hintergründe und praktische Anleitung
zur Umsetzung in kleineren Städten und
ländlichen Regionen

OPEN ACCESS

 Springer Vieweg

Automatisierter ÖPNV

Robert Yen · Nadja Braun Binder ·
Constantin Pitzen · Jens Schippl
(Hrsg.)

Automatisierter ÖPNV

Hintergründe und praktische Anleitung
zur Umsetzung in kleineren Städten und
ländlichen Regionen

Hrsg.

Robert Yen
Rapp Trans (DE) AG
Berlin, Deutschland

Nadja Braun Binder
Universität Basel
Basel, Schweiz

Constantin Pitzen
Fahrplangesellschaft B&B mbH
Potsdam, Deutschland

Jens Schippl
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technikfolgenabschätzung und
Systemanalyse (ITAS)
Karlsruhe, Deutschland



ISBN 978-3-662-66997-6 ISBN 978-3-662-66998-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66998-3>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2024. Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Markus Braun

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

*Die Herausgeber danken ausdrücklich Frau
Marianne Kofler aus Wien für die finanzielle
Ermöglichung der Herausgabe des Werkes als
Open Access Publikation.*

Vorwort

Wollen wir bis 2035 im Bereich des Verkehrs klimaneutral sein, ist eine massive Veränderung in unserem Mobilitätssystem zweifelsohne notwendig. Dass Klimaneutralität nicht allein durch die Elektrifizierung des motorisierten Straßenverkehrs erreicht werden kann, sondern eine grundsätzliche Veränderung des menschlichen Verhaltens bedingt, ist ebenso außer Zweifel. Nur wenn es uns gelingt, den Menschen und seine genuinen Bedürfnisse in das Zentrum des künftigen Mobilitätssystems zu stellen, wird es auch gelingen, dass die Menschen ihr Verhalten anpassen.

Die Herausgeber dieses Handbuchs sind der Überzeugung, dass dies zu schaffen ist und uns dafür die Technologien bereits heute zur Verfügung stehen. Das vorliegende Handbuch widmet sich zwei der wesentlichen Erfolgsfaktoren der Mobilitätswende: einerseits dem ÖPNV und dabei insbesondere dem automatisierten ÖPNV als Alternative für den motorisierten Individualverkehr und andererseits jenen Räumen, in denen es heute nur wenig ÖPNV-Nachfrage gibt und die daher nur sehr unzureichend oder gar nicht versorgt werden.

Ein automatisierter ÖPNV kann für die Mobilitätswende einen wesentlichen Beitrag leisten, da damit hohe Personalkosten zum großen Teil eingespart werden können. Was unter einem automatisierten ÖPNV zu verstehen ist, welche Auswirkungen automatisiertes Fahren mit sich bringt und welche Anforderungen Verkehrsunternehmen an automatisierte Fahrzeuge haben, wie die Integration eines automatisierten ÖPNV gemacht wird, welche rechtlichen Aspekte in Deutschland, Österreich und der Schweiz bei der Einführung eines automatisierten ÖPNV im Grundsatz zu beachten sind und vieles mehr, wird von den Autorinnen und Autoren aus den Bereichen der Forschung, der angewandten Planung und der Beratung in den einzelnen Kapiteln beschrieben. Im Mittelpunkt steht dabei die Situation in Städten bzw. Kommunen aus ländlicheren Regionen, dennoch sollten sich in den verschiedenen Beiträgen auch viele Hinweise und Anregungen für andere Raumkategorien finden. Ziel des Handbuchs ist es, für die

Leserin und den Leser Inspirationsquelle und Hilfestellung für die konkreten Projekte zu sein, die bereits begonnen wurden oder noch kommen werden – und die hoffentlich zu einem insgesamt nachhaltigeren Mobilitätssystem beitragen.

Robert Yen
Nadja Braun Binder
Constantin Pitzen
Jens Schippl

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
Robert Yen, Cornelia van Driel, Jens Schippl, Bettina Abendroth, Torsten Fleischer, Willibald Krenn, Constantin Pitzen und Heiner Monheim	
1.1 Was muss man sich unter „automatisiertem Fahren“ vorstellen?	2
1.1.1 Klärung der Begriffe	2
1.1.2 Welche Automatisierungsstufen gibt es?	4
1.1.3 Wie entscheidet ein hoch- bzw. vollautomatisiertes Fahrzeug?	6
1.1.4 Mögliche Anwendungsfälle für Level 4 Fahrzeuge	9
1.1.5 Einsatzbestimmende Umstände für Anwendungsfälle	11
1.2 Entwicklung des automatisierten Fahrens – ein Überblick	15
1.2.1 Einleitung	15
1.2.2 Historie des automatisierten Fahrens	17
1.2.3 Visionen und Ziele des automatisierten Fahrens	19
1.2.4 Roadmap des automatisierten Fahrens	21
1.2.5 Allgemeine Entwicklungsszenarien von avF	23
1.2.6 Entwicklungsperspektiven für avF im städtischen Raum	25
1.2.7 Ausblick für die Etablierung von avF	31
1.3 Leitbild automatisiertes Fahren – ein Szenario	33
1.3.1 Automatisiertes Fahren im Licht der Mobilitätswende	33
1.3.2 Szenario zur Entwicklung der Mobilität und des avF	35
Literatur	42
2 Die Stadt in ländlichen Regionen – sich entwickelnde Räume	47
Barbara Lenz, Constantin Pitzen, Dennis Jaquet und Heiner Monheim	
2.1 Automatisiertes Fahren im ländlichen Raum – Potenziale vor dem Hintergrund von Mobilitätsverhalten und Mobilitätsbedarf in ländlichen Räumen heute	48
2.1.1 Die Differenzierung von städtischen und ländlichen Räumen anhand von RegioStar	48

2.1.2	Mobilität in städtischen und ländlichen Räumen im Vergleich	56
2.1.3	Schlussfolgerungen mit Blick auf die Einführung des automatisierten Fahrens im öffentlichen Verkehr	61
2.2	Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf	62
2.2.1	Ausbau eines flächendeckenden ÖV-Angebotes im ganzen Land unabhängig von Siedlungsdichte und bisheriger räumlicher und zeitlicher Nachfragestärke	63
2.2.2	Anwendung des Planungsprinzips Integraler Taktfahrplan (ITF)	63
2.2.3	Entwicklung von Erschließungssystemen	66
2.2.4	Übergabe von Erschließungsfunktionen an private Mobilitätsanbieter	67
2.2.5	Der automatisierte ÖV	67
2.3	Der Kampf um den Verkehrsraum – öffentlicher Raum, Fahrradweg und Spur für automatisierten ÖPNV	68
2.3.1	Trends und Entwicklungen im Straßen-Seitenraum	73
2.3.2	Trends und Entwicklungen im Radverkehr	74
2.3.3	Trends und Entwicklungen im öffentlichen Verkehr	74
2.3.4	Straße der Zukunft?	76
	Weiterführende Literatur	79
3	Auswirkungen des automatisierten Fahrens	81
	Jens Schippl, Constantin Pitzen, Michael Aleksa, Willibald Krenn, Emanuele Leonetti, Markus Deublein, Erik Schaarschmidt, Torsten Fleischer, Robert Yen	
3.1	Verkehrliche Auswirkungen von avF: Risiken und Ansatzpunkte für deren Vermeidung	83
3.1.1	Einleitung	83
3.1.2	Mögliches Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung durch avF	84
3.1.3	Herausforderungen in ausgewählten Anwendungskontexten von avF	89
3.2	Anforderungen des avF an den Infrastrukturbedarf	93
3.2.1	Automatisiertes Fahren und Infrastruktur – einige einführende Anmerkungen	94
3.2.2	Anforderungen an die bauliche Infrastruktur bzw. Straßeninfrastruktur	96
3.2.3	Anforderungen an die digitale Infrastruktur	97
3.3	Auswirkung des hohen Datenbedarfs und die Frage nach Datensicherheit und Datenschutz	99
3.3.1	Cyber-Security – Stand der Dinge	100
3.3.2	Vernetzung	101
3.3.3	Daten	102

3.4	Auswirkung auf die Verkehrssicherheit im Mischverkehr	104
3.4.1	Einfluss des automatisierten Fahrens auf die Verkehrssicherheit im ÖPNV	105
3.4.2	Chancen und Risiken des automatisierten Fahrens für den ÖPNV	109
3.4.3	Umsetzungsempfehlungen für einen sicheren automatisierten ÖPNV	112
3.5	Betriebliche, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte des automatisierten Fahrens aus Sicht der Verkehrsunternehmen	116
3.5.1	Einleitung	116
3.5.2	Zielvision des automatisierten Fahrens im ÖPNV	117
3.5.3	Status quo des automatisierten und autonomen Fahrens im ÖPNV	118
3.5.4	(Betriebs-)wirtschaftliche Abschätzungen und Realisierbarkeit	126
3.6	Gesellschaftliche Aspekte des automatisierten Fahrens	128
3.6.1	Einleitung: Mobilität als soziotechnisches System	128
3.6.2	Erwartungen und Risiken	129
3.6.3	Zur gesellschaftlichen Akzeptanz von avF	132
3.6.4	Ethische Perspektiven	142
	Literatur	146
4	Akzeptanz und Nutzbarkeit automatisiertes Fahren	155
	Bettina Abendroth, Philip Joisten, Erik Schaarschmidt und Tania Gianneli	
4.1	Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV	156
4.1.1	Technologieakzeptanz	156
4.1.2	Motive der Verkehrsmittelwahl	157
4.1.3	Soziodemografische Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl	162
4.1.4	Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV	163
4.2	Anforderungen an die Nutzbarkeit eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung spezifischer Nutzergruppen	166
4.2.1	Die Fahrt mit einem automatisierten ÖPNV aus Sicht von Nutzenden	166
4.2.2	Spezifische Nutzergruppen	168
4.2.3	Nutzer-Anforderungen für alle Nutzenden	169
4.3	Kommunikation und Interaktion des automatisierten ÖPNV mit anderen Verkehrsteilnehmern	178
4.3.1	Kommunikation und Interaktion im Straßenverkehr	179
4.3.2	Kriterien für eine gelingende Kommunikation unter Teilnahme eines automatisierten ÖPNV	183

4.3.3 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen	190
Literatur	191
5 Planungsverfahren für die Integration automatisierten Fahrens	197
Dennis Jaquet, Gregor Korte, Paul Rosenkranz und Christian Rudloff	
5.1 Herausforderung der Planung der Integration automatisierten Fahrens angesichts fehlender Normen	198
5.1.1 Die aktuelle Planungssituation	198
5.1.2 Grundsätze und mögliche Lösungsansätze für die Integration eines automatisierten ÖPNV.	201
5.2 Herausforderung der Planung angesichts eines veränderten Mobilitätsverhaltens bzw. einer noch nicht bekannten Verkehrsnachfrage	204
5.2.1 Planungsveränderungen durch neue Mobilitätsformen.	205
5.2.2 Neue Form der Datenerhebung notwendig	206
5.2.3 Analyse	210
5.2.4 Modellierung	211
5.3 Es besteht kein Platz für reservierte ÖPNV-Spuren – Optionen zur Neugestaltung des Straßenraums	214
Literatur	218
6 Rechtliche Aspekte des automatisierten Fahrens und der Personenbeförderung	221
Nadja Braun Binder, Peter Bußjäger, Raoul Fasler und Annette Guckelberger	
6.1 Rechtsrahmen für hochautomatisiertes Fahren in Deutschland.	223
6.1.1 Einleitung	223
6.1.2 Gesetz zum autonomen Fahren	224
6.1.3 Autonome Fahrzeuge im ÖPNV	230
6.1.4 Ausblick	232
6.2 Automatisierter ÖPNV in Österreich.	233
6.2.1 Einleitung	233
6.2.2 Verfassungsrechtlicher Rahmen	233
6.2.3 Relevantes Bundesrecht.	237
6.2.4 Verwaltungsrechtliche Aspekte	240
6.3 Rechtsgrundlagen für automatisiertes Fahren in der Schweiz.	244
6.3.1 Einleitung	244
6.3.2 Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen	245
6.3.3 Pilotprojekte	246
6.3.4 Rechtslage	247
6.3.5 Revision des Straßenverkehrsgesetzes	248
6.3.6 Haftungsrechtliche Fragen	255
Literatur	256

7 Handlungsfaden zur Integration automatisierten Fahrens	263
Constantin Pitzen, Heiner Monheim, Mario Zweig, Robert Yen und Christoph Marquardt	
7.1 Wie ist bei der Integration automatisierten Fahrens vorzugehen?	264
7.2 Wie kann eine Mobilitätsstrategie entwickelt werden, die die gezielte Integration automatisierten Fahrens berücksichtigt, bzw. wie lässt sich automatisiertes Fahren in eine bestehende Mobilitätsstrategie integrieren?	270
7.2.1 Priorität 1: Kfz-Verkehr vermeiden	272
7.2.2 Priorität 2: Kfz-Verkehr verlagern	273
7.2.3 Priorität 3: Verbleibenden, notwendigen Kfz-Verkehr verbessern und umweltfreundlich betreiben	274
7.2.4 Prozess zur Mobilitätsstrategie	275
7.3 Was ist verkehrs- und raumplanerisch bei der Implementierung eines automatisierten ÖPNV zu beachten und welche der vorgestellten Methoden können wie zur Anwendung gebracht werden?	275
7.3.1 Nahverkehrsplanung in den Kommunen	276
7.3.2 Straßeninfrastruktur	278
7.3.3 Flächennutzungsplanung und Regionalplanung	284
7.3.4 Anpassung an Gesetze auf Landesebene	285
7.4 Beispiel Lindau – Die romantische Stadt am Bodensee bindet nicht erschlossene Siedlungsflächen an die großen Buslinien an und reduziert den Pendelverkehr	285
7.4.1 Die Vision von klimaneutraler Mobilität in Lindau	285
7.4.2 Ausgangslage	286
7.4.3 Schlussfolgerungen und allgemeine Lösungsansätze	288
7.4.4 Automatisierter ÖPNV zur Überwindung der letzten Meile	290
7.4.5 Vision der Erschließung Oberreitnau und Unterreitnau mit einem automatisierten ÖPNV	291
7.4.6 Die Rolle des automatisierten ÖPNV für den Pendlerverkehr	293
7.5 Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug oder eine automatisiert fahrende Transportdienstleistung beschafft und implementiert werden?	294
7.5.1 Am Anfang war die Frage	295
7.5.2 Definition der Anforderungen	306
7.5.3 Definition der Eignungs- und Zuschlagskriterien	308
7.6 Gesetzlicher Rahmen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge	310
7.6.1 Zulassung von automatisierten SAE Level 1 bis 3 Fahrzeugen	310
7.6.2 Zulassung von automatisierten SAE Level 4 Fahrzeugen	311
7.6.3 Ausblick	313
7.7 Automatisierter ÖPNV in der betrieblichen Umsetzung aus Sicht der Verkehrsunternehmen	314
7.7.1 Aufbau der Technischen Aufsicht	314

7.7.2	Fahrmeister 4.0	316
7.7.3	Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Straßen	317
7.7.4	Anpassung Akku-Ladung, Fahrzeugpflege und -instandhaltung.	317
7.7.5	Anpassung der IT der Verkehrsunternehmen für den Einsatz autonomer Fahrzeuge	318
7.7.6	Planung des ÖPNV	319
7.7.7	Marketing-Kommunikation.	320
7.7.8	Kundenbetreuung	320
	Literatur	321

Herausgeber- und Autorenverzeichnis

Über die Herausgeber

Robert Yen (Mag. theol.) ist Vorstand und Partner der Rapp Trans in Deutschland. Seit rund 25 Jahren ist er als Berater für verschiedene internationale Unternehmen tätig. Seit 2002 arbeitet Robert Yen auf dem Feld der Intelligenten Verkehrssysteme. In dieser Zeit war er u. a. als Technischer Projektleiter in Vergabeverfahren bzw. bei der Errichtung von landesweiten Mautsystemen international tätig. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung von Systemstrategien und -konzepten sowie das Design und die Implementierung von Mautsystemen und anderen ITS-Anwendungen. Seit 2015 beschäftigt sich Robert Yen zunehmend mit dem Themenbereich automatisiertes Fahren und der Transformation der Mobilität angesichts der Klimakrise.

Prof. Dr. Nadja Braun Binder, MBA, ist Professorin für Öffentliches Recht an der Universität Basel. 2017 hat sie an der Deutschen Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer habilitiert. Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen u. a. Rechtsfragen rund um die Digitalisierung in Staat und Verwaltung.

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing. Raumplanung) kennt die Welt des ÖPNV aus der Perspektive großer und kleiner Verkehrsunternehmen, von Aufgabenträgern und Verkehrsgemeinschaften, aus seiner Arbeit als externer Verkehrsplaner, aber auch als Vertreter von Bürgerinitiativen, Umwelt- und Verkehrsverbänden. Als Geschäftsführer der Fahrplangesellschaft B&B mbH entwickelt er seit 10 Jahren betriebsnahe und innovative Konzepte für den ÖPNV sowohl im ländlichen wie auch im städtischen Raum und vertritt diese erfolgreich in politischen Gremien. Als sich abzeichnete, dass eines Tages fahrerlose Fahrzeuge in den Verkehrsmarkt eintreten würden, initiierte er mit dem Büro autoBus ein Netzwerk für autonomes Fahren im ÖPNV und begleitet seither Forschungsprojekte bei Konzeption, Genehmigungsverfahren und Umsetzung.

Jens Schippl (Dipl. Geograf) ist Senior Researcher und Projektleiter in der Forschungsgruppe „Mobilitätszukünfte“ am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie Dozent an der ETH Zürich im Rahmen des MAS/CAS „Mobilität der Zukunft“. Seine Forschungsschwerpunkte sind soziotechnischer Wandel, Akzeptanzfragen, Foresight und Technikfolgenabschätzung im Mobilitätssektor. Seit mehreren Jahren interessiert er sich insbesondere für mögliche Entwicklungspfade und gesellschaftliche Implikationen des automatisierten Fahrens.

Autorenverzeichnis

Dr.-Ing. Bettina Abendroth Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Michael Aleksa (Dipl. Ing.) Center Low-Emission Transport, Austrian Institute of Technology, Wien, Österreich

Prof. Dr. Nadja Braun Binder, MBA, Juristische Fakultät, Universität Basel, Basel, Schweiz

Prof. Dr. Peter Bußjäger Institut für Öffentliches Recht, Staats- und Verwaltungslehre, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

Dr. Markus Deublein BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, Schweiz

Raoul Fasler (M.Law) Juristische Fakultät, Universität Basel, Basel, Schweiz

Torsten Fleischer (Dipl.-Phys.) Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Tania Gianneli (Dipl.-Ing. Raumordnung, MA Humangeografie) DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH, Berlin, Deutschland

Prof. Dr. Annette Guckelberger Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Deutschland

Dennis Jaquet (M.Sc.) Planersocietät, Dortmund, Deutschland

Dr.-Ing. Philip Joisten Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Gregor Korte (M. Sc.) Planersocietät, Dortmund, Deutschland

Dr. Willibald Krenn Silicon Austria Labs GmbH, Graz, Österreich

Prof. Dr. Barbara Lenz Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin, Deutschland

Dr. Emanuele Leonetti Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), VDV Akademie, Köln, Deutschland

Christoph Marquardt (Dipl.-Ing. Raumplanung) Mobile Zeiten, Oldenburg, Deutschland

Prof. Dr. Heiner Monheim (Jg.1946) Kasseedorf OT Stendorf, Deutschland

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing Raumplanung) Fahrplangesellschaft, Oelsnitz/Vogtland, Deutschland
Fahrplangesellschaft B&B mbH, Potsdam, Deutschland

Paul Rosenkranz (M. Sc.) Austrian Institute of Technology, Wien, Österreich

Dr. Christian Rudloff Austrian Institute of Technology, Wien, Österreich

Erik Schaarschmidt (Dipl. Ing.) Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland

Jens Schippl (Dipl. Geograf) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland

Dr. Cornelia van Driel Neustadt/Weinstraße, Deutschland

Robert Yen (Mag. theol.) Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland

Mario Zweig (Dipl.-Ing.(FH)) Team Homologation, DEKRA Automobil GmbH, Klettwitz, Deutschland



Einleitung

1

Robert Yen, Cornelia van Driel, Jens Schippl, Bettina Abendroth,
Torsten Fleischer, Willibald Krenn, Constantin Pitzen
und Heiner Monheim

Inhaltsverzeichnis

1.1	Was muss man sich unter „automatisiertem Fahren“ vorstellen?	2
1.1.1	Klärung der Begriffe	2
1.1.2	Welche Automatisierungsstufen gibt es?	4
1.1.3	Wie entscheidet ein hoch- bzw. vollautomatisiertes Fahrzeug?	6
1.1.4	Mögliche Anwendungsfälle für Level 4 Fahrzeuge	9
1.1.5	Einsatzbestimmende Umstände für Anwendungsfälle	11
1.2	Entwicklung des automatisierten Fahrens – ein Überblick	15
1.2.1	Einleitung	15
1.2.2	Historie des automatisierten Fahrens	17
1.2.3	Visionen und Ziele des automatisierten Fahrens	19
1.2.4	Roadmap des automatisierten Fahrens	21
1.2.5	Allgemeine Entwicklungsszenarien von avF	23
1.2.6	Entwicklungsperspektiven für avF im städtischen Raum	25
1.2.7	Ausblick für die Etablierung von avF	31
1.3	Leitbild automatisiertes Fahren – ein Szenario	33
1.3.1	Automatisiertes Fahren im Licht der Mobilitätswende	33
1.3.2	Szenario zur Entwicklung der Mobilität und des avF	35
	Literatur	42

R. Yen (✉)
Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland
E-Mail: robert.yen@rapp-trans.de

C. van Driel
Neustadt/Weinstraße, Deutschland

J. Schippl
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und
Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland
E-Mail: jens.schippl@kit.edu

1.1 Was muss man sich unter „automatisiertem Fahren“ vorstellen?

Robert Yen und Willibald Krenn

1.1.1 Klärung der Begriffe

Schlagen wir die Zeitung auf, hören wir Radio oder Podcasts, schauen wir uns Beiträge im Fernsehen an oder surfen wir im Internet oder den Sozialen Medien, so können wir viel über automatisiertes Fahren, selbstfahrende oder autonome Fahrzeuge und „Fahrroboter“ lesen. Automatisiertes Fahren ist ein Thema, das als Schlüssel der Mobilitätswende gesehen wird. Die Begriffe werden jedoch teils synonym, teils differenziert zueinander verwendet. Es scheint daher sinnvoll, die Begriffe zu klären und zu einer einheitlichen Verwendung dieser zu kommen, bevor wir tiefer in die Materie einsteigen.

Die Society of Automotive Engineers (SAE) empfiehlt in ihrem Standard J3016 irreführende Begriffe wie „selbstfahrendes Fahrzeug“ „autonomes Fahrzeug“ und „Fahrroboter“ zu vermeiden (SAE 2018).

Im wissenschaftlichen Diskurs hat sich der Begriff „automatisiertes und vernetztes Fahren“ bzw. „automatisiertes und vernetztes Fahrzeug“ etabliert. Diese Begriffe werden ausdrücklich von den Begriffen „autonomes Fahren“ bzw. „autonomes Fahrzeug“ unterschieden. Während „automatisiertes und vernetztes Fahren“ davon ausgeht, dass hochautomatisierte und vollautomatisierte Fahrzeuge in der Regel auch vernetzt mit anderen Fahrzeugen, der Infrastruktur oder einer Leitstelle sein werden, birgt der Begriff „autonom“ in sich, dass das Fahrzeug vollständig unabhängig ist und die Fahraufgaben ebenso

B. Abendroth

Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

E-Mail: bettina.abendroth@tu-darmstadt.de

T. Fleischer

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: torsten.fleischer@kit.edu

W. Krenn

Silicon Austria Labs GmbH, Graz, Österreich

E-Mail: willibald.krenn@silicon-austria.com

C. Pitzen

Fahrplangesellschaft B&B mbH, Potsdam, Deutschland

E-Mail: cp@fahrplangesellschaft.de

H. Monheim

Kasseedorf OT Stendorf, Deutschland

unabhängig ausgeführt werden. Einige Hersteller hochautomatisierter Fahrzeuge setzen auf die Autonomie.

Das neue deutsche Straßenverkehrsgesetz (StVG), das am 28. Juli 2021 in Kraft trat und welches das erste Gesetz weltweit ist, das automatisiertes Fahren im Regelbetrieb im Straßenverkehr ermöglicht, verwendet die Begrifflichkeit „*Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion*“. In § 1d des StVG Absatz (1) handelt es sich dabei um „*ein Kraftfahrzeug, das 1. die Fahraufgabe ohne eine fahrzeugführende Person selbstständig in einem festgelegten Betriebsbereich erfüllen kann und 2. über eine technische Ausrüstung gemäß § 1e Absatz (2) verfügt.*“ § 1e Absatz (2) beschreibt funktional die technische Ausrüstung, gibt jedoch keine Auskunft darüber, ob das Fahrzeug unabhängig von einer Kommunikation mit außen betrieben werden sollte oder nicht.

In der EU-Regulation 2019/2144 wird zur Definition der Begriffe „*automatisiertes Fahrzeug*“ und „*vollautomatisiertes Fahrzeug*“ jedoch auf den Begriff „*autonom*“ zurückgegriffen:

“‘Automated vehicle’ means a motor vehicle designed and constructed to move autonomously for certain periods of time without continuous driver supervision but in respect of which driver intervention is still expected or required; ‘fully automated vehicle’ means a motor vehicle that has been designed and constructed to move autonomously without any driver supervision; (...)”

Die Europäische Kommission schreibt in ihrer Mitteilung ‚On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future‘ an das Europäische Parlament: *“Even though automated vehicles do not necessarily need to be connected and connected vehicles do not require automation, it is expected that in the medium-term connectivity will be a major enabler for driverless vehicles. Therefore, the Commission will follow an integrated approach between automation and connectivity in vehicles.”* (Europäische Kommission 2018a, b, S. 4). Damit legt sie als strategische Richtschnur die Verbindung zwischen Automatisierung und Vernetzung fest. Bezogen auf automatisierte Fahrzeuge geht es in erster Linie um die sicherheitsrelevante Kommunikation zwischen automatisiertem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern oder zwischen automatisierten Fahrzeugen und der Infrastruktur.

Der Schweizerische Bundesrat geht in seinem Bericht ‚Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen‘ (Bundesrat 2016) davon aus, dass ein rein autonomes Fahren, bei dem das Fahrzeug weder mit anderen Fahrzeugen noch mit der Infrastruktur kommuniziert, in der Schweiz nicht infrage kommt. Der Schweizerischen Regierung erscheint es aus Gründen der Verkehrssicherheit, der Netzkapazität, der Umweltauswirkungen und des allgemeinen Zugangs zu Verkehrsmitteln unumgänglich, dass für die Erreichung einer positiven Wirkung automatisierte Fahrzeuge sich diese untereinander und mit der Infrastruktur vernetzen müssen (Bosch, R. et al. 2017, S. 20).

In diesem Handbuch werden die Begriffe „automatisiertes und vernetztes Fahren“ (abgekürzt: avF) bzw. „automatisierte und vernetzte Fahrzeuge“ oder einfach „automatisiertes Fahren“ oder „automatisierte Fahrzeuge“ verwendet, wobei immer davon ausgegangen wird, dass die Fahrzeuge auch vernetzt sind.

1.1.2 Welche Automatisierungsstufen gibt es?

In Deutschland werden zwei Darstellungsformen für die Automatisierungsstufen verwendet: a) jene der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und b) die Automatisierungsstufen der SAE. Beide unterscheiden sich nicht wesentlich. International und vor allem in der Industrie und in der Wissenschaft wird mehrheitlich auf die SAE-Einteilung verwiesen. Automatisierungsstufen beschreiben die schrittweise Entwicklung der Automatisierung von Fahrzeugen hin zur Vollautomatisierung. Die Beschreibung des Automatisierungsgrads der Fahrzeuge erfolgt auf Grundlage von fünf Kriterien:

- „Übernimmt das Fahrzeug die Querführung (Lenken) des Fahrzeugs selbständig?
- Übernimmt das Fahrzeug die Längsführung (Beschleunigen, Bremsen) des Fahrzeugs selbständig?
- Erkennt das Fahrzeug die Systemgrenzen der Automatisierung selbständig oder muss der Fahrer die Automatisierungsfunktionen stets überwachen?
- Ist das Fahrzeug in der Lage, stets ein sicheres Anhalten zu realisieren, selbst im Falle eines technischen Fehlers der Automatisierungsfunktion?
- Beherrscht das Automatisierungssystem jedes denkbare Szenario oder ist die Automatisierung auf bestimmte Szenarien (z. B. nur Autobahnfahrt, nur bei Tageslicht, nur bei geringer Verkehrsstärke) beschränkt?“ (Lauer, M. und Tas, Ö. S. 2019, S. 7)

Diese Kriterien beschreiben, in welcher Weise, in welchem Ausmaß und in welchem Kontext der Fahrer oder die Fahrerin Verantwortung für die Fahrmanöver des Fahrzeugs übernehmen muss. Vollautomatisierung ist erreicht, wenn alle diese Kriterien mit ‚Ja‘ beantwortet werden können und somit das Fahrzeug eigenständig Quer- (Lenken) und Längsführung (Beschleunigen und Bremsen) übernimmt, die eigenen Systemgrenzen ohne Überwachung durch den Fahrer oder die Fahrerin erkennt, unter allen Umständen auch bei Auftreten von Fehlern das Fahrzeug anhält und all diese Funktionen in jedem Umfeld ausführen kann. Die folgende Abb. 1.1 stellt die Automatisierungsstufen nach SAE mit dem Verweis auf die Kriterien dar:

Während die Automatisierung im Level 1 und 2 (Fahrspurhalteassistent, Adaptive Cruise Control und Einparkhilfe) ausschließlich zur Unterstützung des Fahrers dient, der das Fahrgeschehen dauernd überwachen und jederzeit bereit sein muss, in dieses einzugreifen, ist eine dauerhafte Überwachung durch den Fahrer oder eine Technische Aufsicht unter bestimmten Rahmenbedingungen in den Automatisierungsstufen Level 3–4

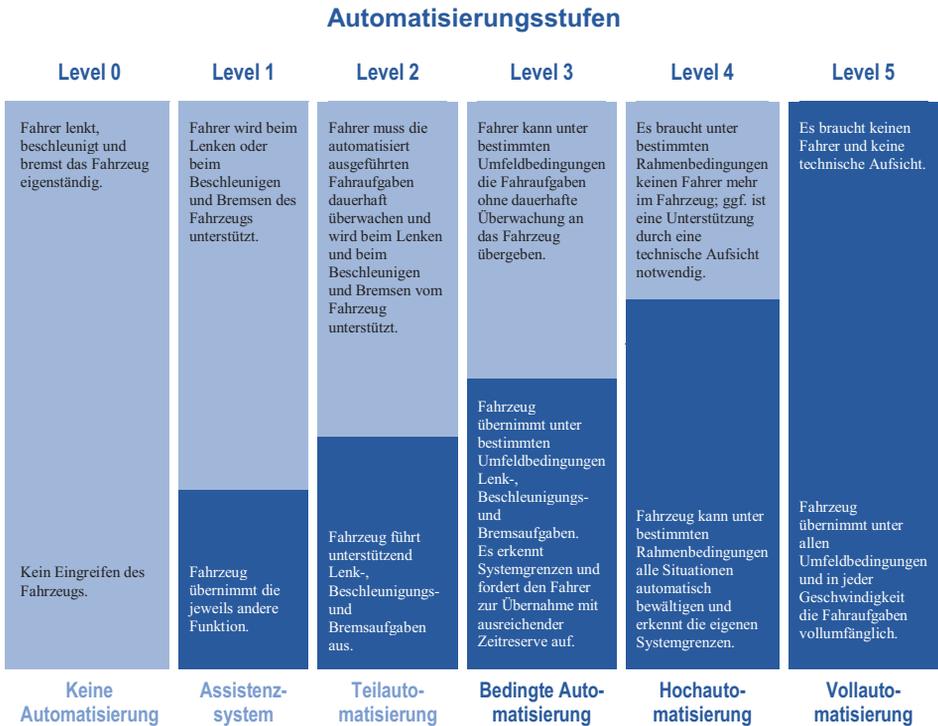


Abb. 1.1 Automatisierungsstufen orientiert an SAE J3016

nicht notwendig. Level 5 Fahrzeuge unterliegen keinerlei Einschränkungen und bedürfen auch keiner Überwachung.

Der Forschungsbericht „AVENUE21“ spricht von einem „*Langen Level 4*“ und weist darauf, dass die Ankündigungen der IT- und Automobilindustrie zur vollständigen Automatisierung des Verkehrs nicht gehalten werden konnten und vollautomatisierte Fahrzeuge wohl erst nach einer jahrzehntelang andauernden Phase der Transformation unseres Mobilitätssystems zu erwarten sind (Mitteregger, M. und Banerjee, I. 2021).

Auch das neue StVG (Deutscher Bundestag 2021a, b) scheint von einer längeren Periode des Levels 4 auszugehen. So wird die Inbetriebnahme der hochautomatisierten Fahrzeuge für den Straßenverkehr im Regelbetrieb an ein bestimmtes Gebiet und Straßennetz sowie an eine situative Überwachung und Unterstützung durch eine Technische Aufsicht gebunden. Aufgrund u. a. dieser Bestimmungen sind Fahrzeuge von nicht kommerziellen Betreibern nur schwer im Regelbetrieb vorstellbar.

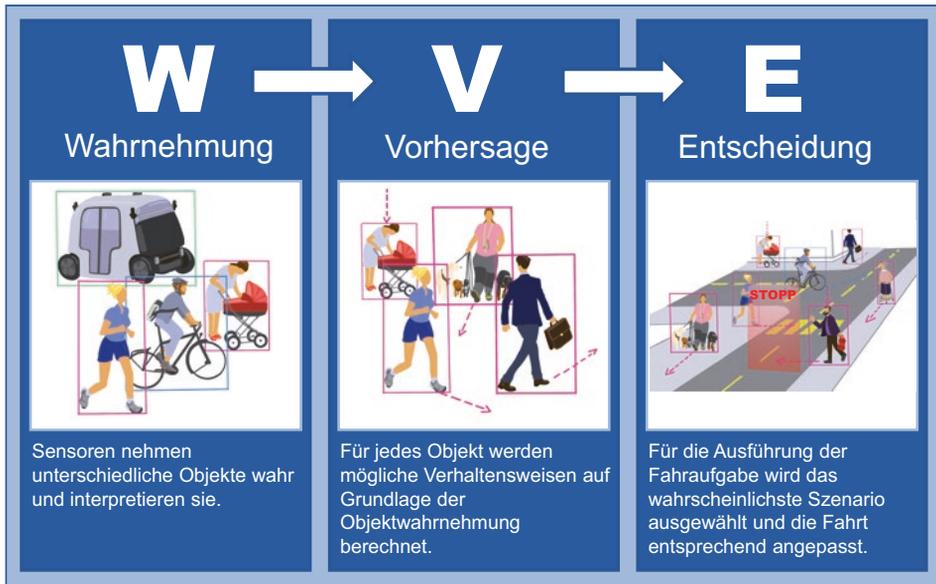


Abb. 1.2 Schematische Darstellung: Schritte, die zu einer Fahrentscheidung führen

In diesem Handbuch wird das automatisierte Fahren in erster Linie in der Automatisierungsstufe Level 4 betrachtet. Die Autoren gehen davon aus, dass für Fahrzeuge im Mischverkehr Level 4 für lange Zeit die höchste erreichbare Automatisierungsstufe im Regelbetrieb sein wird.

1.1.3 Wie entscheidet ein hoch- bzw. vollautomatisiertes Fahrzeug?

Automatisierte Fahrzeuge müssen wie Menschen ihr Umfeld erfassen und erkennen, damit sie sich im Verkehr bewegen und ihre Fahraufgaben ausführen können. Dafür werden von den Herstellern dieser Fahrzeuge unterschiedliche Sensoren eingesetzt, wie beispielsweise Kameras (einschließlich Infrarot), Lidar, Radar und Kommunikationstechnologie (z. B. ITS-G5, 5G, mmWave).

Abb. 1.2 zeigt die wesentlichen Schritte hin zu Entscheidungen für die Ausführung von Fahraufgaben eines automatisierten und vernetzten Fahrzeugs. Im Wesentlichen kann jede Veränderung bei der Ausführung einer Fahraufgabe eines automatisierten Fahrzeugs durch die Schritte ‚Wahrnehmung‘, ‚Vorhersage‘ und ‚Entscheidung‘ (in der englischsprachigen Literatur als „Sense – Plan – Act“ oder als „Sense – Think – Act“ bezeichnet) beschrieben werden. Dieser Prozess findet kontinuierlich statt. Alle Informationen, die durch die Sensoren wahrgenommen werden, sind letztlich in dieser Weise zu verarbeiten.

W – Wahrnehmung: Für die Wahrnehmung setzt jeder Hersteller andere Verfahren und Sensoren ein. Ziel der Wahrnehmung ist es, eine dreidimensionale Abbildung der Wirklichkeit des Umfeldes zu erlangen. Je genauer, umso besser. Jedoch sind nicht nur die topografischen Informationen zu Straße, Bordsteinen, Häusern, festen Hindernissen usw. von Relevanz, sondern und vor allem auch Informationen über bewegliche Objekte, die sich im Bereich des Straßenraums befinden. Ihr Verhalten bestimmt im letzten Schritt der Entscheidung über das Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs. Um mögliche Verhaltensweisen der verschiedenen Objekte voraussagen zu können, ist es notwendig, die Objekte zu erkennen: Handelt es sich um einen Fußgänger, einen Fahrradfahrer, einen Motorradfahrer, ein Auto, einen Bus, einen LKW oder einen Gegenstand? Ist der Fußgänger erwachsen oder ein Kind? Ist der Fußgänger aufmerksam oder schaut er auf sein Mobiltelefon? Hat das Auto einen Blinker gesetzt? Dazu wird auch jedes Objekt bezogen auf seine Lage im Raum und im Verhältnis zum automatisierten Fahrzeug erfasst. Außerdem wird detektiert, ob das Objekt seine Lage verändert, welche Richtung eingeschlagen wird, mit welcher Geschwindigkeit die Lage verändert wird und ob eine Beschleunigung bzw. eine Verzögerung des Objekts festgestellt werden kann.

V – Vorhersage: Somit werden zu jedem Objekt eine Unmenge von Informationen gesammelt. Jede dieser Informationen wird hinsichtlich der möglichen weiteren Lageveränderung bewertet. Aus dieser Bewertung ergeben sich für jedes Objekt ein oder mehrere mögliche Bewegungsoptionen. So gibt es beispielsweise für einen betonierten Blumentrog am Straßenrand nur die Option „keine Veränderung der Lage“. Ein Fußgänger kann hingegen stehen bleiben, gerade oder quer nach links oder nach rechts über die Straße gehen und biegt einfach in die eine oder andere Richtung ab. Je genauer die Objekte wahrgenommen werden, umso vielschichtiger wird die Voraussage der Verhaltensweise der jeweiligen Objekte.

E – Entscheidung: Die Entscheidung basiert auf zwei Grundlagen: einer detaillierten dreidimensionalen Karte, die alle feststehenden Gegenstände sowie die semantischen Informationen, wie beispielsweise Verkehrszeichen, Bodenmarkierungen, die Position von Ampeln usw., beinhaltet, und den Vorhersagen zu allen Objekten. Diese Informationen werden durch Algorithmen zueinander in Beziehung gesetzt und bewertet. Daraus erfolgt dann in der Folge eine Fahrentscheidung. So fällt beispielsweise in der Grafik oben die Entscheidung des automatisierten Fahrzeugs auf Stopp, da ein Zebrastrifen und eine Joggerin am linken Straßenrand vor dem Zebrastrifen sowie ein Mann am rechten Straßenrand wahrgenommen wurden und in der Kombination „Fußgänger am Zebrastrifen“ die Wahrscheinlichkeit für die Vorhersage, dass der Fußgänger die Straße überqueren wird, sehr hoch ist.

Um den hier beschriebenen Entscheidungsprozess möglich zu machen, wird Künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt, d. h., ein Computer ist so programmiert, dass er eigenständig Probleme lösen kann. Es wird bei der Programmierung versucht, menschliche Entscheidungsstrukturen nachzuahmen. Der Computer wird in seinen Entscheidungen, die die Algorithmen auf Grundlage zur Verfügung gestellter Daten treffen sollen, trainiert. Durch das Training, das darin besteht, dass ein Mensch die

Entscheidung des Computers bestätigt oder verwirft, werden die Algorithmen durch den Computer so angepasst, dass die Entscheidungen des Computers immer häufiger durch den trainierenden Menschen bestätigt werden. Man könnte sagen, dass der Computer den Ehrgeiz hat, 100 % bestätigte Entscheidungen zu treffen. Es handelt sich um eine „deterministische Maschine“, die ein System ist, das *vorausschaubaren und reproduzierbaren Abläufen* (Ashby, W. R. 1956), also bekannten Rechenregeln folgt. „Nicht-deterministische Maschinen“ sind hingegen Systeme, deren Abläufe weder vorausschaubar noch reproduzierbar sind.

Bezogen auf den Entscheidungsfindungsprozess für Fahraufgaben automatisierter Fahrzeuge werden zwar deterministische Maschinen/Algorithmen in allen drei Prozessschritten (Wahrnehmung, Vorhersage und Entscheidung) genutzt, die jedoch stochastische Näherungen an die Funktion sind. Diese Näherungen sind eine Herausforderung bei der Validierung des Systems, da wir die Funktion nicht kennen. Ohne diese Verfahren wäre es nicht möglich, in der Wahrnehmung die Objekte in der für automatisiertes Fahren notwendigen Differenziertheit und Verlässlichkeit zu erkennen, in der Vorhersage verlässliche Bewertungen der einzelnen Optionen vorzunehmen und letztlich im letzten Schritt die für die Fahraufgabe passende Entscheidung zu treffen. Die folgenden Entscheidungen werden jedoch nicht mehr vorausschaubar und reproduzierbar sein.

Übersicht

Künstliche Intelligenz (KI) hat in der Informatik eine lange Geschichte und zerfällt heute in grob zwei Bereiche, nämlich die „klassische“ KI, die zumeist logikbasiert und symbolisch arbeitet, und Ansätzen, die auf „deep learning“ basieren. Viele der in den letzten Jahren gemachten Fortschritte im Bereich KI gehen dabei auf das „deep learning“ mit seinen neuronalen Netzwerken zurück. Vor allem im Umgang mit optischen Daten (z. B. zur Objekterkennung) sind Neuronale Netze (NN) heute State of the art und nicht mehr wegzudenken.

Bei der Entwicklung der NN hat sich die Wissenschaft das menschliche Gehirn mit seinen vielfach verknüpften Nervenzellen (Neuronen) zum Vorbild genommen. Vereinfacht kann man sich NNs als Graphen mit einer Menge von gerichteten Kanten und Knoten vorstellen. Kanten verbinden die Knoten und Daten (z. B. Pixel eines Kamerabildes) fließen entlang dieser von Knoten zu Knoten. In jedem Knoten wird durch die Anwendung einer mathematischen Funktion auf die eingehenden Daten ein neuer Wert errechnet, der dann unter bestimmten Bedingungen seine Reise entlang der ausgehenden Kanten eines Knotens zum nächsten Knoten fortsetzt. Beim Design des Netzes werden die Anzahl der Kanten/Knoten, die Topologie – also die Verbindungen der Knoten untereinander mithilfe der Kanten – und zum Teil die mathematischen Funktionen innerhalb der Knoten festgelegt.

Um den fehlenden Teil der mathematischen Funktionen der Knoten bestimmen zu können, wird das NN trainiert: Mithilfe von weiteren mathematischen Verfahren und der Anwendung von Trainingsdaten, die aus der Eingabe inklusive erwünschter Ausgabe bestehen (z. B. Bilder von Fahrzeugen als Eingabe und die Markierung der Fahrzeuge in diesen Bildern als erwünschte Ausgabe), werden die fehlenden Parameter errechnet und das NN „lernt“, was es zukünftig berechnen soll.

Der große Vorteil der NN ist, dass der Entwickler die Funktion, die das NN lernt, nicht kennen muss – sie wird während des Trainingsvorgangs selbst gefunden. Als Beispiel kann hier wieder die Objekterkennung herangezogen werden: Es ist praktisch unmöglich ein Schritt-für-Schritt-Verfahren (Funktion) zu Erkennung aller Autos in einem Bild per Hand zu entwickeln. Dieser Vorteil der NN ist zugleich auch ihr größter Nachteil: Am Ende weiß man nämlich nicht genau, was das System wirklich gelernt hat. Zudem ist die Qualität des Ergebnisses sehr stark von der Qualität der Trainingsdaten abhängig (z. B. Autos verschiedener Farben/Formen bei allen Witterungsbedingungen etc.) und es müssen genügend Trainingsdaten vorhanden sein. Schließlich ist es bei NN – im Unterschied zu klassischen Verfahren in der KI – auch oft sehr schwer nachzuvollziehen, wieso das Netz ein bestimmtes Ergebnis geliefert hat. Diese Nachteile zu mildern bzw. die Qualität der gelernten Funktion zu prüfen, das sind die aktuellen Herausforderungen – unter anderem auch für die Forschung.

1.1.4 Mögliche Anwendungsfälle für Level 4 Fahrzeuge

Level 4 Fahrzeuge bieten unter bestimmten Voraussetzungen – zum Beispiel in einem bestimmten geografischen Gebiet – eine vollständige Automatisierung der Fahrfunktion. Sie erkennen auch selbständig, wenn die Voraussetzungen nicht mehr erfüllt sind, und stellen dann einen sicheren Zustand her, in dem sie zum Beispiel an einer dafür geeigneten Stelle anhalten und auf Benutzereingriff warten. Durch diese sichere und bereits sehr weitgehende Automatisierung werden viele interessante Anwendungsfälle ermöglicht.

Am bekanntesten in diesem Zusammenhang sind sicherlich automatisierte Taxidienste, wie zum Beispiel das bereits in den USA verfügbare Waymo One (Ackerman, E. 2021). Auch wenn Waymo davon spricht, dass es „*fully autonomous driving technology*“ nutze, so handelt es sich eben nicht um ein vollständig eigenständig fahrendes Fahrzeug, sondern um ein Level 4 Fahrzeug. Zahlreiche weitere Start-ups und OEMs

arbeiten an PKWs und LKWs, die eine Level 4 Automatisierung beherrschen und somit automatisierte PKW/LKW-Fahrten zwischen verschiedenen Orten ermöglichen. Daneben eröffnet eine Level 4 Automatisierung weitere, vor allem für Kommunen interessante Möglichkeiten.

Weitere kommunale Dienste (Jerman, J. et al. 2020), wie z. B. die Straßenreinigung, das Bewässern/Pflegen von Pflanzen, die Abfallentsorgung, allgemeine Kontrollfahrten und Parkraumbewirtschaftung, die Schneeräumung bzw. das Ausbringen von Split/Salz, könnten prinzipiell von Level 4 Fahrzeugen profitieren. Vor allem für den ländlichen Bereich könnten Services wie mobile Automaten zum Erwerb von Lebensmitteln oder die automatisierte Zustellung der Post von Interesse sein. Diesen Anwendungsfällen gemein ist, dass sie über die reine Automatisierung der Fahrfunktion hinausgehen, da auch eine Automatisierung der zu erbringenden Funktion vonnöten wäre.

Vor allem könnten Level 4 Fahrzeuge zur weiteren Automatisierung des öffentlichen Verkehrs (vgl. Oehry, B. et al. 2020) beitragen und als Shuttles oder Nacht-/Linien-Busse für den tangentialen ÖPNV zwischen den großen Linien, die am Rand von Großstädten sternförmig in die Zentren führen, oder im ländlichen Raum als Verbindung in die Kleinstadt oder im Binnenverkehr von Kleinstädten usw. eingesetzt werden. Ein Level 4 automatisierter öffentlicher Verkehr, der gezielt räumlich wie auch zeitlich dort eingesetzt wird, wo es heute keine adäquaten Angebote gibt, kann zu machbaren Kosten eine attraktive Alternative zum Auto bieten. Durch die hohen Personalkosten werden diese Angebote in vielen Fällen heute nicht gemacht. Wenn es einen hohen Marktanteil von Abonnementnutzern gibt, lohnen auch solche „Schwachlastangebote“, die auch „on demand“ erbracht werden können.

Ein entscheidender Vorteil für den automatisierten ÖPNV im ländlichen Raum ist die im Vergleich zum urbanen Raum viel einfachere Straßennetzstruktur mit weniger Kreuzungen und Einmündungen, einer viel geringeren Fuß- und Radverkehrsdichte und einfachen Fahrbahn- und Kreuzungsstrukturen.

Differenzierung der Anwendungsfälle im ÖPNV entsprechend PBefG

Die Novelle des deutschen Personenbeförderungsgesetz (PBefG) listet in § 2 Abs. (1) Straßenbahnen, Obusse, Kraftfahrzeuge im Linienverkehr und Kraftfahrzeuge im Gelegenheitsverkehr als für die Beförderung von Personen genehmigungspflichtig auf. Bezogen auf neuere Angebote finden sich unter *Kraftfahrzeuge im Linienverkehr* (PBefG § 42) und *Kraftfahrzeuge im Gelegenheitsverkehr* (PBefG § 46) Definitionen verschiedener Mobilitätsdienstleistungen, die mit der Gesetzesnovelle ermöglicht werden sollen. In der Abb. 1.3 werden Mobilitätsangebote, die im Bereich eines automatisierten ÖPNV in den kommenden zehn Jahren von Relevanz sein werden, den Verkehrsformen des deutschen PBefG zugeordnet.

PBefG	Angebote automatisierter ÖPNV	Erläuterungen zu den Angeboten eines automatisierten ÖPNV
Linienverkehr (PBefG § 42)	Linienverkehr mit Shuttle oder Omnibussen	Personenbeförderung von A nach B an einer fest vorgegebenen Strecke mit mehreren definierten oder bedarfsbestimmten Haltestellen / Halts nach einem bestimmten Fahrplan oder einer bestimmten Frequenz
Sonderform des Linienverkehrs (PBefG § 44)	Berufsverkehr, Schülerfahrten, Marktfahrten oder Fahrten von Theaterbesuchern mit Shuttle oder Omnibussen	Regelmäßige Personenbeförderung von A nach B unter Ausschluss anderer Fahrgäste mit einem die Personengruppe bestimmenden Zielort und einer Rückfahrt zum Ausgangspunkt
Linienbedarfsverkehr (PBefG § 45)	On-demand Shuttle	Personenbeförderung zwischen zwei festgelegten Orten, von A nach B ohne Streckenbindung auf Bestellung
Verkehr mit Taxen (PBefG § 47)	Taxi, Ridehailing	<i>Taxi</i> = individuelle Personenbeförderung auf Bestellung, für die der Fahrgast Ort der Abholung, Ziel und Zeitpunkt bestimmt, durch ein dafür konzessioniertes Unternehmen. <i>Ridehailing</i> = individuelle Personenbeförderung auf Bestellung, für die der Fahrgast Ort der Abholung, Ziel und Zeitpunkt bestimmt, durch ein dafür nicht konzessioniertes Unternehmen (ist in Deutschland nicht erlaubt)
Gebündelter Bedarfsverkehr (PBefG § 48)	Ridepooling, Ridesharing	<i>Ridepooling</i> = Personenbeförderung auf Bestellung, für die der Fahrgast Ort der Abholung und Ziel angibt, das System ihm einen ungefähren Zeitpunkt der Abholung übermittelt und mehrere Bestellungen entsprechend der bestellten Strecken bündelt <i>Ridesharing</i> = Personenbeförderung durch private Personen, die sich eine Fahrt von A nach B teilen und sich dafür verabreden

Abb. 1.3 Zuordnung von Mobilitätsangeboten zu Verkehrsformen des PBefG

1.1.5 Einsatzbestimmende Umstände für Anwendungsfälle

In der Beschreibung des Entscheidungsprozesses automatisierter Fahrzeuge (Abschn. 1.1.3) wurde deutlich, wie viele Rechenoperationen für die Ausführung einer Fahraufgabe notwendig sind. Je mehr Objekte durch die Sensoren detektiert werden, desto höher ist die Anzahl der Rechenoperationen, die nahezu in Echtzeit ausgeführt werden müssen. Dies führt aktuell die im Fahrzeug eingesetzten Computer, insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten, noch an die Grenzen ihrer Rechenleistung. Die schon lange geforderte Drosselung der üblichen Fahrgeschwindigkeiten auf 30 km/h in innerörtlichen Straßennetzen und auch auf deren Hauptachsen aus klassifizierten Straßen erleichtert einerseits den Einsatz automatisierter Fahrzeuge und fördert andererseits die flächendeckende Einführung angemessener Tempolimits.

In der Fachliteratur werden die Umstände, innerhalb derer die automatisierten Fahrzeuge ordnungsgemäß betrieben werden können, „Operational Design Domains“ (ODD) genannt (SAE 2018). Diese können von der Definition technischer Voraussetzungen, beispielsweise hochauflösender dreidimensionaler Karten bis hin zu Straßenverhältnissen, Verkehrsverhältnissen und Verkehrsaufkommen reichen. Das

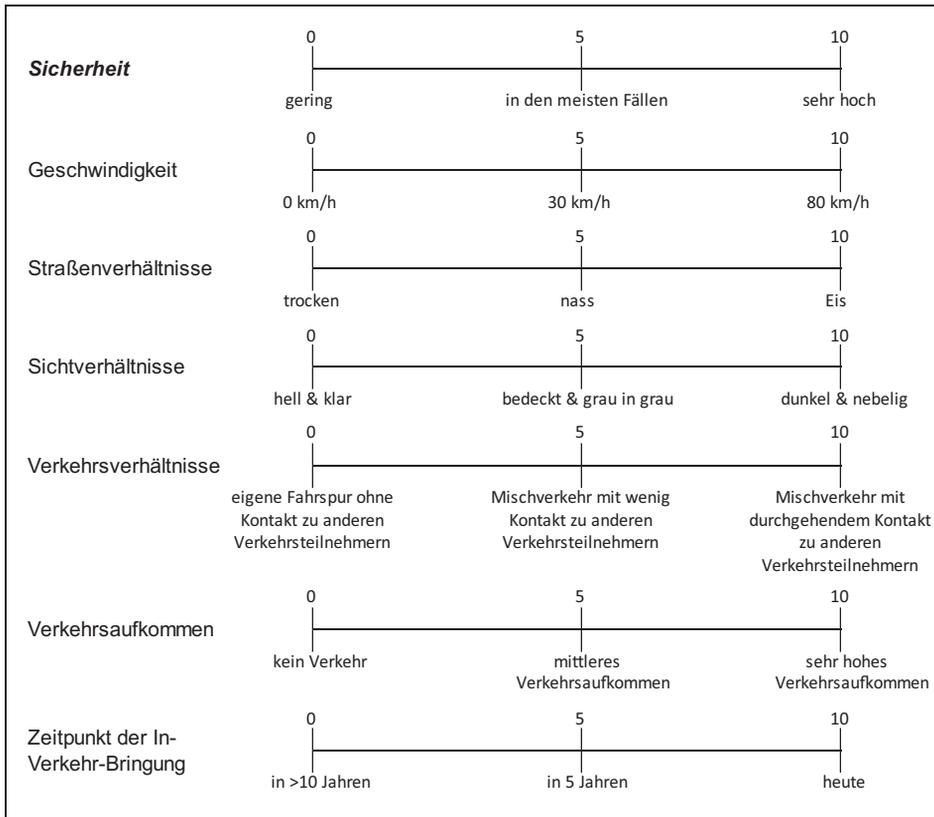


Abb. 1.4 Parameter-Skalen zur Bewertung von Anwendungsfällen von avF

deutsche StVG verwendet für die Beschreibung des „örtlich und räumlich bestimmten öffentlichen Straßenraums“, innerhalb dessen das automatisierte SAE Level 4 Fahrzeug zugelassen werden soll, den Begriff „Festgelegter Betriebsbereich“ (StVG § 1d). Dabei handelt es sich nur um einen Teilbereich der ODD. Abb. 1.4 enthält Parameter, die die wesentlichsten äußeren Umstände beschreiben, innerhalb derer das automatisierte Fahrzeug integriert werden soll.

Alle dargestellten Parameter beeinflussen sich gegenseitig. Die Veränderung einer Ausprägung auf der Skala eines Parameters hat eine Auswirkung auf die Ausprägung eines anderen oder mehrerer anderer Parameter. Dem Parameter Sicherheit kommt eine besondere Bedeutung zu. Dieser wird immanent nicht veränderbar als ‚sehr hoch‘ definiert, da der Sicherheit der Passagiere und der anderen Verkehrsteilnehmer sowohl aus ethischer als auch aus rechtlicher Sicht die höchste Priorität zukommt. Jeder Anwendungsfall muss bezogen auf alle anderen Parameter mit der Vorgabe bewertet werden, dass hinsichtlich der Sicherheit der höchstmögliche Wert zu erreichen ist.

Um dies zu illustrieren, lässt sich beispielsweise ein SAE Level 5 Familien-PKW heranziehen. Laut der Definition der Automatisierungsstufen sind alle Parameter außer

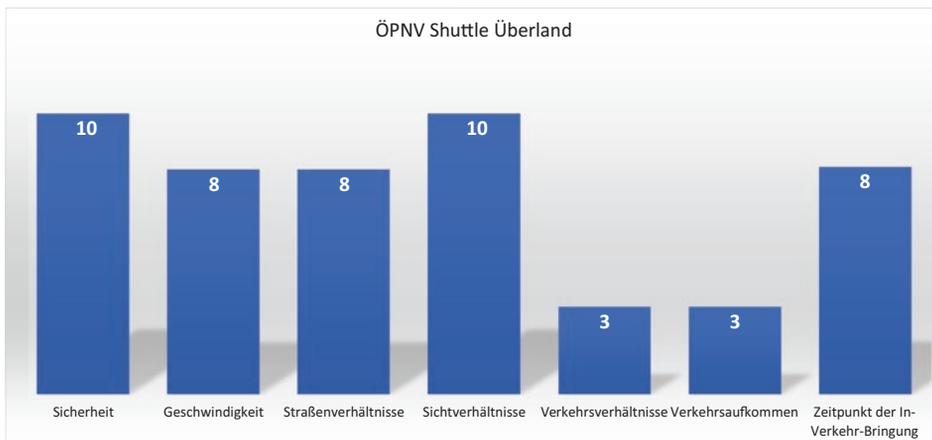


Abb. 1.5 Anwendungsfall ÖPNV Shuttle Überland

dem Parameter „Zeitpunkt der In-Verkehr-Bringung“ für diesen Anwendungsfall mit 10 zu bewerten. Der „Zeitpunkt der In-Verkehr-Bringung“ muss jedoch mit 0 bewertet werden, da davon ausgegangen werden kann, dass dieser Anwendungsfall innerhalb der nächsten zehn Jahre technisch nicht umsetzbar sein wird.

In den folgenden Balkengrafiken werden einige Anwendungsfälle dargestellt.

Abb. 1.5 und die folgenden Abbildungen stellen bezogen auf jeden Parameter der jeweiligen Anwendungsfälle ein Anforderungsprofil dar. Jeder Anwendungsfall hat ein bestimmtes Profil von Mindestanforderungen, die erreicht werden müssen, um das erwünschte Leistungsversprechen für die Nutzer:innen erfüllen zu können.

So muss beispielsweise ein ÖPNV Shuttle Überland unter allen Sichtverhältnissen fahren und eine Geschwindigkeit von zumindest 60–70 km/h erreichen können usw. Dass dies nicht unter allen Straßenverhältnissen und Verkehrsverhältnissen möglich sein wird, ist selbstverständlich und entspricht auch der Verpflichtung der Straßenverkehrsverordnung (StVO), Geschwindigkeit und Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug an die jeweiligen Wetterbedingungen anzupassen. Da die Anforderungen bei einem ÖPNV Shuttle Überland hinsichtlich Geschwindigkeit oder dem Zeitpunkt der In-Verkehr-Bringung unter optimalen Verhältnissen durch ihr Anforderungsprofil gemessen am aktuellen Stand der Technik sehr herausfordernd sind, müssen deutliche Restriktionen bezogen auf Verkehrsverhältnisse und Verkehrsaufkommen in Kauf genommen werden. Diese können jedoch durch die Gestaltung der Straßeninfrastruktur und die Führung der Verkehrswege beispielsweise durch einen für den ÖPNV reservierten Fahrstreifen oder eine Einbahnregelung gewährleistet werden.

Im Bereich ländlicher Straßennetze wird es allerdings aus Gründen des Flächen-sparens und Landschaftsschutzes selten möglich sein, dem ÖPNV eigene Fahrtrassen zu reservieren; bislang gibt es in ländlichen Räumen deswegen auch kaum Busspuren.

Für den Anwendungsfall Ridepooling, wie in Abb. 1.6 dargestellt, sind die Mindestanforderungen an die Bewältigung von Verkehrsverhältnissen und Verkehrsaufkommen

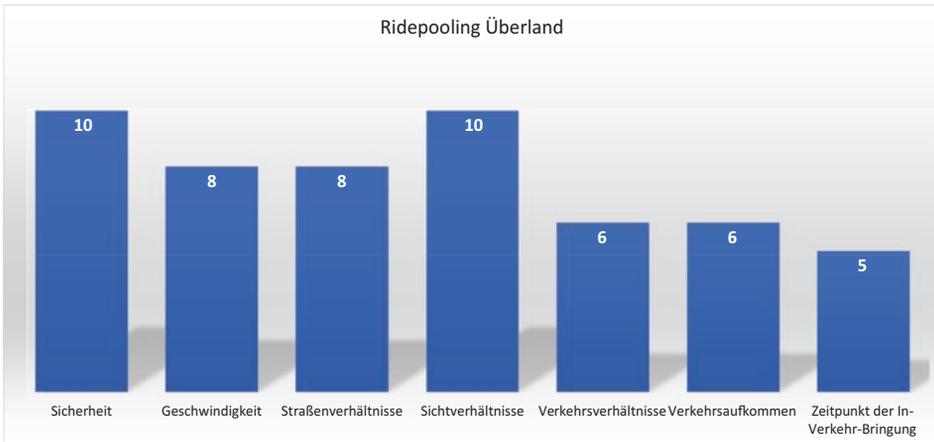


Abb. 1.6 Anwendungsfall Ridepooling

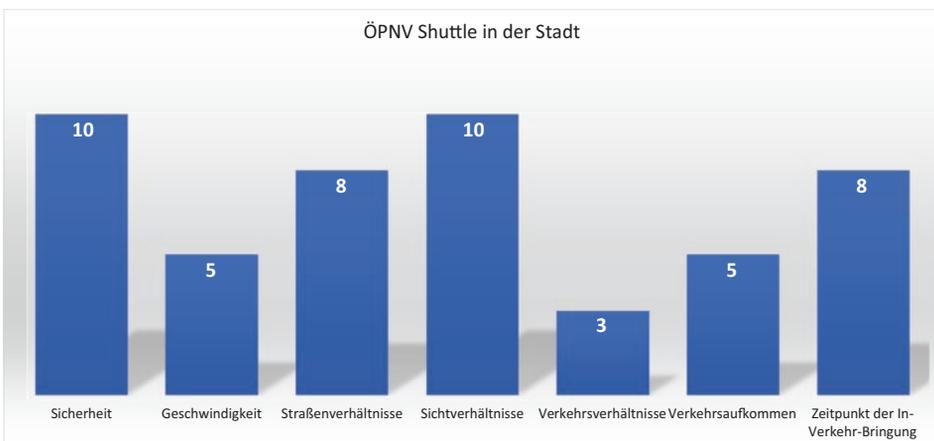


Abb. 1.7 Anwendungsfall ÖPNV Shuttle in der Stadt

deutlich höher bei gleichzeitig hohen Anforderungen an die Geschwindigkeit, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die tatsächliche In-Verkehr-Bringung aufgrund der technischen Restriktionen in unseren Breitengraden mit den entsprechenden Wetterbedingungen nicht kurzfristig möglich sein wird. Dies kann jedoch zum Beispiel in Kalifornien ganz anders aussehen, da bei Trockenheit, viel Sonnenschein und praktisch keinem Schnee ganz andere Bedingungen herrschen.

Abb. 1.7 zeigt das Beziehungsfeld der einzelnen Parameter zueinander für den Anwendungsfall eines ÖPNV-Shuttles in der Stadt, beispielsweise in einer Kleinstadt, das innerhalb der nächsten Jahre in Betrieb gehen soll. Dieses fährt kürzere Strecken.

Auf die Geschwindigkeit kommt es daher weniger an. Auch können bei einer klugen Verkehrsführung wie der Einführung eines Einbahnverkehrs auf den Linien, auf denen das Shuttle fährt, und der baulichen Abtrennung eines Radstreifens die Verkehrsverhältnisse deutlich verbessert werden, sodass die Einführung eines innerstädtischen ÖPNV mit Level 4 automatisierten Fahrzeugen in der Stadt schon relativ kurzfristig möglich sein wird. Allerdings ist hier die Einschränkung zu machen, dass in Kleinstädten mit historischen Innenstädten und engmaschigen, verwinkelten Straßennetzen selten Platz für separate Fahrspuren für den ÖPNV und für den Radverkehr vorhanden sind, sodass hier häufig Mischverkehr von Kfz- und Radverkehr und oft auch Fußverkehr auf sog. Mischflächen (verkehrsberuhigter Bereich, Shared Space, Begegnungszone) sowie in Fußgängerbereiche integrierter Busverkehr angetroffen wird. Durch die Reduktion der Geschwindigkeit beispielsweise auf 10 km/h dürften selbst Begegnungszonen bereits in Kürze für automatisierte Shuttle möglich sein. Vermutlich braucht es eine gewisse Zeit, bis die Menschen sich an die neuen Verkehrsteilnehmer in der Begegnungszone gewöhnt haben. Dann sollte auf jeden Fall eine langsame, jedoch flüssige Fahrt des automatisierten Shuttles gelingen.

Es wird deutlich, dass die Einführung von Transportdienstleistungen für Menschen und Güter mittels automatisierter Fahrzeuge eine klare Vision der Mobilität der Menschen und des Verkehrssystems in der Region oder in der Stadt voraussetzt. Die Integration automatisierten Fahrens im ländlichen Raum als Überlandverbindung, am Stadtrand größerer Städte oder in einer Kleinstadt bedarf immer der Analyse und mitunter auch der Umgestaltung der Räume, in denen automatisierte Fahrzeuge fahren sollen. Meist ist diese Umgestaltung aber ohnehin aus Gründen der Verkehrsberuhigung und besseren Lenkung des KFZ-Verkehrs seit längerem notwendig. Häufig steht die Anpassung von Ortsdurchfahrten klassifizierter Straßen auf der politisch-planerischen Agenda. In diesem Zusammenhang ist der Umgang mit dem ruhenden KFZ-Verkehr ein wichtiger Hebel, weil das Überparken des öffentlichen Raums die Verbesserungsoptionen stark einschränkt. Daher sind kommunale Parkraumkonzepte ein wichtiger Schritt, die Anwendung eines automatisierten ÖPNVs zu erleichtern und gleichzeitig im Kontext von Push-Pull-Strategien dem ÖPNV zusätzliche Nachfragepotenziale zu eröffnen.

1.2 Entwicklung des automatisierten Fahrens – ein Überblick

Cornelie van Driel, Bettina Abendroth, Torsten Fleischer und Jens Schippl

1.2.1 Einleitung

Gut funktionierende, sichere und nachhaltige Mobilitätssysteme sind eine entscheidende Voraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung und eine hohe Lebensqualität. Das auto-

matisierte und vernetzte Fahren (avF) wird in naher Zukunft völlig neue Möglichkeiten für unsere Mobilität bereithalten (BMVI 2017). Dementsprechend geht avF mit weitreichenden Erwartungen und Visionen einher: Viele Experten erwarten, dass Fahrzeuge zukünftig auf ausgewählten Streckenabschnitten oder bei bestimmten Verkehrssituationen automatisiert fahren oder sogar gänzlich ohne menschlichen Fahrer auskommen, miteinander kommunizieren und sich gegenseitig vor Gefahren warnen. Die Daten dafür liefern die Fahrzeuge selbst oder intelligente Informationssysteme entlang der Verkehrswege. Das alles soll dabei helfen, schwierige Fahrsituationen künftig besser zu meistern, noch sicherer unterwegs zu sein und zugleich den Verkehr effizienter zu gestalten.

Zudem birgt avF vielversprechende Chancen, um Mobilität anders zu organisieren. Verschiedene neue, oder zumindest verbesserte, Mobilitätsangebotsformen werden diskutiert und teilweise auch schon in Pilotprojekten getestet. Ganz entscheidend für die verkehrlichen Wirkungen und damit auch für die gesellschaftlichen Implikationen automatisierten Fahrens ist die Frage, ob automatisierte Fahrzeuge wie ein privater Pkw genutzt werden oder eher als grundsätzlich öffentlich zugängliches Fahrzeug, wie z. B. ein Taxi (oft Robo-Taxi genannt), ein Car-Sharing-Fahrzeug oder auch wie ein öffentlicher Bus (z. B. automatisiertes Shuttle). Gerade auch außerhalb der großen Städte könnten flexible, fahrerlose Angebote neue Alternativen zum privaten Pkw ermöglichen. Bisher ist aber offen, inwiefern sich zukünftig welche individuellen oder kollektiven Angebots- und Nutzungsformen von avF durchsetzen (Fleischer und Schippl 2018). Vielfach wird im Kontext von avF mit Visionen, Szenarien und Modellierungen gearbeitet, die versuchen, verschiedene plausible Entwicklungspfade mit ihren möglichen Wirkungen greifbar zu machen. In der Regel werden in diesen Visionen von den Autoren als erstrebenswert erachtete, zukünftige Zustände beschrieben. In Szenarien werden meistens unterschiedliche mögliche Entwicklungspfade skizziert. Teilweise werden zudem in „Roadmaps“ oder ähnlichen Dokumenten Entwicklungsschritte oder Bausteine, die zur Realisierung eines bestimmten zukünftigen Zustands erforderlich sind, explizit benannt. Vereinzelt werden auch Wirkungen unterschiedlicher Szenarien diskutiert und/oder über Modelle quantifiziert.

In diesem Beitrag möchten wir ausgewählte Visionen und Szenarien beleuchten, die mögliche, avF-basierte Mobilitätsangebote und Nutzungsformen in den Mittelpunkt stellen und damit prägend sind für die aktuelle Diskussion zur Zukunft von avF in Europa. Darunter findet sich auch ein Beispiel für eine Roadmap und eines für eine modellbasierte Wirkungsanalyse. Die Auswahl fokussiert auf Dokumente, die auf europäischer Ebene erarbeitet wurden, von den Institutionen der EU oder von international agierenden Verbänden aus dem Mobilitätssektor. Die angesprochenen Visionen orientierten sich an der in Europa, und besonders in der europäischen Kommission, vorherrschenden Erwartung, dass hoch- und vollautomatisiertes Fahren (z. B. Fahrzeuge ohne Lenkrad) sich nur realisieren lässt, wenn die Fahrzeuge sowohl untereinander wie

auch mit der Infrastruktur (z. B. Lichtsignalanlagen oder Baustellen) vernetzt sind und kommunizieren¹. Zuerst blicken wir aber kurz zurück in die Historie des automatisierten Fahrens.

1.2.2 Historie des automatisierten Fahrens

Die Idee der Automatisierung des Straßenverkehrs (genauer eigentlich: der Automatisierung bestimmter Fahraufgaben im Straßenverkehr) lässt sich technikgeschichtlich mindestens bis in die 1930er-Jahre zurückverfolgen – und einige der heute in Aussicht gestellten Effekte werden schon damals benannt. Allerdings setzten die technischen Realisierungen zunächst stark auf infrastrukturseitige Komponenten, was ihre Umsetzung sehr wahrscheinlich teuer und institutionell komplex werden ließ. Nach eher isolierten Anstrengungen in den 1970er-Jahren beginnt eine neue starke Welle von Aktivitäten zur Fahrzeugautomatisierung in den 1980er-Jahren. Sie steht im Zusammenhang mit mehreren Trends in Wissenschaft und Technik, beispielsweise der Miniaturisierung und Leistungssteigerung bei der Informationsverarbeitung, neuer Sensortechnik und „Computerssehen“ sowie Verfahren der „Künstlichen Intelligenz“, wie auch im Kontext industrie- und sicherheitspolitischer Entwicklungen. Beispielhaft zu nennen sind hier etwa amerikanische DARPA-Programme zur Entwicklung autonomer Landfahrzeuge (ALV, Navlab) oder das europäische Forschungsprogramm „PROMETHEUS“ (1987–1994). Vor allem Letzteres, aber auch spätere Nachfolgeprogramme in den USA und Europa wurden weniger als reine Technikentwicklungsanstrengungen als vielmehr als zentraler Teil verkehrspolitischer Lösungsstrategien begründet – durch die Zusammenführung von Verkehrstechnik mit Informations- und Kommunikationstechnik sollten die unerwünschten sozialen und ökologischen Folgen vor allem des motorisierten Individualverkehrs reduziert und zugleich seine Vorteile weiter genutzt werden können. Dies machte es einerseits einfacher, notwendige Ressourcen zu mobilisieren, andererseits rückten diese Aktivitäten aus der Technologiepolitik in die deutlich kontroversere und viel stärker Konjunkturen unterliegende Verkehrspolitik. Entsprechend bewegt waren die politische und mediale Aufmerksamkeit und Unterstützung in den Folgejahren.

Die aktuelle „Welle“ des autonomen Fahrens beginnt Mitte der 2000er-Jahre. DARPA hatte sich das Ziel gesetzt, fahrerlose, automatisierte Fahrzeuge für den militärischen Gebrauch entwickeln zu lassen, und veranstaltete zwischen 2004 und 2007 drei sogenannte DARPA Grand Challenges – Wettbewerbe um Preisgelder, in deren Rahmen vollständig autonome Bodenfahrzeuge umfangreichere Kurse innerhalb einer begrenzten

¹Es sei an dieser Stelle nur darauf hingewiesen, dass einige wichtige Akteure, oft mit US-amerikanischem Hintergrund, eher eine Vision vermitteln, in der automatisierte Fahrzeuge perspektivisch auch ohne größere Vernetzung auskommen.

Zeit zu absolvieren hatten. Diese Wettbewerbe führten nicht nur die meisten damals wichtigsten in diesem Thema arbeitenden Forschungsgruppen aus den westlichen Industrieländern zusammen; eine ganze Reihe der bei diesem Wettbewerb Aktiven nahm anschließend (bzw. nimmt bis heute) Schlüsselpositionen bei weiteren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ein. Aus den Teilnehmern rekrutierte beispielsweise Google das Team für sein 2009 gestartetes, zunächst noch geheimes „Project Chauffeur“ mit dem Ziel der Entwicklung eines alltagstauglichen selbstfahrenden Fahrzeuges. Das Unternehmen machte seine Arbeiten und Ambitionen Ende 2010 öffentlich und formulierte in einem Artikel in der New York Times im Herbst 2011 das bis heute gültige „expectation statement“ für aktuelle Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens. Dieses umfasst in der Regel vier Leistungsversprechen: (a) die Verbesserung der Verkehrssicherheit (gemessen bspw. als Reduktion der Zahl der Unfälle oder der Anzahl der Toten und Verletzten im Straßenverkehr), (b) die Erhöhung der verkehrlichen Effizienz (etwa durch Verbesserung des Verkehrsflusses, die Reduktion von Energieverbrauch und Emissionen und vor allem auch durch die Ermöglichung neuer, effizienterer Mobilitätsdienstleistungen), (c) die Ermöglichung von individueller motorisierter Mobilität für bisher davon ausgeschlossene Gruppen (wie Menschen mit körperlichen oder altersbedingten Einschränkungen oder Kinder und Jugendliche) und (d) eine Optimierung der Zeitnutzung, in dem die eigentlich für die Fahraufgabe aufzuwendende Zeit für andere, mutmaßlich produktivere Aktivitäten genutzt werden könne.

Zugleich begründete sich daraus eine neue industriepolitische Herausforderung, weil damit erstmal ein Unternehmen der sogenannten Plattformwirtschaft neben die etablierten Vertreter der Fahrzeugindustrie und der Verkehrswirtschaft trat. Entsprechend werden die Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens seitdem vor allem in den Ländern vorangetrieben, in denen die global wichtigen Player dieser Branchen ansässig sind, gelten diese doch als jeweils volkswirtschaftlich relevante Industrien und erfreuen sich mithin unmittelbarer und mittelbarer politischer Unterstützung. In Deutschland verabschiedete die Bundesregierung bereits 2015 ihre „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten“ (BMVI 2015), in der die industrie- und verkehrspolitische Bedeutung der vorgenannten Entwicklungen unterstrichen und festgehalten wird, dass Deutschland den digitalen Innovationszyklus in diesem Bereich bestimmen sowie seine Position als Leitanbieter weiter ausbauen und Leitmarkt werden sollte. Seitdem entwickelte sich in Deutschland, aber auch in anderen wichtigen Industrieländern eine hohe politische, regulatorische und mediale Dynamik rund um das autonome Fahren und die Diskussion seiner Möglichkeiten und Folgen. Beispielhaft können hier die Arbeit der vom BMVI eingesetzten Ethik-Kommission „Automatisiertes und Vernetztes Fahren“ zwischen September 2016 und Juni 2017, die beiden in den Jahren 2017 und 2021 durchgeführten legislativen Verfahren zur Integration von Aspekten des automatisierten Fahrens in das deutsche Straßenverkehrsgesetz oder die Novelle des Personenbeförderungsgesetzes 2021 genannt werden. Parallel dazu ist eine umfangreiche Forschungs- und Förderlandschaft

entstanden, in deren Rahmen automatisierte Fahrzeuge und Mobilitätskonzepte entwickelt sowie im Zuge von Feldversuchen und Reallaboren erprobt werden.

1.2.3 Visionen und Ziele des automatisierten Fahrens

Weltweit gibt es hohe Erwartungen: Das automatisierte und vernetzte Fahren wird in naher Zukunft völlig neue Möglichkeiten für unsere Mobilität bereithalten (BMVI 2017). Durch die zunehmende Digitalisierung werden sich Fahren, Reisen und der Transport von Gütern grundlegend ändern. Autos werden miteinander kommunizieren und sich gegenseitig vor Gefahren warnen. Die Daten dafür liefern die Fahrzeuge selbst oder intelligente Informationssysteme entlang der Verkehrsadern. Das alles wird uns dabei helfen, schwierige Fahrsituationen künftig besser zu meistern und noch sicherer unterwegs zu sein.

Vision 2050

In der Vision 2050 von ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council, ein von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Akteuren gemeinsam getragenes Stakeholder-Forum für Straßenverkehrstechniken) stehen Nutzer und Nutzung im Jahr 2050 im Zentrum einer Entwicklung, bei der der Technologiebedarf aus gesellschaftlichen Zielen abgeleitet wird (ERTRAC 2021). Fahrzeuge und Dienstleistungen werden auf der Grundlage der Bedürfnisse von Regionen, Städten und Gemeinden und ihren Bürgern entwickelt und sind ein integrierter Bestandteil der Programme dieser Interessengruppen, um ihre Ziele zu erreichen. Als Ergebnis bietet die europäische Industrie wettbewerbsfähige, attraktive und bezahlbare Dienstleistungen und Fahrzeuge, die Mobilität und Zugang zu Gütern für alle Menschen unabhängig von ihrem geografischen Standort, ihrer digitalen Erfahrung und individuellen Merkmalen wie Alter, Einkommensniveau oder Geschlecht gewährleisten. Vision 2050 kann als eines der Schlüsseldokumente missionsorientierter Innovationspolitik der Europäischen Union im Verkehrssektor betrachtet werden.

Im Jahr 2050, so die Vision, werden die Verkehrsträger in Echtzeit synchronisiert, da alle digital und physisch miteinander verbunden sind und so die beste Lösung für alle Reise- und Transportbedürfnisse bieten. Der nahtlose Transport wird die Mobilitätsnachfrage zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort bedienen und die Bedürfnisse der Benutzer erfüllen. Ausgereifte Technologien ermöglichen die Kombination innerstädtischer Anwendungsfälle wie den supereffizienten Transport von Personen und Gütern auf der letzten Meile.

Mit der „Kooperation“ von ÖPNV- und Individualverkehrsanbietern sollen im Jahr 2050 die Nutzerbedürfnisse nach individuellem, privat geteiltem oder öffentlich geteiltem Verkehr in einem Ordnungsrahmen eines integrierten Verkehrsmanagementsystems, das sowohl die Nutzerbedürfnisse als auch die regionalen und gesellschaftlichen Verkehrsziele unterstützt, optimal gestaltet werden können. Der Straßenverkehr

wird mit dem Schienen-, Wasser- und Luftverkehr kooperieren und die Konzepte von „Mobility and Transport as a Service“ (MaaS/TaaS) werden es den Menschen ermöglichen, ihre Bedürfnisse ohne aufwendige Vorplanung (wie heute) mit einer verlässlichen Kosten- und Zeitprognose für alle notwendigen Verkehrsträger zu erfüllen.

Damit einher geht die Erwartung, dass im Jahr 2050 Fahrzeuge zu 100 % in Echtzeit in das jeweilige Straßennetz eingebunden sein werden und das Transportmanagementsystem auch für den Remote-Betrieb die entsprechende Servicequalität aufweist. Alle neu zugelassenen Fahrzeuge verfügen über eine Automatisierung, jedoch in unterschiedlichen Stufen:

- Ein Großteil der Shuttles, Busse und Lieferfahrzeuge in Städten wird autonom fahren, unterstützt von einer Leitstelle, um das Angebot des öffentlichen Nahverkehrs zu erweitern und den Zugang zu bisher unterversorgten Gebieten zu ermöglichen sowie das Verkehrsaufkommen insgesamt zu reduzieren.
- Nahezu alle Fahrzeuge auf Autobahnen können ohne sofortiges Eingreifen des Fahrers betrieben werden und geben so dem Fahrer die Fahrzeit zurück.
- Alle Pkw und Lkw auf allen Straßen werden mit sehr ausgeklügelten Assistenzsystemen ausgestattet sein, einschließlich Reaktionen auf Ampeln, Kreisverkehre usw., und so die Unfälle auf nahezu null reduzieren sowie die Emissionen (z. B. von Reifen und Bremsen) weiter reduzieren.
- Auch im Offroad- und Baubereich wird ein komplett autonomer Betrieb üblich sein.

Damit solche Visionen verwirklicht werden können, ist das automatisierte und vernetzte Fahren in Europa in verschiedenen EU-Richtlinien fest verankert.

Verankerung von avF in der EU-Strategie

Das 2018 von der Europäischen Kommission veröffentlichte *3. Mobilitätspaket* (Europäische Kommission, 2018a) bekräftigte die Ambitionen der EU für die Straßenverkehrssicherheit in Richtung Vision Zero und enthält eine Mitteilung „Auf dem Weg zur automatisierten Mobilität: eine EU-Strategie für die Mobilität der Zukunft“ (Europäische Kommission 2018b) mit Zielen und Maßnahmen zur Beschleunigung der Einführung vernetzter und automatisierter Fahrzeuge mit dem Ziel, Europa in diesem Bereich weltweit führend zu machen.

Die 2020 veröffentlichte *Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität* (Europäische Kommission 2020) hat die Bedeutung von Konnektivität und Automatisierung im zukünftigen EU-Verkehrssystem weiter gestärkt. Beispielsweise soll als Etappenziel bis 2030 die automatisierte Mobilität in großem Maßstab eingeführt werden. In Leitinitiative 6 „Verwirklichung einer vernetzten und automatisierten multimodalen Mobilität“ wird betont, dass vernetzte und automatisierte Systeme ein enormes Potenzial haben, das Funktionieren des gesamten Verkehrssystems grundlegend zu verbessern und zu unseren Nachhaltigkeits- und Sicherheitszielen beizutragen. Der Schwer-

punkt der Maßnahmen wird darauf liegen, die Integration der Verkehrsträger in ein funktionierendes multimodales System zu fördern.

Der *European Green Deal* (Europäische Kommission 2019) ist die politische Initiative der EU, die darauf abzielt, Europa bis 2050 klimaneutral zu machen. Die vernetzte und automatisierte Mobilität wird in dieser Politik für ihre nutzbringende Rolle für neue nachhaltige Mobilitätsdienste anerkannt: Gut integriert in das Verkehrssystem kann avF positive Umweltauswirkungen durch Reduzierung von Emissionen und Staus, durch optimierte Kapazitäten, reibungslosere Verkehrsflüsse und Vermeidung unnötiger Fahrten erzeugen. Vor allem in Städten sollte der Verkehr drastisch weniger umweltschädlich werden. Die Emissionen, die Verkehrsüberlastung in den Städten und die Verbesserung des öffentlichen Verkehrs sollten mit einer Kombination von Maßnahmen angegangen werden.

Im März 2021 stellte die Europäische Kommission eine Vision und Wege für den *digitalen Wandel Europas* bis 2030 vor (Europäische Kommission 2021). Für Mobilität liegt das Potenzial des digitalen Wandels in digitalen Lösungen für eine vernetzte und automatisierte Mobilität, die ein großes Potenzial bieten für die Verringerung von Verkehrsunfällen, die Verbesserung der Lebensqualität und eine gesteigerte Effizienz der Verkehrssysteme, auch in Bezug auf ihren ökologischen Fußabdruck. Insbesondere der Bereich der sicheren, leistungsfähigen und tragfähigen digitalen Infrastrukturen steht in direktem Zusammenhang mit den digitalen Technologien, die für die Ermöglichung und Weiterentwicklung von avF entscheidend sind: Konnektivität, Halbleiter, Edge- und Cloud-Computing sowie Quanteninformatik.

1.2.4 Roadmap des automatisierten Fahrens

Einer der wichtigsten Roadmaps für die technologische Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens in Europa ist seit vielen Jahren die Roadmap von ERTRAC. Deren Hauptziel besteht darin, eine gemeinsame Sicht der Interessengruppen zur langfristigen Entwicklung der vernetzten, kooperativen und automatisierten Mobilität in Europa bereitzustellen. Bei der Erstellung dieser Roadmap wurden auch andere Roadmaps berücksichtigt (z. B. ACEA-Roadmap, US-CAR-Roadmap, UK-Zenzic-Roadmap, Roadmaps des C2C-Konsortiums und 5GAA).

Folgende vier Domänen von Produkten und Dienstleistungen im avF-Bereich im Zeithorizont bis 2030 bilden den Kern der Roadmap:

- Autobahnen: Wahrscheinlich die ersten industrialisierten Lösungen des avF ohne Verantwortung des Fahrers
- Eingeschränkte Bereiche: Verschiedene Anwendungsfälle, in denen leichtere Verkehrsbedingungen eine frühe Demonstration in einem festgelegten Betriebsbereich (ODD) fördern

Domäne	Anwendungsfälle (Beispiele)
Autobahnen und Korridore	<ul style="list-style-type: none"> • Stau-Chauffeur: L3 im Stau bis 60km/h, vorausfahrendes Fahrzeug, optional mit Spurwechsel. Das System kann das Fahrzeug sicher zum Halt bringen. • Autobahn-Chauffeur: L3 auf Autobahn bis 130 km/h, inklusive Fahrstreifenwechsel. Das System kann das Fahrzeug auf dem Standstreifen sicher zum Halt bringen. • Sicheres Auto-Folgen: L4 auf Autobahnen bis 130 km/h. Kein Eingreifen des Fahrers erforderlich. • Hub-to-Hub-Transport: L4-Transport zwischen Terminals/Hubs in ausgewählten überwachten Korridoren.
Eingeschränkte Bereiche	<ul style="list-style-type: none"> • L4 Car Valet Parking zur Verbesserung des Komforts und der Effizienz der Parkanlage • L4 Shuttles in langsamerer Geschwindigkeit in Sperrzonen ohne Sicherheitsfahrer (Fernüberwachung) für Personen und Güter • L4 Bus selbstfahrend im Lagerbetrieb zur Verbesserung der Sicherheit und Produktivität • L4 Unbemannter Lkw-/Anhängerbetrieb im Terminal/Hub zur Verbesserung der Produktivität und Sicherheit
Städtischer Mischverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsfälle sind Level 4 Anwendungen in folgenden Kategorien: • Eingeschränkte Anwendungen wie automatisiertes Parken, abgesperrte Bereiche mit niedriger Geschwindigkeit • Anwendungsfälle auf eigenen Fahrstreifen • Transport von Personen und Gütern auf der letzten Meile, z. B. in Wohngebieten • Bus(ähnliche) Anwendungen auf vordefinierten Strecken im Mischverkehr • Taxiähnlicher Betrieb auf flexiblen Strecken in einem definierten Straßennetz
Landstraßen	<ul style="list-style-type: none"> • “Lower level” Anwendungen, wie automatische Notbremsung, Spurhaltewarnsystem, adaptive Geschwindigkeitsregelung, Lenk- und Spurführungsassistent • Fahrerlose Shared- und/oder Public-Shuttle-Dienste auf vordefinierten Routen • Automatisierte Kommunaldienste, z. B. Müllabfuhr • Erste/letzte Meile Lieferdienst mit sehr kompakten, langsam fahrenden automatisierten Fahrzeugen

Abb. 1.8 Beispiele von Anwendungsfällen verschiedener avF-Domänen. (extrahiert, übersetzt und adaptiert nach ERTRAC CCAM Roadmap 2021; mit freundlicher Genehmigung von © ERTRAC Office, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

- Städtischer Mischverkehr: Der wichtigste Beitrag zu gesellschaftlichen Zielen
- Landstraßen: Größte Herausforderung, hohe Fahrzeuggeschwindigkeit mit voller Verkehrskomplexität zu kombinieren

Die vier Domänen unterscheiden sich in verschiedenen Eigenschaften, entwickeln sich in unterschiedlichen Zeiträumen und bieten eine große Vielfalt von Anwendungsfällen. Abb. 1.8 zeigt Beispiele von möglichen Anwendungsfällen in diesen Domänen.

1.2.5 Allgemeine Entwicklungsszenarien von avF

Die trilaterale Arbeitsgruppe (EU, USA und Japan) „Automation in Road Transportation“ (ART WG) hat sich gemeinsam mit der europäischen Koordinierungs- und Unterstützungsmaßnahme CARTRE mit den Auswirkungen von avF in unterschiedlichen Szenarien beschäftigt (Barnard et al. 2019). In einer Expertendiskussion wurden anhand einer szenariobasierten Bewertung die Auswirkungen von möglichen Zukunftsszenarien verglichen. Die folgenden vier Szenarien wurden verwendet, mit Unterschieden in Bezug auf geteilte versus private Mobilität und Beteiligung der öffentlichen Hand (siehe auch Abb. 1.9):

1. Ein kurzfristiges Szenario (~2025), bei dem der Fokus auf dem schrittweisen Ausbau automatisierter Dienste liegt

	KURZFRISTIGES SZENARIO (~2025)	LANGFRISTIGES SZENARIO (~2035)		
	Szenario 1 <i>Schrittweise Extrapolation automatisierter Dienste</i>	Szenario 2 <i>Private Anbieter automatisierter Shared Mobility</i>	Szenario 3 <i>Behörden- getriebene automatisierte Shared Mobility</i>	Szenario 4 <i>Verbreitung privater automatisierter Fahrzeuge</i>
Technologie automatisierter Fahrzeuge	Schrittweise Einführung automatisierter Fahrfunktionen	Ausgereifte SAE Level 4 Fahrzeuge haben einen Anteil von >50% im Mischverkehr		
Nutzung Shared Mobility Dienstleistungen	Hohes Interesse, Nutzung durch „early adaptors“	Hoch	Hoch	Niedrig
Einflusssphäre	Vorsichtige, aber begeisterte öffentliche Unterstützung vor avF & Mobilitätsdienstleistungen	Privat	Öffentliche & private Kooperation	Privat

Abb. 1.9 Vier mögliche Entwicklungsszenarien von avF. (adaptiert nach Rämä et al. 2018; mit freundlicher Genehmigung von © CARTRE/I.R. Wilmink, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

2. Ein langfristiges Szenario (~2035) mit einem Verkehrssystem, in dem die Automatisierung parallel zur Shared Mobility entsteht und die Flotten automatisierter Fahrzeuge von privatwirtschaftlichen Anbietern betrieben sind
3. Ein langfristiges Szenario (~2035), in dem die Automatisierung durch öffentliche Organisationen getrieben ist und der Fokus auf dem kollektiven (öffentlichen) Verkehr liegt, der durch Shared Mobility unterstützt wird
4. Ein langfristiges Szenario (~2035), in dem automatisierte Fahrzeuge überwiegend in Privatbesitz sind und Shared Mobility nicht erfolgreich ist

Die Expertengruppe bewertete die Richtung² (steigend oder fallend) und das Ausmaß der Auswirkungen (auf einer Skala von 1–5, wobei 1=keine Änderung und 5=große Änderung bedeutet) sowie die mit den Schätzungen verbundene Unsicherheit (drei Abstufungen). Folgende aus städtischer Sicht interessante Wirkungsbereiche wurden betrachtet: Mobilität und Reiseverhalten, öffentliche Gesundheit und Sicherheit sowie Landnutzung. Die Expertenbewertung geschah zunächst individuell, dann wurde in Gruppendiskussionen ein Konsens gesucht.

Es wurde angenommen, dass das langfristige Szenario 3 (automatisierter öffentlicher Verkehr) die positivsten Auswirkungen hat. Die negativsten Auswirkungen wurden für das Szenario 4 (automatisierte Privatwagen) geschätzt. Es wurde jedoch angenommen, dass in allen Szenarien einige positive Effekte erzielt werden. Es zeigte sich, dass die Auswirkungen im Szenario 2 (marktgetriebene geteilte Mobilität) für die Experten am schwierigsten einzuschätzen waren.

Insgesamt wurden für die Shared-Mobility-Szenarien (2 und 3) positivere Effekte angenommen als für das Privat-Pkw-Szenario (4), vor allem aufgrund der bei letztgenanntem gestiegenen Pkw-Nutzung. Die Experten gehen davon aus, dass eine aktive öffentliche Hand in Szenario 3 die Entwicklung maßgeblich positiv beeinflussen kann.

Angesichts der erwarteten Nutzervorteile von avF besteht allerdings auch die Befürchtung vor negativen gesamtverkehrlichen Effekten von avF. Beispielsweise kann die Automatisierung einzelner privat genutzter Fahrzeuge die Nutzung des Pkw attraktiver machen, da die Zeit im Fahrzeug für andere Zwecke als das Fahren verwendet werden kann (Stark et al. 2018). Folgend werden die Entwicklungsperspektiven für avF im städtischen Raum näher betrachtet.

²Die Änderungsrichtung kann sowohl steigend als auch fallend sein. Die angestrebte Richtung ist diejenige mit voraussichtlich vorteilhaften gesellschaftlichen Auswirkungen. Z. B. ein Rückgang des Reisens würde zwar die Nachteile des Reisens verringern (Unfälle, Umweltauswirkungen, Kosten ...), allerdings soll es das Ziel eines Verkehrssystems sein, Mobilität zu ermöglichen (Rämä et al. 2018).

1.2.6 Entwicklungsperspektiven für avF im städtischen Raum

Weil mit der Einführung des avF die traditionellen Grenzen zwischen den Verkehrssystemen verwischen könnten, werden sie als „Game-Changer“ gesehen (VDV 2015). Denn das automatisierte Fahrzeug kann im Prinzip alles sein: ein privates Auto, ein Taxi, ein Bus, ein Car-Sharing-Fahrzeug oder ein Sammeltaxi. Somit könnte es Teil des öffentlichen Verkehrssystems werden, es könnte aber auch in weiten Teilen die Existenz des heutigen öffentlichen Nah- und Fernverkehrs infrage stellen.

Viele Studien befassen sich mit der Untersuchung von möglichen Auswirkungen der avF-Technologie auf den öffentlichen Nahverkehr. Beispielsweise wird hier die Fallstudie von Almlöf et al. (2019) erwähnt. Neben Automatisierung ist Shared Mobility ein wichtiges Konzept, das als (Teil-)Lösung der Verkehrsprobleme in Städten wahrgenommen wird. In einer Simulation des Nachfragemodells wurden die Auswirkungen des avF auf das Verkehrssystem in Stockholm untersucht und vier verschiedene Szenarien entlang der beiden Dimensionen Sharing (niedrig/hoch) und Entwicklung des öffentlichen Verkehrs (passive/aktive öffentliche Hand) betrachtet (Almlöf et al. 2019). Für die Dimension Sharing wurden zwei verschiedene Fälle für den Einsatz von Fahrzeugen angenommen:

- Im ersten Fall ist das Auto noch in Privatbesitz und darf nur für private Fahrten innerhalb jedes Haushalts verwendet werden. Das Auto ist jedoch zugänglich für Personen ohne Führerschein, z. B. Kinder.
- Im zweiten Fall wird Sharing eingeführt und ein Taxidienst basierend auf fahrerlosen Autos angenommen. Der Taxidienst kann von jedermann abgerufen werden, und nach Beendigung der Fahrt holt das Auto den nächsten Fahrgast ab.

Für die Dimension Entwicklung des öffentlichen Verkehrs wurden zwei verschiedene Fälle von öffentlichen Verkehrsdiensten herangezogen:

- Mit einer passiven öffentlichen Hand funktioniert das öffentliche Verkehrssystem im Wesentlichen wie heute, jedoch mit einem starken Anstieg des Serviceniveaus.
- Mit einer aktiven öffentlichen Hand wird eine neue Art von On-Demand-ÖV entwickelt. In diesem Dienst sind die Hauptlinien mit hoher Kapazität noch intakt, aber mit einer Substitution von Nebenlinien mit einem On-Demand-Shuttle-Service.

Die Modellergebnisse zeigen, dass das erhöhte Serviceniveau im öffentlichen Verkehr einen relativ geringen Einfluss auf die Nachfrage hat. Im Gegensatz dazu führt der Übergang von einem privaten Pkw zu einem taxiähnlichen Dienst zu erheblichen Rückgängen im öffentlichen Verkehr, Zufußgehen und Radfahren. Auch wenn der Autoverkehr in den Simulationen zugenommen hat, bleibt der öffentliche Verkehr das wichtigste Verkehrsmittel in den zentralen, dichteren Regionen Stockholms, was auf die räumliche Effizienz

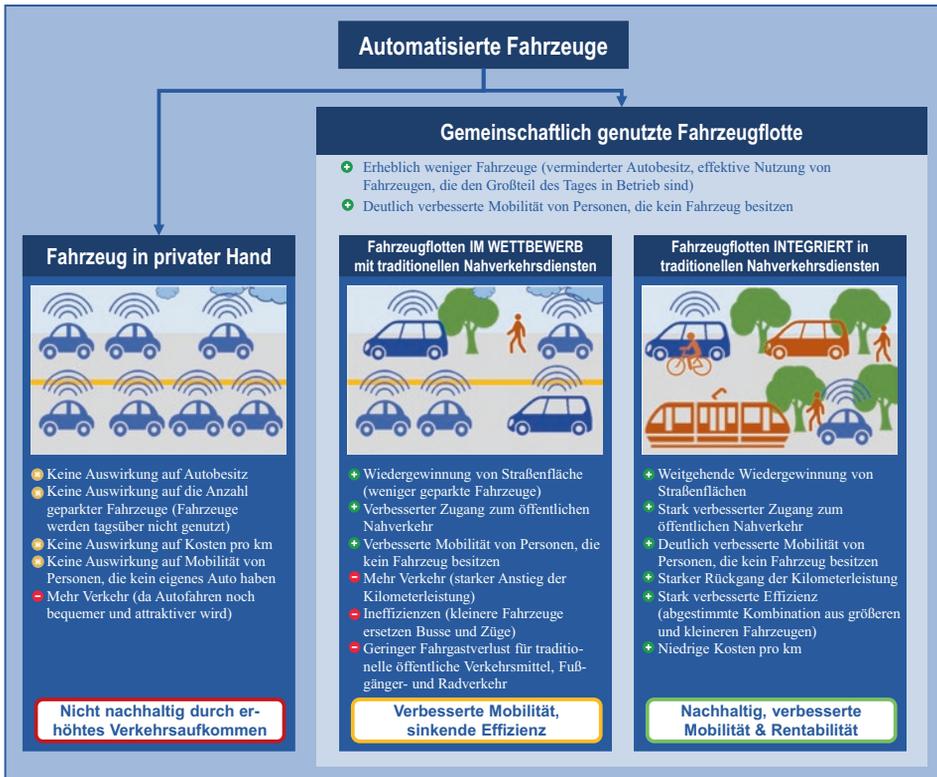


Abb. 1.10 Drei Szenarien der UITP International Association of Public Transport zur Einführung von avF – Optimales Szenario: als gemeinsam genutzte, in den ÖPNV integrierte Fahrzeugflotten. (adaptiert nach UITP International Association of Public Transport 2017 – Policy Brief; mit freundlicher Genehmigung von © UITP International Association of Public Transport ohne kommerziellen Hintergrund 2022. All Rights Reserved)

des öffentlichen Verkehrs hinweist. Insgesamt hängt das Ausmaß der Auswirkungen der selbstfahrenden Technologie wahrscheinlich von geografischen, kulturellen und technologischen Faktoren ab.

Die UITP International Association of Public Transport, als weltweit agierender internationaler Verband für den öffentlichen Verkehr, skizziert ähnliche Szenarien und betont, dass avF nur zur Umsetzung staatlicher Zielvorgaben beitragen können, wenn sie als gemeinsam genutzte Flotten in den ÖPNV eingegliedert sind (UITP International Association of Public Transport 2017; Cerfontaine 2018). Abb. 1.10 zeigt drei Szenarien für die Einführung des avF.

Die UITP International Association of Public Transport empfiehlt, autonome Fahrzeuge in urbanen Räumen als Teil eines aus verschiedenen Komponenten bestehenden Gesamtkonzeptes einzusetzen (Cerfontaine 2018):

- Die Hauptlinien des ÖPNV bleiben bestehen und werden ausgebaut. Sie sind das „Rückgrat“ des urbanen Mobilitätssystems und dienen dazu, die vor allem morgens und abends auftretende Spitzennachfrage mit maximaler Effizienz zu bedienen.
- Automatisierte Minibus-Systeme ersetzen einen Teil des heutigen Busverkehrs. Sie dienen, on demand und im Linienverkehr, als Zubringer zu den ÖPNV-Hauptlinien.
- Automatisierte Kleinbusse im Ridesharing-Modus befriedigen außerhalb der Stoßzeiten die Nachfrage nach innerstädtischen Direktverbindungen.
- Automatisierte Car-Sharing-Taxis geben die Möglichkeit, für einzelne Wege individuell unterwegs zu sein.

Städte und Kommunen sind aufgefordert, durch rechtzeitige Tests und durch regulatorische Maßnahmen hierfür den Rahmen zu schaffen.

Unternehmen im Bereich Car-Sharing haben sich auch mit Einsatzszenarien für autonome Fahrzeuge im ÖPNV bzw. im Umweltverbund beschäftigt. Beispielsweise sind folgende drei primäre Formen denkbar (Zielstorff 2018):

- **Automatisierte Linienbusse:**
Bei diesem Konzept fahren vollautomatisierte Fahrzeuge im Linienverkehr mit festgelegten Haltestellen. Dieses Konzept ist dem klassischen ÖPNV sehr nah und stellt eine Ergänzung zu bestehenden Verkehrslinien dar.
- **Automatisierte Ridesharing-Shuttles:**
Bei diesem Konzept verkehren Shuttle-Busse im Ridesharing-Modus on demand. Es ist noch unklar, ob die Shuttle-Busse am Ende Bestandteil des ÖPNV sein oder aber in Konkurrenz stehen werden.
- **Automatisierte Car-Sharing-Fahrzeuge/„Robo-Taxis“:**
Durch den Einsatz autonomer Fahrzeuge verschmelzen die Betriebsmodelle von Taxi und Car-Sharing zu einer Dienstleistung. Dieses Konzept weist gegenüber dem Ridesharing-Ansatz wegen der geringen Besetzung der Fahrzeuge Nachteile bei der Verkehrsbelastung auf und kann im ungünstigsten Fall zu einem rasanten Anstieg der Verkehrsbelastung führen.

Das Ziel des 3-jährigen und im September 2021 abgeschlossenen Projektes SPACE (Shared Personalised Automated Connected vEhicles) war es, zu untersuchen, wie man den öffentlichen Verkehr in den Mittelpunkt der Revolution der automatisierten Fahrzeuge stellen und zum Aufbau eines kombinierten Mobilitäts-Ökosystems beitragen kann (UITP International Association of Public Transport 2021a). Dazu wurde u. a. eine Liste verschiedener Anwendungsfälle für den Einsatz von avF in Umgebungen mit unterschiedlicher Dichte definiert – von städtischen Umgebungen, Vororten und kleinen Städten bis hin zu ländlichen Gebieten. Abb. 1.11 zeigt 13 Anwendungsfälle, die als Betriebskonzepte von avF identifiziert wurden und in die verschiedenen Umgebungen

Use Cases	Beschreibung der Dienstleistung
1. Erste / letzte Meile-Zubringer zum ÖPNV	<p>Zubringer, feste Strecke, Betriebszeiten parallel zu öffentlichen Verkehrsmitteln mit hoher Kapazität, bedarfsgesteuerte oder feste Haltestellen (z. B. während der Hauptverkehrszeit) und als Shared Mobility.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, Fahrpreis, App, Disposition, Leitstelle.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Gemischter Verkehr, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl.</p> <p>Zielgruppe: Nutzer in Gebieten, die nicht vom Kerngebiet/Netz des öffentlichen Verkehrs abgedeckt werden.</p>
2. Gebietsbezogenes Angebot und Zubringer zum ÖPNV	<p>Näherungsdienst, gebietsbezogen, dynamische Streckenführung, Bedarfshaltestellen und gemeinsame Nutzung.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, Fahrpreis, App, Disposition, Leitstelle.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Gemischter Verkehr, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl.</p> <p>Zielgruppe: Nutzer in Gebieten, die nicht vom Kerngebiet / Netz des öffentlichen Verkehrs abgedeckt werden.</p>
3. Premium Shared Punkt-zu-Punkt-Angebote	<p>Punkt-zu-Punkt-Angebote auf Abruf mit dynamischer Leitweglenkung, als Shared Mobility und mit verlängerten Betriebszeiten.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, App, Disposition, Leitstelle und höhere Fahrpreise.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Gemischter Verkehr, komfortable Fahrzeuge, keine Stehplätze, Begleitperson an Bord, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl, spezielle Ausstattung je nach Zielnutzer.</p> <p>Zielgruppe: Berufstätige, Erwachsene mit Kindern.</p>
4. Shared Punkt-zu-Punkt Angebote	<p>Punkt-zu-Punkt-Angebote auf Abruf bei geringer Nachfrage: dynamische Streckenführung, gemeinsame Nutzung und verlängerte Betriebszeiten.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, Fahrpreis, App, Disposition und Leitstelle.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Begleitperson an Bord, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl.</p> <p>Zielgruppe: Alle Nutzer.</p>
5. Lokale Busangebote	<p>Ersatz für den öffentlichen Personennahverkehr in Kleinstädten, gemeinsam genutzter Flottendienst auf Abruf, dynamische Streckenführung, 24-Stunden-Betrieb.</p> <p>Integration: Ticketing, App, Disposition, Leitstelle und Wartung.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Gemischter Verkehr, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl.</p> <p>Zielgruppe: Alle Nutzer.</p>

Abb. 1.11 Anwendungsfälle automatisierter Fahrzeuge im SPACE-Projekt. (adaptiert nach UITP International Association of Public Transport 2021a – SPACE Project Brief; mit freundlicher Genehmigung von © UITP International Association of Public Transport, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

6. Private Arealangebote	<p>Zubringer zu öffentlichen Verkehrsmitteln und zusätzlicher Service auf privatem Grund, als Shared Mobility, Linienverkehr während der morgendlichen und abendlichen Hauptverkehrszeit - ansonsten auf Abruf. Möglichkeit der Nutzung von Hybridfahrzeugen zur Beförderung von Briefen und kleinen Paketen.</p> <p>Integration: Integration von Informationen.</p> <p>Fahrzeuganforderung: Fußgängerzonen und Mischverkehr, Niederflur, Rampe, Platz für Kinderwagen/Gepäck/Rollstuhl. Schließfächer, wenn es für die Paketzustellung verwendet werden soll.</p> <p>Zielbenutzer: Berufstätige, Studenten, Besucher und Patienten.</p>
7. Schnellbus	<p>Feste Strecke mit hoher Frequenz, feste Haltestellen, getrennte Fahrspur, als Shared Mobility.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, Fahrpreis, App, Disposition und Leitstelle.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Busse mit hoher Kapazität, Rampe</p> <p>Zielgruppe: Alle Nutzer.</p>
8. Schulbus	<p>Punkt-zu-Punkt-Angebote, feste Route mit fester Betriebszeit.</p> <p>Integration: Keine Integration, es sei denn, sie ist Teil des Vertrags.</p> <p>Fahrzeugbedarf: Gemischter Verkehr, größere Kapazität, Zugang für Personen mit eingeschränkter Mobilität</p> <p>Zielgruppe: Studenten</p>
9. Premium Robo-Taxi	<p>Punkt-zu-Punkt-Premiumdienst auf Anfrage; für private Nutzung und sequentielle gemeinsame Nutzung.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Zugang, App, Disposition, Leitstelle</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Auf hohem Komfort ausgelegtes Fahrzeug, ausgestattet mit Premium-Einrichtungen wie WiFi. Geofenced für ein bestimmtes Gebiet,</p> <p>Zielgruppen: Familien, private Gruppen, Arbeitnehmer.</p>
10. Car-Sharing Angebote	<p>Sequenziell gemeinsam genutzte private Angebote nach Bedarf, für einen bestimmten Zeitraum reserviert, dynamische Weiterleitung, verlängerte Betriebszeiten.</p> <p>Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Zugang, App, Disposition und Leitstelle.</p> <p>Fahrzeuganforderungen: Hoher Komfort, Stufe 4, wenn auf ein bestimmtes Gebiet beschränkt, außerhalb der Notwendigkeit, manuell zu fahren, oder SAE Level 5.</p> <p>Zielgruppen: Familien, private Gruppen, Arbeitnehmer.</p>

Abb. 1.11 (Fortsetzung)

11. Depot	Automatisiertes und optimiertes Flottenmanagement im Busdepot (Park- und Lademanagement).
12. Intercity Bus	Feste Langstreckenverbindung zwischen städtischen Gebieten über Autobahnen. Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, App, Disposition und Leitstelle. Fahrzeuganforderungen: Busse mit hoher Kapazität und Rampe. Zielgruppe: Alle Nutzer.
13. Pop-up Shuttle Angebote	Vorübergehender Dienst mit festem Liniennetz, der nur bei Veranstaltungen für eine bestimmte Zeit in Betrieb ist. Integration: Vollständig in das öffentliche Verkehrsangebot integriert: Ticket, Fahrpreis, App, Disposition und Leitstelle. Fahrzeuganforderung: Abhängig von der Veranstaltung. Zielgruppe: Veranstaltungsteilnehmer.

Abb. 1.11 (Fortsetzung)

integriert werden können. Diese Anwendungsfälle werden derzeit auch in anderen Projekten, wie dem aktuellen Projekt SHOW (SHared automation Operating models for Worldwide adoption), berücksichtigt³.

Es wurde im SPACE-Projekt eine High-Level-Referenzarchitektur entwickelt, die darauf abzielt, mithilfe einer sog. Flottenmanagementplattform eine umfassende und nahtlose Integration fahrerloser Fahrzeuge mit anderen IT-Systemen im Mobilitätssystem zu gewährleisten. Abb. 1.12 zeigt diese Referenzarchitektur mit allen wesentlichen Funktionen, um die Integration neuer AV-Flotten in die öffentlichen Verkehrssysteme zu gewährleisten.

Die hier dargestellten Entwicklungsszenarien für die Integration von avF in den öffentlichen Personennahverkehr betrachten vor allem die Durchsetzung von Shared-Mobility-Dienstleistungen, die Stärke der Einflussnahme durch die öffentliche und die private Hand sowie verschiedene Einsatzmöglichkeiten von automatisierten Fahrzeugen unterschiedlicher Größe als Einflussfaktoren auf die Entwicklungspfade. Insgesamt werden positive Auswirkungen auf die Gesellschaft durch den Einsatz von avF im ÖPNV und somit die Stärkung des ÖPNV gesehen. Demgegenüber steht aber auch die Gefahr, dass durch den Einsatz von privaten automatisierten Fahrzeugen sowie taxiähnlichen Diensten automatisierter Fahrzeuge das Fahren komfortabler wird und somit die Verkehrsbelastung insgesamt zunimmt. Die genannten Einsatzszenarien sehen eine Ergänzung der bisherigen Linienbus-Angebote, die z. T. auch als vollautomatisierte Fahrzeuge denkbar sind, durch automatisierte Shuttles als On-Demand- oder Ridesharing-Lösungen sowie automatisierte Car-Sharing-Taxis.

³ Siehe z. B. <https://show-project.eu/use-cases/>

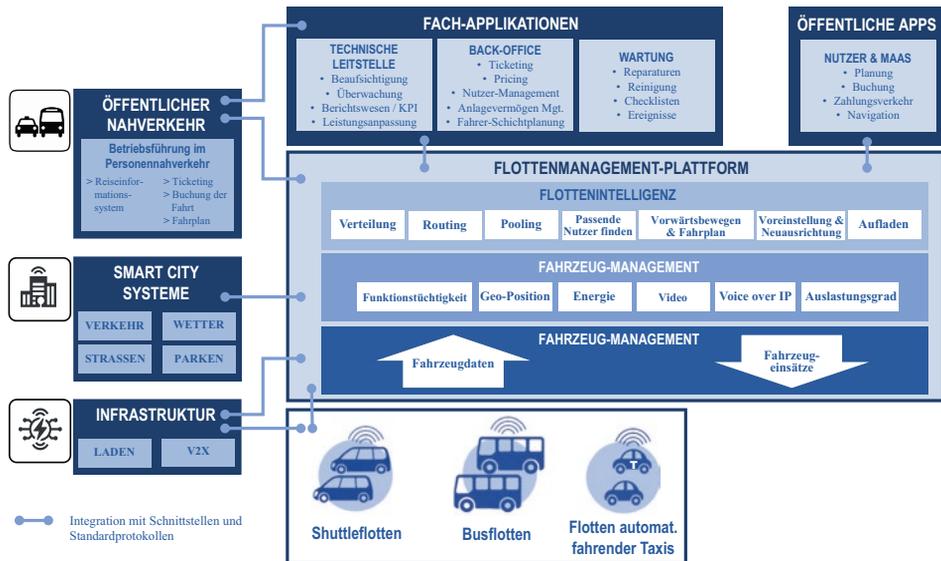


Abb. 1.12 ITSxAV- Referenzarchitektur im SPACE-Projekt. (adaptiert nach UITP International Association of Public Transport 2021a – SPACE Project Brief; mit freundlicher Genehmigung von © UITP International Association of Public Transport, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

1.2.7 Ausblick für die Etablierung von avF

In der Fachwelt der Mobilitätsforschung dominiert die Erwartung, dass avF in absehbarer Zeit zugelassen werden – auch wenn in Teilen der allgemeinen wie auch der Fach-Öffentlichkeit weiterhin Skepsis hinsichtlich der baldigen technischen und organisatorischen Reife herrscht. Wird sich die Automatisierung des Straßenverkehrs als Fluch oder als Segen für Konzepte nachhaltiger Mobilität erweisen? Es gibt viele Herausforderungen für die Etablierung von avF, damit die Potenziale der Technologie ausgeschöpft und unerwünschte Begleiterscheinungen abgemildert bzw. abgewendet werden können.

Mögliche Folgen und Wirkungen des avF

Die Technikfolgenabschätzung sieht sich mit einem für die Disziplin nicht untypischen Dilemma konfrontiert: Einerseits lässt sich angesichts der vielen Unwägbarkeiten noch wenig Belastbares über mögliche Technikfolgen von avF sagen. Andererseits hat die Technologie erhebliches Transformationspotenzial, sodass ein „rechtzeitiges“ Gestalten ihrer Entwicklung gesellschaftlich wünschenswert scheint (Fleischer und Schippl 2018).

Da die Probleme und Lösungen im Zusammenhang mit avF komplex sind, ist es wichtig, die möglichen Auswirkungen verschiedener Anwendungsfälle und Szenarien

auf allen Ebenen der Gesellschaft zu diskutieren und zu untersuchen (Barnard et al. 2019). Daher wird international versucht, einen systematischen Ansatz zu verfolgen, um potenzielle Auswirkungen zu diskutieren und die dahinter liegenden Wirkungsmechanismen und Wirkungspfade festzulegen. In Teilen ungewiss bleiben jedoch vor allem die – sich auf verschiedenen Zeitskalen unterschiedlich ausprägenden – Anpassungsreaktionen der Nutzer, da diese einem komplexen Entscheidungskalkül unterliegen, in das nicht nur individuelle Präferenzen, sondern auch vielfältige soziale Faktoren einfließen.

Ausrichtung an gesellschaftlichen Zielen und Bedürfnissen der Nutzer

Die hohen Erwartungen an den Beitrag von avF zur Erreichung gesellschaftlicher Ziele können nur erfüllt werden, wenn die angebotenen Mobilitätslösungen von einer ausreichend großen Population genutzt werden (ERTRAC 2021). Das heißt, avF muss Kriterien erfüllen, die sich aus gesellschaftlichen Zielen ableiten lassen. Es wird eine besondere Herausforderung sein, attraktives und bezahlbares avF für alle Bürger, Benutzer und Kunden sicherzustellen und Geschäftsmodelle zu implementieren, die eine nachhaltige Bereitstellung von Mobilitätsdiensten ermöglichen, die die Inklusion von z. B. ländlichen Regionen oder Gebieten mit „Verkehrsarmut“ in den Verkehrsverbund der Städte unterstützen. Drei Hauptgebiete der Herausforderung sind laut ERTRAC: Infrastruktur, Validierung sowie Künstliche Intelligenz und Daten.

Generell stellt die breite Spanne der Akteure mit ihren unterschiedlichen Bedürfnissen und Anforderungen an avF eine Herausforderung dar. Mögliche Konflikte bestehen zwischen den Bedürfnissen der Nutzer und den Anforderungen der Verkehrsunternehmen und der Kommunen (Stark et al. 2018). Während beispielsweise ÖPNV-Betreiber den Wunsch haben, individualisierte On-Demand-Angebote anzubieten, ist der Anwendungsfall des „Robo-Taxis“ unter Kommunalvertretern umstritten, die leere Kilometer und ein erhöhtes Verkehrsaufkommen befürchten. Bezüglich der Bedürfnisse der Nutzer zeigt sich beispielsweise, dass Sicherheit zu den wichtigsten Anforderungen zählt, jedoch kaum in technischer Hinsicht, sondern in Bezug auf den Schutz vor Kriminalität und Belästigung. Dies stellt wiederum Anwendungsfälle infrage, die Mitfahrgelegenheiten beinhalten.

„Neuerfindung“ von Städten

Um das Endziel nachhaltiger, urbaner Mobilitätssysteme zu erreichen, müssen Städte an einer Kombination von Lösungen arbeiten, in denen die Anwendung von avF beispielsweise als starke multimodale Alternative zum Privat-Pkw von Bedeutung sein kann (UITP International Association of Public Transport 2021b). Diese Lösungen sollten folgende Ansätze berücksichtigen:

- Gestaltung von Städten rund um den öffentlichen Nahverkehr und aktive Mobilität
- Optimierung des Verkehrs- und Straßenmanagements
- Einsatz innovativer und effizienter öffentlicher Verkehrssysteme

Fazit Abschn. 1.2

Sharing und Integration von avF sind die Schlüssel für die Mobilitätswende. Damit avF zu einer besseren Mobilität beitragen, müssen diese in Flotten gemeinsam genutzter Fahrzeuge eingeführt und in öffentliche Verkehrsdienste integriert werden.

Im nächsten Kapitel wird näher darauf eingegangen und ein Entwicklungspfad aus der Perspektive einer Kommune beschrieben, mit der Zielsetzung, die Mobilitätswende innerhalb der nächsten 10 Jahre zu erreichen, und darzustellen, wie und in welchen Formen sich avF in Städten und in Verbindung mit den umliegenden Gemeinden als Teil eines Mobilitäts-Ökosystems etablieren wird.

1.3 Leitbild automatisiertes Fahren – ein Szenario

Robert Yen, Bettina Abendroth, Jens Schippl, Constantin Pitzen und Heiner Monheim

In den vergangenen Jahren sind sowohl in wissenschaftlichen Fachartikeln als auch in Büchern die verschiedensten Szenarien hinsichtlich der Integration des automatisierten Fahrens in unser Verkehrssystem entwickelt worden. Einige Beispiele davon finden sich in Abschn. 1.2 in diesem Buch. Im folgenden Beitrag geht es darum, ein Szenario für die Einführung von automatisiertem Fahren zu zeichnen, das Rücksicht nimmt auf die Herausforderungen unserer Zeit. Das Szenario beschreibt, wie automatisiertes Fahren einen Beitrag zur Mobilitätswende leisten kann. Dieses Szenario dient als Leitbild für das ganze Handbuch und vermittelt eine konkrete Perspektive für die Mobilität der Zukunft, in der automatisierter ÖPNV ein relevantes Angebot für eine nachhaltige Mobilität in einem Umfeld mit hoher Lebensqualität ist.

1.3.1 Automatisiertes Fahren im Licht der Mobilitätswende

Im deutschsprachigen Raum hat sich der Begriff der „*Mobilitätswende*“ etabliert. Es gibt kaum eine verkehrspolitische Ansprache, in der dieser Begriff nicht zumindest einmal Verwendung findet. Der Begriff Mobilitätswende beschreibt eine Abkehr vom bestehenden Mobilitätssystem zu einer neuen, nachhaltigeren und klimaneutralen Mobilität von Menschen und Gütern, die sowohl soziale Aspekte berücksichtigt als auch die Lebensräume der Menschen respektiert und nicht dem Verkehr unterordnet. Die tatsächliche Mobilitätswende scheint derzeit jedoch häufig eher eine Vision als ein konkretes Vorhaben zu sein. Im Jahr 2018 lag laut dem deutschen Statistischen Bundesamt der Anteil des Straßenverkehrs an den CO₂-Emissionen in der EU bei 26 %. Davon waren 62 % durch den Motorisierten Individualverkehr (MIV) ver-

ursacht. „[...] während der CO₂-Gesamtausstoß seit 1990 um 23 % sank, erhöhten sich die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr im gleichen Zeitraum um 24 %. Am deutlichsten stieg der CO₂-Ausstoß zwischen 1990 und 2018 bei den leichten Nutzfahrzeugen (+58 %). Die CO₂-Emissionen von Lkw und Bussen stiegen um 24 %, die der Pkw um 19 %“ (Statistisches Bundesamt 2020). Entsprechend dem Europäischen Verband der Automobilhersteller lag die Automobildichte je 1000 Einwohnern im Jahr 2015 in der Europäischen Union bei 553 Fahrzeugen und wuchs bis ins Jahr 2019 auf 569 Fahrzeuge an (European Automobile Manufacturers' Association ACEA 2021). Selbst wenn es gelänge, diese immer noch wachsende Anzahl an Fahrzeugen zu elektrifizieren und die dafür notwendige Ladeinfrastruktur bereit zu stellen, würden die bei der Produktion der Fahrzeuge entstehenden CO₂-Emissionen (sogenannte graue Emissionen) einen großen Teil des über den Lebenszyklus der Fahrzeuge erreichten CO₂-Einsparungserfolges von vornherein zunichte machen. Dazu kommt, dass die zunehmende Anzahl an Fahrzeugen die Straßen und Plätze unserer Städte verstopft und auch im ländlichen Raum immer mehr Flächen durch den steigenden Siedlungs- und Verkehrsbedarf versiegelt werden. So sind die Siedlungs- und Verkehrsflächen von 1992 bis 2019 um 23,6 % gewachsen, die Verkehrsflächen allein um 9,8 % (Umweltbundesamt 2021). Mehr versiegelte Flächen führen in Verbindung mit den klimatischen Veränderungen zu immer mehr Hitzestressperioden, lokalen Überschwemmungen, verringerter Grundwasserbildung, Verlusten von Grünflächen und Abnahmen der Bodenfruchtbarkeit (Umweltbundesamt 2022).

Die Erreichung der Klimaziele ist ohne eine Abkehr von unserem derzeitigen Mobilitätssystem nicht möglich. Es gibt drei Strategien, um unser Verkehrssystem an die bestehenden und künftigen Anforderungen anzupassen: Verbessern – Verlagern – Vermeiden. Mobilitätswende ist weit mehr als die ‚Antriebswende‘ weg von fossilen Brennstoffen zu elektrischen Antrieben. Hinzukommen muss eine massive Verlagerung des bisherigen Kfz-Verkehrs auf die Verkehrsarten des Umweltverbundes sowie eine grundlegende Umverteilung der Verkehrsflächen zu Gunsten von Fuß- und Radverkehr, Aufenthalt, öffentlichem Verkehr und vor allem auch Grünflächen, insbesondere für Bäume. Zur Mobilitätswende gehört auch eine systematische Vermeidung von hohen Verkehrsaufwänden durch eine bessere Verteilung der Nutzungen im Raum mit mehr dezentraler Versorgung und mehr Nutzungsmischung sowie kompakteren Baustrukturen. Die Mobilitätswende wird jedoch nur gelingen, wenn alle genannten Strategien verfolgt werden. Die Mobilitätswende umfasst somit notwendigerweise eine Veränderung unseres Mobilitätsverhaltens. Dies bedarf einer systemischen Betrachtung unserer Lebensräume und der Bedürfnisse der Menschen und nicht nur der Sicht auf den aktuellen Kfz-Verkehr und die dafür vorgehaltene Infrastruktur.

Ein Blick in die deutsche Geschichte des Verkehrs zeigt, dass sich durch das Aufkommen des Automobils als bestimmendes Verkehrsmittel nicht nur unser Mobilitätsverhalten, sondern auch das Bild unserer Städte veränderte. „Bis ca. 1930 wurden die öffentlichen Verkehrsmittel Bus und Bahn mit hoher Priorität berücksichtigt. Fuß- und Fahrradverkehr konnten den öffentlichen Raum sehr freizügig nutzen. Das Auto spielte eine untergeordnete Rolle. Ca. 80 % der damals fahrenden Kfz waren Liefer- und Last-

wagen, der private Pkw war die Ausnahme. Es gab ein dichtes Netz von landesweiten und regionalen Bahnnetzen. Viele Städte hatten eigene Straßenbahnsysteme. Post- und Bahnbusse erschlossen die Fläche“ (Monheim, H., eingereicht 12/2021). Nach dem 2. Weltkrieg orientierte man sich im zerbombten Westdeutschland am amerikanischen Vorbild und priorisierte ein autozentriertes Verkehrssystem. Städte mit vormals kleinteiliger Parzellierung, Gassen und funktional gemischten Strukturen (Wohnen, Gewerbe, Gastronomie, Einkaufen und Märkte) wurden durch breite Straßenfluchten und große kubische Bauten strukturiert, die oft nur einer Funktion dienen. Die Planung sollte eine zunehmende Motorisierung ermöglichen und dafür den nötigen Platz bereitstellen. An den Stadträndern und im Umland „...fand [man] viele freie Flächen, auf denen entdichtete, zersiedelte Bau- und Verkehrsstrukturen etabliert werden konnten“ (Monheim, H., eingereicht 12/2021). Die Erschließung dieser Gebiete mit ÖPNV oder Bahn schien nicht dem Geist der Zeit zu entsprechen.

Wenn in diesem Handbuch die Integration des automatisierten ÖPNV als ein Instrument für die Mobilitätswende betrachtet wird, kann dies nicht ohne die Berücksichtigung der oben genannten Aspekte erfolgen. Das folgend beschriebene Szenario zu den künftigen Entwicklungen unseres Mobilitätssystems wird von diesen Aspekten geleitet und geht zum Teil auf sich daraus ergebende Fragestellungen, wie beispielsweise die räumlichen Strukturen, ein.

1.3.2 Szenario zur Entwicklung der Mobilität und des avF

Für die Einordnung des Szenarios ist der raum- und siedlungsstrukturelle Kontext zu betrachten, mit den Unterschieden städtischer, suburbaner und ländlicher Kulissen, wobei der suburbane und ländliche Raum in Deutschland immerhin 2730 Mittel- und Kleinstädte umfasst, also durchaus urbane Kerne. Die Integration des automatisierten Fahrens muss die raum- und siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen beachten und wird je nach Kulisse unterschiedliche Auswirkungen auf die Raumentwicklung haben. Diese Einordnung findet in einem Umfeld mit zum Teil widersprechenden Interessen von Industrie, Politik und Teilen der Zivilgesellschaft (Mitteregger, M. et al. 2020) statt. Eine Differenzierung der Mobilitätsentwicklung in urbanen, suburbanen und nicht-urbanen Räumen ist daher notwendig.

Die im folgenden Szenario gemachten Aussagen für die Entwicklung der Mobilitätssysteme hin zur Mobilitätswende werden von den Autoren als grundsätzlich machbar eingeschätzt. Leitende Motive sind einerseits die radikale Reduktion von Treibhausgasen sowie die Rückeroberung qualifizierter, öffentlicher Räume und die Sicherstellung der Versorgung der Menschen unter Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse.

Für die Reduktion von Treibhausgasen und die Rückeroberung öffentlicher Räume für Fuß- und Radverkehr, Aufenthalt und Grünflächen muss das Verkehrsaufkommen mit privaten Pkw und betrieblichen Lkw und Lfw drastisch reduziert werden. Für die Ver-

sorgung der Menschen müssen dezentrale Angebotsstrukturen entwickelt werden, die eine ausreichende Nahversorgung sichern.

Die Angebotsstrukturen im ÖPNV müssen in ihrer Netz-, Haltestellen- und Taktichte so verbessert werden, dass sie überall und zu jeder Zeit eine hohe Akzeptanz finden. Fuß- und Radverkehr müssen überall attraktive Infrastrukturbedingungen finden, die eine sichere und bequeme Nutzung ermöglichen.

Wir gehen davon aus, dass mittels avF attraktive Alternativen geschaffen werden können, weil ein Großteil der für Fahren und Parken gebrauchten Flächen des MIV durch die Alternativen des Umweltverbundes substituiert werden kann. Der ÖPNV kann mittels der avF-Optionen sein Angebot räumlich und zeitlich so verdichten, dass eine weitreichende Verlagerung von MIV-Fahrten auf kollektiv genutzte, automatisierte Verkehrsmittel möglich wird, die in ihren Formaten und Fahrplanangeboten und ergänzenden On-Demand-Angeboten bedarfsgerecht bereitgestellt werden.

Im Folgenden dargestellt sind die hypothetischen Randbedingungen für die Integration automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV, die in Deutschland innerhalb der nächsten 10 Jahre Platz greifen können. Diese betreffen insbesondere den Busverkehr in den verschiedenen Formaten und Betriebsformen.

AvF-Angebote sind aber auch im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) denkbar. Sie können dort leichter implementiert werden, weil der SPV spurgeführt und auf exklusiven Fahrwegen erfolgt. Im kommunalen Schienenverkehr mit Straßen- und Stadtbahnen gelten dann ähnliche Bedingungen, wenn der Schienenverkehr auf eigenen, exklusiven Fahrwegen abgewickelt wird. Wo dagegen Straßen- und Stadtbahnen im gemischten Verkehr fahren, gelten für sie ähnliche Randbedingungen wie für die Busse. Die ergänzenden Paratransit-Angebote wie Car-Sharing, Rufbus, Anrufsammeltaxi (AST) und Anruflinientaxi (ALT) sind hinsichtlich ihrer Fahrverläufe ähnlich zu beurteilen wie Pkw-basierte avF-Systeme im MIV.

Methodik zur Beschreibung des Szenarios – Morphologischer Kasten

Die Methode des Morphologischen Kastens kommt ursprünglich aus dem Bereich des Marketings, eignet sich jedoch hervorragend für die Beschreibung jedes Szenarios. Das Szenario wird entlang wesentlicher Aspekte, Fragestellungen oder Parameter (vertikal angeordnet) beschrieben. Für jeden Aspekt gibt es mehrere Ausprägungen (horizontal angeordnet). Innerhalb eines Szenarios gibt es Abhängigkeiten zwischen den Aspekten, Fragestellungen und Parametern. Bestimmte Ausprägungen eines Aspekts können wiederum die Ausprägung anderer Aspekte bedingen oder verunmöglichen. Die Auswahl einer oder mehrerer Ausprägungen je Fragestellung bestimmt das Szenario.

Fragestellung	Ausprägungen				
Nr. 1. Was ist das leitende Motiv für die Integration des avF?	Reduktion von Verkehrsaufkommen	Reduktion von CO ₂ -Emissionen	Attraktive, individualisierte und günstige Mobilitätsdienste als Business Case	Premiumprodukt für den motorisierten Individualverkehr	Günstige Angebote, insbesondere für ältere Menschen, bewegungseingeschränkte Menschen usw.
Nr. 2. Welche räumlichen Voraussetzungen werden geschaffen?	Verkehrsräume für den ruhenden und fließenden Verkehr werden ausgebaut oder neu errichtet	Der Raum für den ruhenden und fließenden Verkehr in Städten und Kommunen wird eingeschränkt	Quartiere werden verdichtet und mit gemischten Funktionen (Wohnen, Gewerbe, Gastronomie, Freizeit usw.) angelegt	Bisher vom MIV belegte Räume werden verstärkt als Aufenthaltsräume, als Begegnungszonen, Fahrrad-schnellwege oder für den ÖPNV genutzt	Neue Siedlungs- und Gewerbegebiete werden für den steigenden Bedarf erschlossen.
Nr. 3. Welche Voraussetzungen hinsichtlich der digitalen Infrastruktur werden geschaffen?	Die straßen-seitige Infrastruktur (z. B. Ampeln, Verkehrsbeeinflussungsanlagen usw.) stellen den Fahrzeugen digitale Informationen bereit	Die straßen-seitige Infrastruktur stellt keine digitalen Informationen bereit	Digitale, dreidimensionale hochauflösende Karten werden von den Kommunen bereitgestellt	Aktuelle Verkehrsdaten werden durch die Stadt, die Kommune oder die Region zur Verfügung gestellt	Durch digitale Infrastruktur wird das automatisierte Fahrzeug an unübersichtlichen Stellen unterstützt
Nr. 4. Welche Voraussetzungen müssen die Fahrzeuge erfüllen?	SAE Level 3 mit eingeschränkten Operational Design Domains (ODD)	SAE Level 4 mit eingeschränkter ODD	SAE Level 5	Automatisierte Fahrzeuge können mit der Infrastruktur kommunizieren	Automatisierte Fahrzeuge müssen nicht mit der Infrastruktur kommunizieren

Abb. 1.13 Szenario zur Entwicklung der Mobilität und des avF

Alle dunkelblauen Felder mit weißer Schrift der Abb. 1.13 beschreiben das gewählte Szenario. Die weißen Felder sind Ausprägungen, die nicht für das Szenario Anwendung finden.

Nr. 5. Welche organisatorischen Voraussetzungen müssen geschaffen werden?	Keine	Eine „technische Aufsicht“, sprich eine Leitstelle, die die Fahrzeuge unterstützt, wenn sie selbst nicht weiterkommen	Umsetzung eines Geschäftsmodells (siehe Fragestellung Nr. 8)				
Nr. 6. Welche rechtlichen und technisch-regulativen Voraussetzungen müssen geschaffen werden?	Regelungen für die Durchführung von Pilotprojekten im öffentlichen Verkehrsraum	Anpassungen des Straßenverkehrsrechts (z. B. StVG in Deutschland) zur Ermöglichung von avF im Regelbetrieb	Richtlinien zur Zulassung von avF im öffentlichen Verkehrsraum im Regelbetrieb	Anpassungen in der Gesetzgebung zur Personenbeförderung im Rahmen des öffentlichen und privaten Verkehrs (z. B. PBefG in Deutschland) zur Ermöglichung neuer Mobilitätsdienste			
Nr. 7. Welche Mobilitätsangebote soll es geben?	Linienverkehr mit Shuttle oder Omnibussen	Sonderform des Linienverkehrs	On-demand Shuttle	Taxi	Ride-hailing	Ride-pooling	Ride-sharing
Nr. 8. Welche Geschäftsmodelle wird es geben?	Verkehrsbetrieb kauft die Fahrzeuge und wartet und betreibt sie selbst	Verkehrsbetrieb kauft Bereitstellung der Fahrzeuge einschließlich Wartung; Ticketverkauf und technische Aufsicht bleiben beim Verkehrsbetrieb	Verkehrsbetrieb kauft Personenbeförderung; Ticketverkauf bleibt beim Verkehrsbetrieb	Privater konzessionierter Betreiber bietet seine Mobilitätsdienste dem Nutzer direkt an	Privater Betreiber bietet seine Mobilitätsdienste ohne Konzession dem Nutzer direkt an		

Abb. 1.13 (Fortsetzung)

Erläuterungen zu den Fragestellungen und Ausprägungen

Nr. 1. Was ist das leitende Motiv für die Integration des avF? Je nach Interessenslage können sich die Motive für die Einführung des avF sehr unterscheiden. Aus der Perspektive der öffentlichen Hand gilt es, eine Lösung für die Herausforderungen unserer Zeit zu finden. Das gilt für mehr Flächeneffizienz und höhere Gestaltqualität im Verkehrsraum, höhere Verkehrssicherheit, weniger Emissionen und mehr soziale Teilhabe aller Bevölkerungsgruppen.

Nr. 2. Welche räumlichen Voraussetzungen werden geschaffen? Um die Mobilitätswende zu schaffen, die zumindest Teilen der Bevölkerung einiges zumutet, ist es notwendig, die Verkehrsräume für den motorisierten Individualverkehr (MIV) zu reduzieren und stattdessen mehr öffentlichen Raum sowie Fahrrad- und Fußwege anzubieten.

Quartiere müssen in einer Weise gestaltet werden, dass die Menschen auf kurzen Wegen die meisten ihrer Bedürfnisse erfüllen können. Anstatt Firmenwagen und Parkplatz werden von Unternehmen ÖV-Jahresabonnements oder E-Bikes angeboten, um den Verkehr zu reduzieren und freiwerdende Parkplatzflächen entweder für Mitarbeiterwohnungen oder Erweiterungen der Betriebsgebäude zu nutzen. So werden sich reine Gewerbegebiete zu Arealen mit Mischfunktionalität und zu ‚produktiven Städten‘ (vgl. Läßle, D. 2018) verändern. Alle diese Maßnahmen schaffen letztlich Lebensräume mit einer deutlich höheren Lebensqualität und verringern das Verkehrsaufkommen im MIV (Fahren und Parken). Die weitere Ausbreitung der Siedlungen in die Fläche wird zu Gunsten der Innenentwicklung gestoppt.

Nr. 3. Welche Voraussetzungen hinsichtlich der digitalen Infrastruktur werden geschaffen? Wie in Abschn. 1.1 dieses Buches beschrieben, gibt es in Europa eine klare Präferenz für ein vernetztes automatisiertes Fahren. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass beispielsweise jede Lichtsignalanlage bereits von Anfang an ihren aktuellen Status digital über Funk dem Fahrzeug mitteilen wird. Dafür notwendige Investitionen sind für viele Kommunen nicht zu stemmen. Dennoch wird Infrastruktur zunehmend mit der Erneuerung der Anlagen digitalisiert werden. Da die Anforderungen an hochauflösende digitale Karten derzeit nicht standardisiert sind, ergibt es keinen Sinn, dass die öffentliche Hand den Herstellern der Fahrzeuge solche zur Verfügung stellt. Es gibt Konstellationen, in denen die Verkehrssituation nicht allein durch die Sensoren des Fahrzeugs erfasst werden kann. An diesen Stellen müssen über externe Sensoren als digitale Infrastruktur Informationen über die Verkehrssituation an das Fahrzeug übermittelt werden.

Nr. 4. Welche Voraussetzungen müssen die Fahrzeuge erfüllen? In den nächsten zehn Jahren werden in erster Linie SAE Level 4 Fahrzeuge erst in Pilotprojekten (sinnvollerweise bereits auf Strecken, auf denen später auch im Regelbetrieb ein automatisierter ÖPNV fährt), dann als etablierter ÖPNV unterwegs sein. Ein SAE Level 4 Fahrzeug kann unter bestimmten Rahmenbedingungen (geringe Geschwindigkeit, wenig komplexe Verkehrssituationen, gute Straßen- und Sichtverhältnisse usw.) alle Situationen automatisch bewältigen und erkennt die eigenen Systemgrenzen. SAE Level 3 Fahrzeuge werden als private PKWs auf dem öffentlichen Straßennetz unterwegs sein, aber ihre automatisierten Fahrfunktionen werden eher auf Autobahnen oder Überlandstraßen zum Einsatz gebracht werden. SAE Level 5 Test-Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs als Teil großer Entwicklungsprojekte werden frühestens gegen Ende des diesem Szenario zugrunde gelegten Betrachtungszeitraums von zehn Jahren auch im städtischen Raum zu sehen sein.

Da die digitale Kommunikationsinfrastruktur erst nach und nach Verbreitung finden wird, müssen die Fahrzeuge fähig sein, mit der Infrastruktur zu kommunizieren, dürfen aber nicht vom Datenaustausch abhängig sein. Es wird erwartet, dass die neuen Fahrzeuge alle ‚Day 1 Applications‘ unterstützen. Day 1 Applications umfassen Funktionen

wie „slow or stationary vehicle(s) traffic jam ahead warning, road works warning, weather conditions, emergency vehicle approaching [...]“ (vgl. BMVIT 2016).

Nr 5. Welche organisatorischen Voraussetzungen müssen geschaffen werden? Allgemein benötigen Fahrzeuge, die SAE Level 4 unterstützen, immer noch eine betriebsführende Person als Technische Aufsicht, die – bei durch das Fahrzeug nicht mehr beherrschbaren Situationen – das Fahrzeug deaktivieren oder für dieses Fahrzeug Fahrmanöver freigeben kann (vgl. Straßenverkehrsgesetz StVG § 1d Abs. 3). Die institutionellen Voraussetzungen dafür müssen durch den Verkehrsbetrieb entsprechend dem gewählten Geschäftsmodell (siehe dazu Fragestellung Nr. 8) gewährleistet werden.

Nr. 6. Welche rechtlichen und technisch regulativen Voraussetzungen müssen geschaffen werden? Gesetze bzw. Gesetzesnovellen des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) zum autonomen Fahren in festgelegten Betriebsbereichen werden nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen europäischen Ländern in Kraft treten. Das deutsche StVG wird in seinen Grundzügen von anderen Ländern übernommen werden. Es sieht vor, dass fahrerlose Kraftfahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Verkehr genutzt werden dürfen. Die betriebsführende Person (Technische Aufsicht), in einer Leitstelle verortet, unterstützt, wenn notwendig, die Fahrfunktion des Fahrzeuges, kann das Fahrzeug jederzeit stoppen und Fahrfunktionen freigeben. Es sind Betriebsbereiche für den fahrerlosen Betrieb eines Kfz nach Maßgabe der einschlägigen Regelungen festgelegt.

Das Vorgehen bei der Zulassung der automatisierten Fahrzeuge für den für sie bestimmten Betriebsbereich wird in Richtlinien und europäischen Normen festgelegt werden. Deutschland verfügt bereits heute über diese Richtlinie. Parallel dazu werden durch die Gesetzgeber neue Mobilitätsangebote auch von privaten Anbietern ermöglicht (vgl. die Novelle zum Personenbeförderungsgesetz in Deutschland – BPBefG). Der regional oder kommunal verankerten Exekutive wird jedoch die Möglichkeit eingeräumt, regulierend in die Mobilitätsmärkte einzugreifen. Die Kommunen werden in bestimmten Bereichen regulierende Vorgaben für den automatisierten MIV (SAE Level 3) und die öffentlichen oder privaten Angebote des automatisierten ÖPNV treffen. Zudem werden Regelungen hinsichtlich der Nutzung bestimmter physischer wie auch digitaler Infrastruktur getroffen. Höchstgeschwindigkeiten für das avF müssen festgelegt werden. Es sind auch Regelungen zur Priorisierung des automatisierten ÖPNV im Verkehrsgeschehen denkbar.

Nr. 7. Welche Mobilitätsangebote soll es geben? Auch ohne Automatisierung werden inzwischen verschiedene neue Angebotsformen in Pilotprojekten getestet (z. B. flexible Shuttles wie MOIA in Hamburg/Hannover) oder sind in manchen Regionen bereits etabliert (z. B. verschiedene Formen des Car-Sharings, Ride-Hailing-Dienste wie UBER, Lyft oder DiDi). Es ist davon auszugehen, dass solche Angebote durch Wegfall des Fahrers wirtschaftlich attraktiver und um neue Varianten ergänzt werden. Für weitere

Erläuterungen vgl. Abschn. 1.1.4 *Mögliche Anwendungsfälle für Level 4 Fahrzeuge* im vorliegenden Buch.

Nr. 8. Welche Geschäftsmodelle wird es geben? In Folge der Änderung des PBefG und der o. g. gesetzlichen Regelungen zum avF in bestimmten Betriebsbereichen kommt es zu folgenden Änderungen im Verkehrsmarkt:

- Das Angebot für individuelle sowie gebündelte (pooling) Beförderungsdienstleistungen durch private Plattformen nimmt zu, entsprechend steigt die Nutzungsfrequenz. Ob und wie stark dies zum Verzicht auf private Motorisierung und zum Verzicht auf reguläre ÖPNV-Nutzung sowie Nutzung des Fuß- und Radverkehrs führt, ist schwer vorhersehbar. Es wird aber in jedem Fall Wechselwirkungen geben.
- Sowohl öffentliche als auch private Anbieter betreiben den öffentlichen Personenverkehr. Jedoch kommen auch neue branchenfremde Akteure auf den Markt (Kaiser, O. S. und Malanowski, N. 2020). Die neuen Angebote werden vor allem die kleinteiligen Miniformate und die On-Demand-Angebote betreffen, die großformatigen Linienverkehrsangebote werden weiter konventionell gemacht. Welche Verlagerungen es zwischen diesen Teilsystemen des ÖV geben wird, ist schwer vorhersehbar und hängt von den jeweiligen Angebotsmengen und ihrer Tarifierung ab.
- Es werden für die neuen Mobilitätsdienstleistungen Business-to-Business-Geschäftsmodelle geschaffen werden. Öffentliche Verkehrsbetriebe werden einzelne oder mehrere Bereiche der Wertschöpfungskette an spezialisierte private Unternehmen vergeben. Diese neuen Geschäftsmodelle ermöglichen es, dass auch kleinere Verkehrsbetriebe oder Kommunen neue Mobilitätsangebote etablieren können, ohne die dafür im konventionellen Angebotskontext notwendigen Ressourcen aufbauen zu müssen.

Das Risiko besteht darin, dass die Individualisierbarkeit zu günstigen Preisen auch wieder zu einem höheren Verkehrsaufkommen führen könnte. Eine Herausforderung für die Kommunen wird die Schaffung geeigneter Regulierungen sein, die dennoch private unternehmerische Initiativen und wirtschaftlichen Erfolg dieser zulassen.

Fazit Abschn. 1.3

Die in diesem Szenario gezeichnete Perspektive gewährt als Leitbild für das Handbuch einen ersten Überblick über die Zukunft der Mobilität und die Integration eines automatisierten ÖPNV, die in den folgenden Kapiteln differenzierter und konkreter ausgeführt (Kap. 2–6). In Kap. 7 wird praktische Unterstützung gegeben, wie die im Szenario dargestellte Perspektive konkret realisiert werden kann.

Literatur

- Ackerman E (2021) What Full Autonomy Means for the Waymo Driver: for self-driving vehicles, full autonomy might not be quite as full as you think; in IEEE Spectrum 4th of March 2021 (<https://spectrum.ieee.org/full-autonomy-waymo-driver>)
- Almlöf E, Nybacka M, Pernestål A (2019) Will public transport be relevant in a self-driving future? A demand model simulation of four scenarios for Stockholm, Sweden. European Transport Conference, Dublin
- Barnard Y, Innamaa S, Rämä P, Harrison G (2019) Impacts of automated transport on cities: how to discuss and study impact mechanisms. ERSA 59th Congress: Cities, regions and digital transformations: Opportunities, risks and challenges, Lyon
- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015) Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017) kompakt²So fahren wir morgen. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/kompakt-automatisiertes-fahren.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- BMVIT (2016) C-ITS Strategie Österreich - VerkehrsteilnehmerInnen vernetzen, Effizienz und Sicherheit im Verkehr fördern. Wien, S 11f
- Bosch R, Oehry B, Jermann J (2017) Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. Forschungsprojekt ASTRA 2015/004 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA). S 20
- Cerfontaine C (2018) Autonome Fahrzeuge: Ein potentieller “Game Changer” für die städtische Mobilität. Fachtagung des Bundesverbands CarSharing e. V. (bcs). https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/uitp_cerfontaine_autonomous_vehicles.pdf. Zugegriffen: 16. Febr. 2022
- Deutscher Bundestag (2021a) Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2021a (BGBl. I S. 3108) geändert worden ist
- Deutscher Bundestag (2021b) Personenbeförderungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. April 2021b (BGBl. I S. 822) geändert worden ist
- ERTRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving” (2021) Connected, cooperative and automated mobility roadmap status: DRAFT for public consultation, Version 9. <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id75/Draft%20ERTRAC%20CCAM%20Roadmap%20V9%2030-09-2021.pdf>. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- Europäische Kommission (2018a). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions, On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future. S 4
- Europäische Kommission (2018a) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Europa in Bewegung: Nachhaltige Mobilität für Europa: sicher, vernetzt und umweltfreundlich, COM(2018b)293. [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2018b\)293&lang=de](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2018b)293&lang=de). Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- Europäische Kommission (2018b) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Auf dem Weg zur automatisierten Mobilität: eine EU-Strategie für die Mobilität der Zukunft, COM(2018b)283. [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2018\)283&lang=de](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2018)283&lang=de). Zugegriffen: 10. Febr. 2022

- Europäische Kommission (2019) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Der europäische Grüne Deal, COM(2019)640. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_de.pdf. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- Europäische Kommission (2020) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität: Den Verkehr in Europa auf Zukunftskurs bringen, COM(2020)789. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- Kommission E (2021) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Digitaler Kompass 2030: der europäische Weg in die digitale Dekade. COM 2021:118. [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2021\)118&lang=de](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2021)118&lang=de). Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- European Automobile Manufacturers' Association ACEA (2021) Motorisation rates in the EU, by country and vehicle type. <https://www.acea.auto/figure/motorisation-rates-in-the-eu-by-country-and-vehicle-type/>. Zugegriffen: 14. Febr. 2022
- Fleischer T, Schippl J (2018) Automatisiertes Fahren: Fluch oder Segen für nachhaltige Mobilität? TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis 27(2):11–15. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.11>
- Jerman J et al (2020) Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 4: Neue Angebotsformen. Forschungsprojekt ASTRA 2018/004 auf Antrag des Bundesamtes für Straßen (ASTRA)
- Kaiser OS, Malanowski N (2020) Autonome Klein- und Omnibusse im öffentlichen Verkehr (No. 179). Working Paper Forschungsförderung. <https://www.econstor.eu/handle/10419/217254>. Zugegriffen: 9. Sept. 2020
- Läpple D (2018) Perspektiven einer produktiven Stadt. In: Schäfer K (Hrsg) Aufbruch aus der Zwischenstadt. Urbanisierung durch Migration und Nutzungsmischung. Bielefeld, S 151–176
- Lauer M, Tas Ö S (2019) Machbarkeitsstudie zum automatisierten Fahren von HO-LKWs im Murgtal im Rahmen der Begleitforschung zum Projekt eWayBW. S 7
- Mitteregger M et al (2020) AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. Berlin, S 2–5
- Mitteregger M, Banerjee I (2021) Automatisiertes und vernetztes Fahren: Das Lange Level 4, in: Avenue21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität. Mitteregger M et al (Hrsg) S 2
- Monheim H (2022) Verkehrsplanung und Gestaltung öffentlicher Räume im Wandel der Zeiten, in VHW- Forum Wohnen und Stadtentwicklung (eingereicht 12/2021)
- Oehry B et al (2020) Verkehr der Zukunft 2060: Neue Angebotsformen – Organisation und Diffusion. Forschungsprojekt SVI 2017/006 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)
- Rämä P, Kuisma S, Steger-Vonmetz C, Vlk T, Page Y, Malone K, Wilms I, Bärnig J, Macbeth I, Sumner G, de Almeida Correia GH, Gougeon P, Wilsch B, Barnard Y, Cizkova T, Alessandrini A, Nikolaou S (2018) CARTRE D5.3 Societal impacts of automated driving. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bea59c6f&appId=PPGMS>. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- SAE International (2018) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles – J3016, Juni 2018

- Stark K, Gade K, Heinrichs D (2018) Automated vehicles in public transport: deployment scenarios and expectations of users, providers and local authorities. European Transport Conference, Dublin
- Statistisches Bundesamt (2020) Europa in Zahlen, Straßenverkehr: EU-weite CO₂-Emissionen seit 1990 um 24 % gestiegen. https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Straßenverkehr.html. Zugegriffen: 14. Febr. 2022
- UITP International Association of Public Transport (2017) Autonomous vehicles: A potential game changer for urban mobility. https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Policy-Brief-Autonomous-Vehicles_2.4_LQ.pdf. Zugegriffen: 16. Febr. 2022
- UITP International Association of Public Transport (2021a) How to place public transport at the centre of the automated vehicle revolution. https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021a/10/Project-Brief-SPACE_OCT12021a.pdf. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- UITP International Association of Public Transport (2021b) Better urban mobility playbook. <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2022/02/Report-BETTER-URBAN-MOBILITY-PLAYBOOK.pdf>. Zugegriffen: 10. Febr. 2022
- Umweltbundesamt (2021) Siedlungs- und Verkehrsfläche. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke>. Zugegriffen: 9. März 2022
- Umweltbundesamt (2022) Bodenversiegelung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung>. Zugegriffen: 9. März 2022
- VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (2015) Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. Positionspapier November 2015. <https://www.vdv.de/position-autonome-fahrzeuge.pdf>. Zugegriffen: 15. Febr. 2022
- Zielstorff H (2018) Einsatzszenarien für autonomes Sharing. Fachtagung des Bundesverbands CarSharing e. V. (bcs). https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/e_praesentation_zielstorff_cantamen_einsatzszenarien_fuer_autonomes_sharing_bpl.pdf. Zugegriffen: 16. Febr. 2022

Robert Yen (Mag. theol.) ist Vorstand und Partner der Rapp Trans in Deutschland. Seit rund 25 Jahren ist er als Berater für verschiedene internationale Unternehmen tätig. Seit 2002 arbeitet Robert Yen auf dem Feld der Intelligenten Verkehrssysteme. In dieser Zeit war er u. a. als Technischer Projektleiter in Vergabeverfahren bzw. bei der Errichtung von landesweiten Mautsystemen international tätig. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung von Systemstrategien und -konzepten sowie das Design und die Implementierung von Mautsystemen und anderen ITS-Anwendungen. Seit 2015 beschäftigt sich Robert Yen zunehmend mit dem Themenbereich automatisiertes Fahren und der Transformation der Mobilität angesichts der Klimakrise.

Dr. Cornelia van Driel verfügt über mehr als 15 Jahre Erfahrung im Bereich Intelligente Verkehrssysteme. Nach mehreren Jahren als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Twente (NL) war sie viele Jahre als Senior-Beraterin bei Rapp Trans (CH, DE) tätig. Schwerpunkte ihrer Arbeit liegen in nationalen und internationalen Mobilitäts- und Mautprojekten. Zurzeit arbeitet Cornelia van Driel als Selbstständige in den Bereichen Webdesign, Grafikdesign und Unternehmenskommunikation.

Jens Schippl (Dipl. Geograf) ist Senior Researcher und Projektleiter in der Forschungsgruppe „Mobilitätszukünfte“ am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie Dozent an der ETH Zürich im Rahmen des MAS/

CAS „Mobilität der Zukunft“. Seine Forschungsschwerpunkte sind soziotechnischer Wandel, Akzeptanzfragen, Foresight und Technikfolgenabschätzung im Mobilitätssektor. Seit mehreren Jahren interessiert er sich insbesondere für mögliche Entwicklungspfade und gesellschaftliche Implikationen des automatisierten Fahrens.

Dr.-Ing. Bettina Abendroth leitet die Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion & Mobilität am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der Technischen Universität Darmstadt. Sie beschäftigt sich mit der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, Ergonomie von Produkten und dem automatisierten Fahren aus der Perspektive von Nutzenden. Dabei forscht sie u. a. zu den Themen der fahrfremden Tätigkeiten von Nutzenden automatisierter Fahrzeuge und der Kommunikation zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden.

Torsten Fleischer (Dipl.-Phys.) hat sich nach einem Physikstudium für die Forschung und Politikberatung zu Prozessen technischen Wandels und deren Wechselwirkung mit gesellschaftlichen Veränderungen entschieden. Er ist heute Leiter der Forschungsgruppe „Mobilitätszukünfte“ am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT. Dort beschäftigt er sich aktuell unter anderem mit Technikfolgenabschätzung an der Schnittstelle von Mobilität und Informatisierung und hierbei insbesondere mit den Möglichkeitsbedingungen und Folgen des Einsatzes automatisierter bzw. autonomer Verkehrsmittel.

Dr. Willibald Krenn leitet die Research Units „Trustworthy Adaptive Computing“ (TAC) und „Collaborative Perception and Learning“ (CPL) der Silicon Austria Labs GmbH (SAL). Vor seinem Wechsel zu SAL war er am AIT Austrian Institute of Technology GmbH in verschiedenen Funktionen tätig, zuletzt als Leiter der Dependable Systems Engineering Gruppe. Willibald Krenn hat an der Technischen Universität Graz im Bereich AI promoviert, war als Compilerbauer im High Performance Computing tätig und unterrichtet an der Technischen Universität Wien einen Kurs über Advanced Software Engineering.

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing. Raumplanung) kennt die Welt des ÖPNV aus der Perspektive großer und kleiner Verkehrsunternehmen, von Aufgabenträgern und Verkehrsgemeinschaften, aus seiner Arbeit als externer Verkehrsplaner, aber auch als Vertreter von Bürgerinitiativen, Umwelt- und Verkehrsverbänden. Als Geschäftsführer der Fahrplangesellschaft B&B mbH entwickelt er seit 10 Jahren betriebsnahe und innovative Konzepte für den ÖPNV sowohl im ländlichen wie auch im städtischen Raum und vertritt diese erfolgreich in politischen Gremien. Als sich abzeichnete, dass eines Tages fahrerlose Fahrzeuge in den Verkehrsmarkt eintreten würden, initiierte er mit dem Büro autoBus ein Netzwerk für autonomes Fahren im ÖPNV und begleitet seither Forschungsprojekte bei Konzeption, Genehmigungsverfahren und Umsetzung.

Prof. Dr. Heiner Monheim (Jg. 1946) ist Geograf, Stadt- und Verkehrsplaner und bekleidete 16 Jahre die Leitung des Infrastrukturreferats BfLR (heute BBSR) des Bauministeriums, in NRW leitete er 10 Jahre das Referat Stadtverkehr und Verkehrsberuhigung im Verkehrsministerium. 16 weitere Jahre war er Professor für Raumentwicklung und Landesplanung an der Universität Trier. Seit 2007 ist er Mitinhaber der raumkom-Büros für Raumentwicklung und Kommunikation. Dort bearbeitet er Projekte für Kommunen, Kreise, Ministerien und Verkehrsunternehmen. Sein Schwerpunkt liegt auf der Konzeptarbeit für die Verkehrswende in den Bereichen Öffentlicher Verkehr, Fuß- und Fahrradverkehr, Gestaltung öffentlicher Räume sowie Städtebau und Verkehr. Heiner Monheim war Mitbegründer des ADFC, des VCD und des Forums Mensch und Verkehr sowie des „Bündnis Bürgerbahn für eine starke Schiene“.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Die Stadt in ländlichen Regionen – sich entwickelnde Räume

2

Barbara Lenz, Constantin Pitzen, Dennis Jaquet und Heiner Monheim

Inhaltsverzeichnis

2.1	Automatisiertes Fahren im ländlichen Raum – Potenziale vor dem Hintergrund von Mobilitätsverhalten und Mobilitätsbedarf in ländlichen Räumen heute	48
2.1.1	Die Differenzierung von städtischen und ländlichen Räumen anhand von RegioStar	48
2.1.2	Mobilität in städtischen und ländlichen Räumen im Vergleich	56
2.1.3	Schlussfolgerungen mit Blick auf die Einführung des automatisierten Fahrens im öffentlichen Verkehr	61
2.2	Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf	62
2.2.1	Ausbau eines flächendeckenden ÖV-Angebotes im ganzen Land unabhängig von Siedlungsdichte und bisheriger räumlicher und zeitlicher Nachfragestärke	63
2.2.2	Anwendung des Planungsprinzips Integraler Taktfahrplan (ITF)	63
2.2.3	Entwicklung von Erschließungssystemen	66
2.2.4	Übergabe von Erschließungsfunktionen an private Mobilitätsanbieter	67

B. Lenz
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin, Deutschland

C. Pitzen (✉)
Fahrplangesellschaft B&B mbH, Potsdam, Deutschland
E-Mail: cp@fahrplangesellschaft.de

D. Jaquet
Planersocietät, Dortmund, Deutschland
E-Mail: jaquet@planersocietaet.de

H. Monheim
Kasseedorf OT Stendorf, Deutschland

2.2.5	Der automatisierte ÖV	67
2.3	Der Kampf um den Verkehrsraum – öffentlicher Raum, Fahrradweg und Spur für automatisierten ÖPNV	68
2.3.1	Trends und Entwicklungen im Straßen-Seitenraum	73
2.3.2	Trends und Entwicklungen im Radverkehr	74
2.3.3	Trends und Entwicklungen im öffentlichen Verkehr	74
2.3.4	Straße der Zukunft?	76

2.1 Automatisiertes Fahren im ländlichen Raum – Potenziale vor dem Hintergrund von Mobilitätsverhalten und Mobilitätsbedarf in ländlichen Räumen heute

Barbara Lenz

Zwei Drittel der Fläche – ein Drittel der Bevölkerung. Diese beiden Werte kennzeichnen den ländlichen Raum in Deutschland und sind gleichzeitig eine wichtige Rahmenbedingung für die Mobilität im ländlichen Raum, die der besonderen Herausforderung der relativ großen Distanzen bei gleichzeitig geringer Bevölkerungsdichte gegenübersteht. Raumtypologien, die es möglich machen, regionsübergreifend das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung abzubilden, sind der Ausgangspunkt für die Beschreibung und Analyse der Mobilität im ländlichen Raum. Im Folgenden geht es zunächst darum, den Ansatz der Raumtypologie „RegioStaR“, die heute die Grundlage für die Abbildung von Mobilitätsverhalten bildet, in ihren Grundzügen zu beschreiben. Im zweiten Teil des Kapitels werden die Eigenheiten des Mobilitätsverhaltens im ländlichen Raum dargestellt; gleichzeitig geht es aber auch um Übereinstimmungen zwischen Stadt und Land.

2.1.1 Die Differenzierung von städtischen und ländlichen Räumen anhand von RegioStar

Auch wenn das automatisierte Fahren ganz neue Mobilitätsoptionen bietet, so wird es doch an vorhandene Mobilitätsmuster anknüpfen. Diese Muster ergeben sich aus den Mobilitätsbedürfnissen von Individuen und Haushalten, daraus, welche Verkehrsmittel ihnen zur Verfügung stehen, und aus ihrem gewohnten Verkehrsverhalten. Gleichzeitig sind die Mobilitätsmuster eingebettet in einen räumlichen Kontext. Das bedeutet: Eigenschaften und Ausstattung des Raumes, in dem Menschen leben, bilden einen wesentlichen Rahmen für ihr alltägliches Verkehrshandeln. Das gängige Stereotyp für die raumbedingten Unterschiede ist der „Stadt-Land-Gegensatz“ – die Stadt als der Ort mit hoher Bevölkerungsdichte und zahlreichen Arbeitsplätzen, das Land als Ort, an dem die Bevölkerungsdichte niedrig ist, wo aber auch nur vergleichsweise wenige Arbeitsplätze vorhanden sind. Diese einfache Typisierung ist allerdings nur die halbe Wahrheit:

Sowohl die Stadt als auch das Land gibt es in Ausprägungen, die durchaus verschiedenartig sind. Einen starken Einfluss hat darauf der regionale Zusammenhang – oder um es einfach zu formulieren: die nähere und weitere Nachbarschaft.

Um der Unterschiedlichkeit der Räume angemessen Rechnung zu tragen und damit aus der Mobilitäts- und Verkehrsforschung heraus eine solide Grundlage für die Verkehrsplanung und die Verkehrspolitik bereitstellen zu können, wurde in den 2010er-Jahren das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) mit der Entwicklung einer Raumtypologie beauftragt. Ziel war es, räumlich unterschiedliches Mobilitätsverhalten sichtbar zu machen und dafür ein einheitliches Konzept zur Beschreibung von Raumstrukturen zu nutzen. Zur Erstellung der Typologie wurden siedlungsstrukturelle Eigenschaften auf der Ebene von Gemeindeverbänden als räumlich differenzierende Merkmale herangezogen, also bspw. die Bevölkerungsdichte, Beschäftigtenanteile im primären Sektor oder regionale Verflechtungsmuster.

Den ersten Schritt bei der Erstellung der RegioStaR-Typologie bildete die Gliederung in städtische und ländliche Regionen. Grundgedanke hierfür war, dass es insbesondere mit Blick auf verkehrliche Anforderungen und Optionen einen erheblichen Unterschied macht, ob sich eine Gemeinde nah oder fern der Stadtgrenze großer Städte befindet. Dabei wurde eine Reihe großräumiger Lagekriterien zur Differenzierung nach städtischer oder ländlicher Region angelegt (Quelle: Sigismund 2018):

Stadtgröße: Zunächst wurden Großstädte und deren Verflechtungsbereiche als städtische Regionen bestimmt; Großstädte sind alle Städte mit mindestens 100.000 Einwohnern. Darüber hinaus wurden große Städte mit einer hervorgehobenen regionalen Bedeutung als städtische Region eingestuft. Beispiele hierfür sind Schwerin als Landeshauptstadt oder Kaiserslautern mit rund 98.000 Einwohnern, das heißt in beiden Fällen Städte, die für ihre Region eine hohe zentralörtliche Bedeutung haben.

Einzugsbereich der Großstädte: Den Großstädten wurde ein Einzugsbereich zugeordnet, der sich anhand der Fahrzeit mit dem Pkw definiert – von einer Gemeinde zur nächsten Großstadt unter 30 min. Alternatives Kriterium war der Auspendleranteil von der Gemeinde in diese Großstadt in Höhe von mindestens 25 %. Um in ländlichen Regionen mit einer sehr guten Straßenanbindung den Einzugsbereich der Städte anhand tatsächlich stattfindender Interaktionen abzubilden, wurde in diesen Fällen das Kriterium der 30-minütigen Pkw-Entfernung verknüpft mit einem Mindest-Auspenderanteil von 20 %. In diese Betrachtung gingen – soweit anhand der vorliegenden Daten möglich – auch Großstädte im grenznahen, benachbarten Ausland ein. Zusätzlich wurde geprüft, inwieweit enge Pendlerbeziehungen zwischen den Einzugsbereichen der Großstädte bestehen. Dort, wo solche engen Beziehungen bestanden, wurden Einzugsbereiche von Großstädten zu großstadtreionalen Einzugsbereichen zusammengefasst, das heißt zu einem zusammenhängenden Gebiet zusammengefasst, so zum Beispiel die Ruhrgebietsstädte zu „Ruhrgebiet“, die Städte Darmstadt, Wiesbaden und Mainz wurden als großstadtreionaler Einzugsbereich zu Frankfurt am Main zusammengefasst.

Ländliche Regionen: Alle Städte und Gemeinden außerhalb der nach der beschriebenen Vorgehensweise definierten Verflechtungsbereiche der Großstädte wurden als ländliche

Regionen eingestuft. Aus großräumiger Perspektive bilden sie die komplementäre „Restkategorie“ zu den Stadtregionen. Das gemeinsame Profil der ländlichen Räume wird bestimmt durch Eigenschaften wie beispielsweise die geringe Siedlungsdichte oder den hohen Anteil an land- und forstwirtschaftlichen Flächen.

Binnendifferenzierung der ländlichen Regionen: Die weitere Differenzierung der ländlichen Regionen in stadtreionsnahe ländliche Regionen und periphere ländliche Regionen nutzt ebenfalls die Pkw-Fahrzeit als Abgrenzungskriterium. Ist die nächste Großstadt in einer Fahrzeit von weniger als 45 min erreichbar, wird eine Gemeinde den stadtreionsnahen Gemeinden zugeordnet. Beträgt die Fahrzeit 45 min oder mehr, handelt es sich um periphere ländliche Gebiete. Ergänzendes Kriterium im Rahmen der Abgrenzung ist das sogenannte „Bevölkerungspotenzial“; bei den stadtreionsnahen Gemeinden liegt es bei 300.000 und mehr, bei den Gemeinden in den peripheren Regionen bei 300.000 und weniger. Es errechnet sich durch die distanzgewichtete Aufsummierung aller Einwohner im Umkreis von 100 km um eine Gemeinde. Distanzgewichtet bedeutet dabei, dass der numerische Wert pro Einwohner:in mit der Distanz sinkt. Damit soll unter anderem abgebildet werden, wie wahrscheinlich es ist, dass die betrachtete Gemeinde Ziel der umgebenden Bevölkerung ist.

Die Städte innerhalb der ländlichen Regionen weisen erhebliche Unterschiede vor allem in den zentralörtlichen Funktionen auf, die sie auch für ihr Umland erfüllen. Dabei ist die Bedeutung für das Umland umso größer, je weiter ein Gebiet von einer Metropole entfernt ist. Wesentliche Bestimmungskriterien, um Städte mit stärker verstädterten städtebaulichen Strukturen und einer höheren zentralörtlichen Bedeutung in den ländlichen Regionen der Kategorie „Zentrale Stadt“ zuordnen zu können, ist eine Mindesteinwohnerzahl von 40.000 sowie die Dominanz in der regionalen Bevölkerungsverteilung. Das heißt, die Stadt bildet einen Schwerpunkt in der regionalen Bevölkerungsverteilung. Außerdem werden Kriterien des Arbeitsmarktes hinzugezogen, um auch der wirtschaftlichen und beschäftigungspolitischen Bedeutung einer Stadt für ihr Umland Rechnung zu tragen. Verwendet wird hierfür die Arbeitsplatzdichte, das heißt Beschäftigte am Arbeitsplatz pro Einwohner. Dieser Wert beträgt $\geq 0,3$. Das zweite Kriterium ist der positive Einpendler-Auspender-Saldo, was bedeutet, dass die Zahl der Menschen, die in diese Städte zu einem Arbeitsplatz einpendeln, größer ist als die Zahl derer, die zu einem Arbeitsplatz aus der Stadt auspendeln.

Zusätzlich zur Identifizierung der zentralen Städte im ländlichen Raum anhand der beschriebenen Kriterien erfolgte eine Plausibilisierung mithilfe eines Zentralitätsindex, der für alle Städte mit 20.000–100.000 Einwohnern anhand der Variablen Einwohnerzahl, Bevölkerungspotenzial, Arbeitsplatzdichte, Einpendler-Auspender-Saldo sowie Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Arbeitsort berechnet wurde.

Auf Basis dieser Vorgehensweise wurden schließlich 84 der insgesamt 260 Städte und Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern als Zentrale Städte in ländlichen Regionen eingestuft. Für diese Städte gilt auch, dass sie die Mindestanforderungen an Infrastruktureinrichtungen erfüllen, die das BBSR für den Raumordnungsbericht 2011 benannt hatte. Im Einzelnen handelt es sich dabei um die Anzahl der Schuldnerbe-

ratungsstellen, öffentliche Bibliotheken, Krankenhäuser der Grundversorgung, stationäre Altenpflegeeinrichtungen, Schulen mit der Möglichkeit zum Erreichen der allgemeinen Hochschulreife, Anzahl der Hotels, Volkshochschule, berufsbildende Schulen, Polizeidienststellen, Banken, Sportstadien, Kino, Behörden.

Die Städte mit weniger als 20.000 Einwohner:innen, die aber dennoch zentralörtliche Umlandbedeutung haben, wurden anhand eines zusätzlichen Zentralitätsindex als Mittelstädte definiert. Städte in den peripheren ländlichen Regionen mit einer Einwohnerzahl von mindestens 15.000 und einem Zentralitätsindex ≥ 0 gelten demnach als Mittelstädte.

Die Regionalstatistische Raumtypologie RegioStaR: Ergebnis der über das ganze Bundesgebiet hinweg konsistenten Typisierung ist die „Regionalstatistische Raumtypologie für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung (RegioStaR)“ (siehe www.bmvi.de/regiostar), die in unterschiedlicher Differenzierungstiefe ausgewiesen wird (Abb. 2.1).

In der stärksten Ausdifferenzierung, RegioStaR17, wird zwischen 17 Raumtypen unterschieden; die einfachste Variante unterscheidet lediglich zwischen städtischen und ländlichen Regionen. Auf der nächsttieferen Differenzierungsebene wird der Raumtyp „Stadtregion“ unterteilt nach „Metropolitane Stadtregion“ und „Regiopolitane Stadtregion“, der Raumtyp „Ländliche Region“ nach „Stadtregionsnahe ländliche Region“ und „Periphere ländliche Region“. Die damit geschaffenen vier Raumtypen werden dann weiter gegliedert in 17 Raumtypen, die den Grad von Verstädterung bzw. den Grad der Ausprägung von Eigenschaften eines ländlichen Raumes widerspiegeln (Abb. 2.2).

In der Erhebung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) wurde die RegioStaR-Typologie zum ersten Mal für eine amtliche Mobilitätserhebung eingesetzt. Die MiD ist die große nationale Erhebung, mit der die Mobilität der in Deutschland wohnenden, das heißt mit einem Wohnsitz amtlich gemeldeten Menschen in Deutschland gemessen wird. Hauptgegenstand der umfangreichen quantitativen Befragung in der MiD ist die Alltagsmobilität. Der Begriff „Mobilität“ wird dabei verstanden als das Verkehrsverhalten von Individuen im Alltag. Dazu erfasst die MiD Anzahl, Länge und Dauer der Wege, die die Menschen im Verlauf eines Tages zurücklegen. Außerdem geben die Befragten an, zu welchem Zweck – also z. B. Arbeit, Einkaufen oder Freizeit – und mit welchem Verkehrsmittel sie einen Weg durchführen (Quelle: MiD2017 Methodenband). Mit Hilfe der Angaben zum Wohnort der Befragten lassen sich die erhobenen Daten den verschiedenen Raumtypen von RegioStaR7 zuordnen.

Als „Kompromiss zwischen Übersichtlichkeit und Differenziertheit“ (MiD2017, S. 22) wurde der sog. „Zusammengefasste regionalstatistische Raumtyp“ RegioStaR 7 verwendet, mit dem sieben Raumtypen unterschieden werden (Abb. 2.3). Die Zusammenfassung bezieht sich auf ähnliche Raumtypen innerhalb der Gliederung in 17 verschiedene Typen; so ist beispielsweise aus der Verbindung der Raumtypen 211 „Zentrale Stadt einer stadtrionsnahen ländlichen Region“ und 221 „Zentrale Stadt einer peripheren ländlichen Region“ der Typ 75 „Zentrale Städte“ in der übergeordneten Kategorie „Ländliche Regionen“ entstanden.

Für die Analyse von alltäglichem Verkehrsverhalten bedeutet das, dass alle in der MiD2017 erhobenen Daten – soweit sinnvoll – entlang der RegioStaR 7-Einteilung

Regionalstatistischer Regionstyp (RegioStar 2) für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung

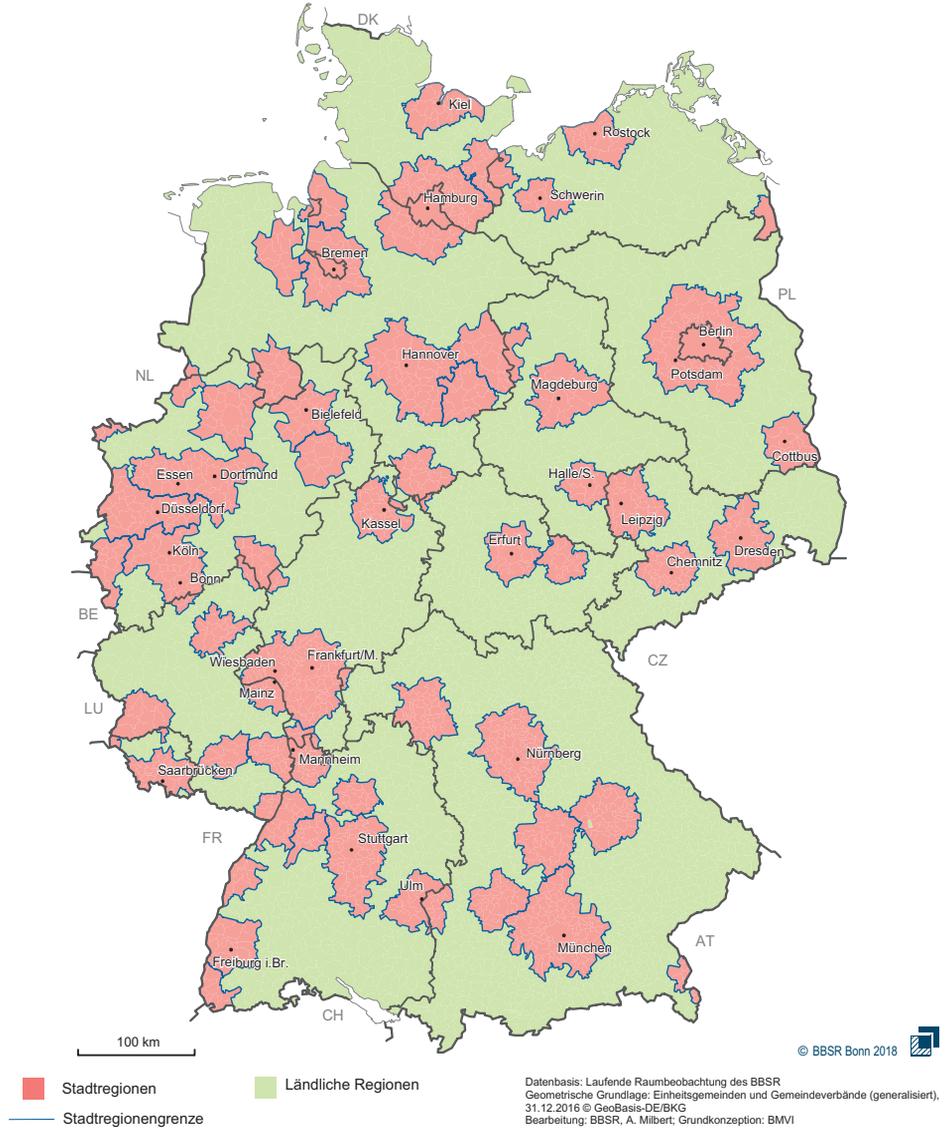


Abb. 2.1 RegioStar-Raumtypisierungen 17, 7 und 2. (Quelle: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>; mit freundlicher Genehmigung des BMDV, Zugriff 02.06.2022, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

**Zusammengefasster Regionalstatistischer Raumtyp (RegioStar 7)
für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung**

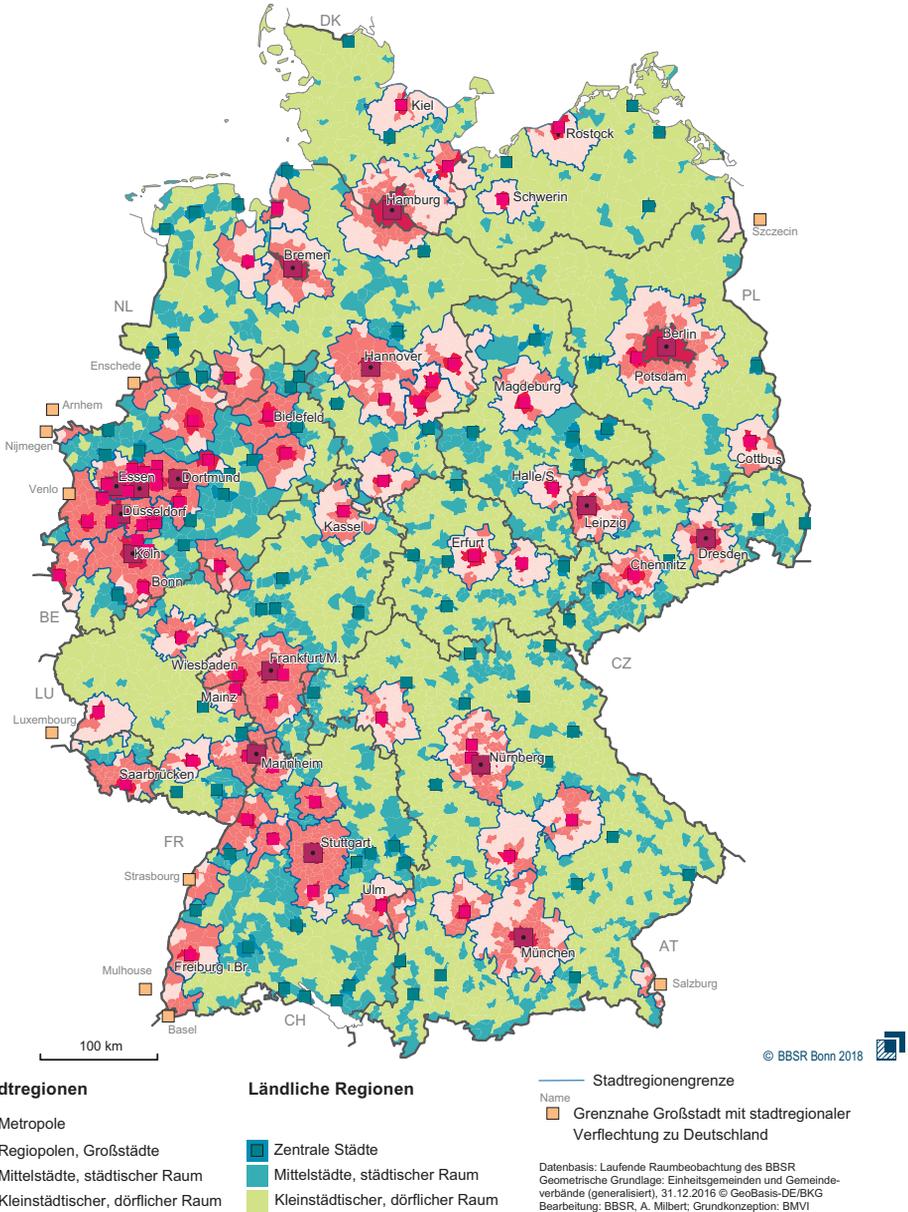


Abb. 2.1 (Fortsetzung)

**Regionalstatistischer Raumtyp (RegioStar 17)
für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung**

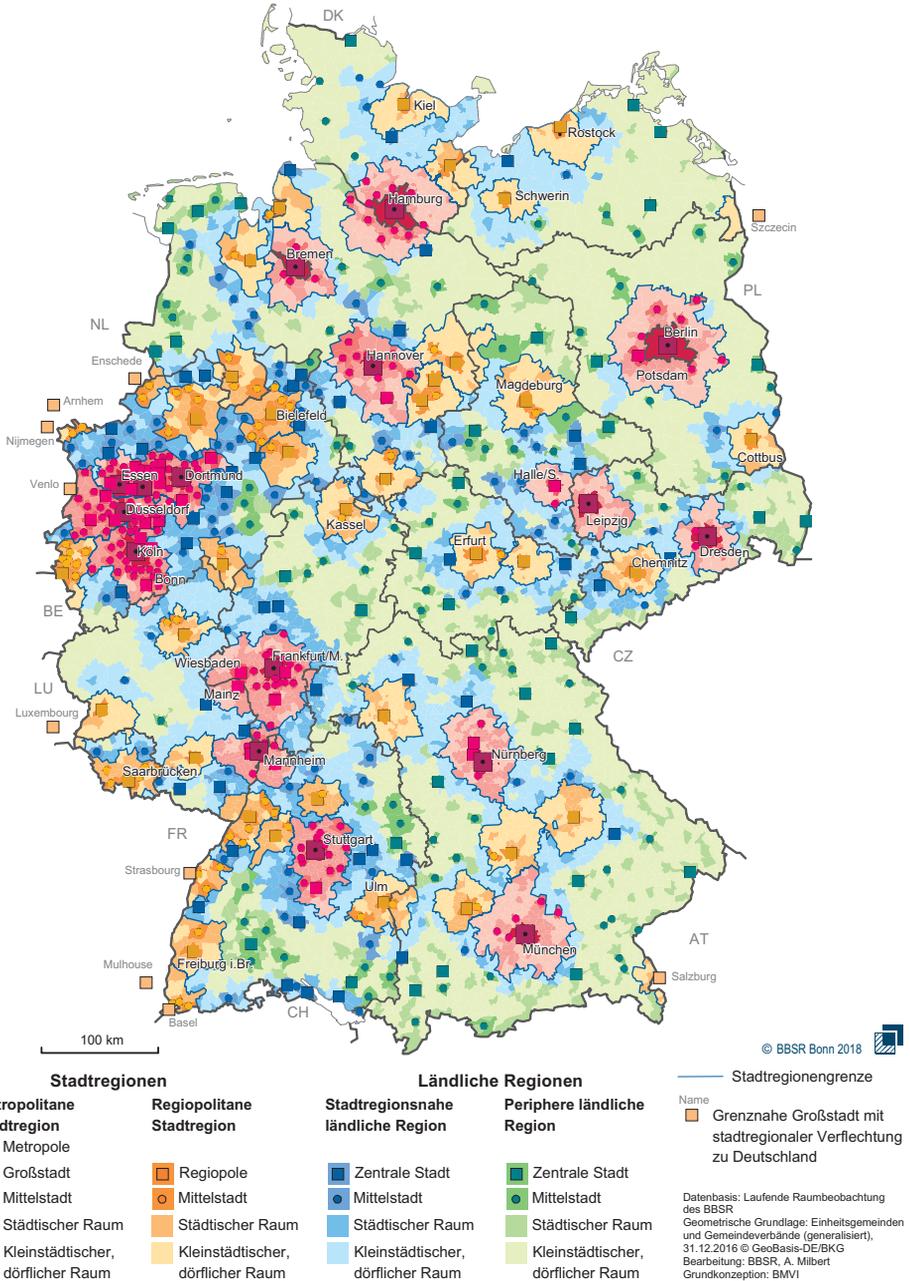


Abb. 2.1 (Fortsetzung)

Regionalstatistischer Regionstyp RegioStaR 2	1 Stadtregion				2 Ländliche Region			
	11	Metropolitane Stadtregion	12	Regiopolitane Stadtregion	21	Stadtreionsnahe ländliche Region	22	Periphere ländliche Region
Differenzierter regionalstatistischer Regionstyp RegioStaR 4	111	Metropole	121	Regiopole	211	Zentrale Stadt	221	Zentrale Stadt
Regionalstatistischer Raumtyp RegioStaR 17	112	Großstadt	123	Mittelstadt	213	Mittelstadt	223	Mittelstadt
	113	Mittelstadt			214	Städtischer Raum	224	Städtischer Raum
	114	Städtischer Raum			215	Kleinstädtischer, dörflicher Raum	225	Kleinstädtischer, dörflicher Raum
	115	Kleinstädtischer, dörflicher Raum						

Abb. 2.2 Gliederungsebenen und Raumtypen der Raumtypologie RegioStaR. (Quelle: BMDV – Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR), mit freundlicher Genehmigung des BMDV, Zugriff 10.06.2022, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

Städtische Regionen		Ländliche Regionen	
Typ-Nr.	Raumtyp	Typ-Nr.	Raumtyp
71	Metropolen	75	Zentrale Städte
72	Regiopolen und Großstädte		
73	Mittelstädte, städtischer Raum	76	Mittelstädte, städtischer Raum
74	Kleinstädtischer, dörflicher Raum	77	Kleinstädtischer, dörflicher Raum

Abb. 2.3 Zusammengefasster regionalstatistischer Raumtyp RegioStaR 7. (Quelle: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>; mit freundlicher Genehmigung des BMDV, Zugriff 02.06.2022, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

ausgewertet werden können. Sehr deutlich kommen dabei räumliche Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten zum Vorschein. Eine Datenauswertung mit dem räumlichen Bezug RegioStaR7 liegt auch für den MiD-Zeitreihenbericht vor, in dem die Entwicklungen im Mobilitätsbereich anhand der MiD-Erhebungen aus den Jahren 2002, 2008 und 2017 aufgezeigt werden (Quelle: Nobis et al. 2019). Ein besonderes Verdienst des Zeitreihenberichtes besteht dabei in der expliziten Einbettung von Mobilität in diejenigen demografischen und wirtschaftlichen Veränderungen der Jahre 2002 bis 2017, die besonders relevant für die Analyse der Mobilität der Menschen, aber auch für die Verteilung von Personenverkehr im Raum sind.

Im Folgenden werden die wesentlichen Kennwerte der Alltagsmobilität in ihrer jeweiligen räumlichen Ausprägung aufgezeigt. Dies wird ergänzt durch die Abbildung derjenigen Entwicklungen, die in den 15 Jahren 2002 bis 2017 das Mobilitätsgeschehen, wie wir es heute vorfinden, wesentlich geprägt haben.

2.1.2 Mobilität in städtischen und ländlichen Räumen im Vergleich

Folgt man der Gliederung des Raumes entsprechend der verschiedenen Raumkategorien von RegioStaR7, dann leben 63 % der Bevölkerung in Deutschland in einer Stadtregion und 37 % in einer ländlichen Region. Dabei mag zunächst überraschen, dass die Anteile, die Stadt und Land an der alltäglichen Mobilität haben, fast genau dieser Verteilung entsprechen: 64 % der Wege, die Menschen im Laufe eines Tages unternehmen, werden von Städtern gemacht, die dabei 63 % der täglichen Personen-Kilometer zurücklegen (vgl. MiD2017, S. 30). Unterschiede werden erst auf der Ebene der sieben Raumtypen sichtbar: Besonders deutlich tritt dies beim Vergleich von Bevölkerungsanteil in den jeweiligen Raumtypen und dem Anteil der jeweiligen Verkehrsleistung zutage: Die Bevölkerung der kleinstädtischen, dörflichen Räume legt überdurchschnittlich viele Kilometer zurück (Abb. 2.4).

Die Daten der MiD2017 – wie auch der Vorgängererhebungen – bestätigen mit einer Reihe von Kennwerten zunächst die Erwartung, dass die grundsätzlichen Mobilitätsbedürfnisse der Menschen ähnlich sind, und zwar unabhängig davon, ob sie in der Stadt oder auf dem Land leben. So finden sich bei den sog. „Wegezwecken“, also den

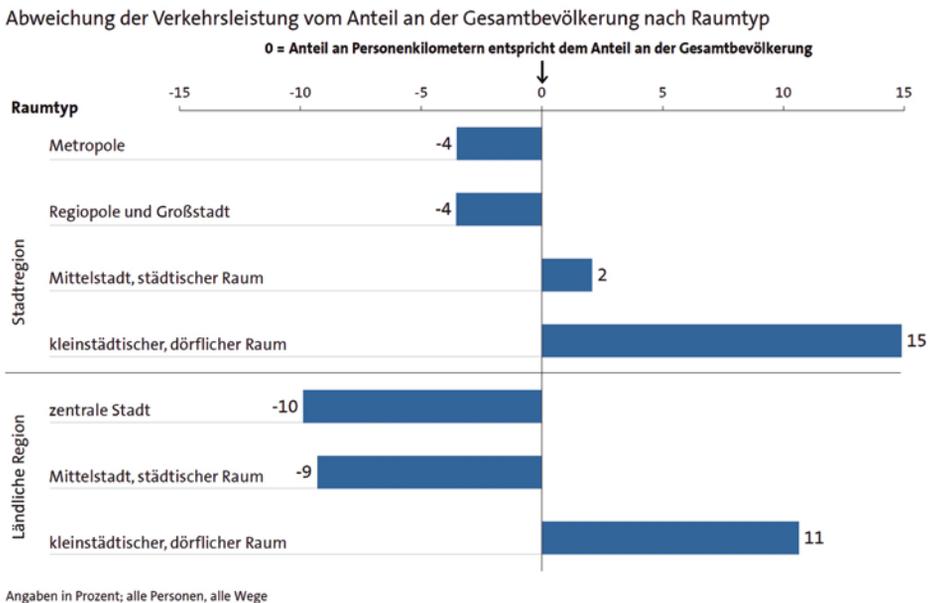


Abb. 2.4 Bevölkerungsanteile und Anteile an Verkehrsleistung im Vergleich nach Raumkategorien. (Quelle: MiD2017, Ergebnisbericht, S. 31, mit freundlicher Genehmigung des BMDV, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

Gründen, weswegen Menschen überhaupt aus dem Haus gehen, kaum Unterschiede zwischen den in RegiStaR7 ausgewiesenen Raumtypen (Abb. 2.5).

Auch der Bedarf an Mobilität – sei es Wunsch oder Notwendigkeit – sind in Stadt und Land fast identisch: Die Mobilitätsquote, das heißt der Anteil der Menschen, die an einem Tag aus dem Haus gehen, variiert nur minimal zwischen 85 und 86 %. Sie ist in den Städten sowohl der Stadtregionen als auch der ländlichen Regionen kaum höher als in den ausgesprochen ländlichen Gebieten. „Nur im „kleinstädtischen, dörflichen Raum“ der ländlichen Regionen, also in den Räumen mit einer geringen Siedlungs- und Bevölkerungsdichte von durchschnittlich 62 Einwohner:innen/qkm liegt sie niedriger;“ noch deutlich niedrigere Werte finden sich in einigen ostdeutschen Bundesländern (destatis 2021). Zum Vergleich: Die Bevölkerungsdichte in Deutschland betrug am 31.12.2020 233 Einwohner:innen/qkm.

Ähnlichkeiten über alle Raumkategorien hinweg finden sich auch bei der Anzahl der Wege, die dann unternommen werden. Sie liegen in den verschiedenen Raumtypen sowohl der ländlichen als auch der städtischen Regionen zwischen 3,1 und 3,2 Wegen pro Tag.

Den Gemeinsamkeiten, die die Menschen auf dem Land und in der Stadt in ihrem alltäglichen Mobilitätsverhalten zeigen, stehen allerdings auch große Unterschiede gegenüber. Wer auf dem Land lebt, fährt deutlich häufiger mit dem Auto, legt längere Strecken zurück, braucht dafür aber weniger Zeit als jemand, der in der Stadt wohnt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen: „Land ist nicht Land“ und „Stadt ist nicht Stadt“.

Bei der Verkehrsmittelnutzung wird der Einfluss des Siedlungscharakters besonders offensichtlich. Während in den größeren Städten sowohl der städtischen als auch der ländlichen Regionen der „Umweltverbund“ – bestehend aus Zu-Fuß-Gehen, Radfahren und ÖPNV-Nutzung – überdurchschnittlich häufig genutzt wird, dominiert in den Mittel- und Kleinstädten wie auch im dörflichen Raum durchweg das Auto (Abb. 2.6).

Dort, wo der öffentliche Verkehr unterdurchschnittlich genutzt wird, erreicht das Angebot oft nur das Niveau einer Grundversorgung (vgl. Abb. 2.6). Zwar verfügen in Deutschland etwa 90 % aller Ortschaften über eine ÖPNV-Anbindung, bei der eine Bushaltestelle mit mindestens 20 Abfahrten am Tag in maximal 600 m oder ein Bahnhof in maximal 1200 m Entfernung von der Wohnung erreichbar ist (vgl. BMI 2020). Dabei werden durch die Ausrichtung des öffentlichen Verkehrs auf den Schüler- und

	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Erledigung	Freizeit	Begleitung
Städtische Region	16	10	7	16	14	28	8
Ländliche Region	16	12	7	15	15	27	8

Abb. 2.5 Hauptwegezwecke in städtischen und ländlichen Regionen. (Quelle: BMDV, MiD2017, eigene Abfrage)

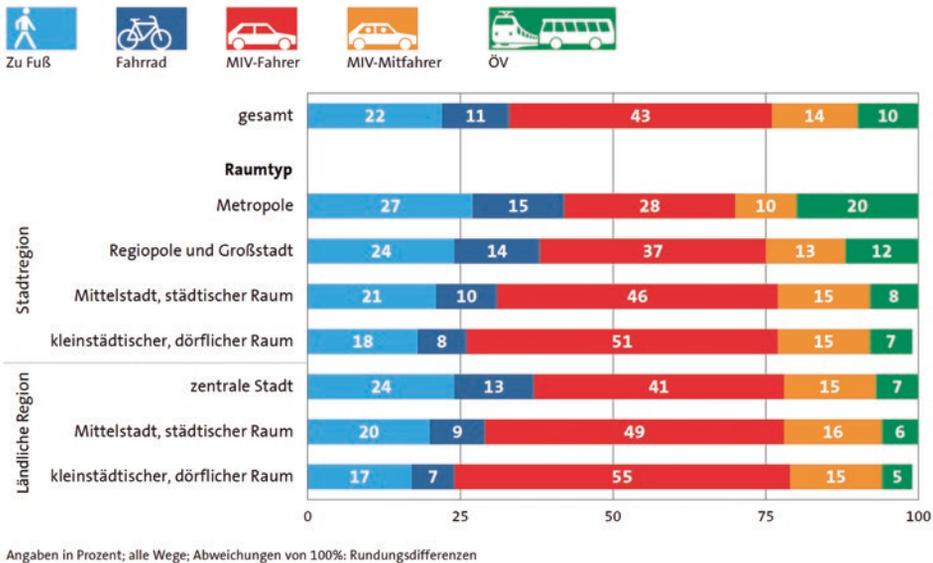


Abb. 2.6 Modal Split 2017 nach Raumkategorien. (Quelle: MiD2017 S. 47, mit freundlicher Genehmigung des BMDV, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

Berufsverkehr allerdings morgendliche und vor allem abendliche Randzeiten sowie Wochenenden in der Regel schlecht bedient. Gleichzeitig bemängeln viele Personen und Haushalte beim ÖPNV die fehlende zeitliche Flexibilität, die mit einem Individualfahrzeug, insbesondere mit dem Auto, gegeben ist. Generell muss festgestellt werden, dass es dadurch in den vergangenen Jahren zu einem Rückgang der ÖPNV-Nutzung in den ländlichen Räumen gekommen ist (Weiss 2020).

Für eine stärkere Nutzung des Individualverkehrsmittels „Fahrrad“ ist vielfach die Fahrradinfrastruktur [noch] unzureichend, vor allem wenn es entlang von Landstraßen um die Verbindung zwischen Ortschaften geht. Nicht umsonst gehört der Ausbau einer separaten Fahrradinfrastruktur an Außerortsstraßen zu den Handlungsschwerpunkten des Nationalen Radverkehrsplans 3.0, ebenso wie die bessere Verknüpfung von Radverkehr und ÖPNV (vgl. Nationaler Radverkehrsplan, Stand Januar 2022, S. 67).

Grundlage für die überdurchschnittliche Nutzung des Pkw in den kleineren Städten und im ländlichen Raum ist eine hohe Pkw-Dichte. Während in Deutschland insgesamt 22 % der Haushalte keinen Pkw zur Verfügung haben, sind es im ländlichen Raum nur 10 %. Hier haben auch Haushalte mit relativ geringem Haushaltseinkommen überdurchschnittlich oft ein eigenes Auto. Am höchsten ist der Anteil von Haushalten ohne eigenen Pkw in den Metropolen mit 42 %. Spitzenreiter ist Berlin, wo fast die Hälfte aller Haushalte kein Auto besitzt; in der Innenstadt ist es sogar mehr als die Hälfte (Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz 2017). Gleichzeitig gibt es in den

Erreichbarkeit des öffentlichen Nahverkehrs (Zugang zu Haltestellen)

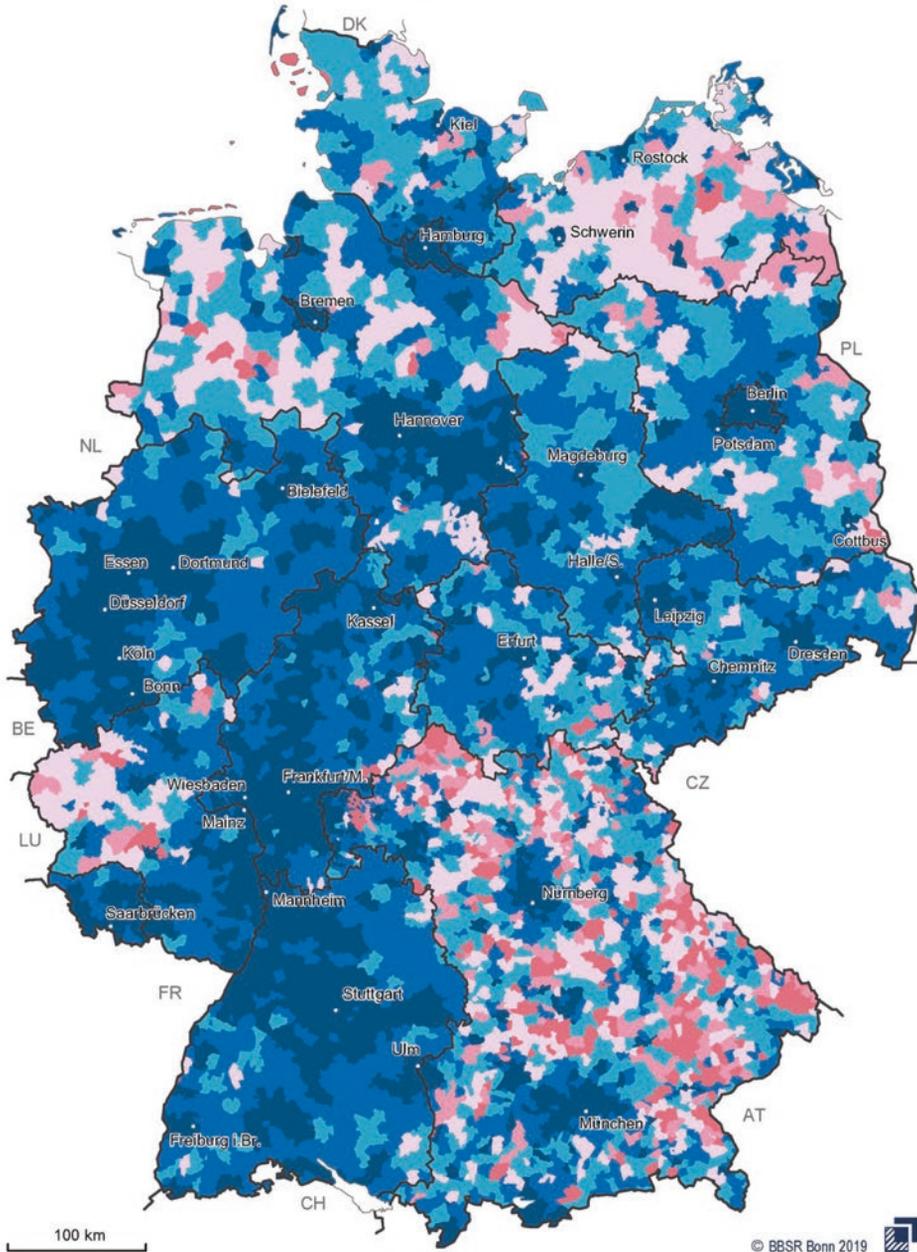
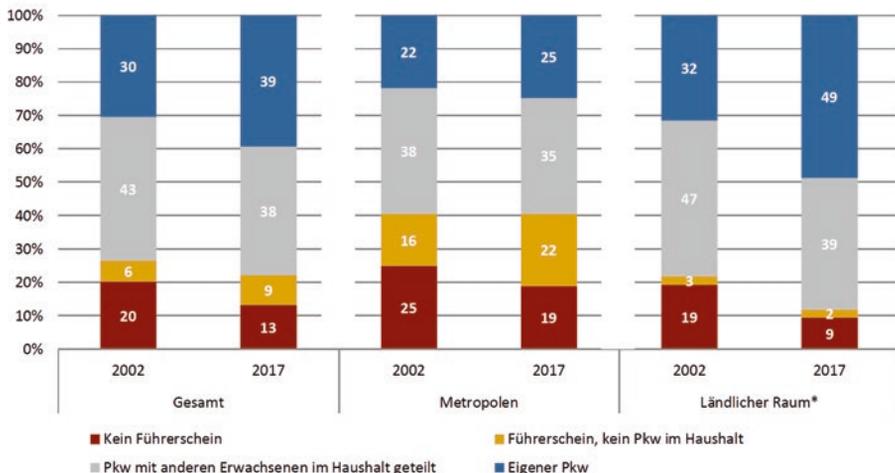


Abb. 2.7 Erreichbarkeit des öffentlichen Nahverkehrs in Deutschland (dargestellt ist der Anteil der Bevölkerung, der innerhalb eines 600-m-Radius um eine Bus-Haltestelle mit mindestens 20 Abfahrten am Tag oder innerhalb eines Radius von 1200 m um einen Bahnhof lebt). (mit freundlicher Genehmigung von © BMI 2020, ohne kommerziellen Hintergrund, 2022. All Rights Reserved)

ländlichen Regionen mehr Haushalte mit zwei oder mehr Autos. Im kleinstädtischen, dörflichen Raum der städtischen Regionen ist der Anteil von 33 % im Jahr 2002 auf 40 % im Jahr 2017 gestiegen; im kleinstädtischen, dörflichen Raum der ländlichen Regionen stieg der Wert von 28 % auf 36 % (Nobis et al. 2019, S. 37).

„Mehr Haushalte mit Auto“ bedeutet gleichzeitig auch „mehr Menschen mit Führerschein“. Zwar hatte schon die erste MiD-Erhebung im Jahr 2002 gezeigt, dass im ländlichen Raum der Anteil derer, die einen Führerschein besitzen, größer ist als in den großen Städten. Diese Differenz hat sich in der Zwischenzeit jedoch weiter vergrößert (Abb. 2.8): In nur 9 % der Haushalte besaß im Jahr 2017 keines der Haushaltsmitglieder einen Führerschein; in den Metropolen traf das auf fast ein Fünftel aller Haushalte zu. Gleichzeitig gab es zwar in 22 % der Haushalte eine Person mit Führerschein, dennoch war der Haushalt ohne Auto. Im ländlichen Raum sind dagegen nur 2 % der Haushalte ohne Auto geblieben, obwohl ein Haushaltsmitglied per Führerschein fahrberechtigt war (Nobis, Hergert 2020). Der Wunsch nach dem eigenen Führerschein ist offenbar weiterhin auch bei jungen Menschen groß. So besaßen laut Fahrerlaubnisregister des Kraftfahrtbundesamtes im Jahr 2019 zwei Drittel der Menschen im Alter zwischen 18 und 24 Jahren eine Fahrerlaubnis. Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes zeigt ergänzend, dass die große Mehrheit junger Erwachsener ohne Führerschein unter 25 plant, in naher Zukunft einen Führerschein zu erwerben (Kuhnimhof et al. 2019).



* Basis: 7er-Einteilung der regionalstatistischen Raumtypologie (RegioStaR); ländlicher Raum = kleinstädtischer, dörflicher Raum innerhalb der ländlichen Regionen

Quelle: Eigene Berechnung, MID 2002 und MID 2017, Personen ab 18 Jahren

Abb. 2.8 Haushalte mit und ohne Personen mit Führerschein und Pkw-Besitz in Metropolen und ländlichen Regionen (Nobis, Hergert 2020)

Dabei hat der Pkw auch bei den jungen Menschen weiterhin eine große Bedeutung, auch wenn die Zustimmung zum Auto etwas gesunken ist, während Fahrrad und öffentlicher Verkehr (ÖV) an Zustimmung gewonnen haben. Beim ÖV hat in der Befragung für die UBA-Studie insbesondere die Möglichkeit, die Zeit sinnvoll zu nutzen, eine positivere Bewertung gegenüber einer früheren, zehn Jahre zurückliegenden Befragung erfahren. Es darf angenommen werden, dass die mobile Internetnutzung dafür ausschlaggebend ist. Dennoch wird der Pkw weiterhin als ein Verkehrsmittel wahrgenommen, mit dem sich viel Zeit sparen lässt und mit dem sich im Alltag praktische Vorteile verbinden. Die Studie betont, dass insgesamt keine deutlichen Unterschiede für städtische und ländliche Räume identifiziert werden konnten und zumindest die Grundtendenzen ähnlich sind. Demnach lässt sich nicht bestätigen, dass die im öffentlichen Diskurs immer wieder vorgebrachten Erwartungen, wonach die sich ändernde Automobilität junger Erwachsener vor allem ein städtisches Phänomen sei, zutreffen.

2.1.3 Schlussfolgerungen mit Blick auf die Einführung des automatisierten Fahrens im öffentlichen Verkehr

In der Zusammenschau der Daten ergibt sich ein Bild zum heutigen Verkehrsverhalten der Menschen im ländlichen Raum, das sich aus einer Entwicklung ableitet, die bereits seit vielen Jahren konstant zwei großen Richtungen folgt:

- Garant für eine funktionierende Alltagsmobilität ist offensichtlich für die meisten Menschen vor allem das eigene Auto. Dies zeigt sich in der hohen Pkw-Verfügbarkeit in den Haushalten ebenso wie im anhaltend hohen Führerscheinbesitz auch unter der jungen Bevölkerung ab 18 Jahren.
- Die Nutzung des öffentlichen Verkehrs bleibt auf dauerhaft niedrigem Niveau, obwohl in den vergangenen Jahren erhebliche Qualitätsverbesserungen umgesetzt wurden. Dies betrifft insbesondere Fahrzeuge und Haltestellen sowie die Verdichtung der Häufigkeit der Fahrten und die Ausdehnung der Zeiten, in denen Busse und Bahnen verkehren. In jüngerer Zeit wird die konventionelle fahrplanbasierte Bedienung des Netzes in mehreren Verbänden durch On-Demand-Verkehre, also Verkehre nach individuellem Bedarf, ergänzt.

Vor dem Hintergrund dieser Beobachtungen stellt sich die Frage, auf welche besonderen Herausforderungen sich ein öffentlicher Verkehr einstellen muss, der mithilfe von autonomen Fahrzeugen eine ganz neue Qualität und Attraktivität aufweisen wird.

Zunächst ist davon auszugehen, dass die Einführung automatisierter Elemente im öffentlichen Verkehr des ländlichen Raumes modular erfolgt, wobei drei grundsätzlich unterschiedliche Einsatzfelder adressiert werden müssen:

1. regelmäßige, zeitlich und räumlich gebündelt auftretende Pendelverkehre;
2. zeitlich und räumlich disperse Verkehre für Einkauf und Erledigung wochentags sowie einem Schwerpunkt am Samstag;
3. zeitlich und räumlich disperse Verkehre für Freizeit wochentags sowie sonn- und feiertags. Angesichts der geringen Bündelungsmöglichkeiten stellt diese Kategorie eine besondere Herausforderung dar – sowohl im Hinblick auf die Fahrzeugdisposition als auch in ökonomischer Hinsicht.

In jedem Fall ist zu berücksichtigen, wie die Anschlussfähigkeit an bestehende Mobilitätsmuster hergestellt werden kann, sodass bei den Endnutzer:innen zumindest für den ersten Schritt in ein neuartiges Mobilitätsangebot kein völlig neues, verändertes Verhalten vorausgesetzt werden muss, sondern eine sanfte Transition möglich wird.

Um einen Modal Shift hin zu mehr öffentlichem Verkehr zu initiieren, bedarf es der Zunahme an motorisiertem gemeinschaftlichen Verkehr mit einem zuverlässigen und breiten Angebot an automatisierten Fahrtmöglichkeiten. Ob es aufgrund der zusätzlichen Mobilitätsoption insgesamt zu einer Verkehrszunahme oder aber zur Verlagerung von Individualverkehr mit dem Auto oder dem Fahrrad auf gemeinschaftlichen Verkehr kommt, wird von der Qualität der Dienstleistung selbst, aber auch den dann geltenden Rahmenbedingungen abhängig sein. Dazu gehören neben den Kosten, die dem Fahrgast für die Nutzung der automatisierten Verkehre entstehen, die alternativen Kosten für den Betrieb eines Individualfahrzeugs (insbesondere Kraftstoff-/Energiekosten und Parkgebühren am Zielort). Ein wichtiger Aspekt, der zur Nutzung oder aber Nicht-Nutzung der neuen Dienstleistung wesentlich beitragen wird, ist die wahrgenommene Sicherheit der Fahrzeuge im Straßenverkehr sowie gleichermaßen die Sicherheit der Fahrgäste im fahrer:innenlosen Fahrzeug. Wie einzelne Untersuchungen zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens zeigen, wird dies für Frauen und ältere Menschen eine besondere Bedeutung haben.

Ergänzend wird zu diskutieren sein, welche raumstrukturellen Konsequenzen sich aus der verbesserten Bedienung ländlicher Räume mit einem flexiblen und leistungsstarken öffentlichen Verkehr verbinden. Denkbar ist sowohl eine Stärkung der Zentren auf unterschiedlichen räumlichen Hierarchieebenen als auch eine Fokussierung auf die großen Zentren (Mittel- und Oberzentren) angesichts der verbesserten Mobilitätsbedingungen. Konkret bedeutet das, dass die verkehrliche Entwicklung Hand in Hand mit der Raumplanung und Raumentwicklungsmaßnahmen gehen sollte.

2.2 Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf

Constantin Pitzen und Heiner Monheim

Automatisierte und künftig fahrerlose Fahrzeuge werden die Wettbewerbsfähigkeit des ÖPNV erhöhen (s. Kap. 3), weil durch den Entfall der Personalkosten die Betriebskosten erheblich sinken und zudem der aktuelle Fahrermangel überwunden wird.

Hiervon profitiert der Öffentliche Verkehr (ÖV) besonders, weil der Personalkostenanteil bei ihm besonders hoch ist. Aber auch Anbieter von Ridepooling, Taxen und anderen kommerziellen Fahrdiensten, bei denen ebenfalls die Personalkosten aufgrund der geringen Sitzplatzzahl einen hohen Anteil haben, werden wirtschaftlicher. Der ÖPNV kann bei autonomer Fahrweise ein räumlich und zeitlich ausgeweitetes Angebot anbieten und seine klassischen Rationalisierungsstrategien – immer größere Fahrzeuge, Konzentration auf nachfragestarke Achsen und Verkehrszeiten – beenden.

Dadurch kann der ÖV einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen leisten. Attraktivere, also häufigere und schnellere Verbindungen bei gleichzeitig verbesserter Flächenerschließung verbessern die Wettbewerbsfähigkeit des ÖPNV. Trotzdem sind eine öffentliche Co-Finanzierung und eine öffentliche Beeinflussung seiner Angebots- und Tarifstrukturen weiterhin erforderlich.

2.2.1 Ausbau eines flächendeckenden ÖV-Angebotes im ganzen Land unabhängig von Siedlungsdichte und bisheriger räumlicher und zeitlicher Nachfragestärke

Die Wettbewerbsfähigkeit des ÖPNV kann bei autonomem Betrieb im ganzen Land in allen siedlungs- und raumstrukturellen Kulissen verbessert werden. Differenzierungen ergeben sich künftig primär durch die Fahrzeuggrößen und die Anforderungen aus den jeweiligen Aktionsradien und Reiseweiten der Teilsysteme. Wobei die durchgängige Reduzierung der Fahrgeschwindigkeiten für Kfz (aus Sicherheits-, Emissions- und Effizienzgründen) die bisherige Geschwindigkeitsfixierung der Angebotsgestaltung stark relativiert.

Für ein nutzbares ÖPNV-Angebot, das ein Leben ohne Auto für möglichst viele Menschen möglich macht, muss es attraktive ÖV-Angebote auch in dünnbesiedelten und daher nachfrageschwachen Gebieten geben. Wo immer Straßen vorhanden sind, braucht es auch einen konkurrenzfähigen ÖV, gerne bedarfsgesteuert, aber mit einfacher Handhabung und schneller Bedienung ohne lange Wartezeiten.

Ausgehend von einem derartigen Basisangebot können dann die Teilsysteme je nach Aktionsradius und Kapazitätsanforderung nach Dimensionierung der Fahrzeuge und Strukturierung der Netze weiter differenziert werden, aber der Anspruch einer hohen Systemqualität ist in allen Teilsystemen zu gewährleisten, damit für den individuellen Kfz-Verkehr nur noch minimale Restaufgaben verbleiben.

2.2.2 Anwendung des Planungsprinzips Integraler Taktfahrplan (ITF)

Der autonome intelligente ÖV operiert auf einer digitalen Betriebslogistik, die das räumliche und zeitliche Zusammenspiel seiner verschiedenen Teilelemente nach der Logik

Integraler Taktfahrpläne (ITF) optimiert (siehe Abb. 2.9). An allen Knoten gibt es immer in alle Richtungen passende Anschlussoptionen, deren konkrete Abwicklung jeweils von der Nachfrage der jeweiligen Relation abhängt. Für die gesamte Bundesrepublik gipfelt dies im Deutschlandtakt (s. Initiative Deutschlandtakt).

Die Fahrpläne der einzelnen Bahn- und Buslinien werden in einem ITF nicht nur mit regelmäßigen Abfahrts- und Ankunftszeiten geplant (Taktfahrplan), sondern an Knoten ausgerichtet. Und wo die Nachfragemengen für Fahrpläne mit Taktfahrplänen nicht mehr ausreichen, werden durch die logistische Steuerung bedarfsgesteuerte Anschlussverkehre hergestellt.

Damit die Verknüpfung der Bahn- und Buslinien funktioniert, sind zwei Anforderungen zu erfüllen:

1. Die Fahrpläne aller regelmäßig und in relevanten Mengen nachgefragten Bahn- und Buslinien werden „symmetrisch“ geplant. Allerdings sind die bisher dafür angesetzten Taktzeiten für einen massenhaften Ersatz von bisherigem individuellen Kfz-Verkehr selten ausreichend, der autonome ÖV erlaubt viel dichtere Taktzeiten, die auch nötig sind, um ein Vielfaches an Beförderungskapazität bieten zu können. Trotzdem sollen auch bei dichten Takten die Umsteigebeziehungen möglichst wartefrei gewährleistet werden.
2. Durch die Ausrichtung der Fahrpläne an Knoten ermöglicht der ITF zahlreiche neue Anschlussverbindungen (ein Beispiel dafür Abb. 2.10). Der ÖV wird damit für viele Fahrtzwecke attraktiver und erstmals nutzbar. In vielen Fällen ermöglichen die neuen

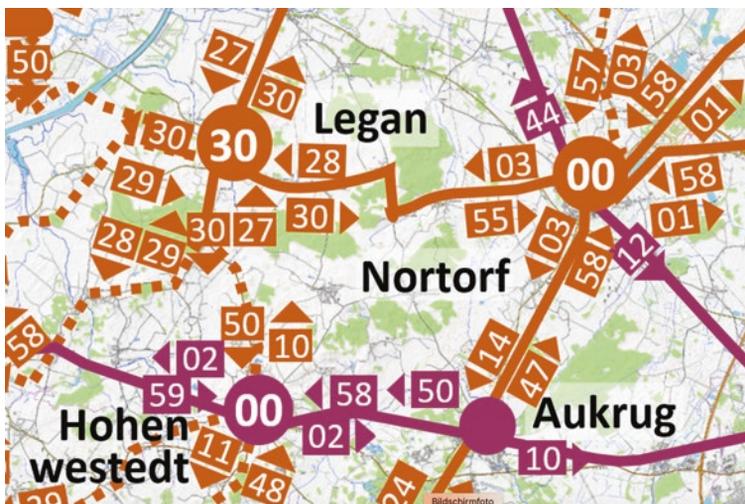


Abb. 2.9 Integraler Taktfahrplan für den ländlichen Raum rund um Nortorf im Kreis Rendsburg-Eckernförde

Umsteigeverbindungen aber auch Einsparungen, weil beispielsweise bislang erforderliche Direktfahrten entfallen können.

Für die erfolgreiche Umsetzung eines ITF sind nach Erfahrungen der Autoren mit Blick auf den ÖV auf der Straße drei Faktoren entscheidend:

- **Schülerbeförderung:** Die Kosten für die Vorhaltung des ÖPNV besonders im ländlichen Raum werden stark vom Aufwand für die Schülerbeförderung bestimmt. Für die Finanzierbarkeit des künftigen ÖPNV ist es daher wichtig, die Schülerbeförderung in den ITF zu integrieren. Damit die im Takt verkehrenden Bahnen und Busse für die Schülerbeförderung genutzt werden können, sind Schulanfangs- und Schulschlusszeiten anzupassen.
- **Haltestelleninfrastruktur:** An allen Verknüpfungen verschiedener Linien und Sammelpunkte bedarfsgesteuerter Angebote bestehen besondere Anforderungen an die Haltestelleninfrastruktur (verkehrstechnisch, aber auch im Serviceangebot). Die Haltestellen sind optimal mit kurzen Wegen zueinander auszurichten.

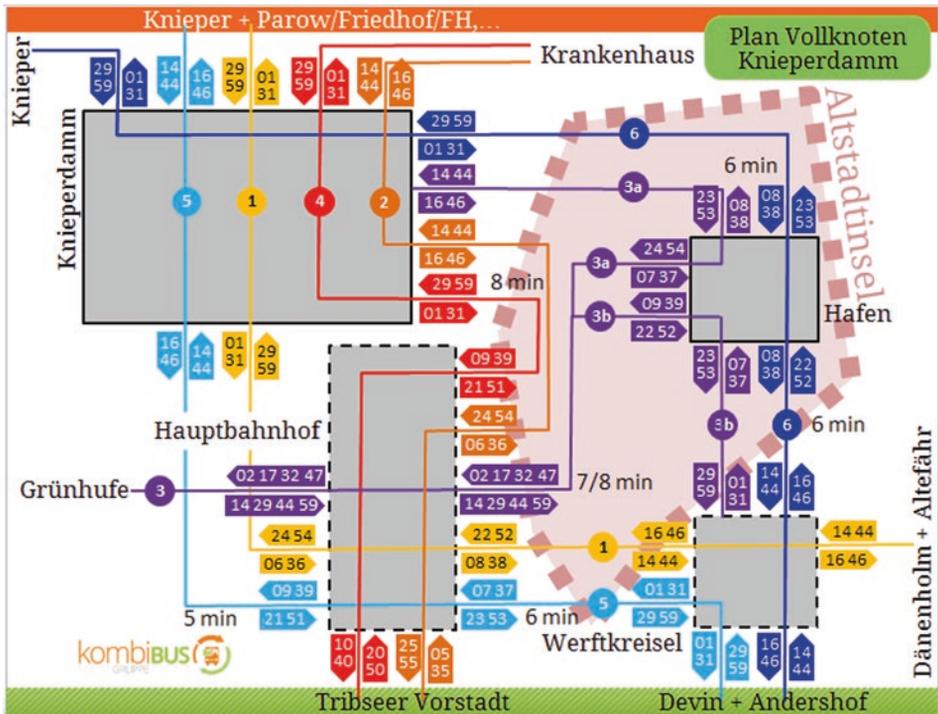


Abb. 2.10 Stadtbuss Konzept „Richtungsknoten“ für die Stadt Stralsund

- **Mut:** Die Anpassung von Konzepten im ÖPNV erfordert Mut, weil Änderungen i. d. R. Nutzen für viele Menschen bringen, aber gleichzeitig auch Nachteile für einzelne Verkehrsteilnehmer, die sich dann beschweren. Politische Entscheidungsträger benötigen daher Mut für Veränderungen.

2.2.3 Entwicklung von Erschließungssystemen

Im ganzen Land gibt es überall Bedarf für eine gute Erschließung mit ÖV-Angeboten und Anbindung aller relevanten Quellen und Ziele. Das Basissystem mit primärer Erschließungsaufgabe wird je nach Siedlungsraum mit Linienverkehren oder Bedarfsverkehren dargestellt, wobei die Bedarfsverkehre ohne lange Vorbestellzeiten wie das private Auto spontane Mobilität ermöglichen müssen (s. VCD Bundesmobiliätsgesetz). Daher ist eine große Zahl kleinteiliger, kleinformatiger autonomer ÖV-Angebote dezentral überall vorzuhalten (Dorfbus, Landbus). Ihre Aktionsradien sind begrenzt und enden dort, wo die nächst „höheren“ Angebotselemente im Linienverkehr angetroffen werden.

Aus dem Zusammenwirken mehrerer Hierarchieebenen zwischen Feinerschließendem ÖV, kurzem Linienverkehrsradius, mittellangem und langem Linienverkehrsradius (der mittlere und lange Radius überwiegend im SPNV und SPFV) ergeben sich zwei Postulate: Die Übergänge müssen räumlich und zeitlich optimiert werden, die die o.a. ITF Logik und gute räumliche Anordnung der Haltestellen und Bahnhöfe und die bisherige Problematisierung des Umsteigens zwischen den Teilsystemen muss durch hohen Umsteigekomfort (zeitlich wie räumlich und informatorisch/logistisch) abgebaut werden. Das Reisen in den Systemen muss immer wie am Schnürchen funktionieren.

- Betriebskonzept: Konventioneller Linienverkehr oder flexible Bedienform (on demand/Rufbus)
- Im Fall flexibler Bedienform: Vollflexible Betriebsweise (keine elektronische Fahrplanauskunft, weniger Bündelung, aber hohe Flexibilität) oder Bündelung von Fahrtwünschen und Ausrichtung an Anschlüssen (Richtungsband-Betrieb, Korridorbetrieb, Sektorbetrieb)
- Fahrzeug: Kleiner oder mittlerer barrierefreier Linienbus oder Pkw-ähnliches Fahrzeug mit eingeschränkter Barrierefreiheit
- Betreiber: ÖPNV-Verkehrsunternehmen, ggf. Subunternehmer oder marktinitiiertes Mobilitätsanbieter (s. nachfolgendes Kapitel) oder ehrenamtlicher Bürgerbusverein
- Automatisierung: Fahrerloser Betrieb im Level 4 oder 5

Bei der Abwägung zum Konzept für die Erschließungsverkehre ist zu berücksichtigen, dass a) schnelle Linienbusse attraktiver als Rufbusse/On-Demand-Verkehre sind, weil diese für einzelne Fahrtwünsche i. d. R. große Umwege fahren und daher mehr Fahrzeitpuffer benötigen, b) die Anmeldung des Fahrtwunsches eine Barriere für die Benutzung

darstellt und c) die im Vergleich zum Linienbus geringere Bündelung von Fahrtwünschen einen höheren Energieverbrauch pro Sitzplatz zur Folge hat und damit die CO₂-Reduzierung erschwert.

2.2.4 Übergabe von Erschließungsfunktionen an private Mobilitätsanbieter

Die marktgetriebenen Anbieter von Ridepooling und Ridehailing, wie Uber, Lyft, Moja u. a. m. entwickeln neue Mobilitätsangebote und bieten ihre Leistung über das Internet bzw. Apps an. Die Dienstleistungen unterliegen nicht den Verpflichtungen der Daseinsvorsorge, es gibt keine Beförderungspflicht in abgelegenen Orten, sie müssen nicht barrierefrei sein und die Fahrpreise sind nicht sozialverträglich, liegen i. d. R. zwischen Taxi und ÖPNV. Künftig müssen diese Angebote in das Gesamtsysteme der öffentlich regulierten Mobilitätsdienstleistungen integriert werden, durch Nutzung der gleichen logistischen Plattformen und Anerkennung der jeweiligen Tarife.

Die Aufgabenträger können die feinerschließenden Erschließungsaufgaben delegieren an Anbieter des Ridepooling oder ähnlicher Mobilitätsformen, dafür geben sie die ÖV-immanenten Regularien vor. Bislang sind die marktinitiierten Anbieter aber nur dort tätig geworden, wo es einen gut ausgebauten ÖPNV gibt oder dieser entwickelt werden könnte. In Verkehrsgebieten ohne bündelungsfähige Verkehrsströme sind die neuen Verkehrsanbieter kaum oder gar nicht tätig. Ridepooling und Ridehailing in Verkehrsgebieten mit hochwertigem ÖPNV beeinflussen durch Konkurrenzierung die Klimabilanz und die Wirtschaftlichkeit des öffentlich finanzierten ÖPNV.

2.2.5 Der automatisierte ÖV

Mehrere Hersteller bereiten die Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen für Level 4 und mit einer Platzzahl von 5 bis 12 Plätzen vor und erproben Prototypen im realen Straßenverkehr. In Kooperation von Iveco und Easymile (s. Easymile) befindet sich erstmals ein fahrerloser Linienbus mit 12 m Länge und etwa 40 Sitzplätzen in Entwicklung. Auf Basis des sich abzeichnenden Spektrums lieferbarer fahrerloser Fahrzeugtypen für den ÖPNV sind verschiedene Einsatzszenarien denkbar, die nachfolgend unterschieden werden.

Für den Einsatz im ÖPNV lassen sich grob diese drei Fälle unter drei verschiedenen Rahmenbedingungen unterscheiden, wie in Abb. 2.11 dargestellt:

Automatisierte fahrerlose Fahrzeuge werden im ÖV genutzt, um das Verkehrsangebot überall auszuweiten und die Kosten zu senken. Zu erwarten ist, dass die Einführung dieser Möglichkeiten in Abhängigkeit von den technischen Möglichkeiten und in Schüben sukzessive erfolgt. Es ist daher zunächst von gemischten Fahrzeugflotten im ÖV auszugehen.

2.3 Der Kampf um den Verkehrsraum – öffentlicher Raum, Fahrradweg und Spur für automatisierten ÖPNV

Dennis Jaquet

Warum sehen die Straßen in deutschen Städten so aus, wie sie aussehen? Warum haben sie eben diese Raumaufteilung, bei dem den Autos der meiste Platz eingeräumt wird?

Die Antwort auf diese Fragen ist einfach und schwer zugleich. Vereinfacht gesagt können wir Folgendes festhalten: Jeder Mensch hat Bedürfnisse, in der Sozialgeografie auch Daseinsgrundfunktionen genannt, die befriedigt werden müssen. Wohnen, Arbeiten, sich versorgen, sich bilden, sich erholen oder an der Gemeinschaft teilhaben. Alle diese Bedürfnisse können allerdings nicht an einem einzigen Ort befriedigt werden, wir müssen uns also im Raum bewegen. Es entsteht Mobilität – und damit auch Verkehr. Wie, also mit welchem Verkehrsmittel, diese Mobilität ermöglicht wird, ist sehr komplex. Retrospektiv kann jedoch festgehalten werden, dass der ‚Volkswagen‘, der VW Käfer, nicht nur dafür gesorgt hat, dass die Menschen mobiler wurden. Er hat uns auch in eine Pfadabhängigkeit geführt. Nicht nur gab es damit für eine breite Bevölkerung die Möglichkeit, bei gleichem Zeiteinsatz weitere Strecken zurückzulegen. Sondern der zunehmende Pkw-Besitz führte auch zu mehr Pkw-Nutzung. Es hat sich gezeigt, dass je weniger Haushalte ohne Pkw in einer Stadt vorhanden sind, desto höher der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) am Modal Split ist. Der steigende MIV hat dazu geführt, dass sich die Siedlungsentwicklung und Infrastrukturgestaltung entsprechend der Verkehrsnachfrage durch private Pkws anpassten. In den 1960er-Jahren entstand auf diese Weise das Bild der ‚autogerechten Stadt‘ als Konzept für den Verkehr der Zukunft (vgl. auch Abschn. 1.3.1 in diesem Handbuch).

Durch diese jahrzehntelange Ausrichtung auf eine ‚autogerechte Stadt‘ hat sich in Deutschland eine nicht unerhebliche Abhängigkeit vom privaten Auto entwickelt, die sogar im Auto als Statussymbol gipfelte, das erst so langsam zu bröckeln beginnt. Diese (fast) völlige Fokussierung auf ein einziges Verkehrsmittel, auch in der Verkehrsplanung, hat zu Gewohnheiten und Bewegungsmustern geführt, die sich immer weiter manifestiert haben und die es nun wiederum aufzubrechen gilt. Jahrzehntelange Gewohnheiten wie das Gehwegparken, das noch nie erlaubt, aber in vielen Städten immer geduldet war, soll nun ‚auf einmal‘ zur Förderung der Nahmobilität weichen.

Die Fokussierung auf den motorisierten Individualverkehr hat sich dabei auch in der Verkehrsplanung fest verankert. So wurde ein Straßenraumquerschnitt lange Zeit von der Mitte her geplant. Das heißt, dass zunächst geschaut wurde, wie viel Platz der Kfz-Verkehr benötigt, und die verbleibenden Randflächen dann dem Fuß- (und Rad-) Verkehr zugewiesen wurden. Flächen für den ÖPNV, hauptsächlich in Form von Straßenbahnen, die in vielen Städten die Hauptlast des ÖPNV trugen, wurden ebenso dem MIV zugeschlagen – für Fahrspuren oder Parkplätze. Die Straßenbahn, als ‚Verkehrshindernis‘ schwamm von nun an im wachsenden Verkehr mit, wurde in Tunnel verlagert oder

Charakter der Anwendung	Strecken mit einfachen Verkehrsverhältnissen innerörtlich	Strecken mit anspruchsvollen Verkehrsverhältnissen innerörtlich	Strecken außerorts (über Land) (Höchstgeschwindigkeit auf der Straße auf allen Straßen ohne eigene Radverkehrsanlagen und mit kurzer Folge von Einmündungen max. 60 km/h, sonst max. 80 km/h)
Linienverkehr mit kleinen Fahrzeugen (bis 15 Sitzplätze, angekündigte Fahrzeuge z. B. von Volkswagen,	Möglich, da Einsatzfälle mit einfachen Verkehrsverhältnissen im Erschließungsstraßennetz bei Tempolimit 20 km/h häufig, z.B.	Verkehrs- und Hauptverkehrsstraßen, Max. Höchstgeschwindigkeit 30 km/h, wegen höherer Nachfrag u. U. Fahren im Platooning-Modusabhängig von	Nur in speziellen Fällen möglich, da Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den avF und dem übrigen Kfz-Verkehr hohe Anforderungen an die Erkennung der Verkehrssituation auf langen
Easymile, Navya, ZF und Schöffler	Dorfbus, Quartiersbus, Landbus, je nach Nachfragepotenzial im vertakteten Linienverkehr oder im Bedarfsmodus	den Fähigkeiten der Fahrzeuge	Distanzen erfordern; Einsatz überland daher in naher Zukunft nicht realistisch
Linienverkehr mit großen Fahrzeugen (entsprechend 12-Meter-Bus, entsprechend Entwicklung von VDL mit Easymile)	Möglich, aber Einsätze größerer Fahrzeuge werden bei kleinteiligem, engem Straßennetz schwierig sein	Abhängig von den Fähigkeiten der Fahrzeuge	
On-demand, Rufbus, Anruf-Sammel-Taxi, etc.	Kann alle Teile des Straßennetzes befahren, Aktionsradius aber begrenzt, schnelle Übergabe in die Angebote des Linienverkehrs, nur wenn dort Betriebsruhe besteht, Erweiterung des Aktionsradius	So bald zusammenhängende Straßennetze als Betriebsbereiche möglich sind	

Abb. 2.11 Einsatzmöglichkeiten für automatisierte fahrerlose Fahrzeuge im ÖPNV (eigene Darstellung)

gänzlich eingestellt. In vielen deutschen Städten spiegelt sich dies nach wie vor im Bestand der Straßen wider.

Dabei nennt die Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 2006), als Stand der Technik für die Planung, als Hauptziel bei der Planung und dem Entwurf von Stadtstraßen ganz klar „...die Verträglichkeit der Nutzungsansprüche untereinander und mit den Umfeldnutzungen“ (FGSV – RASt 2006).

Die Realität dagegen sieht in vielen deutschen Städten anders aus und der Kampf um den Verkehrsraum ist längst entbrannt. Als Probleme dafür sind eine Reihe von Themenfeldern bzw. Nutzungsansprüchen verantwortlich. Bezogen auf den Fußverkehr sind hier mangelnde Platzverhältnisse durch eine grundsätzliche Unterrepräsentation und die (weitere) Einschränkung der für den Fußverkehr nutzbaren Flächen durch Einbauten (Straßenschilder, Werbetafeln etc.) sowie durch den ruhenden Verkehr. Für den Radverkehr besteht vielerorts gar keine eigene Infrastruktur, auch wenn auf diese Verkehrsart seit einigen Jahren immer wieder ein Fokus gesetzt wird. Aber an vielen Hauptverkehrsstraßen aller Stadtraumtypen wird der Radverkehr im Mischverkehr geführt oder muss sich mit dem Fußverkehr die schon mangelnden Platzverhältnisse teilen. Für den ÖPNV verbleiben in der Regel nur Bahnkörper der Straßenbahnen und Stadtbahnen, Bussonderfahrstreifen (Busspuren) werden aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse oft nur partiell (z. B. an Haltestellen oder vor Lichtsignalanlagen als Busschleusen) eingesetzt. Im Gegensatz zu Rasengleisen von Bahnen sind die Bussonderfahrstreifen, sofern es sie gibt, ähnlich den Anlagen des Fuß- und Radverkehrs, auch einem höheren Risiko der Fremdnutzung ausgesetzt – der kurzzeitige Halt um Brötchen zu holen, Geld abzuheben oder Pakete auszuliefern, sorgt auf den Fahrspuren des Umweltverbands für Behinderungen und Sicherheitsrisiken. Zumal dieses Verhalten auch die beschriebenen Gewohnheiten und Bewegungsmuster widerspiegelt – ‚mal eben schnell‘ zeigt eine Perspektive auf, welche die Belange des ÖPNVs, des Fahrradverkehrs und der Fußgänger:innen dem Auto unterordnet.

Bei der Debatte um die Neuverteilung des Straßenraums treten auch zunehmend Nahmobilität und der ÖPNV in ein Spannungsverhältnis – um den ruhenden Verkehr zu schonen, werden zuweilen auch Radverkehrsanlagen zu Lasten von ÖPNV-Fahrspuren angelegt. Dabei hat für Busse und Bahnen die Reisegeschwindigkeit als wesentliches Kriterium für die Konkurrenzfähigkeit zum MIV eine hohe Bedeutung. Stehen Straßenbahnen und Busse im selben Stau wie der Pkw-Verkehr, haben diese für wahlfreie Menschen (also Personen, die über ein Auto verfügen) keine Bedeutung mehr. Bei der Debatte um die Nutzung des Verkehrsraums muss also die Stärkung des Umweltverbands im Gesamten im Auge behalten werden. Dies bedeutet nicht, auf die Schaffung von Radverkehrsanlagen zu verzichten, sondern Lösungen zu finden, die den ÖPNV nicht ausbremsen.

Viele (Hauptverkehrs-)Straßen in kleinen und mittleren Städten im ländlichen Raum weisen eine Straßenraumbreite irgendwo zwischen 10 und 20 m auf. Verteilt man diese nach der üblichen Praxis auf die unterschiedlichen Verkehrsmittel, sieht dies in etwa so aus, wie in Abb. 2.12 dargestellt.

Dabei treten schon allein vor dem Hintergrund der starken Verbreitung von Sport Utility Vehicles (SUV) Probleme auf, da Parkstreifen von 2,1 m Breite für diese Fahrzeuge kaum ausreichend sind.

Natürlich ergeben sich hier mehr Spielräume, je weiter sich ein Straßenquerschnitt in Richtung 20 m bewegt; um wirklich alle Bedürfnisse abdecken zu können, würden jedoch über 25 m benötigt (siehe Abb. 2.13).

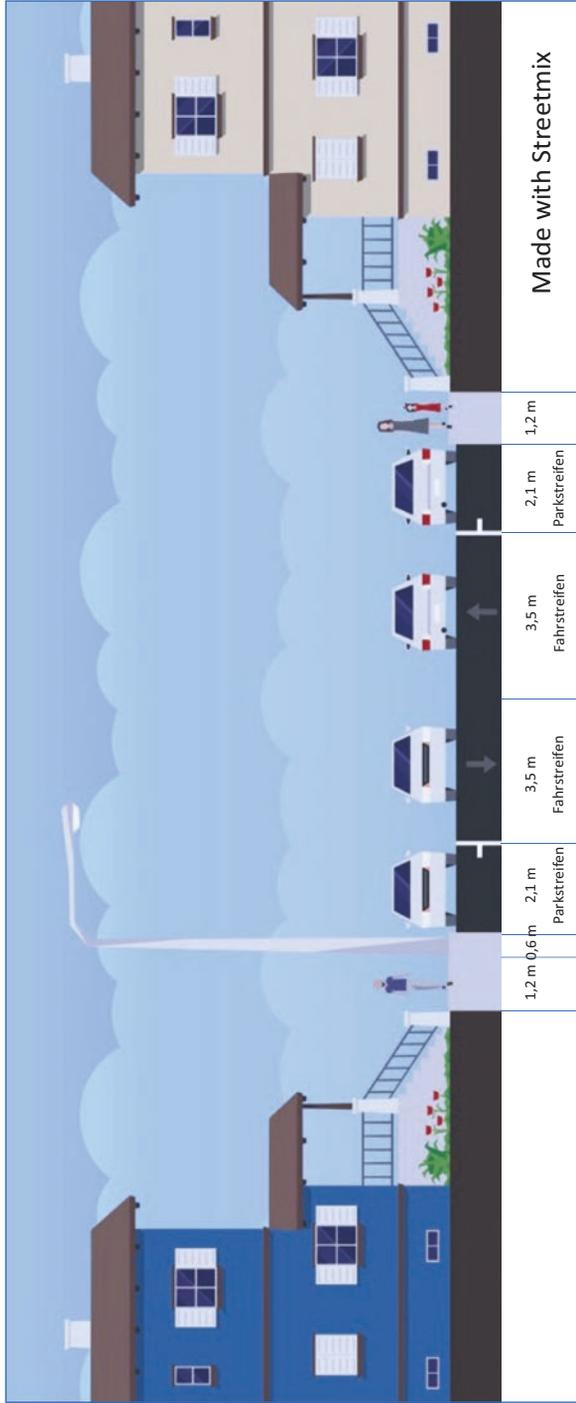


Abb. 2.12 Verteilung des Straßenraums nach üblicher Praxis

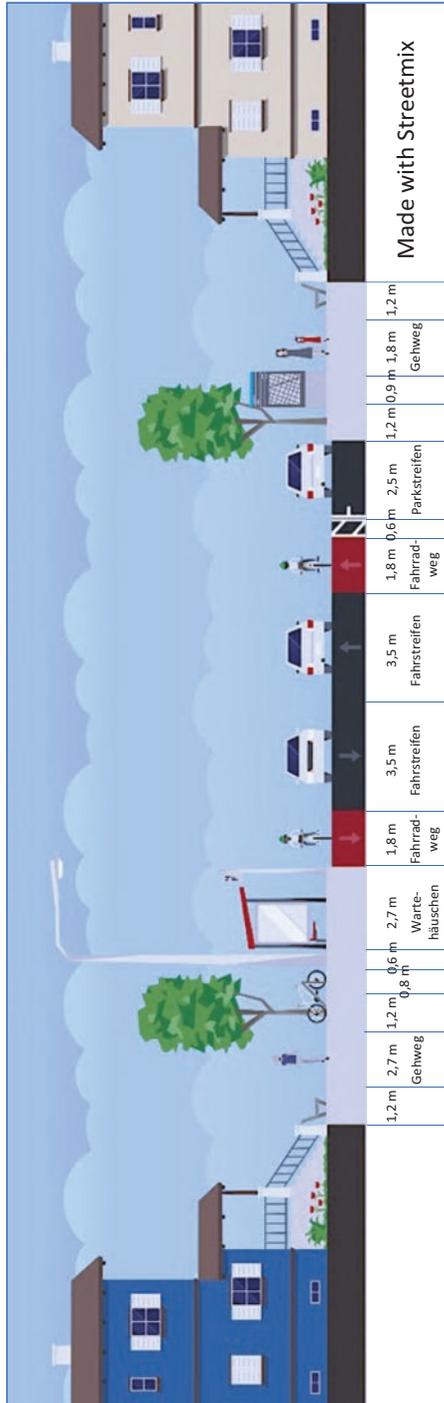


Abb. 2.13 Straßenquerschnitt, der alle Bedürfnisse abdeckt

An welcher Stelle also Platz einsparen? Wie soll der Straßenraum bzw. dessen Nutzung priorisiert werden?

Wenn der Straßenraum nur der Fortbewegung im engsten Sinne dienen soll, könnte der ruhende Verkehr entfallen. Vor dem Hintergrund einer Erhöhung der Aufenthaltsqualität sowie einer Reihe anderer Gründe wird diese Variante von Verkehrsplanern derzeit oftmals bevorzugt. Dies löst häufig zunächst hohen Widerstand bei den Anrainern und Besitzern von Geschäftslokalen aus. Anrainer protestieren, da sie ihr Fahrzeug nicht mehr in der Nähe ihrer Wohnung abstellen können, und die Besitzer von Geschäftslokalen befürchten, dass die Kunden ausbleiben, wenn sie nicht mehr direkt vor dem Geschäftslokal parken können. Was bleibt, ist ein subjektiver und irrational geführter Kampf um den Straßenraum. Aufgrund der unbedingt notwendigen Mobilitätswende zum Schutz des Klimas muss es zur Neuverteilung des Straßenraums kommen. Der MIV wird wohl zu Gunsten von ÖPNV, Fahrrad- und Fußverkehr sowie für öffentlichen Raum zurückgedrängt werden. Ziel einer nachhaltigen Verkehrsplanung darf nicht mehr die bislang erfolgte Anpassungsplanung sein, sondern eine angebotsorientierte Planung, bei der den Menschen die Wahl zwischen den unterschiedlichen Verkehrsmitteln gegeben wird und der Raum als solcher auch die Belange der Gestaltung und Ästhetik und damit der gesundheitsfördernden Stadtentwicklung Rechnung trägt. Scurril, dass insbesondere politische Kräfte, die den Autoverkehr nicht einschränken möchten, von einer gleichberechtigten Förderung aller Verkehrsträger sprechen und eine ‚ideologisch motivierte‘ Förderung des Radverkehrs ablehnen, also der Verkehrsart, die in der aktuellen ‚Gleichberechtigung‘ kaum Raum hat.

Dabei ist das Wort ‚Kampf‘ mindestens in den großen Städten zum Teil wörtlich zu nehmen. Immer mehr Pressemitteilungen beschäftigen sich mit einer steigenden Aggressivität im Straßenverkehr und der Tendenz zur Missachtung der Straßenverkehrsordnung, insbesondere der gegenseitigen Rücksicht und Vorsicht. Der auch durch die Coronapandemie angetriebene Anstieg des Radverkehrsanteils auf deutschen Straßen, in Verbindung mit dem nicht in ausreichendem Maße vorhandenen Platz für den Radverkehr, verstärken die Problematik. Und auch weitere zukünftige Entwicklungen führen dazu, dass die Neuverteilung des Straßenraums nicht nur immer drängender wird, sondern darüber hinaus an Komplexität weiter zunimmt.

2.3.1 Trends und Entwicklungen im Straßen-Seitenraum

Die Anforderungen an den Straßenraum steigen. Der Fußverkehr kann und darf nicht länger auf den „Restflächen“ abgewickelt werden. Entlang des ‚Designs für alle‘ wird eine Fußverkehrsinfrastruktur aufgebaut, die nicht nur barrierefrei ist, sondern auf der sich die Menschen wohlfühlen und auf denen sich alle Menschen unabhängig von ihren Fähigkeiten und entsprechend ihren Bedürfnissen fortbewegen können. Die RAST empfiehlt das folgende Verhältnis: *„Damit Fußgänger sich wohl fühlen, müssen die Seitenräume in einem angenehmen Verhältnis zur Fahrbahn stehen; als angenehm wird*

eine Aufteilung von Seitenräumen zu Fahrbahn von 30:40:30 empfunden“ (FGSV-RASt 2006).

Darüber hinaus gewinnt das Thema Aufenthaltsqualität sehr stark an Bedeutung. Straßen sind nicht länger nur Räume der Fortbewegung, sondern werden zunehmend wieder als Räume des Aufenthalts wahr- und angenommen. Egal ob Außengastronomie, Plätze mit Sitzgelegenheiten oder Parkanlagen, die Menschen kommen wieder im öffentlichen Raum zusammen.

Und noch ein weiterer Faktor wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten in diesen öffentlichen Räumen stark an Bedeutung gewinnen: Klimawandel und Klimaanpassung. Die Begrünung der Straße und die Verschattung von Straßenräumen wird ein wesentlicher Faktor sein, um die Aufenthaltsqualität auf den Straßen beibehalten und Wärmeinseln und ähnliche Effekte abmildern zu können. Auch hierfür bedarf es Platz – Straßenbäume brauchen ausreichend große Baumscheiben, um sich gesund entwickeln zu können, das Prinzip der Schwammstadt, welches in vielen Städten bereits in die Umsetzung geht, erfordert das Umdenken von Straßen zu grünen Räumen.

2.3.2 Trends und Entwicklungen im Radverkehr

Das Geschwindigkeitsniveau im Radverkehr steigt durch die zunehmende Verbreitung von Fahrrädern mit elektrischer Tretunterstützung. Die Verbreitung dieser Pedelecs führt außerdem zu einem weiteren Phänomen: Die Überholvorgänge im Radverkehr nehmen ebenfalls zu. Zusätzlich zur Verbreitung von Pedelecs steigt auch die Zahl von Lastenrädern in den städtischen Räumen. Privatpersonen, aber auch Liefer- oder Paketdienste setzen bei der Zustellung auf der letzten Meile auf Lastenräder oder andere Leichtfahrzeuge, die maximal 25 km/h fahren dürfen und die die Radverkehrsinfrastruktur mitbenutzen. Hierzu gehören auch E-Scooter.

Die Bandbreite der Fahrzeuge, welche die Radverkehrsinfrastruktur nutzen, steigt und damit auch, vor dem beschriebenen Hintergrund vermehrter Überholvorgänge sowie zunehmender Breite der Fahrzeuge, deren Ansprüche. Hiermit einher geht, dass die bisher geltenden Standards nicht mehr ausreichen und dem Radverkehr nicht nur mehr als der in den geltenden Standards festgelegte Platz auf den Straßen eingeräumt werden muss, sondern die Spurweite für Fahrradwege tendenziell noch weiter zunehmen wird. Dies bedeutet auf den Straßenraum übertragen: Die 1,25 m Schutzstreifen, wie derzeit in FGSV-ERA 2010 als Mindestbreite definiert, werden in Zukunft nicht mehr ausreichend sein bzw. nicht den qualitativen Ansprüchen genügen.

2.3.3 Trends und Entwicklungen im öffentlichen Verkehr

Das Thema ÖPNV-Beschleunigung nimmt in Städten aller Größenklassen in seiner Bedeutung zu. Dies liegt auch und gerade im Vergleich mit dem MIV begründet. Fahrt-

zeitvergleiche enden hier meistens zugunsten des MIV. Verfügbarkeit und Kosten führen im Weiteren nicht unbedingt zu einer besseren Beurteilung des ÖPNV und damit zur Nutzung des eigenen Pkw, dessen Komfort ohnehin als unerreichbarer Standard angesehen wird.

Viele Städte versuchen daher, mindestens auf einigen Hauptachsen den ÖPNV zu beschleunigen, punktuell durch eigene Signale an Kreuzungen, aber auch streckenbezogen durch eigene Fahrspuren. Die Straßenbahn feiert seit Jahren ihre Renaissance als urbanes Verkehrsmittel, das auch dazu genutzt wird, Straßenräume wieder neu zu gestalten. Während in vielen westlichen Ländern wie Spanien, den USA, Kanada und allen voran Frankreich gänzlich neue Systeme entstehen, werden in Deutschland Strecken und Netze erweitert sowie über Wiedereinführungen diskutiert. Die Forschungen in Coventry, England, an einer ‚Ultra Light Rail‘ zielen darauf ab, spurgeführten ÖPNV auch in Klein- oder Mittelstädten wirtschaftlich darstellbar realisieren zu können. Gleichzeitig stoßen schienengebundene Lösungen auf großen Protest vor Ort. Diverse, aus verkehrsplanerischer Sicht absolut alternativlose Projekte wie in Aachen und Wiesbaden (neue Straßenbahnssysteme) oder Essen/Oberhausen und Bielefeld (Erweiterung bestehender Straßenbahnstrecken) wurden in Bürgerentscheiden mehrheitlich durch die Bevölkerung vor Ort abgelehnt.

Neben der Entwicklung starker ÖPNV-Achsen schafft die Digitalisierung eine Neuerfindung des klassischen Bedarfsverkehrs – kleine Fahrzeuge bedienen flexibel die Fläche durch virtuelle Haltestellen, ermöglichen ein Ein- und Aussteigen ohne Fahrplan und binden Räume schwacher Nachfrage an die starken Achsen des ÖPNV an. Durch Algorithmen wird Ridepooling ermöglicht, was die Auslastung der Fahrzeuge durch Fahrtenbündelung steigen lässt und Bedarfsverkehre effizienter werden lässt. Die Automatisierung von Fahrzeugen könnte diese Trends weiter antreiben, zumal diese aufgrund des Personalbedarfs bei gleichzeitig geringen Besetzungsgraden sehr niedrige Kostendeckungsgrade aufweisen. Sowohl im Straßenbahnbereich (z. B. Potsdam) als auch bei kleinen Fahrzeugen (hauptsächlich Shuttle- bzw. ‚Last-Mile‘-Verkehre) wird derzeit in der Praxis geforscht, was beispielsweise bei neuen U-Bahnen (wie den Nürnberger Linien U2 und U3) oder anderen Systemen wie Einschienenbahnen (an vielen Flughäfen) oder Hängebahnen (z. B. H-Bahn Dortmund) seit Jahren Praxis ist. Neben klassischen Schienenverkehren gibt es dabei auch innovative Ideen wie das bereits erprobte Transportsystem Bögl (Weiterentwicklung einer Magnetschwebbahn für den Nahverkehr) oder die Idee der sogenannten ‚Ottobahn‘, eine automatisierte Neuinterpretation einer Hängebahn, bei der auch ‚on demand‘ und Ridepooling mitgedacht werden. Ausgenommen von den Entwicklungen der Automatisierung bleibt bislang der klassische Busverkehr.

Entscheidend bei der weiteren Entwicklung der ÖPNV-Fahrwege wird die Größe der eingesetzten Fahrzeuge sein, da sich diese maßgeblich auf die nötige Breite eines (eigenen) Fahrstreifens auswirkt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass im Sinne der Verkehrsvermeidung und -verlagerung auch weiterhin Fahrtenbündelungen eine große Rolle spielen werden. Hierzu bedarf es ausreichender Gefäßgrößen und

starker Achsen, die durch spurgeführte ÖPNV-Angebote dominiert werden. Genau diese starken Achsen sind es, auf denen der ÖPNV auch zukünftig Raum braucht, um Geschwindigkeitsvorteile als Distanzverkehrsmittel auszuspielen zu können. Automatisierte Lösungen zeichnen sich hier allerdings bislang nur auf der Schiene ab. Dabei bieten insbesondere Straßen- und Stadtbahnssysteme große Potenziale, bei vergleichsweise niedrigem Kosteneinsatz und hoher Effizienz Steigerungen bei den Fahrgastzahlen zu erreichen – die Flächenbedarfe des ÖPNV werden auf den starken Achsen hierdurch allerdings nicht sinken. Die Anbindung der starken Achsen erfolgt über (automatisierte) Flächenverkehre, bei denen nicht die Geschwindigkeit, sondern die Erschließung im Vordergrund steht. Die Geschwindigkeit ist dennoch nicht zu vernachlässigen, da eine gewisse Konkurrenzfähigkeit zum Pkw bestehen bleiben muss. Die aktuell im Test-Einsatz befindlichen Shuttle-Fahrzeuge mit maximalen Geschwindigkeiten von 12 km/h sind keine Alternative. Durch den Ersatz nachfrageschwacher Quartiersbuslinien durch flexible Bedarfsverkehre mit hoher Verfügbarkeit hinsichtlich der Bedienungszeit und der potenziellen Wartezeiten kann die Angebotsqualität des ÖPNV allerdings insgesamt gesteigert und die Flächenbedarfe des ÖPNV an dieser Stelle gesenkt werden. Allerdings werden diese Ridepooling-On-Demand-Systeme erst bei zunehmender Automatisierung von der Kostenseite darstellbar. Insgesamt darf es nicht zu einer weiteren Verdrängung von Bussen und Bahnen kommen – diese sind auch im Hinblick auf Automatisierung und Digitalisierung entscheidend für die Verkehrswende. Vielmehr bietet sich in diesem Kontext die Gelegenheit, den ÖPNV zu stärken und dessen größten Vorteile – die Bündelung von Fahrten zur Verkehrsvermeidung und zur vertraglichen Abwicklung – optimierter nutzen zu können.

2.3.4 Straße der Zukunft?

Wie sieht nun also die Straße der Zukunft aus? Fakt ist: Die meisten Straßenquerschnitte reichen nicht aus, um einen eigenen Bussonderfahrstreifen, eine Infrastruktur für den Radverkehr und ausreichende Gehwegbreiten sowie weitere Elemente wie Bushaltestellen oder Bäume aufzunehmen. Dies ist selbst dann der Fall, wenn sich Radverkehr und (automatisierter) ÖPNV eine Fahrspur als ‚Umweltspur‘ teilen, zumal hier Probleme aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten absehbar sind. In Abb. 2.14 wird dieses Szenario abgebildet.

Hierfür wären Straßenquerschnitte von über 20 m nötig, es sei denn, die Gefäße des automatisierten ÖPNV der Zukunft wären durchweg kleiner als dies derzeit der Fall ist und würden geringere Fahrstreifenbreiten zulassen. Dies scheint nicht zu erwarten zu sein und brächte das Risiko mit sich, dass hierdurch mehr Verkehr erzeugt würde. Im Regelfall wird daher weiterhin abgewogen werden müssen: Bei ausreichendem Raum für den Fußverkehr ($\geq 2,50$ m) sowie dem Radverkehr ($\geq 1,85$ m) würden damit in vielen Fällen (bei Straßenbreiten zwischen 10 und 20 m) noch zwischen 11,30 m und lediglich 1,30 m Straßenraum für ÖV und Kfz übrigbleiben.

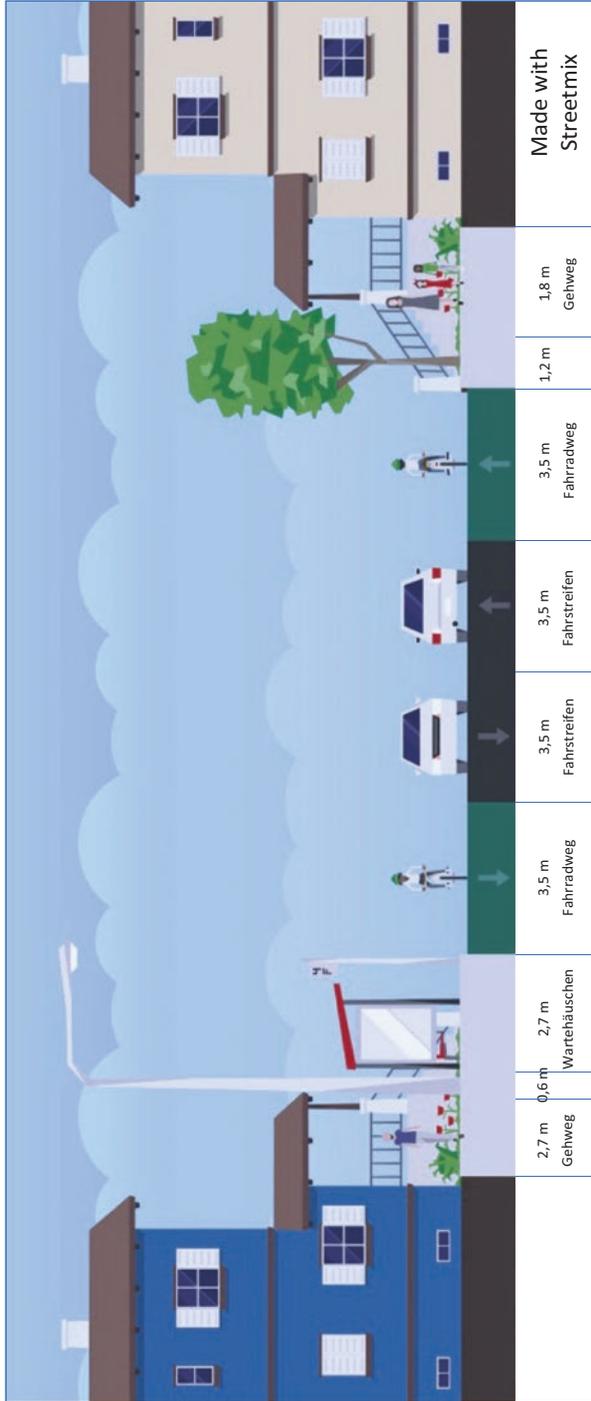


Abb. 2.14 Radfahrer und automatisierte Busse teilen sich die Spur – Umweltspur (Made with Streetmix)

Um jedoch den Menschen eine klimaneutrale Mobilität anbieten zu können, muss es in den Kommunen zur grundsätzlichen Entscheidung kommen, wieviel des bestehenden Verkehrsraums dem MIV künftig überhaupt noch zur Verfügung stehen soll. Nicht jede Straße muss mit dem Pkw befahrbar sein. Auch ist vorstellbar, dass der Lkw-Verkehr auf die Nacht begrenzt wird, um die Distribution von Gütern zu gewährleisten. Für die Bürger:innen wird dabei vor allem die Frage nach der Lebensqualität in ihrem Quartier von großer Bedeutung sein.

Bürger:innen werden sich zunehmend fragen, ob sie den Pkw besitzen müssen oder gewisse Sharing-Angebote nicht eine attraktive Alternative sein könnten. Gelingt es uns, Mobilität als Gemeinschaftsgut zu begreifen, könnte die Automatisierung zukünftig auch zu einer deutlich stärkeren Renaissance des öffentlichen Verkehrs und der Nahmobilität führen, als dies bislang der Fall war. Auf kurzen bis mittleren Distanzen wird dem Rad und dem Fußverkehr mehr Raum eingeräumt. Automatisierte Kleinbusse transportieren Menschen flexibel und auf Abruf zum Einkauf oder großen Mobilitätsknoten, Bahnhöfen und Haltestellen, wo dann auf häufig verkehrende Angebote des spurgebundenen öffentlichen Verkehrs für mittlere bis lange Distanzen umgestiegen werden kann. Multimodale Angebote an den Knoten ermöglichen eine individuelle Verkehrsmittelwahl. Teilen statt besitzen würde in diesem Kontext auch bedeuten, dass weniger Raum für den ruhenden Verkehr zur Verfügung gestellt werden müsste – dieser kann für Nahmobilität, Aufenthalt und Grün umgestaltet werden. Flexible und jederzeit verfügbare Reiseketten von überall nach überall, die es Menschen anlassbezogen ermöglicht, zu Fuß, per Rad oder als Mitfahrer zu reisen – ist die Zukunft der Mobilität ein öffentlicher Individualverkehr (ÖIV)?

Einen klassischen Beitrag zur Entschärfung der Problematik könnten zudem die Initiativen zur Temporeduzierung in Städten auf Tempo 30 oder 20 leisten. Die Möglichkeiten zur Führung des Radverkehrs jedenfalls würden dadurch vielfältiger. Dabei gilt es, die Belange des ÖPNV zu berücksichtigen – durch sich verlängernde Reisezeiten sind Fahrpläne nicht zu halten, zusätzliche Fahrzeuge sind notwendig und die Betriebskosten steigen dauerhaft an. Soll dem ruhenden Verkehr weiterhin Platz im Straßenraum gegeben werden, wird es schwierig bis unmöglich, die Verkehrsmittel des Umweltverbands adäquat zu fördern. Einfach aufgeben werden Anrainer und Geschäftsleute daher wohl nicht – der Kampf um den Straßenraum wird friedlich beigelegt, wenn es gelingt, Bürger:innen frühzeitig einzubinden, und es für sie deutlich wird, dass trotz der Einschränkungen des Verkehrsraums für dem MIV deutliche Gewinne hinsichtlich der Lebensqualität in den Quartieren geben wird. Die Schwierigkeit liegt darin, dass nicht alles gleichzeitig gemacht werden kann. Es bedarf daher einer ehrlichen Kommunikation über die Pläne und Abläufe, sowie über die Schwierigkeiten auf dem Weg zum versprochenen neuen Mobilitätssystem.

Weiterführende Literatur

- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) (2020) Deutschlandatlas 2019 - aktualisiert. <https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wie-wir-uns-bewegen/103-Erreichbarkeit-Nahverkehr-Haltestellen.html>. Zugegriffen: 5. Juni 2022
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2022) Nationaler Radverkehrsplan 3.0. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 5. Juni 2022
- destatis (2020) Pkw-Dichte in Deutschland in den vergangenen zehn Jahren um 12 % gestiegen – Statistisches Bundesamt (destatis.de). 29.06.2022
- destatis (2021) Daten aus dem Gemeindeverzeichnis. Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR17) nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/15-regiostar.html>
- Easymile, IVECO BUS and EasyMile Reach Next Stage for Autonomous Standard City Bus. <https://easymile.com/news/iveco-bus-and-easymile-reach-next-stage-autonomous-standard-city-bus>. Zugegriffen: 9. Sept. 2022
- Fahrplangesellschaft B&B mbH, „Konzept Richtungsknoten“ im Auftrag der Stadt Stralsund, 2016
Fahrplangesellschaft B&B mbH, ITF für den Kreis Rendsburg-Eckernförde, 2020
- infas, DLR, IVT und infas 360° (2018): MiD – Mobilität in Deutschland. Methodenbericht. (im Auftrag des BMVI).
- Initiative für einen integralen Taktfahrplan im öffentlichen Personenverkehr. <https://initiative-deutschlandtakt.de/wp-content/uploads/2017/03/2008-04-07-PM-DeutschlandTakt.pdf>. Zugegriffen: 5. Nov. 2022
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006) Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen 2006
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010) Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010
- Kuhnimhof T, Nobis C, Hillmann K, Follmer R, Eggs J (2019) Veränderungen im Mobilitätsverhalten zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität. Bundesumweltamt Texte 101/2019
- Nobis C, Kuhnimhof T, Follmer R, Bäumer M (2019) Mobilität in Deutschland – Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. www.mobilitaet-in-deutschland.de
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2017) Mobilität der Stadt. Berliner Verkehr in Zahlen 2017.
- Verkehrsklub Deutschland e. V. (VCD), Bundesmobilitätsgesetz. https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Themen/Bundesmobilitaetsgesetz/Hermes_Kramer_Weiss_Gesetzentwurf_BuMoG_final_nach_letzter_Aenderung.pdf. Zugegriffen: 21. Aug. 2022
- Weiss C (2020) Stand der Mobilitätswende in ländlichen Regionen. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/171427/analyse/laendliche-regionen-mobilitaetswende-zukunft-der-mobilitaet-auf-dem-land/>. Zugegriffen: 5. Juni 2022
- Zielfahrplan Deutschlandtakt. Informationen zum dritten Gutachterentwurf. In: bmvi.de. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 30. Juni 2020. Zugegriffen: 21. Sept. 2022.

Prof. Dr. Barbara Lenz war von 2007–2021 Direktorin des Instituts für Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Professorin für Verkehrsgeografie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Zu den Schwerpunkten ihrer Forschungsarbeit zählen die Transformation des Verkehrssystems, Akzeptanz und Wirkungen von automatisiertem Fahren und neue

Mobilitätskonzepte. Sie bringt ihre Expertise in zahlreiche nationale und europäische Gremien ein, die sich mit Lösungsansätzen für eine nachhaltige Zukunft von Mobilität und Verkehr auseinandersetzen.

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing. Raumplanung) kennt die Welt des ÖPNV aus der Perspektive großer und kleiner Verkehrsunternehmen, von Aufgabenträgern und Verkehrsgemeinschaften, aus seiner Arbeit als externer Verkehrsplaner, aber auch als Vertreter von Bürgerinitiativen, Umwelt- und Verkehrsverbänden. Als Geschäftsführer der Fahrplangesellschaft B&B mbH entwickelt er seit 10 Jahren betriebsnahe und innovative Konzepte für den ÖPNV sowohl im ländlichen wie auch im städtischen Raum und vertritt diese erfolgreich in politischen Gremien. Als sich abzeichnete, dass eines Tages fahrerlose Fahrzeuge in den Verkehrsmarkt eintreten würden, initiierte er mit dem Büro autoBus ein Netzwerk für autonomes Fahren im ÖPNV und begleitet seither Forschungsprojekte bei Konzeption, Genehmigungsverfahren und Umsetzung.

Dennis Jaquet (M.Sc) studierte Geografie an der Westfälischen Wilhelmsuniversität Münster sowie Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund. Als Teamleiter Mobilitätskonzepte betreut er derzeit bei der Planersocietät Mobilitätskonzepte in Städten der unterschiedlichsten Größenklassen in ganz Deutschland. Darüber hinaus beschäftigt er sich als Projektmanager Digitalisierung und CDO mit Trends und Auswirkungen der Digitalisierung auf den Verkehr und die Mobilität von morgen.

Prof. Dr. Heiner Monheim (Jg. 1946) ist Geograf, Stadt- und Verkehrsplaner und bekleidete 16 Jahre die Leitung des Infrastrukturreferats BfLR (heute BBSR) des Bauministeriums, in NRW leitete er 10 Jahre das Referat Stadtverkehr und Verkehrsberuhigung im Verkehrsministerium. 16 weitere Jahre war er Professor für Raumentwicklung und Landesplanung an der Universität Trier. Seit 2007 ist er Mitinhaber der raumkom-Büros für Raumentwicklung und Kommunikation. Dort bearbeitet er Projekte für Kommunen, Kreise, Ministerien und Verkehrsunternehmen. Sein Schwerpunkt liegt auf der Konzeptarbeit für die Verkehrswende in den Bereichen Öffentlicher Verkehr, Fuß- und Fahrradverkehr, Gestaltung öffentlicher Räume sowie Städtebau und Verkehr. Heiner Monheim war Mitbegründer des ADFC, des VCD und des Forums Mensch und Verkehr sowie des „Bündnis Bürgerbahn für eine starke Schiene“.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Auswirkungen des automatisierten Fahrens

3

Jens Schippl, Constantin Pitzen, Michael Aleksa, Willibald Krenn,
Emanuele Leonetti, Markus Deublein, Erik Schaarschmidt,
Torsten Fleischer, Robert Yen

Inhaltsverzeichnis

3.1	Verkehrliche Auswirkungen von avF: Risiken und Ansatzpunkte für deren Vermeidung	83
3.1.1	Einleitung	83
3.1.2	Mögliches Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung durch avF	84
3.1.3	Herausforderungen in ausgewählten Anwendungskontexten von avF	89
3.2	Anforderungen des avF an den Infrastrukturbedarf	93
3.2.1	Automatisiertes Fahren und Infrastruktur – einige einführende Anmerkungen	94
3.2.2	Anforderungen an die bauliche Infrastruktur bzw. Straßeninfrastruktur	96
3.2.3	Anforderungen an die digitale Infrastruktur	97
3.3	Auswirkung des hohen Datenbedarfs und die Frage nach Datensicherheit und Datenschutz	99
3.3.1	Cyber-Security – Stand der Dinge	100
3.3.2	Vernetzung	101
3.3.3	Daten	102

J. Schippl (✉)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: jens.schippl@kit.edu

C. Pitzen

Fahrplangesellschaft, Oelsnitz/Vogtland, Deutschland

E-Mail: cp@fahrplangesellschaft.de

M. Aleksa

Center Low-Emission Transport, Austrian Institute of Technology, Wien, Österreich

E-Mail: michael.aleksa@ait.ac.at

© Der/die Autor(en) 2024

R. Yen et al. (Hrsg.), *Automatisierter ÖPNV*,

https://doi.org/10.1007/978-3-662-66998-3_3

81

3.4	Auswirkung auf die Verkehrssicherheit im Mischverkehr	104
3.4.1	Einfluss des automatisierten Fahrens auf die Verkehrssicherheit im ÖPNV	105
3.4.2	Chancen und Risiken des automatisierten Fahrens für den ÖPNV	109
3.4.3	Umsetzungsempfehlungen für einen sicheren automatisierten ÖPNV	112
3.5	Betriebliche, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte des automatisierten Fahrens aus Sicht der Verkehrsunternehmen	116
3.5.1	Einleitung	116
3.5.2	Zielvision des automatisierten Fahrens im ÖPNV	117
3.5.3	Status quo des automatisierten und autonomen Fahrens im ÖPNV	118
3.5.4	(Betriebs-)wirtschaftliche Abschätzungen und Realisierbarkeit	126
3.6	Gesellschaftliche Aspekte des automatisierten Fahrens	128
3.6.1	Einleitung: Mobilität als soziotechnisches System	128
3.6.2	Erwartungen und Risiken	129
3.6.3	Zur gesellschaftlichen Akzeptanz von avF	132
3.6.4	Ethische Perspektiven	142
	Literatur	146

W. Krenn

Silicon Austria Labs GmbH, Graz, Österreich

E-Mail: willibald.krenn@silicon-austria.com

E. Leonetti

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), VDV Akademie, Köln, Deutschland

E-Mail: leonetti@vdv.de

M. Deublein

BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, Schweiz

E-Mail: m.deublein@bfu.ch

E. Schaarschmidt

Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland

E-Mail: erik.schaarschmidt@rapp-trans.de

T. Fleischer

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: torsten.fleischer@kit.edu

R. Yen

Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland

E-Mail: robert.yen@rapp-trans.de

3.1 Verkehrliche Auswirkungen von avF: Risiken und Ansatzpunkte für deren Vermeidung

Constantin Pitzen und Jens Schippl

3.1.1 Einleitung

Das Thema automatisiertes und vernetztes Fahren (avF) ist aus den aktuellen Diskussionen zur Zukunft der Mobilität nicht mehr wegzudenken. Viele Experten sind sich einig, dass avF grundsätzlich zu tiefgreifenden Änderungen des Mobilitätssystems führen können. Weniger Einigkeit besteht, wenn es darum geht, wann welche Form von avF marktreif wird und wie sich die verkehrlichen Wirkungen entwickeln (Fleischer und Schippl 2018). Dementsprechend kontrovers wird die Frage diskutiert, ob avF zu einem nachhaltigen Mobilitätssystem beitragen können. Gelingt es, die Fahraufgabe teilweise oder vollständig an einen „Roboter“ abzugeben, so entstehen zahlreiche neue Möglichkeiten, Mobilität zu gestalten und zu organisieren. Dabei sind sehr unterschiedliche Ausprägungen bzw. Entwicklungspfade für avF denkbar. Einerseits können private Pkw teilweise oder vollständig autonom fahren, sodass sich der Fahrer bzw. Passagier temporär oder permanent anderen Aufgaben widmen kann. Der aktuelle, als Drive-Pilot vermarktete Stauassistent von Mercedes-Benz ermöglicht bereits heute, dass sich der Fahrer unter bestimmten Bedingungen auf Autobahnen im Stau anderen Aufgaben widmen darf, vorausgesetzt, er ist jederzeit bereit, die Fahraufgaben nach einiger Sekunden Übergabefrist wieder zu übernehmen. Ganz andere Entwicklungspfade ergeben sich durch Anwendung von avF im öffentlichen Verkehr. Die vielen derzeit in Deutschland und anderen Ländern in Pilotprojekten eingesetzten autonomen Kleinbusse sind als öffentlich zugängliches Mobilitätsangebot im urbanen Bereich ausgelegt, und nicht für den Verkehr auf Autobahnen.

Schon diese beiden Beispiele machen deutlich, dass die verkehrlichen Wirkungen von avF sehr stark davon abhängen, welche Form von avF sich mit welchen Marktanteilen realisiert. Besondere Bedeutung kommt dabei der Ausgestaltung von Angebotsformen im Bereich zwischen motorisiertem Individualverkehr (MIV) und öffentlichem Verkehr (ÖV) zu und der Frage, unter welchen Bedingungen diese für unterschiedliche Nutzergruppen und Verkehrszwecke attraktiv sein können. Wird es zukünftig in größerem Umfang kleine, fahrerlose Kleinbusse oder Robo-Taxis geben? Aussagen zu den verkehrlichen Wirkungen von avF sind dementsprechend mit einem hohen Maß an Unsicherheit verbunden.

Wie weiter zu berücksichtigen ist, kann die Einführung unterschiedlicher Formen von avF sich selbst verstärkende Effekte mit entsprechenden Pfadabhängigkeiten in Gang setzen. So könnten individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge – oder unter Umständen auch von nur wenigen Personen genutzte Fahrzeuge (z. B. Ridepooling) so attraktiv werden, dass sie vom klassischen ÖV Fahrgäste abziehen, damit dessen Wirtschaftlichkeit und Verkehrsanteil schwächen, was eine Reduktion des traditionellen ÖV-Angebots zu Folge haben kann, die dessen Attraktivität weiter schwächt. („Vicious Cycle“ des ÖV, vgl. Fraedrich et al. 2017b). Stellt sich so eine Pfadabhängigkeit ein, so

wird das Mobilitätssystem durch avF nicht mehr, sondern weniger nachhaltig (Schippl et al. 2022). Andererseits ist ebenfalls vorstellbar, dass avF zur Flexibilisierung und Ausweitung des ÖV beiträgt und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Systems ÖV insgesamt erhöht (Virtuous Cycle). Durch Wegfall des Fahrers lassen sich Kosten reduzieren, z. B. durch Einsatz kleinerer, liniengebundener oder auch flexiblierter Busse bzw. kleinerer Shuttles, die in höherer Frequenz fahren, damit den traditionellen ÖV ergänzen und so das Gesamtsystem stärken. Viele Experten verbinden deshalb mit avF große Chancen für eine nachhaltige Entwicklung des Mobilitätssektors (Canzler et al. 2019b).

Sowohl Chancen wie auch Risiken von avF werden also vielfach thematisiert. Im Unterschied zu anderen Beiträgen im vorliegenden Buch (zu den Chancen siehe insbesondere die Kap. 1 und 2) möchten wir in diesem Artikel zunächst mögliche Effekte und Entwicklungslinien in den Mittelpunkt stellen, die aus Nachhaltigkeitsperspektive eher eine Herausforderung darstellen. Dazu gehören insbesondere ein Wachstum des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und eine stärkere Zersiedlung der Landschaft, die wiederum weiteres Verkehrswachstum zur Folge haben könnte. In Abschn. 3.1.2 stellen wir Ursache-Wirkungs-Beziehungen, welche diesen Effekten zugrunde liegen können, in den Mittelpunkt. Wir stützen uns dabei auf eine Auswahl aus den zahlreichen Studien, die inzwischen zu diesem Thema erschienen sind und oft mit Modellierungen arbeiten. Die Auswahl dient der Illustration und der Sensibilisierung für verkehrliche Herausforderungen, die mit avF verbunden sind; ein vollständiger Überblick über die Literaturlage ist im Rahmen dieses Beitrags nicht leistbar. In Abschn. 3.1.3 stellen wir dann ausgewählte Anwendungskontexte für avF in den Mittelpunkt, denen oft ein großes Änderungspotenzial zugeschrieben wird. Abschließend wird der sich daraus ableitende Handlungsbedarf betont und es werden einige Vorschläge skizziert, die helfen können, die Entwicklungsrichtung von avF zu steuern.

3.1.2 Mögliches Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung durch avF

In diesem Kapitel geben wir zunächst einen Überblick über diskutierte verkehrliche Effekte durch avF und deren Ursachen. Anschließend skizzieren wir dann einige Studien, die auf die genannten Effekte bzw. Ursache-Wirkungs-Beziehungen eingehen.

Gründe für ein mögliches Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung durch avF

Im Hinblick auf den Personenverkehr beschäftigt sich bereits eine größere Zahl an Studien mit der Frage, ob bzw. in welchem Umfang sich die verschiedenen Stufen der Automatisierung auf die Verkehrsnachfrage und auf die Fahrleistung auswirken. Viele Studien gehen beim Erreichen der Automatisierungsstufen 4 und 5 von einem

Reisezeitgewinne	Viele Studien heben hervor, dass in einem avF durch Wegfallen der Fahraufgabe die Reisezeit produktiver genutzt werden kann. Somit könnten längere Wege bzw. Staus in Kauf genommen werden. Die Erreichbarkeit insbesondere ländlicher Regionen könnte steigen, was zu weiteren Wegen führen würde (Meyer et al. 2017). Ifmo 2016 sieht besonders Langstreckenpendler als potenzielle Nutzer für avF, weil hier viel Zeit produktiver genutzt werden kann.
Parkplatzsuche entfällt	Schwierigkeiten, einen Parkplatz zu finden, sind besonders in städtischen Verdichtungsräumen ein Grund für die Nichtnutzung des Autos (Schippel et al. 2021). Dieser Grund würde wegfallen, wenn automatisierte Fahrzeuge den Nutzer ans Ziel bringen und sich dann selbst einen Parkplatz suchen (WEF 2018).
Kostensenkung	Viele Studien rechnen aus, dass avF die Kosten für Mobilität reduzieren wird (Bösch et al. 2018). Insbesondere die Einsparung eines Fahrers beim ÖV oder bei Taxidiensten trägt dazu bei. Wenn Mobilität günstiger wird, könnte das zu einem Ansteigen der Verkehrsnachfrage führen.
„Neue“ Nutzer	Verschiedenen Gruppen kann durch avF (Auto-) Mobilität ermöglicht werden. Genannt werden dabei ältere Menschen und Menschen, die aufgrund von Behinderungen mobilitätseingeschränkt sind, sowie Jugendliche, die noch keinen Führerschein besitzen (EBP 2017). Gerade in schlecht angebundenen ländlicheren Regionen könnten diese Personengruppen besonders von automatisierten Angeboten profitieren (Bernhart et al. 2018). Kollektive Nutzungsformen, die dem klassischen ÖV ähneln, könnten für Menschen mit Behinderungen weniger attraktiv sein als auf sie zugeschnittene, private avF.
Leerfahrten	Wenn Fahrzeuge ohne Fahrer unterwegs sein dürfen, können je nach Nutzungsform durch Bring- und Holdienste Leerfahrten in erheblichem Umfang entstehen. BMVI 2017 führt an, dass auch Leerfahrten aus bisher eher abwegigen Gründen denkbar sind (z.B. Transport von Gegenständen wie vergessene Sportsachen abholen; „zweckentfremdete“ Nutzung von Straßen durch automatische Autos wie Werbefahrten).
Kapazitätserhöhung	Vielfach wird davon ausgegangen, dass sich durch avF die Kapazitäten der bisherigen Infrastruktur besser ausnutzen und Reisezeiten verkürzen lassen (Szimba, Hartmann 2020). Damit steigt die Attraktivität der entsprechenden Strecken, was wiederum ein Wachstum der Nachfrage und/oder der Fahrleistung nach sich ziehen kann.

Abb. 3.1 Gründe für ein mögliches Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung durch avF

Wachstum der Verkehrsnachfrage und der Fahrleistung aus (EBP 2017; Fraedrich et al. 2017b; BMVI 2017; RappTrans 2017). In den Studien werden vor allem die in Abb. 3.1. zusammengefassten Gründe für ein mögliches Wachstum in den genannten Bereichen angeführt:

Wie teilweise bereits angedeutet, können die in Abb. 3.1 dargestellten Faktoren in unterschiedlicher Form auf Verkehrsnachfrage und Fahrleistung wirken.

1. Es können neue Wege entstehen, die es bisher nicht gab.
2. Es können Wege verlängert werden, wenn eben durch Reisezeitgewinne oder neue Tätigkeiten während der Fahrt (Arbeiten, Konferenzen, Lesen etc.) längere Wege in Kauf genommen werden.
3. Unterschiedliche Angebots- und Nutzungsformen von avF können einen Modal Shift bewirken, d. h. die Nachfrage nach avF-basierten Angeboten steigt zu Lasten von anderen Verkehrsträgern wie dem klassischen ÖPNV (aus Nachhaltigkeitsperspektive wünschenswert wäre dagegen eine Verlagerung vom MIV auf andere Verkehrsträger).

Auszüge aus Studien zu den möglichen (negativen) verkehrlichen Effekten von avF

Verschiedene Studien greifen die unterschiedlichen potenziellen Entwicklungspfade auf und berechnen die verkehrlichen Effekte mit Verkehrsmodellen für bestimmte Regionen. Beispielweise modellieren Legêne et al. (2020) im Zusammenspiel mit der Einführung von avF die Wirkung verschiedener Faktoren auf den Stadtverkehr im Raum Kopenhagen. Die Analyse führt zu zwei unterschiedlichen Szenarien. Im dem einen Szenario führt eine stärkere gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen durch avF zu weniger Verkehr und mehr Freiraum in der Stadt. Im anderen Szenario werden Autos durch avF attraktiver, einfacher zu benutzen und für ein breiteres Publikum und für verschiedene Zwecke leicht verfügbar. Infolgedessen werden mehr Privatfahrzeuge gekauft und genutzt, was zu mehr Fahrzeugen auf den Straßen, längeren Fahrten und einer stärkeren Zersiedelung der Landschaft führt. Die Probleme mit der Knappheit in städtischen Gebieten werden folglich zunehmen, da der Bedarf an Straßenfläche steigt. Es kommt zu mehr Staus auf den Einfallstraßen von Metropolen und in Ballungsräumen. Andere Forschungsarbeiten machen deutlich, dass avF auch dann zu negativen Effekten (Stau, Luftverschmutzung) führen können, wenn sich neue Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder Car-Pooling durchsetzen, weil das Verkehrsvolumen trotzdem steigen würde (Friedrich et al. 2018; Friedrich und Hartl 2016; May et al. 2020). Dabei spielen auch Leerfahrten eine Rolle, z. B. um Fahrgäste abzuholen (vgl. May et al. 2020). In Ifmo (2016) wird je nach Durchdringungsrate und Nutzungsform von automatisierten Fahrzeugen ein Wachstum der Fahrleistung bis zu 9 % in 2035 in Deutschland berechnet, wobei neue Nutzergruppen (z. B. Mobilitätseingeschränkte, Kinder) bei diesen Berechnungen stark zum Wachstum beitragen. Auch hier geht die Nutzung des ÖV deutlich zurück, Car-Sharing und Car-Pooling könnten jeweils Marktanteile bis zu 10 % erreichen. Fraedrich et al. (2017b) gehen für Deutschland im Falle einer Einführung privater avF von einem Zuwachs der Fahrleistung um 10 % und einem Rückgang des ÖV um 8 % aus. Gründe sind hier insbesondere neue Nutzer und veränderte Distanzwahl. Friedrich et al. (2018) berechnen für die Region Stuttgart, dass durch automatisierte Mobilitätsangebote die Größe der Fahrzeugflotte erheblich reduziert werden könnte. Die im Netz zurückgelegten Fahrzeugkilometer können jedoch nur reduziert werden, wenn die meisten Reisenden

Ridesharing anstelle von Carsharing oder Privatfahrzeugen nutzen. Insgesamt wird deutlich: Ein entscheidender Faktor für die verkehrlichen Wirkungen ist der Besetzungsgrad, mit dem avF-Angebote genutzt werden. Verteilt man beispielsweise die Nutzer von gut ausgelasteten Bussen und Bahnen auf kleine Robo-Taxis mit niedrigem Besetzungsgrad (z. B. 1–3 Personen), so braucht man mehr Fahrzeuge um die gleiche Nachfrage abzudecken. Dementsprechend steigt die Fahrleistung.

Viele Studien versuchen abzuschätzen, wie sich die Kostenstrukturen verschiedener Mobilitätsangebote ändern, wenn der Fahrer bzw. die Fahraufgabe entfällt. Meist wird davon ausgegangen, dass sowohl individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge (wie private Pkws) als auch kollektiv genutzte Flotten (Shuttles oder Sammeltaxis) den traditionellen ÖV unter starken Konkurrenzdruck setzen und in einigen Regionen sogar vollständig verdrängen könnten (Bösch et al. 2018). Die Studie von Bösch et al. zeigt aber auch, dass Flotten von geteilten autonomen Fahrzeugen nicht zwangsläufig die kostengünstigste Option darstellen, gerade die Reinigungskosten dürften nicht unterschätzt werden. Eine Analyse von Hörl et al. (2019) ergab, dass die Unterschiede der Kosten pro Passagierkilometer zwischen den Verkehrsmitteln durch deren Automatisierung deutlich kleiner werden. Insbesondere automatisierte Taxis könnten für eine deutlich größere Kundengruppe für den Alltagsgebrauch erschwinglich werden. Auch nach Berechnungen von Szimba und Leisner (2021) können autonome Mobilitätsangebote die Nutzerkosten für motorisierte Mobilität deutlich reduzieren. Dazu trägt insbesondere die Einsparung von Fahrpersonal bei (Einsparungspotenzial 39–58 % bei ÖV und Taxidiensten). Doch auch die Nutzerkosten des MIV können zurückgehen. Dabei werden Reisezeiteinsparungspotenziale als Kosten ausgedrückt, womit sich in diesen Berechnungen die Pendlerkosten mit dem autonomen Privat-Pkw um rund 20 % verringern. Nach Berechnungen von Deloitte (2019) für deutsche Agglomerationen werden autonome Shuttles und Taxis günstiger sein als private Pkw und der traditionelle ÖV. Die Berechnungen zeigen, dass, bei entsprechender Auslastung bzw. Nutzungsfrequenz, ein Kilometer mit dem Robo-Taxi (ein bis wenige Fahrgäste) 34 Cent, mit dem Robo-Shuttle (mehrere Fahrgäste) lediglich 15 Cent kosten könnte. Dadurch würden zwar immer mehr Menschen auf ein eigenes Auto verzichten. Wenn aber auch die Nutzung des klassischen ÖV zurückgeht, dann könnte sich das Verkehrsaufkommen dennoch erhöhen, zumindest, wenn sich die ehemaligen ÖV-Nutzer auf viele kleinere Fahrzeuge verteilen. Mehr Staus und geringe innerstädtische Durchschnittsgeschwindigkeiten könnten die Folge sein.

Weiter wird in der Literatur diskutiert, welche Effekt eintreten könnten, wenn Fahrzeuge in der Lage wären, sich selbst einen Parkplatz zu suchen. Durch automatisiertes Valet-Parking würde die Parkplatzsuche am Zielort entfallen, was die Nutzung eines eigenen Pkw attraktiver macht. Das bestätigt auch eine Studie von WEF (2018). Die Umfrage unter 5500 Verbrauchern in 27 Städten auf der ganzen Welt ergab, dass der wichtigste Vorteil von autonomen Fahrzeugen darin gesehen wird, keinen Parkplatz suchen zu müssen. Fraedrich et al. (2017b) führen an, dass bei hoher Nachfrage in Innenstädten der Parkdruck auf die Randbereiche verlagert werden könnte; das selbstfahrende Auto setzt den Passagier in der Innenstadt ab und wartet dann am Stadtrand.

Es wird aber auch angeführt, dass bei Umwidmung von Verkehrs- bzw. Parkflächen für andere Zwecke die Attraktivität urbaner Räume erhöht werden könnte (Engel und Grenz 2021; Schippl und Hillerbrand 2021). Zudem lassen sich Parkflächen durch avF intensiver nutzen und besser bündeln. Laut Heinrichs (2015) wird bei Einsatz eines Parkroboters von bis zu 60 % mehr Parkplätzen auf gleicher Fläche ausgegangen.

Inwiefern automatisierte Angebote wie Shuttles oder Robo-Taxis als eine Alternative bzw. Konkurrenz zum oder als integraler Bestandteil des ÖV funktionieren, kann sich in städtischen und ländlichen Räumen unterschiedlich darstellen. Bernhart et al. (2018) argumentieren, dass selbstfahrende Fahrzeuge der Schlüssel für eine bessere Anbindung des ländlichen Raums sein können. Laut BMVI (2017) ist es vorstellbar, dass in ländlichen Räumen fahrerlose Fahrzeuge den ÖV ersetzen können und damit eine kundenfreundliche, finanzierbare und attraktive Alternative zum heute defizitären ÖV darstellen. Eine Studie von Meyer et al. (2016) deutet an, dass Flotten autonomer Fahrzeuge grundsätzlich in der Lage wären, in der Schweiz die vollständige Verkehrsnachfrage außerhalb der großen Agglomerationen zu bedienen. Sieber et al. (2020) zeigen, dass fahrerlose On-Demand-Angebote gerade für den ländlichen Raum kostengünstige und attraktive Mobilität ermöglichen können, insbesondere in Regionen, wo die Nachfrage aufgrund geringer Siedlungsdichte gering ist. Wie von Fraedrich et al. (2017b) erwähnt, ist bei Konzepten zur Verbindung von klassischem ÖV mit Car-Pooling oder ähnlichen Angeboten allerdings zu beachten, dass viele Studien aufzeigen, wie negativ Umsteigevorgänge generell wahrgenommen und bewertet werden (z. B. Frank et al. 2008; Nobis und Kuhnimhof 2018).

Viele Studien weisen auf mittel- bis langfristig mögliche Wirkungen von avF-Anwendungen auf Entwicklungen der Raumstrukturen hin. Reisezeitgewinne lassen sich in erster Linie im MIV realisieren, wenn Fahrzeit im autonomen Modus zum Lesen, Arbeiten oder Netzwerken genutzt werden kann. Das könnte eine erhöhte Bereitschaft, längere Strecken zu fahren, bewirken, die eventuell auch einen Wechsel des Wohn-, Arbeits- oder Ausbildungsorts nach sich zieht (Fraedrich et al. 2017b; Szimba und Hartmann 2020). Mögliche Konsequenz wären Suburbanisierungs- und Zersiedlungsprozesse, die neben erhöhtem Flächenverbrauch die Verkehrsnachfrage und Fahrleistung erhöhen könnten. Grundsätzlich könnten sich entsprechende Effekte bereits bei Teilautomatisierung einstellen, wenn z. B. Autobahnen im autonomen Modus befahren werden dürfen (Szimba und Hartmann 2020). Meyer et al. (2016) zeigen, dass gut erschlossene, ländliche Gemeinden große Erreichbarkeitsgewinne aufweisen könnten. Die Ergebnisse der Studie lassen Automatisierung als potenziellen Treiber für Urban Sprawl verstehen. Andererseits kommen Del Duce et al. (2020) für die Schweiz zu dem Ergebnis, dass das Potenzial von Zersiedlung aufgrund von automatisierten Fahrzeugen als sehr klein einzuschätzen ist. Ein wichtiger Grund ist eine Analyse der Pendelwege in der Schweiz, die gezeigt hat, dass typische Länge, Dauer und Autobahnanteile der Strecken zwischen allen Räumen (Stadt, Agglomeration, Land) relativ kurz sind und sich für eine aktive Zeitnutzung (z. B. Lesen oder Arbeiten während der Fahrt) nicht eignen. Viele Fragen bleiben also offen, u. a. unsicher bleibt, wie stark der MIV tatsächlich an Attraktivität gewinnt, wenn sich die Fahrer auf andere Dinge konzentrieren können und ob bzw. vor

allem auch in welchem Ausmaß längere Fahrzeiten in Kauf genommen würden. Ebenso unklar bleibt die raumplanerisch sehr wichtige Frage, ob und in welchem Umfang langfristige Mobilitäts- bzw. Standortentscheidungen tatsächlich von einer erhöhten Bereitschaft zu längeren Wegen betroffen wären.

3.1.3 Herausforderungen in ausgewählten Anwendungskontexten von avF

Während Abschn. 3.1.2 in erster Linie modellbasierte Forschungen zu möglichen Wirkungen von avF behandelt, möchten wir im vorliegenden Abschnitt auf drei ausgewählte Anwendungskontexte von avF eingehen: Mobilitätsplattformen, On-Demand-Mobilität und mögliche Anwendungen von avF im Dienstleistungsbereich. Diesen drei Anwendungskontexten werden oft große Änderungspotenziale zugeschrieben. Wir möchten wieder hervorheben, dass sich neben neuen Chancen auch in diesen Fällen Herausforderungen ergeben bzw. dass ein Beitrag von avF zu nachhaltigerer Mobilität kein Selbstläufer ist, sondern sorgfältiger Planungen und Interventionen bedarf. Die individuelle Nutzung von avF ab Level 4 in privatem Besitz wird nachfolgend nicht weiter thematisiert, weil dies nach dem novellierten StVG in den nächsten Jahren kaum möglich und auch aus technischen Gründen zunächst nicht ohne Weiteres zu erwarten ist.

Mobilitätsplattformen können die Verkehrswende auch schwächen

Mobilitätsplattformen werden als wichtiges Element der Verkehrswende gesehen, sofern sie die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsträger vereinfachen. Beispielsweise können sie Information, Buchung und Abrechnung von ÖPNV, Car-Sharing und Bike-Sharing sehr einfach über eine App ermöglichen und damit die Attraktivität dieser Verkehrsträger für die Kunden erhöhen. Findet diese Integration nicht statt, so können plattformbasierte Mobilitätsdienste der Mobilitätswende nicht förderlich sein bzw. nachhaltiger Mobilität sogar entgegenwirken. Mobilitätsplattformen, wie z. B. Uber, bieten Verkehrsdienste von A nach B an und erzielen attraktive Fahrpreise u. a. durch Bündelung von Fahrtwünschen in einem Fahrzeug. Die Angebote sind in der Regel nicht in den ÖPNV integriert, d. h. sie fahren auf Basis eigener Tarife, haben eigenständige Auskunftssysteme und werden nicht vom Aufgabenträger des ÖPNV finanziert.

Die Vermittlung von Fahrtwünschen über Internetportale und die Bündelung von Fahrgästen unterschiedlicher Ziele unterliegt in Deutschland engen Restriktionen durch das PBefG. Mit der Novelle des PBefG von 2021 wurde in § 50 die Genehmigung für „Gebündelte Bedarfsverkehre“ eingeführt, sodass die Genehmigungsfähigkeit dieser Verkehrsdienstleistung nunmehr erleichtert wurde. Allerdings birgt § 50 PBefG den Vorbehalt, dass der Aufgabenträger für den ÖPNV, also i. d. R. der Landkreis oder die kreisfreie Stadt, Restriktionen für den gebündelten Bedarfsverkehr im Nahverkehrsplan festlegen kann, die über die PBefG-Genehmigungsbehörde dann beauftragt werden.

Sobald diese Mobilitätsplattformen fahrerlose avF einsetzen können, ist entsprechend Deloitte (2019) (siehe oben, Abschn. 3.1.2) davon auszugehen, dass der Wettbewerbsdruck auf den ÖPNV durch Ridepooling aufgrund günstiger Fahrpreise sehr stark zunehmen wird. Beobachtet wurden bereits die Konkurrenzierung der U-Bahn in New York und einer Regionalbahn durch Uber (Rhode 2018). Die Nutzung des Genehmigungsverhalts bekommt daher für die Sicherung des ÖPNV und die Reduzierung des Fahrzeugverkehrs eine große Bedeutung.

Der geringe Erfolg von Uber & CO in Deutschland zeigt aber auch, dass ein gutes ÖPNV-Angebot den Ruf nach Alternativen zum konventionellen Bahn- und Busverkehr mildert. Hierzu s. nachfolgende Abschnitte.

Effiziente Nutzung flexibler On-Demand-Angebote im ÖPNV

Räumlich und zeitlich flexible Verkehrsangebote, wie Rufbus, Anruf-Sammel-Taxi oder unter dem neuen Begriff „on demand“, können nach dem novellierten PBefG nach § 44 als Linienbedarfsverkehr genehmigt werden. Die genannten Begriffe stehen für Verkehrsangebote, die folgende Eigenschaften haben können:

- Buchung der Fahrt über Telefon, Internet oder App;
- Bedienung mit oder ohne Fahrplan;
- Bedienung auf einem festgelegten Linienweg oder in einem Korridor (Richtungsband) oder in einem räumlich definierten Gebiet (Bedienungszelle);
- Fahrpreis des ÖPNV, ggf. mit «Komfortzuschlag» oder isoliertes Tarifsystem.

Diese hier beschriebenen flexiblen Verkehrsangebote sind Bestandteil des ÖPNV, werden vom Aufgabenträger, der Stadt oder der Gemeinde, finanziert und werden zu Zeiten und in Räumen schwacher Verkehrsnachfrage eingesetzt und vermeiden damit leer fahrende Linienbusse.

On-Demand-Angebote werden vielfach (z. B. Kirschbaum et al. 2021) als Voraussetzung für eine Verlagerung von MIV auf den ÖPNV gesehen, weil sie einen finanzierbaren ÖPNV auf dem Land, in Stadtrandbereichen oder in Nachtstunden möglich machen. Dabei wird vielfach nicht berücksichtigt, dass die Kosten mit oftmals 20 bis 76 EUR pro beförderter Person (eigene Auswertung) bei den flexiblen Verkehrsangeboten sehr hoch sind und eine Erhöhung der Auslastung von Fahrzeugen gegenüber dem eigenen Pkw nicht unbedingt erreicht wird. Aufgrund geringer Nachfrage oder aufgrund exorbitant hoher Kosten wurden zahlreiche Rufbus- und On-Demand-Angebote nach einer Förder- oder Versuchsphase wieder eingestellt.

Sobald avF im regulären Straßenverkehr eingesetzt werden können, wird der Betrieb von Rufbussen und ähnlichen Angeboten deutlich kostengünstiger und es stellt sich die Frage, wo und wann ein Einsatz dieser Betriebsform sinnvoll ist. Entsprechend den Überlegungen zu einem differenzierten ÖPNV-Netz (vgl. Abschn. 2.2. in diesem Buch) bieten sich flexible Verkehrsangebote für folgende Einsatzzwecke an:

- Erschließung von Räumen mit geringer Verkehrsnachfrage z. B. im ländlichen Raum abseits der Hauptlinien des ÖPNV zu allen Tageszeiten;
- Erschließung und Verbindung in Schwachlastzeiten in Städten und Ballungsräumen am Abend, in der Nacht und am Wochenende;
- Schwächer nachgefragte Verbindungen in Räumen mit schwacher Verkehrsnachfrage, z. B. Querverbindungen oder andere ungewöhnliche Relationen, ggf. mit einem Aufpreis oder höheren Tarif.

Auch wenn das Kostenargument die stärkere Verbreitung von Angeboten wie Rufbussen aufgrund des fahrerlosen Betriebes nicht mehr bremst, wird die Betriebsform des ÖPNV im Einzelfall genau abzuwägen sein. Fehlentwicklungen hat es durch Einsatz überbordender Fördergelder bereits gegeben; zukünftig können Fehlentwicklungen auch ohne Fördergelder nicht ausgeschlossen werden. Nachfolgend werden hierzu einzelne Beispiele benannt:

- **ÖPNV im Landkreis Wittenberg:** Im Jahr 2006 wurde der Linienbusverkehr aufgrund speziell wirkender Anreizmechanismen außerhalb der Schülerbeförderung weitgehend auf fahrplanungebundene Rufbusse umgestellt. Die starke Fahrgastnachfrage führte zu extrem hohen Kosten für den Landkreis, weil bündelungsfähige Fahrgastströme nun durch Rufbusse mit hohen Kosten pro beförderter Person übernommen wurden. 8 Jahre später, mit der nachfolgenden Neuerteilung der Konzessionen, wurden auf stark nachgefragten Relationen stündliche Busverbindungen eingeführt und die Rufbusse auf ihre Rolle als Zubringer und Verkehrsangebot in Zeiten schwacher Verkehrsnachfrage zurückgedrängt (Heinze und Kill 2008).
- **Schülerbeförderung mit Sedic:** Volkswagen hat im Jahr 2018 auf dem Genfer Auto- salon ein Fahrzeugkonzept für die Schülerbeförderung mit dem autonomen Fahrzeug Sedic präsentiert. Offen bleibt hier die Frage, welche Infrastruktur benötigt wird, wenn hunderte dieser 4-Sitzer relativ zeitgleich vor der Schule vorfahren (Effler 2018).
- **On-Demand-Angebot im Stadtverkehr Ahrensburg:** Zur Finanzierung des Rufbusverkehrs von ioki wurde eine Stadtbuslinie eingestellt. Die Weiterführung des Angebotes sieht die Stadt nur bei einer vollständigen Finanzierung durch Fördermittel vor. Ob es den Rufbus auf Dauer geben wird, ist mehr als fraglich.

Dienstleister überschwemmen die Stadt mit avF

Die Wirkungen von avF werden auch in Bereichen außerhalb der Personenbeförderung eintreffen. Grundsätzlich werden auf Basis der Regelungen des novellierten StVG avF in allen Dienstleistungsbereichen interessant werden, in denen die Kosten des Fahrers einen hohen Anteil der Betriebskosten ausmachen. Die nachfolgende Liste denkbarer Einsatzgebiete für avF ist exemplarisch und lässt sich sicherlich noch erweitern:

- Zustellung und Abholung für Post-, Express- und Paketdienste just in time
- Leerung von Briefkästen und Paketboxen, ggf. in hoher Frequenz
- Zustellung für die Gastronomie (Pizza-Taxi) just in time
- Zustellung Lebensmitteleinkauf für Discounter oder andere Einzelhändler just in time
- Zustellung Behördenpost mit Authentifizierung des Bürgers/der Bürgerin am Fahrzeug
- Versorgung von Baustellen mit Werkzeug und Baumaterial just in time
- Bargeld Ver- und Entsorgung für Geschäfte und Bankautomaten
- Straßenreinigung in hoher Frequenz
- Mülltonnen und spezielle Aschenbecher leeren
- Selbstfahrende Mülltonnen und Glascontainer
- Überwachung des Straßenzustandes durch Straßenbaulastträger, wichtig auch für avF
- Durchsetzung von Park- und Halteverboten, z. B. auf Busspuren (Überwachung, Kennzeichenerfassung, Fakturierung der Verwarnung etc.)
- Winterdienst in hoher Frequenz, dadurch Eisbildung vermieden
- Gießen von Straßenbegleitgrün, zunehmend wichtig
- Wasser versprühen zur Temperaturabsenkung in überhitzten Städten
- Sicherheitsdienste, wiederkehrende Überwachung durch Video

Alle diese privaten und staatlichen Dienstleistungen werden durch Einsatz von avF kostengünstiger und können somit häufiger, preisgünstiger und mit höherer Qualität (Zuverlässigkeit) angeboten werden. Die genannten privaten Unternehmen mit besetztem Büro werden die Anforderungen des StVG an den Betreiber von avF erfüllen. Durch die Vielzahl der denkbaren Dienstleistungen und die teilweise häufigen Zustellfahrten ist mit einer stark zunehmenden Dichte an gewerblichen Kraftfahrzeugen in den Wohngebieten der Städte zu rechnen. Diese sollte im Hinblick auf Planungen und möglichen Regulierungsbedarf frühzeitig Berücksichtigung finden.

Fazit zu Abschn. 3.1

Kernziel dieses Beitrags ist es zu verdeutlichen, dass avF nicht „automatisch“ zu einer Verkehrswende beitragen wird. Die in Abschn. 3.1.2 zitierten Studien zeigen ebenso wie die in Abschn. 3.1.3 skizzierten Anwendungskontexte, dass avF auch zu einem Wachstum von Verkehrsnachfrage und -leistung, sowie zu einer Zersiedlung der Raumstrukturen beitragen können. Der MIV könnte gestärkt werden, der ÖPNV könnte zu Gunsten kleinerer Fahrzeuge, die nicht in den ÖPNV integriert sind, an Bedeutung verlieren, der Verkehrsfluss könnte zurückgehen und Staus könnten zunehmen.

Gleichzeitig zeigen viele der genannten Studien aber auch, dass avF attraktive Alternativen zum eigenen Pkw bieten und damit zu einer nachhaltigen Entwicklung im Sinne einer Mobilitätswende beitragen kann. Ein wichtiger Faktor ist, dass sich ÖPNV durch avF flexibler und kostengünstiger anbieten lässt. Solch

eine nachhaltige Pfadentwicklung ist jedoch keineswegs ein Selbstläufer, sondern vielmehr bedarf es dazu bestimmter politisch-regulativer Flankierungen sowie entsprechender Angebotsformen. Auch Agora Verkehrswende (2020, S. 5) kommt in einem Bericht zu den Folgen des automatisierten Fahrens zu dem Schluss: „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.“ Wie Lang et al. (2020) hervorheben, müssen Stadtverwaltungen frühzeitig entscheiden, inwiefern avF die richtige Wahl für ihre Stadt sind, und entsprechend planen. Zur Vermeidung von Fehlentwicklungen wird ein strategisches und klares Vorgehen der Kommunen erforderlich sein, dass folgende Prämissen berücksichtigt:

- Erstens braucht es Raumstrukturen, die kurze Wege ermöglichen und damit Verkehr reduzieren/vermeiden.
- Zweitens braucht es einen ÖPNV, der durch attraktive, schnelle Verbindungen und dichte Fahrplankontakte eine gute Flächenerschließung für viele Verkehrszwecke erfüllt.
- Drittens wird der Umgang der Kommunen mit den Anbietern von automatisierten Fahrdiensten entscheidend für die Entwicklung des Verkehrsmarktes sein. Die deutschen Kommunen verfügen durch den Nahverkehrsplan über ein Instrument, um künftige Wettbewerber des ÖPNV, wie Anbieter von gebündelten Bedarfsverkehren, durch Restriktionen zu begrenzen.

Generell ist es entscheidend, neben den Chancen von avF auch die Risiken zu kommunizieren. AvF muss über Einzelanwendungen hinaus in Konzepte und Planungen für ein nachhaltiges Mobilitätssystem integriert werden.

3.2 Anforderungen des avF an den Infrastrukturbedarf

Michael Aleksa, Willibald Krenn, Constantin Pitzen und Robert Yen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Anforderungen des automatisierten und vernetzten Fahrens (avF) an die Infrastruktur. Unter Infrastruktur sind in diesem Fall nicht nur die Straßen und der Parkraum zu verstehen, sondern ebenso die digitale Verkehrsinfrastruktur, wie die Lichtsignalanlagen, Bahnschranken, Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Kommunikationsplattformen usw. Selbst die digitale Karte, die für die Navigation automatisierter Fahrzeuge notwendig ist, wird als Teil der digitalen Infrastruktur verstanden.

Ziel dieses Beitrags ist es, zu verdeutlichen, dass die Einführung automatisierten Fahrens auch Auswirkungen auf den Verkehrsraum und die digitale Verkehrsinfrastruktur hat und somit die automatisierten Fahrzeuge nicht unabhängig von dieser gedacht werden dürfen, sondern als ein integraler Bestandteil des Mobilitätssystems verstanden werden müssen.

3.2.1 Automatisiertes Fahren und Infrastruktur – einige einführende Anmerkungen

Derzeit steckt das automatisierte Fahren noch in den Kinderschuhen und es ist noch ein weiter Weg, bis vollautomatisierte Fahrzeuge SAE Level 5 unsere Straßen bevölkern werden. Dennoch wurden in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht, sodass wir davon ausgehen können, dass in den nächsten Jahren automatisiertes Fahren SAE Level 4 als ÖPNV im Regelbetrieb Realität und Teil unseres Mobilitätssystems sein wird. Um die technologischen Entwicklungen sowie die infrastrukturellen Vorbereitungen zu fördern, hat der deutsche Gesetzgeber im Jahr 2021 das weltweit erste Gesetz zur Ermöglichung des automatisierten Fahrens im Regelbetrieb in der Novelle zum Straßenverkehrsgesetz (StVG) geschaffen. Darin regelt der deutsche Gesetzgeber, unter welchen Bedingungen ein Fahrzeug unter technischer Aufsicht für die Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr zugelassen wird. Diese Zulassung umfasst nicht nur das Fahrzeug selbst, sondern sieht eine gesamtheitliche Zulassung von Fahrzeug und jenem Straßennetz (Betriebsbereich) vor, auf dem das automatisierte Fahrzeug fahren wird. Die Nutzung des automatisierten Fahrzeugs bzw. der automatisierten Funktionen außerhalb dieses zugelassenen Straßennetzes ist nicht erlaubt (siehe dazu auch Abschn. 6.1 „Rechtsrahmen für hochautomatisiertes Fahren in Deutschland“ und Abschn. 7.5 „Wie können automatisierte Fahrzeuge für den ÖPNV, für kommunale Dienste und Logistik oder als selbstfahrende Container zugelassen werden?“). Nicht nur der Gesetzgeber ist sich dessen bewusst, dass automatisiertes Fahren nicht unabhängig vom Kontext, in dem das Fahrzeug bewegt wird, gedacht werden kann. Daher werden von der Industrie zum Betrieb von Fahrzeugen auch sog. Operational Design Domains (ODD) definiert (SAE 2018). ODD können sowohl technische Voraussetzungen wie die Existenz hochauflösender dreidimensionaler Karten oder Kameras mit einer Kommunikationsschnittstelle, die zusätzliche Informationen über das weitere Umfeld übermitteln, als auch räumliche und infrastrukturseitige Voraussetzungen umfassen.

In diesem Kapitel werden Straßen mit Mischverkehr von konventionellen Fahrzeugen und solchen mit automatisierten Fahrfunktionen SAE Level 4 betrachtet. Bereiche, die exklusiv für automatisierte Fahrzeuge reserviert werden, werden aufgrund der Begrenztheit des öffentlichen Raumes sicherlich keine dominante Bedeutung erlangen. Zu unterscheiden sind die Arten der Infrastruktur. Die digitale Infrastruktur hat dafür zu sorgen, dass automatisierte Fahrzeuge jederzeit über alle Informationen zur Bewertung der umgebenden Verkehrsverhältnisse verfügen. Die bauliche Infrastruktur der Straßen

soll grundsätzlich auch für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen nutzbar sein, wobei sich für den Betriebsbereich der automatisierten Fahrzeuge entsprechend dem technischen Fortschritt anfänglich nicht alle Straßen abhängig von der Verkehrsführung oder dem Verkehrsaufkommen eignen (siehe dazu Abschn. 1.1 „Was muss man sich unter ‚automatisiertem Fahren‘ vorstellen?“).

Die Verantwortung für die digitale Infrastruktur, also die Kommunikation zwischen der Straßeninfrastruktur einschließlich der Verkehrsanlagen, den Fahrzeugen untereinander (im Falle der Kommunikation über eine Plattform) und den digitalen Karten ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Hierbei geht es in erster Linie darum, wer für den Aufbau und den Betrieb der digitalen Infrastruktur verantwortlich ist. So sind heute die Anforderungen der Fahrzeughersteller an die digitalen hochauflösenden Karten sehr unterschiedlich. Weiter zu spezifizieren sind auch viele betriebliche Fragen bezogen auf die geografischen Informationen, wie beispielsweise die Frage, wer, wen und wann über Veränderungen des Straßennetzes oder Umleitungen wegen Arbeiten am Straßennetz informiert. Ausgehend von der Einführung eines automatisierten ÖPNV werden in den kommenden Jahren die Fragen der Verantwortlichkeiten für jedes Beschaffungsprojekt individuell in der Leistungsbeschreibung der Ausschreibungen für den automatisierten ÖPNV-Betrieb geklärt werden (siehe auch Abschn. 7.4 „Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug oder eine automatisiert fahrende Transportdienstleistung beschafft und implementiert werden?“).

Für privat genutzte Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs (MIV) bedarf es einheitlicher Regeln und Standards für die Klärung der Verantwortlichkeiten und der Kommunikation zwischen den Akteuren. Hier sind sowohl die öffentliche Hand als auch die Industrie gefordert. In diesem Falle müsste von folgenden Anforderungen an die digitale Infrastruktur ausgegangen werden:

- Nutzbarkeit für alle Betreiber von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen im Mischverkehr mit konventionellen Kraftfahrzeugen
- Nutzbarkeit für Fahrzeuge unterschiedlichen Automatisierungsgrads (SAE Levels)
- Bereitstellung und ständige Aktualisierung der digitalen Karten (geografische Informationen, die auch die Verkehrszeichen, Geschwindigkeiten usw. beinhalten)
- Unterstützung der Ortung und Bewertung der Verkehrsverhältnisse, z. B. durch Aufbau von Plattformen
- Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen, Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Bahnübergängen und anderen Verkehrsanlagen
- Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander, ggf. über die o. g. Plattformen
- Begrenzung der Sonderbehandlung von automatisierten Fahrzeugen auf ein absolutes Minimum
- Klärung der Haftung für digitale Karten (geografische Informationen, die auch die Verkehrszeichen, Geschwindigkeiten usw. beinhalten) und Schnittstellen, da Entscheidungen der Fahrzeuge auf Basis der übermittelten Informationen vom Fahrzeug getroffen werden und für die Sicherstellung der Verkehrssicherheit existenziell sind

3.2.2 Anforderungen an die bauliche Infrastruktur bzw. Straßeninfrastruktur

Seit den 1950er-Jahren wurde der Verkehrsraum in unseren Städten zunehmend für die Nutzung mit dem Auto gestaltet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass alle Fahrzeuge durch einen Menschen gelenkt werden, der entsprechend den gesetzlich festgehaltenen Regeln im Zuge der Fahraufgaben mithilfe der natürlichen Fähigkeiten Entscheidungen trifft. Für diese Fähigkeiten mussten die Menschen einen gesundheitlichen Nachweis erbringen und in einer theoretischen und praktischen Fahrprüfung die Fähigkeit, ein Fahrzeug im Straßenverkehr zu führen, nachweisen.

In der Entwicklung der Technologie für automatisiertes Fahren wird versucht, diese dem Menschen eigenen Fähigkeiten technisch nachzubauen. Es zeigt sich jedoch, dass der Mensch mit steigender Fahrpraxis mit unklaren Situationen deutlich besser umgehen kann als die Maschinen. Es ist daher notwendig, dass man für den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen, also Fahrzeugen, die für ihre Steuerung Sensordaten über die aktuelle Situation benötigen, kritische Örtlichkeiten und Abschnitte identifiziert, bei denen man nach derzeitigem Kenntnisstand weiß, dass bauliche Veränderungen der Verkehrssicherheit, Effizienz und Nutzerfreundlichkeit dienen würden. Solche Örtlichkeiten sind z. B. Baustellen, Gefahren- und Unfallstellen, komplexe innerstädtische Kreuzungen, Eisenbahnkreuzungen, Abschnitte mit Fahrbahnschäden, Engstellen, Sondermarkierungen, Kreisverkehre, Parkplätze, Begegnungszonen, Orte mit Straßenbahngleisen und auch Bereiche mit Radfahrern gegen die Einbahn.

Für den Einsatz eines automatisierten ÖPNV SAE Level 4 ist daher eine sorgfältige Planung notwendig. Diese umfasst folgende mögliche Maßnahmen:

- Klärung des Zwecks des Einsatzes der automatisierten Fahrzeuge im ÖPNV und somit auch Klärung des Einsatzortes. Gerade in den nächsten Jahren sollte der automatisierte ÖPNV dort eingesetzt werden, wo heute normale Linienbusse nicht zum Einsatz kommen aufgrund der zu geringen Nachfrage. Meist sind dies Wohngebiete oder Streusiedlungen. Auf den Straßen in diesen Gebieten gibt es nur ein geringes Verkehrsaufkommen und somit eine deutlich geringere Komplexität für die Ausführung von Fahraufgaben.
- Diese Komplexität kann noch weiter reduziert werden durch die Schaffung von Einbahnregelungen und die Reduktion von Parkraum. In vielen Wohngebieten parken die privat genutzten Fahrzeuge nicht auf dem eigenen Grundstück, auch wenn ausreichend Fläche vorhanden wäre, sondern im öffentlichen Verkehrsraum.
- Die Reduktion der Geschwindigkeit auf 15 oder 20 km/h. Dadurch werden die Geschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrsteilnehmer angeglichen und der Verkehrsfluss wird gleichmäßiger.
- Die klare Trennung von Fußgänger:innen und Fahrradfahrer:innen von dem mehr- und einspurigen motorisierten Verkehr und die Ermöglichung der Übergänge für diese nur über definierte Fußgängerübergänge.

- Straßenabschnitte können hinsichtlich des Straßen-Layouts und der -ausstattung mit der Zielsetzung der Vereinfachung und Übersichtlichkeit verändert werden.
- Zusätzlich können stationär oder temporär installierte Sensoren, die mit den automatisiert fahrenden ÖPNV-Fahrzeugen kommunizieren, für zusätzliche Informationen zur Situation bereitstellen.

Eine zusätzliche Ausstattung der Infrastruktur mit mobiler und statischer Sensorik, damit durch Vernetzung und Übertragung von Echtzeitinformationen die Bewältigung der Fahraufgaben erleichtert bzw. unterstützt wird, ist eine derzeit in der Forschung viel diskutierte Idee. Dies wäre ein Beispiel für eine Mischung aus baulicher und digitaler Infrastruktur, welche die Fahrzeuge unterstützt, z. B. bei einer Kreuzung um die Ecke zu schauen. Diese sogenannten C-ITS-Systeme (kooperativen intelligenten Verkehrssysteme) können viele Informationen, wie z. B. herankommende andere Fahrzeuge, Ampelphasen, Baustellen und Gefahren, per ITS G5 bzw. per 5G-Mobilfunk ins Fahrzeug übermitteln. Damit schafft man es als eine Art lokales Assistenzsystem, die automatisierten Fahrzeuge mit zusätzlichen Informationen zu versorgen und somit beispielsweise das Sichtfeld des Fahrzeugs digital zu erweitern.

Während der nächsten Jahre wird eine (Risiko-) Bewertung seitens des Straßenbetreibers durchgeführt werden müssen und untersucht werden, ob oder unter welchen Voraussetzungen automatisierte Fahrzeuge auf diesem Abschnitt bzw. in dieser Region fahren dürfen. Die Anforderungen an die bauliche Infrastruktur werden mit zunehmendem technischen Fortschritt bei der Automatisierungstechnik der Fahrzeuge sinken. Daher muss jedes Einführungsprojekt für einen automatisierten ÖPNV individuelle Maßnahmen für die genutzte bauliche Infrastruktur definieren.

3.2.3 Anforderungen an die digitale Infrastruktur

Die europäische Perspektive zur Automatisierung des Verkehrs beinhaltet immer die Komponente der Vernetzung: Die Schlagworte „Cooperative Intelligent Transport Systems“ (C-ITS) bzw. „Cooperative Connected and Automated Mobility“ (CCAM) sind hier zu nennen. Es besteht weiterhin das Bestreben, eine ganzheitliche und systemische Sichtweise (siehe die EU-Sustainable and Smart Mobility Strategy) auf den Verkehr zu etablieren. Ziele der Vernetzung wurden im vorhergehenden Abschnitt bereits angedeutet. Es geht darum, nicht nur im Bereich des automatisierten Fahrens, sondern auch bezüglich der nur teilautomatisierten Fahrzeuge die Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Kommunikation zwischen den Fahrzeugen sowie den Fahrzeugen und der Infrastruktur zu erreichen. Hinzu kommt der Wunsch, durch Vernetzung mehr aktuelle Informationen über das tatsächliche Verkehrsgeschehen zu erhalten und somit rechtzeitig durch Verkehrsmanagementmaßnahmen in das Verkehrsgeschehen eingreifen zu können, um ggf. Staus oder gefährliche Verkehrssituationen zu vermeiden.

Allein die sichere Vernetzung aller motorisierten Verkehrsteilnehmer unter Einbeziehung der Infrastruktur benötigt zur Umsetzung eine leistungsfähige und ausfallsichere digitale Infrastruktur. An den entsprechenden Standards zur Nachrichtenübertragung wird in verschiedenen internationalen Standardisierungsgremien (u. a. ETSI, ISO) seit Jahren gearbeitet. Verschlüsselungsalgorithmen und -infrastruktur, Nachrichtenformate, Funkverfahren (5G vs. G5), Test- und Zertifizierungsverfahren sind zu entwickeln und zu definieren. In verschiedenen Projekten (z. B. das Projekt C-ROADS¹) wird auch die länderübergreifende Umsetzung erprobt.

Neben den Anforderungen, die sich aus der Vernetzung der Fahrzeuge ergeben, findet sich im deutschen StVG in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3108) geändert worden ist, für autonome Fahrzeuge die Pflicht zu einer „Technischen Aufsicht“. Dies ist eine natürliche Person, die den Betrieb der hochautomatisierten Fahrfunktion deaktivieren bzw. teilweise steuern kann. Dabei kann sich die Technische Aufsicht im Fahrzeug befinden oder die Fahrfunktion aus der Ferne beaufsichtigen. Im ÖPNV kann sehr wahrscheinlich von einer Fernüberwachung der automatisierten Fahrzeuge ausgegangen werden, was sichere (safe & secure) Kommunikationswege mit entsprechender digitaler Infrastruktur voraussetzt. Zudem muss eine abgesicherte Überwachungszentrale mit ausfallsicheren Geräten zur Fernsteuerung aufgebaut werden. Hier ergeben sich hohe Anforderungen sowohl an die bauliche als auch die digitale Infrastruktur: Eine unterbrechungsfreie, redundante Energieversorgung, Sicherheitsbereiche, redundant ausgelegte Netzwerke und Arbeitsplätze für Operatoren sind nur einige der Anforderungen. Sehr wahrscheinlich sollten auch zumindest mehrere solche Überwachungszentralen mit der Möglichkeit der gegenseitigen Unterstützung umgesetzt werden, damit eine sehr hohe Ausfallsicherheit gewährleistet werden kann. Mit Zunahme der gefahrenen Kilometer auf einer bestimmten Strecke und somit der Wiederholung der Fahraufgaben in diesem spezifischen Kontext und der Zunahme an Fähigkeiten durch technischen Fortschritt der automatisierten Fahrzeuge wird auch die Anzahl der notwendigen Eingriffe durch die Technische Aufsicht sinken.

Neben der digitalen Infrastruktur, die seitens des Betreibers notwendig ist, benötigt auch das Fahrzeug selbst digitale Daten. Zumeist müssen für die geplante Route hochauflösende dreidimensionale Kartendaten und weitere sich für den Verkehr auf bestimmte geografische Punkte beziehende Daten verfügbar sein. Diese Daten müssen aktuell gehalten werden, wobei sich hier Überschneidungen mit C-ITS als Update-Mechanismus ergeben können. Hier muss die Frage nach der Verantwortung der Lieferung der Datensätze (Straßenbetreiber, ÖPNV-Betreiber, Fahrzeughersteller) geregelt werden.

Als letztes Beispiel, das die Komplexität der digitalen Infrastruktur beleuchten soll, sei erwähnt, dass, wie bereits in Abschn. 3.2.1 beschrieben, der automatisierte Betrieb von Fahrzeugen an bestimmte Bedingungen, die Operational Design Domains (ODD),

¹ <https://www.c-roads.eu/platform.html>

geknüpft ist, welche sich auf die vorhandene digitale Infrastruktur abstützen und daher von ihr beeinflusst werden können.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Komplexität der digitalen Infrastruktur zur Überwachung und Bereitstellung automatisierter Fahrzeuge – inklusive der zum sicheren Betrieb nötigen Expert:innen – sehr wahrscheinlich über die Komplexität der nötigen baulichen Infrastruktur hinausgehen wird – dies vor allem unter dem Gesichtspunkt der maximalen Verkehrssicherheit, der Cybersicherheit und Verlässlichkeit.

Fazit zu Abschn. 3.2

Soll ein automatisierter ÖPNV in einer Kommune oder ggf. auch auf einer Überlandstraße eingeführt werden, so ist es notwendig, sich nicht nur über die Zielsetzung des Vorhabens Gedanken zu machen, sondern sich auch zu überlegen, welche Anforderungen sich daraus für die bauliche und für eine digitale Infrastruktur ergeben. Da in den nächsten Jahren die dafür notwendigen Standards und Regularien insbesondere für die Aufteilung der Verantwortlichkeiten vermutlich noch nicht vorliegen werden, sind die entsprechenden Anforderungen in den Ausschreibungsunterlagen bzw. in den Verträgen der Verkehrsbetriebe und Kommunen mit den Anbietern von automatisierten ÖPNV-Dienstleistungen zu klären (siehe dazu auch Abschn. 7.4 „Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug oder eine automatisiert fahrende Transportdienstleistung beschafft und implementiert werden?“).

3.3 Auswirkung des hohen Datenbedarfs und die Frage nach Datensicherheit und Datenschutz

Willibald Krenn

„Daten sind das neue Gold“ – diese weithin bekannte Aussage trifft in vielen von Digitalisierung betroffenen Bereichen zu, so auch für vernetztes, automatisiertes Fahren: Zum einen möchten die Fahrzeughersteller über gesammelte Daten ihre Produkte kontinuierlich verbessern, was angesichts der hochkomplexen Aufgabe, einen Mechanismus zu entwickeln, der Fahrzeuge selbständig und sicher steuern kann, sehr verständlich ist. Zum anderen bauen auch Konzepte der „smart mobility“ stark auf Daten der Benutzer:innen auf, um maximale Bequemlichkeit zu bieten. Neben einem Komfortgewinn verspricht man sich hier – nicht zuletzt auf EU-Ebene – auch CO₂-Einsparungen durch systemische Optimierung des Verkehrs bzw. der Mobilität.

Es stellen sich daher die Fragen des derzeitigen und zukünftigen Datenbedarfs solcher Systeme und – damit verknüpft – die der Datensicherheit bzw. Cyber-Security. Diesen Fragen möchten wir in diesem Kapitel nachgehen, wobei wir uns auf die technische Sicht und die Fahrzeuge konzentrieren werden, erweitert um Aspekte der verbundenen

Infrastruktur – inklusive Vertriebs- und Routing-Apps für ÖPNV, Ridepooling oder On-Demand-Services. Eine rechtliche Einordnung wird in Kap. 6 vorgenommen, wobei schon hier darauf hingewiesen sei, dass es kein „Dateneigentum“ an sich gibt und stattdessen Urheberrecht, Geheimnisschutz, Strafrecht, Wettbewerbsrecht oder Datenschutzrecht zur Anwendung kommen.

3.3.1 Cyber-Security – Stand der Dinge

Zwischen 2013 und 2020 ist der Wertanteil der Software in einem Fahrzeug von 0 auf 40 % gestiegen, was einem jährlichen Wachstum von ca. 22 % entspricht (ARTEMIS-IA, Advancy 2019). Dies verdeutlicht sehr gut, wie schnell und disruptiv die Digitalisierung im Fahrzeugbereich Einzug gehalten hat. Die Cyber-Security wurde dabei – vor allem in der Anfangsphase – vernachlässigt. Zahlreiche „Car-Hacks“ sind in der Folge auch bekannt geworden und dokumentiert (siehe z. B. Upstream Security 2021a, Global Automotive Cybersecurity Report). Die Liste der Vorfälle reicht dabei von Schwachstellen in Schließanlagen, die von Dieben ausgenutzt werden können, über die ungewollte Übernahme und Fernsteuerung einzelner Funktionen eines Fahrzeugs bis hin zu Einbrüchen in die IT-Systeme der Hersteller über die Fahrzeuge mit möglichen Konsequenzen für gesamte ausgelieferte Fahrzeugflotten. Neben den Fahrzeugen sind oft auch Apps bzw. Webseiten von Herstellern und Diensteanbietern verwundbar (siehe z. B. Upstream Security 2021b, Vulnerabilities found in agricultural equipment manufacturer’s apps and website und Upstream Security 2021c, Giant ride-hailing tech found to have interfered with privacy of over 1 million Australians).

Abseits dieser eher generischen Angriffe gibt es auch Sicherheitsforschung, die sich gezielt mit den sog. Advanced Driver Assistant Systems (ADAS) beschäftigt. Diese Systeme bilden die Basis für die zukünftige vollständige Automatisierung und sind daher besonders interessante Untersuchungsobjekte. Bekannte ADAS sind Spurhalte- und „Autopilot“-Assistenten. Vielfach greifen diese Systeme auf visuelle Daten der Umgebung – aufgenommen durch mehrere Kameras – zurück. Diese Daten werden dann durch Algorithmen, die auf Künstlicher Intelligenz beruhen, weiterverarbeitet. Ziel der Sicherheitsforschung ist es, die Robustheit zu beurteilen bzw. mögliche Angriffsflächen frühzeitig aufzudecken. Stellvertretend für die vielen Aktivitäten auf diesem Gebiet sei auf die sog. Phantoms (Ben Nassi et al. 2020) verwiesen. Dieser Angriff macht sich zu Nutze, dass ein Computer – im Unterschied zum Menschen – auch Objekte (z. B. Verkehrszeichen) erkennen kann, die nur für einen Bruchteil einer Sekunde zu sehen sind, und diese – bei aktuellem Stand der Technik – für genauso valide hält. Solcherart eingeblendete Verkehrszeichen können ein Fahrzeug beispielsweise zum Anhalten oder Beschleunigen bringen. Zudem ist es den Forschern gelungen, ADAS dazu zu bringen projizierte Objekte für real zu halten und dadurch Fahrzeuge durch falsche Straßenmarkierungen auf die Gegenfahrban zu lotsen.

Das Bedrohungspotenzial ist also riesig. Vom klassischen Daten- und Fahrzeugdiebstahl über Spionage, Erpressung („Ransomware“ für Fahrzeuge bzw. Flotten) bis hin zu lebensbedrohlichen Eingriffen scheint vieles möglich und die Industrie arbeitet hart daran, die Systeme sicher zu machen.

Mittlerweile haben auch die Gesetzgeber und Regulierungsbehörden die Zeichen der Zeit erkannt und zukünftig ist die Cyber-Sicherheit ein Kriterium, das bei der Typzulassung betrachtet wird. Dabei geht es nicht nur um das Fahrzeug selbst, sondern auch um die Unternehmensprozesse beim Hersteller. Die zugrunde liegende Norm ist hauptsächlich die ISO/SAE 21434, die über die UN ECE Regulierung (Wikipedia 2022) und die General Safety Regulation der EU verpflichtend wird. Als ein an die ISO 27k angelehnter Sicherheitsstandard für Unternehmen hat sich in der Automobilbranche auch TISAX (ENX 2022) etabliert.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass sich die Cybersecurity-Lage im Vergleich zur aktuellen Situation zwar verbessern wird, allerdings mit dem Risiko, dass durch neue Services und Techniken neue Bedrohungen entstehen können. Darum ist die Pflege (Stichwort „Updates“) der Fahrzeugsoftware – inkl. Absicherung gegen erkannte Schwachstellen – in Zukunft als ein wesentlicher Bestandteil der Fahrzeugwartung anzusehen.

3.3.2 Vernetzung

Seit der Einführung des „emergency Call“ (eCall)-Systems 2018 (European Commission 2022a), das nach einem erkannten Unfall automatisch die Rettungskräfte verständigen soll, sind praktisch alle Fahrzeuge mit einer sog. Telematik-Unit ausgestattet, die es dem Fahrzeug erlaubt, mit anderen Teilnehmern per Mobilfunk oder anderen Mitteln zu kommunizieren. Durch über den eCall hinausgehende Funktionserweiterungen dieser Unit sind Fahrzeuge heute in der Lage, mit der Cloud des Herstellers, anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur (V2X – Vehicle2X) zu kommunizieren. Letzteres wird auch von der EU unter den Schlagworten C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) (C-ROADS 2022) bzw. CCAM (Cooperative Connected and Automated Mobility) (European Commission 2022b) vorangetrieben und dient zur weiteren Erhöhung der Sicherheit, aber auch der Optimierung des Verkehrs. Typische Einsatzszenarien hierbei sind:

- Priorisierung von Fahrzeugen an Kreuzungen (ÖPNV, Einsatzfahrzeuge, ...)
- Verkehrsfluss optimieren („grüne Welle“)
- Vor Gefahren warnen und Verkehrsteilnehmer informieren
- Fahrzeuge zählen

Beim Entwurf der C-ITS-Services wurde auch auf Datenschutz und eine sichere Infrastruktur (PKI) geachtet. Die Services befinden sich noch im Aufbau und sollen auch automatisierten Verkehr unterstützen.

3.3.3 Daten

Damit ein Fahrzeug in der Lage ist, sicher automatisiert zu fahren, benötigt es Zugriff auf viele Sensordaten. Bereits aktuelle Fahrzeuge mit ihren ADAS-Funktionen sind daher mit Sensoren ausgestattet. Dabei werden die erhobenen Daten sowohl für einige Zeit im Fahrzeug für eine direkte Auslesung hinterlegt, als auch – zum Teil – an den Automobilhersteller weitergeleitet. So greift zum Beispiel der ab Mitte 2022 bei neu typisierten Fahrzeugen verpflichtende Event Data Recorder (EDR) (European Commission 2021; United Nations 2021) – eine Art Blackbox für Fahrzeuge – auf diese Daten zurück und speichert sie lokal. Daten, die der EDR speichern muss, sind in UN ECE Reg 160 Annex 4 EDR geregelt und enthalten 41 verschiedene Parameter, unter anderem

- Maximum delta-V, longitudinal
- Speed, vehicle indicated
- Engine throttle, % full
- Safety belt status, driver
- Frontal air bag deployment, time to deploy
- Stability control
- Steering input
- Safety belt status, front passenger
- Seat track position switch, foremost, status, driver
- Seat track position switch, foremost, status, front passenger
- Occupant size classification, driver
- Occupant size classification, front passenger

Im deutschen Straßenverkehrsgesetz (StVG) vom 03.05.1909 (RGBl. S. 437), neugefasst am 05.03.2003 (BGBl. I S. 310, 919) und zuletzt geändert am 12.07.2021 (BGBl. I S. 3108), findet sich unter § 1g auch ein Paragraf zur Datenverarbeitung. Er verpflichtet den Halter eines Kraftfahrzeugs mit *autonomer* Fahrfunktion zur Speicherung folgender Daten beim Betrieb des Kraftfahrzeugs:

1. Fahrzeugidentifizierungsnummer,
2. Positionsdaten,
3. Anzahl und Zeiten der Nutzung sowie der Aktivierung und der Deaktivierung der autonomen Fahrfunktion,
4. Anzahl und Zeiten der Freigabe von alternativen Fahrmanövern,
5. Systemüberwachungsdaten einschließlich Daten zum Softwarestand,
6. Umwelt- und Wetterbedingungen,
7. Vernetzungsparameter wie beispielsweise Übertragungslatenz und verfügbare Bandbreite,

8. Name der aktivierten und deaktivierten passiven und aktiven Sicherheitssysteme, Daten zum Zustand dieser Sicherheitssysteme sowie die Instanz, die das Sicherheitssystem ausgelöst hat,
9. Fahrzeugbeschleunigung in Längs- und Querrichtung,
10. Geschwindigkeit,
11. Status der lichttechnischen Einrichtungen,
12. Spannungsversorgung des Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion,
13. von extern an das Kraftfahrzeug gesendete Befehle und Informationen.

Diese vom deutschen Gesetzgeber vorgegebenen, im Fahrzeug zu speichernden Daten stellen dabei eher eine untere Grenze dessen dar, was Fahrzeuge heute an Daten erheben und auch vielfach in die Cloud des Herstellers übertragen. Daten, die von modernen Autos erhoben werden, enthalten zum Beispiel (ADAC [2022](#)):

- GPS-Position, Kilometerstand, Verbrauch, Tankfüllung, Reifendruck und Füllstände von Kühlmittel, Wischwasser oder Bremsflüssigkeit
- Zahl der elektromotorischen Gurtstraffungen
- Gefahrene Kilometer auf Autobahnen, Landstraßen und in der Stadt
- Betriebsstunden der Fahrzeugbeleuchtung
- Die letzten 100 Lade- und Entladezyklen der Starterbatterie mit Uhrzeit und Datum sowie Kilometerstand (bei E-Fahrzeugen)
- Erreichte Maximal-Drehzahl des Motors mit jeweiligem Kilometerstand
- Anzahl der Fahrtstrecken zwischen null und fünf, fünf und 20, 20 und 100 sowie über 100 km
- Dauer, wie lange der Fahrer in verschiedenen Modi des Automatikgetriebes (Dauer/Manuell/Sport) unterwegs war
- Zahl der Verstellvorgänge des elektrischen Fahrersitzes
- Anzahl der eingelegten Medien des CD-/DVD-Laufwerks
- Inhalt der Fehlerspeicher
- Intermodale Verbindungspunkte
- Detaillierte Daten der Antriebsbatterie
- Gewählter Fahrmodus, z. B. ECO/ECOPLUS/SPORT
- Wie und wo geladen (schnell, teilweise usw.) wurde, wie stark die Antriebsbatterie zuvor entladen worden war
- Qualität der Ladespannung, Ausfälle
- Position der 16 zuvor benutzten Ladestationen
- Kamerabilder – Front/Heck/Seiten
- Öffnen/Schließen von Türen
- Gaspedalstellung, Längs-/Querbefleunigung, Bremsvorgänge, Crash Detection/Unfallereignis

Teilweise werden z. B. alle 30 min Datenpakete an die Hersteller gesendet, die die VIN, diverse Seriennummern, Datum, Uhrzeit, GPS-Position, Temperatur, Ladung und Zellspannung der Hochvolt-Antriebsbatterie enthalten; Hersteller können solche Informationen auch aktiv anfordern. Dass auch Aufnahmen der Kameras der Fahrzeuge übertragen werden, zeigt eine ZDF-heute-Dokumentation (ZDF heute Nachrichten/frontal 2021) anhand eines Teslas sehr augenscheinlich: Nach polizeilicher Aufforderung hat Tesla hier Bild- und Fahrzeugdaten zur Verfügung stellen können, auch in einem Fall, in dem kein Unfallereignis vorgelegen ist.

In manchen Fällen kann der Fahrzeughalter dem umfangreichen Sammeln bzw. Übertragen von Daten die Zustimmung verweigern (so auch bei Tesla), was allerdings mit einer Warnung verknüpft sein kann, dass dann eventuell nicht alle Funktionen des Fahrzeugs zur Verfügung stehen könnten.

Fazit zu Abschn. 3.3

Ob Kameras in der U-Bahn oder im Bus zur Überwachung der Passagiere oder Kameras in Fahrzeugen zur Umsetzung des automatisierten Fahrens: In Zukunft werden noch mehr die Privatsphäre berührende Daten gesammelt und automatisiert ausgewertet werden. Die Hauptgründe dafür sind neben der technischen Optimierung und Weiterentwicklung der Systeme, der Sicherheit bzw. Aufklärung von Unfällen auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle.

In Verbindung mit der oft verbesserungswürdigen Cybersicherheit und der teilweise vielleicht doch etwas zu wenig ausgeprägten Motivation zur Datensparsamkeit steht zu erwarten, dass hier noch das eine oder andere „Leak“ auf uns wartet. Wie aktuell die großen Betriebssystemhersteller für Mobiltelefone werden auch Mobilitätsdienstleister und Hersteller automatisierter Fahrzeuge die theoretische Möglichkeit besitzen, sehr detaillierte Profile ihrer Nutzer anlegen und verwerten zu können. Daher sind, neben hoher Cybersicherheit, die rechtlichen Grundlagen und Grenzsetzungen diesbezüglich – z. B. durch die DSGVO – als besonders wichtig einzuschätzen.

3.4 Auswirkung auf die Verkehrssicherheit im Mischverkehr

Markus Doublein, Erik Schaarschmidt und Michael Aleksa

Es besteht die Hoffnung, dass die Verkehrssicherheit mit dem automatisierten Fahren steigen wird. Es sind jedoch viele Fragen gerade im Mischverkehr mit vulnerablen Verkehrsteilnehmergruppen offen, insbesondere wenn ein sicherer, störungsfreier und fließender Verkehr automatisierter Fahrzeuge sichergestellt werden soll. In diesem Kapitel werden Ansätze vorgestellt, die zur Lösung der auftretenden Probleme beitragen können. Dabei wird in

besonderer Weise auf die Verkehrssicherheit beim Betrieb eines automatisierten ÖPNV eingegangen, die neben der Sicherheit der Passagiere auch die Sicherheit der anderen Verkehrsteilnehmenden sowie das derzeit vorhandene infrastrukturelle Umfeld umfasst.

Auf internationaler Ebene wurden in der jüngeren Vergangenheit eine Vielzahl an Pilotversuchen zur Integration eines automatisiert verkehrenden ÖV-Fahrzeuges umgesetzt. Aus diesen Ansätzen heraus lassen sich wichtige Erkenntnisse hinsichtlich des Betriebs dieser Fahrzeuge gewinnen. Allerdings, und das stellt wohl in Zukunft die größte Herausforderung für einen sicheren Betrieb der Fahrzeuge dar, erfolgten die Pilotversuche stets unter Anwesenheit von Sicherheitspersonal bzw. eines Operators, in einem abgegrenzten Verkehrsbereich und bei vergleichsweise geringer Fahrgeschwindigkeit. Auf diese, als Rückfallebene eingezogenen Sicherheitsmaßnahmen, wird man künftig verzichten müssen, sofern man ein wirtschaftliches und attraktives ÖV-Angebot schaffen möchte. Trotz alledem sind aus den Pilotanwendungen wichtige Erfahrungen entstanden, die für die weitere Entwicklung zur Integration eines automatisierten ÖV-Fahrzeuges von Bedeutung sind.

Ausgehend von Erkenntnissen aus der Literatur und aus im „DACH-Raum“ (Deutschland, Österreich, Schweiz) bedeutenden Pilotversuchen werden in diesem Kapitel die wesentlichen Herausforderungen zur Integration dieser Fahrzeuge adressiert. Ziel ist es, die Chancen und Risiken eines automatisierten ÖPNV bezogen auf die Verkehrssicherheit der Insassen, aber auch anderer am Verkehr teilnehmenden Personen aufzuzeigen. Um einen Beitrag für die Verkehrssicherheit zu schaffen, werden verschiedene Maßnahmen erforderlich, die sich anhand unterschiedlicher Dimensionen unterscheiden lassen. Dazu zählen beispielsweise die zeitliche Umsetzung, die Eingriffstiefe sowie die Wirkungsweise auf den Menschen, das Fahrzeug und/oder die Umwelt. Durch Darstellung der zu erwartenden Chancen und Risiken werden Ansätze zu möglichen Maßnahmen und Strategien für die Verbesserung der Verkehrssicherheit aufgezeigt. Dadurch behandelt der vorliegende Beitrag wichtige Grundlagen für die Umsetzung und Integration eines automatisierten ÖPNV.

3.4.1 Einfluss des automatisierten Fahrens auf die Verkehrssicherheit im ÖPNV

Trotz der bisher nur geringen Datengrundlage zum Unfallgeschehen mit automatisierten Fahrzeugen werden mit der Automatisierung der Fahrzeuge hohe Erwartungen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit verbunden (Gruber und Sammer 2019). Die prominenteste Argumentation ist, dass heute ca. 90–95 % aller Unfälle durch Fehlverhalten der Fahrzeuglenkenden verursacht werden (vgl. auch Abschn. 3.6), z. B. durch überhöhte Geschwindigkeit, Ablenkung und Müdigkeit am Steuer. Hinter dem erwarteten Sicherheitsgewinn durch das automatisierte Fahren steht der Glaube an das mehr oder weniger vollständige Eliminieren von Fehleinschätzungen der Lenkenden im Konfliktfall (GDV 2018). Die menschlichen Entscheidungen werden durch zuverlässige sach- und situationsgerechte Entscheidungen der Fahrzeugautomatik und der

dahinterstehenden Algorithmen ersetzt. Allerdings können durch eine zunehmende Automatisierung auch neue Gefährdungsbilder entstehen, welche die Sicherheitsgewinne zumindest teilweise (je nach Flottenmix) wieder kompensieren (Deublein 2020a). Problemträchtig sind insbesondere die teilweise erforderliche Dauerüberwachung (Vigilanzminderung), die kurzfristige Rückgabe der Fahraufgabe in kritischen Situationen und die Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden.

Aufgrund fehlender Datengrundlagen ist es momentan kaum möglich, den Sicherheitseffekt einer zunehmenden Präsenz automatisierter Fahrzeuge im Straßenverkehr zuverlässig abzuschätzen. Gleichzeitig ist es zentral, zeitnah geeignete Maßnahmen zur Minimierung des Risikos durch neue Gefährdungsbilder des automatisierten Fahrens zu identifizieren und zu initiieren. Einige Untersuchungen kommen zum Schluss (u. a. Lenz 2017 sowie Willi et al. 2019), dass während der aktuellen und noch länger anhaltenden Übergangsphase mit einer Zunahme spezifischer Unfalltypen zu rechnen ist, insbesondere wegen neu auftretender Gefährdungsbilder. Langfristig, mit steigenden Anteilen von hochautomatisierten Fahrzeugen in der Fahrzeugflotte, wird erwartet, dass die Anzahl der Verletzten und Getöteten im Straßenverkehr maßgeblich sinken wird. Daher ist bei der Abschätzung der Sicherheitseffekte durch das automatisierte Fahren eine Differenzierung der Einflüsse in den unterschiedlichen Automatisierungsstufen zwingend. Bis zu einem spürbaren Anteil an hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen im täglichen Verkehr ist deshalb noch mit einer langen Übergangsphase zu rechnen, in der sich Fahrzeuge mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden den Straßenraum teilen müssen (Lemmer 2019 sowie Deublein 2020a). In dieser Übergangsphase stellt der Mischverkehr zwischen motorisierten und nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden, aber auch zwischen konventionellen und automatisiert fahrenden, motorisierten Verkehrsteilnehmenden eine große Herausforderung für die Verkehrsplanung und das Verkehrssicherheitsmanagement dar. Besonders die Interaktion und Kommunikation mit anderen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden hat einen entscheidenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit im Mischverkehr der Zukunft.

Schnittstelle Mensch-Fahrzeug

Auf Grundlage des bestehenden Forschungsstands zu den möglichen sicherheitstechnischen Auswirkungen des automatisierten Fahrens sind insbesondere die Stufen SAE L2 und SAE L3 kritisch einzuschätzen. Beide Automatisierungsstufen sind dadurch gekennzeichnet, dass der Mensch weiterhin eine wichtige Rolle bei der Durchführung der Fahraufgabe innehat (vgl. Abschn. 1.1). Die Fahrzeuglenkenden müssen dabei die Möglichkeiten und Grenzen ihres Fahrzeugs und der sich an Bord befindenden Systeme gut kennen, um diese zweckmäßig einzusetzen und deren Sicherheitspotenzial ausschöpfen zu können. Die Herausforderungen innerhalb dieser Automatisierungsstufen basieren vor allem darauf, dass die Fahrenden zunehmend zu Überwachenden des Fahrzeugs werden. Der Mensch wird also auf der einen Seite durch die technischen Systeme entlastet, muss aber trotzdem je nach Automatisierungsstufe voll wachsam und übernahmebereit sein, um als Rückfallebene zu dienen, sobald die Fahrzeugautomation aufgrund besonders komplexer Verkehrssituationen ihre Systemgrenze erreicht.

Im Grunde ist das automatisierte Fahren keine völlig neue Erscheinung, denn es wird vielmehr das fortgeführt, was in modernen Fahrerassistenzsystemen seit einigen Jahren bereits seinen Anfang genommen hat. Der Unterschied liegt vor allem darin, dass bisher verfügbare Systeme unter der Annahme konstruiert wurden, dass stets die Fahrenden im Notfall für korrigierende Eingriffe und Übernahmen der Fahrzeugsteuerung unverzüglich zur Verfügung stehen. Weil bei der Übertragung der Fahrzeugsteuerung vom Computersystem auf den Lenkenden eine bestimmte Übernahmezeit erforderlich ist, muss ein automatisiertes Fahrzeug mit einem eigenständigen technischen Absicherungssystem bzw. einem zeitlichen Sicherheitspuffer ausgestattet sein (Gasser et al. 2015). Wie lange dieser zeitliche Sicherheitspuffer sein muss, damit die kognitiven Leistungsmöglichkeiten möglichst aller Fahrzeuglenkenden nicht überfordert werden, darüber divergieren die Expertenmeinungen noch heute. Gleichzeitig ist dieser Moment der Verantwortungsübergabe vom Fahrzeug auf den Menschen entscheidend für die Verkehrssicherheit.

Kommunikation und Interaktion

Automatisierte Fahrzeuge müssten neben der Fähigkeit zur Mustererkennung für Gesten und Körperhaltungen auch über ein Kontextverständnis verfügen, welches ihnen die richtige Erkennung, Interpretation und Bewertung von Gesten und Signalen ermöglicht (Maurer et al. 2015). Eine unmissverständliche Kommunikation zwischen allen Verkehrsteilnehmenden nimmt einen zentralen Stellenwert in der heutigen und zukünftigen Verkehrssicherheit ein. Es ist entscheidend zu definieren, welche Nachrichten/Botschaften bei Interaktionen mit automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden ausgetauscht werden müssen und anhand welcher Signale und Informationsdesigns eine intuitive und unmissverständliche Kommunikation zwischen allen Verkehrsteilnehmenden realisiert werden kann (Weber et al. 2019 sowie Deublein 2020a). Da der Straßenverkehr auch im Zustand des Mischverkehrs noch stark vom kooperativen Verhalten der Verkehrsteilnehmenden geprägt sein wird, stellt eine gelingende Kommunikation zwischen den automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern eine wichtige Grundlage für die Verkehrssicherheit dar (Schaarschmidt et al. 2021). Eine Vertiefung der Möglichkeiten zur Kommunikation im Straßenverkehr sowie die Auseinandersetzung mit den Prozessen einer gelingenden Informationsübertragung als Basis für kooperatives Verhalten sind an dieser Stelle nicht möglich. Um der hohen Bedeutung der Kommunikation und Interaktion gerecht zu werden, wird diesem Thema ein eigenes Kapitel gewidmet (Abschn. 4.3).

Infrastruktur

Die Bedeutung der Straßeninfrastruktur liegt in der Herausforderung und dem Potenzial, hilfestellend der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad zur Seite zu stehen (Dierkes et al. 2019). Hauptziel ist es, sowohl physische als auch digitale Elemente der Straßeninfrastruktur zu entwerfen, zu aktualisieren, anzupassen und zu testen, um einen unterbrechungsfreien, vorhersehbaren, sicheren und effizienten Verkehr zu gewährleisten. Eine intelligente, mit den Fahrzeugen direkt kommunizierende Infrastruktur kann dazu beitragen, dass kritische

Verkehrssituationen bereits vor ihrem Eintreten bekannt sind oder erkannt werden und somit präventive Informationen zur Gefahrensituation an die involvierten Verkehrsteilnehmenden übermittelt werden. Zu Form und Gestaltung solcher Kommunikationsmedien auch für Fußgänger und Radfahrer laufen derzeit diverse Forschungsbemühungen in Europa (Lytrivis et al. 2018 sowie Rupprecht et al. 2018). Die Ergebnisse zeigen, dass Infrastrukturanpassungen, ob physisch oder digital, bei höheren Marktdurchdringungsraten von automatisierten Fahrzeugen erforderlich sein können, um die Verkehrseffizienz und -sicherheit für alle Verkehrsträger im Verkehrsnetz zu verbessern. Spezifische Infrastrukturanpassungen müssen dabei den Mobilitätsanforderungen in den verschiedenen heterogenen Netzabschnitten gerecht werden (Lanz et al. 2019).

Erkenntnisse aus Pilotversuchen mit automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV

Seit der jüngeren Vergangenheit laufen national und international eine Vielzahl an Pilotversuchen mit automatisierten Fahrzeugen auf Teststrecken im straßengebundenen ÖPNV. Das weltweit erste „SmartShuttle“ auf öffentlichen Straßen verkehrt seit dem Jahr 2016 im schweizerischen Ort Sitten (Neubauer und Comby 2022). Das Ziel der Betreiber war es, die neue Technologie im öffentlichen Raum zu testen und so Erfahrungen für zukünftige Einsatzmöglichkeiten zu sammeln. Die insbesondere seit 2018 auch anderenorts vermehrt auftretenden Versuche im „Reallabor Straße“ waren meist nur von begrenzter Dauer und in abgegrenzten räumlichen Bereichen. Zudem muss auch heute noch aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen speziell geschultes Sicherheitspersonal an Bord sein, um das Fahrzeug zu stoppen oder manuell bedienen bzw. steuern zu können. Seither wird in unzähligen Projekten der automatisierte Betrieb von Shuttlebussen im Realeinsatz auf öffentlichen und nicht-öffentlichen Straßen erprobt. Mittlerweile hat sich aus den ersten Versuchen und den Überlegungen zum Einsatzbereich der automatisiert verkehrenden Shuttlebusse der Anspruch entwickelt, eine vollwertige Ergänzung zum bestehenden ÖPNV darzustellen – insbesondere als Angebot für die erste und letzte Meile im ländlichen Raum.

In Deutschland hat der Verband der deutschen Verkehrsunternehmen (VDV) eine Liste von bisherigen und aktuell laufenden Shuttlebus-Projekte mit automatisierten Fahrzeugen publiziert (VDV 2022a), die in Kooperation und Zusammenarbeit mit örtlichen Verkehrsunternehmen entwickelt und vorangetrieben werden. Diese zeigt, dass von Friedrichshafen bis Sylt und von Aachen bis Berlin in großen und kleinen Kommunen wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse für den automatisieren ÖPNV der Zukunft gesammelt werden. Das erste und dadurch wohl bekannteste Projekt in Deutschland ist die Erprobung eines hochautomatisierten Shuttlebusses im Linienbetrieb im bayerischen Bad Birnbach. Ziel des sich seit 2017 im realen Fahrgastbetrieb befindenden Projekts ist die Erprobung des automatisierten „Erste-/Letzte-Meile-Konzepts“ im ländlichen Raum, was mittlerweile auch das Fahren auf einer Landstraße inkludiert (Mederle 2021).

Auch in Österreich wurden in mehreren Pilotversuchen, wie beispielsweise dem „auto.Bus-Seestadt“ (WIENER LINIEN 2021) oder dem „Digibus Austria“ (SALZBURG RESEARCH 2021) die Ziele verfolgt, Methoden, Technologien und Modelle zu erforschen und zu erproben, die einen zuverlässigen und verkehrssicheren Betrieb

von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV erlauben. Neben der technischen Weiterentwicklung der Fahrzeuge und ihrer Systeme werden versuchsbegleitend meist weitere Forschungsinitiativen initiiert. Dabei nutzen involvierte Forschungseinrichtungen, ÖV-Dienstleister sowie weitere Stakeholder die Pilotversuche als Experimentierraum, in dessen Mittelpunkt die Erprobung von Innovationen unter Realbedingungen steht. Innerhalb dieser Begleitforschung werden neben technologischen Aspekten (Betriebssicherheit, IT-Sicherheit, Sensorik etc.) auch soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigt, wie zum Beispiel Akzeptanz- und Verhaltensanalysen beim Umgang mit diesen Fahrzeugen sowie der Geschäftsmodellentwicklung der entsprechenden Mobilitätsdienstleister.

Belastbare Aussagen zur Verkehrssicherheit bedingen eine mehrjährige Betrachtung des Unfallgeschehens. Die Empfehlungen für Sicherheitsanalysen von Straßennetzen der FGSV geben dafür einen Zeitraum von mindestens drei Jahren vor (FGSV 2003). Nur die wenigsten Pilotversuche zeigen eine ähnlich lange Laufzeit. Anders zeigt sich hier der Linienbetrieb eines automatisierten Shuttles in Pörschach am Wörthersee in Kärnten, bei dem seit 2018 ein automatisiertes Shuttle eine über zwei Kilometer lange Strecke in einem 20-min-Takt bedient – ohne nennenswerte Vorfälle. Gleiches gilt für das Fallbeispiel in Bad Birnbach, bei dem bisher keine Befunde über sicherheitsrelevante Zwischenfälle vorliegen oder Situationen auftraten, in denen ein Eingreifen der Begleitpersonen aus Sicherheitsgründen notwendig wurde (Riener et al. 2020). Auch das „Smartshuttle“ in Sitten nimmt aufgrund seiner langen Laufzeit eine besondere Rolle für die Analyse der Verkehrssicherheit automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV ein. Bisher gab es nur einen einzigen Vorfall im Jahr 2016, der zu leichtem Sachschaden führte (POSTAUTO 2016). Nach diesen insgesamt sehr positiven Entwicklungen wird der Betrieb der beiden letztgenannten Projekte ausgeweitet, sodass ab 2022 die automatisierten Shuttlebusse „on demand“ verkehren werden.

3.4.2 Chancen und Risiken des automatisierten Fahrens für den ÖPNV

Die Verkehrssicherheit spielt im Kontext Verkehr und Mobilität eine wichtige Rolle, so auch bei der Implementierung automatisierter Fahrzeuge. Trotz der nur eingeschränkten Erkenntnisse zum Unfallgeschehen dieses Fahrzeugkollektivs wird der automatisierten Mobilität ein wesentlicher Beitrag zum Erreichen der Mobilitätsziele, wie beispielsweise der „Vision Zero“, zugesprochen (Kremenovic et al. 2021).

Wird automatisierte Mobilität vorrangig für die Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs genutzt, wird erwartet, dass durch die Reduktion des Gesamtverkehrsaufkommens die Verkehrssicherheit zusätzlich erhöht werden kann. Dieser Zusammenhang zwischen dem Verkehrsaufkommen und dem Unfallgeschehen ist in verschiedenen Studien untersucht und unter anderem in der Studie „*Roadway accident risk prediction based on Bayesian probabilistic networks*“ (Deublein 2013) im Kontext von Modellentwicklungen beschrieben. Allerdings fehlen im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahren auch hier bisher wichtige Erkenntnisse, da diese Fahrzeuge zunächst in einem tatsächlichen Betrieb ohne zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen überführt werden müssten.

Mangels konkreter Befunde zum Unfallgeschehen lassen sich wichtige unfall-reduzierende Chancen eines automatisierten Verkehrs sowie dadurch neu entstehende Risiken nur qualitativ abschätzen. Dies erfolgt in Anlehnung an den regelkreis-basierten Ansatz „Fahrer-Fahrzeug-Umwelt“, der in der Literatur (u. a. Mitschke und Wallentowitz 2004 sowie Bubb 2001) häufig im Zusammenhang mit dem assistierten und automatisierten Fahren verwendet wird und auch ein zentrales Element des heute international oftmals verwendeten Safe-System-Approach bildet (Larsson und Tingvall 2013).

Chancen des automatisierten Fahrens für den ÖPNV

Ein Großteil aller heutigen Unfälle wird durch menschliches Fehlverhalten (bewusst oder unbewusst) verursacht. Heute helfen verschiedene Assistenzsysteme, die Anzahl dieser Fehler zu reduzieren. Der bedeutendste Vorteil automatisierter Fahrzeuge für die Verkehrssicherheit ist, dass automatisierte Systeme die allgemeingültigen Verkehrsregeln und -vorschriften einhalten werden. Dies betrifft insbesondere die Beachtung von Lichtsignalen, von statischen Beschilderungen und Bodenmarkierungen sowie der Vorfahrtsregelungen an unregelmäßigen Knotenpunkten. Zudem passen automatisierte Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit nicht nur auf Basis der Witterungs-, Sicht- und Fahrbahnbedingungen an, sondern halten sich auch an die jeweils zulässige Höchstgeschwindigkeit. Es wird erwartet, dass Verkehrsunfälle, die aufgrund überhöhter bzw. unangepasster Geschwindigkeit oder durch Missachtung von Signalen begründet sind, deutlich seltener in Erscheinung treten werden.

Eine derzeit ebenfalls häufig auftretende Unfallursache ist „Ablenkung“ bzw. „Unachtsamkeit“. Lenkende sind aufgrund einer meist visuellen Überforderung von der eigentlichen Fahraufgabe abgelenkt und nehmen Gefahren nicht bzw. nicht zeitgerecht wahr. Das Bedienen des Fahrzeugs, aber auch die fahrzeuginternen Entertainment-Möglichkeiten führen ebenfalls zu einer Ablenkung, die im schlimmsten Fall zu einem Unfall führt. Zusätzlich können Lenkende aber auch durch dauerhafte oder temporär reduzierte physische und psychische Voraussetzungen relevante Informationen nicht oder nur verringert aufnehmen. Diese menschlichen Gegebenheiten können durch Sensorik und selbstlernende Algorithmen ausgeschlossen werden. Eine Maschine kann die (Fahr-) Aufgaben stets ohne Ermüdung bzw. Ablenkung durchführen und schaltet somit diesen Risikofaktor aus. Auf Basis dieser zwei beispielhaft beschriebenen Veränderungen wird durch das automatisierte Fahren ein positiver Einfluss auf die Verkehrssicherheit erwartet. Für den ÖPNV bedeutet dies, dass das ohnehin bereits sehr sichere Verkehrsmittel „Bus“ weitere Sicherheitspotenziale offenbart.

Analysen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV 2019) haben gezeigt, dass die Verkehrssicherheit im ÖPNV maßgeblich an den Haltestellen beeinflusst wird. Die durchgeführten statistischen Analysen weisen nach, dass das generelle Fußverkehrsaufkommen im Haltestellenbereich das Unfallniveau signifikant beeinflusst. Zudem hat sich gezeigt, dass das Unfallrisiko und die Unfallfolgen mit zunehmendem Fahrgastaufkommen steigen. Typische Unfallmuster sind insbesondere

sogenannte Überschreiten-Unfälle von Personen, die im Bereich der Haltestelle die Fahrbahn queren. Baier et al. (2007) haben erkannt, dass querende Fußgänger im Haltestellenbereich die Verkehrssicherheit maßgeblich beeinflussen. Auch Rotläufer, also die bewusste Missachtung der roten Fußgängerampel, können zu Unfällen führen. Ebenso hat die physische Verkehrsinfrastruktur im Haltestellenbereich einen großen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Auffällig sind beispielsweise Konflikte zwischen wartenden Fahrgästen und dem Radverkehr, die sich insbesondere durch die beengten Platzverhältnisse oder eine ungünstige Radverkehrsführung im Haltestellenbereich begründen lassen (DVR 2021). Zudem sind Haltestellen am Fahrbahnrand oder Kaphaltestellen als Standardlösung für Busse hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu priorisieren (Baier et al. 2007).

Risiken des automatisierten Fahrens für den ÖPNV

Der angeführte Konfliktbereich „Haltestelle“ wird sich durch das automatisierte Fahren im ÖPNV kaum vollständig auflösen können. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass der Betrieb eines automatisierten Shuttles nicht zwingend an fixe Haltepunkte gebunden ist (on demand) und die Haltestellenbereiche nicht mehr als solche identifizierbar sind, kann dies zu Verkehrssicherheitsproblemen führen. Da das heute bekannte Unfallgeschehen im Zusammenhang mit dem ÖPNV zu großen Teilen außerhalb des Fahrzeugs geschieht, bleibt abzuwarten, inwieweit sich eine zunehmende Automatisierung der Fahrzeuge auswirken wird.

Auch ist nicht bekannt, inwieweit die Fahrweise des automatisierten Fahrzeugs unter strikter Einhaltung der allgemeinen Verkehrsregeln als Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmende wahrgenommen wird und sich dadurch Konflikte im Verkehrsfluss und der Verkehrssicherheit ergeben. Aus heutiger Sicht muss gerade für den Mischverkehr mit einer Zunahme an kritischen Situationen gerechnet werden. Einerseits ist die Technologie noch nicht ausgereift (verbessert sich aber laufend), andererseits ist das derzeitige Verkehrssystem auf Menschen ausgelegt und nicht auf Maschinen, sodass mit den Verkehrsregeln vertraute Lenkende spezifische Situationen besser einschätzen und darauf reagieren können, beispielsweise im Bereich von Engstellen oder unklaren Vorfahrtsituationen.

Die sichere Interaktion und Kommunikation zwischen allen Teilnehmenden im Straßenverkehr ist derzeit ein bedeutendes Forschungsthema. Vor diesem Hintergrund wird dem Thema der Kommunikation mit automatisierten Fahrzeugen ein eigenes Kapitel gewidmet. Allein der Wegfall des Fahrers oder der Fahrerin eines Busses lässt neue Fragen zur Sicherheit entstehen. Durch die Automatisierung fehlt den Passagieren ein unmittelbarer Ansprechpartner bei auftretenden Notsituationen im Fahrzeug selbst. Von persönlichen Notfällen einzelner Passagiere über Konflikte zwischen Passagieren bis hin zu Verkehrsunfällen des automatisierten Fahrzeugs können Notsituationen sehr vielfältig in Erscheinung treten und müssen künftig durch eine fernmündliche Kontaktperson behandelt werden können.

Ein ebenfalls nicht zu verachtendes Risiko ist ein vorsätzlicher Eingriff von außen auf das Fahrzeug und dessen Steuerung (Kremenovic et al. 2021). Dieses Risiko einer

ungewollten und erzwungenen Fremdübernahme muss mit höchstem technischem Aufwand verhindert werden und könnte die Akzeptanz und Nutzung solcher Systeme in der Gesellschaft stark in Mitleidenschaft ziehen. Dieses Thema wird aber in Abschn. 3.3 näher erörtert.

3.4.3 Umsetzungsempfehlungen für einen sicheren automatisierten ÖPNV

Handlungsoptionen

Um ein gegenseitiges Verständnis für die Anforderungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zu schaffen, sollten, nach Meinung der Autoren, frühzeitig und laufend Kooperationen zwischen Fahrzeugherstellern, Straßenbetreibern und der Forschung stattfinden. Eine so grundlegende Änderung des Verkehrssystems muss Bedacht auf die Interessen und Bedenken aller Beteiligten nehmen, damit ein sicheres Miteinander im Straßenraum gewährleistet werden kann.

Um eine entsprechend hohe Akzeptanz der neuen Technologie in der Bevölkerung zu ermöglichen, wäre es von Vorteil, alle erforderlichen Daten und Informationen zur Unterstützung des automatisierten Fahrens von allen Stakeholdern bereitzustellen, zu teilen und ins Verkehrssystem zu integrieren. Es ist nach Meinung der Autoren elementar, auch die Straßenbetreiber bei der Integration des automatisierten ÖPNV einzubeziehen, da nur sie wertvolle Informationen und Daten zur Unterstützung des automatisierten Fahrens, z. B. durch straßenseitige Sensoren, C-ITS und Kommunikationsinfrastruktur, zur Verfügung stellen können.

Die Unterstützung durch eine digitale Infrastruktur wird beispielsweise durch die in der Forschung bereits verwendeten ISAD-Level (Infrastructure Support Level for Automated Driving) klassifiziert (Lytrivis et al. 2020). Hierbei werden in einem Schema für die Straßeninfrastruktur Level-Stufen definiert, die den Grad der Digitalisierung der Infrastruktur, von keiner digitalen Infrastruktur (Level E) bis zur höchsten Digitalisierungsstufe (Level A), als Grundlage für das automatisierte Fahren beschreiben. Aber auch seitens der Fahrzeughersteller werden ODD (Operational Design Domains) definiert, also jene Örtlichkeiten und Umstände (Wetter, Geschwindigkeit, Tageszeit), in welchen eine Automatisierungsfunktion spezifikationsgemäß funktionieren muss. Die Infrastrukturausrüstung kann dabei helfen, diese ODD zu erweitern, also quasi den Bereich, in dem eine Funktion noch angeboten werden kann, auszudehnen. Dies kann u. a. durch Hilfestellung bei der Erkennung von Straßenmarkierungen, Fahrsituationen oder Baustelleninformationen geschehen und somit das automatisierte Fahren sicherer machen.

Ein wesentlicher Aspekt im Gesamtsystem des automatisierten Fahrens ist eine korrekte Information und Aufklärung der Bevölkerung über den Umgang mit automatisierten Fahrzeugen im Straßenverkehr. Nur durch eine gesellschaftliche Diskussion darüber werden Ängste und Sorgen vermindert und dadurch die Akzeptanz für neuartige

Technologien, deren Sicherheit und das Vertrauen erhöht. Ein Ende der aktuellen Entwicklung zur Ausweitung der Pilotversuche scheint daher nicht in Sicht, will man weiter daran forschen, was der Mensch im zukünftigen Mischverkehr braucht, was das Fahrzeug bereits beherrscht und wie das Umfeld unterstützend eingreifen kann.

ISSI-Programme der Verkehrssicherheit

Gestützt auf die Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (EU 2008) wurden auch in den DACH-Ländern verschiedene prozessuale Instrumente zur Erhöhung der Infrastruktursicherheit (ISSI) erarbeitet und in Normen oder Richtlinien verankert. Diese Instrumente bilden zum einen eine proaktive Unterstützung bei der Planung von neuen oder bei der Umgestaltung bestehender Straßenabschnitte und Kreuzungsbereiche. Zum anderen gibt es Instrumente, die auf Grundlage des dokumentierten Unfallgeschehens eine Hilfestellung zur effizienten Sanierung defizitärer Netzabschnitte anbieten. Bisher richten sich die Inhalte der ISSI in erster Linie nach dem motorisierten Individualverkehr. Spezifische Bedürfnisse einzelner Verkehrsteilnehmergruppen (z. B. Fahrradfahrende) oder die Herausforderungen im Mischverkehr werden nicht explizit adressiert. Dies gilt auch für bestehende und die oben beschriebenen zukünftigen Herausforderungen im ÖPNV. Für das automatisierte Fahren im ÖPNV werden die folgenden Handlungsfelder empfohlen:

- Abstützung des Verkehrssicherheitsmanagements auf die Grundphilosophie des Safe System Approach unter frühzeitigem Einbezug aller Stakeholder und Berücksichtigung aller Verkehrsteilnehmergruppen
- Konsequente Durchführung von Road Safety Audits (RSA) in der Planung von Neu- oder Umbauprojekten im Mischverkehr (MIV, ÖPNV, Fuß- und Fahrradverkehr).
- Dokumentation der Planungsdefizite aus dem RSA in einer Datenbank. Auf dieser Grundlage lassen sich Metaanalysen durchführen und die häufigsten Planungsdefizite erkennen und beheben.
- Durchführung von themenspezifischen Road Safety Inspections (RSI) für den ÖPNV. Dabei werden Abschnitte des Bestandsnetzes befahren und hinsichtlich bestehender Defizite für die Verkehrssicherheit im Mischverkehr mit dem ÖPNV identifiziert. Erweiterung der Checkliste des RSI mit spezifischen Aspekten des automatisierten ÖPNV.
- Zentrale, differenzierte Datenerhebung, aus der sich auch Analysen zu Unfallhäufigkeiten, Unfallursachen und -typen speziell für den automatisierten ÖPNV durchführen lassen
- Bei der Sanierung von Unfallhäufungsstellen und Unfallschwerpunkten im Rahmen des Black Spot Managements ist die bestehende Infrastruktur und die verkehrliche Situation vor Ort gesamtheitlich zu analysieren. Insbesondere Unfallursachen mit Beteiligung des automatisierten ÖPNV sind künftig vertiefend zu beleuchten.

Festzuhalten ist, dass eine Berücksichtigung der Anforderungen und Herausforderungen eines zukünftig zunehmend automatisierten ÖPNV bereits heute in der Konzeption der Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente notwendig ist. Zudem ist im Kontext des Automatisierten ÖPNV zukünftig davon auszugehen, dass eine Vernetzung der Fahrzeuge untereinander (bereits heute oftmals gegeben), aber auch der Fahrzeuge mit der Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmergruppen eine wichtige Voraussetzung sein wird, um den zukünftigen Straßenverkehr sicherer zu machen und den Verkehrsfluss zu gewährleisten. Die Interaktion von automatisierten Fahrzeugen mit den nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden (zu Fuß Gehende, Radfahrende, konventionelle Fahrzeuglenkende) im Mischverkehr wird dabei wohl eine der größten Herausforderungen darstellen. Auch der ÖPNV muss so ausgelegt sein, dass eine intuitive und unmissverständliche Kommunikation mit allen Verkehrsteilnehmergruppen gelingen kann.

Streckenanalyse und Risikobewertung

Einen ähnlichen Ansatz wie in den oben beschriebenen ISSI-Programmen verfolgt das Land Österreich, wo im Jahr 2022 für die Durchführung von Testfahrten automatisierter Fahrzeuge im realen Verkehr eine verpflichtende Risikobewertung aller durch das automatisierte Fahrzeug zu befahrenden Routen eingeführt wurde. Dieser wesentliche Baustein zur Genehmigung eines Probetriebs gewährleistet eine umfassende Betrachtung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden.

Im Rahmen der Risikobewertung finden Besichtigungen vor Ort sowie Foto- und/oder Videodokumentationen zur Grobanalyse der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur statt. Diese beinhaltet die Erhebung der baulichen Gestaltung, wie Fahrbahnbreiten, Längs- und Querneigungen etc., des Unfallgeschehens, der Umfeldstruktur (Schulen, Kindergärten oder Altersheime) und Besonderheiten wie Eisenbahnkreuzungen, Baustellen und Tunnel. Daraufaufgehend wird die gesamte Strecke in Abschnitte segmentiert, die jeweils ein ähnliches Umfeld aufweisen und hinsichtlich des Risikopotenzials der örtlichen Gegebenheiten bewertet. Dies erfolgt u. a. hinsichtlich der Anlage- und Sichtverhältnisse (z. B. Qualität der Bodenmarkierungen), der Gestaltung der Haltestellenbereiche oder der Knotenpunkte inkl. der Signalisation (z. B. unregelmäßig, mit LSA oder als Kreisverkehr). Durch diese intensive Auseinandersetzung mit den örtlichen Gegebenheiten werden vorhandene Risiken der Verkehrsinfrastruktur identifiziert, die dann in weiteren Schritten durch infrastrukturseitige, fahrzeugseitige und/oder organisatorische Maßnahmen verbessert und damit entschärft werden.

Fazit zu Abschn. 3.4

Der Mischverkehr der nächsten Jahrzehnte wird insbesondere aufgrund zahlreicher neuer Kompetenzanforderungen für alle Verkehrsteilnehmende die Verkehrssicherheit auf den Prüfstand stellen (Deublein 2020b). Es gilt, rechtzeitig gewünschte Entwicklungschancen zu fördern und ungewünschte Risiken

durch geeignete Maßnahmen zu verhindern oder abzuschwächen. Dafür braucht es einen proaktiven politischen Diskurs, um die gesellschaftsdemokratischen Bedürfnisse für eine sichere und lebenswerte Zukunft in unseren Städten und Gemeinden zu skizzieren und durch geeignete regulative Rahmenbedingungen in die gewünschte Richtung zu lenken. Konkrete Maßnahmen, insbesondere im Bereich der Mensch-Maschine-Kommunikation im Mischverkehr sowie bei der zukunftsfähigen sicheren Gestaltung der Infrastruktur, können einen wesentlichen Beitrag zur Bewahrung (oder idealerweise Verbesserung) der Verkehrssicherheit leisten. Expertinnen und Experten sind sich darin einig, dass die Entwicklungen im Kontext des automatisierten Fahrens noch lange keine Garantie für einen unfallfreien Straßenverkehr in der Zukunft sind, da durch die besonderen Verkehrssituationen im Mischverkehr neue Herausforderungen für die Verkehrssicherheit entstehen. Der aufmerksame Mensch am Steuer wird noch lange Zeit die zentrale sicherheitstechnische Rückfallebene bleiben.

Die Chancen der Automatisierung im ÖPNV überwiegen die erkannten Risiken, die bei entsprechender Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Risiken zusätzliche Sicherheitspotenziale ermöglicht. Durch die wesentlichsten Vorteile ermöglicht das automatisierte Fahren eine Reduktion des Gefahrenpotenzials und somit eine erhöhte Lebensqualität und Steigerung der Nutzungsmöglichkeiten im Straßenraum für erweiterte Personengruppen. Durch eine attraktive Gestaltung des öffentlichen Verkehrs und die Neuorganisation des motorisierten Individualverkehrs (z. B. Sharing-Angebote) kann eine Reduktion des MIV sowie des Gesamtverkehrsaufkommens und dadurch eine wesentliche Verbesserung der Verkehrssicherheit und der Lebensbedingungen erzielt werden.

Damit dies gelingt, sollten sich letztlich alle Akteure der Verkehrsinfrastruktur inklusive der Normierungskommissionen darauf vorbereiten, zunächst gemischte und später vollständig automatisierte Verkehrsströme aufzunehmen, den Verkehr von automatisierten Fahrzeugen zu verwalten und zu regeln, bei Bedarf deren Interaktion und Kommunikation mit ihrer Umgebung zu unterstützen und so die Verkehrssicherheit und -effizienz zu erhöhen (Lemmer 2019). Andererseits werden die automatisierten Fahrzeuge in hohem Maße von der Möglichkeit einer reibungslosen Kommunikation profitieren, nicht nur mit der Infrastruktur und mit anderen Fahrzeugen, sondern auch mit zu Fuß gehenden oder mit dem Fahrrad fahrenden Personen. Dazu muss das gesamte Verkehrsnetz, müssen Städte sowie Autobahnen darauf vorbereitet sein, diese neue Art der Fortbewegung aufzunehmen und zu vernetzen.

Konkrete Handlungsansätze werden in der Vorbereitung und Optimierung der physischen Verkehrsinfrastruktur gesehen. Die spezifischen Problembereiche der Verkehrssicherheit im ÖPNV sind für das heutige Verkehrsgeschehen bekannt (Baier et al. 2007 sowie GDV 2019). Diese sollten auch künftig unter Teilnahme

automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV durch die genannten Handlungsoptionen überprüft werden. Insbesondere in den Bereich des Verkehrsnetzes, wo ein Fahrgastwechsel stattfindet, wird auch in Zukunft die Verkehrssicherheit im ÖPNV maßgeblich beeinflusst werden können. Wuth und Dorner (2020) sehen u. a. einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit in der gezielten Abstimmung von Fahrzeuggeometrie sowie Lenkverhalten mit der baulichen Gestaltung der Haltestellen und der damit verbundenen Reduzierung des Flächenverbrauchs. Umgekehrt liegen nach Ansicht der Autoren allerdings Anzeichen vor, dass für die gefühlte Sicherheit von wartenden Personen eine stärkere Kennzeichnung des Haltestellenbereichs erforderlich wäre. Auch im Umgang mit dem Fahrzeug bzw. dem System muss sichergestellt werden, dass sich Passagiere an Bord sicher fühlen und im Notfall stets ein menschlicher Ansprechpartner, beispielsweise über Sprechfunk, kontaktieren können.

Um die Verkehrssicherheit beim Mischbetrieb mit automatisierten Fahrzeugen sicherzustellen, müssen derartige Systeme neuen und noch zu definierenden Standards folgen (Wintersberger et al. 2020). Dies betrifft insbesondere auch die Systeme, die durch andere Verkehrsteilnehmer von außen sichtbar sind und entsprechend interpretiert werden (müssen). Auch hier sind die nötigen Standards und technischen Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine Koexistenz verschiedenster Lösungen vermeidet. Dadurch kann eine potenzielle Verwirrung und Fehlinterpretation, insbesondere durch ungeschützte Verkehrsteilnehmer vermieden werden, die laut Statistiken einen immer größeren Teil der bei Unfällen verunglückten Personen ausmachen (International Transport Forum 2014).

3.5 Betriebliche, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte des automatisierten Fahrens aus Sicht der Verkehrsunternehmen

Emanuele Leonetti

3.5.1 Einleitung

Während in ländlichen Räumen, infolge des demografischen Wandels und der damit verbundenen Ausdünnung von Versorgungs- und Siedlungsstrukturen, der wirtschaftliche Betrieb öffentlicher Mobilität immer schwieriger wird, lässt sich für städtische Räume infolge der zunehmenden Urbanisierung eine steigende Nachfrage nach digitalen (bedarfsgesteuerten) Mobilitätsangeboten und Kapazitätsengpässen in den Hauptachsen feststellen. Die damit verbundene Gewährleistung der öffentlichen Mobilität als

Daseinsvorsorge – insbesondere hinsichtlich Zugänglichkeit, Barrierefreiheit, Sicherheit, Servicequalität und Kosten – stellt die Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs vor große Herausforderungen (vgl. Luchmann et al. 2019).

Vor dem Hintergrund der Vorgaben des UN-Klimaschutzabkommens von Paris, des europäischen „Green New Deals“ und zuletzt auch durch das BVerfG-Urteil zum Klimaschutzgesetz wird deutlich, dass dem ÖPNV als Rückgrat einer nachhaltigen Mobilitätswende eine zentrale Rolle zukommen muss. Die entscheidende Frage ist demnach, ob und in wie weit das autonome bzw. automatisierte und vernetzte Fahren einen Beitrag für die Attraktivitätssteigerung und den Kapazitätsausbau des ÖPNV beitragen kann (vgl. Leonetti 2020).

3.5.2 Zielvision des automatisierten Fahrens im ÖPNV

Die Entwicklungsaktivitäten zum autonomen (bzw. automatisierten) Fahren sind für einen langen Zeitraum als ein technologisches Thema der Automobilindustrie gesehen worden. Doch in den letzten Jahren hat die Automatisierung auch für den ÖPNV eine immer stärkere Relevanz gewonnen (vgl. Ackermann et. al. 2021a). Denn der für die Verkehrs- und Mobilitätswende notwendige Angebots- und Kapazitätsausbau kann nicht ohne Digitalisierung und Automatisierung des ÖPNV funktionieren (Leonetti 2021). Exemplarisch kann hier die Studie „Deutschland mobil 2030“ herangezogen werden, welche die Erhöhung des ÖV-Modal-Splits um 30 % bis zum Jahr 2030 zum Ziel gesetzt hat (Deutschland Mobil 2020).¹

Die für den Angebotsausbau notwendige Personalgewinnung für den Fahrdienst und die Betriebstechnik stellt bereits heute die Verkehrsunternehmen vor erhebliche Herausforderungen.

Gleichzeitig ist zu erwarten, dass von den heute ca. 151.000 Beschäftigten der ÖPNV-Betreiber ca. 50 % bis 2030 altersbedingt ausscheiden werden, weshalb für die Erreichung eines Verkehrswende-Szenarios über 100.000 zusätzliche Personale eingestellt werden müssen (vgl. VDV 2021). Folglich ist die Digitalisierung, Vernetzung und Automatisierung des ÖPNV-Betriebs von erheblicher strategischer Relevanz. Sowohl in städtischen Quartieren, auf der sog. Ersten/Letzten Meile, als auch in ländlichen Räumen, besitzen autonome Verkehrsangebote das Potenzial, das bestehende ÖPNV-Angebot zu ergänzen und zu verdichten. Hierbei ist es für Anwendungsfälle des autonomen Fahrens im ÖPNV wichtig, dass der Betrieb auf einer spezifischen Linie oder als ÖPNV-integrierter Linienbedarfsverkehr vollautomatisiert innerhalb eines abgegrenzten Gebiets realisiert werden kann. Hierbei ist es auch denkbar, dass dafür anfänglich oder punktuell Unterstützungen durch Infrastruktur-Komponenten oder durch Freigaben einer Leitstelle erfolgen und schrittweise optimiert werden. Jedoch bietet erst der Betrieb nach der SAE Stufe 4 das notwendige wirtschaftliche Potenzial für eine effektive Angebotsweiterung. Gleichzeitig sind ein vollautonomer Betrieb nach SAE

Stufe 5 und die damit verbundenen Entwicklungskosten nicht zwingend zu erreichen, da ÖPNV-Angebote sowohl im klassischen Linienbetrieb als auch als flexibles On-Demand-Angebot (Linienbedarfsverkehr) immer planmäßig und in hinreichend abgegrenzten Räumen erfolgt. Vielmehr würde das Erreichen der SAE Stufe 5 den ÖPNV weiter kannibalisieren, denn der heutige Unique Selling Point des ÖPNV – das Gefahrenwerden – würde damit verloren gehen. Folglich sind Verkehrsunternehmen gut beraten, das autonome Fahren strategisch zu begreifen, selbst aktiv zu werden und das autonome Fahren in die eigenen Geschäftsmodelle und Fahrzeugflotten zu implementieren (vgl. Ackermann et. al. 2021a).

3.5.3 Status quo des automatisierten und autonomen Fahrens im ÖPNV

Bundesweit erproben bereits zahlreiche Verkehrsunternehmen die Einsatzmöglichkeiten von autonomen Shuttlebussen in über 50 Reallaboren (vgl. zum Begriff und Umfang eines „Reallabors“ Leonetti 2021) und digitalen Testfeldern für den ÖPNV-Einsatz².

Vorwiegend kommen für die praktische Erprobung im straßengebundenen ÖPNV umgangssprachlich sog. „People-Mover“ zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um konzeptionell neu gestaltete Shuttlefahrzeuge, die über keinen klassischen Fahrerarbeitsplatz mit Lenkrad und Pedalerie verfügen, sondern mit zusätzlicher Sensorik ausgestattet und mittels interaktiver Benutzeroberflächen und Joysticks bedient werden (vgl. Leonetti 2021b).

Technische Rahmenbedingungen

Die bisher marktverfügbaren Shuttlebus-Konzepte sind aus praktischer (Betreiber-) Perspektive, noch nicht für einen autonomen ÖPNV-(Regel-)Betrieb geeignet. Im Wesentlichen liegt dies an dem fehlenden technischen Reifegrad der Fahrzeuge selbst, aber auch an fehlenden technischen Standards für den Aufbau und Betrieb autonomer Shuttlebusse im ÖPNV-Einsatz. Dies betrifft insbesondere etwaige Mindeststandards an die Grundausstattung von Sitz- und Stehplätzen, Anforderungen an die Barrierefreiheit, die Auswahl geeigneter Strecken und Betriebskonzepte, sowie die Mensch-Maschinen-Interaktion sowohl zwischen den autonomen Fahrzeugen und den Fahrgästen als auch des autonomen Fahrzeugsystems mit den Betriebspersonalen, wie der technischen Aufsicht.

Zwar sind einzelne autonome Shuttlefahrzeuge auch mit elektrischen Rampen ausgestattet – taktile Hilfen oder Standards im Hinblick auf die Barrierefreiheit werden jedoch nicht erfüllt.

Insbesondere existiert auch noch kein technisches System, welches bspw. Menschen, die auf die Nutzung von Rollstühlen angewiesen sind, dabei unterstützt, selbstständig bzw.

²Eine Übersicht der Projekte findet sich unter: <https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx>.

automatisiert im Fahrgastraum zu sichern. Dies bedeutet für die Praxis, dass zusätzliches Servicepersonal (aktuell) bereitgestellt werden muss. Bei autonomen Fahrzeugen der M1-Fahrzeugklasse – also Pkw-Aufbauten – sieht es hinsichtlich der Gewährleistung der Barrierefreiheit noch mangelhafter aus. Neben dem noch nicht barrierefreien Zugang ist die deutlich herabgesetzte Höchstgeschwindigkeit – in der Regel 18 km/h – ein weiteres Hemmnis für ein integriertes Verkehrsangebot. Dadurch ist ein „Mitschwimmen“ der hochautomatisierten Shuttlebusse noch nicht möglich und könnte so ein zusätzliches Verkehrshindernis darstellen. Ein eigenständiges Umfahren von Hindernissen erfolgt nicht, sondern muss manuell durch den Sicherheitsbegleiter durchgeführt werden. Weiterhin ist auch das Innenraumkonzept noch nicht auf einen autonomen Betrieb ausgelegt. Ferner sind auch die Sicherheitskonzepte noch unzureichend, sodass noch nicht die Redundanz und Resilienz der Systeme vorhanden sind, die für einen Regelbetrieb im ÖPNV-Einsatz erforderlich sind (weitere Hinweise zum Stand der Technik vgl. Rentschler, C. et al. 2020).

Rechtliche Rahmenbedingungen

Aufgrund der technischen Reife der Systeme und der regulatorischen Rahmenbedingungen werden die Fahrzeuge heute noch durch Sicherheitsfahrer bzw. „Operatoren“ in den Fahrzeugen überwacht. Auch wenn in der Praxis oft vom „autonomen Fahren“ gesprochen wurde, handelte es sich bei den Erprobungen im ÖPNV bisher weder technisch noch rechtlich um einen Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen. Vielmehr handelte es sich bei den eingesetzten autonomen Shuttlebussen genehmigungsrechtlich um sog. „Sonderkraftfahrzeuge zur Personenbeförderung“ und lediglich um einen teil- bzw. hochautomatisierten Betrieb der SAE Stufen 2 und 3 (so im Ergebnis auch: Kolb et al. 2019).

Im Kontext des autonomen bzw. automatisierten und vernetzten Fahrens werden verschiedenste Rechtsbereiche berührt – u. a. das Straßenverkehrsrecht, Datenschutzrecht, Haftungsrecht, Verfassungsrecht, Strafrecht wie auch das Personenbeförderungsrecht (vgl. Ackermann et al. 2021b). Für die ÖPNV-Praxis ist hierbei der Bereich des Personenbeförderungsrechts und des Straßenverkehrsrechts am relevantesten, weshalb sich die nachfolgenden Ausführungen hierauf beschränken.

Personenbeförderungsrechtliche Aspekte des autonomen Fahrens im ÖPNV Die entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, mit Oberleitungsomnibussen und mit Kraftfahrzeugen ist nur unter den Rahmenbedingungen des Personenbeförderungsgesetzes (Deutscher Bundestag 2021) genehmigungsfähig, § 1 Abs. 1 S. 1 PBefG. Das PBefG unterscheidet zwar zwischen Pkw, Bussen und Straßenbahnen, aber nicht zwischen Fahrzeugen mit und ohne Fahrer:in, sodass es für autonome Verkehrsleistungen weiterhin Anwendung findet (vgl. Leonetti et al. 2021). Bei den Genehmigungsvoraussetzungen in § 13 PBefG wird nicht danach gefragt, wer das Fahrzeug fährt, denn der entscheidende Anknüpfungspunkt für das Beförderungsrecht ist der Verkehrsunternehmer. In der Folge bilden die Verkehrsarten des PBefG auch den genehmigungsrechtlichen Rahmen für autonome Verkehrsleistungen.

Die eigentlichen Anforderungen an den ÖPNV-Betrieb hinsichtlich der Sicherheit und Ordnung ergeben sich fast ausschließlich aus den Regelungen des Straßenverkehrs- und Straßenzulassungsrechts und nur ergänzend kommen auf Grundlage der Verordnungsermächtigung aus § 57 Abs. 1 PBefG Regelungen aufgrund von Betriebsordnungen wie bspw. der BOKraft (Deutscher Bundestag 2021b) hinzu (Heinze 2014). Im Grundsatz ist das Personenbeförderungsrecht jedoch auch für autonome Fahren gerüstet und bietet einen hinreichend konkreten Rechtsrahmen für die Markteinführung autonomer Verkehrsangebote (Leonetti 2021a, b).

Straßenverkehrsrechtliche Aspekte des autonomen Fahrens im ÖPNV – Status quo ante Den im Kern relevanten Regelungsrahmen für den autonomen Betrieb im ÖPNV bildet das Straßenverkehrsrecht. Es regelt mit dem Genehmigungs- und Zulassungsrecht das „Ob“ – also unter welchen Voraussetzungen (autonome) Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen in Betrieb genommen werden dürfen (Bsp. StVG (Deutscher Bundestag 2021a), FZV (Bundesverkehrsministerium 2022b), StVZO (Deutscher Bundestag 2021g)). Das Verhaltensrecht regelt hingegen das „Wie“, also unter welchen Voraussetzungen (autonome) Fahrzeuge betrieben bzw. „gefahren“ werden dürfen (Bsp. StVG, StVO (Deutscher Bundestag 2021a, 2021h)).

Die Zulassung eines Kraftfahrzeugs zum Straßenverkehr erfolgt dabei zweistufig: Auf der ersten Stufe wird für das Kraftfahrzeug eine Betriebserlaubnis, Einzelgenehmigung oder europäische Typengenehmigung erteilt, in der überprüft wird, ob das jeweilige Fahrzeug den technischen Beschaffenheitsanforderungen entspricht; auf der zweiten Stufe erfolgt dann die entsprechende Zulassung durch Zuteilung eines amtlichen Kennzeichens, § 1 Abs. 1, S. 2, § 3 Abs. 1. S. 2, 3 StVG und §§ 3, 8 FZV (vgl. Schnieders 2020).

Für die hier betrachteten autonomen Shuttlebus-Konzepte ist insbesondere das nationale Zulassungsrecht relevant, da die Fahrzeuge aufgrund ihrer besonderen Bauart nicht den europäischen Typen der (EU) 2018/858 entsprechen. In der Praxis wird für die „People-Mover“-Fahrzeuge eine Einzelgenehmigung nach § 21 Abs. 1 StVZO erteilt (vgl. Gatzke 2020). Allerdings bedürfen die Fahrzeuge in der Regel noch einer zusätzlichen Ausnahmegenehmigung von der obersten Landesbehörde nach § 70 Abs. 1 Nr. 2 StVZO, da die Fahrzeuge nicht alle Beschaffenheitsanforderungen der StVZO erfüllen (vgl. Böckler et al. 2021). Diese wird nach § 70 Abs. 3 StVZO in der Regel örtlich erteilt und festgelegt, sodass neben der Einzelfahrzeuggenehmigung noch eine „Streckengenehmigung“ erteilt wird. Das bisherige Zulassungsverfahren für den „People-Mover“ ist demnach dreistufig aufgebaut.

Im Ergebnis stellte der gesamte Prüf-, Begutachtungs- und Zulassungsprozess für jedes Erprobungsprojekt bisher eine behördliche Einzelfallentscheidung dar (Leonetti 2021a, b). Für die Praxis ist hierbei hervorzuheben, dass die Betriebsstrecken in der Regel für den Fahrzeugeinsatz angepasst wurden. Hierzu gehören – insbesondere für kommunale Straßenbaulasträger und Entscheider relevant – die Anordnung von zusätzlichen straßenrechtlichen und straßenbaulichen Maßnahmen, wie z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Parkverbote, der Aufbau vernetzter Infrastrukturen (RSU, LSA, V2X

etc.)³, Grünschnittbeseitigung, Aufbau zusätzlicher (maschinenlesbarer) Verkehrszeichen sowie die „Nachbesserung“ von Fahrbahnmarkierungen (vgl. Leonetti 2021a, b).

Aufgrund bestehender Übergangsvorschriften gem. § 1i Abs. 4 StVG sollte die bisherige Genehmigungspraxis trotz neuerer Regelungen zumindest cursorisch bekannt sein und die Erkenntnisse aus früheren Erprobungsprojekten herangezogen werden. Neben den vielfältigen praktischen Herausforderungen wie dem gebiets- und streckenbezogenen Betrieb, der Notwendigkeit eines Sicherheitsfahrers im Fahrzeug, erheblichen Zeitaufwänden bei Genehmigungsverfahren und der eingeschränkten Höchstgeschwindigkeit und Einsatzbereitschaft der Erprobungsfahrzeuge sind Zulassung und Fahrgastbetrieb mit „autonomen Shuttlebussen“ („People-Mover“) dem Grunde nach jedoch auch nach altem Rechtsstand (mit Sicherheitsbegleiter) möglich gewesen.

Straßenverkehrsrechtliche Aspekte des autonomen Fahrens im ÖPNV – Änderungen durch das Gesetz zum Autonomen Fahren und Durchführungsverordnung (AFGBV) Die Herausforderung bei der Erprobung autonomer Verkehrsangebote hat die Politik erkannt und mit dem Gesetz zum autonomen Fahren (Deutscher Bundestag 2021b) und der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebsverordnung (AFGBV, Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland 2022) einen weltweit einmaligen Regelungsrahmen für den Einsatz im Regelbetrieb autonomer Fahrzeuge geschaffen. Mit diesem Regelungsrahmen hat der Gesetzgeber eine Vielzahl von Anwendungsfällen des autonomen Fahrens der SAE Stufe 4 – d. h. des autonomen Fahrens in spezifischen Anwendungsfällen – ermöglicht und den Regelbetrieb entsprechender Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen gestattet. Hervorzuheben ist hierbei, dass, auch wenn eine Vielzahl möglicher Einsatzszenarien adressiert wird, der Gesetzes- und Verordnungsgeber hier erkennbar auf die Ermöglichung des Einsatzes von (Shuttle-)Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen zu verschiedenen Anwendungsfällen in der (Logistik und) Personenbeförderung fokussiert hat (Leonetti 2021a, b).

Der neue nationale Rechtsrahmen ordnet ein dreistufiges Genehmigungs- und Zulassungsverfahren und besitzt eine hohe Deckungsgleichheit zu der bisherigen Genehmigungspraxis der autonomen „People-Mover“. Das neue Genehmigungsverfahren besteht nach § 1e Abs. 1 StVG aus: 1. einer Betriebserlaubnis für das Kraftfahrzeug mit autonomen Fahrfunktionen (BEaF), 2. einem Verfahren zur Betriebsbereichsfestlegung und 3. aus einer (regulären) Zulassung.

Auf der ersten Stufe muss der Hersteller beim Kraftfahrtbundesamt (KBA) eine BEaF beantragen, § 2 Abs. 1 i. V. m. § 3 Abs. 1 AFGBV. Das Fahrzeug muss dabei über eine entsprechende technische Ausstattung verfügen, die den Anforderungen des § 1e Abs. 2 StVG i. V. m. Anlage 1 AFGBV genügt. Die Fähigkeiten und Ausstattungsmerkmale

³(Mobilfunkunterstützte) Road-Side-Units, vernetzte Lichtsignalanlagen/Ampeln etc.

werden dabei dediziert beschrieben (vertiefend: Leonetti 2021a, b). Den Hersteller trifft dabei eine umfangreiche Dokumentations- und Nachweispflicht (Bundesverkehrsministerium 2022a). Das KBA prüft anhand der eingereichten Dokumente und Erklärungen des Herstellers die Einhaltung der technischen Anforderungen an das Fahrzeug und seine autonomen Fahrfunktionen, § 3 Abs. 4 AFGVB. Der Umfang der einzureichenden Unterlagen und Prüfungen ergibt sich aus § 3 Abs. 2 AFGVB und beinhaltet u. a. neben einer Herstellererklärung über die funktionalen Voraussetzungen des Systems und des Sicherheitskonzepts auch die Vorlage eines Betriebshandbuchs, von Sicherheitskonzepten zur funktionalen Sicherheit und zur Informationstechnologie, sowie Nachweise zu Testszenarien und Umweltbedingungen etc. Das KBA kann sich hierbei eines amtlich anerkannten Sachverständigen bedienen und bspw. technische Dienste bei der Begutachtung hinzuziehen, § 3 Abs. 7 AFGVB. In der Zusammenschau der Vorgaben und Anforderungen bestimmt die BEaF folglich das technische Können des Fahrzeugs und beschreibt die für den Betrieb relevanten Bedingungen und Anforderungen – die sog. Operational Design Domain (ODD) (Bundesverkehrsministerium 2022a).

Der Betrieb ist jedoch nur in vorher festgelegten Betriebsbereichen zulässig, § 1e Abs. 1 Nr. 2 StVG. Nach dieser umfassenden und komplexen „Grundgenehmigung des autonomen Fahrzeugs“ in Form der BEaF hat dann der jeweilige Halter auf Grundlage dieser Betriebserlaubnis ein Verfahren zur Betriebsbereichsfestlegung zu beantragen, § 7 Abs. 1 AFGVB. Das Verfahren über den jeweiligen Betriebsbereich wird hierbei in der Regel durch die örtlich und sachlich zuständigen Länderbehörden bestimmt, § 7 Abs. 2 Nr. 2 AFGVB. Der Betriebsbereich i. S. d. § 1d Abs. 2 StVG ist dabei der „örtlich und räumlich bestimmte öffentliche Straßenraum“, in dem das Kraftfahrzeug mit autonomen Fahrfunktionen betrieben werden darf. Die zuständigen (Länder-)Behörden prüfen hierbei auf Grundlage des in der Betriebserlaubnis definierten (grundsätzliche) Könnens des Fahrzeugs, ob dieses dann auch konkret in dem räumlich beschriebenen Bereich die Fahraufgabe erfüllen kann und der Betriebsbereich alle Voraussetzungen dafür mitbringt. Folglich wird im Rahmen der Betriebsbereichsfestlegung vom Halter bzw. Betreiber der autonomen Fahrzeuge beantragt, „wie“ und „wo“ betrieben wird und durch die zuständige Länderbehörde dann verbindlich festgestellt und angeordnet.

Auf der letzten Stufe erfolgt dann die reguläre Zulassung zum Straßenverkehr, § 1e Abs. 1 Nr. 4 i. V. m. § 1 Abs. 1 StVG. Diese erfolgt bei den örtlichen Zulassungsbehörden und richtet sich nach den allgemeinen Vorschriften, d. h. durch Zuteilung eines amtlichen Kennzeichens. Besonderheiten beim Kennzeichen – bspw. durch den Buchstaben „A“ für autonom – existieren nicht. Im überwiegenden Falle werden die autonomen Shuttlebusse jedoch elektrisch betrieben, sodass sich ein „E“ auf dem amtlichen Kennzeichen befindet. Es ist jedoch vorstellbar und auch die bisherige Praxis, dass innerhalb des Einsatzgebiets autonomer Shuttleerprobungen entsprechende Verkehrszeichen aufgestellt werden, die auf den „autonomen Fahrzeugbetrieb“ hinweisen. Als weitere Voraussetzung für die Erteilung des Kennzeichens und die abschließende Zulassung ist das Vorliegen einer entsprechenden Kfz-Haftpflichtversicherung nachzuweisen (vgl. hierzu detailliert Malzhacker 2021).

Eine weitere Besonderheit des neuen Rechtsrahmens besteht in der Einführung einer neuen Rechtsfigur – der „Technischen Aufsicht“, § 1d Abs. 3 StVG. Die Technische Aufsicht (TA) ist hierbei eine natürliche Person, die das Fahrzeug deaktivieren und Manöver freigeben oder vorschlagen kann. Sie trifft ein umfangreiches eigenes Pflichtenprogramm, welches gesetzlich in § 1f Abs. 2 StVG bestimmt ist. Ausweislich der Gesetzesbegründung kann die TA auch grundsätzlich aus der Ferne wahrgenommen werden, was im Umkehrschluss bedeutet, dass eine Betreuung mehrerer Fahrzeuge durch eine TA erfolgen kann (Deutscher Bundestag 2021e). Die TA ist folglich nicht mit einem Operator/Sicherheitsfahrer vergleichbar, sondern ist vielmehr als „Leitstelle“ zu verstehen, die ihre „Lotsenfunktion“ (nur) nach Anforderung des Systems wahrnimmt. Ihre Überwachungspflichten sind vielmehr auf eine „Evidenzkontrolle“ beschränkt bzw. auf eine sichere Gewährleistung des „Gesamtbetriebs“.

An die Personen der TA werden jedoch hohe fachliche Qualifizierungsanforderungen gestellt. Gem. § 14 Abs. 1 AFGBV müssen sie über einen akademischen Abschluss in den Fachrichtungen Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrttechnik oder Luftfahrzeugtechnik verfügen oder staatlich geprüfte Techniker sein. Die mit einem solchen „Ingenieursnachweis“ verbundenen Herausforderungen für ÖPNV-Betreiber liegen damit klar auf der Hand, da die ÖPNV-Personale vorwiegend aus Fachkräften und Berufskraftfahrern bestehen. Der Verordnungsgeber hat das Problem jedoch noch rechtzeitig erkannt und im Bundesratsverfahren einen § 14 Abs. 2 AFGBV eingefügt, der es ermöglicht, einzelne Aufgaben und Pflichten an „Nicht-Ingenieure“, die mindestens drei Jahre Berufserfahrung im Bereich der Verkehr- oder Kraftfahrzeugwesens verfügen, zu delegieren (vertiefend: Leonetti 2021a, b). Weiterhin muss die TA eine entsprechende Schulung beim Fahrzeughersteller absolviert haben, einen gültigen Führerschein besitzen und „zuverlässig“ sein, § 14 Abs. 1 Nr. 2–4 AFGBV. Die Länderbehörden sind dabei für die Prüfung dieser personellen und sachlichen Voraussetzungen zuständig und werden entsprechende Nachweise vom Antragsteller verlangen, § 9 Abs. 1 Nr. 3 i. V. m. §§ 13, 14 AFGBV.

Neben den hohen Qualifikationsanforderungen an die eingesetzten Betriebspersonale (Technische Aufsicht und „Maintenance-Personal“) bestehen für Halter und Betreiber autonomer Fahrzeuge noch weitere Aufgaben und Pflichten. Hervorzuheben sind hierbei regelmäßige Wartungen und Prüfungen, bspw. durch eine „täglich durchzuführende erweiterte Abfahrkontrolle“ (§ 13 Abs. 1 Nr. 2, Abs. 7 AFGBV), eine halbjährliche Hauptuntersuchung (§ 13 Abs. 8 AFGBV), eine 90-tägige „Gesamtprüfung“ (§ 13 Abs. 1 Nr. 3 AFGBV) und nicht unerhebliche Dokumentations-, Übermittlungs- und Nachweispflichten.

Zuletzt ist auch noch auf die neue Erprobungsgenehmigung nach § 1i StVG i. V. m. § 16 AFGBV hinzuweisen. Diese soll die bisherige Genehmigungspraxis – wie unter Abschn. 3.2.2. dargestellt – ersetzen.

Die Erteilung einer Erprobungsgenehmigung muss grundsätzlich der Halter beantragen und gilt für bis zu 4 Jahre, § 16 Abs. 2 AFGBV. Sie erfolgt auf Grundlage einer Einzel- oder Typengenehmigung für das jeweilige Kraftfahrzeug. Der Halter hat

dabei ein Entwicklungskonzept vorzulegen, in dem die Veränderungen an den Fahrzeugen beschrieben, die Einhaltung des Stands der Technik und die Sicherstellung der permanenten Überwachung dargelegt werden und die Erklärung über die Bereitstellung von (Anfangs-)Daten und Ereignissen erfolgen soll, § 16 Abs. 3 AFGBV. Das KBA nimmt dann eine inhaltliche Prüfung der Unterlagen vor und wird die für den Erprobungsbereich zuständigen Landesbehörden anhören. Eine Betriebsbereichsfestlegung wie im „Regelverfahren“ erfolgt jedoch nicht, auch wenn mit einer hohen Deckungsgleichheit zu rechnen sein dürfte. Nach positivem Ergebnis erfolgt dann die Erteilung der Erprobungsgenehmigung für max. 4 Jahre. Diese kann nach Ablauf der Genehmigung noch einmalig verlängert werden oder es wird ein Regelbetriebserlaubnisverfahren initiiert. Bei der Erprobungsgenehmigung ist die permanente Überwachung des Fahrzeugs (vor Ort) besonders hervorzuheben, sie deckt sich mit den heutigen Erprobungsgenehmigungen – allerdings wird der Halter zukünftig tiefer mit in die Entwicklungsverantwortung genommen. Zusammenfassend ist jedoch auch die Erprobungsgenehmigung geeignet, wesentliche Verbesserungen für die Praxis mitzubringen.

Rechtliche, wirtschaftliche und technische Würdigung und Abschätzung aus Betreiber-sicht Mit dem neuen Rechtsrahmen zum autonomen Fahren hat der Gesetzgeber seinen Auftrag erfüllt und einen beachtenswerten Regelungsrahmen für die Einführung dieser Hochtechnologie im Regelbetrieb geschaffen – insbesondere für die Anwendung im ÖPNV. Das Verfahren zur Betriebsbereichsfestlegung, von anfänglich einzelnen Straßen hin zu ganzen Quartieren, bietet eine geeignete Möglichkeit für die Skalierung und Integration autonomer Verkehrsangebote im ÖPNV. Doch für die ÖPNV-Betriebspraxis könnten die hohen sachlichen und personellen Anforderungen ein großes Hemmnis bedeuten. Neben den hohen Dokumentation- und Nachweispflichten betrifft dies insbesondere die Qualifikationsanforderungen an die eingesetzten Personale. Ein Blick in die bisherige Praxis zeigt jedoch, dass qualifiziertes Fachpersonal in der Lage ist, einen sicheren Gesamtbetrieb zu gewährleisten. Vielmehr werden die Hersteller autonomer Fahrzeuge gefordert sein, die Resilienz ihrer Systeme zu stärken und geeignete Nutzerschnittstellen zum Betrieb (d. h. der Technischen Aufsicht) und zu den Fahrgästen zu entwickeln. Nicht zuletzt wird die Einführung entsprechender Systeme aufgrund der umfangreichen Prüf- und Begutachtungsaufwände hohe Anfangsinvestitionen erfordern.

Ausweislich der Gesetzesmaterialien und erster Aufwandsabschätzungen können die Einführungs- und Betriebskosten erster autonomer Verkehrsangebote schnell einen zweistelligen Millionenbetrag erreichen (Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland 2021).

Der Verordnungsgeber geht dabei von folgenden Positionen aus:

1. Antragstellung auf Genehmigung eines festgelegten Betriebsbereiches nach § 8 Absatz 1 AFGBV und Vorlage eines Gutachtens nach § 9 Absatz 3 Satz 2 AFGBV
2. Erstellung eines Gutachtens im Rahmen der Prüfung des Antrages auf die Genehmigung festgelegter Betriebsbereiche nach § 9 Absatz 3 Satz 2 AFGBV
3. Mitwirkung im Falle einer Nachprüfung nach § 9 Absatz 6 AFGBV

4. Meldung nachträglicher personeller und technischer Veränderungen nach § 9 Absatz 7 AFGBV
5. Vorlagepflicht der Betriebserlaubnis und der Genehmigung eines festgelegten Betriebsbereiches nach § 11 Absatz 2 Nr. 1 und Nummer 2 AFGBV
6. Durchführung einer erweiterten Abfahrkontrolle nach § 13 Absatz 1 Nr. 2 und Absatz 7 AFGBV
7. Gesamtprüfung nach § 13 Absatz 1 Nr. 3 AFGBV
8. Durchführung der Hauptuntersuchung nach § 13 Absatz 8 AFGBV
9. Bestellung einer Technischen Aufsicht und Bereitstellung der sachlichen Voraussetzungen nach § 13 Absatz 6 AFGBV
10. Anforderungen an die Dokumentenverwaltung nach § 13 Absatz 5 AFGBV
11. Ausführung der Technischen Aufsicht – Erstellung Berichte nach § 13 Absatz 4 AFGBV
12. Antrag auf Erprobungsgenehmigung nach § 16 Absatz 1 AFGBV und § 1i Absatz 1 StVG und Vorlage eines Entwicklungskonzeptes nach § 16 Absatz 3 Nr. 4 AFGBV
13. Erstellung eines Entwicklungskonzeptes nach § 16 Absatz 3 Nr. 4 AFGBV
14. Mitführungspflicht Erprobungsgenehmigung und Eintragung in Zulassungsbescheinigung nach § 16 Absatz 6 und 7 AFGBV

Der Einfachheit halber werden die Kostenpositionen zusammengefasst und zu folgenden einzelnen Betriebskostenparametern zusammengeführt:

1. Beschaffung der Fahrzeuge und Lizenzen am Selbstfahrssystem sowie Daten
2. Technische Aufsicht (Hardware, Software, Personal, Ausstattung, Qualifizierung, laufende Personalkosten)
3. Operative Prozesse im Feld („Field-Operator“, Wartungspersonal, „Verkehrsmeister“)
4. Sicherheitsprozesse (Gesamtüberprüfung, HU, tägl. Abfahrkontrolle, sowie entsprechende Personalkosten und externe Begutachtungen)
5. Zulassungen (Fahrzeuge, Betriebsbereichsfestlegung, Personalkosten, Antragsstellung zusätzliche Begutachtungen durch Dritte wie technische Dienste)
6. Rechtsgutachten, Stellungnahmen, Beratung und ggf. Zertifizierung
7. Ggf. Kommunikation, Begleit- und Akzeptanzstudien
8. Prozessentwicklung und Evaluation
9. Ggf. On-Demand-Software-Integration
10. Betriebshof, Ladeinfrastruktur (Aufbau und Management)

Eventuell notwendige Ausstattungen mit 5G-Kommunikationsinfrastruktur der Betriebsbereiche bzw. der Kommunen sind hierbei ggf. auch noch zu berücksichtigen.

Im Ergebnis wird jedoch klar, dass für die Einführung autonomer Verkehrsangebote im ÖPNV zusätzliche öffentliche Mittel bereitgestellt werden müssten, bis es zu einem echten Hochlauf autonomer Verkehrsangebote kommt.

3.5.4 (Betriebs-)wirtschaftliche Abschätzungen und Realisierbarkeit

Bereits aus der Zusammenschau der bisherigen Erprobungen lassen sich erste wichtige Erkenntnisse und Ableitungen für den zukünftig fahrzeugführerlosen Betrieb gewinnen. Insbesondere der „Wegfall“ des Fahrerarbeitsplatzes und der Tätigkeiten heutiger Berufskraftfahrer:innen werden disruptive Auswirkungen auf den ÖPNV-Betrieb haben. Denn Dreh- und Angelpunkt für heutige Betriebskonzepte ist eine systematische Aufgabenteilung von betrieblichen Prozessen und deren Wahrnehmung durch Betriebs-, Werkstätten-, Leitstellen- und Fahrpersonal. Im heutigen Betrieb werden diese entscheidenden Aufgaben zur Gewährleistung eines effektiven und wirtschaftlichen ÖV-Betriebs durch Fahrpersonale wahrgenommen. Das Fahrpersonal stellt die entscheidende Schnittstelle zwischen Fahrgast und Betrieb dar und beschränkt sich nicht nur auf das Führen eines Kraftfahrzeugs. Vielmehr zeichnet sich die Tätigkeit des Berufskraftfahrers im ÖPNV neben der sicheren und pünktlichen Beförderung von Fahrgästen durch eine hohe Kundenorientierung, Zuverlässigkeit sowie hohe Servicebereitschaft aus (vgl. hierzu VDV 2022b). Dies muss zukünftig durch das autonome Fahrzeug selbst oder (neue) Betriebspersonale erfüllt werden.

Eine genaue Abschätzung der Betriebskosten für einzelne Betriebskonzepte und Einführungsszenarien stellt sich für die Praxis – aufgrund fehlender geeigneter TCO-Analysen aus der Praxis – weiterhin herausfordernd dar. Eine der größten Unsicherheiten besteht dabei für die Praxis in dem Umfang der Infrastrukturausstattung. Die Schaffung einer „digitalen Infrastruktur“ bspw. durch „digitale Zwillinge“ und sich selbst aktualisierende hochgenaue Karten sollten aus Betreiber- wie auch aus kommunaler Sicht gegenüber tiefergehenden straßenbaulichen und infrastrukturellen Maßnahmen aus Kosten- und Zeitgründen vorgezogen werden. Jedoch ist die genaue Auswahl und Gestaltung des jeweiligen Betriebskonzepts hierbei an die lokal bestehenden räumlichen und angebotsseitigen Rahmen- und Betriebsbedingungen anzupassen (Ackermann et al. 2021a). Für die Entscheidungen eines Betriebskonzepts insbesondere bei größeren Flotten sollten Betreiber zudem folgende Parameter heranziehen (Ackermann et al. 2021a, zudem vertiefend: Holst 2022):

1. Entscheidung bzgl. des Vorhandenseins eines Fahrerarbeitsplatzes
2. Energie/-Antriebskonzept (Zwischenladung erforderlich oder eingeschränkte Betriebszeiten?)
3. Abstellkonzept (zentraler Betriebshof vs. dezentrale Abstellung innerhalb des Betriebsbereichs)
4. Infrastruktur (straßenseitig vs. digital)
5. Reserve/Ersatzkonzept (Betriebsqualität und Wartungsintervalle)
6. Quotierung der Fahrzeugkapazität hinsichtlich Barrierefreiheit (Vorhalten barrierefreier Fahrzeuge in der Flotte – z. B. 10–20 % je nach Einsatzgebiet)
7. Versuchs- vs. Regelbetrieb (Fahrgeldeinnahmen, öffentliche Zuschüsse zum Betrieb)
8. Zuverlässigkeit durch zusätzliches Personal (z. B. „Trouble-Shooter“ im Einsatzbereich, Servicekräfte)

Die hier aufgezählten Parameter betreffen den Kernbereich unternehmerischer Entscheidungen und sind an die lokalen Anforderungen spezifisch anzupassen, sodass pauschalierte Aussagen, Entscheidungen und Handlungsempfehlungen nicht möglich sind. Zukünftige Betreiber autonomer Verkehrsangebote sollten sich jedoch frühzeitig mit den aufgeworfenen Parametern beschäftigen, um zielgenaue Lösungen in ihr Angebot und Betriebskonzept zu integrieren.

Fazit zu Abschn. 3.5 und Empfehlungen für die Praxis

Eine Abschätzung und Ermittlung künftiger Preis- und Geschäftsmodelle autonomer Verkehrsangebote im ÖPNV ist neben der genauen Betriebskostenabschätzung mangels verlässlicher Zahlen weiterhin nicht hinreichend bestimmbar. Aufgrund der hohen anfänglichen Betriebskosten und Investitionen (und ggf. fehlender Einnahmen im Rahmen der Erprobungen) werden autonome Verkehrsangebote – zumindest für einen Übergangszeitraum – weiterhin defizitär und zuschussbedürftig sein (vgl. dazu im Detail Ackermann et al. 2021a).

Unabhängig von den oben dargelegten einzelnen Schritten des neuen Genehmigungsverfahrens nach StVG und AFGBV hat sich für die Praxis folgende Checkliste (Ackermann et al. 2021a) für Pilotbetriebe mit autonomen Shuttlebus-Konzepten als praktisch erwiesen:

- Entwicklung eines Betriebskonzepts
- Begehung, Auswahl und Risikoanalyse möglicher Streckenoptionen
- Lastenheftentwicklung mit anschließender Fahrzeugbeschaffung
- Identifikation und Umsetzung erforderlicher Streckenmaßnahmen
- Beauftragung eines Gutachtens für Ausnahmegenehmigung durch technischen Sachverständigen
- Einprogrammieren der Strecke (HD-Karte, Kartographierung)
- Zulassungsprozess des Fahrzeugs (Einzelbetriebserlaubnis, Ausnahmegenehmigung, KfZ-Haftpflicht, Kennzeichen)
- PBefG-Genehmigung (ggf. Befreiung von Beförderungspflicht nach § 22 PBefG)
- Schulung von Personal, Erstellung Betriebshandbuch und Betriebsanweisung
- ggf. technische Integration in Betriebsleitsysteme und Fahrgastinformationssysteme

Verkehrsunternehmen und Kommunen sollten vor dem Hintergrund der hier dargestellten (finanziellen) Herausforderungen das autonome Fahren im ÖPNV weiterhin als strategisches Ziel ansehen und deren Einführung im Regelbetrieb verfolgen. Die Kommunen sollten als Organisator für die Mobilität der Zukunft als Garant für eine gemeinwohlorientierte Entwicklung Stellung beziehen und so aktiv eine moderne Daseinsvorsorge und Lebensqualität für ihre Bürger gestalten.

Sowohl aus dem personenbeförderungsrechtlichen Rahmenbedingungen als auch durch die Festlegung von Betriebsbereichen besitzen sie hierbei auch die notwendigen Instrumente, um die Entwicklung in nachhaltige Bahnen zu lenken. Nur so werden ein aktiver Beitrag zur Verkehrswende geleistet und induzierte „Robo-Taxi-Verkehre“ vermieden werden können.

3.6 Gesellschaftliche Aspekte des automatisierten Fahrens

Torsten Fleischer und Jens Schippl

3.6.1 Einleitung: Mobilität als soziotechnisches System

Ein funktionierendes, gut zugängliches, bezahlbares und umweltfreundliches Mobilitätssystem ist unverzichtbar für eine hohe Lebensqualität und eine gute wirtschaftliche Entwicklung in einer modernen Gesellschaft. Mobilität ist Voraussetzung für ein selbstbestimmtes Leben und für die Entfaltung der eigenen Persönlichkeit. Fast jeder Mensch ist täglich in unterschiedlichen Rollen mit dem Mobilitätssystem in Kontakt, sei es als Autofahrer, als Fußgänger, als Anwohner oder als Empfänger einer Paketlieferung. Gleichzeitig sind die negativen Folgen des Mobilitätssystems eine Belastung für Lebensqualität, Gesundheit und Umwelt.

Infrastruktursysteme wie das Mobilitätssystem sind in ständiger Wechselwirkung mit vielen unterschiedlichen nicht-technischen Komponenten. Sie sind geprägt durch bzw. entwickeln sich zusammen mit sozialen Faktoren wie Regelungen, Erwartungen, Gewohnheiten, Einstellungen oder auch Kompetenzen in der Gesellschaft. Es ist nicht nur der technische Wandel, der über die zukünftige Entwicklung von automatisiertem und vernetztem Fahren (avF) und letztlich des gesamten Mobilitätssystems entscheidet. Mindestens so wichtig ist die gesellschaftliche Einbettung der neuen Technologien und Angebote. Konzepte aus der Transitionsforschung haben den Begriff soziotechnisches System (Geels 2012; Rip und Kemp 1998; Schippl et al. 2022) geprägt um deutlich zu machen, dass bei Innovationen, insbesondere wenn sie große Infrastruktursysteme wie das Energie- oder das Mobilitätssystem verändern, gesellschaftliche und technische Faktoren wechselwirken. Diese Ko-Evolution zwischen technischen und nicht-technischen Faktoren gilt es zu berücksichtigen, um soziotechnischen Wandel zu verstehen und, soweit möglich, zu gestalten.

Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, wie unterschiedlich und vielschichtig die gesellschaftlichen Wirkungen von avF in Debatten, Vorträgen und

Publikationen betrachtet und bewertet werden. Zum Beispiel werden Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit diskutiert, neue verkehrliche Optionen, die durch Fahrzeuge ohne Fahrer ermöglicht werden, Aspekte des Zugangs zur Mobilität als Teilhabe am gesellschaftlichen Leben, Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Verkehr oder Fragen der Effizienz von Infrastrukturen. Es geht um Fragen der Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie, um Arbeitsplätze im Mobilitätssektor und auch darum, einem wachsenden Fahrermangel im Bus- und Lkw-Verkehr durch Automatisierung entgegenzuwirken. Wir können an dieser Stelle nur auf einige dieser Gesichtspunkte eingehen. Die folgenden drei nicht-technischen bzw. gesellschaftlichen Aspekte sehen wir aber als sehr zentral dafür an, ob und vor allem in welcher Form sich avF zukünftig in Mobilitätssystem und Gesellschaft entwickeln werden:

- **Gesellschaftliche Erwartungen** an den Nutzen von Innovationen wie avF sind ein wichtiger Treiber für deren Entwicklung und Verbreitung;
- **Fragen der Akzeptanz** werden häufig als mögliches Hindernis für die Nutzung und Verbreitung von Innovationen wahrgenommen;
- **Ethische Reflexionen** sind u. a. um einen angemessenen Ausgleich zwischen Vor- und Nachteilen von Innovationen bemüht.

3.6.2 Erwartungen und Risiken

Es hat sich gezeigt, dass Erwartungen an den Nutzen von Innovationen wichtig sind für die Motivation und Koordination der Akteure im Innovationssystem (van Lente 1993) und damit letztlich auch für die praktische Implementierung und Verbreitung von Technologien. Unterstützung von und auch Widerstände gegen neue Technologien sind oft eng mit unterschiedlichen Erwartungen an deren Potenzial verbunden. Um Argumente für und gegen unterschiedliche Varianten des autonomen Fahrens besser einordnen zu können, ist es hilfreich, deutlich zu machen, welche Erwartungen im derzeitigen gesellschaftlichen Diskurs zu avF existieren. Dabei zeigt sich, dass es mehrere Erwartungen bzw. Hoffnungen (Chancen) an avF bzw. seine Einsatzmöglichkeiten gibt, die seit einiger Zeit immer wieder von verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen geäußert werden. Nach unseren Beobachtungen lassen sich zumindest die folgenden sechs Erwartungen ausmachen:

- AvF wird die Verkehrssicherheit verbessern;
- AvF wird Verkehr effizienter gestalten und seinen ökologischen Fußabdruck verringern;
- AvF wird (individualisierte) Mobilität für Mobilitätseingeschränkte (und Kinder) ermöglichen;

- AvF wird neue Formen der Zeitnutzung bei der Fortbewegung (Arbeiten, Lesen beim Autofahren) ermöglichen;
- AvF wird neue Formen der gemeinsamen/kollektiven/öffentlichen Mobilität ermöglichen und so die Entwicklung zu einem deutlich nachhaltigeren Verkehrssystem unterstützen;
- AvF wird zur Stärkung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit beitragen.

Im Folgenden gehen wir auf diese Erwartungen etwas näher ein. Dabei möchten wir gleichzeitig aufzeigen, dass mit vielen dieser Chancen auch (nicht-intendierte) Risiken für die Gesellschaft bzw. bestimmte gesellschaftliche Gruppen verbunden sein können (Fleischer und Schippl 2018). Auch diese Risiken und die damit verbundenen Zielkonflikte gilt es bei der weiteren Entwicklung von avF im Blick zu halten.

Sicherheit

Ein Gewinn an Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer ist eine der zentralen Erwartungen an die Automatisierung der Fahraufgabe. Es wird in der politischen und öffentlichen Debatte kaum bezweifelt, dass automatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr grundsätzlich weniger Fehler machen werden als Menschen. Sofern vernetzt, können sich automatisierte Autos z. B. bei Unfällen oder schlechten Straßenverhältnissen gegenseitig Warnsignale übermitteln oder im Falle eines Unfalls die Rettungszentrale verständigen. Ob aber eine Vision Zero, also ein Verkehrsgeschehen ganz ohne Fehler bzw. zumindest ohne tödliche Verkehrsunfälle, perspektivisch wirklich möglich ist, bleibt umstritten.

Doch auch eine so gut wie vollständig automatisierte Steuerung des gesamten motorisierten Verkehrs brächte neue Herausforderungen von gesellschaftlicher Relevanz mit sich. So steigt die Abhängigkeit vom Funktionieren der Roboter immens, wenn Menschen gar nicht mehr selbst fahren können und vielleicht auch das komplexe Gesamtsystem von einem Computer gesteuert wird (Grunwald 2015). Eine Vernetzung von möglichst vielen Fahrzeugen und Infrastrukturelementen gilt aus Sicht der Unfallvermeidung und Systemsteuerung als grundsätzlich wünschenswert. Damit entstehen aber auch zahlreiche Einfallstore für Hacking- oder Hacking-ähnliche Angriffe. Neben einer Entführung von automatisierten Fahrzeugen, bei welcher Angreifer die komplette Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen, sind auch kleinere, eventuell schwer nachweisbare Angriffe denkbar. Beispielsweise könnten entsprechend manipulierte Fahrzeuge falsche Information über das Fahrzeug weitergeben. Solche Entwicklungen könnten also der anfänglichen Erhöhung der Sicherheit durch automatisierte Fahrzeuge entgegenwirken (Schippl und Hillerbrand 2021).

Effizientere Mobilität

Viele Studien weisen darauf hin, dass automatisierter Verkehr zu einer Optimierung der Verkehrsflüsse führen könnte, etwa durch gleichmäßigere und vorausschauende

Geschwindigkeitsregelungen (z. B. adaptive Geschwindigkeitsregulierung, Kreuzungskontrollsysteme; vgl. Fraedrich et al. 2017b). Emissionen und Energieverbrauch ließen sich so reduzieren. Gleichzeitig ließen sich die Kapazitäten von Infrastrukturelementen wie Straßen und Kreuzungen optimieren. Wenn sich die Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen reduzieren, z. B. durch Platooning, führt das zu einem Verkehrsfluss mit kürzeren Fahrzeugfolgen und damit zu einem dichteren Verkehr (BMVI 2017). Zudem könnte der Flächenverbrauch durch Parkplätze reduziert werden, wenn dichteres Parken möglich ist, weil kein Fahrer mehr ein- und aussteigen muss und/oder wenn weniger Fahrzeuge unterwegs wären. Mobilität wird kostengünstiger, wenn der Fahrer von der Fahraufgabe entlastet ist bzw. ganz entfällt. Zu erwähnen ist zudem, dass der Wegfall des Fahrers nicht nur Kosten reduziert, sondern auch dem Mangel an Fahrern insbesondere im Bus- und Lkw-Verkehr entgegenwirken könnte. Jedoch wird ebenfalls diskutiert, ob eine Erhöhung der Kapazitäten und eine Reduktion der Kosten z. B. die Attraktivität des MIV steigert und wieder mehr Verkehr anzieht (Rebound Effekt; vgl. Abschn. 3.1).

Mobilitätsermöglichung

Eine ebenfalls oft genannte Erwartung an vollautomatisierte Fahrzeuge ist die Mobilitätsermöglichung für Menschen ohne Führerschein, z. B. für Kinder/Jugendliche, die noch keinen Führerschein haben, oder für Menschen, die körperlich nicht (mehr) in der Lage sind, selbst ein Auto zu fahren oder weitere Wege zu einer Haltestelle zurückzulegen (EBP 2017). AvF-Angebote müssten dann deutlich günstiger sein als herkömmliche Taxis, die ja bereits heute einen ähnlichen Service bieten würden. Diese Entwicklung geht mit zusätzlichen Wegen, d. h. mit mehr Mobilität einher. Sofern diese nicht mit Fahrzeugen abgewickelt werden, die ohnehin unterwegs sind, steigt damit auch die Fahrleistung. Zudem treten nun auch Leerfahrten im Bereich der Pkw auf. Diese werden nötig, um Fahrzeuge zum Nutzer zu bringen. Strittig bleibt zudem, inwieweit die in den Blick genommenen Nutzergruppen (bzw. deren Eltern) bereit sind, einen solchen Dienst zu nutzen bzw. nutzen zu lassen.

Reisezeitgewinne/neue Formen der Zeitnutzung während der Fahrt

Eine weitere Erwartung an avF sind neue Möglichkeiten der Zeitnutzung bei der (Auto-)Fahrt. Durch Wegfallen der Fahraufgabe könnte die Reisezeit anders – und in der Erwartung mancher auch deutlich produktiver – genutzt werden. Zunächst positiv ist, dass damit die Erreichbarkeit ländlicherer Regionen steigen sollte. Damit steigt aber auch die Attraktivität dieser Regionen als Wohnstandort, was wiederum zu einer stärkeren Zersiedlung und einem Anstieg der Fahrleistung führen könnte (vgl. Abschn. 3.1). Längere Reisezeiten zum Arbeiten, aber auch zu anderen Aktivitäten, könnten eher hingenommen und in den Lebensalltag integriert werden, wenn sich die Fahrzeit für Aktivitäten wie Arbeiten, Filme schauen oder auch zum Schlafen nutzen lässt. Auch Staus könnten vermehrt in Kauf genommen werden. Vorteile des ÖV, dass man eben nicht fahren und keinen Parkplatz suchen muss, würden wegfallen, wenn das für die private Pkw-Nutzung ebenso gilt.

Stärkung nachhaltiger Mobilität

Mit Wegfall der Kosten für das Fahrpersonal lassen sich öffentlich zugängliche Mobilitätsangebote deutlich günstiger anbieten. Viele Experten sehen avF deshalb als eine große Chance, um neue, flexible, effiziente und kostengünstige Mobilitätsangebote (z. B. Robo-Taxis, Shuttles) zu schaffen und um den klassischen ÖPNV zu stärken (Canzler 2019; UITP 2017; vgl. Kap. 1 in diesem Buch). So soll es attraktiver werden, vom privaten Pkw auf andere, in ihrer Gesamtheit nachhaltigere Mobilitätsoptionen umzusteigen und damit die Nachhaltigkeit des Mobilitätssystems zu erhöhen. Folge wäre eine echte Mobilitätswende. Immer wieder wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen (vgl. Abschn. 3.1 in diesem Buch), dass sich solch ein Transformationspfad kaum „automatisch“ mit der Marktreife von avF – sozusagen als Selbstläufer – entwickeln wird. Vielmehr bedarf es begleitender politischer Maßnahmen, die neue Angebote unterstützen und gleichzeitig die Attraktivität des Individualverkehrs reduzieren. Durch die Automatisierung wird sehr wahrscheinlich auch der MIV deutlich an Attraktivität gewinnen und unter Umständen sogar Fahrgäste vom ÖV bzw. vom Radverkehr abziehen. Einige Gründe sind in dem vorliegenden Kapitel bereits genannt: Bereits ab Level 4 könnte der Fahrer in manchen in dieser Stufe bereits zulässigen Betriebsbereichen (etwa bestimmte Straßennetze oder Stau) von der Fahraufgabe entlastet werden. Zudem fällt die oft als lästig empfundene Parkplatzsuche weg, wenn das Auto den Fahrer bzw. Fahrgast absetzen und sich eigenständig einen Parkplatz suchen könnte. Bisher ist offen, in welche Richtung avF das Mobilitätssystem tatsächlich verändern werden (Fraedrich et al. 2017a; Schippl et al. 2022). Das neue Straßenverkehrsgesetz (vgl. Abschn. 6.1) sollte einer Integration von avF in öffentliche Mobilitätsangebote förderlich sein und somit den Transformationspfad Richtung Mobilitätswende unterstützen.

Industrielle Wettbewerbsfähigkeit und Arbeitsplätze

Im Unterschied zu den vorgehend skizzierten Erwartungen stehen hier verkehrliche Wirkungen nicht im Vordergrund. Vielmehr geht es darum, ob avF dazu beiträgt oder sogar unverzichtbar ist, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu stärken und damit Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern.

3.6.3 Zur gesellschaftlichen Akzeptanz von avF

In diesem Abschnitt wird zunächst auf unterschiedliche Zugänge und Rahmungen des Konzepts gesellschaftliche Akzeptanz eingegangen. Im Anschluss präsentieren wir einige Ergebnisse aus einer quantitativen Studie (repräsentative Umfrage) und einer qualitativen Studie (Tiefeninterviews mit Bürgern) zur gesellschaftlichen Akzeptanz von avF. An beiden Studien waren die Autoren federführend beteiligt.

Zum Konzept „soziale Akzeptanz“

Fragen nach der Akzeptanz des avF wurden in den vergangenen Jahren von unterschiedlichen Beteiligten am Innovationsdiskurs immer wieder in den Raum gestellt. So erklärte zum Beispiel der Automobilclub von Deutschland im Jahr 2015: *„Entscheidend für den zukünftigen Erfolg des autonomen Fahrens ist es, die gesellschaftliche Akzeptanz dafür zu fördern und unbegründete Bedenken zu zerstreuen.“* (ACE 2015) Das Bundesverkehrsministerium argumentierte 2017 in seinem Bericht zum Stand der Umsetzung der Strategie zum automatisierten und vernetzten Fahren: *„Der gesellschaftliche Dialog und die Schaffung von Akzeptanz sind zentrale Voraussetzungen für die erfolgreiche Einführung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr.“* (BMVI 2017, S. 11) Die Deutsche Akademie für Technikwissenschaften acatech konstatierte: *„Der Erfolg des automatisierten und vernetzten Fahrens hängt nicht mehr von der technologischen Marktreife ab, sondern maßgeblich von der grundsätzlichen Akzeptanz der Technologie und der durch sie veränderten Lebenswirklichkeit der Menschen.“* (Lemmer 2019, S. 76).

Bereits seit einiger Zeit wird also der „sozialen“ Akzeptanz von avF große Bedeutung zugeschrieben, und das obwohl die Technik noch gar nicht richtig ausgereift oder gar kommerzialisiert ist. Diese große forschungspolitische und mediale Aufmerksamkeit für avF während der letzten Jahre hat eine ganze Reihe von Akzeptanzstudien zum automatisierten bzw. autonomen Fahren initiiert, die ihrerseits vorwiegend einstellungsorientierte und sozialpsychologische Ansätze quantitativer Forschung verfolgten. Diese Studien (vgl. Abschn. 4.1 Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV) konzentrieren sich auf unterschiedliche Akzeptanzthemen: Verbraucherakzeptanz (consumer acceptance), Kundenakzeptanz (customer acceptance), Endnutzerakzeptanz (end-user acceptance) und öffentliche Akzeptanz (public acceptance) gehören zu den Begriffen, die in der Akzeptanzliteratur zum avF regelmäßig verwendet werden.

Wie diese Vielfalt an Themen andeutet, steckt hinter dem Begriff „soziale Akzeptanz“ ein vielschichtiges Konzept, das unterschiedliche Dimensionen umfassen kann (vgl. Lenz and Fraedrich 2015; Lucke 1995). Unsere eigene qualitative Analyse von öffentlichen und wissenschaftlichen Diskursen über avF legt nahe, dass soziale Akzeptanz dort mit mindestens drei verschiedenen Bedeutungen verwendet wird:

- a) als Voraussetzung für den Einsatz bzw. die Diffusion von avF-Technologien und -Dienstleistungen, um damit verbundene politische Ziele wie die Erfüllung der in Abschn. 3.6.2 eingeführten „gesellschaftlichen Erwartungen“ des avF zu erreichen („public policy perspective“),
- b) als Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung und Diffusion von Technologien und Diensten des automatisierten Fahrens, um wirtschaftliche Ziele von Unternehmen wie neue Produkte und Dienstleistungen, Gewinne, die Vermeidung versunkener Kosten, den Erwerb einer gesellschaftlichen Lizenz zum Betrieb von AV-basierten Diensten oder die Erfüllung von Zielen der sozialen Verantwortung von Unternehmen zu erreichen („business perspective“) und
- c) als Metapher für den Umgang mit moralischen Fragen, Wertkonflikten und Akzeptabilität (Grunwald 2005) im Kontext des avF („ethical perspective“).

Dies legt nahe, Adoptionsentscheidungen als Ergebnisse des Zusammenspiels einer in einem weitgehend stabilen institutionellen Rahmen handelnden Gruppe von Innovationsakteuren zu beschreiben zu versuchen. Dadurch würde die in den anderen Ansätzen dominierende Nutzer-(Kunden-/Konsumenten-) Perspektive um die Rolle professioneller Akteure sowie um den Einfluss handlungsleitender Rahmenstrukturen (Institutionen) erweitert und eruiert, inwieweit sich soziale Adoptionsdynamiken bereits frühzeitig erkennen und ggf. gestalten lassen. Mit dieser Absicht haben wir darum an anderer Stelle (Fleischer et al. 2021) eine Arbeitsdefinition für soziale Akzeptanz vorgeschlagen, die sich mit Blick auf das avF wie folgt konkretisieren ließe: *„Soziale Akzeptanz des avF kann definiert werden als eine positive Reaktion (wie z. B. Einstellung, erklärte Präferenz oder Handlung) einer bestimmten Akteursgruppe oder eines Akteursnetzwerks (z. B. Nationalstaat, Regionalverband, Kommune, Organisation) in Bezug auf das avF oder eine Imagination eines zukünftigen Mobilitätssystems, das durch das avF ermöglicht bzw. verändert wird, und die begründete Erwartung, explizite oder stillschweigende Zustimmung zu den damit verbundenen Prozessen ihrer Institutionalisierung innerhalb bestimmter räumlich-zeitlicher Grenzen zu finden.“* Diese zunächst sehr akademisch anmutende Definition weist darauf hin, dass soziale Akzeptanz mehrere unterschiedliche Perspektiven umfasst – neben der aus der klassischen Nutzerakzeptanzforschung bekannten Vielfalt von Akzeptanzformen auch eine Erweiterung der „Akzeptierenden“ um verschiedene soziale Gruppen mit durchaus diversen Interessen sowie eine Erweiterung des „zu Akzeptierenden“ über die eigentliche Technik hinaus auf Vorstellungen des durch sie angestoßenen sozialen Wandels wie auch der sich dafür oder dadurch ändernden Rahmenbedingungen gesellschaftlichen Zusammenlebens.

Beobachtung und Interpretation von Einstellungen zum avF und ihrem Wandel bleiben mithin auch in diesem Verständnis von sozialer Akzeptanz ein wichtiger Teil der Akzeptanzforschung. Insbesondere zwei Punkte sollten aus unserer Sicht in Zukunft noch stärker in der Forschung Beachtung finden, da sie für die Implementierung und Verbreitung von avF wichtig werden können, und das bereits auf der Stufe von Pilotversuchen und Testfeldern. Zum einen werden in vielen Akzeptanzstudien die Akzeptanzobjekte (Was soll akzeptiert werden?) nicht gut konturiert. Oft wird nach „dem“ autonomen Fahren bzw. „autonomen Fahrzeugen“ gefragt, was in seiner Verallgemeinerung der inzwischen auch in der allgemeinen Öffentlichkeit angekommenen Vielfalt von Fahrzeug- und Dienstleistungskonzepten rund um das avF nicht mehr Rechnung trägt und auch nur schwer interpretierbar ist. Weiter unten skizzieren wir Auszüge aus einer repräsentativen Studie, bei der explizit zwischen verschiedenen Formen des avF unterschieden wird.

Des Weiteren deutet unsere eigene qualitative empirische Forschung zu Wahrnehmungen und Einstellungen gegenüber avF darauf hin, dass sich die Argumentationsstrukturen auf mindestens drei unterschiedliche Gruppen von Akzeptanzobjekten richten: Neben (a) dem Fahrzeug selbst, einschließlich seiner Sicherheitsaspekte sowie seines situativen Verhaltens im Verkehr werden auch (b) Erwartungen an Mobilitätsdienstleistungen als Teil des Alltags und das zugeschriebene Potenzial von avF, diese zu

erfüllen, und (c) sehr grundlegende Vorstellungen über eine lebenswerte Umwelt und ein „gutes Leben“ sowie die Rolle, die Mobilität, Mobilitätsdienstleistungen und Mobilitätstechnologien dabei spielen, als relevante Akzeptanzobjekte formuliert. Diese drei Ebenen sind offensichtlich eng miteinander verwoben, und ihre relative Bedeutung für die Ausprägung von Einstellungen und Nutzungsabsichten ist noch unklar. Für die Interpretation quantitativer Studien ist es jedoch von zentraler Bedeutung, diese Konstellationen bei Überlegungen zur Qualität und Reichweite der so gewonnenen Ergebnisse zu berücksichtigen. Weiter unten wird kurz skizziert, wie sich diese unterschiedlichen Akzeptanzobjekte mit qualitativen Methoden empirisch adressieren lassen.

Zum anderen wird es darum gehen müssen, den Begriff der gesellschaftlichen (bzw. sozialen) Akzeptanz – und seine Unterscheidung von den anderen oben angeführten, eher auf individuelle Akzeptanz gerichteten Konzepten – noch besser zu fassen.

Ergebnisse einer quantitativen Studie zur sozialen Akzeptanz von avF

Zunächst greifen wir auf Resultate einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zu Einstellungen, Erwartungen an Wirkungen sowie zu Einstellungen hinsichtlich regulatorischer und institutioneller Veränderungen im Kontext der Einführung des avF zurück, die von unserer Forschungsgruppe entwickelt wurde. Dabei wurden insgesamt 2001 Bürgerinnen und Bürger ab 16 Jahren in einem Mixed-mode-Design (1001 CATI-Interviews und 1000 CAWI-Interviews) befragt. Die Feldphase fand im November 2021 statt. Ankerpunkt der Analyse von Einstellungen zum avF selbst war ein Frageset, das dem mutmaßlichen Wohlbefinden bei der Nutzung unterschiedlicher durch avF-Technologien ermöglichter Mobilitätsangebote gewidmet war: *„Stellen Sie sich bitte einmal vor, es gäbe in Zukunft autonome Straßenfahrzeuge, die in der Lage wären, am öffentlichen Straßenverkehr genauso selbständig teilzunehmen wie es heute Fahrzeuge mit menschlichen Fahrern tun. In welcher Konstellation würden Sie sich denn bei einer Fahrt damit wohlfühlen?“* Angeboten wurden 7 verschiedene Anwendungsfälle (siehe Abb. 3.2): allein in meinem eigenen autonomen Fahrzeug auf der Autobahn bei der heute geltenden Richtgeschwindigkeit (5.1), allein in meinem eigenen autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr (5.2), allein in einem gemieteten autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr (5.3), allein in einem gemieteten autonomen Fahrzeug im Stadtverkehr, bei dem die Fahrt ständig durch einen Tele-Operator überwacht wird (5.4), zusammen mit zwei bis fünf anderen Fahrgästen in einem autonomen Mini-Bus im Stadtverkehr (5.5), in einem halbvollen autonomen Bus in der Größe heutiger Linienbusse im Stadtverkehr (5.6) sowie in einer halbvollen autonomen Straßenbahn im Stadtverkehr (5.7). Diese Fälle decken die drei heute üblicherweise für den Stadtverkehr diskutierten neuen Mobilitätsdienstleistungen (Robo-Taxi, avF-Shuttle, eigenes Fahrzeug) ab und ergänzen sie um weitere Variationen (Robo-Taxi mit/ohne Tele-Operator) und Optionen. Die Befragten konnten auf einer 11-teiligen Likert-Skala antworten mit 0 = „darin würde ich mich überhaupt nicht wohlfühlen“ bis 10 = „darin würde ich mich auf jeden Fall wohlfühlen“ als den beiden Endpunkten.

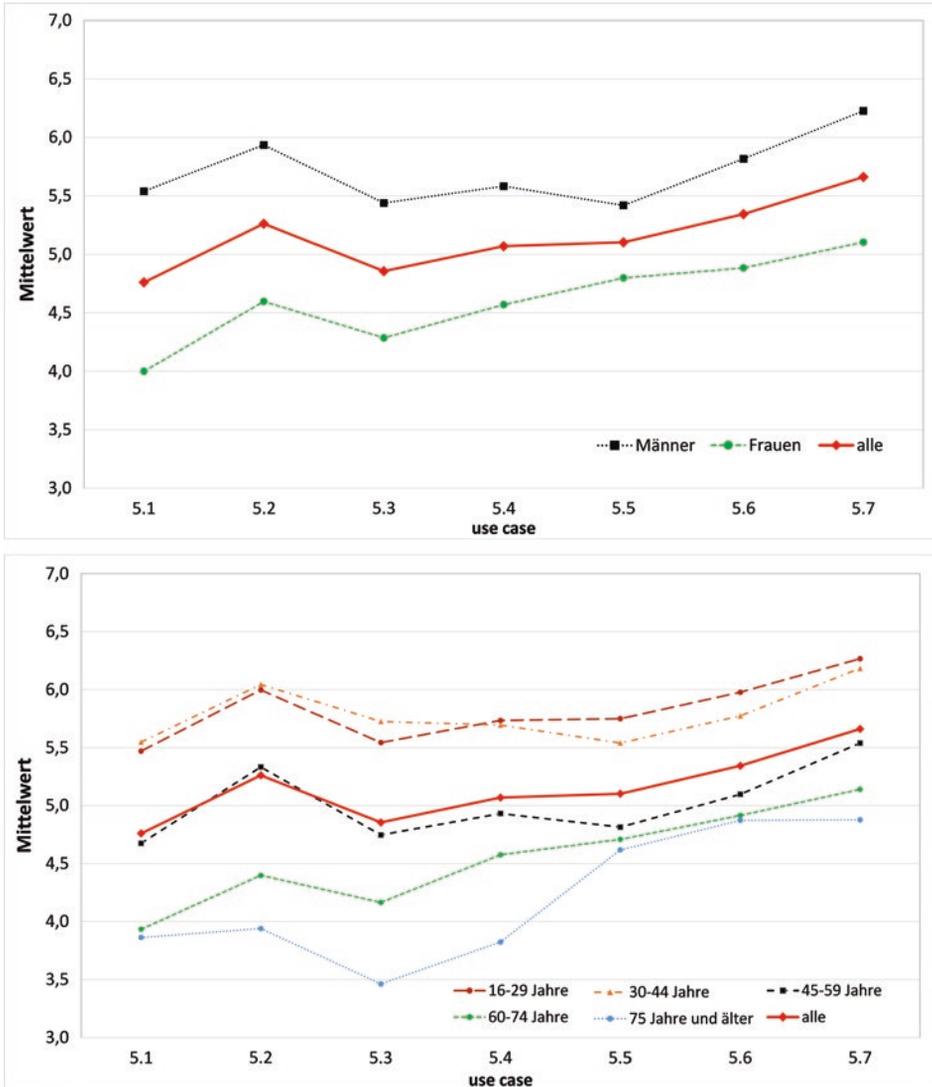


Abb. 3.2 Ergebnisse der quantitativen Befragung (Frage 5, in folgender Reihenfolge: nach Geschlecht; nach Alter; nach Schulabschluss; nach selbstgeschätztem Lebensstandard)

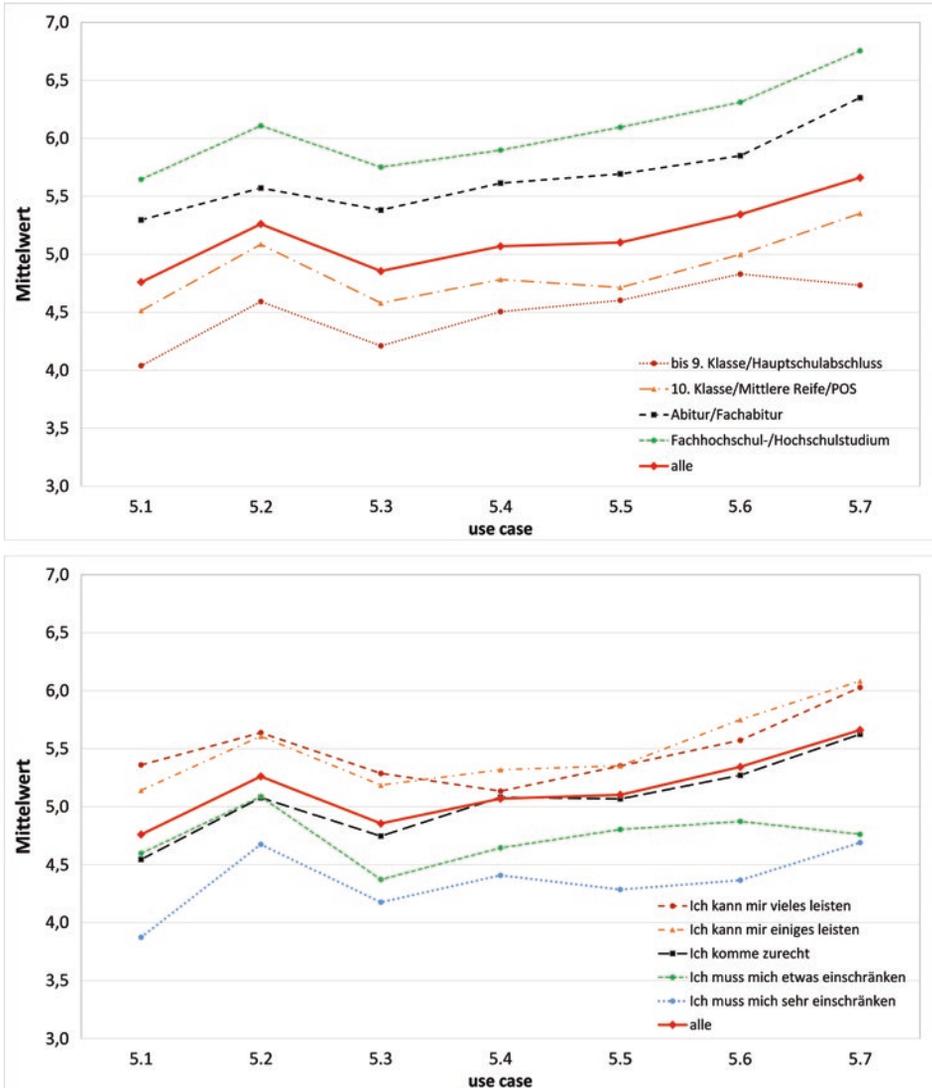


Abb. 3.2 (Fortsetzung)

Etwas mehr als 8 % ($n = 167$) konnten sich bei keiner der sieben genannten Optionen vorstellen, sich darin wohlfühlen (je nach Option lag der Wert zwischen 12 und 21 %). In der Auswertung fällt zudem auf, dass sowohl Mittelwert als auch Median bei allen sieben Items nahe der Verteilungsmitte (5) liegen und die Unterschiede insgesamt eher klein sind, es also in der Gesamtbevölkerung keine ausgeprägte Präferenz für oder Aversion gegen einzelne Anwendungsfälle gab. Weitere Einsichten ermöglicht die Darstellung der Mittelwerte des Antwortverhaltens, differenziert nach unterschiedlichen soziodemografischen Merkmalen.

Hier ist sofort zu erkennen, dass in bestimmten Fällen schon kleine Änderungen des imaginierten Systemdesigns zu messbaren Änderungen im Wohlbefinden führen, etwa durch die Einführung eines Tele-Operators beim Robo-Taxi (5.3 und 5.4) bzw. den Wechsel von Linienbus auf Straßenbahn (5.6 und 5.7). Anschlusshypothese wäre mithin, dass Wohlbefinden in neuen Mobilitätsdienstleistungen (und damit deren Akzeptanz) nicht allein durch Automatisierungskonzept und Automatisierungsgrad („Level“) bestimmt werden, sondern dass hier auch weitere Designfaktoren zu berücksichtigen sind.

Den nach Geschlecht bzw. Alter aufgelösten Darstellungen kann darüber hinaus entnommen werden, dass – unabhängig vom Anwendungsfall – Frauen deutlich seltener als Männer angeben, dass sie sich in automatisierten Verkehrsmitteln wohlfühlen würden (Abb. 3.2). Vergleichbares zeigt sich bei älteren Menschen, deren Angaben zum subjektiven Wohlbefinden durchweg signifikant unter denen Jüngerer liegen (Abb. 3.2). Gleiches gilt für die Differenzierung nach Bildungsgrad, hier gemessen anhand der höchsten abgeschlossenen Schulausbildung. Hochschulabsolventen und Abiturienten schätzen ihr vermutetes Wohlbefinden in avF deutlich höher ein als solche mit Haupt- oder Realschulabschluss. Das Muster repliziert sich bei der Selbsteinschätzung des wirtschaftlichen Wohlergehens (das allerdings in Deutschland stark an den Bildungsabschluss gekoppelt ist). Diese soziodemografischen Variationen decken sich mit Ergebnissen anderer Bevölkerungsbefragungen und Akzeptanzstudien zum avF hinsichtlich der Nutzungs- oder Kaufbereitschaft von automatisierten Fahrzeugen und Diensten oder der Unterstützung ihrer Einführung (Eurobarometer 2019, Abb. 3.3). Es stützt zudem ein Muster, welches sich auch in vielen anderen Umfragen zur Technikakzeptanz (sowohl zu anderen Einzeltechniken als zu Technik allgemein) zeigt.

Die Interpretationen können zwar nicht losgelöst von den Einflüssen anderer soziodemografischer Faktoren vorgenommen werden. Dennoch ermöglichen sie mobilitätspolitische Schlussfolgerungen und weisen zugleich auch auf eine Gestaltungs- und Kommunikationsaufgabe hin: Sowohl die Wissenschafts- als auch die Unternehmenskommunikation führen immer wieder an, dass Mobilitätsermöglichung für Ältere und körperlich Eingeschränkte ein zentrales Motiv für die Forschung und Entwicklung zum avF darstellen. Auch unsere Umfragedaten zeigen, dass dies in der allgemeinen Bevölkerung so erwartet wird. Genau diese Gruppe erweist sich bisher aber als die den neuen Angeboten am wenigsten zugeneigte.

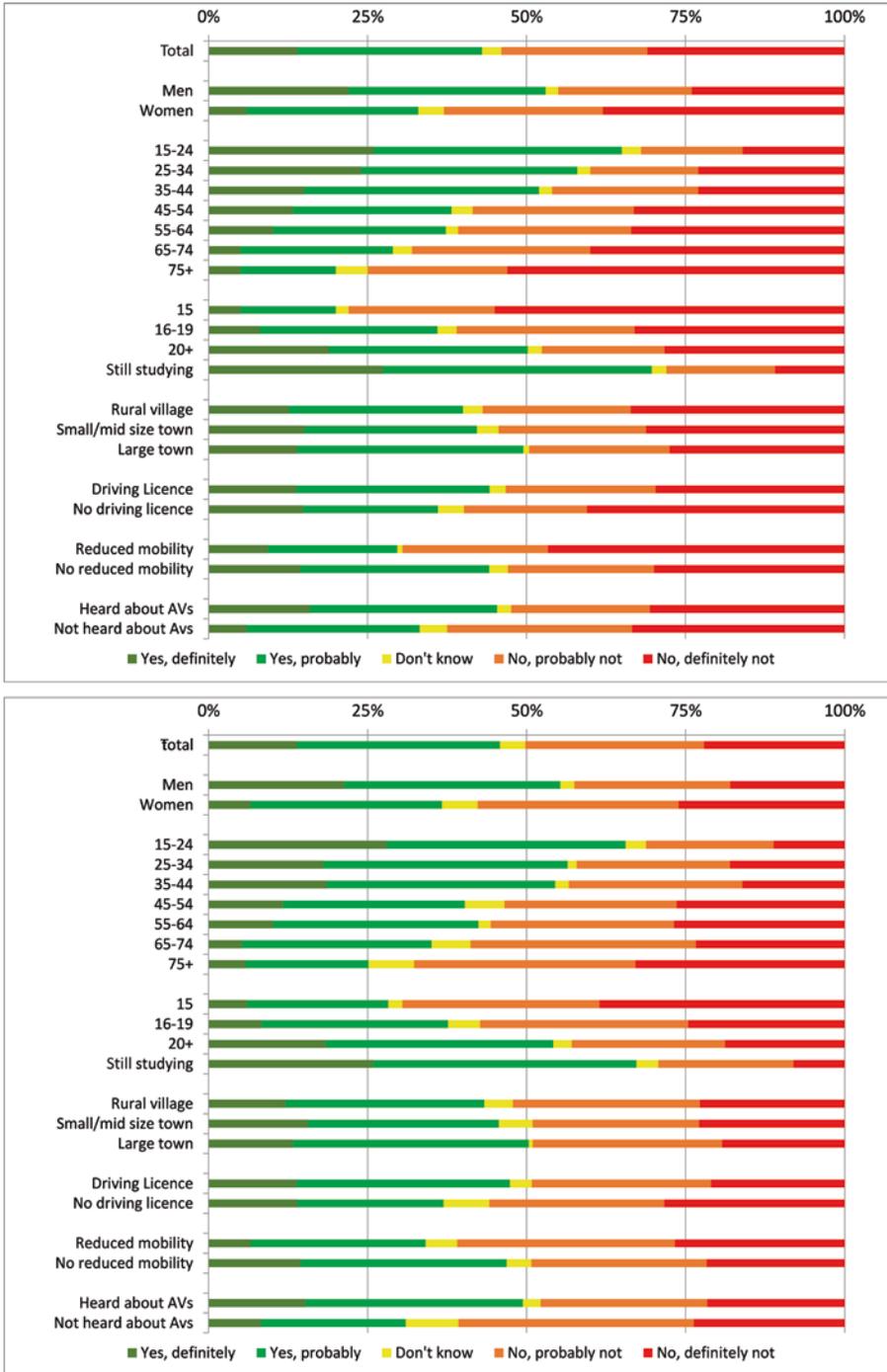


Abb. 3.3 Ergebnisse aus Eurobarometer 2019. Oben: „Are you ready to use FAV“; Unten: Do you support the deployment of FAV

Adressiertes Akzeptanzobjekt	Fokussierte Aspekte
Das Fahrzeug selbst	Bereitschaft, Kontrolle abzugeben
Erwartungen an Mobilitätsdienstleistungen als Teil der Alltagsgestaltung	Relevanz individueller/kollektiver Nutzung für die Nutzungsbereitschaft im Alltag
Grundlegende Vorstellungen über eine lebenswerte Umwelt und ein "gutes Leben"	Erwartete Chancen und Risiken von avF

Abb. 3.4 Bei der Ergebnisdarstellung fokussierte Aspekte

Ergebnisse einer qualitativen Studie zur sozialen Akzeptanz von avF

Um die vielen unterschiedlichen Aspekte aufzuzeigen, die für das Konzept sozialer Akzeptanz im Kontext von avF bedeutsam sein können, möchten wir im Folgenden kurz Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie zu dem Thema präsentieren. Quantitative Befragungen ermöglichen repräsentative Ergebnisse, sind aber auf relativ wenige Fragen reduziert, schon allein, weil die Befragung sonst zu lange dauern würde. Dem Antwortverhalten zu Grunde liegende Begründungsmuster lassen sich so kaum erschließen. Qualitative Ansätze, bei denen Menschen zum Beispiel in einer Art strukturiertem Gespräch zu bestimmten Sachverhalten interviewt werden, erlauben es, komplexere Zusammenhänge auszuleuchten. Allerdings muss dabei in der Regel mit verallgemeinernden Interpretationen deutlich vorsichtiger vorgegangen werden, weil nur eine kleine Anzahl Bürger befragt werden können, aber auch weil die Gespräche je nach Antwortmuster in jedem Interview etwas unterschiedlich verlaufen.

Im Frühsommer 2021 wurde im Karlsruher Ortsteil Weiherfeld-Dammerstock eine Interviewstudie mit Bürgern und Bürgerinnen durchgeführt. In diesem Stadtteil verkehrten seit dem Frühjahr 2021 drei automatisiert fahrende Shuttlebusse im Rahmen des Forschungsprojektes EVA-Shuttle (www.eva-shuttle.de). Die elektrisch betriebenen Minibusse des Herstellers Easymile waren per App buchbar und bedienen ein bestimmtes Gebiet innerhalb des Stadtteils. Die 30 Interviewpartner wurden nach soziodemografischen Kriterien auf Basis einer Melderegisterauskunft in einem Zufallsverfahren ausgewählt. Für das Auswahlverfahren spielte es keine Rolle; ob sie die EVA-Shuttles bereits genutzt hatten oder nicht. Für die leitfaden-gestützten Interviews wurden 10 junge Erwachsene (nach 1981 geboren) ohne Kinder, 10 Elternteile von kleineren Kindern sowie 10 ältere Erwachsene (zwischen 1946 und 1966 geboren) ausgewählt. Die Erhebung erfolgte mit einem bestimmtem methodischen Ansatz, auf den hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden kann (vgl. Puhe et al. 2021; Fleischer et al. 2022). Wir konzentrieren uns im Folgenden auf eine kurze Zusammenfassung zentraler Ergebnisse, die verschiedene Aspekte sozialer Akzeptanz beleuchten (siehe Abb. 3.4).

Bei den jungen Erwachsenen und den Eltern können sich fast alle Befragten zumindest vorstellen, in bestimmten Situationen einer Automatisierung zu vertrauen, die selbständig alle Fahraufgaben und damit die Kontrolle über das Fahrzeug übernimmt. In allen drei interviewten Gruppen wurde dies vor allem damit begründet, dass eine Technologie, die in Deutschland für den Straßenverkehr zugelassen wird, mehr als ausreichend auf ihre Sicherheit überprüft worden sei. Es zeigte sich also ein hohes Vertrauen in die zulassenden Institutionen. Viele der befragten Eltern hätten hinsichtlich der Verkehrssicherheit keinerlei Bedenken, ihre Kinder alleine in einem automatisierten Shuttle mitfahren zu lassen. Deutlich skeptischer waren die Älteren, bei denen sich die klare Mehrheit zunächst einer Automatisierung nicht anvertrauen möchte. Einige können sich aber eine Nutzung nach einer Eingewöhnungsphase vorstellen. Mehrere der Befragten schätzen die Aufgabe, im normalen Verkehr mitzufahren, als zu komplex ein, als dass sie von einer Automatisierung gelöst werden könnte.

Etwas anders gelagert waren die Einschätzungen der jungen Erwachsenen. Mehrere Befragte sahen Vorteile in einer Automatisierung und würden sie in bestimmten Situationen durchaus nutzen, beispielsweise auf langen Autofahrten oder bei Müdigkeit. Gleichzeitig überwog in dieser Gruppe der Wunsch nach einer Teilautomatisierung, bei der der Fahrer eingreifen bzw. die Automatisierung in komplexen Situationen ausgeschaltet werden kann. Grund dafür waren weniger nur Sicherheitsfragen, sondern auch der Aspekt, dass in dieser Gruppe eine Mehrheit in bestimmten Situationen Spaß am Selbstfahren hatte.

Weiter wurde mit den Interviewten erörtert, inwiefern die Ausgestaltung von avF als individuelles (Nutzer ist alleine im Fahrzeug) oder als kollektives Angebot (Nutzer ist mit anderen Personen im Fahrzeug) entscheidend ist für deren Attraktivität. Die Ergebnisse zeigen, dass der Personenbesetzungsgrad nur einer unter mehreren Faktoren ist und oft auch nicht der wichtigste. Besonders die zeitliche Flexibilität, das Einsatzgebiet und die Zugänglichkeit des Angebotes spielen eine entscheidende Rolle für Bewertungsaussagen. Nur wenige Befragte lehnen eine kollektive Nutzung generell ab. Bei der Bewertung von Angebotsoptionen stand demnach deren Passfähigkeit mit den alltäglichen Mobilitätsanforderungen klar im Vordergrund und weniger die Frage, von wie vielen Personen das Fahrzeug genutzt wird.

Die Mehrheit der Befragten erwartet von der Einführung von avF Vorteile für Mobilität und Gesellschaft. So wird besonders bei den Eltern, aber auch in den anderen Gruppen, vielfach die Erwartung geäußert, dass avF-Angebote als Alternative zum eigenen Pkw angenommen werden, sodass die Pkw-Nutzung insgesamt zurückgeht, was wiederum als Gewinn für das Leben im städtischen Umfeld betrachtet wird. Gleichzeitig gab es aber durchaus auch Bedenken. Einige empfanden eine von Automatisierung und Robotern dominierte Welt nicht wünschenswert, weil die „Menschlichkeit“ verloren ginge. Die große Mehrheit sah avF-Angebote wie die Shuttles vor allem als einen Gewinn für mobilitätseingeschränkte Menschen. Allerdings sahen die meisten der interviewten Älteren für sich selbst (noch) keinen Bedarf. Im Hinblick auf gesellschaftliche Risiken durch avF gaben besonderes einige aus der Gruppe der Älteren

zu bedenken, dass avF zu mehr Verkehr führen könnte, sollte es bequemer werden, mobil zu sein. Zudem wurde befürchtet, dass mit avF der Individualverkehr attraktiver und die Bedeutung des eigenen Autos als Statussymbol gestärkt würden.

Insgesamt lassen sich die Reaktionen auf avF als „vorsichtig optimistisch“ umschreiben – zumindest bei den jungen Erwachsenen und bei den Eltern. Viele konnten sich eine Nutzung grundsätzlich vorstellen, die überwiegende Mehrheit sah in avF aber auch keine entscheidende Verbesserung für ihre aktuelle persönliche Mobilität. Es zeigte sich, dass die genaue Ausgestaltung des Angebots wichtig ist für die Nutzungsabsicht. Besonders bei den jungen Erwachsenen wurde Automatisierung zwar grundsätzlich begrüßt, aber für die persönliche Mobilität eher als „nice to have“ angesehen und weniger als Option, das eigene Mobilitätsverhalten zu verändern. Über alle Gruppen hinweg sahen die Befragten weniger individuelle Vorteile, sondern eher für das Mobilitätssystem insgesamt Verbesserungsoptionen durch avF.

Vergleicht man diese Resultate mit den Ergebnissen der quantitativen Befragung, so fällt mit Blick auf Abb. 3.3 auf, dass sich in beiden Befragungen die Älteren eher zurückhaltend zeigen. Bei den Interviews waren viele aus der Gruppe der Älteren recht skeptisch im Hinblick auf eine zuverlässige Umsetzbarkeit der Automatisierung von Fahraufgaben – einige können sich aber vorstellen, dass zukünftige Generationen das anders sehen werden. Die überdurchschnittlich positive Einstellung der Jüngeren in Abb. 3.3 findet sich in der qualitativen Studie nur teilweise wieder. Die meisten jungen Erwachsenen hatten kaum Sicherheitsbedenken, mehrere möchten aber gerne auch selbst fahren, weil sie Spaß am Fahren haben.

3.6.4 Ethische Perspektiven

Ethik kann und soll Orientierung geben, wenn es darum geht, Lösungen für gesellschaftliche Probleme und Herausforderungen zu finden. *„Aufgabe der Technikethik ist es, die normativen Hintergründe von Technikbeurteilungen und Technikentscheidungen nach Maßstäben rationaler Argumentation zu rekonstruieren, um auf diese Weise zu ethisch reflektierten und verantwortbaren Entscheidungen beizutragen“* (Grunwald und Hillerbrand 2021, S. 5). Generell steigt die Nachfrage nach ethischer Reflexion zum wissenschaftlich-technischen Fortschritt, seinen Zielen, Ergebnissen und Folgen seit vielen Jahrzehnten. Technischer Fortschritt, insbesondere wenn er so schnell voranschreitet, wie derzeit die Digitalisierung und Automatisierung, führt immer wieder zu Fragen, für die es (noch) keine klaren Entscheidungskriterien gibt, und damit zu Orientierungsdefiziten, Konflikten und Unsicherheiten (Grunwald und Hillerbrand 2021). Grunwald (2007) spricht in diesem Zusammenhang von *„normativer Unsicherheit“*.

Die vorhergehenden Abschnitte haben gezeigt, dass avF, wie jede andere neue Technologie, nicht als grundsätzlich positiv oder negativ eingeschätzt werden kann. Viele neue Optionen gehen mit avF einher, die wiederum Chancen und Risiken für Mobilität und Gesellschaft nach sich ziehen. Oft sind Chancen und Risiken nicht gleichmäßig über die

Gesellschaft verteilt, sodass es Gewinner und Verlierer geben kann. Daraus ergeben sich Zielkonflikte. Generell sind mit den Dienstleistungen und Folgen des soziotechnischen Systems Mobilität sehr viele unterschiedliche gesellschaftliche Interessen verbunden (z. B. Geschwindigkeit vs. Sicherheit; Umweltschutz vs. Kosten etc.). Solche Zielkonflikte sind nichts grundsätzlich Neues. Teilweise werden durch avF alte Konfliktlinien aufgegriffen, teilweise entstehen aber auch neue Konfliktkonstellationen. Bei solchen Kontroversen geht es keineswegs nur um die Technik selbst, sondern vielmehr auch um moralische Fragen, um unterschiedliche Zukunftsvorstellungen, Menschenbilder oder Gesellschaftsentwürfe (Grunwald und Hillerbrand 2021). Ethische Reflexionen können bei der Abwägung dieser Ziel- bzw. Wertekonflikte Orientierung bieten.

Die Bundesregierung hat bereits 2017 eine Ethikkommission eingesetzt, um ethische Aspekte in den Debatten und Gesetzgebungsverfahren zum Thema avF zu unterstützen. Kernthemen des Berichts sind die Sicherheit und Unfallvermeidung sowie Fragen des Datenschutzes. So argumentiert die Kommission in ihrem Abschlussbericht: *„Die Zulassung von automatisierten Systemen ist nur vertretbar, wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zumindest eine Verminderung von Schäden im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht“* (Ethikkommission 2017). Dabei wird davon ausgegangen, dass eine vollständige Unfallvermeidung nicht möglich sein wird, was entsprechende Entscheidungen bei der Programmierung erforderlich macht.

Damit ist auch das sogenannte Trolley-Dilemma angesprochen, auf das ethische Reflexionen im öffentlichen, aber teilweise auch im wissenschaftlichen Diskurs oft reduziert werden (Schippel und Hillerbrand 2021). Es geht um folgende Situation, die in unterschiedlichen Varianten diskutiert wird: Eine außer Kontrolle geratene Straßenbahn rollt ungebremst über eine Schienenstrecke, auf der fünf Personen festgebunden sind. Es ist klar, dass die Straßenbahn alle töten würde. Nun stellt man sich einen unbeteiligten Beobachter vor, der die Möglichkeit hat, einen Hebel umzulegen und damit eine Weiche anders zu stellen. Infolgedessen würde die Straßenbahn auf eine andere Strecke abgelenkt, auf der nur eine Person festgebunden ist, die aber ebenfalls von der Straßenbahn getötet würde. Das Dilemma besteht also darin, dass mindestens eine Person stirbt, egal ob der unbeteiligte Beobachter den Hebel umlegt oder nicht. Diese Situation wird gerne auf das autonome Fahren übertragen. Beispiel wäre eine Situation, in der ein autonomes Fahrzeug einen Unfall, bei dem 10 Kinder sterben würden, nur vermeiden kann, indem es ein Ausweichmanöver startet, bei dem das Auto zwei Senioren tödlich verletzt. Die Frage wäre, wie ein entsprechender Algorithmus programmiert werden soll. Die oben genannte Ethikkommission lehnt im Hinblick auf eine solche Dilemma-Situation eine Aufrechnung von Opfern ab, hält aber eine Programmierung, die Schaden begrenzt, für vorstellbar: *„Bei unausweichlichen Unfallsituationen ist jede Qualifizierung nach persönlichen Merkmalen (Alter, Geschlecht, körperliche oder geistige Konstitution) strikt untersagt. Eine Aufrechnung von Opfern ist untersagt. Eine allgemeine Programmierung auf eine Minderung der Zahl von Personenschäden kann vertretbar sein. Die an der Erzeugung von Mobilitätsrisiken Beteiligten dürfen Unbeteiligte nicht opfern.“* (Ethik-Kommission 2017, S. 11).

Weiter fordert die Kommission, dass die Technik so gut sein sollte, dass ein avF erst gar nicht in solch eine Situation kommt. Gerade bei einem hohen Vernetzungsgrad zwischen den Fahrzeugen und zwischen Fahrzeug und Infrastruktur ist sicherlich davon auszugehen, dass solche Situationen eher unwahrscheinlich werden – zumindest sollten sie noch deutlich unwahrscheinlicher werden, als wenn ein menschlicher Fahrer das Fahrzeug steuert. Zudem hätte ein menschlicher Fahrer in solchen Situationen wohl kaum die Zeit für eine ethische Abwägung und würde vermutlich sehr intuitiv und vielleicht eher zufällig handeln. Er müsste ja zunächst die Folgen des Unfalls richtig abschätzen können, bevor er seine Entscheidung abwägen könnte. Auch das scheint in vielen Situationen in der Kürze der Zeit wenig realistisch. Selbst wenn man also vorab von allen Verkehrsteilnehmern anerkannte Entscheidungskriterien festlegen könnte, wie z. B., dass eine geringere Zahl an Personen gefährdet werden sollte, so wären avF besser als Menschen in der Lage, die Folgen einer Entscheidung in Sekundenbruchteilen abzuschätzen. So gesehen, könnte Automatisierung möglicherweise helfen, moralische Standards zu erfüllen, die wir ohne Digitalisierung nicht erreichen könnten (Schippl und Hillerbrand 2021). Das würde einem Algorithmus, der ähnlich wie ein Mensch eher zufällig entscheidet, entgegen sprechen. Letztlich sind damit auch Haftungsfragen verbunden, die bisher kaum geklärt sind und auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann. Festzuhalten bleibt, dass sich bei dem Trolley-Dilemma um ein Gedankenexperiment handelt, das vermutlich nur äußerst selten in einer echten Situation und dann nur ansatzweise zum Tragen kommt.

Ähnlich, aber etwas anders gelagert als beim Trolley-Dilemma lässt sich fragen: Wenn es möglich wird, Maschinen eine auf moralischen Grundsätzen basierende Entscheidungsfindung einzuprogrammieren, werden dann Eigeninteressen oder das Gemeinwohl überwiegen? In einer Reihe von Umfragen fanden Bonnefon et al. 2016 heraus, dass die Teilnehmer zwar autonome Fahrzeuge befürworteten, die Passagiere opfern könnten, um andere zu retten, es aber vorziehen würden, nicht in solchen Fahrzeugen zu fahren. Das zukünftige Verhältnis von Eigeninteressen zu Gemeinwohl könnte im Hinblick auf einige andere Fragen schon bald Klärungsbedarf erfordern. Perspektivisch könnte es moralisch geboten sein, menschliche Fahrer zu verbieten, wenn es sich herausstellt, dass avF im Vergleich deutlich sicherer wären. Weiter stellt sich die deutlich weniger dramatisch aufgeladene Frage, ob der Fahrer oder Nutzer eines selbstfahrenden Fahrzeugs den Weg noch selbst bestimmen kann oder ob das eine zentrale Steuerung übernimmt. Muss man vielleicht zu Gunsten der Optimierung des Gesamtsystems einen Umweg in Kauf nehmen (Schippl und Hillerbrand 2021)?

Andere ethische Fragen sind sicherlich viel drängender als das Trolley-Dilemma und sollten zeitnah diskutiert werden. Dabei ist vor allem an angemessene Abwägungsprozesse zwischen den oben angesprochenen Zielkonflikten zu denken. Es geht darum, möglichst frühzeitig die Auswirkungen von avF im Hinblick auf Werte wie Sicherheit, Datenschutz

und ökologische Nachhaltigkeit integrativ zu betrachten und darauf aufbauend entsprechende Maßnahmen oder Regelungen zu etablieren. Zudem ist zu klären, inwieweit, von wem und zu welchem Zeitpunkt derartige ethische Fragen im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahren im Rahmen verkehrspolitischer Entscheidungsfindung zu berücksichtigen sind (Schippl und Hillerbrand 2021). Wichtig sind hier besonders die Auswirkungen von avF auf das Mobilitätssystem als Ganzes. Welches zukünftige Mobilitätssystem möchte die Gesellschaft und wie kann welche Form von avF dazu beitragen?

Fazit und Ausblick zu Abschn. 3.6

Wie die Ausführungen in diesem Beitrag verdeutlichen, hängt die weitere Entwicklung von avF keineswegs nur von technischen Faktoren ab. Gesellschaftliche Erwartungen, Akzeptanzfragen sowie ethische Reflexionen spielen eine mindestens ebenso wichtige Rolle. Anders ausgedrückt: Technische Aspekte sind notwendig, aber nicht hinreichend, um die Entwicklungspotenziale und Realisierungschancen von avF zu verstehen. Es gilt auch die Wechselwirkungen von technischen Entwicklungen und gesellschaftlichen Aspekten im soziotechnischen Mobilitätssystem umfassend zu berücksichtigen. Sowie die technische Seite permanent Änderungen durchläuft, so sind auch die gesellschaftlichen Aspekte nicht als statisches Konstrukt zu verstehen. Insbesondere Akzeptanzfragen, damit verbundene Erwartungen an avF sowie der Stand ethischer Reflexion werden sich ändern und weiterentwickeln. Umso wichtiger ist es, auch im Bereich der gesellschaftlichen Aspekte immer wieder den aktuellen Stand zu erfassen und Entwicklungen fortzuschreiben.

Wie auch andere Beiträge in diesem Buch zeigen, bringt avF sowohl Chancen wie auch Risiken für die Gesellschaft mit sich. Gerade vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, dass gesellschaftliche Reflexionen zu den Erwartungen an die Zukunft von avF stattfinden, die einerseits Befürchtungen berücksichtigen, andererseits versuchen, bei Zielkonflikten über transparente ethische Abwägungen Prioritäten zu setzen. Die Gesellschaft muss in der Lage sein, zu entscheiden, welche Form von avF sie wann und wo möchte – sonst besteht die Gefahr, dass sich die Technik „suboptimal“ entwickelt und womöglich die negativen Wirkungen den gesellschaftlichen Nutzen überwiegen.

Anmerkungen

1. Deutschland Mobil (2020) <https://www.deutschland-mobil-2030.de/vdv-broschuere-doppelseiten-deutschland-mobil-2030.pdf?forced=true>.

Literatur

Weiterführende Literatur

- ACE (2015) Wie weit kann Technik den Fahrer ersetzen? Entwickler oder Gesetzgeber – wer gibt die Richtung vor? Automatisiertes Fahren kein Garant für Unfallverhütung. 53. Deutscher Verkehrsgerichtstag 2015. https://www.ace.de/fileadmin/user_uploads/Der_Club/Dokumente/Verkehrspolitik/Verkehrsgerichtstag/2015/JS-PM_AK_II_Automatisiertes_Fahren_redigiert_n.pdf
- Ackermann T et al (2021a) Digitale Transformation des ÖPNV – Chancen, Lösungen und Herausforderungen für die Branche, S 240 f.
- Ackermann T (2021b) in Gade et al. RAMONA - Realisierung automatisierter Mobilitätskonzepte im Öffentlichen Nahverkehr. Abschlussbericht
- ADAC (2022) Spion im Auto: Diese Fahrzeugdaten werden gespeichert. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistentensysteme/daten-modernes-auto/>
- Agora Verkehrsende (2020) Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität. Durchführung: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin
- ARTEMIS-IA, Advancy (2019) Embedded intelligence: trends and challenges
- Baier R et al (2007) Potenziale zur Verringerung des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ ÖPSV; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST Heft M 190 Bergisch Gladbach 2007
- Bernhart W, Kaise H, Ohasi Y, Schönberg T, Schilles L (2018) Reconnecting the rural: autonomous driving as a solution for non-urban mobility. Roland Berger GmbH, Frankfurt a. M.
- BMVI (2017) Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr Herausforderungen für die zukünftige Verkehrspolitik. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur. In: Zeitschrift für Straßenverkehrstechnik (8 & 9)
- Böckler L et al (2021) Genehmigungsprozesse bei Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen im ÖPNV, ECTL Workingpaper 53/2021, S 38 ff.
- Bösch PM, Becker F, Becker H, Axhausen KW (2018) Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transp Policy* 64:76–91. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- Bubb H (2001) Haptik im Kraftfahrzeug; erschienen in: Jürgensohn T, Timpe KP (Hrsg) Kraftfahrzeugführung. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56721-6_11
- Bundesrat (2021) Vgl. BR-Drs. 86/22, S 66 ff., 71 ff.
- Bundesrat (2022) BR-Drs. 86/22; BGBl. I 22/2022 vom 30.06.2022, S 986 ff.
- Bundesverkehrsministerium (2021) Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr vom 21. Juni 1975 (BGBl. I S. 1573), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. April 2021 (BGBl. I S. 822)
- Bundesverkehrsministerium (2022a) Vgl. § 3 Abs. 2 Nr. 2 AFGBV i. V. m. Anlage 3 AFGBV
- Bundesverkehrsministerium (2022b) Fahrzeug-Zulassungsverordnung vom 3. Februar 2011 (BGBl. I S. 139), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Juni 2022 (BGBl. I S. 986)
- C-ROADS (2022) Documents. <https://www.c-roads.eu/platform/documents.html>
- Canzler W (2019) Autonome Flotten. Mehr Mobilität mit weniger Fahrzeugen. Unter Mitarbeit von Andreas Knie und Lisa Ruhrort. Oekom, München. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6389389>
- Canzler W, Knie A, Ruhrort L (2019) Autonome Flotten. Mehr Mobilität mit weniger Fahrzeugen. Oekom, München. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6389389>

- Del Duce A, Trachsel T, Hoerler R (2020) Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 6: Räumliche Auswirkungen. Forschungsprojekt ASTRA 2018/006 auf Antrag des Bundesamtes für Straßen (ASTRA)
- Deloitte (2019) Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Welche Veränderungen durch Robotaxis auf Automobilhersteller, Städte und Politik zurollen. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/trends/urbane-mobilitaet-autonomes-fahren-2035.html>
- Deublein M (2013) Roadway accident risk prediction based on Bayesian probabilistic networks. Doctoral dissertation, ETH, Zurich
- Deublein M (2020a) Automatisiertes Fahren: Mischverkehr. Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU; Bern 2020. Forschung 2.376. <https://doi.org/10.13100/BFU.2.376.01.2020>
- Deublein M (2020b) Automatisiertes Fahren: Fahrausbildung. Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU; Bern 2020. Forschung 2.387. <https://doi.org/10.13100/BFU.2.387.01.2020>
- Deutscher Bundestag (2021a) Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3108) geändert worden ist
- Deutscher Bundestag (2021b) Vgl. BT-Drs. 19/27439, S 30, 36 f.
- Deutscher Bundestag (2021c) BT-Drs. 19/27439, S 46; vertiefend Leonetti, E. (2021) En. iv, S 101 ff.
- Deutscher Bundestag (2021d) BT-Drs. 19/27439; BGBl. I 48/2021 vom. 27.07.2021, S 3108 ff.
- Deutscher Bundestag (2021e) BT-Drs. 19/27439, S 29 – „Grundsätzlich soll es nicht ausgeschlossen sein, dass die Technische Aufsicht für den Betrieb mehrerer Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen zuständig ist solange jedoch die Wahrnehmung der entsprechenden Pflichten im Einzelfall sichergestellt ist“
- Deutscher Bundestag (2021f) Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3108)
- Deutscher Bundestag (2021g) Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26. April 2012 (BGBl. I S. 679), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3091)
- Deutscher Bundestag (2021h) Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3091)
- Deutscher Bundestag (2021i) Personenbeförderungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. April 2021 (BGBl. I S. 822)
- Deutschland Mobil (2020) <https://www.deutschland-mobil-2030.de/vdv-broschuere-doppelseiten-deutschland-mobil-2030.pdf?forced=true>
- Dierkes F et al (2019) Infrastrukturbedarf automatisiertes Fahren – Grundlagenprojekt. Bremen: Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG 2019; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Fahrzeugtechnik F 130
- DVR (2021) Praxishilfen zur Verkehrssicherheit – Mit Bus und Bahn zur Arbeit; Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V. Berlin und Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik Mannheim 2021. https://www.dvr.de/fileadmin/downloads/materialien-fuer-betriebe-und-oeffentliche-einrichtungen/Praxishilfe_fuer_IK_und_BG/Praxishilfen-zur-Verkehrssicherheit-Mit-Bus-und-Bahn-zur-Arbeit.pdf. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- EBP (2017) Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz Schlussbericht Grundlagenanalyse (Phase A). Zürich. https://staedteverband.ch/cmsfiles/171024_BaslerFonds_aFz_Phase%20A_Schlussbericht_de_1.pdf, zuletzt aktualisiert am 24.10.2017, zuletzt geprüft am 07.06.2022
- Effer, VW Sedic (2018) Während der Fahrt nicht mit dem Computer sprechen (2018), heruntergeladen 04.09.2022. https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-03/vw-sedic-fahrerloser-schulbus-autonomes-fahren-genfer-autosalon?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F

- Engel B, Grenz D (2021) Szenarien für die Karlsruher Oststadt. Umnutzung von Verkehrsflächen als Beitrag zu einer nachhaltigen Quartiersentwicklung. In: Schippl J, Burghard U, Baumgartner N, Engel B, Kagerbauer M, Szimba E (Hrsg) Beiträge aus: Profilverein Mobilitätssysteme Karlsruhe. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S 1–20. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2022012002391930807071>
- ENX (2022) TISAX trusted information security assessment exchange. <https://portal.enx.com/de-de/TISAX/>
- Ethik-Kommission (2017) Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Bericht. Eingesetzt durch den Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile
- EU (2008) Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur
- European Commission (2021) Vehicle safety – technical requirements & test procedures for EU type-approval of event data recorders (EDRs). https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12989-Vehicle-safety-technical-requirements-&-test-procedures-for-EU-type-approval-of-event-data-recorders-EDRs_en
- European Commission (2022a) eCall – Kraftfahrzeugassistenzsystem für Notrufe an die europäische Notrufnummer 112. https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index_de.htm
- European Commission (2022b) Cooperative, connected and automated mobility (CCAM). https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en
- FGSV (2003) Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ESN; Technische Regelwerke FGSV. FGSV Verlag GmbH
- Fleischer T, Schippl J (2018) Automatisiertes Fahren. TATuP 27(2):11–15. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.11>
- Fleischer T, Schippl J, Yamasaki Y, Taniguchi A (2021) Social acceptance of automated driving: some insights from comparative research in Japan and Germany
- Fleischer T, Puhe M, Schippl J (2022) Autonomes Fahren und soziale Akzeptanz: konzeptionelle Überlegungen und empirische Einsichten. J Mobil Verk 12:9–23
- Frank L, Bradley M, Kavage S, Chapman J, Lawton TK (2008) Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. Transportation 35(1):37–54
- Friedrich M, Hartl M (2016) MEGAFON. Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Universität Stuttgart, Stuttgart. <https://www.vdv.de/megafon-abschlussbericht-20161212.pdf>. Zugegriffen: 24. Juli 2018
- Friedrich M, Hartl M, Magg C (2018) „Impacts of vehicle sharing with driverless cars on urban transport“. <https://www.springerprofessional.de/en/impacts-of-vehicle-sharing-with-driverless-cars-on-urban-transpo/16018900>
- Fraedrich E, Heinrichs D, Cyganski R, Bahamonde-Birke F (2017a) Self-driving cars and city planning: expectations and policy implications. German Aerospace Center (DLR), Berlin. https://elib.dlr.de/115077/1/Fraedrich%20et%20al_Self-driving%20cars%20and%20city%20planning_ETC%202017a.pdf
- Fraedrich E, Kröger L, Bahamonde-Birke F, Frenzel I, Liedtke G, Trommer S, Lenz B, Heinrichs D (2017b) Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen. Hg. v. e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) Institut für Verkehrsforschung und Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Studie_AutomatisiertesFahren.pdf

- Gasser T et al (2015) Bericht zum Forschungsbedarf: Runder Tisch au-tomatisiertes Fahren – AG Forschung: Deutsches Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, BMVI 2015
- Gatzke S (2020) Verkehrszulassung autonomer Forschungsfahrzeuge, FMR-Arbeitspapier 6/2020, S 3 ff.
- GDV (2018) Erhöht automatisiertes Fahren die Sicherheit? Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. 2018
- GDV (2019) Verkehrssicherheit an Haltestellen des ÖPNV; Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. 2019. <https://www.udv.de/resource/blob/79426/40d34c59209f5eae33e73218b7f57a42/95-vs-an-oepnv-haltestellen-data.pdf>. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- Geels FW (2012) A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *J Transp Geogr* 24:471–482. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021>
- Gruber C, Sammer G (2019) Erwartungen, verkehrspolitische Auswirkungen und Handlungsbedarf für automatisierte Fahrzeuge und Mobilitätsdienste. *Straßenverkehrstechnik* 63(4):245–254
- Grunwald A (2005) Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. *TATuP* 14(3):54–60. <https://doi.org/10.14512/tatup.14.3.54>
- Grunwald A (2007) Orientierungsbedarf, Zukunftswissen und Naturalismus. Das Beispiel der »technischen Verbesserung« des Menschen. *Dtsch Z Philos* 2007(55/6):949–965
- Grunwald A (2015) Gesellschaftliche Risikokonstellation für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung. In: Maurer M, Gerdes JC, Lenz B, Winner H (Hrsg) *Autonomes Fahren*. Springer, Berlin, S 661–685
- Grunwald A, Hillerbrand R (2021) Überblick über die Technikethik. In: Grunwald A, Hillerbrand R (Hrsg) *Handbuch Technikethik*, 2., aktual. u. erw. Aufl. Metzler, Berlin, S 3–12 (ein Teil von Springer Nature)
- Heinrichs D (2015) Autonomes Fahren und Stadtstruktur. In: Maurer M, Gerdes J, Lenz B, Winner H (Hrsg) *Autonomes Fahren*. Springer Vieweg, Berlin
- Heinze C (2014) § 21 PBefG, Rn. 6 ff. In: Heinze C, Fehling M, Fiedler L (Hrsg) *PBefG-Kommentar*
- Heinze GW, Kill HH (2008) Finanzierung des ÖPNV in dünnbesiedelten, strukturschwachen Regionen: Neue Wege zu einem attraktiven ÖPNV, Abschlussbericht, FE-Vorhaben Nr. 70.0784/2006/im Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008); Büro für Verkehrsplanung und Verkehrsforschung, Prof. Dr. G.W. Heinze; Prof. Dr.-Ing. Heinrich H. Kill. <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2008/08-25/HeinzeKill2008FinanzierungBericht.pdf>
- Holst A (2022) Voraussetzung an die Infrastruktur für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum. Dissertation, Technische Universität Berlin, S 193, 225 ff.
- Hörl S, Becker F, Dubernet T, Axhausen KW (2019) Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge – Eine Abschätzung. Forschungsprojekt SVI 2016/001 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehringenieure und Verkehrsexperten (SVI)
- Ifmo, Trommer S, Kolarova V, Fraedrich E, Kröger L, Kickhöfer B, Kuhnimhof T, Lenz B, Phleps P (2016) *Autonomous driving – the impact of vehicle automation on mobility behaviour*
- International Transport Forum (2014) *Road safety annual report 2014*. OECD Publishing, Paris
- Kirschbaum, Nohroudi, Gerhardy (Door2door) (2021) *Strategiepapier Next Generation Ridepooling*, heruntergeladen 04.09.2022
- Kolb et al (2019) Technische Aspekte des automatisierten Fahrens, in: *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV*, 2020, S 57 ff.; Luchmann et al. (2019), En. i, S 15 ff.
- Kremenovic J et al (2021) *Mobilität findet Stadt – Fokus: Automatisierte Mobilität*; AustriaTech – Gesellschaft des Bundes für technologiepolitische Maßnahmen GmbH, Wien. https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/580a8c1e8f/202105_Mobilitat_findet_Stadt_AM_Web.pdf. Zugegriffen: 29. Juni 2022

- Lang N, Herrmann A, Hagenmaier M, Richter M (2020) Can self-driving cars stop the urban mobility meltdown? Boston Consulting Group, BCG GAMMA, University of St. Gallen. <https://www.bcg.com/de-at/publications/2020/how-autonomous-vehicles-can-benefit-urban-mobility>. Zugegriffen: 5. Mai 2022
- Lanz K, Ruff B, Federer L (2019) Verlässlicher, dynamischer, innovativer – für zukunftsfähige Schweizer Infrastrukturen: Infrastrukturbericht 2019. *economiesuisse* Zürich 2019
- Larsson R, Tingvall C (2013) The safe system approach – a road safety strategy based on human factors principles. In: Harris D (Hrsg) *Engineering psychology and cognitive ergonomics. Applications and services*. EPCE 2013. *Lecture notes in computer science*, Bd 8020. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39354-9_3
- Legèze MF, Auping WL, Correia GHA, van Arem B (2020) Spatial impact of automated driving in urban areas. *J Simul* 14(4):295–303. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1806747>
- Lemmer K (Hrsg) (2019) *Neue autoMobilität II. Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft*. acatech STUDIE. utzverlag GmbH
- Lemmer K (2019) *Neue Automobilität II: Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft*; Aca-tech München 2019
- Lenz B. (2017) *Automatisiertes Fahren: Chancen und Risiken für die Mobilität von morgen*: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 2017
- Lenz B, Fraedrich E (2015) *Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens*. In: Maurer M, Gerdes JC, Lenz B, Winner H (Hrsg) *Autonomes Fahren*. Springer, Berlin, S 639–660
- Leonetti E (2020) *Robo-Shuttles: Chance für den ÖPNV der Zukunft*. *DeineBahn* 2(2020):36 f.
- Leonetti E (2021a) *Rechtsrahmen und offene Regulierungsfragen für die Integration autonomer Verkehrsangebote im ÖPNV*. In: Hermann M, Knauff M (Hrsg) *Autonomes Fahren – Ethische, rechtliche und politische Perspektiven*, S 81, 83 f., 90
- Leonetti E (2021b) *Automatisiertes Fahren – ÖPNV*. In: Chibanguza K, Kuß C, Steege H (Hrsg) *Handbuch Künstliche Intelligenz*, § 3 Q, Rn. 4ff. mwN
- Leonetti E (2021c) *En. iv, S 101 ff., sowie auch Steege, H. (2021) Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren, SVR 2021 128, 131*
- Luchmann I et al (2019) *FOPS-Bericht 70.941 – Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV*, S 10 ff.
- Lucke D (1995) *Akzeptanz*. VS Verlag, Wiesbaden
- Lytrivis P et al (2018) *Assessment of road infrastructure advances for mixed vehicle traffic flows: the INFRAMIX approach*. IRF Global R2T Conference; 07.11.2018; Las Vegas, NV USA
- Lytrivis P et al (2020) *Infrastructure classification scheme; projekt INFRAMIX – road INFRAstructure ready for mIxed vehicle traffic flows in Horizon 2020 Research and Innovation Program der europäischen Union* 2019
- Malzhacker N (2021) § 3 J. *Automatisiertes Fahren – Völker- und Europarecht im Hinblick auf das Zulassungs- und Verhaltensrecht*. In: Chibanguza K, Kuß C, Steege H (Hrsg), *Handbuch Künstliche Intelligenz*. Nomos: Baden-Baden
- Maurer M et al (2015) *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer, Berlin
- May AD, Shepherd S, Pfaffenbichler P, Emberger G (2020) *The potential impacts of automated cars on urban transport: an exploratory analysis*. *Transp Policy* 98(2020):127–138
- Mederle S (2021) *Autonomer Shuttlebus in Bad Birnbach*; Bayerisches Zentrum für Tourismus e. V. Kempten 2021. https://bzt.bayern/wp-content/uploads/2021/01/Best_Practice_Auton_Shuttlebus_Bad_Birnbach.pdf. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- Meyer J, Bösch PM, Becker H, Axhausen KW (2016) *Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge*. *Internationales Verkehrswesen* 69

- Meyer J, Becker H, Bösch PM, Axhausen KW (2017) Autonomous vehicles: the next jump in accessibilities? *Res Transp Econ* 62:80–91. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.03.005>
- Mitschke M, Wallentowitz H (2004) Regelkreis Fahrer-Kraftfahrzeug; erschienen in: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. VDI-Buch. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-662-06802-1_18
- Nassi B, Mirsky Y, Nassi D, Ben Netanel R, Elovici Y (2020) Phantom of the ADAS – securing advanced driver assistance systems from split-second phantom attacks. ACM SIGSAC conference on computer and communications security. 2020. <https://www.nassiben.com/phantoms>
- Neubauer M, Comby F (2022) Abschlussbericht SmartShuttle Sion 2016–2020; PostAuto AG Bern 2022
- Nobis C, Kuhnimhof T (2018) *Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht [Mobility in Germany – MiD report on results]*. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (No. FENr. 70.904/15). Bonn, Berlin
- POSTAUTO (2016) SmartShuttle-Testbetrieb in Sitten wieder aufgenommen; Medienmitteilung vom 6. Oktober 2016; Postauto AG Bern 2016. <https://www.postauto.ch/de/news/smartshuttle-testbetrieb-sitten-wieder-aufgenommen>. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- Puhe M, Schippl J, Fleischer T, Vortisch P (2021) Social network approach to analyze stability and variability of travel decisions. *Transp Res Rec* 2675(9):398–407. <https://doi.org/10.1177/03611981211002200>
- RappTrans AG (2017) *Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs*. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Straßen
- Rentschler C et al (2020) Systemgrenzen in der Routenplanung autonomer Shuttlebusse. In: *Neue Dimensionen der Mobilität*, Proff (Hrsg) S 220, 320
- Rhode P (2018) New Yorks ÖPNV durch Ubers Konkurrenz in Schwierigkeiten. In: *Taxi Times* vom 26.7.2018. <https://www.taxi-times.com/new-yorks-oepnv-durch-ubers-konkurrenz-in-schwierigkeiten/>
- Riener A et al (2020) *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV – Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*. Kommentar Klaus Müller; Vorstand DB Regio Bus. Springer Vieweg, Berlin, S 2020
- Rip A, Kemp R (1998) Technological change. In: Rayner S, Malone EL (Hrsg) *Human choice and climate change*. Columbus, Ohio, S 327–399. <https://www.semanticscholar.org/paper/Technological-change-Rip-Kemp/47395c4a2d310598d1e945873ee3787535df2844#citing-papers>
- Rupprecht S et al (2018) „Automation Ready“ Framework: COEXIST-Project, final report [Version 1]; 2018
- SAE International (2018) *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles*
- Salzburg Research (2021) *Digibus Austria*; Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. Salzburg 2021. <https://www.digibus.at/>. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- Schaarschmidt E et al (2021) *Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt Heft F 138 Bergisch Gladbach 2021*
- Schnieders R (2020) Europäische Fahrzeugzulassung, In: *VerwArch* 2020, 372, 293; Malzhacker, N. in: *Handbuch Künstliche Intelligenz*, Chibanguza K., Kuß, Steege, H. (Hrsg.) § 3 J, Rn. 28 ff.
- Schippl J, Hillerbrand R (2021) *Automatisiertes Fahren*. In: Grunwald A, Hillerbrand R (Hrsg) *Handbuch Technikethik*, 2., aktual. u. erw. Aufl. Metzler, Berlin, S 378–382 (ein Teil von Springer Nature)
- Schippl J, Burghard U, Czech A (Hrsg) (2021) *Soziale Akzeptanz von neuen Mobilitätsangeboten und städtebaulichen Veränderungen. Ergebnisse einer Interviewstudie*. in: *Städtebauliche und sozioökonomische Implikationen neuer Mobilitätsformen*. In: Schippl J, Burghard U, Baumgartner N, Engel B, Kagerbauer M, Szimba E (Hrsg) *Beiträge aus: Profilverregion Mobilitätssysteme Karlsruhe*. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S 31–75. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2022012002391930807071>

- Schippl J, Truffer B, Fleischer T (2022) Potential impacts of institutional dynamics on the development of automated vehicles: towards sustainable mobility? *Transp Res Interdiscip Perspect* 14:100587. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100587>
- Sieber L, Ruch C, Hörl S, Axhausen KW, Frazzoli E (2020) Improved public transportation in rural areas with self-driving cars: a study on the operation of Swiss train lines. *Transp Res Part A Policy Pract* 134:35–51
- Steege H (2021) (2021) Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren. SVR 128:129
- Szimba E, Hartmann M (2020) Assessing travel time savings and user bene-fits of automated driving – a case study for a commuting relation. *Transp Policy* 98:229–237. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.007>
- Szimba E, Leisener L (2021) Wie ändern sich Mobilitätskosten durch die Automatisierung im Verkehr? In: Schippl et al. 2021, S 107–115
- UITP (2017) Autonomous vehicles: a potential game changer for urban mobility. Policy brief. Brussels. https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Policy-Brief-Autonomous-Vehicles_2.4_LQ.pdf
- United Nations (2021) Addendum 159 – UN Regulation No. 160. https://unece.org/sites/default/files/2021-10/R160e%20_0.pdf
- Upstream Security (2021a) Upstream Security’s 2021 Global Automotive Cybersecurity Report. <https://upstream.auto/2021report/>
- Upstream Security (2021b) Vulnerabilities found in agricultural equipment manufacturer’s apps and website. <https://upstream.auto/research/automotive-cybersecurity/?id=8420>
- Upstream Security (2021c) Giant ride-hailing tech found to have interfered with privacy of over 1 million Australians. <https://upstream.auto/research/automotive-cybersecurity/?id=8670>
- van Lente H (1993) Promising technology. The dynamics of expectations in technological developments. Enschede, Univ., Diss. 1993. Delft: Eburon (WMW-publikatie, 17)
- VDV (2021) <https://www.vdv.de/personal-und-fachkraeftebedarf-im-oenpv.aspx>
- VDV (2022a) Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland; Liste & Details der Projekte; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen 2022. <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- VDV (2022b) VDV-Vorschlag 5x25x2025. <https://www.vdv.de/presse.aspx?id=cc7d3967-14bb-4fc7-8025-1ca052f19f52&mode=detail>
- Weber F et al (2019) Designing cooperative interaction of automated vehicles with other road users in mixed traffic environments: interACT D.4.2 Final interaction strategies for the interACT Automated Vehicles [WP4: Suitable HMI for successful human-vehicle interaction]: EU Project interACT 2019
- WEF (2018) Reshaping urban mobility with autonomous vehicles lessons from the City of Boston. In collaboration with The Boston Consulting Group
- Wiener Linien (2021) auto-bus-seestadt; Wiener Linien GmbH & Co KG Wien 2021. <https://www.wienerlinien.at/auto-bus-seestadt>. Zugegriffen: 29. Juni 2022
- Wikipedia (2022) UNECE R155. https://de.wikipedia.org/wiki/UNECE_R_155
- Willi C, Deublein M, Hafsteinsson H (2019) Automatisiertes Fahren: Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit in der Schweiz; [Schlussbericht vom 31. Mai 2018] Fonds für Verkehrssicherheit und EBP Schweiz AG 2019
- Wintersberger P et al (2020) Evaluierung von Benutzeranforderungen für die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und ungeschützten Verkehrsteilnehmern; entnommen aus RIENER ET AL (2020) Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Springer Vieweg, Berlin
- Wuth J, Dorner W (2020) Autonome Shuttlebusse im ÖPNV – Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht; entnommen aus Riener et al (2020) Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Springer Vieweg, Berlin
- ZDF heute Nachrichten/frontal (2021) Geheimagent Tesla – Wie das Auto Daten sammelt. <https://youtu.be/VEomAep-haY>

Jens Schippl (Dipl. Geograf) ist Senior Researcher und Projektleiter in der Forschungsgruppe „Mobilitätszukünfte“ am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie Dozent an der ETH Zürich im Rahmen des MAS/CAS „Mobilität der Zukunft“. Seine Forschungsschwerpunkte sind soziotechnischer Wandel, Akzeptanzfragen, Foresight und Technikfolgenabschätzung im Mobilitätssektor. Seit mehreren Jahren interessiert er sich insbesondere für mögliche Entwicklungspfade und gesellschaftliche Implikationen des automatisierten Fahrens.

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing. Raumplanung) kennt die Welt des ÖPNV aus der Perspektive großer und kleiner Verkehrsunternehmen, von Aufgabenträgern und Verkehrsgemeinschaften, aus seiner Arbeit als externer Verkehrsplaner, aber auch als Vertreter von Bürgerinitiativen, Umwelt- und Verkehrsverbänden. Als Geschäftsführer der Fahrplangesellschaft B&B mbH entwickelt er seit 10 Jahren betriebsnahe und innovative Konzepte für den ÖPNV sowohl im ländlichen wie auch im städtischen Raum und vertritt diese erfolgreich in politischen Gremien. Als sich abzeichnete, dass eines Tages fahrerlose Fahrzeuge in den Verkehrsmarkt eintreten würden, initiierte er mit dem Büro autoBus ein Netzwerk für autonomes Fahren im ÖPNV und begleitet seither Forschungsprojekte bei Konzeption, Genehmigungsverfahren und Umsetzung.

Michael Aleksa (Dipl. Ing.) absolvierte das Studium der „Kulturtechnik und Wasserwirtschaft“ an der Universität für Bodenkultur in Wien. Seit 2003 ist er als Projektleiter und wissenschaftlicher Mitarbeiter am AIT Austrian Institute of Technology im Geschäftsfeld „Transportation Infrastructure Technologies“ beschäftigt. Er hat sich auf die Themenbereiche Verkehrstechnik, Verkehrserhebungen, Verkehrssicherheit sowie Intelligente Transportsysteme (ITS) spezialisiert. Michael Aleksa ist Mitglied der Forschungsgesellschaft für Straße-Schiene-Verkehr (FSV) und der Österreichischen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft (ÖVG) und ist auch im ATTC (Austrian Traffic Telematic Cluster) operativ im Vorstand aktiv. Außerdem hat er eine Zusatzausbildung zum Verkehrssicherheitsauditor und Road Safety Inspektor.

Dr. Willibald Krenn leitet die Research Units „Trustworthy Adaptive Computing“ (TAC) und „Collaborative Perception and Learning“ (CPL) der Silicon Austria Labs GmbH (SAL). Vor seinem Wechsel zu SAL, war er am AIT Austrian Institute of Technology GmbH in verschiedenen Funktionen tätig, zuletzt als Leiter der Dependable Systems Engineering Gruppe. Willibald Krenn hat an der Technischen Universität Graz im Bereich AI promoviert, war als Compilerbauer im High Performance Computing tätig und unterrichtet an der Technischen Universität Wien einen Kurs über Advanced Software Engineering.

Dr. Emanuele Leonetti ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter Verband deutscher Verkehrsunternehmen e. V. Nach seinem Studium der Rechtswissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen war er Gastwissenschaftler am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation und forschte zu den rechtlichen Rahmenbedingungen von On-Demand-Verkehren im ländlichen Raum und promoviert zum Rechtsrahmen autonomer öffentlicher Verkehrsangebote. Beim VDV e. V. betreut er das Thema „Autonomes Fahren im ÖPNV“ und wirkt in verschiedenen Forschungsprojekten und Arbeitskreisen an der Umsetzung des neuen Rechtsrahmens mit.

Dr. Markus Deublein ist Leiter der Forschungsabteilung für Straßenverkehrssicherheit der schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung, BFU. Vorher war er knapp sechs Jahre als Experte im Bereich Straßenverkehrssicherheit beim Ingenieurbüro EBP Schweiz AG tätig. Er beschäftigt sich seit gut 15 Jahren schwerpunktmäßig mit dem Themengebiet der

Straßenverkehrssicherheit. Neben seiner aktuellen Tätigkeit bei der BFU ist er Dozent der Vorlesung «Straßenverkehrssicherheit» an der ETH Zürich sowie Mitglied in nationalen Normierungs- und Forschungskommissionen.

Erik Schaarschmidt (Dipl. Ing.) ist Verkehrsingenieur und verfügt über mehr als 10 Jahre Erfahrung im Bereich der Verkehrsplanung, Verkehrstechnik und Verkehrstelematik. Die Anfänge seiner beruflichen Laufbahn liegen im Bereich der konstruktiven Verkehrsinfrastrukturplanung, wo er als Planungsingenieur erste Erfahrungen als Projektleiter sammelte. Für Rapp Trans ist er als Berater und Projektleiter seit 2013 tätig und beschäftigte sich am Standort Basel (CH) vor allem mit konzeptionellen und strategischen Planungen im Bereich des Verkehrsmanagements. Mit Aufnahme seiner Tätigkeit für Rapp Trans (DE) liegen die Schwerpunkte seiner Arbeit zunehmend in (inter)nationalen Mobilitäts- und Mautprojekten.

Torsten Fleischer (Dipl.-Phys.) hat sich nach einem Physikstudium für die Forschung und Politikberatung zu Prozessen technischen Wandels und deren Wechselwirkung mit gesellschaftlichen Veränderungen entschieden. Er ist heute Leiter der Forschungsgruppe „Mobilitätszukünfte“ am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT. Dort beschäftigt er sich aktuell unter anderem mit Technikfolgenabschätzung an der Schnittstelle von Mobilität und Informatisierung und hierbei insbesondere mit den Möglichkeitsbedingungen und Folgen des Einsatzes automatisierter bzw. autonomer Verkehrsmittel.

Robert Yen (Mag. theol.) ist Vorstand und Partner der Rapp Trans in Deutschland. Seit rund 25 Jahren ist er als Berater für verschiedene internationale Unternehmen tätig. Seit 2002 arbeitet Robert Yen auf dem Feld der Intelligenten Verkehrssysteme. In dieser Zeit war er u. a. als Technischer Projektleiter in Vergabeverfahren bzw. bei der Errichtung von landesweiten Mautsystemen international tätig. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung von Systemstrategien und -konzepten sowie das Design und die Implementierung von Mautsystemen und anderen ITS-Anwendungen. Seit 2015 beschäftigt sich Robert Yen zunehmend mit dem Themenbereich automatisiertes Fahren und der Transformation der Mobilität angesichts der Klimakrise.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Akzeptanz und Nutzbarkeit automatisiertes Fahren

4

Bettina Abendroth, Philip Joisten, Erik Schaarschmidt und
Tania Gianneli

Inhaltsverzeichnis

4.1	Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV	156
4.1.1	Technologieakzeptanz	156
4.1.2	Motive der Verkehrsmittelwahl	157
4.1.3	Soziodemografische Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl	162
4.1.4	Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV	163
4.2	Anforderungen an die Nutzbarkeit eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung spezifischer Nutzergruppen	166
4.2.1	Die Fahrt mit einem automatisierten ÖPNV aus Sicht von Nutzenden	166
4.2.2	Spezifische Nutzergruppen	168
4.2.3	Nutzer-Anforderungen für alle Nutzenden	169
4.3	Kommunikation und Interaktion des automatisierten ÖPNV mit anderen Verkehrsteilnehmern	178
4.3.1	Kommunikation und Interaktion im Straßenverkehr	179

B. Abendroth (✉) · P. Joisten
Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland
E-Mail: bettina.abendroth@tu-darmstadt.de

P. Joisten
E-Mail: philip.joisten@tu-darmstadt.de

E. Schaarschmidt
Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland
E-Mail: erik.schaarschmidt@rapp-trans.de

T. Gianneli
DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH, Berlin, Deutschland

4.3.2 Kriterien für eine gelingende Kommunikation unter Teilnahme eines automatisierten ÖPNV	183
4.3.3 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen	190
Literatur	191

4.1 Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV

Philip Joisten und Bettina Abendroth

Automatisierte Fahrzeuge sollen nicht nur menschliches Versagen im Straßenverkehr, Energieverbrauch und Emissionen reduzieren, sondern auch die Produktivität von Nutzerinnen und Nutzern steigern, deren Fahrkomfort erhöhen und die Mobilität von Menschen mit Mobilitätseinschränkungen verbessern (Gkartzonikas und Gkritza 2019). Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass das Angebot eines automatisierten öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auch Chancen für die Betreiber eines ÖPNV und für die betroffenen Städte und Kommunen bietet (Perret et al. 2018). Die Prämisse dieses Kapitels ist, dass das Angebot eines automatisierten ÖPNV nur dann erfolgreich eingeführt und betrieben werden kann, wenn es von (zukünftigen) Nutzerinnen und Nutzer akzeptiert wird. Erst durch ein attraktives Angebot eines automatisierten ÖPNV, das von Menschen akzeptiert und schließlich genutzt wird, werden die Transformation der Mobilität durch die Integration automatisierter Fahrzeuge ermöglicht und somit ökonomische, soziale und ökologische Potenziale im Mobilitätssektor realisiert.

Die Inhalte in diesem Kapitel behandeln die Leitfrage: „Unter welchen Rahmenbedingungen wird die Nutzung eines automatisierten ÖPNV attraktiv für Menschen?“ Dazu wird zunächst der Begriff der Technologieakzeptanz definiert und im Anschluss auf die Attraktivität eines automatisierten ÖPNV aus der Perspektive von (zukünftigen) Nutzerinnen und Nutzern eingegangen. Es wird erläutert, unter welchen Rahmenbedingungen welche Menschen bereit sind, auf die Bequemlichkeit des eigenen Autos zu verzichten und stattdessen einen automatisierten ÖPNV zu wählen. Abschließend werden Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität eines automatisierten ÖPNV diskutiert.

4.1.1 Technologieakzeptanz

Sowohl im allgemeinen Sprachgebrauch als auch in der wissenschaftlichen Literatur hat sich bislang keine eindeutige Definition des Begriffs (*Technologie-*)*Akzeptanz* durchgesetzt. Dies zeigt sich auch in der (häufigen synonymen Verwendung) der Begriffe Akzeptanz, Intention (zur Nutzung), Zahlungsbereitschaft, Nutzung und Adoption. Im Folgenden wird der Begriff (*Technologie-*)*Akzeptanz* für dieses Kapitel definiert.

Der Prozess der Integration eines Produktes oder Services in den Alltag von Nutzerinnen und Nutzern, der mit dem Aufmerksam-Werden auf ein Produkt oder einen Service beginnt und mit der vollständigen Nutzung des Produkts oder Services durch Nutzerinnen und Nutzer endet, wird von Renaud und van Biljon (2008) als *Technologieadoption* definiert. Im Zuge dessen beschreiben die Autoren die Technologieakzeptanz als relevanten Prozess hin zur vollständigen Technologieadoption. Distler et al. (2018) beschreiben *Technologieakzeptanz* als Wahrnehmung eines Produktes oder Services nach der Nutzung durch Menschen. Somit beschreibt das beobachtbare Verhalten von Menschen bei der (Nicht-)Nutzung eines Produktes oder Services die Technologieakzeptanz (Walter 2021, S. 28). In Modellen zur Erklärung der Nutzung neuer Produkte und Services wird häufig die Verhaltensintention zur Beschreibung der Technologieakzeptanz herangezogen, wenn diese nach einer tatsächlichen Interaktion von Nutzerinnen und Nutzern mit dem untersuchten Produkt oder Service erhoben wird. Auch zur Erklärung der Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen werden in der wissenschaftlichen Literatur solche Modelle eingesetzt, u. a. die Theorie des geplanten Verhaltens (Ajzen 1991), das Technologie-Akzeptanz-Modell (Davis 1989) oder die einheitliche Theorie der Akzeptanz und Nutzung von Technologie (Venkatesh et al. 2003).

Die Beschäftigung mit Technologieakzeptanz als „das beobachtete Verhalten bei der (Nicht-)Nutzung eines Produktes oder Services“ (Walter 2021) führt zu Motiven bzw. Einstellungen von Menschen, die eine (Nicht-)Nutzung beeinflussen. Die oben eingeführten Modelle zur Erklärung von Technologieakzeptanz dienen oft als Grundlage zur Erforschung ebendieser Motive. Einen Überblick über relevante Studien im Bereich der Akzeptanzforschung von automatisierten Fahrzeugen bietet bspw. Benleulmi und Ramdani (2022). Menschliche Motive zur (Nicht-)Nutzung von Verkehrsmitteln, die wiederum das beobachtbare Verhalten von Menschen zur (Nicht-)Nutzung eines bestimmten Verkehrsmittels beeinflussen, liefern wichtige Rückschlüsse zur Erklärung der Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV.

Technologieakzeptanz beschreibt das beobachtbare Verhalten von Menschen bei der (Nicht-)Nutzung eines Produktes oder Services. Somit ist Technologieakzeptanz Teil des Prozesses der Integration eines Produktes oder Services in den Alltag von Nutzerinnen und Nutzern, der mit dem Aufmerksam-Werden auf ein Produkt oder einen Service beginnt und mit der vollständigen Nutzung des Produkts oder Services durch Nutzerinnen und Nutzern endet.

4.1.2 Motive der Verkehrsmittelwahl

Menschen entscheiden sich für oder gegen die Nutzung eines Verkehrsmittels auf der Basis von individuellen Gründen bzw. Motiven. Es existiert eine Vielzahl von theoretisch hergeleiteten und empirisch aufgedeckten Motiven in Hinblick auf die Nutzung

bestimmter Verkehrsmittel. Um zu verstehen, warum Menschen ein spezifisches Verkehrsmittel wählen, werden in diesem Unterkapitel Motive der Verkehrsmittelwahl klassifiziert und beschrieben. Daraus können erste Erkenntnisse zur Beantwortung der folgenden Leitfragen des Unterkapitels gewonnen werden: Welche Motive haben Menschen, einen automatisierten ÖPNV zu nutzen? Und welche Motive stehen der Wahl eines automatisierten ÖPNV zugunsten eines alternativen Verkehrsmittels entgegen?

Motive von Menschen zur Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels können in *instrumentale*, *affektive* und *symbolische Motive* klassifiziert werden. Diese Klassifizierung geht zurück auf das Modell des materiellen Besitzes von Dittmar (1992), das bereits im Kontext der Nutzung von Verkehrsmitteln Anwendung fand (Steg et al. 2001; Steg 2005). Demnach erfüllt ein Verkehrsmittel instrumentale Funktionen (wie bspw. eine gewisse Flexibilität oder Geschwindigkeit zur Zielerreichung), symbolische Funktionen (wie bspw. den Ausdruck eines sozialen Status innerhalb einer Gesellschaft) und affektive Funktionen (wie bspw. Emotionen, die durch die Fahrt mit dem Verkehrsmittel ausgelöst werden) (Steg 2005). Eine Zusammenfassung von Motiven der Verkehrsmittelwahl, die die Verhaltensintention und Akzeptanz zur (Nicht-)Nutzung von automatisierten Fahrzeugen beeinflussen, ist in Abb. 4.1 dargestellt.

Im Folgenden werden die dargestellten Motive der Verkehrsmittelwahl beschrieben.

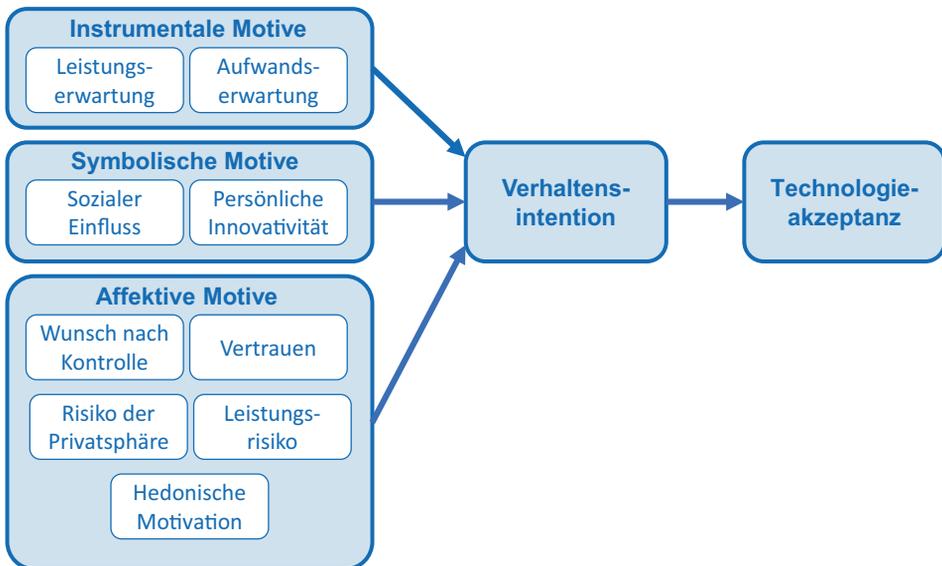


Abb. 4.1 Modell der Technologieakzeptanz eines automatisierten ÖPNV. (Angelehnt an Benleulmi und Ramdani 2022, Übersetzung durch die Autoren)

Instrumentale Motive

Instrumentale Motive der Verkehrsmittelwahl beziehen sich auf die Eigenschaften von Verkehrsmitteln, als Mittel für einen bestimmten Zweck zu dienen. Hierbei stehen die spezifischen Kosten und der spezifische Nutzen eines Verkehrsmittels für ein Individuum im Vordergrund. Anhand von spezifischen Vor- und Nachteilen eines Verkehrsmittels bilden Individuen einen Trade-Off zwischen wahrgenommenen Kosten und Nutzen und entwickeln dadurch eine Präferenz für ein bestimmtes Verkehrsmittel (Steg et al. 2001). Neben monetären Kosten sind beispielsweise Verfügbarkeit, Flexibilität, Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Transportmöglichkeit, Sicherheit und Komfort instrumentale Motive der Verkehrsmittelwahl (Anable und Gatersleben 2005; Jakobsson 2007; Steg 2005). Ein Mensch könnte beispielsweise den individuellen Pkw vor alternativen Verkehrsmitteln bevorzugen, weil es für sie/ihn ein zuverlässiges und flexibles Verkehrsmittel ist, um vom Wohnort zum entfernten Arbeitsplatz zu kommen (Lenz und Fraedrich 2015). Zur Verdeutlichung der individuellen Abwägung zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln anhand von instrumentalen Motiven werden in Abb. 4.2 einige in der in der

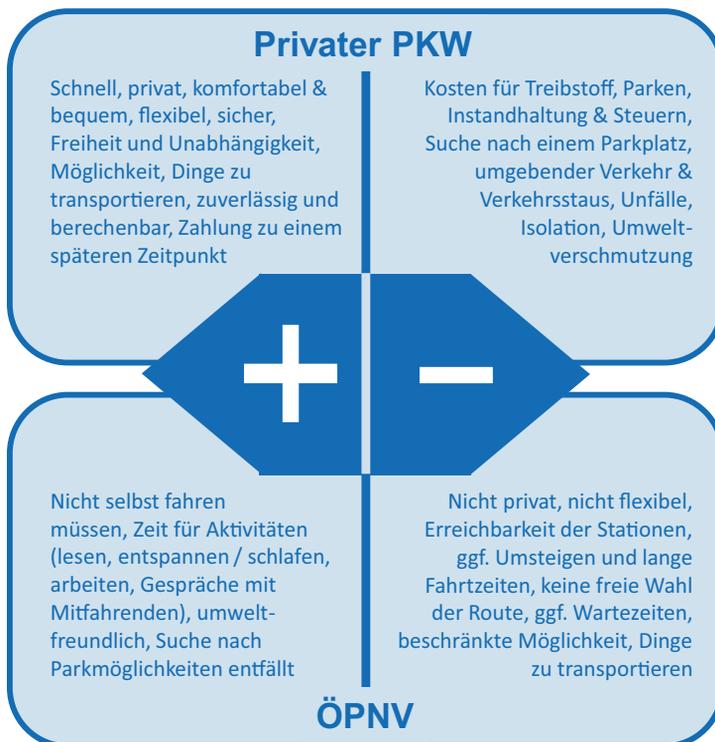


Abb. 4.2 Vorteile und Nachteile der Verkehrsmittel „privater Pkw“ und „ÖPNV“. (Eigene Darstellung, angelehnt an Beirão und Sarsfield Cabral 2007; Hagman 2003; Jakobsson 2007; Steg 2003)

Literatur identifizierten, wahrgenommenen Vor- und Nachteile des privaten Pkws und des ÖPNV zusammengefasst.

In der Literatur werden viele Motive beschrieben, die unter dem Begriff der instrumentalen Motive fallen. Von besonderer Relevanz sind dabei zwei Klassen von instrumentalen Motiven: Leistungserwartung und Aufwandserwartung (Benleulmi und Ramdani 2022).

Die Motivklasse der *Leistungserwartung* bezieht sich auf das Ausmaß, in dem (zukünftige) Nutzerinnen und Nutzer eines automatisierten ÖPNV glauben, dass die Nutzung dieses Verkehrsmittels vorteilhaft für sie ist (Venkatesh et al. 2012). Somit müssen (zukünftige) Nutzerinnen und Nutzer eines automatisierten ÖPNV von dessen Vorteilen überzeugt sein, um diesen zu nutzen. Dabei sind die wahrgenommenen Vorteile individuell verschieden, jedoch werden in der Literatur charakteristische Vorteile eines (automatisierten) ÖPNV genannt, wie bspw. eine erhöhte Produktivität während der Fahrt, ein Zugewinn an Komfort und Flexibilität (Yuen et al. 2022), die aus dessen Nutzung resultieren. Demgegenüber bezieht sich die *Aufwandserwartung* auf das Ausmaß, in dem die Nutzung eines automatisierten ÖPNV einfach für Nutzerinnen und Nutzer ist. Die Einfachheit der Buchung einer Fahrt mit einem automatisierten ÖPNV ist ein Beispiel für eine Aufwandserwartung, die Nutzerinnen und Nutzer gegenüber dem Verkehrsmittel haben können. Die Aufwandserwartung kann somit auch als Einfachheit der Realisierung der Leistungserwartungen beschrieben werden. Gerade in der Einführungsphase eines automatisierten ÖPNV sollte dieses Motiv zur Nutzung des Verkehrsmittels nicht unterschätzt werden, weil die Nutzung des Verkehrsangebots zunächst von Nutzerinnen und Nutzern erlernt werden muss, was einen zusätzlichen Aufwand für Nutzerinnen und Nutzer bedeutet (Zang et al. 2019).

Symbolische Motive

Symbolische Motive entstehen aus symbolischen Funktionen des Verkehrsmittels, beispielsweise durch die Vermittlung von persönlichen Wertvorstellungen und Identität durch die Nutzung und/oder den Besitz eines bestimmten Verkehrsmittels. Die Nutzung oder der Besitz eines Verkehrsmittels unterstreichen auch die soziale Einordnung oder die gesellschaftliche Position eines Individuums (Gatersleben 2007; Lenz und Fraedrich 2015; Steg 2005).

Symbolische Motive beeinflussen die Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen (Madigan et al. 2017). Benleulmi und Ramdani (2022) unterscheiden die Klasse der symbolischen Motive in die Motivklasse des sozialen Einflusses und die Motivklasse der persönlichen Innovativität. Das Motiv des *sozialen Einflusses* bezieht sich auf das Ausmaß, in dem eine Person wahrnimmt, dass andere wichtige Personen in ihrem/seinem sozialen Umfeld der Überzeugung sind, dass sie oder er automatisierte Fahrzeuge nutzen sollte. So wird die individuelle Nutzungsintention positiv davon beeinflusst, ob bspw. Familienmitglieder, Freunde oder Nachbarn der Nutzung eines automatisierten Fahrzeugs positiv gegenüberstehen. Die *persönliche Innovativität* ist eine weitere symbolische Motivklasse der Verkehrsmittelwahl. Sie beschreibt die Eigenschaft eines

Individuums, eine neue Technologie in dessen frühen Phase der Entwicklung zu nutzen. Personen mit einer hohen persönlichen Innovativität stehen der Nutzung eines automatisierten ÖPNV offener gegenüber.

Affektive Motive

Affektive Motive sind eine weitere Kategorie von Motiven zur Verkehrsmittelwahl. Ein Verkehrsmittel ist nicht nur ein Mittel zur Erfüllung bestimmter Zwecke, das einem Individuum ermöglicht, komfortabel und schnell von A nach B zu kommen. Vielmehr müssen auch psychologische Faktoren beachtet werden. Diese sind Emotionen, die mit der Nutzung eines Verkehrsmittels verbunden sind, wie beispielsweise Spaß, Begeisterung, Erregung, Anspannung, Langeweile oder Stress (Gatersleben 2007; Steg et al. 2001). Eine *hedonische Motivation* bzw. positive, emotionale Empfindungen bzw. Spaß bei der Nutzung eines Verkehrsmittels führen dazu, dass Menschen die Fahrt oder Nutzung als solche schätzen. Der Zweck der Fahrt tritt dabei in den Hintergrund. Ergänzend können sekundäre Aktivitäten während der Fahrt positive, emotionale Gefühle bei einem Individuum auslösen und den Nutzen des Verkehrsmittels erhöhen. Beispiele hierfür sind Gespräche mit Mitfahrerinnen und Mitfahrern, die Nutzung des Internets, das Hören von Musik, das Lesen eines Buches oder das passive Nichts-Tun (entspannen oder schlafen) während der Fahrt (Ettema et al. 2012; Gatersleben und Uzzell 2007; Handy et al. 2005; Páez und Whalen 2010).

Der individuelle Pkw unterscheidet sich von anderen Verkehrsmitteln in der besonderen Form der autonomen Mobilität (Automobilität). Autonomie ist ein zentraler Aspekt des Pkws (Gatersleben 2007; Marsh und Collett 1986), der häufig in Verbindung mit den Faktoren Kontrolle, Unabhängigkeit und/oder Freiheit genannt wird (Gatersleben 2007; Lupton 2002; Mann und Abraham 2006; Steg 2003). Die Einschränkung der Autonomie bzw. Kontrolle oder Freiheiten des Individuums wirkt dagegen nachteilig und kann negative Gefühle produzieren. Gardner und Abraham (2007) zeigen, dass die Nutzung des ÖPNV mit einer Delegation von Kontrolle assoziiert wird. Gleichzeitig überschätzen Pkw-Fahrerinnen und -Fahrer oftmals die Kontrolle, die ihnen der Pkw als Verkehrsmittel bietet, weil potenzielle Verzögerungen oder Hindernisse bei der Bewertung ihres Verkehrsmittels nicht genügend reflektiert werden (Gardner und Abraham 2007).

Individuen fällt es schwer, stringent zwischen instrumentalen und affektiven Motiven der Verkehrsmittelwahl zu unterscheiden (Mann und Abraham 2006). Die instrumentalen Aspekte eines Verkehrsmittels können als Ursache für affektive Konsequenzen angesehen werden. So kann beispielsweise Langeweile oder Frustration in Verbindung mit den instrumentalen Eigenschaften Zuverlässigkeit und Fahrtzeit eines Verkehrsmittels gesetzt werden (Gatersleben 2007; Mann und Abraham 2006).

Benleulmi und Ramdani (2022) unterscheiden vier weitere Klassen von affektiven Motiven zur Nutzung von automatisierten Fahrzeugen: Wunsch nach Kontrolle, Vertrauen, Leistungsrisiko und Risiko der Privatsphäre. Der *Wunsch nach Kontrolle* über das genutzte Verkehrsmittel ist insbesondere im Falle des automatisierten bzw. assistierten

Fahrens relevant. Der Abgabe von Fahraufgaben an eine Automation kann zum negativen Gefühl des Kontrollverlusts bei Nutzerinnen und Nutzern eines automatisierten Fahrzeugs führen. Annahmegemäß beeinflusst ein hoher Wunsch nach Kontrolle die Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen negativ. Demgegenüber beschreibt *Vertrauen* das Ausmaß, in dem sich Menschen auf das automatisierte System verlassen (Lee und See 2004). In diesem Sinne wird angenommen, dass ein hohes Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge die Nutzungsintention positiv beeinflusst, während ein geringes Vertrauen zu einer geringen Nutzungsintention führt. Eine weitere affektive Motivklasse der Verkehrsmittelwahl ist das *Leistungsrisiko*, das das wahrgenommene Risiko eines Individuums beschreibt, das mit der Nutzung des Verkehrsmittels verbunden ist. Das Leistungsrisiko eines automatisierten Fahrzeugs deckt viele Facetten ab, bspw. ein Systemversagen oder Fehlfunktionen und die damit verbundenen Leistungs- und Sicherheitsrisiken für Nutzerinnen und Nutzer. Ein spezifisches Leistungsrisiko, das insbesondere bei der Nutzung geteilter automatisierter Fahrzeuge relevant ist, ist das *Risiko der Privatsphäre*. Der Verlust oder die Preisgabe von persönlichen Informationen, um einen automatisierten ÖPNV nutzen zu können, beschreibt eine affektive Motivklasse der Verkehrsmittelwahl, die sich negativ auf die Nutzungsintention auswirken kann.

Zwischenfazit

Nutzerinnen und Nutzer entscheiden sich für oder gegen die Nutzung eines automatisierten ÖPNV auf der Grundlage von instrumentalen, symbolischen und affektiven Motiven der Verkehrsmittelwahl. Das Verkehrsmittel des automatisierten ÖPNV steht im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln, wie dem privaten PKW, dem Fahrrad oder einem konventionellen ÖPNV. Die spezifischen Vorteile von privaten, individuellen Verkehrsmitteln oder nicht-automatisierten, geteilten Verkehrsmitteln bilden die Motive, die der Nutzung eines automatisierten ÖPNV entgegenstehen. Weitere Hürden bilden die Aufwandserwartungen, die Nutzerinnen und Nutzer im Hinblick auf die Fahrt mit einem automatisierten ÖPNV haben. Insbesondere in der Einführungsphase eines automatisierten ÖPNV ist der Aufwand des Erlernens der Nutzung dieses neuen Mobilitätsangebots für Nutzerinnen und Nutzer von Relevanz.

4.1.3 Soziodemografische Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl

Wenngleich die Motive der Verkehrsmittelwahl von individuellen Präferenzen und durch die Rahmenbedingungen der Infrastruktur vor Ort geprägt sind, können in der wissenschaftlichen Literatur auch soziodemografische Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl identifiziert werden. Diese Einflussfaktoren liefern erste Hinweise darauf, wer die (zukünftigen) Nutzerinnen und Nutzer eines automatisierten ÖPNV sind.

Das Alter, das Geschlecht, der Bildungsgrad und die Höhe des Einkommens von Personen sind gängige soziodemografische Faktoren, die in empirischen Befragungen

zur Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV untersucht wurden (Goldbach et al. 2022). Ein sich wiederholender Befund ist, dass junge Menschen und Männer eine höhere Intention zur Nutzung eines automatisierten ÖPNV angeben (Chee et al. 2021; Kassens-Noor et al. 2020).

Die Befunde zu den soziodemografischen Einflussfaktoren zur Nutzung eines automatisierten ÖPNV sollten bei der Einführung dieses Verkehrsmittels berücksichtigt werden. Die Kenntnis über (potenzielle) Nicht-Nutzerinnen und Nicht-Nutzer ist wichtig, um entsprechende Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV zu treffen.

4.1.4 Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV

Ein attraktives Angebot eines automatisierten ÖPNV, das von Nutzerinnen und Nutzern akzeptiert und tatsächlich genutzt wird, sollte die Stärken von individuellen, privaten Verkehrsmitteln und gleichzeitig die Stärken von öffentlichen, geteilten Verkehrsmitteln verbinden. Wenngleich dieser Zielkonflikt (annahmegemäß) nicht komplett gelöst werden kann, sollten beide Ziele bei der Gestaltung und Einführung eines automatisierten ÖPNV bestmöglich berücksichtigt werden. Diesbezüglich werden in diesem Kapitel Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV skizziert. Anhand von Beispielen wird verdeutlicht, durch welche Maßnahmen (aufgeschlossene und nicht aufgeschlossene) Nutzerinnen und Nutzer für das Angebot eines automatisierten ÖPNV gewonnen werden können.

Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV können an den Motiven der Verkehrsmittelwahl ansetzen. Die Erfüllung von instrumentalen, symbolischen und affektiven Motiven der Verkehrsmittelwahl fördert die Akzeptanz und führt schließlich zur Nutzung eines automatisierten ÖPNV. Beispiele für Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV werden in Abb. 4.3 dargestellt.

Bei der Einführung eines automatisierten ÖPNV sollten Planer und Entscheidungsträger zunächst prüfen, ob und in welchem Ausmaß die Leistungs- und Aufwands-erwartungen von Nutzerinnen und Nutzern durch das Angebot eines automatisierten ÖPNV erfüllt werden. Mittels Techniken der Szenario-Analyse können verschiedene Ausprägungen von instrumentalen Motiven und deren Auswirkungen auf die Präferenz von (zukünftigen) Nutzerinnen und Nutzern geprüft werden. Im Zuge dessen sollten verschiedene Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern adressiert werden, um die Wirkung verschiedener Maßnahmen auf die Akzeptanz dieser Gruppen zu untersuchen.

Symbolische Motive der Verkehrsmittelwahl sollten insbesondere bei Maßnahmen des Marketings von automatisierten ÖPNV-Angeboten beachtet werden. Verkehrsmittel erfüllen nicht nur bestimmte instrumentale Zwecke (bspw. die Fahrt von A nach B), sondern vermitteln Nutzerinnen und Nutzern auch Status und Prestige innerhalb einer

Instrumentale Motive	Leistungs- erwartung	<ul style="list-style-type: none"> ● Berücksichtigung der individuellen Zielerreichung von Nutzerinnen und Nutzern, bspw. hinsichtlich der Frequenz der Fahrten ● (Anschluss-)Kompatibilität mit anderen Verkehrsmitteln herstellen
	Aufwands- erwartung	<ul style="list-style-type: none"> ● Einfachheit der Nutzung sicherstellen, bspw. hinsichtlich der Information über eine Fahrt, der Buchung einer Fahrt und der Nutzung des Verkehrsmittels als solches
Symbolische Motive	Sozialer Einfluss	<ul style="list-style-type: none"> ● Ansprache von relevanten Peer-Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern (bspw. Familienmitglieder und Freunde) und Einbezug von Medien zum Abbau von Motiven der Nicht-Nutzung
	Persönliche Innovativität	<ul style="list-style-type: none"> ● Frühe Nutzerinnen und Nutzer in der Einführungsphase eines automatisierten ÖPNV als Multiplikatoren der Akzeptanz nutzen
Affektive Motive	Wunsch nach Kontrolle	<ul style="list-style-type: none"> ● Steward im Fahrzeug und/oder virtuelle Ansprechpersonen (bspw. in Leitwarten), die Nutzerinnen und Nutzer während einer Fahrt (v. a. in der Einführungsphase des automatisierten ÖPNV) begleiten
	Vertrauen	<ul style="list-style-type: none"> ● Vertrauensbildende Maßnahmen hinsichtlich Fahrstil, Transparenz der Automation und Management von kritischen Situationen (wie bspw. Verhandlungen mit anderen Verkehrsteilnehmern)
	Risiko der Privatsphäre	<ul style="list-style-type: none"> ● Schutz der Privatsphäre und der personenbezogenen Daten von Nutzerinnen und Nutzern gewähren und kommunizieren (bspw. durch Datenschutz-Zertifikate)
	Leistungsrisiko	<ul style="list-style-type: none"> ● Strategien / Leitfäden zum Umgang mit kritischen Situationen (bspw. Unfällen) und zum Umgang mit Fahrausfällen (bspw. aufgrund von Wetterbedingungen) entwickeln
	Hedonische * Motivation	<ul style="list-style-type: none"> ● Feedbacksysteme zur Erfassung der User Experience ● Sekundäre Aktivitäten während der Fahrt ermöglichen (in Abhängigkeit der Fahrtzeit von Nutzerinnen und Nutzer)
* positive, emotionale Empfindungen bzw. Spaß bei der Nutzung eines Verkehrsmittels		

Abb. 4.3 Beispielhafte Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV

Gesellschaft. Als innovatives, neues Verkehrsmittel sollte ein automatisierter ÖPNV durch entsprechende Maßnahmen des Marketings beworben und dadurch die Nutzung gefördert werden.

Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV sollten des Weiteren affektive Motive der Verkehrsmittelwahl adressieren. Die Entstehung von und der Umgang mit Emotionen, die Nutzerinnen und Nutzer mit der Fahrt in einem automatisierten ÖPNV verbinden, ist ein zentrales Motiv der (Nicht-)Nutzung dieses Verkehrsmittels. Insbesondere das Vertrauen in das Verkehrsmittel und die Vermittlung von Sicherheit während der Fahrt mit dem Verkehrsmittel sollten sichergestellt werden.

Bei der Auswahl von Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV sollten Planer und Entscheidungsträger berücksichtigen, dass sich die Motive der Verkehrsmittelwahl durch die Nutzung des Verkehrsmittels ändern können. Ein bestimmtes Verkehrsmittel ist umso wichtiger für einen Menschen, je häufiger es genutzt wird. Ein Mensch, der beispielsweise regelmäßig auf den Pkw als Verkehrsmittel zurückgreift, bewertet die wahrgenommenen Vorteile des Pkws stärker positiv als ein Individuum, das selten den Pkw nutzt (Steg 2003). Dementsprechend sollten die Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz des automatisierten ÖPNV kontinuierlich evaluiert werden, um auf Entwicklungen in den Motiven der Verkehrsmittelwahl von Nutzerinnen und Nutzern reagieren zu können. Auch für die Betreiber des automatisierten ÖPNV und das zugrundeliegende Geschäftsmodell bedeutet dies, dass eine Anpassung im Laufe der Betriebsdauer möglich und wahrscheinlich ist.

Schließlich wird die Betrachtung von Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV im soziotechnischen Systemansatz empfohlen. So können Interdependenzen zwischen Motiven von Nutzerinnen und Nutzern zur Verkehrsmittelwahl, dem technischen Reifegrad des automatisierten Fahrzeugs und organisatorischen bzw. regulatorischen Voraussetzungen des Betriebs aufgedeckt und untersucht werden.

Fazit – Attraktivität und Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV

Die Akzeptanz des Mobilitätsangebots eines automatisierten ÖPNV drückt sich durch das beobachtbare Verhalten von Menschen bei der (Nicht-)Nutzung des Verkehrsmittels aus. Damit die Nutzung eines automatisierten ÖPNV attraktiv für Menschen ist, müssen instrumentale, symbolische und affektive Motive der Verkehrsmittelwahl adressiert werden. Durch die Analyse von Motiven der Verkehrsmittelwahl können Rahmenbedingungen identifiziert und abgeleitet werden, die die Nutzung des automatisierten ÖPNV fördern. Dabei sollten sowohl die Stärken von individuellen, privaten Verkehrsmitteln und gleichzeitig die Stärken von öffentlichen, geteilten Verkehrsmitteln berücksichtigt werden.

Die Einführung eines automatisierten ÖPNV schafft für Nutzerinnen und Nutzer ein neues Mobilitätsangebot. Durch das dynamische Zusammenspiel von menschlichen Motiven, technologischer Reife und regulatorischen Voraussetzungen wird die Attraktivität und schließlich die Akzeptanz des automatisierten ÖPNV determiniert. Im Mittelpunkt der Planung und des Betriebs eines automatisierten ÖPNV sollten (zukünftige) Nutzerinnen und Nutzer des Mobilitätsangebots stehen.

4.2 Anforderungen an die Nutzbarkeit eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung spezifischer Nutzergruppen

Bettina Abendroth, Philip Joisten und Tania Gianneli

Um zu erreichen, dass der automatisierte ÖPNV genutzt wird, und auch um bisherige Nicht-Nutzende eines (klassischen) ÖPNV-Angebots von dessen Nutzung zu überzeugen, ist es wichtig, den Menschen als Fahrgast in den Mittelpunkt der Gestaltung von Mobilitätsangeboten zu stellen und seine spezifischen Bedürfnisse zu erfüllen.

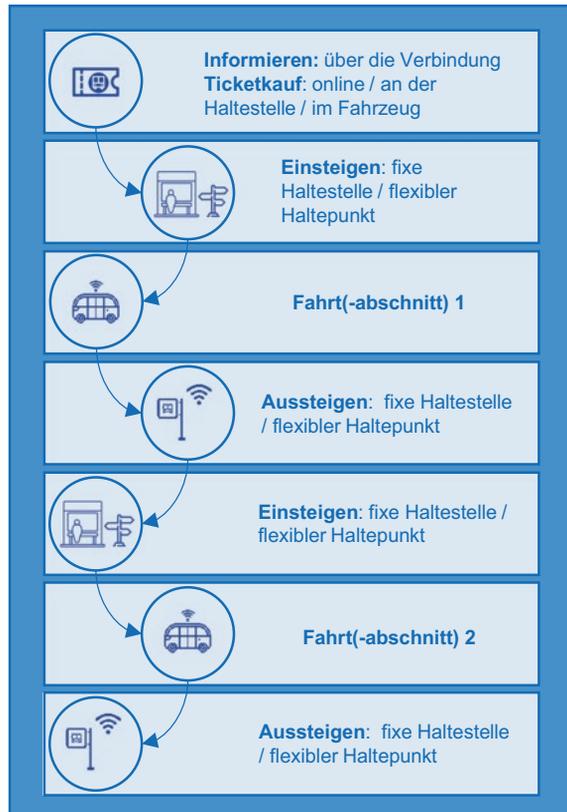
4.2.1 Die Fahrt mit einem automatisierten ÖPNV aus Sicht von Nutzenden

Der Ablauf einer Fahrt unter Nutzung automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV gleicht in weiten Teilen dem Ablauf mit herkömmlichen, menschgeführten Fahrzeugen. Jedoch geben sich an einzelnen Punkten von der Planung bis zur Durchführung der Fahrt durch den Einsatz automatisierter Fahrzeuge spezifische Anforderungen des Fahrgastes bzw. Nutzenden, auf die in diesem Abschn. 4.2 eingegangen wird.

Der Ablauf einer Fahrt gestaltet sich aus Sicht eines Fahrgastes wie in Abb. 4.4 beispielhaft als Customer Journey dargestellt. Hier wird deutlich, dass eine Fahrt mit einem öffentlichen Verkehrsmittel nicht erst mit dem Einsteigen beginnt und nicht mit dem Aussteigen endet.

Zur Vorbereitung einer Fahrt im ÖPNV gehört aus Sicht der Nutzenden das Einholen von Informationen über mögliche Verbindungen zwischen Abfahrts- und Zielort (Haltestellen, Abfahrts-, Ankunfts- sowie ggf. Umsteigezeiten), den Ticketpreis sowie die Möglichkeiten des Ticketerwerbs (online oder an einem Automaten). Nach dem Warten an der Haltestelle oder auch an flexiblen Haltepunkten beginnt die Fahrt mit dem Einsteigen in das Fahrzeug und dem Platznehmen bzw. Stehenbleiben. Daran schließt sich die Fahrt bis zur Ausstiegs- oder Umsteigehaltestelle bzw. zum -haltepunkt an. Falls keine direkte Verbindung zwischen Start- und Ankunftsort gewählt wurde, wiederholen

Abb. 4.4 Beispielhafter Ablauf einer Fahrt im ÖPNV aus Sicht eines Fahrgastes (Customer Journey)



sich die Schritte vom Warten an der Umsteigehaltestelle über das Einsteigen und das Fahren in dem öffentlichen Verkehrsmittel bis zum Aussteigen ggf. sogar mehrmals. Ist der Fahrgast an seiner Zielhaltestelle bzw. seinem Zielhaltepunkt angekommen, setzt er seinen Weg bis zu seinem Zielort fort. Dies geschieht häufig zu Fuß, aber auch andere Fortbewegungsmöglichkeiten werden hierzu genutzt, wie z. B. Fahrräder, e-Scooter, Taxis oder unterschiedliche Varianten der Shared Mobility. Abschließend nutzen einige Fahrgäste die Möglichkeit, die durchgeführte Fahrt oder auch das Verkehrsunternehmen generell zu bewerten. Für routinierte Nutzende, wie z. B. Pendlerinnen und Pendler, entfallen einige der genannten vorbereitenden Aufgaben, wie z. B. das Informieren über die Fahrtmöglichkeiten.

Aus dieser beispielhaften Betrachtung einer Fahrt im ÖPNV ergeben sich für Nutzende Anforderungen zur Fahrgastinformation vor der Fahrt, zum Ticketerwerb, zur Ausstattung von Haltestellen bzw. Haltepunkten und zur Gestaltung des Fahrzeuges sowie insbesondere der Fahrgastinformationen während der Fahrt, auf die im Folgenden eingegangen wird. Zunächst wird die Charakterisierung von potenziellen Nutzenden des automatisierten ÖPNV aus Abschn. 4.1 erweitert um spezifische Nutzergruppen, um im

Sinne eines „Design for all“ die Bedürfnisse aller potenziellen Nutzergruppen berücksichtigen zu können.

4.2.2 Spezifische Nutzergruppen

Um den Menschen mit seinen Mobilitätsbedürfnissen in den Fokus der Gestaltung von Mobilitätsangeboten stellen zu können, ist es wichtig, die Anforderungen, die sich für unterschiedliche Nutzergruppen ergeben, zu kennen. Mobilitätsbedürfnisse hängen stark von der Charakteristik der Nutzenden ab, werden aber zusätzlich vom Mobilitätszweck, der Lebensphase und der Persönlichkeit sowie vom Wetter und der Tagesverfassung bestimmt (Polst und Stüpfert 2019).

In Erweiterung der in Abschn. 4.1 vorgestellten potenziellen Nutzenden des automatisierten ÖPNV sind insbesondere alleinfahrende Kinder, Menschen ohne Ortskenntnis sowie Menschen ohne ausreichende Kenntnisse der deutschen Sprache, mobilitäts- und sinneseingeschränkte Personen sowie ältere Menschen hinsichtlich ihrer spezifischen Bedürfnisse zu berücksichtigen.

Bei jüngeren Kindern, die alleine unterwegs sind, ist zu beachten, dass sie möglicherweise noch nicht gut und schnell lesen können und noch nicht über eine ausreichend ausgeprägte Ortskenntnis verfügen, um sich orientieren zu können. Hinzu kommt, dass Eltern ein erhöhtes Sicherheitsbedürfnis im Hinblick auf ihre alleinfahrenden Kinder empfinden.

Menschen ohne Ortskenntnis haben einen höheren und detaillierteren Informationsbedarf, um sich in einer für sie unbekanntem Umgebung und in einem unbekanntem Verkehrsnetz zurecht zu finden.

Verstehen Personen nicht ausreichend gut die deutsche Sprache, so sind sie darauf angewiesen, dass Informationen für sie dennoch verständlich sind.

Ebenso gilt für sinneseingeschränkte Personen (relevant für die Orientierung in der Umgebung sind hauptsächlich das Sehen und Hören), dass für sie nicht wahrnehmbare Informationen auch über alternative Modalitäten dargeboten werden.

Mobilitätseinschränkungen sind nicht ausschließlich auf körperliche Einschränkungen zurückzuführen. Auch Personen, die mit Kinderwagen oder großen Gepäckstücken unterwegs sind, zählen zu dieser Personengruppe. Bei Menschen mit Mobilitätseinschränkungen ist zu bedenken, dass diese sich i. d. R. langsamer fortbewegen, beim Überwinden von Hindernissen, z. B. in Form von Absätzen und Stufen, Schwierigkeiten haben und ggf. einen größeren Platzbedarf aufgrund von mitgeführten Gegenständen (Hilfsmitteln, Kinderwagen, Gepäckstücke) haben.

Ältere Menschen können neben den bereits erwähnten Mobilitäts- und möglicherweise Sinneseinschränkungen wenige oder gar keine Kenntnisse im Umgang mit neuen Technologien haben.

Prototypische Nutzer und Nutzerinnen (sogenannte Personas), die bei der Gestaltung von Mobilitätsangeboten stellvertretend für eine Personengruppe mit spezifischen Bedürfnissen hinsichtlich des zu entwickelnden automatisierten ÖPNV-Angebots stehen, sind in Abb. 4.5 benannt.

Der 78-jährige Herr Müller zählt zu den Personen mit Mobilitätseinschränkungen und er besitzt kein Smartphone, er hat generell Schwierigkeiten mit der Bedienung neuer Technologien. Lina hat in der Schule gerade erst Lesen gelernt, auch sie besitzt noch kein Smartphone. Frau Schick ist durch ihren Rollstuhl mobilitätseingeschränkt, aufgrund ihrer Tätigkeit für ein IT-Unternehmen ist sie an den Umgang mit neuen Technologien gewöhnt. Die erst seit kurzem in Deutschland lebende Frau Rossi versteht die deutsche Sprache noch nicht und verfügt über keine ausgeprägte Ortskenntnis an ihrem neuen Wohnort. Herr Walter ist gemeinsam mit seiner kleinen Tochter, die im Kinderwagen sitzt, unterwegs und deswegen mobilitätseingeschränkt. Das Merkmal der sinneseingeschränkten Menschen trifft auf den blinden Herrn Schmidt zu.

Die Fahrten, die diese Menschen im ÖPNV begehen, verteilen sich auf regelmäßige Pendelfahrten, z. B. zum Arbeitsplatz oder zur Schule, spontane und geplante Freizeitfahrten zum Besuch von Verwandten und Freunden oder zum Einkaufen. Die Fahrzeiten verteilen sich somit über den gesamten Tag bis hin zum Abend und teilweise in die Nacht.

4.2.3 Nutzer-Anforderungen für alle Nutzenden

Unter Berücksichtigung der in Abschn. 4.1 und 4.2.2 beschriebenen Nutzenden des ÖPNV werden in diesem Kapitel die Anforderungen, die sich während der Vorbereitung und Durchführung einer Fahrt mit automatisierten Fahrzeugen aus Sicht von Nutzenden ergeben, erläutert.

Fahrgastinformation

Eine gute und angemessene Fahrgastinformation ist während der gesamten Customer Journey, die in Abb. 4.4 von der Planung bis zur Fahrt selber beschrieben ist, notwendig, um den Nutzenden einen akzeptablen, zufriedenstellenden und komfortablen ÖPNV zu bieten. Die im Folgenden beschriebenen Anforderungen sind nicht ausschließlich auf das automatisierte und vernetzte Fahren (avF) beschränkt, sondern sind auf alle Arten von Verkehrsmitteln des ÖPNV anwendbar. Jedoch muss beim avF insbesondere berücksichtigt werden, dass in automatisierten Fahrzeugen keine Fahrerin bzw. kein Fahrer zur Verfügung steht, die/der fahrtbezogene Auskünfte geben kann, z. B. zu der Frage, ob das gewünschte Fahrtziel von dem Fahrzeug angefahren wird oder wo ggf. umgestiegen werden muss, oder als Autoritätsperson fungiert und somit auch Sicherheit vermittelt.

 <p>Herr Müller (78 Jahre) Herr Müller ist auf eine Gehilfe angewiesen und besitzt kein Smartphone.</p> <p>Fahrtziele: Besuch der Familie; geplante Fahrten (vormittags/nachmittags)</p>	<p>Lina (7 Jahre) Lina besucht die 2. Klasse der Grundschule, sie besitzt noch kein Smartphone.</p> <p>Fahrtziele: Schule (täglich vormittags) gemeinsam mit anderen Kindern, die ihre Schule besuchen</p>
 <p>Frau Schick (45 Jahre) Frau Schick sitzt im Rollstuhl und arbeitet für ein IT-Unternehmen.</p> <p>Fahrtziele: spontane Freizeifahren (abends/nachts); oft wechselnde und unbekannte Ziele</p>	<p>Frau Rossi (33 Jahre) Frau Rossi kommt aus Italien, sie lebt erst seit 4 Wochen in Deutschland und spricht kein Deutsch.</p> <p>Fahrtziele: Fahrt zum Arbeitsplatz und zum Einkaufen (vormittags/nachmittags)</p>
 <p>Herr Walter (39 Jahre) mit Fiona (2 Jahre) Herr Walter betreut seine Tochter Fiona und besucht oft Spielplätze mit ihr.</p> <p>Fahrtziele: Freizeifahren / mit Kinderwagen und Gepäck (geplant und spontan)</p>	<p>Herr Schmidt (52 Jahre) Herr Schmidt ist blind, er arbeitet in einem Hotel im 3-Schichtbetrieb.</p> <p>Fahrtziele: Fahrt zum Arbeitsplatz, zum Einkaufen und zum Besuchen von Freunden (vormittags/nachmittags/abends)</p>

Abb. 4.5 Beschreibung potenzieller Fahrgäste des (automatisierten) ÖPNV in Form von Personas

Informieren



Die Interaktion mit dem Mobilitätsanbieter beginnt bereits bei der Suche nach geeigneten Verbindungen mit öffentlichen Verkehrsmitteln, hierzu werden heute in der Regel Webseiten oder auch Apps angeboten. Diese Informationsbeschaffung findet entweder an einem beliebigen, von der Haltestelle entfernten Ort statt oder auch erst direkt an der Haltestelle. Da nicht alle Menschen über die Möglichkeit verfügen, die digitalen Informationsangebote zu nutzen, ist es weiterhin notwendig, über Aushänge und Anzeigen an der Haltestelle die Menschen über Fahrtmöglichkeiten zu informieren sowie analoge Fahrpläne oder ähnliche Informationsangebote zur Nutzung anderenorts vorzusehen. Mobilitätszentralen können eine zusätzliche Auskunftsmöglichkeit für Menschen ohne Internetzugang bieten oder zur Beantwortung von weitergehenden Fragen dienen. Insbesondere in der Einführungsphase von avF können Mobilitätszentralen auch dazu beitragen, über das neue Angebot zu informieren und mögliche Nutzungshemmnisse (siehe Abschn. 4.1) zu überwinden. Zu den relevanten Informationen zur Planung einer Fahrt gehören neben der Abfahrts- und Zielhaltestelle ggf. die Informationen über den konkreten Abfahrts-/Ankunftsort an größeren Haltestellen (z. B. Bussteig Nummer und Lage) sowie ergänzende Hinweise, wie die Wege zwischen den Haltestellen und dem Start- und Zielort des Nutzers bewältigt werden können. Neben diesen örtlichen/räumlichen Informationen sind die zeitlichen Informationen wesentlich; diese betreffen die Abfahrts- und Ankunftszeiten sowie ggf. Umsteigezeiten. Zur besseren zeitlichen Planbarkeit erhöhen Echtzeit-Informationen zu möglichen Verspätungen den Komfort der Nutzenden. Weiterhin benötigen die Nutzenden von ÖPNV-Angeboten bereits bei der Planung ihrer Fahrt Auskünfte zu dem Fahrpreis, welche Arten von Tickets verfügbar und für ihren Zweck passend sind und wie bzw. wo ein Ticket erworben werden kann.

Einsteigen



Auf Basis der Ergebnisse der oben beschriebenen Planung der Fahrt sucht der Fahrgast an der Haltestelle den konkreten Abfahrtsort des von ihm gewählten Busses aus. Dazu ist es hilfreich, wenn dieser hinreichend gut durch (digitale) Anzeigen und Beschilderungen markiert ist. Um in den richtigen Bus einsteigen zu können, ist es notwendig, dass das Fahrtziel sowie die Zwischenhaltestellen eindeutig ausgewiesen sind. Dies sollte zum einen am Bus selber angezeigt werden sowie zusätzlich an der Haltestelle, damit der Fahrgast ausreichend Zeit hat, sich zurechtzufinden. Zusätzlich zu den Informationen zu Abfahrtsort, Zielort und Zwischenhalten des Busses erhöhen Echtzeitinformationen zur Ankunft des Busses an der Abfahrtshaltestelle den Komfort des Fahrgastes.

Neben einer barrierefrei zugänglichen und auffindbaren Haltestelle sind auch die dortigen Informationen zur Nutzung des ÖPNV barrierefrei zu gestalten und verfügbar zu machen. An der Haltestelle betrifft dies das Haltestellenschild sowie die Informations- und Fahrplantaafeln.

Das Haltestellenschild sollte einen ausreichenden Kontrast (Kontrastmarkierungen) aufweisen oder in Signalfarben gestaltet sein, um auch für Sehbehinderte sichtbar und nicht zum Hindernis zu werden. Für Blinde sollte der Haltestellenmast in einem Abstand von mindestens 60 cm zu den Bodenindikatoren eingebaut werden.

Informations- und Fahrplantaafeln sollten in einer mittleren Sichthöhe angebracht werden und stufenfrei erreichbar sein, um auch für rollstuhlnutzende, kleinwüchsige Personen und Kinder einsehbar zu sein. Nach DIN 18040-3 kann von einer durchschnittlichen mittleren Sichthöhe von 1,30 m ausgegangen werden. Für eine bessere Lesbarkeit ist eine blendfreie Beleuchtung hilfreich. Das Vorhandensein einer 1,50 × 1,50 m großen Bewegungsfläche vor der Informationstafel erleichtert die Anfahrbarkeit für Rollstuhlfahrer.

Fahrt



Während der Fahrt sind für den Fahrgast eine Übersicht der Reihenfolge der Haltestellen bzw. Haltepunkte sowie die Information über den nächsten Halt wichtig, sodass er die Anzahl der vor ihm liegenden Halte und somit die für ihn relevante Aussteige-/Umsteigehaltestelle im Überblick behalten kann. Darüber hinaus ist anzukündigen, dass das Fahrzeug an der nächsten Haltestelle anhalten wird. Insbesondere bei kleinen Shuttle-Bussen wird nicht an jeder Haltestelle die Notwendigkeit des Fahrgastwechsels bestehen, sodass diese Information von hoher Relevanz ist. Echtzeitinformationen zu möglichen Verspätungen der eigenen Fahrt sowie möglicher Anschlussfahrten erhöhen den Komfort und auch die User Experience für Fahrgäste. Die genannten Informationen sollten durch Anzeigen im Fahrzeug gegeben werden. Zusätzlich sind individualisierte Informationen über das Smartphone der Fahrgäste denkbar, die gezielt über die individuelle Haltestelle und den weiteren Weg bis zum Zielort informieren.

Neben den Informationen zu Haltestellen und Fahrtablauf wurde in Studien der Bedarf geäußert, die Passagiere über die Funktionsweise des automatisierten Busses, insbesondere in Bezug auf das Wahrnehmen der Umgebung und die Durchführung von Manövern, wie Abbiegen, Bremsen oder das Ausweichen vor Hindernissen, zu informieren (Pigeon et al. 2021).

In Abb. 4.6 sind die aus Sicht von Fahrgästen relevanten Informationen sowie die dafür einsetzbaren Informationsmedien zusammengefasst aufgeführt. Darüber hinaus sind Personengruppen mit spezifischen Bedürfnissen hinsichtlich der Informationsdarstellung in Form von Personas benannt.

Fahrgastinformationen		
 Informieren / Ticketkauf	Relevante Informationen <ul style="list-style-type: none"> • Lage von Ziel- und Ankunftshaltestelle • konkreter Abfahrts-/Ankunftsort an größeren Haltestellen (Bussteig) • Verbindungsmöglichkeiten zwischen Start-/Zielort und den Haltestellen • Abfahrtszeiten • Umsteigezeiten • Echtzeitinformationen zur Pünktlichkeit • Fahrpreis • Verfügbare Arten von Tickets • Möglichkeiten des Ticketerwerbs 	Informationsmedien <ul style="list-style-type: none"> • Webseiten • Apps, Aushänge und Anzeigen an Haltestellen • Fahrplanbücher • Mobilitätszentralen
 Einsteigen	Relevante Informationen <ul style="list-style-type: none"> • Eindeutige Markierung des Abfahrtsortes an der Haltestelle • Fahrtziel und Zwischenhalte des Busses • Echtzeitinformationen zur Zeit bis zur Ankunft des Busses an der Einsteigerhaltestelle 	Informationsmedien und -orte <ul style="list-style-type: none"> • Aushänge an der Haltestelle • Digitale Anzeigen an der Haltestelle • Digitale Anzeigen am Bus • Individualisierte Fahrtinformationen der App über das Smartphone des Fahrgastes (zusätzlich möglich)
 Fahrt	Relevante Informationen <ul style="list-style-type: none"> • Übersicht der Reihenfolge der Haltestellen • Ankündigung der nächsten Haltestelle • Ankündigung des Anhaltens an der nächsten Haltestelle • Echtzeitinformationen zu möglichen Verspätungen der eigenen Fahrt sowie möglicher Anschlussfahrten • Funktionsweise des Busses (Wahrnehmen der Umgebung, geplante Manöver) 	Informationsmedien und -orte <ul style="list-style-type: none"> • (Digitale) Anzeigen im Bus • Individualisierte Fahrtinformationen der App über das Smartphone des Fahrgastes (zusätzlich möglich)
Insbesondere zu berücksichtigende Personen	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  <p>Herr Müller (78 Jahre) Herr Müller ist auf eine Gehhilfe angewiesen und besitzt kein Smartphone.</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  <p>Frau Rossi (33 Jahre) Frau Rossi kommt aus Italien, sie lebt erst seit 4 Wochen in Deutschland und spricht kein Deutsch.</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">  <p>Lina (7 Jahre) Lina besucht die 2. Klasse der Grundschule, sie besitzt noch kein Smartphone.</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  <p>Herr Schmidt (52 Jahre) Herr Schmidt ist blind, er arbeitet in einem Hotel im 3-Schichtbetrieb.</p> </div>

Abb. 4.6 Zusammenfassende Auflistung der relevanten Informationen und möglichen Informationsmedien bei der Fahrgastinformation unter Berücksichtigung spezifischer Personengruppen

Bei der Gestaltung von Fahrgastinformationen sollten die Prinzipien der Informationsdarstellung berücksichtigt werden (siehe auch DIN EN ISO 9241-112 (2017)):

- Entdeckbarkeit (Erkennbarkeit, Auffälligkeit, Kontinuität)
- Lesbarkeit
- Unterscheidbarkeit
- Eindeutige Interpretierbarkeit (Klarheit, Verständlichkeit)
- Kompaktheit (Prägnanz)
- Konsistenz

Für eine gute Kommunikation sind visuelle Signale mit auditiven (Sprache, Benachrichtigungstöne) und textlichen Mitteilungen zu kombinieren (Riener et al. 2021). Daraus ergibt sich, dass Anzeigen Informationen über unterschiedliche Modalitäten übermitteln sollten (visuell, auditiv, haptisch, z. B. über vibrierendes Smartphone).

Ein weiteres wichtiges Thema der Fahrgastinformation wird in Zukunft das Kapazitätsmanagement betreffen, das insbesondere in kleinen Shuttle-Bussen mit begrenzten Mitfahrkapazitäten relevant sein wird (Mirnig et al. 2021). Informationen zu verfügbaren Mitfahrplätzen bzw. der erwarteten Auslastung des Verkehrsmittels sollten im Vorhinein bei der Planung der Fahrt und an der Haltestelle gegeben werden. Ergänzt werden sollte diese Angabe möglicher Fahrplätze um mögliche Fahrtalternativen.

Falls Sitzplätze im Vorhinein buchbar sein sollten, ist zu berücksichtigen, dass dies unter Umständen die Möglichkeit der spontanen Mitfahrt einschränkt und nicht alle Personen Zugang zu Online-Buchungsplattformen haben. Weiterhin sollte eine Vergabe von Sitzplätzen auch die Bedürftigkeit der Fahrgäste beachten.

Auch müssen Lösungen bedacht werden, wie mögliche Konflikte zwischen Fahrgästen um die knappen Mitfahrplätze gelöst werden können, wenn sich keine Autoritätsperson, z. B. der Fahrer, im Fahrzeug befindet und möglicherweise von Personen im Vorhinein gebuchte Sitzplätze durch andere Personen bereits belegt sind.

Ticketerwerb

Informieren/Einsteigen



Die bisherigen Möglichkeiten des Ticketerwerbs online über die App des Verkehrsunternehmens oder über einen Ticketautomaten an der Haltestelle bzw. im Fahrzeug bleiben auch bei der Nutzung des automatisierten ÖPNV bestehen. Jedoch fällt bei automatisierten Fahrzeugen der Kauf eines Tickets im Bus direkt bei dem Fahrer bzw. der Fahrerin weg und somit auch die Möglichkeit, persönliche Auskünfte zum benötigten Ticket zu erhalten. Hier könnte eine Ansprechperson in einer Mobilitätszentrale unterstützen.

Im Sinne eines modernen ÖPNV-Systems sollten unabhängig vom Einsatz automatisierter Busse e-Ticketsysteme mit Check-in- und Check-out-Möglichkeiten zusätzlich in Betracht gezogen werden.

Ausstattung von Haltestellen und Haltepunkten

Einsteigen/Aussteigen



An fest eingerichteten Haltestellen sind aus Sicht der ÖPNV-Nutzenden insbesondere die räumliche Kompaktheit, die Haltestelleninfrastruktur (z. B. Sitzgelegenheiten, Wetzschutz), Informationsangebote und spezifische Lösungen für mobilitäts- und sinneseingeschränkte Menschen wichtig (Solecka et al. 2020). Konzepte der Mobility-as-a-Service (MaaS) sehen das Halten der Fahrzeuge an beliebigen Haltepunkten vor. Hier werden die nutzerbezogenen Anforderungen an die Haltestellen nur zum Teil erfüllt werden können. Jedoch ist davon auszugehen, dass Menschen mit spezifischen Bedürfnissen die Haltepunkte entsprechend ihren Anforderungen auswählen und zugunsten eines individuellen Haltepunktes auf einen Teil des durch eine ortsfeste Haltestelle zur Verfügung gestellten Komforts verzichten.

Feste Haltestellen sind wie im bisherigen konventionellen Busverkehr barrierefrei zu gestalten, um die spezifischen Anforderungen mobilitätseingeschränkter und sinneseingeschränkter Personen zu berücksichtigen.

Beim barrierefreien Haltestellenausbau ist auf ein funktionierendes Zusammenspiel zwischen taktilem Leitsystem, Ausgestaltung des Hochbordes sowie den spezifischen Eigenschaften der eingesetzten Fahrzeuge zu achten. Eine der wesentlichen Grundlagen der barrierefreien Gestaltung ist das Zwei-Sinne-Prinzip für sensorisch eingeschränkte Menschen. Dieses beinhaltet, dass Informationen und Orientierungshilfen über mindestens zwei der drei Sinne Sehen, Hören und Fühlen (Tasten) übermittelt werden. Eine barrierefreie Haltestelle soll bestimmte Anforderungen erfüllen. Diese umfassen mindestens (Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart 2021):

- einen stufenlosen, barrierefreien Zugang vom umgebenden Wegenetz zum Aufstellbereich
- die Verfügbarkeit einer ausreichenden Manövriertfläche für Rollstuhlfahrer und Kinderwagen
- das Vorhandensein taktiler und kontrastreicher Bodenelemente und Leitstreifen
- einen Ausbau des Bordsteins der jeweiligen Haltestelle auf eine Höhe von mindestens 18 cm (Hochbord)

Ausstattung der Fahrzeuge

Hinsichtlich der Ausstattung automatisierter Busse ergeben sich für die Fahrgäste Anforderungen, die das Ein- und Aussteigen, den Innenraum sowie die Fahrgeschwindigkeit der Busse betreffen. Diese Aspekte werden hier im Hinblick auf die aktuell auf dem Markt befindlichen Shuttle-Busse, die auch als Minibusse bezeichnet werden können, diskutiert.

Einsteigen



Um ohne Unterstützung durch den Fahrer oder die Fahrerin eines Busses entscheiden zu können, ob der Bus die Zielhaltestelle anfährt, sind visuelle/auditive Anzeigen an der Außenseite des Busses mit den entsprechenden Informationen zu versehen. Dabei sollte über das Endziel des Busses und über Zwischenhalte Auskunft gegeben werden. Hier ergibt sich die Herausforderung, relevante Informationen einerseits übersichtlich und schnell erfassbar darzustellen und andererseits hinreichend viele Detailinformationen zur Verfügung zu stellen. Da die Informationsbedürfnisse in diesem Fall sehr individuell sind, und diese nicht alle durch Anzeigen am Fahrzeug selbst erfüllt werden können, sind weitere Informationsmedien für diese Aufgabe vorzusehen, wie beispielsweise die App des Verkehrsunternehmens oder Informationsangebote an der Haltestelle.

Insbesondere für mobilitätseingeschränkte Personen mit Gehhilfen, mit Kinderwagen oder mit sperrigem Gepäck ist darauf zu achten, dass beim Ein- und Aussteigen keine hohen Absätze zwischen Haltestelle und Fahrzeug bestehen. Da kein Fahrer im Fahrzeug das Öffnen und Schließen der Türen steuert, muss durch technische Maßnahmen gewährleistet werden, dass das Fahrzeug so lange anhält, bis alle Personen eingestiegen sind und Platz genommen haben bzw. wieder ausgestiegen sind.

Fahrt



Der Fahrzeuginnenraum sollte so gestaltet sein, dass ausreichend persönlicher Platz zur Verfügung steht und die Privatsphäre gewahrt bleibt. Auch die Unterbringung von Gepäck, Kinderwagen oder Gehhilfen muss in dem Fahrzeug möglich sein. Befragungen haben gezeigt, dass Fahrgäste einen Sitzplatz in Fahrtrichtung bevorzugen (Pigeon et al. 2021).

Um die Attraktivität von Verkehrsmitteln zu steigern, sollte auch berücksichtigt werden, wie die Fahrgäste die Fahrtzeit verbringen möchten, und die Innenraumausstattung daran angepasst werden, z. B. durch das Anbieten von kostenfreiem WLAN oder Lademöglichkeiten für Mobilgeräte. Zur Fahrgastinformation müssen in dem Fahrzeug entsprechende Anzeigemöglichkeiten vorgesehen sein, die von allen Plätzen der Fahrgäste aus eingesehen werden können. Diese Anzeigen sollten die im Abschnitt Fahrgastinformation/während der Fahrt genannten Informationen darbieten.

Mehrere Studien haben gezeigt, dass Fahrgäste in fahrerlosen Shuttlebussen des ÖPNV Bedenken hinsichtlich der persönlichen Sicherheit generell und insbesondere nachts haben sowie das Notfallmanagement hinterfragen (Mahmoodi Nesheli et al. 2021; Luger-Bazinger et al. 2021). Zur Gewährung der persönlichen Sicherheit im Fahrzeuginnenraum ist zu überlegen, ob diese durch eine Videoüberwachung und Verbindung in eine Leitzentrale zu leisten ist. Eine weitere, wahrscheinlich aus Kosten- und Platzgründen nicht realisierbare Möglichkeit ist der Einsatz einer menschlichen Begleitperson im Fahrzeug. Dennoch haben Studien gezeigt, dass insbesondere die Akzeptanz von Älteren und Menschen mit Mobilitäts- oder Sinneseinschränkungen durch die Anwesenheit einer menschlichen Begleitperson im Fahrzeug positiv beeinflusst wird (Kyriakidis et al. 2020) und auch Bedenken mobilitäts- und sinneseingeschränkter Personen hinsichtlich der Zugänglichkeit (Hwang et al. 2020) reduzieren könnten. Insbesondere in der Einführungsphase eines automatisierten ÖPNV kann eine Ansprechperson z. B. als Begleitung im Fahrzeug oder auch als Beratung und Unterstützung an der Haltestelle wichtig sein, damit das neue Mobilitätsangebot besser akzeptiert wird und Nutzungshemmnisse überwunden werden.

Die bisher in Testfeldbetrieben eingesetzten automatisiert fahrenden Shuttle-Busse wurden von den Nutzern aufgrund ihrer geringen Fahrgeschwindigkeit im Vergleich zu alternativen Reisemöglichkeiten als nicht wettbewerbsfähig wahrgenommen (Mahmoodi Nesheli et al. 2021; Nordhoff et al. 2018). Bei der Integration von avF in den ÖPNV ist deshalb zu prüfen, auf welchen Strecken automatisierte Busse einen Mehrwert für Reisende bieten können.

Fazit – Anforderungsbereiche und spezifische Nutzende

Um die Attraktivität des ÖPNV durch den Einsatz von avF zu erhöhen, müssen die Anforderungen von aktuellen und potenziellen Nutzenden in den Fokus der Gestaltung von Mobilitätsangeboten gerückt werden. Mobilitätsangebote umfassen die gesamte Customer Journey, d. h. neben der eigentlichen Fahrt sollte der gesamte Prozess aus Sicht eines Fahrgastes von der Planung einer Fahrt bis zum Erreichen des Zielortes betrachtet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die individuellen Anforderungen der Reisenden aufgrund ihrer menschlichen Charakteristik und ihrer Mobilitätszwecke unterscheiden. Insbesondere die spezifischen Bedürfnisse von alleinifahrenden Kindern, Menschen ohne Ortskenntnis oder ohne ausreichende Kenntnisse der deutschen Sprache, mobilitäts- und sinneseingeschränkte Personen sowie ältere Menschen sollten bedacht werden.

Die Anforderungen aus Sicht der Fahrgäste betreffen die Fahrgastinformation, den Ticketerwerb, die Ausstattung von Haltestellen/Haltepunkten und die Ausstattung der Fahrzeuge.

4.3 Kommunikation und Interaktion des automatisierten ÖPNV mit anderen Verkehrsteilnehmern

Erik Schaarschmidt und Philip Joisten

Eine der größten Herausforderungen für die Einführung eines automatisierten ÖPNV wird der Mischverkehr im städtischen Raum sein, bei dem ein automatisiertes Fahrzeug mit seiner Umwelt und dabei insbesondere mit anderen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden interagieren muss. Bei einer Fahrt im öffentlichen Verkehrsraum wird das automatisierte Fahrzeug zwangsläufig in Situationen eintreten, bei denen durch kooperatives Verhalten eine Interaktion mit anderen motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden stattfindet. Abhängig von den künftigen Anwendungsbereichen eines automatisierten und nicht-schienengebundenen ÖPNV können typische Verhaltensmuster in verschiedenen Szenarien beschrieben werden (wie z. B. das Ein- und Ausfahren an einer Haltestelle). Auch für den Betrieb eines automatisierten ÖPNV in abgegrenzten Bereichen (z. B. autofreie Zonen) oder beim Übergang von eigenen Fahrflächen im Verkehrsraum (z. B. eigene Fahrstreifen) auf Flächen für den Mischverkehr sind besondere Herausforderungen denkbar. Von großem Interesse wird es sein, wie ein automatisiertes ÖPNV-Fahrzeug auch in unregelmäßigen Verkehrssituationen adäquat agieren und reagieren kann. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Kommunikation bzw. Interaktion eines automatisierten ÖPNV mit anderen Verkehrsteilnehmenden in vielen unterschiedlichen Situationen große Bedeutung zukommen wird. Der vorliegende Beitrag behandelt zunächst zentrale

Grundlagen der Kommunikation im Straßenverkehr. Auf der Basis werden generelle Kriterien für eine gelingende Kommunikation mit einem automatisierten ÖPNV formuliert. Spezifische Herausforderungen und Lösungsoptionen werden dann für zwei konkrete Anwendungsfälle skizziert.

4.3.1 Kommunikation und Interaktion im Straßenverkehr

Formelle und informelle sowie implizite und explizite Kommunikation

Der heute stattfindende Verkehrsablauf ist in vielerlei Hinsicht geprägt von Verordnungen und Gesetzen, die in großen Teilen eindeutige Vorgaben enthalten und den Verkehr unter anderem über Beschilderungen, über die bauliche Gestaltung der Verkehrswege, inklusive ihrer Markierungen, oder über Lichtsignalanlagen regeln. Doch nicht jede im Straßenverkehr auftretende Situation ist durch eine eindeutige Verkehrsregel, wie z. B. die Regelung der Vorfahrt an einer Kreuzung, formell definiert (Imbsweiler et al. 2018b). Häufig kommt es zu Situationen, die durch die Verkehrsteilnehmenden mittels gegenseitiger Rücksichtnahme informell gelöst werden müssen, ohne dass andere Verkehrsteilnehmende dabei geschädigt, gefährdet oder übermäßig behindert werden (vgl. § 1 StVO).

Automatisierte Fahrzeuge besitzen heute noch nicht dieselben Fähigkeiten zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden, wie sie ein Mensch durch die Verwendung und Interpretation von impliziten und expliziten Kommunikationssignalen hat (Stanciu et al. 2018). Die von den am Verkehr teilnehmenden Personen ausgesandten Signale lassen sich nach de Ceunynck et al. (2013) unterscheiden in implizite Signale (bremsen, beschleunigen, stoppen, halten der Geschwindigkeit) und explizite Signale (Handgesten, Fahrtrichtungsanzeiger, Horn sowie Lichthupe). Implizite Kommunikation muss nach Imbsweiler et al. (2018a) interpretiert werden, um das Anliegen des Gegenübers zu verstehen. Dazu gehören im Straßenverkehr beispielsweise die Trajektorienwahl oder das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten. Des Weiteren werden durch explizite Signale konkrete Hinweise über ein geplantes Fahrmanöver kommuniziert, wie beispielsweise das Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers (Blinkers) oder das Armheben beim Radfahren, um einen Abbiegewunsch anzuzeigen.

Kommunikationsmittel im Straßenverkehr

Die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufkommende Automobilisierung führte rasch zur Einführung von lichttechnischen Einrichtungen an den Fahrzeugen (z. B. das Bremslicht) und zeigt die Notwendigkeit verschiedener Kommunikationsmöglichkeiten im Straßenverkehr. Die lichttechnischen Einrichtungen eines Fahrzeugs sind heute als Kommunikationsmittel im Straßenverkehr kaum wegzudenken, da sie unmittelbar und eindeutig auf ein aktuelles oder kurz bevorstehendes Fahrmanöver hinweisen und somit eine wichtige Information an andere Verkehrsteilnehmende aussenden. Auch die in der jüngeren Vergangenheit getätigten Weiterentwicklungen, wie bspw. die Einführung einer

dritten Bremsleuchte (Petzoldt et al. 2018), adaptive Bremslichter bei einer Gefahrenbremsung oder das Anbringen eines zusätzlichen Blinkers an der Seitenpartie eines Fahrzeugs (gem. § 54 StVZO) sind zusätzliche Belege für die hohe Bedeutung einer gelingenden Kommunikation.

Aus heutiger Sicht stehen der Fahrerin bzw. dem Fahrer eines herkömmlichen Pkw verschiedene explizite und implizite Kommunikationsmittel zur Verfügung, da sie zur Informationsübertragung sowohl auf die technischen Möglichkeiten des Fahrzeugs als auch auf die menschliche Zeichengebung zurückgreifen können. Welches Kommunikationsmittel gewählt wird, hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. dem Empfänger der Information (Fußgänger, Radfahrer, anderer Pkw) und dem Informationsinhalt, den er kommunizieren möchte (Schaarschmidt et al. 2020). Bereits in den 1980er-Jahren wurden unter Einbezug von Verkehrsteilnehmenden die im Verkehr eingesetzten Kommunikationsmittel untersucht. Bauer et al. (1980) führten vorrangig optische Signale an, die für die Kommunikation im Straßenverkehr eine wichtige Rolle spielen. Auch Merten (1981) erstellte eine Übersicht an Signalen, die über die gesetzlich beschriebene Zeichengebung hinausgehen, u. a. verschiedene Formen von Handzeichen. Offensichtlich ist ein bedeutender Anteil der Kommunikationsmöglichkeiten auf die Gestik und Mimik der Fahrerin bzw. des Fahrers zurückzuführen.

Vor dem Hintergrund der Abwesenheit eines Menschen für die Kommunikation mit außenstehenden Verkehrsteilnehmenden beim automatisierten Fahren überrascht es wenig, dass eine große Bandbreite an Forschungsinitiativen und Lösungskonzepten vorliegt, welche sich mit der Wirkung von neuartigen fahrzeugseitigen Kommunikationsmitteln wie LED-Anzeigen, Leuchtzeichen, Warntönen und/oder Projektionen beschäftigen, um insbesondere Konflikte mit ungeschützten Personen (Fußgängern, Radfahrern) zu vermeiden (u. a. Sucha 2014; Clamann et al. 2017; Mahadevan et al. 2018 oder Bazilinskyy et al. 2019). Der einheitliche Ansatz dieser neuartigen Kommunikationsmittel soll zu mehr Vertrauen und Akzeptanz durch die Kenntnis der Handlungsabsicht des automatisierten Fahrzeugs beitragen. Hierin sehen u. a. Faas et al. (2020) einen wesentlichen Mehrwert für die Verkehrssicherheit.

Interaktion und kooperatives Verhalten im Straßenverkehr

Durch Verordnungen, wie die deutsche Straßenverkehrsordnung (StVO), sowie die übermittelten Signale der Verkehrsteilnehmenden soll ein ordnungsgemäßer und sicherer Straßenverkehr ermöglicht werden. Und dennoch kommt es immer wieder zu Situationen, in denen sich zwei oder mehrere Verkehrsteilnehmende über die allgemein gültigen Verkehrsregeln hinwegsetzen müssen. Durch kooperatives Verhalten sollen Konflikte vermieden, die Verkehrssicherheit gewährleistet und der Verkehrsfluss aufrechterhalten werden. Die wohl bekanntesten Situationen sind der Verzicht auf die eigene Vorfahrt (z. B. an einer gleichrangigen Kreuzung), die Rücksichtnahme auf den Gegenverkehr im Bereich von Fahrbahnverengungen oder das „Rüberwinken“ einer Person, die die Straßenseite wechseln möchte.

Aber auch an geregelten Kreuzungen kommt es beim Ein- und Abbiegen immer wieder vor, dass bevorrechtigte Verkehrsteilnehmende ganz bewusst auf die Vorfahrt verzichten, beispielsweise um eine sogenannte „Deadlock-Situation“ aufzulösen. Als Deadlock wird der Zustand bezeichnet, bei dem die Verkehrsteilnehmenden bei strikter Befolgung der Verkehrsregeln keine Möglichkeit haben, ihren Weg fortzusetzen (Markkula et al. 2021). Ein typisches Beispiel ist hierfür das gleichzeitige Auftreffen von je einem Fahrzeug je Zufahrt an einer gleichrangigen Kreuzung, bei der jeweils dem in der rechten Zufahrt stehendem Fahrzeug Vorfahrt gegeben werden muss (Imbsweiler et al. 2018b). In diesen Verkehrssituationen treten die Verkehrsteilnehmenden als Interaktionspartner auf, die durch Kooperation eine Entscheidung mittels explizierter Kommunikation verhandeln müssen. Weil die Möglichkeiten der impliziten Kommunikation bei Deadlock-Situationen oftmals ausgeschöpft sind, werden dafür vor allem non-verbale Kommunikationsmöglichkeiten wie Gesten und Blickkontakt zwischen den beteiligten Akteuren genutzt. Auf räumlich größeren Distanzen oder bei fehlendem Tageslicht wird eine bestimmte Absicht nicht selten mit kurzzeitigem Aufblenden, der sogenannten Lichthupe, signalisiert.

Kommunikationsmodelle zur Beschreibung einer Interaktion

Es gibt verschiedene wissenschaftlich Ansätze, die sich damit beschäftigen, wie eine gelingende Kommunikation und Informationsübertragung sichergestellt werden kann. Beispielsweise bilden Kommunikationsmodelle eine wichtige Grundlage, da sie den Kommunikationsprozess beschreibbar machen. Eines der ersten Kommunikationsmodelle, das sich insbesondere auf die technische Übertragung der zu übermittelnden Information bzw. einer Nachricht bezieht, entwickelten Shannon und Weaver (1949). Dabei handelt es sich um ein Sender-Empfänger-Modell, in dem eine Nachricht vom Sender an den Empfänger kommuniziert wird (Abb. 4.7).

Eine durch externe Einflüsse auftretende Störung in der Informationsübertragung – im Modell dargestellt durch das Rauschen im Kanal – ist kritisch für eine gelingende Informationsübertragung. Damit der Empfänger die vom Sender übermittelte Information noch gut übersetzen kann, darf die Störung nicht übermäßig in Erscheinung

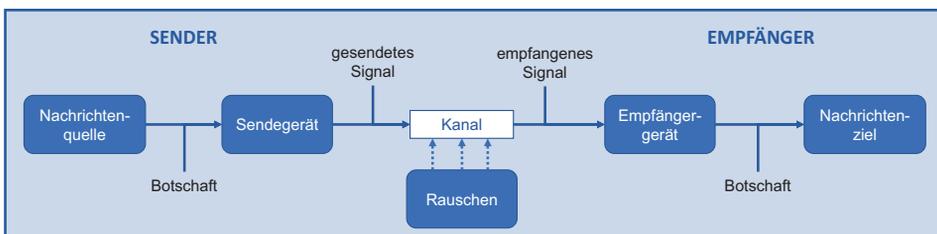


Abb. 4.7 Sender-Empfänger-Modell nach Shannon und Weaver (1949)

treten bzw. das gesendete Signal muss derart eindeutig sein, dass es das Rauschen unmissverständlich durchdringt.

Führt man sich das Beispiel einer die Straße querenden Person vor Augen, lässt sich das Modell wie folgt beschreiben: Das Handzeichen eines Pkw-Fahrers oder einer Pkw-Fahrerin (Sender), an die Person (Empfänger), der oder die die Absicht hat, die Straße zu überqueren, mit der Nachricht „Ich lasse dich die Straße queren.“ würde unter günstigen Umweltbedingungen (klare Sicht, Tageslicht, geringer Abstand) sehr wahrscheinlich von der Person richtig aufgenommen und dekodiert. Anders stellt sich dies jedoch bei schlechten Sichtverhältnissen, bei Dunkelheit oder bei einer großen Distanz der beiden Verkehrsteilnehmenden zueinander dar, wenn das Handzeichen schlechter oder gar nicht zu erkennen und in der Folge zu interpretieren ist.

Zwar ist das Sender-Empfänger-Modell eine extrem vereinfachte Darstellung der Interaktion zwischen menschlichen Verkehrsteilnehmenden, dennoch erscheint es als geeignet, um das menschliche Kommunikationsverhalten auf ein technisches System (automatisiertes Fahrzeug) zu übertragen. Misslingt die Übermittlung der Nachricht, kommt es im schlimmsten Fall zu einem Unfall oder zu Verständigungsproblemen und Unsicherheiten in der Kommunikation, was zur Verlangsamung des Verkehrsflusses führen kann (Schaarschmidt et al. 2020). Aus diesem Grund muss zusätzlich sichergestellt werden, dass beim Sender und beim Empfänger das gleiche Zeichen- und Bedeutungswissen vorliegt, der Sender also Signale nutzt, die der Empfänger verstehen kann, respektive dass die Aufmerksamkeit des Empfängers nicht auf einen anderen Kommunikationspartner gerichtet ist (Röhner und Schütz 2016).

Was darüber hinaus ebenfalls berücksichtigt werden muss, sind Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Kommunikationspartnern. Da nun der oder die Fußgänger:in als Empfänger:in auf Grundlage der erhaltenen Information eine Entscheidung treffen wird, wird er oder sie entweder auf die Straße treten, um diese zu queren, oder darauf verzichten, sei es aus eigener Unsicherheit oder weil er oder sie weitere Erkenntnisse gewonnen hat, wie z. B. ein sich näherndes Fahrzeug aus der Gegenrichtung. Was sich entwickelt, ist eine Informationskette, die je nach Situation verschiedene Verläufe einnehmen kann. Diese Kette ist geprägt durch den fortlaufenden Wechsel von Aktion und entsprechender Reaktion der beteiligten Akteur:innen, bei dem sich stets – wenn man beim Sender-Empfänger-Modell bleibt – die Rolle des Senders und Empfängers umkehrt.

Zwischenfazit

Aufgrund der dargelegten Zusammenhänge der Kommunikationsverläufe von zwei (oder mehreren) Verkehrsteilnehmenden sowie der hohen Bedeutung einer gelingenden Kommunikation muss man sich für das Aufkommen von automatisierten Fahrfunktionen im Straßenverkehr darüber im Klaren sein, dass nun die aktiv Fahrenden als Kommunikationspartner entfallen. Eine Interaktion kann zukünftig nur noch über das automatisierte Fahrzeug selbst erfolgen. Nicht ohne Grund beschäftigen sich aktuelle Forschungsstudien mit den Fragen, wie die Kommunikation zwischen automatisierten

Fahrzeugen und anderen am Verkehr teilnehmenden Personen ausgestaltet werden kann oder welche Verhaltensmuster sich bei anderen Verkehrsteilnehmenden gegenüber automatisierten Fahrzeugen erkennen lassen (Rouchitsas und Alm 2019). Ob sich durch neuartige fahrzeugseitige Kommunikationsmittel tatsächlich ein erhoffter Beitrag für mehr Sicherheit respektive weniger Unsicherheit im Verkehr in Gänze erzielen lässt, lässt sich über bisherige Befunde nicht eindeutig erkennen.

Festzuhalten ist allerdings, dass die Kommunikation, respektive eine gelingende Informationsübertragung, im heutigen Straßenverkehr in Bezug auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf unabdingbar geworden ist. Eine wichtige Erkenntnis wäre daher, welche Informationen die Verkehrsteilnehmenden ganz grundlegend voneinander benötigen, damit sie eine (erwartbare) Entscheidung treffen können. Ergibt sich daraus tatsächlich ein Bedarf von neuen Formen der Kommunikation, wenn beispielsweise die optische Gestalt, die Trajektorie sowie das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten (Fahrtdynamik) eines Fahrzeugs alle notwendigen Informationen bereithält? Und wie sind neue LED- und Leuchtzeichen an einem automatisierten Fahrzeug zu beurteilen, wenn man sich vor Augen führt, dass diese Fahrzeuge in Zukunft nicht nur vereinzelt anzutreffen sind, sondern mit zunehmender Durchdringung ein großer Anteil der Fahrzeugflotte automatisiert verkehren wird. Es geht deshalb auch darum, ein aus menschlicher Sicht als übersichtliches und nicht als störend empfundenen Maß an Kommunikation zu finden. Wenn Fahrzeuge zu viele unterschiedliche Leucht- und Blinksignale ungerichtet in die Umwelt senden, wäre das weder angenehm noch der Verkehrssicherheit zuträglich.

4.3.2 Kriterien für eine gelingende Kommunikation unter Teilnahme eines automatisierten ÖPNV

Da eine gelingende Kommunikation im Straßenverkehr für die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf eine bedeutende Rolle spielt, stellen sich für den Betrieb mit einem automatisierten ÖPNV-Fahrzeug zwei grundsätzliche Fragen:

1. In welchen Situationen wird ein besonders hoher Kommunikationsbedarf nötig und welche Kriterien bestehen für eine gelingende Kommunikation?
2. Welche künftigen Anwendungsfälle wird es für den Betrieb eines automatisierten ÖPNV geben und wie lassen sich diese in Hinsicht auf zusätzlich erforderliche Kommunikationsmittel charakterisieren?

Die Definition der künftigen Anwendungsfälle hat einen entscheidenden Einfluss auf die Notwendigkeit zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden und ihre Komplexität. Der Betrieb eines automatisierten ÖPNV auf öffentlichen Straßen, analog dem heutigen straßengebundenen ÖPNV, ist deutlich schwieriger zu beherrschen als ein Betrieb auf einem abgegrenzten Werkareal oder einem mit vergleichsweise geringen

Geschwindigkeiten betriebenen Shuttleservice in Fußgängerzonen (Heikoop et al. 2020). Je nach Anwendungsfall können sich die gefahrenen Geschwindigkeiten, die zu berücksichtigenden Verkehrsteilnehmergruppen, die Komplexität der Fahraufgabe und -manöver oder die zu lösenden Konfliktsituationen unterscheiden.

Interaktion mit einem ÖPNV-Fahrzeug

Der ÖPNV, der heute mit Kraftomnibussen im fließenden Straßenverkehr betrieben wird, bietet verschiedene Ansatzpunkte für Überlegungen, wenn künftig ein automatisiert fahrendes Fahrzeug zur Anwendung kommt. Führt man sich die Fahrmanöver eines heutigen Kraftomnibusses vor Augen, dann lassen sich diese in folgende vier Zuständen unterteilen: (1) Fahren im fließenden Verkehr, (2) Einfahren in einen Haltestellenbereich, (3) Halten im Haltestellenbereich mit Fahrgastwechsel und (4) Ausfahren aus dem Haltestellenbereich. Jeder dieser vier Zustände erfordert eine Interaktion und den Austausch von Informationen zwischen dem Fahrzeug (heute mit aktivem bzw. aktiver Fahrer:in) und anderen Verkehrsteilnehmenden.

Als optische Kommunikationsmittel stehen heute die bekannten lichttechnischen Einrichtungen am Fahrzeug zur Verfügung. Akustisch sind neben der Hupe auch Außenlautsprecher vorhanden, mit denen der oder die Fahrer:in über ein Mikrofon eine Sprachausgabe nach außen kommunizieren kann. Da ebenfalls allein über das Erscheinungsbild und die Verhaltensweise konkrete Signale erzeugt werden, die für die anderen Verkehrsteilnehmenden gut sichtbar und interpretierbar sind, sind Kraftomnibusse im ÖPNV oftmals eindeutig als solche zu erkennen. Dazu zählt die Fahrzeugform, eine in der Regel einheitliche Lackierung des Verkehrsbetriebsunternehmens oder die Digitalanzeige zur Angabe der Linie inkl. Zielort. Mit dem fahrdynamischen Verhalten in Verbindung mit den zuvor genannten Kennzeichnungen liegen für andere am Verkehr beteiligte Personen somit alle Informationen vor, um ein Fahrzeug dem ÖPNV zuordnen zu können.

Kriterien einer gelingenden Kommunikation

Um eine Kommunikation im Straßenverkehr als gelungen zu bezeichnen, geben Zwicker et al. (2019) und Schaarschmidt et al. (2020) die Auswirkungen auf die *Verkehrssicherheit*, den *Verkehrsfluss* und das *Verkehrsklima* als mögliche Beurteilungskriterien an. Neben dem Anspruch, eine Verkehrssituation ohne einen Konflikt aufzulösen (Verkehrssicherheit), wird bei der Auswirkung auf den Verkehrsfluss die Effizienz bei der Auflösung einer Verkehrssituation betrachtet, sodass die Verkehrsteilnehmenden möglichst rasch und ungehindert ihren Weg fortsetzen können. Joisten et al. (2020) bezeichnen den Straßenverkehr als einen sozialen Raum, in dem Menschen in anonymisierter Form miteinander kooperieren, interagieren und kommunizieren. Daher hat das Verkehrsklima als weiteres Kriterium einen bedeutenden Einfluss auf eine gelingende Kommunikation. Als Beispiel wäre hier der Verzicht auf die eigene Vorfahrt zu nennen, um andere Verkehrsteilnehmer:innen aus einer untergeordneten Einfahrt einbiegen zu lassen. Im Idealfall führt eine hohe Bereitschaft für kooperatives Verhalten zu einer positiven

Verstärkung, nämlich dann, wenn der oder die in dem Fall Begünstigte künftig ebenfalls eine hohe Bereitschaft zur Kooperation zeigt. Daher adressieren Schaarschmidt et al. (2020) unter dem Begriff Verkehrsklima die Bereitschaft für kooperatives Verhalten im Straßenverkehr. Allerdings ist auch der entgegengesetzte (ungünstige) Fall möglich, bei dem durch egoistisches Verhalten im Straßenverkehr (Drängeln, dichtes Auffahren etc.) ein Verkehrsklima vorliegt, dass zu Unsicherheit und Unwohlsein führt.

Doch selbst bei günstigen Voraussetzungen, also einer hohen Kooperationsbereitschaft, ist noch keine gelingende Kommunikation sichergestellt. Unter der Voraussetzung des Vorhandenseins eines Kommunikationsmittels, ist vor allem die *Eignung eines Kommunikationsmittels* entscheidend für eine gelingende Kommunikation. Ob ein Kommunikationsmittel als geeignet eingeschätzt werden kann, hängt häufig von der jeweils vorherrschenden Situation ab (Art des Kommunikationspartners, Umweltbedingungen, Verkehrsregelung, Sichtbeziehung etc.). Die Eignung eines Kommunikationsmittels in einer bestimmten Situation lässt sich hinsichtlich der Erkennbarkeit, der Verständlichkeit, der Eindeutigkeit und der Übertragbarkeit als Beurteilungsdimension bewerten.

Für die *Erkennbarkeit* eines Kommunikationsmittels muss sichergestellt werden, dass das Signal überhaupt durch andere Verkehrsteilnehmende erfasst werden kann. Darunter fallen auch Verkehrsteilnehmergruppen, deren (optische oder akustische) Wahrnehmung, Bewegung oder Konzentrationsfähigkeit eingeschränkt ist. Die *Verständlichkeit* einer Nachricht wird z. B. anhand der Fahrzeugdynamik als implizites Kommunikationsmittel deutlich. Eine Verlangsamung des Pkw bedeutet, dass der oder die Fahrzeugführer:in abbremst. *Eindeutig* wird die Nachricht allerdings erst, wenn die Verzögerung des Fahrzeugs im Zusammenhang mit einer geltenden Verkehrsregel oder einer bestimmten Situation steht, z. B. um Vorfahrt zu gewähren oder abzubiegen. Damit ein Signal auch in unterschiedlichen Verkehrssituationen verständlich und eindeutig ist, muss es *übertragbar* sein. Als Beispiel wäre hier der Blinker zu nennen, der in einer Situation einen Fahrstreifenwechsel ankündigt, in einer anderen Situation eine Abbiegevorgang anzeigt oder nur ein Halten am Fahrbahnrand.

Mögliche Anwendungsbereiche eines automatisierten ÖPNV

Für einen künftigen Betrieb automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV liegen bisher verschiedene Ansätze vor, die u. a. in einer Vielzahl von Pilotversuchen getestet wurden (Heikoop et al. 2020). Grundsätzlich muss zunächst ein Bedarf an einer Mobilitätsdienstleistung bestehen, anhand dessen mögliche Anwendungsbereiche, Betriebskonzepte und Bedienformen ausgerichtet werden können.

Da in verschiedenen Pilotprojekten der automatisierte öffentliche Verkehr in vielen Punkten anders in Erscheinung tritt als der heutige ÖPNV, kann nicht a priori davon ausgegangen werden, dass alles beim Alten bleibt – abgesehen von einer Substituierung des menschlichen Fahrers durch eine Maschine. Nach bisherigen Erkenntnissen sind die Fahrzeuge deutlich kleiner und wendiger, und mit bis zu 16 Passagieren wird nur eine geringe Personenzahl transportiert. Zudem verkehren die eingesetzten Fahrzeuge aus

regulatorischen Gründen mit bisher etwa 15 km/h, bis maximal 20 km/h, vergleichsweise langsam und sind dadurch (noch) nicht überall einsetzbar, wo heute ein Kraftomnibus verkehren würde. Allerdings zeigen sich auch neue Anwendungsbereiche und Bedienformen, wie beispielsweise Zubringerdienste in Innenstadtbereichen oder in nicht-öffentlichen Werkarealen. Nach Kaiser und Malanowski (2020) bestehen für den automatisierten ÖPNV derzeit nur zwei plausible Anwendungsszenarien. Zum einen die Überbrückung der sogenannten letzten Meile in der Stadt, bei dem der etablierte ÖPNV erhalten bleibt und mit automatisierten Kleinbussen ergänzt wird. Zum anderen eine Anwendung im ländlichen Raum, sodass in dünn besiedelten Gebieten Mobilität für viele Menschen überhaupt erst ermöglicht wird. Vor diesem Hintergrund ist natürlich nicht absehbar, ob auch künftig größere und schnellere Fahrzeuge zum Einsatz kommen, wie bspw. der von Daimler (2016) vorgestellte Future Bus mit CityPilot oder der von Volvo (2018) präsentierte automatisierte Prototyp auf Basis eines Serienmodells. Unter Berücksichtigung dessen sowie der bisher gemachten Erkenntnisse aus den Pilotprojekten gehen wir von folgenden zwei Anwendungsfällen aus:

Anwendungsfall 1 „Automatisierter ÖPNV in einem autofreien Bereich“

Der erste Anwendungsfall berücksichtigt insbesondere die bisher international getätigten Pilotversuche und Anwendungen eines automatisierten Shuttle-Busses im innerstädtischen Bereich. Dabei gehen wir für die weiteren Überlegungen davon aus, dass als mögliche Interaktionspartner ausschließlich nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmende auftreten. Der automatisierte Kleinbus (maximal 16 Passagiere) ist durch die Verkehrsteilnehmenden eindeutig als ÖPNV-Fahrzeug erkennbar und verkehrt in einem autofreien Bereich, wie beispielsweise einer Fußgängerzone oder einer autofreien Innenstadt. Die allgemeingültigen Verkehrsregeln orientieren sich u. a. daran, ob das Fahrzeug auf eigenen Verkehrswegen verkehrt oder nicht. Sollte eine Fahrbahn zur Verfügung stehen, die baulich von Rad- und/oder Fußwegen getrennt ist, gelten die heute bekannten Regelungen zur Vorfahrt und zum Vorrang. Gibt es gemäß dem Gestaltungskonzept „Gemeinsam genutzter Raum“ nach DIN EN 17210:2021 keine festgelegten Räume für die Verkehrsteilnehmenden, so sind alle am Verkehr teilnehmenden Personen und Fahrzeuge gleichberechtigt. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit kann je nach Situation und baulicher Gestalt zwischen 5 km/h (Schrittgeschwindigkeit) und 30 km/h betragen. Der automatisierte ÖPNV-Betrieb kann einerseits als klassischer Linienbetrieb mit fixen Haltepunkten oder andererseits als ein On-Demand-Angebot, mit dynamischer Routenführung für mehrere Fahrgäste, ausgelegt sein. Als zu berücksichtigende nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmende wird von Fußgängern, Radfahrern und Nutzern von elektrischen Kleinstfahrzeugen jeden Alters und Geschlechts ausgegangen.

Nahezu jedes Fahrmanöver des automatisierten Kleinbusses wird in diesem Anwendungsfall eine Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden erfordern. Grundsätzlich kann von den vier oben bereits genannten Zuständen ausgegangen werden – Fahren im fließenden Verkehr, Einfahren, Halten mit Fahrgastwechsel und Ausfahren aus dem Haltestellenbereich. Das „Fahren im fließenden Verkehr“ ist in diesem

Anwendungsfall nicht ganz zutreffend, insbesondere da kein weiterer motorisierter Verkehr vorhanden ist, der auf eigenen Verkehrsflächen „fließt“. Im Übrigen kann der Zustand des Fahrens in weitere Manöver bzw. Szenarien unterteilt werden, wie das Abbremsen, Anhalten, das Beschleunigen (Merat et al. 2018) sowie ein Richtungswechsel zum Ausweichen vor Hindernissen oder das Abbiegen an Abzweigungen. Im ersten Anwendungsfall ist zudem nicht zwingend von fixen Haltestellen auszugehen, was bedeutet, dass der automatisierte Kleinbus on demand für einen Fahrgastwechsel an einem beliebigen Ort halten kann.

Um die verschiedenen Fahrmanöver zu signalisieren, sind mit den heute bekannten *lichttechnischen Einrichtungen* grundsätzlich geeignete Kommunikationsmittel vorhanden. Sie haben sich hinsichtlich der Kriterien Erkennbarkeit, Verständlichkeit, Eindeutigkeit und Übertragbarkeit seit ihrer Einführung bewährt. Zudem liegt bei den anderen Verkehrsteilnehmenden ein hohes Bedeutungswissen vor, was eine gelingende Kommunikation zusätzlich begünstigt.

Das *fahrdynamische Verhalten* ist als Kommunikationsmittel in Verbindung mit den lichttechnischen Einrichtungen grundsätzlich positiv einzuschätzen. Jedoch sind aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit und aus Gründen des Fahrkomforts die Beschleunigungs- und Bremsmanöver weniger ausgeprägt und dadurch kaum erkennbar. Richtungswechsel sind insbesondere unter Verwendung des Blinkers weiterhin gut erkennbar.

Für *akustische Signale* kann davon ausgegangen werden, dass auch beim automatisierten ÖPNV eine Hupe vorhanden sein wird. Die Hupe ist zwar gut hörbar (Erkennbarkeit) und in unterschiedlichen Situationen einsetzbar (Übertragbarkeit), allerdings nur bedingt verständlich und eindeutig. Weitere akustische Signale, wie das Abrollen der Reifen oder das Motorengeräusch, werden deutlich schwächer in Erscheinung treten, da in diesem Anwendungsfall die Geschwindigkeiten niedrig und der Antrieb des Kleinbusses elektrisch erfolgt.

Ein möglicher Bedarf an zusätzlicher Kommunikation mit einem fahrerlosen Kleinbus wird für sämtliche Informations- und Auskunftsgesuche durch die Passagiere gesehen, die heute an den oder die Fahrer:in gestellt werden. Diese Art der Kommunikation wird in diesem Beitrag allerdings bewusst ausgelassen, da davon ausgegangen werden kann, dass den Passagieren eines automatisierten Kleinbusses eine entsprechende technische Schnittstelle zu einem Operator im Fahrzeug bereitgestellt werden kann.

Hinsichtlich der Kriterien Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Verkehrsklima sind insbesondere Szenarien von Interesse, die beim Ausbleiben einer gelingenden Kommunikation zu einem Konflikt, zu Behinderungen des Verkehrsflusses oder zu Akzeptanz- und Vertrauensverlust führen. Bisherige Untersuchungen zum Umgang zwischen zu Fuß gehenden Personen und automatisierten Fahrzeugen haben gezeigt (u. a. De clerq et al. 2019), dass insbesondere das Queren der Fahrbahn vor einem automatisierten Fahrzeug zu Unsicherheiten führt. Unter anderem führen Zwicker et al. (2019) an, dass durch das fehlende Signalisieren der Absicht des automatisierten Fahrzeugs eine Unsicherheit entstehe, die möglicherweise zu nicht ordnungsgemäßem Ver-

halten der Verkehrsteilnehmenden führt. Die Unsicherheit der Fußgänger:innen, ob sie durch das automatisierte Fahrzeug überhaupt wahrgenommen wurden, reduziere sich nach Erkenntnissen von Lagström und Lundgren (2015) durch das Anzeigen von expliziten Aussagen wie „wird Vorfahrt gewähren“. Auch Ackermann et al. (2019) konnten in einer experimentellen Studie im Anschluss an Fokusgruppeninterviews zeigen, dass Probanden eine direkte Instruktion („Go ahead!“) gegenüber einer Status-Mitteilungen in Bezug auf die Erkennbarkeit, die Eindeutigkeit und den Komfort der Interaktion bevorzugen. Für Anwendungsfälle, in denen ein automatisierter Kleinbus in Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden treten muss, um eine Verkehrssituation so aufzulösen, sodass weder das Fahrzeug, inkl. dessen Passagiere, noch die anderen Verkehrsteilnehmenden gefährdet oder unverhältnismäßig behindert werden, bietet es sich für den Zeitraum der Einführung automatisierter Kleinbusse an, ein zusätzliches explizites Kommunikationsmittel zu entwickeln und standardisiert umsetzen.

Anwendungsfall 2 „Automatisierter ÖPNV auf öffentlichen Straßen“

Der zweite Anwendungsfall bezieht sich auf die mögliche Nutzung des automatisierten ÖPNV als Mobilitätsangebot für die „letzte Meile“ – sowohl im ländlichen Raum als auch in der Stadt. Der automatisierte Kleinbus (maximal 16 Passagiere) ist durch die Verkehrsteilnehmenden eindeutig als ÖPNV-Fahrzeug erkennbar und verkehrt im Mischverkehr auf öffentlichen Straßen. Es wird von den heute gültigen Verkehrsregeln ausgegangen, insbesondere hinsichtlich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie der bekannten Regelungen zur Vorfahrt und zum Vorrang. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit kann je nach Situation und baulicher Gestalt der Verkehrsinfrastruktur variieren und wird für den Verkehr innerorts auf maximal 50 km/h festgelegt. Für den automatisierten ÖPNV-Betrieb wird wie im Anwendungsfall 1 von einem klassischen Linienbetrieb oder einem On-Demand-Angebot ausgegangen. Für den Mischverkehr werden als nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmende sämtliche heute verkehrende Fahrzeuge und Personen jeden Alters und Geschlechts angenommen.

Im Gegensatz zum Anwendungsfall 1 sind bei einem Betrieb eines automatisierten ÖPNV im Straßenverkehr schwächere und andere Verkehrsteilnehmergruppen stärker getrennt, bspw. durch separierte Geh- oder Radwege. Während hier die Kommunikation insbesondere mit schwächeren Verkehrsteilnehmergruppen stärker formell geregelt ist, bspw. an Fußgängerüberwegen oder Lichtsignalanlagen, rückt die Kommunikation mit anderen motorisierten Verkehrsteilnehmenden stärker in den Fokus. Dies hat zur Folge, dass für die Kommunikation über die optischen und akustischen Signale teils andere Voraussetzungen gelten.

Als unverändert geeignet sind die *lichttechnischen Einrichtungen* zu bewerten. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass beim Zusammentreffen mit einem automatisierten ÖPNV-Fahrzeug, welches rechts blinkt und verzögert, links blinkt und anfährt oder mit eingeschalteter Warnblinkanlage steht, ein hohes Bedeutungswissen der anderen Verkehrsteilnehmenden auf Basis grundlegender straßenverkehrsrechtlicher Regelungen vorliegt. Dass ein automatisiertes ÖPNV-Fahrzeug die formellen Verkehrsregeln jederzeit

befolgen wird, kann als Grundvoraussetzung angenommen werden. Trotzdem wird es durch (nicht vorgesehene) statische und dynamische Hindernisse auf den Fahrstreifen zu Situationen mit anderen Verkehrsteilnehmenden kommen, die eine Kooperation durch Kommunikation benötigen.

Neben dem Bremslicht und dem Blinker erscheint die Lichthupe als Kommunikationsmittel im heutigen Straßenverkehr an Bedeutung gewonnen zu haben. Das kurzzeitige Aufblenden ist nach der deutschen StVO allerdings nur zulässig, um auf eine Gefahr aufmerksam zu machen oder um außerorts einen Überholvorgang anzukündigen. Nicht zulässig ist die Lichthupe jedoch als Kommunikationsform im Sinne der Gewährung der Vorfahrt oder des Bedankens. In welchem Ausmaß derartige Kommunikationsformen in der Praxis tatsächlich eine Rolle spielen, sowohl was ihre Auftretenshäufigkeit als auch ihre tatsächliche Notwendigkeit angeht, ist bisher nicht bekannt (Zwicker et al. 2019).

Das *fahrdynamische Verhalten* ist als Kommunikationsmittel in Verbindung mit den lichttechnischen Einrichtungen grundsätzlich positiv einzuschätzen. Allerdings sind gemäßigte Beschleunigungs- und Bremsmanöver aus der sogenannten „Frontscheiben-Perspektive“ für einen menschlichen Fahrer nur schwer auszumachen. Als Beispiel ist hier das „unsichere“ Warten eines Linksabbiegers an einer mit Lichtsignal geregelten Kreuzung zu nennen, der dem entgegenkommenden Pkw Vorfahrt gewähren muss, obwohl dieser aufgrund des Lichtsignalwechsels auf Rot sein Fahrzeug nur ausrollen lässt. Das Ausrollen ist im Vergleich zu einer starken Bremsung zumindest auf den ersten Blick nur schwer erkennbar.

Damit ein reibungsloser Verkehrsfluss innerhalb eines solchen Szenarios möglich ist, muss die automatische Fahrzeugführung auf das kooperative Verhalten der menschlichen Verkehrsteilnehmenden reagieren können. Ein Teil des kooperativen Verhaltens drückt sich dabei in der Kommunikation auf implizite oder explizite Weise aus (De Ceunynck et al. 2013), wie beispielsweise die Nutzung der Lichthupe des ausrollenden Pkw, verbunden mit der Nachricht: „Ich werde anhalten, Du kannst Fahren!“. Für dieses und ähnliche Szenarien muss definiert werden, welche Nachrichten bzw. Botschaften bei Interaktionen mit automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden ausgetauscht werden müssen und anhand welcher Signale und Informationsdesigns eine intuitive und unmissverständliche Kommunikation zwischen allen Verkehrsteilnehmenden realisiert werden kann (Schieben et al. 2020; Deublein 2020). Durch das vermehrte Auftreten von kooperativen Situationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmenden rücken die impliziten Kommunikationssignale, zum Beispiel beim Einfädeln oder Einscheren in den fließenden Straßenverkehr (Stoll et al. 2020), in den Fokus der Kommunikation. Änderungen der Fahrtrichtung sind insbesondere unter Verwendung des Blinkers weiterhin gut erkennbar.

Für *akustische Signale* kann davon ausgegangen werden, dass auch beim automatisierten ÖPNV eine Hupe vorhanden sein wird. Die Vor- und Nachteile der Hupe hinsichtlich der Kriterien für eine gelingende Kommunikation sind analog zum Anwendungsfall 1. Für andere motorisierte Verkehrsteilnehmende kaum noch

wahrnehmbar werden akustische Signale sein, wie das Abrollen der Reifen oder das Motorengeräusch des automatisierten Kleinbusses.

4.3.3 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Mit der Zunahme des Verkehrsgeschehens hat eine gelingende Kommunikation im Straßenverkehr an Bedeutung gewonnen. Der Bedeutungszuwachs ist jedoch nicht allein anhand der bloßen Menge an Verkehrsteilnehmenden zu begründen, sondern vor allem durch die Tatsache, dass zum einen nicht jede Verkehrssituation durch die allgemein gültigen Verkehrsregelungen vollumfänglich abgedeckt ist und zum anderen, sofern es eine Verkehrsregelung zu beachten gilt, eine stringente Befolgung dieser den Verkehrsablauf zum Erliegen bringen kann. Explizite Kommunikationsformen werden auch künftig in den sogenannten „Deadlock-Situationen“ von Nöten sein, wenn man die Verkehrssituation unter Berücksichtigung der Kriterien einer gelingenden Kommunikation auflösen will. Die Bereitstellung technischer Kommunikationsmittel, die für jede Verkehrssituation adäquat über optische und/oder akustische Signale den Status eines automatisierten Fahrzeugs anzeigen oder sogar eine Handlungsanweisung an andere Verkehrsteilnehmende kommunizieren, ist zwar naheliegend, doch ist diese Herangehensweise derzeit kaum konsequent umsetzbar, insbesondere vor dem Hintergrund der Notwendigkeit des gleichen Zeichen- und Bedeutungswissens sowie der zu berücksichtigenden Kriterien für eine gelingende Kommunikation mit allen Verkehrsteilnehmergruppen.

Noch ist nicht absehbar, ob ein automatisiertes Fahrzeug künftig ein offensives explizites Signal zur Intentionsvermittlung verwenden kann und darf. Hier muss die Forschung ansetzen, um über neue verständliche Signale oder über eine Intentionserkennung bestimmte Situationen im Mischverkehr vor einem Patt aufzulösen (Imbsweiler et al. 2018a). Daran anknüpfend müssen durch die Normierungsbehörden und den Gesetzgeber entsprechende verkehrsrechtliche Grundlagen für ein standardisiertes Signal geschaffen werden, welches für alle Fahrzeuge gilt und den Kriterien der Erkennbarkeit, der Verständlichkeit, der Eindeutigkeit und der Übertragbarkeit genügt.

Der Umgang mit automatisierten Fahrzeugen muss durch alle am Verkehr teilnehmenden Personengruppen noch erlernt werden und sollte künftig zum Gegenstand der Verkehrserziehung und -ausbildung werden. Auch im umgekehrten Fall wird sich durch die gewonnenen Erkenntnisse während des Betriebs automatisierter Fahrzeuge die Technologie der Systeme rasant weiterentwickeln. Der ÖPNV wird insbesondere in der Einführungsphase solcher Systeme eine tragende Rolle spielen und das automatisierte Fahren für Passagiere und andere Verkehrsteilnehmergruppen zunehmend erlebbar bzw. erfahrbar machen. Ein durch ÖPNV-Unternehmen offensiver Umgang mit dieser Schlüsselrolle wäre hinsichtlich der Kommunikation und der Verkehrssicherheit zu wünschen. Wie Watzlawick et al. (1969) bereits formulierten: „Man kann nicht

nicht kommunizieren!“). Daher sollte ein Fahrzeug eines örtlichen ÖPNV-Unternehmens sehr wohl als solches erkannt werden, erst recht, wenn es sich in Zukunft um ein automatisiert betriebenes ÖPNV-Fahrzeug handelt. Die Vorteile einer generellen Kenntlichmachung bestimmter Fahrzeugkollektive zeigt sich auch im heutigen Verkehr. Nicht nur im ÖPNV, sondern u. a. auch für Fahrzeuge der Blaulichtorganisationen, bei Taxis oder Fahrschulen. Hintergrund ist, dass man das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beim Zusammentreffen mit speziell gekennzeichneten Fahrzeugen beeinflussen kann, sei es durch definierte Straßenverkehrsregeln, wie das Verhalten beim Zusammentreffen mit Rettungskräften mit eingeschaltetem Blaulicht (§ 38 StVO), oder durch Handlungsempfehlungen zum kooperativen Verhalten, wie das „Ausfahren lassen“ eines linksblinkenden Busses aus einem Haltestellenbereich (§ 20 Satz 5 StVO).

Unabhängig von der künftigen Fahrzeuggestalt und den möglichen Anwendungsbereichen des automatisierten ÖPNV ist es zwingend erforderlich, dass die Kommunikation zwischen einem automatisierten Fahrzeug und anderen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden eine hohe Bedeutung einnimmt. Es muss bei allen für eine Integration des automatisierten ÖPNV den beteiligten Akteuren das Verständnis geschaffen werden, dass nur mit einer gelingenden Kommunikation ein hohes Maß an Transparenz, Vertrauen, Akzeptanz und Sicherheit geschaffen werden kann. Die Berechenbarkeit künftigen Handelns bzw. die Vorhersehbarkeit des folgenden Fahrmanövers erscheinen aus Sicht der Nutzenden und aus Sicht der Fahrzeugentwicklung von großer Bedeutung. Nicht nur der Mensch soll zu jeder Zeit wissen, welches Manöver das Fahrzeug als Nächstes unternimmt, sondern auch das automatisierte Fahrzeug muss lernen, menschliches Verhalten zu interpretieren und sein Handeln darauf abzustimmen.

Literatur

- Ackermann C, Beggiato M, Schubert S, Krems JF (2019) An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Appl Ergon* 75:272–282
- Ajzen I (1991) The theory of planned behavior. *Organ Behav Hum Decis Process* 50:179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Anable J, Gatersleben B (2005) All work and no play? The role of instrumental and affective factors in work and leisure journeys by different travel modes. *Transp Res Part A: Policy Pract* 39:163–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.09.008>
- Bauer TH, Risser R, Teske W, Vaughan CH (1980) Kommunikation im Straßenverkehr – Endbericht für das Teilprojekt I – Untersuchung über die Kommunikationsgewohnheiten und Kommunikationsbedürfnisse der Verkehrsteilnehmer. Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV), Verkehrspsychologisches Institut, Wien.
- Bazilinskyy P, Dodou D, de Winter J (2019) Survey on eHMI concepts: The effect of text, color, and perspective. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 67:175–194
- Beirão G, Sarsfield Cabral JA (2007) Understanding attitudes towards public transport and private car: a qualitative study. *Transp Policy* 14:478–489. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.04.009>

- Benleulmi AZ, Ramdani B (2022) Behavioural intention to use fully autonomous vehicles: instrumental, symbolic, and affective motives. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 86:226–237. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.02.013>
- de Ceunynck T, Polders E, Daniels S, Hermans E, Brijs T, Wets G (2013) Road safety differences between priority-controlled intersections and right-hand priority intersections. *Transp Res Rec* 2365(1):39–48
- Chee PNE, Susilo YO, Wong YD (2021) Longitudinal interactions between experienced users' service valuations and willingness-to-use a first-/last-mile automated bus service. *Travel Behav Soc* 22:252–261. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.10.004>
- Clamann M, Aubert M, Cummings ML (2017) Evaluation of vehicle-to-pedestrian communication displays for autonomous vehicles. Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington
- Daimler (2016) <https://www.internationales-verkehrswesen.de/urbane-mobilitaet-morgen/>. Zugegriffen: 13. Apr. 2022
- Davis FD (1989) Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Q* 13:319. <https://doi.org/10.2307/249008>
- De Clerq K, Dietrich A, Núñez Velasco PJ, De Winter J, Happee R (2019) External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles: Effects on Pedestrian Crossing Decisions. *Hum Factors* 61: 1353–1370. <https://doi.org/10.1177/0018720819836343>
- Deublein M (2020) Automatisiertes Fahren: Mischverkehr. Aspekte der Sicherheit bei einer zunehmenden Automatisierung des Straßenverkehrs in der Schweiz, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern
- DIN EN ISO 9241-112 (2017) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 112: Grundsätze der Informationsdarstellung (ISO 9241-112:2017)
- Distler V, Lallemand C, Bellet T (2018) Acceptability and acceptance of autonomous mobility on demand. In: Mandryk R (Hrsg) Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems. ACM, New York, S 1–10
- Dittmar H (1992) The social psychology of material possessions: to have is to be. Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead
- Ettema D, Friman M, Gärling T, Olsson LE, Fujii S (2012) How in-vehicle activities affect work commuters' satisfaction with public transport. *J Transp Geogr* 24:215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.007>
- Faas SM, Kao AC, Baumann MA (2020) Longitudinal video study on communicating status and intent for self-driving vehicle pedestrian interaction. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, New York, S 1–14
- Gardner B, Abraham C (2007) What drives car use? A grounded theory analysis of commuters' reasons for driving. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 10:187–200. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.09.004>
- Gatersleben B (2007) Affective and symbolic aspects of car use. In: Steg L, Görling T (Hrsg) Threats from car traffic to the quality of urban life: problems, causes, solutions, 1. Aufl. Elsevier professional, s 1, S 219–233
- Gatersleben B, Uzzell D (2007) Affective appraisals of the daily commute. *Environ Behav* 39:416–431. <https://doi.org/10.1177/0013916506294032>
- Gkartzonikas C, Gkritza K (2019) What have we learned? A review of stated preference and choice studies on autonomous vehicles. *Transp Res Part C: Emerg Technol* 98:323–337. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.12.003>
- Goldbach C, Sickmann J, Pitz T, Zimasa T (2022) Towards autonomous public transportation: attitudes and intentions of the local population. *Transp Res Interdisc Perspect* 13:100504. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100504>

- Hagman O (2003) Mobilizing meanings of mobility: car users' constructions of the goods and bads of car use. *Transp Res Part D: Transp Environ* 8:1–9. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(02\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(02)00014-7)
- Handy S, Weston L, Mokhtarian PL (2005) Driving by choice or necessity? *Transp Res Part A: Policy Pract* 39:183–203. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.09.002>
- Heikoop DD, Nuñez Velasco JP, Boersma R, Bjørnskau T, Hagenzieker MP (2020) Automated bus systems in Europe: a systematic review of passenger experience and road user interaction. *Adv Transp Policy Plan* 5:51–71
- Hwang J, Li W, Stough LM, Lee C, Turnbull K (2020) People with disabilities' perceptions of autonomous vehicles as a viable transportation option to improve mobility: an exploratory study using mixed methods. *Int J Sustain Transp* 1–19. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1833115>
- Imbsweiler J, Ruesch M, Heine T, Linstedt K, Weinreuter H, Puente León F et al (2018a) Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr (Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t Grundlage für Management et Kompetenzentwicklung)
- Imbsweiler J, Ruesch M, Weinreuter H, Puente León F, Deml B (2018b) Cooperation behaviour of road users in t-intersections during deadlock situations. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 58:665–677
- Jakobsson C (2007) Instrumental motives for private car use. In: Steg L, Görling T (Hrsg) *Threats from car traffic to the quality of urban life: problems, causes, solutions*, 1. Aufl. Elsevier professional, s 1, S 205–217
- Joisten P, Freund A, Abendroth B (2020) Gestaltungsdimensionen der Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden. *Z Arb* 74(2):132–145
- Kaiser OS, Malanowski N (2020) Autonome Klein- und Omnibusse im öffentlichen Verkehr. Working Paper Forschungsförderung, No. 179, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf
- Kassens-Noor E, Kotval-Karamchandani Z, Cai M (2020) Willingness to ride and perceptions of autonomous public transit. *Transp Res Part A: Policy Pract* 138:92–104. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.010>
- Kyriakidis M, Sodnik J, Stojmenova K, Elvarsson AB, Pronello C, Thomopoulos N (2020) The role of human operators in safety perception of AV deployment – insights from a large European survey. *Sustainability* 12:9166. <https://doi.org/10.3390/su12219166>
- Lagström T, Lundgren VM (2015) AVIP – Autonomous vehicles interaction with pedestrians. Chalmers University of Technology, Gothenburg
- Lee JD, See KA (2004) Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Hum Factors* 46:50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392
- Lenz B, Fraedrich E (2015) Vom (Mit-)Fahren: autonomes Fahren und Autonutzung. In: Maurer M, Gerdes JC, Lenz B, Winner H (Hrsg) *Autonomes Fahren*. Springer, Berlin, S 687–708
- Luger-Bazinger C, Zankl C, Klieber K, Hornung-Prähauser V, Rehr K (2021) Factors influencing and contributing to perceived safety of passengers during driverless shuttle rides. *Future Transp* 1:657–671. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1030035>
- Lupton D (2002) Road rage: drivers' understandings and experiences. *J Sociol* 38:275–290. <https://doi.org/10.1177/144078302128756660>
- Madigan R, Louw T, Wilbrink M, Schieben A, Merat N (2017) What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 50:55–64. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.07.007>
- Mahadevan K, Somanath S, Sharlin E (2018) Can interfaces facilitate communication in autonomous vehicle-pedestrian interaction? In *HRI'18 companion*, March 5–8, 2018, Chicago, IL, USA (S 309–310)

- Mahmoodi Nesheli M, Li L, Palm M, Shalaby A (2021) Driverless shuttle pilots: lessons for automated transit technology deployment. *Case Stud Transp Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.03.010>
- Mann E, Abraham C (2006) The role of affect in UK commuters' travel mode choices: an interpretative phenomenological analysis. *Br J Psychol* 97:155–176. <https://doi.org/10.1348/000712605X61723>
- Markkula G, Madigan R, Nathanael D, Portouli E, Lee YM, Dietrich A et al (2020) Defining interactions: a conceptual framework for understanding interactive behaviour in human and automated road traffic. *Theor Issues Ergon Sci* 21(6):728–752
- Marsh P, Collett P (1986) *Driving passion: the psychology of the car*. Cape, London
- Merat N, Louw T, Madigan R, Wilbrink M, Schieben A (2018) What externally presented information do VRUs require when interacting with fully automated road transport systems in shared space? *Accident. Anal Prev* 118:244–252
- Merten K (1981) *Informelle Zeichengebung im Straßenverkehr. Bericht zum Forschungsprojekt 7521 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln*
- Mirnic AG, Gärtner M, Wallner V, Füssl E, Ausserer K, Rieß J, Meschtscherjakov A (2021) Mind the seat limit: on capacity management in public automated shuttles. *Front Hum Dyn* 3. <https://doi.org/10.3389/fhumd.2021.689133>
- Nordhoff S, de Winter J, Madigan R, Merat N, van Arem B, Happee R (2018) User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: a questionnaire study. *Transp Res F: Traffic Psychol Behav* 58:843–854. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.024>
- Páez A, Whalen K (2010) Enjoyment of commute: a comparison of different transportation modes. *Transp Res Part A: Policy Pract* 44:537–549. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.04.003>
- Perret F, Fischer R, Frantz H (2018) Automatisiertes Fahren als Herausforderung für Städte und Regionen. *TATuP* 27:31–37. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.31>
- Petzoldt T, Schleinitz K, Banse R (2018) Potential safety effects of a frontal brake light for motor vehicles. *IET Intel Transp Syst* 12(6):449–453
- Pigeon C, Alauzet A, Paire-Ficout L (2021) Factors of acceptability, acceptance and usage for non-rail autonomous public transport vehicles: a systematic literature review. *Trans Res F: Traffic Psychol Behav* 81:251–270. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.06.008>
- Polst S, Stüpfert P (2019) A comprehensive persona template to understand citizens' mobility needs. In: Krömker H (Hrsg) *HCI in mobility, transport, and automotive systems*. Springer International Publishing, Cham, S 295–306
- Renaud K, van Biljon J (2008) Predicting technology acceptance and adoption by the elderly. In: Botha R (Hrsg) *Proceedings of the 2008 annual research conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT research in developing countries riding the wave of technology*. ACM, New York, S 210–219
- Riener A, Schlackl D, Malsam J, Huber J, Homm B, Kaczmar M, Kleitsch I, Megos A, Park E, Sanverdi G, Schmidt S, Bracaci D, Anees E (2021) Improving the UX for Users of Automated Shuttle Buses in Public Transport: Investigating Aspects of Exterior Communication and Interior Design. *MTI* 5:61. <https://doi.org/10.3390/mti5100061>
- Röhner J, Schütz A (2016) *Psychologie der Kommunikation*. Springer Fachmedien, Wiesbaden
- Rouchitsas A, Alm H (2019) External human-machine interfaces for autonomous vehicle-to-pedestrian communication: a review of empirical work. *Front Psychol* 10:2757
- Schaarschmidt E, Yen R, Bosch R, Zwicker L, Schade J, Petzoldt T (2020) *Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen F 138)*. Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann AG, Bremen

- Schieben A, Wilbrink M, Dietrich A, Ruenz J, Portouli E, Amditis A, et al (2020) Designing cooperative interaction of automated vehicles in mixed traffic environments: insights from the interACT project. Proceedings of the 8th Transport Research Arena (TRA) 2020
- Shannon CE, Weaver W (1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press
- Solecka K, Nosal Hoy K, Deryło A (2020) Assessment of transport interchanges for the needs of people with reduced mobility. *Travel Behav Soc* 21:48–56. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.05.004>
- Stanciu SC, Eby DW, Molnar LJ, St. Louis RM, Zanier N, Kostyniuk LP (2018) Pedestrians/bicyclists and autonomous vehicles: how will they communicate? *Transp Res Rec* 2672(22):58–66
- Steg L (2003) Can public transport compete with the private car? *IATSS Res* 27:27–35. [https://doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60141-2](https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60141-2)
- Steg L (2005) Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use. *Transp Res Part A: Policy Pract* 39:147–162. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.07.001>
- Steg L, Vlek C, Slotegraaf G (2001) Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car. *Transport Res F: Traffic Psychol Behav* 4:151–169. [https://doi.org/10.1016/S1369-8478\(01\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S1369-8478(01)00020-1)
- Stoll T, Lanzer M, Baumann M (2020) Situational influencing factors on understanding cooperative actions in automated driving. *Transport Res F: Traffic Psychol Behav* 70:223–234
- Sucha M (2014) Road users' strategies and communication: driver-pedestrian interaction. Transport Research Arena (TRA) 2014 Proceedings
- Venkatesh M, Davis, (2003) User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Q* 27:425. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Venkatesh T, Xu X, (2012) Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Q* 36:157. <https://doi.org/10.2307/41410412>
- Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (Hrsg) (2021) Barrierefreie Bushaltestellen. Empfehlungen und Grundlagen zur Einrichtung. <https://www.vvs.de/download/VVS-Empfehlungen%20barrierefreie%20Bushaltestellen.pdf>. Zugegriffen: 6. Mai 2022
- Volvo (2018) <https://www.internationales-verkehrswesen.de/volvo-stellt-autonomen-bus-vor/zuletzt>. Zugegriffen: 13. Apr. 2022
- Walter J (2021) Analyse des Einflusses der Datenpreisgabe und der Informationskontrolle auf die Akzeptanz von vernetzten Diensten im Automobil. Dissertation, Technische Universität Darmstadt
- Watzlawick P, Beavin JH, Jackson DD (1969) *Menschliche Kommunikation*. Huber, Wien
- Yuen KF, Choo LQ, Li X, Wong YD, Ma F, Wang X (2022) A theoretical investigation of user acceptance of autonomous public transport. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10253-w>
- Zang T, Da Tao QuX, Zhang X, Lin R, Zhang W (2019) The roles of initial trust and perceived risk in public's acceptance of automated vehicles. *Transp Res Part C: Emerg Technol* 98:207–220. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.11.018>
- Zwicker L, Petzoldt T, Schaarschmidt E (2019) Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern – Was brauchen wir überhaupt? (Hands off, Human Factors off? – Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeugautomation?). Darmstadt

Dr.-Ing. Bettina Abendroth leitet die Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion & Mobilität am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der Technischen Universität Darmstadt. Sie beschäftigt sich mit der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, Ergonomie von Produkten und dem automatisierten Fahren aus der Perspektive von Nutzenden. Dabei forscht sie u. a. zu den Themen der fahrfremden Tätigkeiten von Nutzenden automatisierter Fahrzeuge und der Kommunikation zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden.

Dr.-Ing. Philip Joisten promovierte in der Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion & Mobilität am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der Technischen Universität Darmstadt. Er forscht an der Kommunikation zwischen hochautomatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden und beschäftigt sich mit der menschenzentrierten Gestaltung des automatisierten Fahrens. In seiner Forschung untersucht er u. a. das Vertrauen von Verkehrsteilnehmenden in automatisierte Fahrzeuge.

Erik Schaarschmidt (Dipl. Ing.) ist Projektleiter und technischer Berater bei der Rapp Trans (DE) AG. In seiner bisherigen beruflichen Laufbahn leitete er eine Vielzahl (inter)nationaler Projekte im Bereich des Verkehrsmanagements und der Verkehrstelematik. Zudem beschäftigt er sich intensiv mit der Digitalisierung im Verkehr sowie den Anforderungen an die Mobilität der Zukunft. Dabei war er Teil mehrerer (inter)nationaler Forschungsinitiativen, u.a. im Bereich der Verkehrssicherheit beim automatisierten Fahren.

Tania Gianni (Dipl.-Ing. Raumordnung, MA Humangeografie) ist Raum- und Städteplanerin sowie Regionalentwicklerin. Seit 2017 begleitet sie Kommunen strategisch, beratend und moderierend in den Themenfeldern integrierte Stadtentwicklung und Mobilität. Aktuell ist sie als Projektleiterin bei der Deutschen Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft in Berlin tätig.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Planungsverfahren für die Integration automatisierten Fahrens

5

Dennis Jaquet, Gregor Korte, Paul Rosenkranz und Christian Rudloff

Inhaltsverzeichnis

5.1 Herausforderung der Planung der Integration automatisierten Fahrens angesichts fehlender Normen	198
5.1.1 Die aktuelle Planungssituation.	198
5.1.2 Grundsätze und mögliche Lösungsansätze für die Integration eines automatisierten ÖPNV.	201
5.2 Herausforderung der Planung angesichts eines veränderten Mobilitätsverhaltens bzw. einer noch nicht bekannten Verkehrsnachfrage	204
5.2.1 Planungsveränderungen durch neue Mobilitätsformen	205
5.2.2 Neue Form der Datenerhebung notwendig	206
5.2.3 Analyse	210
5.2.4 Modellierung	211
5.3 Es besteht kein Platz für reservierte ÖPNV-Spuren – Optionen zur Neugestaltung des Straßenraums	214
Literatur.	218

D. Jaquet (✉) · G. Korte
Planersocietät, Dortmund, Deutschland
E-Mail: jaquet@planersocietaet.de

G. Korte
E-Mail: korte@planersocietaet.de

P. Rosenkranz · C. Rudloff
Austrian Institute of Technology, Wien, Österreich
E-Mail: paul.rosenkranz@ait.ac.at

C. Rudloff
E-Mail: christian.rudloff@ait.ac.at

5.1 Herausforderung der Planung der Integration automatisierten Fahrens angesichts fehlender Normen

Dennis Jaquet und Gregor Korte

Das Kapitel setzt sich mit der Frage auseinander, wie die künftige Planung von Verkehrsräumen erfolgen könnte, die die Integration eines automatisierten ÖPNV berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass es in den nächsten Jahrzehnten noch keinen relevanten vollautomatisierten SAE Level 5 motorisierten Individualverkehr geben wird.

5.1.1 Die aktuelle Planungssituation

Ob Verkehrsentwicklungsplan, Mobilitätskonzept oder die neueste Generation verkehrsplanerischer Planwerke Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP), sie alle haben eins gemein: Sie schaffen für die kommunale Verkehrsplanung den Handlungsrahmen für die kommenden 10 bis 15 Jahre. Dieser Planungshorizont ist absolut notwendig. Und doch bergen die Planwerke das Problem, dass sie kaum im Stande sind, mit der Veränderung im Bereich der Mobilität mitzuhalten, die exponentiell zunimmt. Insbesondere der SUMP ist zwar so ausgelegt, dass er kein starres Planwerk darstellt, sondern sich an die Veränderungen anpassen kann. Teilbausteine und Maßnahmen dieser Planwerke sind jedoch entweder aufgrund der derzeitigen Normen und Gesetze nicht so flexibel – man denke an Ausbaumaßnahmen für Straßen- und Stadtbahnen mit den dazugehörigen Planfeststellungsverfahren – oder es fehlen sogar – wie im vorliegenden Fall des automatisierten Fahrens – Normen oder auch nur Hinweise für die Planung.

Die Fragestellung beginnt dabei bereits im Vorfeld und vor der genauen Ausgestaltung und Aufteilung des Straßenraums. Jede Kommune verfügt über ein Straßennetz, das mindestens in Haupt- und Nebenstraßen unterteilt ist. Für Nutzende ist dies meist über den Ausbaustandard und die entsprechend geltende Geschwindigkeitsbegrenzung erkennbar. Planerisch hingegen liegt hier ein deutlich komplexeres System dahinter. So können großräumig betrachtet die Straßen nach Verbindungsfunktionen eingruppiert werden (siehe Abb. 5.1).

Daraus ergibt sich für den Entwurf der Straßen beispielhaft dargestellt die in Abb. 5.2 dargestellte Situation.

Entsprechend der Verbindungsfunktion stellt die Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) sodann typische Entwurfssituationen zu den Straßenkategorien vor. Bereits an dieser Stelle stellt sich den Planenden die Frage, welche Straßenkategorien gleichermaßen für automatisierte Fahrzeuge geeignet sein sollen und unter welchen Umständen und/oder Anpassungen es möglich sein soll, bestimmte Straßen mit einem automatisierten Fahrzeug zu befahren. Denkbar wäre auch das Aufzeigen einer zeitlichen Perspektive, da sicherlich die anbaufreie Straße – ebenso wie eine Autobahn – durch automatisierte Fahrzeuge bereits heute besser genutzt werden kann als eine Quartiers-

Kategoriengruppe		Autobahnen	Landstraßen	Anbaufreie Hauptverkehrsstraßen	Angebaute Hauptverkehrsstraßen	Erschließungsstraßen
		AS	LS	VS	HS	ES
Kontinental	0	AS 0		-	-	-
Großräumig	I	AS I	LS I		-	-
Überregional	II	AS II	LS II	VS II		-
Regional	III	-	LS III	VS III	HS III	
Nahräumig	IV	-	LS IV	-	HS IV	ES IV
Kleinträumig	V	-	LS V	-	-	ES V

Abb. 5.1 Eingruppierung von Straßen nach Verbindungsfunktionen entsprechend der Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) FGSV 2006

Typische Entwurfssituation	Straßenkategorie
Wohnweg	ES V
Wohnstraße	ES V
Sammelstraße	ESIV
Quartiersstraße	ESIV, HS IV
Dörfliche Hauptstraße	HS IV, ES IV
Örtliche Einfahrtstraße	HS III, HS IV
Örtliche Geschäftsstraße	HS IV, ES IV
Hauptgeschäftsstraße	HS IV, ES IV
Gewerbestraße	ES IV, ES V, (HS IV)
Industriestraße	ES IV, ES V, (HS IV)
Verbindungsstraße	HS III, HS IV
Anbaufreie Straße	VS II, VS III

Abb. 5.2 Typische Entwurfssituation aus der Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) FGSV 2006

straße mit vielen Bäumen, parkenden Autos und spielenden Kindern. Da viele Straßen Bestandsstraßen sind und in den beschriebenen Planwerken die Netzstruktur und die Kategorisierung nicht unumstößlich sind, ist eine allgemeine auf die Straßenkategorie bezogene Feststellung der Tauglichkeit für das automatisierte Fahren nicht möglich. Diesem Aspekt hat der deutsche Gesetzgeber in der Novelle des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) 2021 Rechnung getragen, in dem er die Nutzungsumstände für die Betriebszulassung eines automatisierten Fahrzeugs SAE Level 4 mit berücksichtigt und somit die Zulassung nur für ein bestimmtes Straßennetz oder ein bestimmtes Gebiet erfolgt.

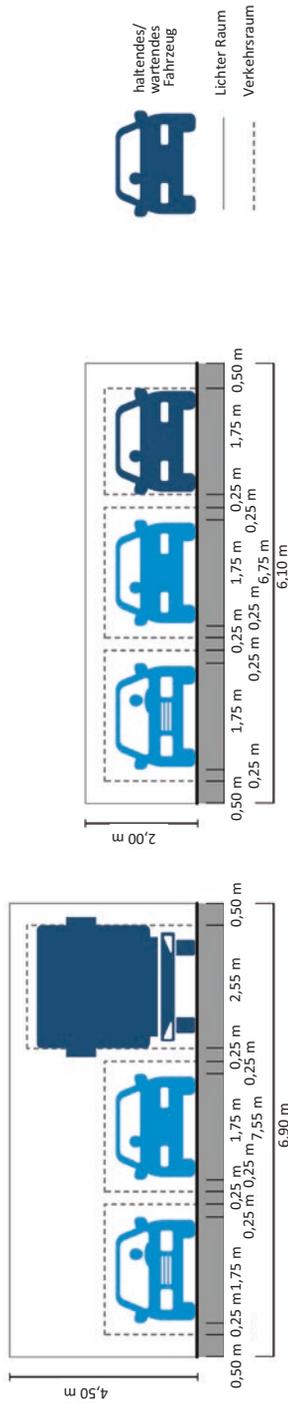


Abb. 5.3 Beispiele für Verkehrsräume und lichte Räume beim Begegnen, Nebeneinander- und Vorbeifahren ausgewählter Kombinationen von Bemessungsfahrzeugen (Klammermaße: mit eingeschränkten Bewegungsspielräumen). (Quelle: FGSV 2006)

Je tiefer und genauer die Planung im Anschluss geht, je weiter wir uns in den Bereich der Entwurfsplanung bewegen, desto mehr Fragen zum Umgang mit automatisierten Fahrzeugen tun sich auf. Dazu fehlen jedoch noch die notwendigen Leitlinien und Planungsinstrumente.

Bei Neubauten einer Straße werden diese in der Regel auf eine Lebensdauer von 30 Jahren angelegt. Das Verwaltungsgericht Lüneburg stellt hierzu fest: „Nach der Rechtsprechung der Kammer liegt die übliche Nutzungsdauer bei asphaltierten Fahrbahnen bei 25 Jahren (VG Lüneburg, Urt. v. 06.03.2018 – 3 A 105/15). Für gepflasterte Verkehrsflächen ist von einer Nutzungsdauer von etwa 30 Jahren auszugehen“ (OVG Lüneburg, Beschl. v. 30.06.2006 – 9 LA 200/04). Dies ist aus dem Grunde wichtig, dass in vielen Bundesländern Anwohnende bei der Erneuerung von Straßen zu entsprechenden Straßenbeiträgen verpflichtet werden. Auch bei der Vergabe von Fördergeldern für den Straßenbau und anderen Infrastruktureinrichtungen wird die Vergabe der Gelder oftmals an eine bestimmte Nutzung sowie an bestimmte Gestaltungen geknüpft. Dies bedeutet, wenn für eine Straße die Aufteilung des Straßenraums vorgenommen und die Straße entsprechend gebaut wurde, darf sie ohne relevante Begründung auf Jahrzehnte nicht verändert werden.

Wie aber sollen wir die Straßen der Zukunft in Hinblick auf automatisiertes und vernetztes Fahren gestalten? Bedarf es einer besonderen Gestaltung oder kann der Straßenraum so bestehen bleiben, wie er ist? Bedarf es besonderer Gestaltungselemente, Beschilderungen oder anderer Elemente zur Kommunikation für die Fahrzeuge? Sind die derzeit geplanten Schleppkurven sowie die Parkverbotsbereiche rund um Knotenpunkte ausreichend für das Sichtfeld und die Sensorik der Fahrzeuge? Sind die Abstände parkender Fahrzeuge zum Fahrbahnrand ausreichend?

Mit Blick auf die in der RASSt angegebenen Maße wird bereits deutlich, dass diese den gestiegenen Fahrzeugbreiten der Pkw nicht mehr gerecht werden. Insbesondere hinsichtlich des ruhenden Verkehrs stellt sich die Frage, wie sich etwaige in den Fahrbahnbereich hereinragende, parkende Fahrzeuge auf automatisiert fahrende Fahrzeuge auswirken. Es finden sich nicht einmal Richtlinien oder Hinweise für die Berücksichtigung der Ladeinfrastruktur der Elektromobilität in der RASSt 2006. Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) ist sich der Notwendigkeit bewusst, dass die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASSt) einer Neuauflage bedürfen. Ob und in welcher Weise diese den vielfältigen Ansprüchen an automatisiertes Fahren gerecht werden kann, ist allerdings noch nicht geklärt.

5.1.2 Grundsätze und mögliche Lösungsansätze für die Integration eines automatisierten ÖPNV

Bis zur Neuauflage der RASSt ist es notwendig, innerhalb der bestehenden Bedingungen die Integration eines automatisierten ÖPNV als ein wichtiges Instrument zur Mobilitätswende zu ermöglichen. Hierfür sind sowohl Grundsätze sowie Lösungsansätze aus

einer ganzheitlichen Sicht auf das Ökosystem Mobilität und auf Grundlage der Ziele der Mobilitätswende zu formulieren.

Hierfür kann im Planungsprozess von den folgenden **Annahmen** ausgegangen werden, die einen künftigen Rahmen der Stadtentwicklung beschreiben oder sich aus der Notwendigkeit des Klimaschutzes ergeben:

- Der Bestand an Pkws wird sich deutlich reduzieren.
- Der öffentliche Parkraum für Pkw wird deutlich reduziert bzw. zum Teil nur noch in Parkhäusern oder auf dem eigenen Grundstück gestattet sein.
- Der Verkehrsraum innerhalb der Quartiere wird zum Teil zu öffentlichem Raum mit hoher Aufenthaltsqualität.
- Bestimmte Straßen im Quartier werden aufgeteilt auf Nahmobilität und ÖPNV.
- Die Geschwindigkeit innerhalb des Stadtgebiets wird auf 30 km/h reduziert. Ausnahmen dazu könnten Verbindungsstraßen (VSII und VSIII) sowie Hauptstraßen (HSIII) sein.

Diese Annahmen gründen auf der Überzeugung, dass die Integration eines automatisierten ÖPNV ausschließlich als Teil einer Mobilitätsstrategie mit einer klaren Vision von der Entwicklung der Stadt und deren Mobilitätssystem erfolgen kann. Insofern stellen diese Annahmen zu errichtende Rahmenbedingungen dar. Diese Vision bedarf einer ganzheitlichen Planung, die ein besonders sorgfältiges und interdisziplinäres Vorgehen verlangt.

Für die Planung des Verkehrsraums unter Berücksichtigung des automatisiert fahrenden ÖPNV kann von den folgenden **Grundsätzen** und Lösungsansätzen ausgegangen werden:

- Der Aufbau und die Dimensionierung des Straßenraumes sollten nicht an den aktuellen Fähigkeiten der automatisierten Fahrzeuge ausgerichtet werden.
- Wenn die Notwendigkeit besteht, eine Bestandsstraße anzupassen, sollte darauf geachtet werden, dass durch die Anpassung automatisiertes Fahren nicht verhindert oder erschwert wird. Hier muss es aus der Industrie in den nächsten Jahren entsprechende Richtlinien geben.
- Es ist darauf zu achten, dass öffentlicher Parkraum erst dann gestrichen wird und die Nutzung von bestimmten Straßen mit dem Pkw nicht mehr erlaubt ist, wenn gleichzeitig der automatisierte ÖPNV im Quartier als Alternative zum Auto zur Verfügung gestellt wird.
- Durch Streckenführung des automatisierten ÖPNV, durch die Reduktion von öffentlichem Parkraum sowie durch Widmung von bestimmten Verkehrsräumen ausschließlich für die Nahmobilität und den automatisierten ÖPNV kann auf anderen Straßen in den Quartieren eine Anpassung des Aufbaus und der Dimensionierung der Straßen vermieden werden. Eine bauliche Trennung zwischen dem Fahrstreifen der

Nahmobilität und dem Fahrstreifen für den automatisierten ÖPNV könnte ggf. jedoch sinnvoll sein.

- Auf starken Achsen besteht mit spurgebundenen, insbesondere schienengeführten Lösungen ein Ansatz, der aufgrund seiner starren, daher absehbar unveränderten und folglich planbaren Abmessungen indisponibel mitzudenken ist. Eigene Fahrwege wirken sich hier positiv aus.
- Planung und Zulassung des automatisierten ÖPNV-Fahrzeugs gemeinsam mit der gewählten Strecke entsprechend StVG 2021.

Für die Integration des automatisiert fahrenden ÖPNV lassen sich für den Planungsprozess von Verkehrsanlagen im kommunalen Bereich folgende Lösungsansätze formulieren:

- LP1: Grundlagenermittlung
Hier wird im oben beschriebenen Zusammenhang geprüft, um welche Straßenkategorie (nach RASt) es sich handelt sowie ob eine Integration automatisiert fahrender ÖPNV-Fahrzeuge sinnvoll und notwendig ist.
- LP2: Vorplanung
Anhand der festgestellten Straßenkategorie werden die Dimensionen der Straße sowie in Zusammenhang damit erste Überlegungen der Straßenraumverteilung vorgenommen. Sollte eine Integration automatisierter Fahrzeuge nötig sein, so sollte der Nahmobilität und dem ÖPNV Priorität eingeräumt und die Fahrbahnränder möglichst „clean“ gehalten werden. Auch besondere Einrichtungen wie Sensoren und weitere Bestandteile der V2X-Kommunikation müssen berücksichtigt werden.
- LP3: Entwurfsplanung
Die erste grobe Dimensionierung wird näher definiert. Nutzungen im Seitenraum in direkter Angrenzung an die Fahrbahn werden so angelegt, dass sie eine möglichst geringe Beeinträchtigung des fahrenden Fahrverkehrs darstellen. Flächen für den ruhenden Verkehr im Seitenraum werden nicht eingeplant und angeordnet, stattdessen werden (hochstämmige) Grünstrukturen und Aufenthaltsflächen angelegt.
- LP4: Genehmigungsplanung
Es wird noch einmal explizit geprüft, ob neben den verkehrlichen Belangen sowie den Belangen der Aufenthaltsqualität auch die des autonomen Fahrens hinreichende Berücksichtigung finden.
- LP5: Ausführungsplanung
In der Ausführungsplanung werden die bereits vorgenommenen Planungen noch einmal weiterentwickelt und dienen als Grundlage für eine ausführungsfähige Lösung. Hierfür müssen alle Dimensionierungen durchgeführt werden und in Schnitten und Ausschnittsvergrößerungen dargestellt werden. Berücksichtigung finden sollten mit Sicht auf das automatisierte Fahren vor allem notwendige Abstandsflächen zwischen Fahrbahn und Seitenraum, die Sicherstellung von Sichtbeziehungen der Sensorik sowie die Berücksichtigung weiterer Belange der V2X-Kommunikation.

Fazit zu Abschn. 5.1

Kommunen und Regionen stehen vor der großen Herausforderung, ohne entsprechende Richtlinien und Planungsvorgaben in den kommenden Jahren die Mobilitätswende voranzutreiben und dafür ihr ganzes Mobilitätssystem umzuplanen. Die Integration eines automatisierten Quartiers-, Orts- oder Dorfbusangebots zur Erhöhung der Versorgungsqualität scheint dafür ein notwendiges Instrument.

Mit Mut, einer klaren Vision von der Entwicklung der Stadt, des Quartiers oder des Dorfes und im Austausch mit den Bürger:innen können jedoch Planungsvorhaben angegangen und der automatisierte ÖPNV zum alltagstauglichen Teil des Mobilitätssystems der Bürger:innen gemacht werden.

Aus der ganzheitlichen Sicht auf das Ökosystem Mobilität und den Zielen der Mobilitätswende liegen mit den formulierten Grundsätzen für die Planung sowie den genannten Lösungsansätzen im Planungsprozess von Verkehrsanlagen im kommunalen Bereich konkrete Möglichkeiten und Hinweise vor, wie die Belange des automatisierten ÖPNV berücksichtigt werden könnten. Diese sollen trotz derzeit fehlender Rahmenbedingungen und Richtlinien den Mut und die Perspektive für die Integration des automatisiert fahrenden ÖPNV fördern.

5.2 Herausforderung der Planung angesichts eines veränderten Mobilitätsverhaltens bzw. einer noch nicht bekannten Verkehrsnachfrage

Paul Rosenkranz und Christian Rudloff

Neue, teil- oder vollautomatisierte Verkehrssysteme, Verkehrsmittel oder Verkehrsangebote werden derzeit von Seiten der Infrastruktur und der vorhandenen Technologien in bestehende Umgebungen integriert. Das Rückgrat der angestrebten Verkehrswende, eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und der Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) wird stark durch zukünftige Verkehrssysteme und -angebote definiert werden. Dabei spielen neben den immer weiter wachsenden Ballungsräumen, wie im difu-Bericht-Beitrag „Ausweitung kommunaler Wohnbestände“ (difu-Bericht 02/2021) dargestellt, auch zu erschließende Nicht-Ballungsräume eine große Rolle. Nicht alle Menschen werden in durch räumliche Nähe relativ einfach zu erschließenden Bereichen leben können, da die derzeit vorherrschenden Preisentwicklungen als Engpass wirken. Diese Menschen sind dann in schwach erschlossenen Gebieten, wie etwa regionalen Siedlungsgebieten, auf spezielle Verkehrssysteme und -ergänzungssysteme zusätzlich zu bereits bestehenden Lösungen

angewiesen. Viele Anbieter könnten mit ihren Produkten, von Micro-Scootern bis zu vollautomatisierten Shuttlebussen, im Bereich des Mikro-ÖV und On-Demand-Verkehrs einen wertvollen Beitrag dazu liefern (Distler et al. 2018).

Mit zunehmendem Fortschritt in der Entwicklungstätigkeit und langjähriger Forschungsarbeit im Bereich der Sharing-Systeme, des On-Demand-Verkehrs und des automatisierten Fahrens wird ein Einsatz nicht nur in urbaner Umgebung immer zielführender und effektiver. Ein Umdenkprozess im Angebotsdesign von „Welche Strecke ist für mein Fahrzeug verträglich?“ hin zu „Wie viele Fahrgäste können möglichst optimal versorgt werden, indem Routen oder Nachfrage gebündelt werden?“ ist allenfalls notwendig, auch bei der Planung und Nachfragemodellierung, um den neuen Angeboten und damit verbundenen Möglichkeiten gerecht zu werden.

Daraus wird ersichtlich, dass die neuen Mobilitätsformen neben einer möglichst aktuellen Datenlage zu physischer und digitaler Infrastruktur für die Angebotsplanung und die Ausrichtung des Angebots auf Kenngrößen der Stadtplanung auch die Einbindung der Nutzer in das Gesamtsystem notwendig sind. Will man Sharing-, Pooling- oder On-Demand-Systeme etablieren, sind Vorhersagen zu Nachfrage und Änderungen in der Nachfrage notwendig. Gleichzeitig braucht es jedoch auch Echtzeitinformation über verfügbare Angebote.

5.2.1 Planungsveränderungen durch neue Mobilitätsformen

Durch neue Mobilitätsformen werden herkömmliche Planungsansätze mit neuen Fragestellungen konfrontiert. Neben der geänderten Form der Fortbewegung selbst ist eine Tendenz hin zu Optimierungsansätzen erkennbar, die anstatt vom Menschen gelenkten Fahrzeugen nundurch Digitalisierung und Automatisierung des Verkehrssystems den Einsatz automatisierter Fahrzeuge zur Optimierung des Verkehrssystems fordern. In den beiden zeitnahen Projekten auto.bus seestadt (Millonig A. et al. 2019) und Drive2TheFuture (Drive2TheFuture Konsortium et al. 2019) wurden zwei autonome (SAE Level 3–4) Shuttle-Busse in einem Stadtentwicklungsgebiet in der Österreichischen Bundeshauptstadt Wien in einem über zweijährigen Testbetrieb eingesetzt. Dabei wurden die Shuttles nicht auf einer abgesperrten Route eingesetzt, sondern direkt in den Linienbetrieb integriert und fuhren somit sowohl auf eigenen als auch auf Mischverkehrsrouten im Passagierbetrieb. Als Forschungsprojekt klassifiziert, wurden neben Passagierbefragungen auch Tests zur Integration von vulnerablen, nicht direkt in den Informationsfluss integrierten Verkehrsteilnehmern durchgeführt. Diese Verkehrsteilnehmer wurden durch eine Informationskampagne und Anzeigen am Fahrzeug selbst über Fahrmanöver und Funktion der Routentests informiert. Die Ergebnisse zeigten eine breite Akzeptanz, die durch Weiterentwicklungen im Technologiebereich noch gesteigert werden könnte. Somit sieht sich die Planung rund um neue Mobilitätsformen mit zwei Herausforderungen konfrontiert:

- Die Nachfragemodellierung ist mit einer großen Unbekannten versehen: Eine Abschätzung hinsichtlich der Verfügbarkeit der Technologie ist derzeit nicht ausreichend genau möglich und so lässt kein genauer Zeitpunkt für die Inbetriebnahme festlegen.
- Neben der eigentlichen Erschließungsplanung müssen Optimierungsanforderungen zeitnah und nachfrageabhängig berücksichtigt werden.

Diese beiden markanten Herausforderungen lösen das bisher lineare Planungsdenken nach direkten Anbindungen in Gebiete steigender Nachfrage ab. Gleichzeitig erfordern sie aber eine neue Herangehensweise bei der Initiierung der Datengrundlage zur generellen Planung.

5.2.2 Neue Form der Datenerhebung notwendig

Um Auswirkungen auf Nachfrage für neue Verkehrsmittel und -services abzuschätzen, werden in der Verkehrsplanung meist Simulationsmodelle eingesetzt. Um Verkehrssimulationsmodelle aufzubauen, werden meist Varianten des Vierstufenmodells verwendet, bei dem die Schritte

- Verkehrserzeugung,
- Verkehrsverteilung,
- Verkehrsmittelwahl und
- Verkehrsumlegung

durchlaufen werden. Eine gute Zusammenfassung zu derzeitigen Entwicklungen im Bereich der Verkehrsplanung für Fahrzeuge ist in Narayanan et al. (2020) zu finden. Die ersten beiden Schritte werden dabei zumeist als konstant und von der Einführung neuer Verkehrsmittel unabhängig angesehen. Natürlich kann es durch Einführung neuer, automatisierter Verkehrsmittel auch zu Änderungen in der Flächennutzung oder räumlichen Verteilung der Bevölkerung kommen, aber diese Effekte werden durch Annahmen in unterschiedlichen Simulationsszenarien abgedeckt. Die Verkehrsmittelwahl hingegen hängen natürlich von den neu in das Verkehrssystem eingeführten autonomen Fahrzeugen ab. Diese müssen z. B. über veränderte Reisezeitbewertungen in die Verkehrsmittelwahlmodelle übernommen werden. Derzeit gibt es noch sehr wenige Daten zur Nachfrage nach automatisierten Fahrzeugen, vor allem, da es derzeit nur wenige Experimente, insbesondere mit automatisierten Shuttles auf festen Strecken gibt (Antoniali, F. 2019). Zusätzlich sind die Experimente noch weit entfernt von realen Einsätzen von automatisierten Fahrzeugen. So muss derzeit noch ein Operator im Fahrzeug mitfahren und die Fahrzeuge fahren aus rechtlichen Gründen nur mit sehr geringen Geschwindigkeiten, was beides die gefühlte Sicherheit in den Fahrzeugen erhöht (Hilgarter und Granig 2020) und was es wiederum schwer macht, aus den Fahrgastzahlen verlässliche Nachfrageschätzungen abzuleiten. Um Daten für die Schätzung der Verkehrsmittel-

wahlmodelle für neue Mobilitätsformen zu erhalten, wird daher meist auf Umfragen zurückgegriffen. Gerade im Bereich der Bewertungen von Reisezeiten gibt es schon eine Vielzahl von Veröffentlichungen, in denen Choice-Experimente beschrieben werden, um die Reisezeitbewertungen in Verkehrsmittelwahlmodellen zu schätzen. Beispiele finden sich in der Publikation „Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings“ (Kolarova, V. et al. 2019), in der die Values of travel time für unterschiedliche Fahrzeuge untersucht wird. Man sieht in Abb. 5.4, dass die Bewertung von allein genutzten automatisierten Fahrzeugen nahe bei denen im öffentlichen Verkehr liegen, die generell am besten bewertet werden, während geteilte autonome Fahrzeuge etwas schlechter bewertet werden als konventionelle Autos.

Auch in anderen Veröffentlichungen kann man vergleichbare Werte finden, bei denen automatisierte Fahrzeuge besser bewertet werden als konventionelle Autos. In de Almeida Correia, Gonçalo Homem et al. (2019) werden z. B. die Value-of-Travel-Time-Werte von konventionellen Autos und automatisierten Fahrzeugen bei Freizeit- und Arbeitswegen verglichen. Dabei zeigt sich, dass automatisierte Fahrzeuge bei „leisure trips“ schlechter als konventionelle Fahrzeuge bewertet werden (8,71 \$/h im Vergleich zu 7,8 \$/h), während die Bewertung für Arbeitswege mit 5,85 \$/h besser ist als die von konventionellen Fahrzeugen.

Ein Kritikpunkt an den meisten Veröffentlichungen ist, dass in den Ergebnissen von reinen „stated preference“ Choice-Experimenten es zu hypothetischen Verzerrungen kommt, da die Befragten die Auswirkungen von ihnen unbekanntem Alternativen nicht richtig einschätzen können. In de Almeida Correia, Gonçalo Homem et al. (2019) wird auch untersucht, inwieweit das Design von „stated preference“ Choice-Experimenten diese hypothetische Verzerrung ausgleichen kann. Dabei wird gezeigt, dass man die Verzerrung der Modelle dadurch klar verringern kann, indem man die im Choice-Experiment angebotenen Alternativen auf Referenzalternativen aufbaut, die den wahren Alternativen der befragten Personen entsprechen. Eine solche auf Referenzalternativen gestützte Befragung wurde z. B. in Zhong, Haotian et al. (2020) angewendet. Hier werden geteilte

Verkehrsmittel	Einkommen		
	niedrig	mittel	hoch
Zu Fuß	22,2	27,3	39,1
Fahrrad	14,1	17,3	24,9
Öffentlicher Verkehr	3,5	4,3	6,2
Konventionelle Autos	6,4	7,8	11,2
Autonome Fahrzeuge	3,8	4,6	6,6
Geteilte autonome Fahrzeuge	6,7	8,2	11,8

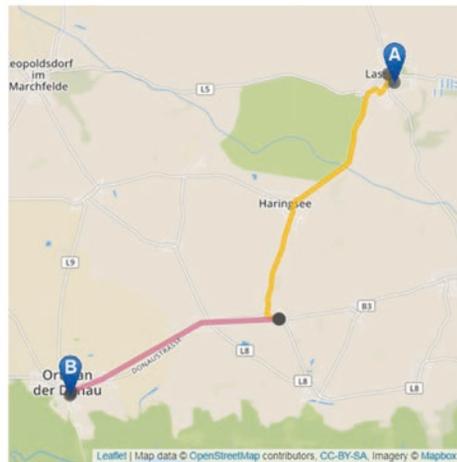
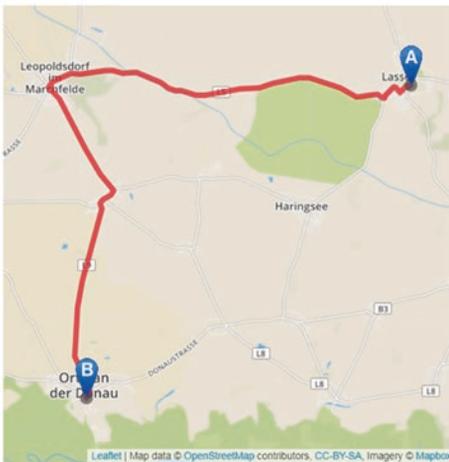
Abb. 5.4 Value-of-Travel-Time-Bewertungen (aus Kolarova, V. et al. 2019) für Pendelwege und verschiedene autonome Fahrzeugklassen im Vergleich zu konventionellen Verkehrsmitteln in Euro pro Stunde

automatisierte Fahrzeuge anders als in der Abb. 5.4 nach Kolarova, V. et al. (2019) etwas besser bewertet als konventionelle Fahrzeuge. Was hier beobachtet wird, ist allerdings, dass die Values of travel Time in ländlichen Gebieten und am Stadtrand klar kleiner sind als in urbaneren Gegenden, was für eine Einführung von automatisierten Angeboten gerade dort erfolgversprechend sein könnte. Einen Schritt weiter gehen sogenannte SP-off-RP Choice-Experimente (Train, Kenneth E. und Wesley W. Wilson 2009), bei denen wahre Alternativen aus der Befragung hypothetischen Alternativen gegenübergestellt werden, um zu garantieren, dass das Setting der Alternativen den Befragten geläufig ist. Ein Beispiel für ein Befragungswerkzeug, das es ermöglicht, wahre Routenalternativen der Befragten solchen z. B. in geteilten Verkehrsmitteln gegenüberzustellen, wird in Rudloff, C. und Straub M. (2021) vorgestellt. Eine beispielhafte Auswahl-situation in MyTrips für den Fall eines Mikro-OEV-Systems im ländlichen Raum ist in Abb. 5.5 zu sehen. MyTrips bietet natürlich genauso die Möglichkeit, automatisiertes Fahren zu integrieren.

Neben Daten aus realen Experimenten gibt es auch schon Studien, die Daten aus konventionellen, bedarfsgesteuerten Verkehrsangeboten nutzen, um mit Hilfe einer Simulationen dann die Nachfrage für und die Modal-Split-Veränderungen vorherzusagen. Beispiele dafür findet man z. B. in Studien zu Ride-Sharing in Hamburg, in der eine komplette Studie zu einem Ride-Sharing-Service mit Hilfe einer Verkehrs-

Route A: 26 min, 0 Transfers

Route B: 45 min, 1 Transfer



	Transfer / Waiting Time	Travel Time	Distance
Car	1 min / 5 min	20 min	20.6 km

	Transfer / Waiting Time	Travel Time	Distance
Foot		8 min	600 m
Micro PT	1 min	23 min	8.7 km
Foot	1 min	<1 min	10 m
Bus, new main line	2 min	9 min	
Foot	<1 min	<1 min	70 m

Abb. 5.5 Auswahl-situation aus dem MyTrips-Befragungstools

simulation beschrieben ist (Ergebnisbericht Kagerbauer, M. et al. 2021; Methodenbericht Kagerbauer et al. 2021). Dabei werden Daten eines Anbieters konventioneller Ride-Sharing-Fahrzeuge durch „stated preference“ Umfragen (Abb. 5.6) ergänzt, in denen Verhalten der Befragten im Fall von Automatisierung abgefragt wird. Damit wird dann ein Simulationsmodell erstellt, mit dem unterschiedliche Szenarien modelliert werden, um die Nachfrage nach automatisierten Ride-Sharing-Fahrzeugen zu modellieren.

Die Studie zeigt auch auf, wie man andere Datenquellen, auch zu konventionellen Fahrzeugen, nutzen kann, um damit Vorhersagen für die Nachfrage automatisierter Fahrzeuge abzuschätzen. Gute Datenquellen sollten durch die Mobility as a Service (MaaS) Anwendungen geboten sein, die oft mögliche Anwendungsfälle für neue automatisierte Services beinhalten. So werden Car-Sharing- und Ridepooling-Anwendungen dort derzeit noch mit konventionellen Angeboten integriert. Die Nachfrage, die für diese konventionellen Anwendungen in den MaaS-Anwendungen beobachtet wird, kann dann mit Hilfe von Umfragen auf automatisierte Fahrzeuge übertragen werden.

Eine weitere Datenquelle, die genutzt werden kann, sobald automatisierte Fahrzeuge zu einem größeren Teil des Verkehrs werden, sind Daten aus den Fahrzeugen selbst. Die in den Fahrzeugen verbauten Sensoren zeichnen ständig Daten auf, die teilweise auch für Nachfrageabschätzungen genutzt werden können. Gerade wenn Fahrzeuge auch noch vernetzt sind, können so viele Daten zu Verkehrsfluss oder Verkehrsstärken erhoben werden, die bei der Kalibrierung von Verkehrssimulationsmodellen eingesetzt werden können.

Allgemeine Befragung	MOIA Ridepooling	
Soziodemographie	Bisherige Erfahrung	
Geschlecht, Alter, Berufsstatus, Wohnort, Haushalt, Einkommen, Mobilitätseinschränkung	Kenntnis von MOIA, Mitgliedschaft bei MOIA, Nutzungshäufigkeit	
Alltägliche Mobilität	Nutzende	Nicht Nutzende
Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen, Mitglied bei Mobilitätsdiensten, Nutzungshäufigkeit diverser Verkehrsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Servicebewertung • Einflussfaktoren bei Nutzung • Diverse Fragen nach der letzten MOIA-Fahrt (Ort, Zeit, Zweck) 	<ul style="list-style-type: none"> • MOIA-Vorstellung (Video) • Gründe für bisherige Nicht-Nutzung • Mögliche zukünftige Nutzung
Einstellungen		
Einstellungen zu verschiedenen Verkehrsmitteln, Einstellung zu MOIA		
Verkehrsmittelwahlexperiment		
Discrete-Choice-Experiment: Auswahl eines Verkehrsmittels (klassische und neue, geteilte Angebote) für bestimmte Wegzwecke unter Berücksichtigung von Kosten, Reise-, Warte-, Zu- und Abgangszeiten		

Abb. 5.6 Befragungsdesign aus der Ride-Sharing-Studie. (Nach Kagerbauer, Martin, et al. 2021)

5.2.3 Analyse

Auch ohne Verkehrssimulation können aus Umfragedaten erste Erkenntnisse über die Nachfrage nach automatisierten Angeboten ermittelt werden. So kann man z. B. Likert-Skalen nutzen, um abzufragen, wie wahrscheinlich die Nutzung neuer Verkehrsmittel für die Befragten ist. In Abb. 5.7 sieht man z. B. die Wahrscheinlichkeiten, dass Befragte ein Mikro-ÖV-System nutzen, wobei hier zusätzlich noch nach der selbsteingeschätzten Erreichbarkeit des Systems an derzeitigen ÖEV-Haltestellen unterschieden wird.

Natürlich hat man hier keine quantifizierbare Abschätzung der Nachfrage, aber man kann sich einfach einen ersten Eindruck verschaffen, wer an solchen neuen Systemen überhaupt Interesse hat.

Um genauere Analysen zu interessierten Personengruppen zu erhalten, lohnt es sich, diese nicht nur geografisch oder nach soziodemografischen Faktoren zu unterscheiden. Typologien wie die pro:motion-Typologie (siehe Markvica, Karin, et al. 2020), die sechs Typen ausweist, die unterschiedlich auf Reize und Information im Verkehrssystem reagieren (Abb. 5.8).

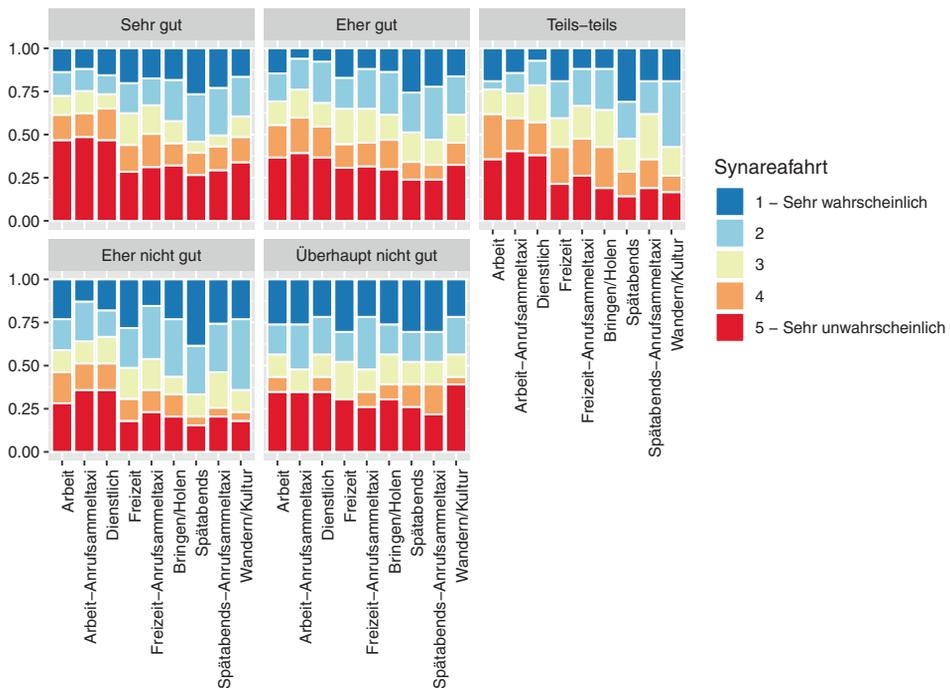


Abb. 5.7 Wahrscheinlichkeit, dass Befragte Mikro-OEV im ländlichen Raum nutzen werden, nach Erreichbarkeit der an ÖEV-Haltestellen verfügbaren Fahrzeuge

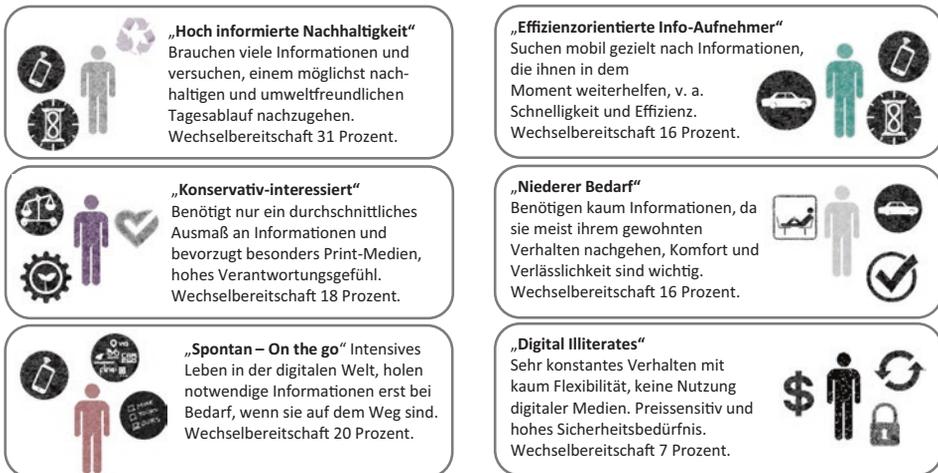


Abb. 5.8 pro:motion Typologie (Quelle: Markvica, Karin et al. 2020)

Die pro:motion-Typologien sind auch sehr gut geeignet, um das Verhalten von Personen bei der Einführung neuer Verkehrsmittel zu bewerten. In Abb. 5.9 sieht man z. B. das erwartete Nutzungsverhalten für unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten von automatisiertes Fahren für unterschiedliche pro:motion Typen.

5.2.4 Modellierung

Neue Verkehrsmittel und -systeme in bestehende Modellierungen aufzunehmen, ist stark mit gesetzlichen Rahmenbedingungen und technologischen Entwicklungen verbunden. Wird ein neues Verkehrsmittel in eine bestehende und für die Benutzer gewohnte Umgebung integriert, entscheiden aber auch andere Parameter über Erfolg oder Nichterfolg.

Der Modellierung dieser nicht bekannten Nachfrage ist in den letzten Jahren eine immense Bedeutung zugekommen, sowohl aus Planungssicht der Betreiber des Verkehrssystems als auch aus Sicht der Infrastrukturbetreiber. Neben der physischen Infrastruktur (Straße und Stationsumgebung) wird für das automatisierte Fahren ein konstanter Informationsfluss mittels digitaler Infrastruktur benötigt, um andere Verkehrsteilnehmer erkennen und einbinden zu können. Vor allem in der Forschung sind ebendiese Verknüpfungen derzeit stark nachgefragt, das automatisierte Fahren wird im Vergleich zu Hochleistungsstrecken in der Stadt als Mittel zur Unterstützung der Verkehrswende gesehen.

Neben der Modellierung der Infrastrukturbestandteile sind die Nachfrage und das Verhalten sowohl der Fahrzeuge als auch der beförderten Personen eine große Unbekannte,

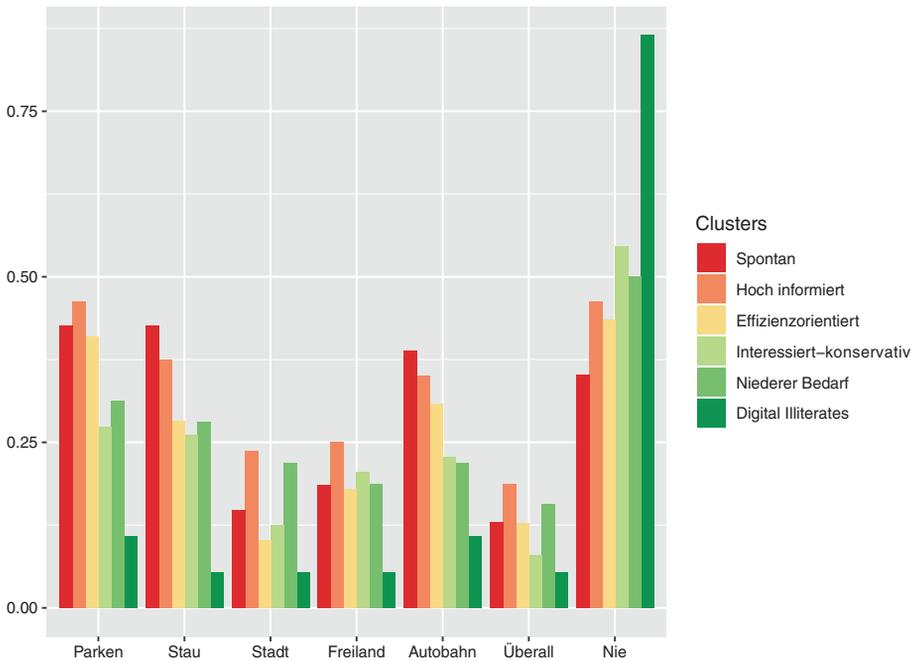


Abb. 5.9 Angegebene Nutzungswahrscheinlichkeiten von autonomen Fahrzeugen nach pro:motion Typ für unterschiedliche Nutzungsszenarien

deren Erforschung in vielen weltweiten Projekten Zielsetzungen gewidmet sind. In den Projekten auto.bus Seestadt (Millonig et al. 2017) wurden zwei SAE Level 3/Level 4 Fahrzeuge, nach einem dreiwöchigen Testbetrieb inklusive Operatoren-Training auf gesperrtem Gelände, einem zweijährigen Betrieb in einem bestehenden ÖV-System unterzogen. Neben den operativen Fähigkeiten des neuen Verkehrssystems wurden auch Akzeptanz und Inklusion vulnerabler Verkehrsteilnehmer untersucht. In der Begleitforschung wurden neben Verkehrssicherheitsanalysen auch Simulationen zur Auswirkungsanalyse der eingesetzten Shuttles im Mischverkehr herangezogen. Mit dieser Herangehensweise sind auf der einen Seite Ausblicke in die Zukunft und der simulierte Einsatz angepasster Busflotten und Linienführungen möglich, gleichzeitig wurde aber ein Problem mit der Erstellung einer geeigneten Nachfrage ersichtlich. Während die Parameter der eingesetzten Fahrzeuge inklusive aller weiteren relevanten Parameter der Linienführung und des Stationsdesigns eindeutig identifizierbar sind, ist die Nachbildung der Akzeptanz der Shuttle erweiterter Gegenstand der Forschungsarbeit.

Mit der klassischen Modellierung wie der Vier-Stufen-Modellierung ist es möglich, die generelle Nachfrage basierend auf Eingangsdaten, wie etwa soziodemografischen

Daten und Flächennutzung, und zugehörigen Erzeugungsraten zu erarbeiten. Klassische Verkehrsnachfrageabschätzungen sind jedoch auch durch die starren Einsatzmöglichkeiten, oftmals Abschätzungen von Verkehrserzeugungen und Ortsveränderungen in vorgefertigten statistischen Einheiten, beispielsweise Zählbezirke oder Gemeindegrenzen, limitiert. Für die beschriebenen neuen Verkehrssysteme wird ein adressscharfes Erzeugen und Abschätzen der Nachfrage notwendig, welches durch neue Formen der Nachfrageerzeugung möglich gemacht wird, das agentenbasierte Modellieren (ABM).

Diese Form der Modellierung erlaubt das Abbilden von Verkehrs- und Nachfrageverhalten einer synthetischen Population, die der echten Population im Untersuchungsgebiet nachempfunden ist. Durch diese Modellierungsart lassen sich neben den Interaktionsebenen im soziökonomischen Bereich auch makroskopische Ebenen und damit Prozesse abbilden, die neben anderen Fragestellungen vor allem im Bereich der neuen dynamischen Verkehrssysteme und -services maßgebliche Vorteile bringen. Die modellierten Agenten sind dabei Regeln unterworfen, die eine Beeinflussung der Entscheidungsfindung, Informationshandhabung und des Netzwerkaustauschs der Agenten untereinander darstellt. Jeder Agent wird dabei mit individuellen Präferenzen ausgestattet und trifft dabei, regelbasiert, eigene Entscheidungen (Weyer und Roos 2017).

Diese Art der Modellierung ermöglicht eine detailliertere Abbildung von individuellem Wahlverhalten, Entscheidungsfindung in Bezug auf die individuelle Route und den derzeit realitätsnahen Blick in die Zukunft. Für neue Verkehrssysteme und -services fundamentales Wissen, das genutzt werden sollte.

Fazit zu Abschn. 5.2

Neue Verkehrsmittel werden einen starken Einfluss auf das bisherige Mobilitätsverhalten der Menschen haben. Neben Automatisierung spielen infrastrukturelle Bedingungen eine große Rolle. Bisher etablierte Nachfragemodellierungen scheitern in Zukunftsszenarien vor allem an der Kenngröße des nicht bekannten technologischen Einflusses und der induzierten Nachfrage selbst, sowie an den Elastizitäten rund um On-Demand- und Nachfrageoptimierung. Diese Systeme zu verbessern, widmen sich die Forschungsbereiche rund um das agentenbasierte Simulieren, das neben der Generierung synthetischer Populationen und dem damit verbundenen Nachempfinden von realem Verkehrsverhalten auch Änderungen, sowohl im Angebot, als auch in der Nachfrage, zeitgemäß abbilden kann. Die dafür notwendigen Daten und Erfahrungswerte müssen mit neuen Erhebungsmethoden festgeschrieben werden und für Modellschätzungen bis zur Einführung der geplanten Mobilitätssysteme trainiert werden.

5.3 Es besteht kein Platz für reservierte ÖPNV-Spuren – Optionen zur Neugestaltung des Straßenraums

Dennis Jaquet und Gregor Korte

Die Probleme und Bedürfnisse unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer bei der Aufteilung des Straßenraums wurden in Abschn. 2.3 erläutert. In vielen Fällen bestehen keine ausreichenden Flächen für reservierte ÖPNV-Spuren, insbesondere nicht in einem zusammenhängenden Netz. Soll der ÖPNV strukturiert bevorrechtigt werden, und das nicht allein an Knotenpunkten, sondern bestenfalls auch auf Strecken, so müssen die Kategorisierung und Hierarchisierung des Straßennetzes neu gedacht oder neue Verkehrswege geschaffen werden.

Nicht alle Straßen können alle Funktionen wahrnehmen und gleichzeitig leistungsfähig für den Kfz-Verkehr sein, Sonderspuren für Busse und Bahnen aufweisen, ausreichend Fläche für den (schnellen) Radverkehr zur Verfügung stellen und zusätzlich barrierefreie und ausreichend dimensionierte Flächen für Zu-Fuß-Gehende aufweisen sowie den weiteren Ansprüchen an den Straßenraum wie Beleuchtung, Beschilderung, Begrünung, Aufenthalt oder ruhendem Verkehr gerecht werden.

Nicht überall ist dies notwendig – in Quartieren mit zumeist schon heute flächendeckendem Tempo 30 werden nur in Ausnahmefällen eigene Fahrwege für den Radverkehr oder den ÖPNV benötigt. Hier gilt es, den ruhenden Verkehr so zu ordnen, dass er den Umweltverbund nicht behindert oder durch leicht verfügbare und flexible (automatisierte) Sharing-Systeme den Parkverkehr erheblich reduziert und somit freiwerdende Flächen anderweitig genutzt werden können. Priorität für die Einrichtung reservierter ÖPNV-Spuren besteht daher auf Hauptverkehrsstraßen bzw. Hauptverbindungen.

Neben der Flächenneuaufteilung bestehender Straßen rücken gegebenenfalls alternative Lösungsansätze in den Fokus. Dies können eigene, zusätzliche Verkehrswege sein, eine neue Hierarchisierung der Straßennetze oder auch die flexiblere Nutzung bestehender Verkehrsräume.

Der Ansatz, zusätzliche Verkehrswege zu schaffen, scheidet oftmals an der Flächenverfügbarkeit und ist auch hinsichtlich des Flächenverbrauchs nicht uneingeschränkt zu befürworten. Dennoch mag es partiell der richtige Weg sein, um Verkehre zu entflechten und attraktive Angebote für Rad- und Fußverkehr sowie (automatisierten) ÖPNV zu schaffen. Bei hohen Potenzialen bieten sich im Umweltverbund auf hohe Geschwindigkeiten ausgerichtete Verkehrsstraßen an.

Im kommunalen ÖPNV sind dies in erster Linie U-Bahn-Verkehre. Bereits seit 2008 bieten die U-Bahn-Linien 2 und 3 in Nürnberg ein vollautomatisches und vom sonstigen Verkehr unabhängiges Nahverkehrsangebot (Stadt Nürnberg 2022). Auch die geplante und im ersten Abschnitt im Bau befindliche neue U-Bahn 5 in Hamburg wird vollautomatisiert und unabhängig verkehren und Stadtteile wie Bramfeld deutlich schneller und zuverlässiger anschließen (vgl. Stadt Hamburg 2022). Der bestehende Busverkehr fließt

hingegen im Verkehr mit, ist auf funktionierende Beschleunigungsmaßnahmen an den Knotenpunkten angewiesen und nicht davor geschützt, dass die Bussonderfahrstreifen durch andere Verkehre fremdgenutzt werden.

Selbstverständlich stellen U-Bahnen aufgrund ihrer hohen Investitions- und Betriebskosten nur auf wenigen Korridoren darstellbare Projekte dar. Genauso wichtig ist daher der Blick auf integrierte Straßenbahn/Stadtbahn-Systeme, die abschnittsweise auf eigenem Bahnkörper, aber auch im Straßenverkehr beschleunigt mitschwimmende, leistungsfähige, attraktive und vor allem konkurrenzfähige Angebote schaffen können. Deshalb fokussieren sich unterschiedliche Städte mit bestehenden U-Bahn-Systemen auch auf den Erhalt und Ausbau ihrer Straßenbahnsysteme oder haben in den letzten zwei Jahrzehnten die Renaissance der Tram eingeläutet. Hier geht es dann häufig um Tangenten oder Ringlinien, die den Schienen-Personen-Nahverkehr (SPNV) oder U-Bahn-Verkehr besser anbinden sollen. Beispielhafte Projekte befinden sich in Paris, Madrid, Kopenhagen, Helsinki und München. Mit der Stadt-Umland-Bahn zwischen Nürnberg und Herzogenaurach über Erlangen entsteht auch in der Beispielstadt für automatisierte U-Bahnen in Deutschland ein Projekt, das einen eigenen Verkehrsweg für den ÖPNV schafft, hier aber als Stadtbahn implementiert, sodass zwar ein hochleistungsfähiger Korridor entsteht, aber auf aufwendige Tunnelbauten, Stationen und vollständige Unabhängigkeit verzichtet wird. Bei allen Beispielen ist noch konventioneller Fahrbetrieb vorgesehen, aber gerade solche Strecken sind eigentlich prädestiniert für die Erprobung automatisierter Fahrzeuge. Versuche mit automatisiert fahrenden Straßenbahnen finden seit 2018 in Potsdam statt. Anforderungen an Fahrwege und den Anspruch an eigene Bahnkörper dürften sich absehbar durch das automatisierte Fahren nicht verändern.

Mit dem Neubau von neuen Straßenbahnstrecken sind zudem auch häufig kombinierte Umweltverbundtrassen entstanden, bei denen beispielsweise neue Brückenbauwerke ausschließlich ÖPNV, Rad und zu Fuß Gehenden vorbehalten sind, z. B. die Passerelle de la Citadelle in Straßburg über ein Hafenbecken oder eine Brücke über die autobahnähnliche Schenkendorfstraße in München im Zuge der Linie 23.

Neue Verkehrswege im ÖPNV können auch im kombinierten Schienen-/Busverkehr oder ausschließlichem Busverkehr geschaffen werden. Bereits 1996 wurde in Oberhausen eine weitestgehend kreuzungsfreie ÖPNV-Trasse geschaffen, die teilweise aufgeständert einen völlig neuen Verkehrsweg für die wieder durch die Stadt fahrende Straßenbahn und verschiedene Buslinien schafft und damit das Angebot deutlich verbessert hat.

Bus Rapid Transit, kurz BRT, ist hochwertiger Busverkehr, der Eigentrassen nutzen kann. Beispiel ist hierfür die französische Stadt Metz. Solche Systeme können vor allem für Mittelstädte interessant sein, in denen kommunale Schienenverkehre wirtschaftlich nicht darstellbar sind. Moderne BRT-Projekte wurden bislang in Deutschland nicht umgesetzt. Ein Vorläuferprojekt ist der Spurbus in Essen, der partiell im Mittelstreifen der Autobahn 40 verläuft, wenn gar hierfür, aus heutiger Sicht fragwürdig, eine ehemalige Straßenbahnstrecke umgenutzt wurde.

Klar ist: Die meisten ÖPNV-Verkehre werden auch zukünftig an der Oberfläche verbleiben und sich den Verkehrsraum teilen müssen. Und diese werden auch bei einem automatisierten Verkehr in SAE Level 5 weiterhin benötigt werden. Würden alle Nutzenden des hochkapazitiven SPNV, des kommunalen Schienen- und Busverkehrs – deren Aufgabe die Fahrtenbündelung ist – auf automatisierte Kleinstfahrzeuge umsteigen, hätte dies deutlich mehr Verkehr zu Folge. Eine verträgliche Abwicklung dieser Verkehre ist so nicht möglich.

In der Folge führen auch automatisierte Verkehre dazu, dass der ÖPNV weiter erweitert werden muss und starke Achsen zu leistungsfähigen Korridoren ausgebaut werden müssen, auf denen ein Maximum an Wegen auf Busse und Bahnen als Distanzverkehrsmittel verlagert werden sollte.

Insbesondere hinsichtlich der Beschleunigung des ÖPNV an Knotenpunkten stellt sich die Herausforderung, dass Knotenpunkte derzeit nach ihrer Leistungsfähigkeit und hier vornehmlich im Kfz-Verkehr bewertet werden. Dabei muss dringend vor dem Hintergrund notwendiger Push-Maßnahmen zu Gunsten des Umweltverbands über eine neue Definition der Leistungsfähigkeit diskutiert werden.

Chancen bieten automatisierte Fahrzeuge vor allem bei der Anbindung der Fläche an diese starken Achsen. Durch Personalkosten, aber auch fehlende Personalressourcen sind die vielen nachfrageschwachen Querverbindungen, aber auch nachfrageschwachen Orte, die in der Summe einen erheblichen Teil des Verkehrs ausmachen, aktuell wirtschaftlich nicht durch den ÖPNV erschließbar. Die neuen On-Demand-Ridepooling-Systeme, welche diese Lücke zu schließen versuchen, sind ohne weitere Förderungen durch Bund und Land aufgrund der hohen Kosten ohne eine fortschreitende Automatisierung wenig zukunftsfähig. Dabei ist es im ÖPNV der integrierte Ansatz aus starken Achsen (Schiene/Bus im dichten Takt, gegebenenfalls automatisiert) und Flächenverkehr (automatisierte Kleinstfahrzeuge zur Anbindung der starken Achsen ohne Fahrplan), der die Zukunft des Nahverkehrs darstellen kann.

Im Radverkehr sind in den letzten Jahren ebenfalls vielerorts eigene, unabhängige Trassen entstanden oder sind geplant. Beispielhaft sei hier der Radschnellweg Ruhr, RS1, genannt, der zum einen – durchaus diskutabel – stillgelegte Bahntrassen nutzt und zum anderen innerhalb der Städte möglichst kreuzungsfrei geführt werden soll. Hierfür entstehen neue Wegeverbindungen, werden bestehende Straßen zu Fahrradstraßen umgebaut oder sind neue Brückenzüge über zu kreuzende Hauptverkehrsstraßen vorgesehen. Die Führung des Radverkehrs über eigene Verkehrswege findet sich auch in Kopenhagen mit der Cykelslangen oder in Eindhoven mit der Radbrücke Hovenring – ein Rad-Kreisverkehr, der einen vielbefahrenen Knoten überspannt (Zukunft Mobilität 2014).

Aufgrund der kaum zur Verfügung stehenden Optionen von neuen Verkehrswegen oder neuen Flächenaufteilungen bestehender Verkehrswege stellt sich ergänzend die Frage, inwieweit die Hierarchisierung des Straßennetzes neu gedacht werden kann, um Vorrangachsen für unterschiedliche Verkehrsmittel vorzuhalten. In vielen Städten gibt es, wenn auch nicht in unmittelbarer Parallelität zu ein und demselben Ziel, mehrere Hauptverkehrsstraßen. Hier sollte die Parallelität genutzt werden, indem der Fokus bei ver-

schiedenen, parallelen Hauptverkehrsstraßen auf unterschiedlichen Verkehrsmitteln liegt. Gleichzeitig gilt es zu hinterfragen, ob der Individualverkehr jedes Ziel erreichen muss und soll. Auf letzteres bezogen verfolgt die niederländische Stadt Houten ein viel beachtetes Konzept. Insgesamt sollte bei Hauptverkehrsstraßen die Priorität auf dem fließenden Verkehr – aller Mobilitätsformen und Ausprägungen – liegen. Dabei problematisch ist der platzraubende ruhende Verkehr. Dieser sollte bei Hauptverkehrsstraßen nur in Ausnahmefällen zugelassen werden. Sollte bei automatisierten MIV auch das Prinzip „Teilen statt Besitzen“ wünschenswerterweise stärker verfolgt werden, wäre die Anzahl notwendiger Fahrzeuge für den Individualverkehr deutlich kleiner. In der Folge könnten heute zweckentfremdete Gehwege wieder dem Zu-Fuß-Gehen zur Verfügung stehen, der Radverkehr hätte mehr Raum und auch der ÖPNV könnte störungsfreier verkehren. Bislang dem ruhenden Verkehr zugeschlagene Flächen wären, wie bereits in Bezug auf städtische Quartiere aufgezeigt, frei für eine neue Nutzung – z. B. mehr Grün, mehr Aufenthaltsqualität oder mehr eigene Fahrwege für den Radverkehr. Automatisiertes Fahren bietet somit auch erhebliche Chancen für die Nahmobilität.

Im Zuge der weiteren Digitalisierung und des zunehmenden automatisierten Fahrens ist zukünftig darüber hinaus fraglich, inwiefern die derzeit noch starre Einteilung des Straßenraums in einzelne Fahrspuren in dieser Art und Weise auch in Zukunft notwendig ist. An mehrspurigen Straßen besteht teilweise bereits heute eine gewisse Flexibilität. Dabei werden die Öffnung und Schließung einzelner Fahrspuren zum Beispiel zu unterschiedlichen Tageszeiten bzw. in unterschiedlichen Fahrtrichtungen vorgenommen (z. B. morgens stadteinwärts und nachmittags stadtauswärts). Im vollautomatisierten Verkehr stellt sich dabei die Frage, ob eine solch starre Einteilung inklusive entsprechend (physisch) markierter Fahrspuren überhaupt notwendig ist oder ob nicht vielmehr die Fahrbahnbreite und mögliche Fahrtrichtung in Echtzeit eine für ein automatisiertes Fahrzeug ausreichende Datengrundlage darstellen.

Fazit zu Abschn. 5.3

Es kann festgehalten werden, dass für die weitere Entwicklung des Straßenraums weiterhin eigene Fahrspuren für den ÖPNV sowie Rad- und Fußverkehr vorgesehen werden müssen. Insbesondere in Bezug auf die notwendigen Flächenverfügbarkeiten des ruhenden Verkehrs liegt in der Automatisierung die Hoffnung, durch mehr geteilte Mobilität weniger Fahrzeuge im öffentlichen Raum zu haben und die heutigen Flächen anderweitig zu nutzen. Andererseits ist es auch vorstellbar, dass die Reduktion von Parkraum als Push-Maßnahme in Städten genutzt wird, um die Menschen zum Umstieg auf den ÖPNV oder den Radverkehr zu motivieren.

Wenn eine Neuaufteilung nicht möglich ist, kommen alternativ neue Verkehrswege in Betracht. Eine neue Hierarchisierung des Straßennetzes zur Differenzierung zwischen Verkehrswegen und -arten kann in Einzelfällen zu einer verträglichen Abwicklung führen.

Literatur

- Antoniali F (2019) International benchmark on experimentations with Autonomous Shuttles for Collective Transport. 27th International Colloquium of Gerpisa
- de Almeida Correia, Gonçalo Homem, et al (2019) On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: theoretical insights and results from a stated preference survey. *Transp Res Part A: Policy and Pract* 119:359–382
- Difu-Berichte (2021) Was ist eigentlich Mikromobilität? Difu-Berichte Heftarchiv, Bd 2. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Berlin
- Distler V, Lallemand C, Bellet T (2018, April) Acceptability and Acceptance of Autonomous Mobility on Demand: The Impact of an Immersive Experience. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (S 612). ACM
- Drive2TheFuture Consortium, et al (2019) – Projekt-Website, “Deliverables and Dissemination”, <https://www.drive2thefuture.eu/dissemination/public-deliverables/>
- FGSV (2006) Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen
- Hilgarter K, Granig P (2020) Public perception of autonomous vehicles: A qualitative study based on interviews after riding an autonomous shuttle. *Transport Res F: Traffic Psychol Behav* 72:226–243
- Kagerbauer M, et al (2021) Ridepooling in der Modellierung des Gesamtverkehrs-Methodenbericht zur MOIA Begleitforschung
- Kagerbauer M, Kostorz N, Wilkes G, Dandl F, Engelhardt R, Glöckl U, et al (2021) Ridepooling in Hamburg auf dem Weg in die Zukunft. Hg. v. MOIA. Berlin. https://www.moia.io/news-center/downloads/211207_MOIA_Ergebnisbericht_Begleitforschung.pdf
- Kolarova V, Steck F, Bahamonde FJ (2019) Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences. *Transp Res Part A: Policy and Pract* 129:155–169
- Markvica K, et al (2020) Promoting active mobility behavior by addressing information target groups: the case of Austria. *J Transp Geogr* 83: 102664
- Millonig A, et al (2019) „auto.bus – seestadt“ Projekt-Homepage <https://www.ait.ac.at/themen/integrated-mobility-systems/projects/autobus-seestadt>
- Narayanan S, Chaniotakis E, Antoniou C (2020) Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review. *Transp Res Part C: Emerg Technol* 111:255–293
- Oberverwaltungsgericht Lüneburg (2006) Beschluss v. 30.6.2006 – 9 LA 200/04 -, juris Rn. 4 mit Hinweis auf die „Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke“ – Stand: 1988
- Rudloff C, Straub M (2021) Mobility surveys beyond stated preference: introducing MyTrips, an SP-off-RP survey tool, and results of two case studies. *Eur Transp Res Rev* 13(1):1–16
- Stadt Hamburg (2022) Neue U-Bahn-Linie für Hamburg. <https://www.hamburg.de/u5/>
- Stadt Nürnberg (2022) Echtes Pionierstück: Nürnbergs automatische U-Bahn. https://www.nuernberg.de/internet/digitales_nuernberg/automatische_ubahn_nuernberg.html
- Siemens Mobility Global (2021) Autonome Trams auf der Schiene und im Depot. <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/fahrzeuge/straßstraßenbahnen/autonome-straßstraßenbahn.html>
- Train KE, Wilson WW (2009) Monte Carlo analysis of SP-off-RP data. *J Choice Model* 2(1):101–117
- Verwaltungsgericht Lüneburg (2018) Urteil v. 6.3.2018 – 3 A 105/15 -, juris Rn. 44 m.w.N.; ebenso in ständiger Rspr. Nds. OVG, Urt. v. 19.2.2020 – 9 LB 132/17 -, juris Rn. 150 m.w.N
- Weyer J, Roos M (2017) Agentenbasierte Modellierung und Simulation. *TATuP Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*. 26. 11. <https://doi.org/10.14512/tatup.26.3.11>

Zhong H, et al (2020) Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time? *Transp Res Part D: Transp Environ* 83: 102303

Zukunft Mobilität (2014) Cykleslangen – Kopenhagener Brückenschlag für den Radverkehr. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/72449/infrastruktur/cykleslangen-kopenhagen-radverkehr-infrastruktur-bruecke/>

Dennis Jaquet (M.Sc.) studierte Geografie an der Westfälischen Wilhelmsuniversität Münster sowie Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund. Als Teamleiter Mobilitätskonzepte betreut er derzeit bei der Planersocietät Mobilitätskonzepte in Städten der unterschiedlichsten Größenklassen in ganz Deutschland. Darüber hinaus beschäftigt er sich als Projektmanager Digitalisierung und CDO mit Trends und Auswirkungen der Digitalisierung auf den Verkehr und die Mobilität von morgen.

Gregor Korte (M. Sc.) hat Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund studiert. Bei der Planersocietät verantwortet er als Teamleiter den Bereich ÖPNV und betreut als Projektleiter verschiedene Nahverkehrspläne und -konzepte. Neben klassischem Linienverkehr beschäftigt er sich mit innovativen und digitalen Ansätzen des On-Demand-Ridepoolings sowie der Vernetzung der Verkehrsträger durch intermodale Schnittstellen.

Paul Rosenkranz (M. Sc.) studierte Intelligente Transport Systeme an der Fachhochschule Technikum Wien (B.Sc. 2010, M.Sc. 2012). Von 2009 bis 2011 erster Karriereweg bei der Firma psiA-Consult GmbH (Schall- und Erschütterungsmesstechnik) als Messtechniker im Bereich des schienengebundenen Verkehrs. Von 2011 bis 2019 arbeitete Paul Rosenkranz beim Planungsbüro Snizek+Partner Verkehrsplanungs GmbH. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit dort lag vor allem in der Verkehrsmodellierung, der Behandlung und Auswertung von Erhebungsdaten aller Art, der Erstellung von Verkehrskonzepten sowie in der Begleitung von Umweltverträglichkeitserklärungen und -prüfungen im Fachbereich Verkehr. Seit Dezember 2019 verstärkt er das AIT Austrian Institute of Technology als Experte für den Themenbereich der Wirkungsanalysen von Maßnahmen im Mobilitätsbereich und der Verkehrssicherheit. Besonders im Bereich der Nachfragemodellierung und Analyse durch Mikrosimulationen für neue Verkehrssysteme ist sein Forschungsschwerpunkt festgelegt.

Dr. Christian Rudloff studierte Mathematik an der Universität Regensburg, Deutschland, bevor er im Anschluss daran an der University of East Anglia, Norwich, UK einen PhD (Abschluss: 2002) in Mathematik absolvierte. Nach zwei Jahren in der Lehre an der Carnegie Mellon Universität und am Chatham College in Pittsburgh, USA, arbeitete er 2006 bis 2008 an der TU und der WU Wien im Bereich der Entwicklung ökonometrischer Methoden zur Absatzprognose aus hochdimensionalen Daten. Im Juni 2008 wechselte er ans AIT Austrian Institute of Technology, wo er sich seither mit der statistischen Analyse komplexer Datenbestände und der statistischen Modellierung von Verkehrsverhalten befasst. In den Jahren 2012 und 2013 besuchte Christian Rudloff jeweils für zwei Monate das MIT um mit dortigen Wissenschaftlern zusammenzuarbeiten.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Rechtliche Aspekte des automatisierten Fahrens und der Personenbeförderung

6

Nadja Braun Binder, Peter Bußjäger, Raoul Fasler und Annette Guckelberger

Inhaltsverzeichnis

6.1	Rechtsrahmen für hochautomatisiertes Fahren in Deutschland	223
6.1.1	Einleitung	223
6.1.2	Gesetz zum autonomen Fahren	224
6.1.3	Autonome Fahrzeuge im ÖPNV	230
6.1.4	Ausblick	232
6.2	Automatisierter ÖPNV in Österreich	233
6.2.1	Einleitung	233
6.2.2	Verfassungsrechtlicher Rahmen	233
6.2.3	Relevantes Bundesrecht	237
6.2.4	Verwaltungsrechtliche Aspekte	240
6.3	Rechtsgrundlagen für automatisiertes Fahren in der Schweiz	244
6.3.1	Einleitung	244
6.3.2	Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen	245

N. Braun Binder (✉) · R. Fasler
Juristische Fakultät, Universität Basel, Basel, Schweiz
E-Mail: nadja.braunbinder@unibas.ch

R. Fasler
E-Mail: raoul.fasler@unibas.ch

P. Bußjäger
Institut für Öffentliches Recht, Staats- und Verwaltungslehre, Universität Innsbruck, Innsbruck,
Österreich
E-Mail: peter.bussjaeger@uibk.ac.at

A. Guckelberger
Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Deutschland
E-Mail: a.guckelberger@mx.uni-saarland.de

6.3.3	Pilotprojekte.....	246
6.3.4	Rechtslage	247
6.3.5	Revision des Straßenverkehrsgesetzes.....	248
6.3.6	Haftungsrechtliche Fragen.....	255
	Literatur.....	256

In den folgenden drei Abschnitten werden die rechtlichen Rahmenbedingungen für automatisiertes bzw. hochautomatisiertes Fahren in Deutschland, in Österreich und in der Schweiz skizziert. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem ÖPNV, wobei dieser nicht losgelöst von den allgemeinen straßenverkehrsrechtlichen Rahmenbedingungen betrachtet werden kann. Das Straßenverkehrsrecht steht denn auch im Zentrum der drei Beiträge. Verschiedentlich werden weitere offene Rechtsfragen aufgegriffen.

Würde es sich beim Erlass von gesetzlichen Bestimmungen zur Regulierung von autonomem Fahren um einen Wettkampf handeln, würde man Deutschland aktuell auf den ersten Platz setzen, gefolgt von der Schweiz; das Schlusslicht dieser drei Rechtsordnungen würde Österreich bilden. Mit dieser lapidaren Reihung ist allerdings noch nicht viel ausgesagt. Alle drei Beiträge gelangen zum Schluss, dass die betroffenen Rechtsgebiete aufgrund der fortschreitenden technischen Entwicklungen und der erwarteten unionsrechtlichen Regelungen raschen Änderungen unterworfen sein werden, weshalb es sich bei den folgenden Ausführungen auch nur um punktuelle Momentaufnahmen handeln kann.

Deutschland sieht sich als Pionier in Sachen autonomes Fahren und will sich als Technologietreiber etablieren; entsprechend früh hatte der Bund im Juli 2021 das Gesetz zum autonomen Fahren erlassen (siehe Abschn. 6.1). Damit wurden grundlegende Voraussetzungen für den Einsatz von autonomen Fahrzeugen der SAE Stufe 4 (permanent von außen überwachte Fahrzeuge) im Regelbetrieb im Straßenverkehr geschaffen. Die Einzelheiten der Zulassung und des Betriebs von Kfz mit autonomer Fahrfunktion auf öffentlichen Straßen werden auf Verordnungsstufe geregelt.

In *Österreich* ermöglicht die gestützt auf das Kraftfahrzeuggesetz erlassene Automatisiertes Fahren Verordnung den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen zu Testzwecken (siehe Abschn. 6.2). Dies umfasst auch automatisierte Fahrzeuge zur Personenbeförderung. Zwingende Voraussetzung bei allen Testfahrten ist, dass sich stets eine Testfahrperson im Fahrzeug auf dem für die lenkende Person vorgesehenen Platz befindet. Damit sind zwar Pilotversuche möglich, allerdings besteht hinsichtlich eines automatisierten ÖPNV noch erheblicher Regulierungsbedarf.

Die *Schweiz* hat hinsichtlich des autonomen Fahrens jüngst einen Gesetzgebungsprozess durchlaufen, wobei zum Zeitpunkt der Endredaktion des Beitrages die fraglichen Bestimmungen noch nicht in Kraft getreten sind (Abschn. 6.3). Mit der Revision des Straßenverkehrsgesetzes soll der Bereich des automatisierten Fahrens für Fahrzeuge der SAE Stufen 3–5 geregelt werden. Führerlose automatisierte Fahrzeuge sollen dabei nur auf festgelegten Fahrstrecken zugelassen werden dürfen und sie müssen durch eine Person, die sich allerdings auch außerhalb des Fahrzeugs aufhalten kann, beaufsichtigt werden.

6.1 Rechtsrahmen für hochautomatisiertes Fahren in Deutschland

Annette Guckelberger

Im Text wird für automatisierte Fahrfunktionen bzw. Fahrzeuge auch der Begriff „autonom“ verwendet, da das Gesetz zum autonomen Fahren diesen verwendet und synonym zum Begriff „automatisiert“ nutzt.

6.1.1 Einleitung

Angesichts besonderer Förderprogramme für Innovationen aus dem Bereich des automatisierten und autonomen Fahrens (BT-Drs. 20/1656, S. 74) ist zu erwarten, dass derartige Fahrzeuge perspektivisch immer mehr im öffentlichen Verkehr zum Einsatz gelangen. In rechtlicher Hinsicht werfen solche fahrerlosen Fahrzeuge vielfältige Rechtsfragen auf (z. B. aus dem Datenschutzrecht, IT-Sicherheitsrecht, Haftungs- und Versicherungsrecht, Straf- und Verkehrsordnungswidrigkeitenrecht). Auch wenn autonome Fahrzeuge nicht zwingend mit Künstlicher Intelligenz ausgestattet sein müssen, können mit dieser Technologie noch weitergehende rechtliche Anforderungen verbunden sein (Steege 2021a, S. 3 f.).¹ Da mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeuge die Informationsverarbeitung steigt, kommt deren rechtskonformer Programmierung samt etwaigen erforderlich werdenden Softwareupdates entscheidende Bedeutung zu (Geber 2021, S. 14). So stellt sich etwa die Frage, wie autonome Fahrzeuge programmiert sein müssen, damit sie im Falle eines Unfalls in sog. Dilemmasituationen unter besonderer Berücksichtigung und Beachtung verfassungsrechtlich geschützter Rechtsgüter ordnungsgemäß funktionieren (Brenner 2021, S. 50 ff.; Wagner 2021a, S. 27 ff.). Erst langfristig werden die bereits jetzt erörterten Fragen relevant werden, ob sich aus der Schutzpflicht des Staates für Leib und Leben aus Art. 2 Abs. 2 S. 1 Grundgesetz (GG) eine Pflicht zur Zulassung ausschließlich autonomer Fahrzeuge oder sich umgekehrt aus den Grundrechten des GG ein Recht auf Nutzung nicht autonom fahrender Fahrzeuge entnehmen lässt (Brenner 2021, S. 47 ff.; Wagner 2021a, S. 22 ff.). Bei unionsrechtlicher Determinierung sind (auch) die einschlägigen Unionsgrundrechte heranzuziehen.

Je nach Rechtsgebiet kann dieses mehr oder weniger unionsrechtlich überlagert sein. Auch wenn unter dem Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) i. S. d. Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) nach § 8 Abs. 1 S. 1 PBefG die allgemein zugängliche Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, Obussen und Kraftfahrzeugen im Linien-

¹ S. a. den Vorschlag für eine KI-Verordnung COM (2021) 206 final.

verkehr zu verstehen ist, die überwiegend dazu bestimmt sind, die Verkehrsnachfrage im Stadt-, Vorort- oder Regionalverkehr zu befriedigen, soll im Mittelpunkt des nachfolgenden Beitrags das Straßenverkehrsrecht stehen.² Soweit ersichtlich hat Deutschland mit dem im Juli 2021 in Kraft getretenen Gesetz zum autonomen Fahren weltweit erstmals eine gesetzliche Grundlage für den Regelbetrieb hochautomatisierter Fahrzeuge geschaffen (BT-Drs. 20/1656, S. 74). Daher sollen nachfolgend unter Abschn. 6.1.2. die Grundzüge dieser Regelung vorgestellt werden, bevor in einem weiteren Schritt unter Abschn. 6.1.3 Bezüge zum ÖPNV hergestellt werden. Da aus Platzgründen die Rechtslage nicht im Detail dargestellt und insofern nur ein Einblick geliefert werden kann, im Übrigen jedoch hochautomatisierte Fahrzeuge unions- oder weltweit einsetzbar sein sollen und daher möglicherweise alsbald unions- und/oder völkerrechtlichen Regelungen unterliegen werden, ist es unerlässlich, sich den jeweils aktuellen Rechtsrahmen mit größter Sorgfalt zu erschließen.

6.1.2 Gesetz zum autonomen Fahren

Abgestützt auf seine konkurrierende Gesetzgebungskompetenz für den Straßenverkehr aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 22 i. V. m. Art. 72 Abs. 2 GG hat der Bund das Gesetz zum autonomen Fahren vom 12.07.2021 erlassen (BT-Drs. 19/27439, S. 16). Von dem Einsatz autonomer, also führerloser und vernetzter Kfz im öffentlichen Straßenverkehr verspricht man sich eine Erhöhung der Verkehrssicherheit und -effizienz, da die Mehrzahl aller Verkehrsunfälle in Deutschland auf menschlichem Versagen beruht (BT-Drs. 19/27439, S. 15). Ferner erhofft man sich dadurch auch vor dem Hintergrund des demografischen Wandels Vorteile für in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen sowie eine Herbeiführung positiver Umwelteffekte durch Reduzierung von Emissionen und Verringerung des Flächenverbrauchs (BT-Drs. 19/27439, S. 15), also die Förderung des Schutzes der natürlichen Lebensgrundlagen entsprechend der Staatszielbestimmung des Art. 20a GG. Allerdings wird sich die Realisierung der zuletzt genannten Annahme erst noch zeigen müssen. Dafür sprechen etwa Primäreffekte, also Effizienzgewinne auf der Fahrzeugebene, weil die Automatisierung zu harmonisierten Fahrzeugeigenschaften, optimierter Motorsteuerung unter Berücksichtigung der Topografie und des Verkehrsflusses führt, sowie Sekundäreffekte durch Anpassung des Mobilitätsverhaltens der Verkehrsteilnehmenden durch die verstärkte Bündelung von Fahrten (BT-Drs. 20/1656, S. 72). Gerade eine Arrondierung und ein Ausbau des ÖPNV mittels autonomer Fahrzeuge kann eine Reduzierung vieler Einzelfahrten sowie des Stellplatzbedarfs bewirken (Lenz

²Gem. § 1 Abs. 2 StVG gilt dieses Gesetz nur für Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein, also nicht für Straßen- und Magnetschwebbahnen, dagegen gilt es für an Oberleitungen gebundene Busse ohne Gleisanbindung (näher dazu Dauer 2021, § 1 StVG Rn. 21).

2022, S. 268 Rn. 2). Auf der anderen Seite geht mit derartigen Fahrzeugen ein erhöhter Endenergieverbrauch einher; außerdem könnte die zunehmende Anschaffung solcher Fahrzeuge durch Einzelpersonen und die Erschließung neuer Nutzergruppen das Verkehrsaufkommen im worst case sogar erhöhen (BT-Drs. 20/1656, S. 72; s. a. Wagner 2021a, S. 71; kritisch gegenüber den Gesetzeszwecken auch Haupt 2021, S. 172 ff.).

Durch das Gesetz zum autonomen Fahren will sich Deutschland als Pionier in Sachen autonomes Fahren und als Technologietreiber etablieren, insbesondere die Voraussetzungen für die Markteinführung solcher Fahrzeuge verbessern (BT-Drs. 20/1656, S. 74; Steege 2021b, S. 128). Dabei wird in der Begründung des Gesetzentwurfs von der Kompatibilität mit dem Unionsrecht ausgegangen. Weil insbesondere die Verordnung (EU) 2018/858 nach der Formulierung ihres Geltungsbereichs und den technischen Vorgaben stets eine fahrzeugführende Person voraussetze, autonome Fahrfunktionen in Gestalt sog. „People-Mover“ oder „Goods-Mover“ dagegen ohne menschliche Führung auskommen, seien diese Fahrzeuge als rechtliches aliud (Stichwort: „Roboter“) gegenüber den Kfz der EU-Verordnung anzusehen (BT-Drs. 19/27439, S. 17). Dabei ist man sich des Anpassungsbedarfs des deutschen Rechts, sobald auf Unionsebene Vorgaben zur Typengenehmigung und zum Betrieb automatisierter und autonomer Kfz erlassen werden, durchaus bewusst (BT-Drs. 19/27439, S. 17; s. zu Änderungen des Unionsrechts unter Abschn. 6.1.4. Ausblick).

Weil hochautomatisierte bzw. autonome Fahrzeuge einen komplexen Regelungsgegenstand bilden und einen hohen Regelungsbedarf hervorrufen (Kleemann und Arzt 2021, S. 105), hat der Parlamentsgesetzgeber dafür nur die grundlegenden rechtlichen Voraussetzungen geschaffen (Haupt 2022, S. 166). In § 1j Straßenverkehrsgesetz (StVG) wurde das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur dazu ermächtigt, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Einzelheiten der Zulassung und des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion auf öffentlichen Straßen zu regeln. Dem Entwurf einer Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion (BR-Drs. 86/22) hat der Bundesrat am 20.05.2022 allerdings nur unter Maßgabe bestimmter Änderungen zugestimmt (BR-Drs. 86/22 (Beschluss)). Die Abkürzung der Verordnung lautet AFGBV.

Ausweislich der Legaldefinition in § 1d Abs. 1 StVG ist unter einem Kfz mit autonomer Fahrfunktion ein Kfz zu verstehen, das (1) die Fahraufgabe *ohne eine fahrzeugführende Person selbstständig in einem festgelegten Betriebsbereich* erfüllen kann und (2) über eine technische Ausrüstung gem. § 1e Abs. 2 StVG verfügt. Die Fahrzeuge werden somit nicht pauschal für den gesamten Straßenverkehr zugelassen, sondern nur für bestimmte festgelegte Areale (Haupt 2022, S. 167; zur damit verbundenen Unattraktivität für private Nutzer Steege 2022, S. 164). Wie man dem Erfordernis der Technischen Aufsicht (§ 1d Abs. 3, 1f. Abs. 2 StVG; näher unter Abschn. 2.1.1) entnehmen kann, bezieht sich das Gesetz nicht auf vollautonom fahrende, sondern permanent von außen überwachte Fahrzeuge (Haupt 2022, S. 168). Ausweislich der Materialien betrifft das Gesetz Kfz entsprechend der SAE (Society of Automotive

Engineers) Stufe 4 (BT-Drs. 19/27439, S. 16). Durch das Gesetz zum autonomen Fahren wurden in das StVG einerseits Vorschriften zum Regelbetrieb derartiger Fahrfunktionen (§§ 1d–1h StVG) und andererseits zur Erprobung von automatisierten und autonomen Fahrfunktionen eingeführt (§ 1i StVG), die hier in einem kurzen Überblick dargestellt werden sollen.

6.1.2.1 Regelbetrieb

§ 1e Abs. 1 S. 1 StVG gestattet den Betrieb eines Kfz mit autonomer Fahrfunktion, wenn die dort genannten vier Voraussetzungen kumulativ vorliegen (Laws/Lohmeyer/Vinke 2021, § 1e StVG Rn. 8).

Technische Ausrüstung

Zunächst muss das Kfz über die in § 1e Abs. 2 StVG normierte technische Ausrüstung verfügen, damit das Fahrzeug überhaupt zur autonomen Bewältigung seiner Fahraufgaben in der Lage ist (BT-Drs. 19/27439, S. 21). U. a. muss das Fahrzeug selbstständig den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften entsprechen (Nr. 2). Sollte ein Kfz technisch nicht zur Erfüllung aller an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften in der Lage sein, muss dies nicht zwangsläufig das „Aus“ für die autonome Fahrfunktion bedeuten. Möglicherweise lassen sich nämlich Betriebsbereiche finden, in denen die jeweilige Verkehrsvorschrift keine Bedeutung hat (BT-Drs. 19/27439, S. 21). Deshalb wird in den Materialien empfohlen, die Auswahl geeigneter Betriebsbereiche unter Berücksichtigung der vorhandenen verkehrsrechtlichen Anordnung und deren Veränderung im laufenden Betrieb vorzunehmen (BT-Drs. 19/27439, S. 21). Überdies lässt es § 1e Abs. 3 StVG für den Fall sonstiger Beeinträchtigungen, die dazu führen, dass die Fahraufgabe durch die technische Ausrüstung nicht selbstständig bewältigt werden kann, genügen, wenn (1) durch die technische Ausrüstung sichergestellt werden kann, dass die Technische Aufsicht alternative Fahrmanöver vorgeben kann, (2) diese durch die technische Ausrüstung selbstständig ausgeführt werden und (3) die technische Ausrüstung die Technische Aufsicht mit ausreichender Zeitreserve optisch, akustisch oder sonst wahrnehmbar zur Vorgabe eines Fahrmanövers auffordern kann.

Bei der Technischen Aufsicht handelt es sich nach § 1d Abs. 3 StVG um eine natürliche Person, die das Kfz gem. § 1e Abs. 2 Nr. 8 StVG deaktivieren und für das Kfz Fahrmanöver gem. § 1e Abs. 2 Nr. 4 StVG sowie nach dem eben erwähnten Absatz 3 freigeben kann. Nach dem Gesetzeswortlaut kann also keine Institution direkt mit dieser Aufgabe betraut werden. Die Gesetzesmaterialien halten es aber für möglich, dass die mit der Wahrnehmung dieser Aufgabe betraute natürliche Person bei Sicherstellung der Wahrnehmung ihrer Pflichten im Einzelfall (s. § 1f. Abs. 2 StVG) mehrere autonome Kfz beaufsichtigen kann (BT-Drs. 19/27439, S. 20). Durch die Technische Aufsicht soll Art. 8 Abs. 5 des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr (WÜ) Rechnung getragen werden, wonach Fahrzeugsysteme, die einen Einfluss auf das Führen des Fahrzeugs haben, mit den dortigen Vorgaben in Einklang stehen, wenn diese Systeme vom Führer übersteuert oder abgeschaltet werden können. Diese Einschätzung des deutschen

Gesetzgebers ist jedoch nur richtig, wenn Art. 8 Abs. 5 WÜ so ausgelegt wird, dass die Übersteuerung nicht durch den Fahrer im Kfz erfolgen muss (für einen Verstoß gegen das WÜ daher Gatzke 2021, S. 406; Bedenken bei Kleemann und Arzt 2021, S. 101; a. A. Lutz 2021, S. 183 f.). In § 14 Abs. 1 S. 2 AFGBV werden hohe Anforderungen an die Eignung, insbesondere die Ausbildung, der für eine Technische Aufsicht in Betracht kommenden natürlichen Personen gestellt. Die als Technische Aufsicht eingesetzte Person darf sich aber mit Zustimmung des Halters nach § 14 Abs. 2 AFGBV weiterer geeigneter natürlicher Personen zur Erfüllung ihrer Pflichten bedienen, wenn diese über mind. 3 Jahre Berufserfahrung im Bereich des Verkehrs- oder Kfz-Wesens verfügen und mind. jährlich in Bezug auf den Umgang mit sowie wesentliche Veränderungen der Kfz durch den Hersteller geschult werden (s. dazu BR-Drs. 86/222 (Beschluss), S. 14 f.).

Außerdem muss das Kfz nach § 1e Abs. 2 Nr. 2 Alt. 2 StVG über ein System der Unfallvermeidung verfügen, das a) auf Schadensvermeidung und -reduzierung ausgelegt ist, b) bei einer unvermeidbaren alternativen Schädigung unterschiedlicher Rechtsgüter die Bedeutung der Rechtsgüter berücksichtigt, wobei der Schutz menschlichen Lebens die höchste Priorität genießt, und das c) für den Fall einer unvermeidbaren alternativen Gefährdung von Menschenleben keine weitere Gewichtung anhand persönlicher Merkmale vorsieht. Auf diese Weise möchte der Gesetzgeber den wesentlichen Feststellungen der Ethik-Kommission automatisiertes und vernetztes Fahren in Bezug auf dilemmatische Entscheidungssituationen Rechnung tragen (BT-Drs. 19/27439, S. 22; krit. Steege 2021b, S. 131, weil die Frage der quantitativen Abwägung von Leben ungelöst bleibt). Im Laufe des Gesetzgebungsverfahrens wurde § 1e Abs. 2 Nr. 8 StVG dahingehend ergänzt, dass das Kfz nicht nur jederzeit durch die Technische Aufsicht, sondern auch für Fahrzeuginsassen deaktivierbar sein muss (Wagner 2021b, S. 288).

Betriebserlaubnis für das Kfz

Außerdem benötigt das Kfz gem. § 1e Abs. 1 S. 1 Nr. 2 StVG eine Betriebserlaubnis nach Absatz 4. Diese ist vom Hersteller des Kfz mit autonomer Fahrfunktion zu beantragen und vom Kraftfahrt-Bundesamt zu erteilen, wenn die technischen Voraussetzungen gem. § 1e Abs. 2 StVG und die Erklärung des Herstellers nach § 1f. Abs. 3 Nr. 4 StVG vorliegen. Bei der Betriebserlaubnis handelt es sich um eine gebundene Entscheidung. Die Einzelheiten werden in §§ 2 ff. AFGBV näher ausgestaltet. So regelt § 3 Abs. 2, 3 AFGBV den Inhalt des Antrags samt beizubringender Unterlagen. Nach § 4 Abs. 2 AFGBV kann die Betriebserlaubnis jederzeit mit Nebenbestimmungen (s. § 36 Abs. 2 Verwaltungsverfahrensgesetz) zur Gewährleistung des sicheren Betriebs des Kfz und der Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen und der Verordnung erlassen oder verbunden werden.

Festgelegte Betriebsbereiche

Die Kfz dürfen gem. § 1e Abs. 1 S. 1 Nr. 3 StVG nur in festgelegten Betriebsbereichen eingesetzt werden. Unter einem solchen versteht man ausweislich der Legaldefinition in § 1d Abs. 2 StVG den örtlich und räumlich bestimmten öffentlichen Straßenraum, in

dem das Kfz mit autonomer Fahrfunktion betrieben werden darf. Dadurch wird klar gestellt, dass die Regelungen zum autonomen Fahren grds. nur auf nach den dafür maßgeblichen Bestimmungen für den Straßenverkehr gewidmeten und öffentlich zugänglichen Flächen gelten (BT-Drs. 19/27439, S. 20). Der Gesetzgeber hat die Legaldefinition bewusst abstrakt gehalten, um eine Vielzahl von Betriebsbereichen zu ermöglichen (BT-Drs. 19/27439, S. 20). Die Festlegung des Betriebsbereichs ist durch den Halter des Kfz zu beantragen (BT-Drs. 19/27493, S. 20). Dabei sollte er sich – wie unter 6.1.2 dargelegt – an der Einhaltung der Verkehrsvorschriften durch das Kfz und – so die Materialien – an den örtlichen Gegebenheiten orientieren (BT-Drs. 19/27439, S. 20). Der vom Halter festgelegte Betriebsbereich muss genehmigt werden. Je nachdem, wo der Betriebsbereich im öffentlichen Straßenraum liegen soll, ist die nach Landes- oder Bundesrecht zuständige Behörde und im Falle von Bundesfernstraßen, soweit dem Bund die Verwaltung zusteht, die Gesellschaft des privaten Rechts i. S. d. Infrastrukturgesellschaftserrichtungsgesetzes (= Autobahn GmbH des Bundes) dafür zuständig. Die Annahme, auf absehbare Zeit seien Autobahnen der einzig sinnvolle Nutzungsbereich, weil dort Kfz mit autonomer Funktion am besten zurechtkommen würden (so Haupt 2022, S. 167), deckt sich jedenfalls nicht mit benannter Zuständigkeitsregelung. Die Materialien halten es für möglich, „dass ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion in mehreren festgelegten Betriebsbereichen betrieben werden kann“ (BT-Drs. 19/27439, S. 20).

Eingehendere Vorschriften dazu enthalten §§ 7 ff. AFGBV. § 8 AFGBV regelt den Antrag des Halters auf Genehmigung, etwa dass der festgelegte Betriebsbereich in digitaler Form darzustellen ist, und § 9 AFGBV die Genehmigungserteilung. In § 9 Abs. 2 AFGBV werden die Voraussetzungen für die Feststellung der Eignung des Betriebsbereichs durch die Behörde konkretisiert. Auf den Bundesrat geht dabei Satz 2 zurück, wonach bei der Feststellung der Geeignetheit unvorhersehbare Umstände, z. B. infolge höherer Gewalt, unberücksichtigt bleiben (BR-Drs. 86/22 (Beschluss) S. 7 f.). § 9 Abs. 3 AFGBV enthält eine Regelung zur behördlichen Einholung von Gutachten und der Anforderung solcher vom Halter. Gem. § 9 Abs. 4 S. 1 AFGBV entscheidet die zuständige Behörde im Benehmen mit der jeweils betroffenen Gebietskörperschaft über die Festlegung des Betriebsbereichs. Ein Benehmen ist mehr als eine Anhörung und weniger als ein Einvernehmen (s. BR-Drs. 86/22 (Beschluss) S. 9). Es beinhaltet den Auftrag an die federführende Behörde, möglichst nach einer Übereinstimmung zu suchen (Siegel 2001, S. 90). In den Sätzen 2 und 3 wird das Vorgehen geregelt, wenn sich der Betriebsbereich über die Grenzen eines Bundeslandes oder auch auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen in der Bundesverwaltung erstreckt. § 9 Abs. 5 AFGBV bezieht sich auf Nebenbestimmungen zur Genehmigung, § 9 Abs. 6 AFGBV auf Nachprüfungen beim Halter. Dieser hat nach Absatz 7 nachträgliche Veränderungen unverzüglich mitzuteilen. Hervorzuheben ist außerdem, dass die vorbehaltlich der Rechte anderer zu erteilende Genehmigung nach § 7 Abs. 4 S. 2 AFGBV keinen Anspruch darauf verleiht, dass der Betriebsbereich verfügbar ist oder sich die Voraussetzungen, die der Genehmigung des Betriebsbereiches zu Grunde lagen, nicht verändern.

Im Übrigen hat der Bundesrat seiner Zustimmung eine Entschließung für den Fall einer künftigen Überarbeitung der Verordnung beigefügt, in welcher er u. a. eine Konkretisierung des abstrakten Betriebsbereichs in § 4 Abs. 3 AFGBV befürwortet und Unklarheiten für den antragstellenden Halter moniert, wenn der festgelegte Betriebsbereich den Bereich mehrerer Behörden umfasst. Auch bestünde hinsichtlich der jeweils betroffenen Gebietskörperschaft in § 9 Abs. 4 AFGBV Konkretisierungsbedarf (BR-Drs. 86/22 (Beschluss) S. 20 f.). Ferner hat der Bundesrat um eine zeitnahe Klarstellung des Verhältnisses der AFGBV zur StVO gebeten, da sich die derzeitigen Regelungen der StVO am Vorhandensein eines Fahrzeugführers orientieren (BR-Drs. 86/22 (Beschluss) S. 22).

Zulassung des Kfz

Schließlich setzt der Betrieb des Kfz dessen Zulassung zur Teilnahme am Straßenverkehr nach § 1 Abs. 1 StVG voraus. Dabei ist gem. § 11 Abs. 1 AFGBV die Fahrzeug-Zulassungsverordnung nach Maßgabe der dortigen Absätze anzuwenden.

6.1.2.2 Probetrieb

Die Erprobung von automatisierten und autonomen Fahrfunktionen wird nunmehr in § 1i StVG geregelt. Die Voraussetzungen ergeben sich aus Absatz 1. Nach Absatz 2 bedarf es einer Erprobungsgenehmigung durch das Kraftfahrt-Bundesamt. Die Genehmigung wird auf Antrag des Halters erteilt und kann jederzeit mit Nebenbestimmungen zur Sicherstellung des sicheren Betriebs des Fahrzeugs erteilt werden. Wird der Betrieb auf einen bestimmten Bereich beschränkt, sind ggf. andere Behörden anzuhören. Außerdem beteiligt das Kraftfahrt-Bundesamt das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Abs. 3). Des Weiteren muss das Kfz nach § 1 Abs. 2 StVG zugelassen sein (§ 1i Abs. 1 Nr. 2 StVG) und darf „ausschließlich zur Erprobung“ betrieben werden (§ 1i Abs. 1 Nr. 3 StVG). Schließlich muss das Kfz nach § 1i Abs. 1 Nr. 4 StVG im Betrieb permanent wie folgt überwacht werden: Während bei *automatisierten* Fahrfunktionen die Überwachung durch einen in Bezug auf technische Entwicklungen für den Kfz-Verkehr zuverlässigen Fahrzeugführer zu erfolgen hat (lit. a), muss die Überwachung bei *autonomen* Fahrfunktionen durch eine vor Ort anwesende, in Bezug auf technische Entwicklungen für den Kfz-Verkehr zuverlässige Technische Aufsicht erfolgen. Damit geht eine Verschärfung gegenüber der bis dahin bestehenden Rechtslage einher, denn entsprechend der Gesetzentwurfsbegründung sind höhere Anforderungen an die Technische Aufsicht und die Überwachung der Erprobungsfahrzeuge angezeigt (BT-Drs. 19/27439, S. 29). Andererseits wurde beim Probetrieb auf die Genehmigung festzulegender Betriebsbereiche verzichtet, um für einzelne Herstellerfahrzeuge einen größeren Aktionsraum für ihre Erprobung zu eröffnen (BT-Drs. 19/27439, S. 29). Ferner heißt es in den Gesetzesmaterialien, dass statt einer bloßen Deaktivierungsmöglichkeit auch eine Übersteuerung möglich sein soll, die jedoch vor Ort zu erfolgen hat (BT-Drs. 19/27439, S. 29).

6.1.3 Autonome Fahrzeuge im ÖPNV

Das PBefG gilt gem. seinem § 1 Abs. 1 S. 1 für die entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, Obussen und mit Kfz (s. a. die Legaldefinitionen zu Straßenbahnen, Obussen und Kfz in § 4 PBefG). Für die Personenbeförderung wird eine Genehmigung benötigt. Die diesbezüglichen Vorschriften finden sich in §§ 9 ff. PBefG. §§ 42 ff. PBefG enthalten Vorschriften zum Linienverkehr mit Kfz, unter welchem gem. § 42 S. 1 PBefG eine zwischen bestimmten Ausgangs- und Endpunkten eingerichtete regelmäßige Verkehrsverbindung zu verstehen ist, auf der Fahrgäste an bestimmten Haltestellen ein- und aussteigen können. Das PBefG wurde 2021 durch das Gesetz zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts (BGBl. I 822/2021) geändert. Eingeführt wurde u. a. eine neue Form des Linienverkehrs innerhalb des ÖPNV, der in § 44 PBefG geregelte Linienbedarfsverkehr. Nach Satz 1 handelt es sich dabei um einen Verkehr, der der Beförderung von Fahrgästen auf vorherige Bestellung ohne festen Linienweg zwischen bestimmten Einstiegs- und Ausgangspunkten innerhalb eines festgelegten Gebietes und festgelegter Betriebszeiten dient (§ 44 S. 1 PBefG; näher dazu Wüstenberg 2021, S. 253 Rn. 20 ff.).

6.1.3.1 Bezüge zwischen §§ 1d ff. StVG und ÖPNV

Bei Erlass des Gesetzes zum autonomen Fahren hat man u. a. an den Einsatz solcher Fahrzeuge im ÖPNV gedacht. So wird in den Materialien auf deren unterschiedliche Verwendungen im öffentlichen Personenverkehr in den Kommunen eingegangen, wo durch kleinere und größere Fahrzeuge verschiedene Personenbeförderungsbedarfe abgedeckt werden könnten (BT-Drs. 19/27439, S. 16). Dementsprechend werden auf S. 20 als Beispiel für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion sog. „People-Mover“, also autonome Shuttlebusse, erwähnt, „die im Rahmen der Forschungsförderung als Ergänzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) vielfach erprobt werden“. Dafür, dass sich insbesondere der ÖPNV für den Einsatz autonomer Kfz eignen könnte, spricht, dass sich die für den Regelbetrieb solcher Fahrzeuge notwendigen Betriebsbereiche vergleichsweise gut mit dem Linienansatz des ÖPNV in Einklang bringen lassen (Wagner 2021a, S. 246) und auch der Linienbedarfsverkehr an planbare Räume und Szenarien anknüpft (Leonetti 2021, S. 108). In den Worten von *Leonetti* (S. 108) „ermöglicht die Betriebsbereichsfestlegung am Anfang über Linien und einzelne Straßen bis perspektivisch hin zu ganzen Stadtarealen und Quartieren eine geeignete Skalierungsmöglichkeit für das Rollout autonomer Verkehrsangebote“. Hinzu kommt, dass die Betreiber von Personenverkehren bereits über technische Betriebsleitsysteme und eine entsprechende Betriebsorganisation verfügen, „sodass die Einführung einer [T]echnischen Aufsicht und die Aufrüstung bestehender Betriebsleit- und Verkehrszentralen einen denkbaren Weg für die Praxis darstellen“ (Leonetti 2021, S. 108).

Dem ÖPNV kommt nicht nur für die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse, sondern auch für die Erreichung aktueller Umwelt- und Klimaschutzziele eine zentrale Bedeutung zu (Siegel und Himstedt 2021, S. 137, s.a. § 1a PBefG). Während das mit

autonomen Kfz intendierte Ziel der Verkehrssicherheit beim ÖPNV weniger gewichtig sein dürfte, da Unfälle dort selten sind (Leonetti 2021, S. 80), wird sich aufgrund der heute ohnehin bestehenden Personalgewinnungsprobleme der Ausbau und die Ergänzung des bestehenden ÖPNV aller Voraussicht nach nicht ohne Digitalisierung und Automatisierung bewältigen lassen (Leonetti 2021, S. 81). Selbst wenn nicht ausgeschlossen werden könne, dass Automatisierung und Sharing im Verkehr den ÖPNV infrage stellen könnten, wird im Einsatz autonomer Fahrzeuge im ÖPNV eine Chance zur Erhöhung der Verkehrseffizienz und Wirtschaftlichkeit gesehen (Leonetti 2021, S. 82). Auch wenn autonome Fahrzeuge ohne Fahrer verkehren, ist jedoch im Auge zu behalten, dass an anderer Stelle, insbesondere durch die Notwendigkeit einer Technischen Aufsicht, Personalbedarfe entstehen und sonstige Kosten hervorgerufen werden. So wurden etwa die hohen fachlichen Qualifizierungsanforderungen an die Technische Aufsicht kritisiert, weil dadurch die Kosten steigen und solches Personal überhaupt schwer zu finden ist (Leonetti 2021, S. 107; s. a. Haupt 2022, S. 165 f., 168). Ferner ist zu beachten, dass mit zunehmender Autonomie der Fahrzeuge die rechtlichen Anforderungen an die Halter steigen (s. § 1f. StVG, § 13 AFGBV), etwa auch Organisationspflichten des Halters zunehmende Relevanz erlangen (Haupt 2022, S. 167 f.; Steege 2022, S. 165 f.).

Da der ÖPNV zur Daseinsvorsorge gehört, unterliegt dieser in diverser Hinsicht einengenden Voraussetzungen, sodass sich je betätigungsabhängig etwa auch beihilfe- und vergaberechtliche Fragestellungen ergeben können (Wagner 2021a, S. 51 f.). Ausweislich einer Studie zu autonomen Bussen im ÖPNV wurden als Hürden für den Einsatz solcher Busse die Beschaffung der Fahrzeuge, die Auswahl der Strecken, die Genehmigungsverfahren, Betriebskonzepte, Personaleinsatzplanung, die Betriebsüberwachung sowie das Vertragswesen zwischen den Partnern und die Finanzierung ausgemacht (Braun et al. 2020, S. 7). Wie diffizil die Lage ist, zeigt sich in der Entschließung des Bundesrates zur AFGBV. Zwar werden dort die großen Chancen des Einsatzes von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen für einen nachhaltigen und attraktiven ÖPNV hervorgehoben. Zugleich wird aber mit großer Sorge auf den Umstand verwiesen, dass für die Beantragung der Genehmigung solcher Fahrzeuge möglicherweise Genehmigungskosten im Millionenbereich entstehen. „Dies würde insbesondere für finanzschwache Aufgabenträger im öffentlichen Verkehr oder kleine und mittelständische Verkehrsunternehmen die Antragstellung erheblich erschweren“, weshalb die Bundesregierung um die Prüfung finanzieller Unterstützungsmöglichkeiten für die Beantragung des Regelbetriebs solcher Fahrzeuge gebeten wurde (BR-Drs. 86/22 (Beschluss) S. 23).

6.1.3.2 Änderungen des PBefG und weiterer Regelwerke

Obwohl im Fokus der letzten Änderung des PBefG der Einsatz neuer Technologien, insbesondere neu entstehender Geschäftsmodelle durch die Digitalisierung des Verkehrssektors stand (BT-Drs. 19/26175, S. 1), hat man damals keine weiteren Überlegungen zum Einsatz autonomer Fahrzeuge angestellt. Deswegen ist der Frage nachzugehen, ob und inwieweit die dortigen Regelungen an das Vorhandensein eines menschlichen Fahrers anknüpfen. Einerseits wird angenommen, dass das PBefG dem Einsatz auto-

nomer Fahrzeuge nicht per se entgegensteht, da wesentlicher Anknüpfungspunkt der Vorschriften der Verkehrsunternehmer sei (Leonetti 2022, S. 436 Rn. 15 f. sowie Leonetti 2021, S. 89), andererseits wird aber bemängelt, dass teilweise in untergesetzlichen Regelwerken auf die Anwesenheit eines Fahrzeugführers abgestellt wird (Leonetti 2021, S. 90), sodass insoweit Anpassungen nötig sind. Angesichts der Komplexität der Materie ist es sehr schwierig, das autonome Fahren in einem Schritt allumfassend zu regeln, weshalb sich in der Konsequenz die untergesetzlichen Regelungsgeber aus anderen Bereichen nicht stets des diesbezüglichen Nachjustierungsbedarfs bewusst sein werden.

6.1.4 Ausblick

Das autonome Fahren weist vielfältige Schnittpunkte zu diversen Rechtsgebieten auf (Wagner 2021a, S. 245). Der Bundesgesetzgeber hat durch das Gesetz zum autonomen Fahren u. a. durch Aufnahme neuer Regelungen im StVG dafür gesorgt, dass Fahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen im Straßenverkehr in den Regelbetrieb überführt werden können. Konkretisierende Regelungen ergeben sich aus der AFGBV. Da andere Vorschriften aber nach wie vor von der herkömmlichen Vorstellung geprägt sind, dass eine Person das Fahrzeug lenkt, zeichnen sich insoweit Nachjustierungsbedarfe ab. Damit der Einsatz solcher Fahrzeuge ein Erfolgsmodell wird, bedarf es rechtssicherer und kohärenter Regelungen. Laut dem Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung ist geplant, neben den bereits existierenden §§ 3a ff. PBefG ein Mobilitätsdatengesetz zur freien Zugänglichkeit von Verkehrsdaten zu erlassen; daneben wird angestrebt, die im Gesetz zum autonomen Fahren enthaltenen Regelungen zu verbessern, Haftungsfragen zu klären, aber auch die Datenhoheit der Nutzer sicherzustellen (Koalitionsvertrag 2021–2025, S. 41). Daher dürfte mit weiteren Änderungen der hier vorgestellten Regelungen zu rechnen sein (Kaufmann 2022, S. 15 f.).

Der deutsche Gesetzgeber wollte mit Erlass des Gesetzes zum autonomen Fahren eine Vorbildfunktion einnehmen (Brenner 2021, S. 46). Es bleibt abzuwarten, ob ihm dies gelingen und er Nachahmer finden wird. Sobald sich der Unionsrechtsgesetzgeber dieses Themas vertieft annimmt, können – je nach Inhalt der Vorgaben – schnell andere Vorgaben maßgeblich sein. Insoweit ist davon auszugehen, dass es sich bei den jetzigen Regelungen nur um eine Übergangslösung handelt (Haupt 2022, S. 166). Dessen sollten sich mögliche Antragsteller bewusst sein. An dieser Stelle sei auf den Vorschlag der Europäischen Kommission vom 14.12.2021 zum Erlass einer Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern (COM(2021) 813 final, s. auch BR-Drs. 28/22) hingewiesen. Ausweislich der Begründung dieses Vorschlags soll das gesamte Verkehrssystem durch die Digitalisierung reibungsloser und effizienter werden und zugleich für ein erhöhtes Niveau an technischer Sicherheit, Gefahrenabwehr, Zuverlässigkeit und Komfort gesorgt werden (COM(2021) 813 final, S. 1, s.

auch BR-Drs. 28/22). Um eine erhöhte Effizienz in allen Verkehrsbereichen zu erreichen, sollen im Straßenverkehr gemeinsame Lösungen zunehmend als tragfähige Alternative zu Privatfahrzeugen und als Zubringer für bereits existierende und noch effizientere Verkehrsträger dienen (COM(2021) 813 final, S. 1 f.). Ferner wurde die Delegierte Verordnung (EU) 2022/545 der Kommission mit Vorschriften für die spezifischen Prüfverfahren und technischen Anforderungen für die Typengenehmigung von Kfz hinsichtlich ihrer Ereignisdatenspeicher und für die Typengenehmigung von Ereignisdatenspeichern als selbstständige technische Einheiten erlassen (ABl. EU v. 06.04.2022 Nr. L 107, S. 18 ff.). Die soeben aufgezeigten Entwicklungen lassen eine große Aufgeschlossenheit der Union gegenüber einer nachhaltigen, intelligenten und resilienten Mobilität erkennen (COM(2021) 813 final, S. 1), sodass mit weiteren unionsrechtlichen Vorschriften zu rechnen ist.

6.2 Automatisierter ÖPNV in Österreich

Peter Bußjäger

6.2.1 Einleitung

Im vorliegenden Beitrag wird der Frage nachgegangen, welche rechtlichen Rahmenbedingungen eines automatisierten öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Österreich derzeit bestehen, sowie die sich aus der bestehenden Rechtslage ergebenden Handlungsbedarfe für den Gesetzgeber untersucht. Geprüft werden die verfassungsrechtlichen Grundlagen (2), die verkehrsrechtlichen (3) und sonstigen verwaltungsrechtlichen Rahmenbedingungen (4) einschließlich solcher finanzieller Art.

Dem Begriff des automatisierten ÖPNV wird das Verständnis des Einleitungsbeitrags dieser Publikation zugrunde gelegt. Der ÖPNV kann in Österreich schienengebunden (Eisenbahnen, Seilbahnen) oder durch Kraftfahrlinien, in beschränktem Ausmaß auch durch Schifffahrt erfolgen. Luftfahrtrecht bleibt ausgeblendet.

6.2.2 Verfassungsrechtlicher Rahmen

Kompetenzzuweisungen der Bundesverfassung

Das österreichische Bundesverfassungsrecht, vornehmlich die zentrale Verfassungsurkunde, das Bundesverfassungsgesetz (B-VG), weist die Zuständigkeiten hinsichtlich des Verkehrsrechts überwiegend dem Bund zu: Gemäß Art. 10 Abs. 1 Z. 9 B-VG sind die Angelegenheiten des „Verkehrswesen[s] bezüglich der Eisenbahnen und der Luftfahrt sowie der Schifffahrt“ (letztere mit Ausnahme einzelner in Art. 11 Abs. 1 Z. 6 genannter, hier nicht weiter relevanter Angelegenheiten) Zuständigkeit des Bundes in Gesetz-

gebung und Vollziehung. Dies gilt auch hinsichtlich des „Krafffahrwesen[s]“ und der „Angelegenheiten der wegen ihrer Bedeutung für den Durchzugsverkehr durch Bundesgesetz als Bundesstraßen erklärten Straßenzüge“. Bundesstraßen sind auf der Grundlage des Bundesstraßengesetzes 1971 (BStG) die Autobahnen und Schnellstraßen (Lachmayer 2017a, S. 73). Zu deren Planung, Errichtung und Erhaltung ist auf der Grundlage des ASFINAG-Gesetzes ein ausgegliederter Rechtsträger, die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft), zuständig.

Von dieser umfassenden Bundeszuständigkeit sind die Angelegenheiten der „Straßenpolizei“ ausgenommen, welche gemäß Art. 11 Abs. 1 Z. 4 B-VG Bundessache lediglich in der Gesetzgebung, in der Vollziehung aber Landessache sind. Allerdings sind gemäß Art. 11 Abs. 3 B-VG auch die Durchführungsverordnungen zu diesen Angelegenheiten, sofern im Gesetz nichts anderes bestimmt wird, vom Bund zu erlassen. Nach dieser Bestimmung kann der Bundesgesetzgeber auch Anordnungen hinsichtlich der Art der Kundmachung von Durchführungsverordnungen, zu deren Erlassung die Länder auf dem Gebiet der Straßenpolizei ermächtigt werden, treffen.

In der Gesetzgebung und Vollziehung der Länder verbleiben gemäß Art. 15 Abs. 1 B-VG die Angelegenheiten der Straßen, die keine Bundesstraßen sind.

Eine auf die österreichische Kompetenzverteilung bezogene Darstellung muss bei der Vollziehung des Bundes zwischen der sogenannten unmittelbaren und der mittelbaren Bundesverwaltung differenzieren (vgl. Art. 102 Abs. 1 B-VG). Das „Verkehrswesen“, beinhaltend das „Verkehrswesen bezüglich der Eisenbahnen und der Luftfahrt sowie der Schifffahrt“ (Bußjäger 2014, Rz. 22), kann gemäß Art. 102 Abs. 2 B-VG in unmittelbarer Bundesverwaltung geführt werden, muss aber nicht. Entscheidet sich der Bund, für die Vollziehung in diesen Angelegenheiten keine eigenen Bundesbehörden einzurichten, ergibt sich aus Art. 102 Abs. 1 B-VG die Vollziehung in mittelbarer Bundesverwaltung. Dies bedeutet einen Bundesvollzug durch Landesorgane, konkret den Landeshauptmann und die ihm unterstellten Landesbehörden, darunter vor allem die Bezirksverwaltungsbehörden. Hinsichtlich des Verkehrswesens erfolgt in verschiedenen Bereichen eine Bundesvollziehung durch den jeweils zuständigen Bundesminister für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, aber in weiten Bereichen auch eine mittelbare Bundesverwaltung.

Auf die einzelnen Bereiche eines automatisierten öffentlichen Verkehrs bezogen, ergeben sich die in der Abb. 6.1 dargestellten Zuständigkeiten. Auf Grund des Umstandes, dass, wie erwähnt, gerade im Verkehrswesen Angelegenheiten sowohl in unmittelbarer wie auch in mittelbarer Bundesverwaltung geführt werden dürfen, ergibt sich eine weitere Gemengelage.

Zu guter Letzt bleibt darauf hinzuweisen, dass Bund und Länder, soweit sie als Träger von Privatrechten agieren, gemäß Art. 17 B-VG nicht an die Kompetenzverteilung gebunden sind. Dies ist insoweit bedeutsam, als die Privatwirtschaftsverwaltung in Österreich auch weite Teile der Förderungsverwaltung umfasst, eben soweit die Förderung nicht in hoheitlicher Form vergeben wird. Budgetär spielt diese Privatwirtschaftsverwaltung eine enorme Rolle und föderalismuspolitisch ist sie eine wichtige

Materie	Bund in Gesetzgebung und Vollziehung		Bund in Gesetzgebung, Land in Vollziehung	Land in Gesetzgebung, Bund in Vollziehung
	Unmittelbare Bundesvollziehung	Mittelbare Bundesvollziehung		
Eisenbahnen	+	+		
Schifffahrt	+	+		
Kraftfahrlinien		+		
Technische Ausstattung von Kraftfahrzeugen		+		
Autobahnen und Schnellstraßen		+		
Straßenpolizei			+	
Straßenrecht, soweit nicht Bundesstraßen und Autobahnen betroffen sind				+
Privatwirtschaftsverwaltung	+			+

Abb. 6.1 Kompetenzverteilung in den für den automatisierten ÖPNV vorrangig relevanten Verwaltungsmaterien

Grundlage für das Handeln der Länder, die in ihren hoheitlichen Kompetenzen durch die zentralistische Bundesverfassung weitgehend marginalisiert sind. Auf die Bedeutung der Förderungsverwaltung gerade im ÖPNV in Österreich wird noch eingegangen.

Die Darstellung in Abb. 6.1 veranschaulicht die Kompetenzverteilung in den für den automatisierten ÖPNV vorrangig relevanten Verwaltungsmaterien.

Welche konkrete Verwaltungsmaterie in Zusammenhang mit automatisiertem Fahren betroffen ist, kann nur durch eingehende Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Versteinerungsmaterial der betreffenden Bundeskompetenz gesagt werden. Ohne diese in der österreichischen Verfassungsdoktrin und der Rechtsprechung des VfGH eingeübte Methodik hier im Einzelnen vorstellen zu wollen, kann gesagt werden:

Die Zuordnung einer bestimmten Angelegenheit zu im B-VG explizit nummerierten Kompetenzen hängt nach den vom VfGH angewandten Interpretationsmaximen der Versteinerungstheorie und der intrasystematischen Fortentwicklung davon ab, ob sich zum Entstehungszeitpunkt der jeweiligen Kompetenznorm im damaligen Begriffsverständnis Anhaltspunkte finden, die darauf schließen lassen, dass die betreffende Angelegenheit genau dieser Kompetenznorm zugehörig ist (Gamper 2016, S. 587 ff.).

Speziell die Abgrenzung zwischen Kraftfahrwesen und Straßenpolizei kann mitunter heikel sein (Lachmayer 2017a, S. 74, 2017b, S. 153). Die Übernahme von Fahraufgaben eines oder einer Lenker:in durch das automatisierte System ist wohl der Straßenpolizei zuzuordnen (Lachmayer 2017b, S. 154).

Grundrechtliche Aspekte

Das automatisierte Fahren wirft generell auch grundrechtliche Fragen auf, nicht nur unter datenschutzrechtlichen Aspekten, auf die weiter unten (Abschn. 6.2.4) eingegangen wird. Es stellen sich auch Fragen der staatlichen Schutzpflichten gegenüber schädlichen Auswirkungen neuer Technologien (Hilgendorf 2015, S. 469). In der gebotenen Interessenabwägung wird dabei der Verkehrssicherheit grundsätzlich Priorität gegenüber anderen Interessen eingeräumt werden müssen (Kaltenegger 2018, S. 418).

Unions- und völkerrechtliche Einflüsse

Unions- und völkerrechtliche Vorgaben für automatisierten ÖPNV sind grundsätzlich nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrags (Romaniewicz-Wenk und Jirak 2018, S. 467; Amlacher und Andréewitch 2017a,b, S. 168 f.).³ Im Hinblick auf die Kompetenzverteilung zwischen Bund und Ländern bleibt jedoch darauf hinzuweisen, dass die Implementierung sowohl des Völkerrechts als auch des Unionsrechts in die nationale Rechtsordnung, wie sich aus Art. 16 Abs. 4 (Staatsverträge) und Art. 23d Abs. 5 B-VG (Unionsrecht) ergibt, Sache des für die jeweilige Verwaltungsmaterie zuständigen Gesetzgebers ist (Amlacher und Andréewitch 2017a, b, S. 170; Haselbacher 2020, S. 128). Im Übrigen gelten die allgemein anerkannten Regeln des Völkerrechtes als Bestandteile des Bundesrechtes.

Finanzverfassungsrechtlicher Rahmen

Während sich aus den oben beschriebenen Kompetenzzuordnungen eine klare Dominanz des Bundes ergibt, zeigt sich ein etwas anderes Bild, wenn die finanziellen Ver-

³Es sei lediglich angemerkt, dass etwa gemäß Art. 8 Z. 1 des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr jedes Fahrzeug, wenn es in Bewegung ist, einen Lenker aufweisen musste. Die Bestimmung wurde mittlerweile dahingehend ergänzt, dass in Art. 8 Z. 5^{bis} automatisierte Fahrzeugsysteme dann zulässig sind, wenn sie von einem Lenker übersteuert bzw. deaktiviert werden können. Lenker:innen gibt es jedoch bei einem vollautomatisierten ÖPNV nicht, sodass sich auch auf völkerrechtlicher Ebene ein Anpassungsbedarf ergeben könnte.

flechtungen im ÖPNV in Österreich in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die Grundlagen finden sich in einem gesonderten Bundesverfassungsgesetz, dem Finanz-Verfassungsgesetz (F-VG) aus dem Jahre 1948.

Gemäß § 2 F-VG tragen der Bund und die übrigen Gebietskörperschaften, sofern die zuständige Gesetzgebung nichts anderes bestimmt, den Aufwand, der sich aus der Besorgung ihrer Aufgaben ergibt. Da der einfache Bundesgesetzgeber die Besteuerungsrechte zuweist und das eigene Abgabenerfindungsrecht der Länder in der Praxis bescheiden ist (§ 3 F-VG), sind die Länder und Gemeinden als dritter Partner zur Finanzierung ihrer Aufgaben weitgehend auf den Finanzausgleich (§ 4 F-VG) angewiesen (beachte die Ausnahme des § 9 Wiener Dienstgeberabgabengesetz). Der von Bund, Ländern und Gemeinden im Wesentlichen im Wege der Privatwirtschaftsverwaltung finanzierte ÖPNV ist in der Praxis ein wesentliches Element dieses Finanzausgleichs. Siehe dazu näher unter Abschn. 6.2.4. Verwaltungsrechtliche Aspekte.

6.2.3 Relevantes Bundesrecht

Kraftfahrzeuggesetz

In § 102 Abs. 3a und 3b KFG sind – entsprechend der wenig berücksichtigten Kritik aus dem Begutachtungsverfahren wenig bestimmte bzw. determinierte (Eisenberger et al. 2016, S. 388; Lachmayer 2017a, b, c, S. 516; Romaniewicz-Wenk und Jirak 2018, S. 466 ff.; Amlacher und Andréewitch 2017a, b, S. 170) – Verordnungsermächtigungen enthalten, die es dem zuständigen Bundesminister ermöglichen, festzulegen, welche Fahraufgaben der Lenker eines Fahrzeugs einem Assistenzsystem übertragen darf. Weiters ist gemäß Abs. 3b festzulegen,

1. in welchen Verkehrssituationen,
2. auf welchen Arten von Straßen,
3. bis zu welchen Geschwindigkeitsbereichen,
4. bei welchen Fahrzeugen,
5. welchen Assistenzsystemen oder automatisierten oder vernetzten Fahrsystemen Fahraufgaben übertragen werden können.

Die Verordnungsermächtigung genügt den verfassungsrechtlichen Anforderungen an das Legalitätsprinzip des Art. 18 B-VG wohl kaum (Lachmayer 2017b, S. 154). Auch ein sogenannter Code of Practice, der im Rahmen der Antragstellung versucht, weitere Vorgaben für verbindlich zu erklären, reicht nicht aus (Lachmayer 2017a, b, c, S. 516). Dieser ist nämlich „soft law“ und daher freiwillig (Lachmayer 2017b, S. 151).

Auf der Grundlage des § 102 Abs. 3a und 3b KFG sowie § 34 Abs. 6 KFG wurde die Automatisiertes Fahren Verordnung (AutomatFahrV) erlassen (Zelenka 2017, S. 502; Haselbacher 2020, S. 128; Romaniewicz-Wenk und Jirak 2018, S. 468; Ennöckl und Erlacher 2017, S. 71; Roubik 2018, S. 7; Amlacher und Andréewitch 2017a, b, S. 171).

Die Verordnung regelt in ihrer derzeitigen Fassung vor allem Anwendungsfälle für Testzwecke (2. Abschnitt). Darin ist in § 7a AutomatFahrV auch das automatisierte Fahrzeug zur Personenbeförderung geregelt. In § 7 AutomatFahrV wird der Test eines selbstfahrenden Minibusses mit maximal 20 km/h erlaubt. Er kann auf vordefinierten Teststrecken oder vordefinierten Testgebieten getestet werden. Im Übrigen sind im 3. Abschnitt Anwendungsfälle für genehmigte Systeme in Serie in Form der Einparkhilfe (§ 10 AutomatFahrV) und dem Autobahn-Assistenten mit automatischer Spurhaltung (§ 11 AutomatFahrV) vorgesehen (Roubik 2018, S. 7, 2019, S. 154).

Zwingende Voraussetzung bei allen Testfahrten ist, dass sich stets eine Testfahrer:in im Fahrzeug auf dem für Lenker:innen vorgesehenen Platz befindet (§ 3 AutomatFahrV) (Roubik 2018, S. 8).

Im Übrigen erweist sich die Verordnung als fragmentarisch, es fehlen Informationspflichten gegenüber der Bevölkerung und nähere Festlegungen über die Teststrecken (Lachmayer 2017b, S. 161).

In § 96 KFG ist im Übrigen nunmehr geregelt, dass Kraftfahrzeuge mit einer Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 10 km/h auch auf öffentlichen Straßen verwendet werden dürfen, wenn sie keinen Lenker:innenplatz aufweisen. Eine Person zur Bedienung muss sich allerdings in der Nähe aufhalten. Diese Person hat auch die Lenker:innenpflichten zu erfüllen. Außerdem muss das Fahrzeug mittels eines Not Schalters jederzeit zum Stillstand gebracht werden können (AustriaTech 2021, S. 25).

Weiteres Verkehrsrecht des Bundes

Für den ÖPNV in besonderer Weise relevant ist das Eisenbahnrecht. Zu den Eisenbahnen zählen Haupt-, Neben- und Straßenbahnen (§ 1 Eisenbahngesetz–EisbG).

§ 110 EisbG enthält Bestimmungen über die Genehmigung für das Inverkehrbringen für Schienenfahrzeuge und die Erteilung einer Fahrzeugtypengenehmigung durch den zuständigen Bundesminister, soweit nicht die Eisenbahnagentur der EU zuständig ist.

In Betracht kommen darüber hinaus Seilbahnen i. S. d. Seilbahngesetzes (SeilbG 2003)⁴ und zwar dann, wenn es sich um öffentliche Seilbahnen handelt. Das sind solche mit Personenbeförderung, die nach Maßgabe der in der Konzession ausgewiesenen Zeiträume zur Führung eines allgemeinen Personenverkehrs verpflichtet sind (§ 5 SeilbG 2003). Zu denken ist dabei weniger an die typischerweise touristischen Zwecken dienende Seilbahn als an solche Einrichtungen, die auch in Städten eingerichtet werden können. Seilbahnen sind im Übrigen im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln des ÖPNV vergleichsweise weitgehend automatisiert.

⁴Seilbahnen gelten in Österreich rechtlich als Eisenbahnen und sind daher von der Bundeskompetenz hinsichtlich dieser Anlagen in Art. 10 Abs. 1 Z. 9 B-VG erfasst.

Auf Grund der geringen Relevanz kann im vorliegenden Fall das Schifffahrtsrecht ausgeblendet werden. Regelungen für einen automatisierten Verkehr sind in den maßgeblichen Vorschriften jedenfalls nicht enthalten.

Relevantes Landesrecht

Das Landesrecht erwähnt automatisiertes Fahren derzeit nicht. Da sich dieses, wie oben dargestellt, auf die Planung, Errichtung und Erhaltung von Straßen bezieht, soweit es sich nicht um Autobahnen und Schnellstraßen handelt, scheint dieses auch nur von begrenzter Relevanz zu sein. Allerdings ist anzumerken, dass das Landesrecht dann berührt sein kann, wenn der automatisierte ÖPNV infrastruktureller Einrichtungen auf Straßen bedarf.⁵

Regulierungsbedarf

Das automatisierte Fahren berührt nicht nur die technischen Aspekte des Kraftfahrrechtes. Ob es notwendig ist, ein eigenständiges Regelwerk zu entwerfen, wie gelegentlich gefordert wird, kann hier dahingestellt werden (Gstöttner und Lachmayer 2021, S. 480).

Straßenverkehrsrechtlich (StVO) wird zu klären sein, wer beim automatisierten Fahren für die Einhaltung von Verkehrsvorschriften verantwortlich ist. Wenn Regulierungsbedarf in der StVO dahingehend geortet wurde, wie Lenker:innen darauf eingestellt werden, selbst das Steuer eines automatisierten Fahrzeugs zu übernehmen (Lachmayer 2017a, b, c, S. 519; Amlacher und Andréewitch 2017a, b, S. 170), dann stellt sich bei einem automatisierten ÖPNV diese Frage zwar nicht, weil keine potenziellen Lenker:innen, sondern nur Passagiere zur Verfügung stehen, aber es wirft die Frage auf, wie die Verkehrsunternehmen mit dem Problem umgehen, unter Umständen Lenker:innen in Form einer Technischen Aufsicht zu benötigen, wie in der Novelle des deutschen Straßenverkehrsgesetzes (StVG) 2021.

Dazu kommen jedoch noch weitere Aspekte, die automatisiertes Fahren generell betreffen, wie etwa die Geschwindigkeit im Hinblick auf Reaktionszeit und Anhalteweg (Gruber et al. 2018, S. 49). Außerdem wurde eine mögliche Störung des Verkehrsflusses durch automatisiertes Bremsen und Beschleunigen diagnostiziert (Gruber et al. 2018, S. 59).

Im Führerscheingesetz ergibt sich der Regulierungsbedarf, ob und unter welchen Umständen jemand ein Fahrzeug in Betrieb setzen darf, das ganz oder teilweise automatisiert ist.

⁵In VfSlg 20.262/2018 hat der Verfassungsgerichtshof entschieden, dass ein Verkehrskontrollplatz auf einer Autobahn als Bestandteil dieser Bundesstraße gilt und ebenso ein Gebäude oder Bauwerk, das in Zusammenhang mit dieser Funktion steht. Damit ergibt sich aber auch, dass auch erforderliche infrastrukturelle Anlagen für den automatisierten ÖPNV wohl Straßenbestandteile sind und dann von jenem Gesetzgeber zu regeln sind, der für die betreffende Straße zuständig ist.

Bezogen auf den ÖPNV ergibt sich Regulierungsbedarf im EisbG nicht nur hinsichtlich der Typengenehmigung der Schienenfahrzeuge und ihres Inverkehrbringens (§ 110 EisbG), sondern auch hinsichtlich der Bestimmungen über die Fahrerlaubnisse zum Führen eines Triebfahrzeuges (§§ 124 ff. EisbG).

Die geltende Rechtslage enthält dahingehend Regelungslücken, als im Notfall im automatisierten ÖPNV keine Fahrer:in anwesend ist. Es müssen daher Vorkehrungen getroffen werden, dass nicht nur erwachsene Passagiere, sondern vor allem auch Kinder oder beeinträchtigte Personen Notknöpfe drücken können. Dafür lassen sich Normen heranziehen, die für ähnliche Situationen in derzeit nicht fahrerüberwachten Verkehrsmitteln bestehen, wie in § 87 Abs. 1 SeilbG 2003 oder § 16 Schleppliftverordnung (Gruber et al. 2018, S. 74). Denkbare Anknüpfungspunkte wären das KraftfahrlinienG oder auch § 63 KFG-Durchführungsverordnung oder § 106 KFG (Gruber et al. 2018, S. 74).

Nicht übersehen werden darf auch, dass der automatisierte Verkehr strafrechtliche Fragen aufwirft (Rohregger 2017, S. 196 ff.). Hier kann Regulierungsbedarf insoweit besteht, als die „Systemverantwortung“ für das Funktionieren und die Sicherheit der Systeme zu klären ist (Rohregger 2017, S. 199). Schließlich sind auch zivilrechtliche Fragen zu erwähnen, auf die hier nicht näher einzugehen ist. Sie beziehen sich einerseits auf die zivilrechtliche Haftung der Lenker:innen automatisierter Fahrzeuge (Amlacher und Andréewitch 2017a, S. 208; Eisenberger et al. 2016, S. 389; Eustacchio 2017, S. 509; Harnoncourt 2016, S. 546; Graul 2020, S. 24), die es im vollautomatisierten ÖPNV zudem nicht mehr gibt, bzw. auf die Produkthaftung dafür (Koch 2021, S. 113; Amlacher und Andréewitch 2017a, S. 211; Harnoncourt 2016, S. 549).

6.2.4 Verwaltungsrechtliche Aspekte

Organisation und Finanzierung des öffentlichen Personennahverkehrs

Der ÖPNV in Österreich ist das Ergebnis eines komplexen Finanzierungssystems, an dem alle drei staatlichen Ebenen, Bund, Länder und Gemeinden, partizipieren. Grundlage ist das Bundesgesetz über die Ordnung des öffentlichen Personennah- und Regionalverkehrs (ÖPNRV-G 1999). Als verfassungsrechtliche Kompetenzgrundlagen wurden ursprünglich Art. 10 Abs. 1 Z. 8, 9 und Art. 17 B-VG, das F-VG sowie nicht näher bestimmtes EU-Sekundärrecht⁶ beansprucht (1132/A XX. GP, 20). In einer späteren Novellierung wurde präziser formuliert und als Kompetenzgrundlagen Art. 10 Abs. 1 Z. 8 B-VG hinsichtlich der Angelegenheiten des Gewerbes und Art. 10 Abs. 1 Z. 9 B-VG hinsichtlich des Verkehrswesens in Anspruch genommen. Der Verweis auf das F-VG blieb, der unzutreffende Bezug auf das Unionsrecht wurde hingegen fallengelassen (RV 511 B1gNR XXV. GP).

⁶Dies ist unzutreffend. EU-Recht, ob unmittelbar anwendbar oder nicht, verpflichtet entweder zur Umsetzung oder Anwendung, ändert aber nicht die Kompetenzverteilung.

Inhaltlich nimmt dieses Bundesgesetz immerhin in Anspruch, die organisatorischen und finanziellen Grundlagen für den Betrieb des öffentlichen Personennah- und Regionalverkehrs unter Bedachtnahme auf anzuwendendes Unionsrecht zu regeln. So wären beispielsweise Finanzierungsfragen eines automatisierten ÖPNV (etwa für Testzwecke) im Rahmen dieses Gesetzes bzw. der damit in Zusammenhang stehenden Finanzierungsverflechtungen von Bund, Ländern und Gemeinden zu regeln. Indessen sind weder dem Gesetz noch seinen Materialien, oder auch den Dokumentationen zum Finanzausgleich zwischen Bund und Ländern ein Hinweis zu entnehmen, wonach automatisierter öffentlicher Verkehr zum Thema gemacht worden wäre.

Außerhalb des ÖPNRV-G können die Gebietskörperschaften Bund und Länder aber nach dem oben Gesagten unter dem Titel des Art. 17 B-VG Förderungsverwaltung betreiben, ohne dazu eine spezifische gesetzliche Grundlage zu benötigen. In diesem Sinne förderte das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie ein Projekt für automatisiertes Fahren im ÖPNV (vgl. Abschlussveranstaltung des Digibus® Austria am 25.03.2021).

Im Jahre 2017 wurde im Rahmen eines vom Land Kärnten finanzierten Projektes SURAAA (Smart Urban Region Austria Alps Adriatic) ein autonomer Bus in Pörtlach präsentiert. Dieser ist seit Juni 2018 auf einer 1,5 km langen Strecke im Einsatz und seit Mai 2019 sogar im Regelverkehr auf der Bundesstraße (Arge ITA-AIT Parlament 2021, S. 1 ff.).

In Salzburg wurde in der Gemeinde Koppl ein vom Land Salzburg gefördertes Projekt eines automatisierten Shuttle-Busses durchgeführt (Zankl und Rehr 2018, S. 54), dessen Testbetrieb eine hohe Akzeptanz der neuen Technologien ergeben hat, aber die Erwartungen an hoch- bzw. vollautomatisierte Fahrzeuge noch nicht erfüllt.

Diese Projektfinanzierungen sind insgesamt punktuell und allenfalls zwischen dem zuständigen Bundesministerium und dem jeweils betroffenen Land abgestimmt. Unklar ist, ob es eine bestimmte Strategie oder eine österreichweite Koordination gibt, Hinweise haben sich dafür jedenfalls nicht ergeben.

Horizontale Schnittstellen innerhalb der Bundesverwaltung

Angelegenheiten des automatisierten öffentlichen Verkehrs sind vornehmlich dem Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie zugewiesen. Die dafür maßgeblichen Begrifflichkeiten sind der Anlage zu § 2 des BundesministerienG (BMG) zu entnehmen, zu den Zuständigkeiten des genannten zählen:

1. Z. 8 Verkehrspolitik, worunter auch die verkehrspolitischen Angelegenheiten des Wasserbaus hinsichtlich Wasserstraßen gezählt werden,
2. Z. 9. Angelegenheiten des Verkehrswesens bezüglich der Eisenbahnen, der Schifffahrt und der Luftfahrt,
3. Z. 10. Kraftfahrwesen und Angelegenheiten der Straßenpolizei,
4. Z. 11. Angelegenheiten der Bundesstraßen,
5. Z. 14. Angelegenheiten des gewerblichen Personen- und Güterverkehrs,

6. Z. 15. Angelegenheiten der Beförderung von Personen und Gütern im Werksverkehr,
7. Z. 16. Angelegenheiten der Österreichischen Bundesbahnen.

Schnittstellen in den durchaus umfassenden Zuständigkeiten dieses Bundesministeriums ergeben sich im Hinblick auf die Zuständigkeiten des Bundesministeriums für Finanzen für öffentliche Unternehmen im (Mit-)Eigentum des Bundes (Anlage zu § 2 BMG F. Z. 6) sowie die Mitwirkungsrechte des Finanzministeriums bei der Erstellung des Rahmenplanes der Österreichischen Bundesbahnen hinsichtlich der budgetären Aspekte (Anlage zu § 2 BMG F. Z. 12). Im Hinblick auf das autonome Fahren können sich aber auch Bezüge zum Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort sowie zum Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung ergeben.

Insgesamt erweisen sich die aus dieser Zuständigkeitsverteilung horizontal, also innerhalb der Bundesministerien resultierenden Schnittstellenproblematiken als vergleichsweise überschaubar.

Vertikale Schnittstellen: Öffentliche Verkehrsunternehmen im Eigentum von Ländern und Gemeinden

Automatisierter ÖPNV setzt, wie bereits oben erwähnt, zunächst entsprechende Pilotversuche in seinen verschiedenen Bereichen voraus. Auch der Regelbetrieb kann nur von den einzelnen Verkehrsunternehmen ausgenommen werden. Hier ergeben sich vertikale Schnittstellen, ist doch die Landschaft des ÖPNV in Österreich äußerst heterogen.

Der ÖPNV wird in Österreich neben den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), die vom Bund betrieben werden, vor allem durch Kraftfahrlinien, die von diversen Verkehrsverbänden oder Ländern finanziert werden, getragen sowie durch zahlreiche Verkehrsbetriebe von Städten und Gemeinden (von großen Unternehmen wie den Wiener Verkehrsbetrieben bis hin zu bestimmten Ortsbussen, vor allem in Tourismusgemeinden).

Maßgebliche Player sind vor allem die sieben Verkehrsverbände Verkehrsverbund Ost-Region – VOR (mit Niederösterreich, Burgenland, Wien), Verbund Linie in der Steiermark, Oberösterreichischer Verkehrsverbund, Salzburg Verkehr, Verkehrsverbund Kärnten, Verkehrsverbund Tirol und Verkehrsverbund Vorarlberg. In diese Verkehrsverbände sind wiederum regionale und kommunale Verkehrsbetriebe integriert.

Dieses in Tradition gewachsene System muss auf kooperativem Wege zu Innovationen geführt werden. Ein Beispiel dafür ist das 365-Euro-Ticket für ein Jahr öffentlichen Verkehr im jeweiligen Bundesland bzw. um 1095 € für ganz Österreich, das auf der Grundlage der von der zuständigen Bundesministerin mit den Verkehrsverbänden getroffenen Absprachen durchgeführt werden konnte.

Automatisierter ÖPNV, der über einzelne Pilotversuche hinausgehen soll, wird daher ebenfalls eines kooperativen Vorgehens in vertikaler Abstimmung bedürfen.

Datenschutz

Der Datenschutz in Österreich ist weitgehend Gegenstand der unmittelbar anwendbaren DSGVO der Union. Soweit diese keine Regelungen enthält bzw. den Mitgliedstaaten Raum für ergänzende Regelungen lässt, ist das Datenschutzgesetz (DSG) des Bundes anzuwenden. Gemäß Art. 10 Abs. 1 Z. 13 B-VG sind nämlich die allgemeinen Angelegenheiten des Schutzes personenbezogener Daten Zuständigkeit des Bundes in der Gesetzgebung.

Aspekte des Datenschutzes werden beim automatisierten Fahren erwähnt, da eine Vielzahl von Daten auch personenbezogener Art verarbeitet werden müssen (Kunnert 2017, S. 189; Reinisch 2019, S. 206; Amlacher und Andréewitch 2018, S. 19; Eisenberger et al. 2016, S. 389; Forgó 2018, S. 454). Die in der Literatur bisher diskutierten Aspekte betrafen vorwiegend Konstellationen in Zusammenhang mit dem Fahrerverhalten bzw. der für dieses maßgeblichen Personen im Straßenverkehr.

Inwieweit automatisierter ÖPNV darüber hinaus datenschutzrechtliche Fragen aufwirft, wurde, soweit ersichtlich, in Österreich bisher nicht behandelt. Denkbar wäre das Erfordernis einer gesetzlichen Grundlage, wenn mit der Benutzung eines Verkehrsmittels des ÖPNV in irgendeiner Form eine Ticket-Kontrolle oder dgl. verbunden ist. Vor allem aber ist davon auszugehen, dass das automatisierte Verkehrsmittel einer besonderen Form der Überwachung der Passagiere bedarf, sowohl unter der Fahrt als auch beim Zu- und Ausstieg. In all diesen Fällen stehen schutzwürdige Geheimhaltungsinteressen der Betroffenen auf dem Spiel (§ 1 Abs. 1 DSG), sodass deren Verarbeitung nur auf Grund entsprechender gesetzlicher Grundlage (§ 1 Abs. 2 DSG) zulässig ist. Solche gesetzlichen Grundlagen liegen derzeit noch nicht vor.

Einflüsse auf weitere Verwaltungsmaterien?

Es ist noch nicht klar abzusehen, welche Auswirkungen die Automatisierung des ÖPNV auf weitere Verwaltungsmaterien, wie etwa die Raumordnung und das Baurecht, hat. Zu denken ist in diesem Zusammenhang an Vorgaben, die sich aus einem automatisierten ÖPNV auf die Stadtplanung ergeben, wie auch die technische Ausführung und die Baugestaltung. Möglicherweise werden neue Zielbestimmungen in den Raumplanungsgesetzen der Länder erforderlich, welche die Planungsbehörden dazu anhalten, auf Interessen des automatisierten ÖPNV Rücksicht zu nehmen. Ein Einfluss auf die Raum- und Siedlungsstrukturen ist jedenfalls als gegeben anzunehmen (Beckmann 2020, S. 264). In der Literatur wird insbesondere die Möglichkeit betont, Raum zurückzugewinnen (Bruck, Soteropoulos und Stickler 2018, S. 53; Juschten und Hössinger 2017, S. 38). Dies ist im Bundesstaat Österreich insbesondere für die Länder von Interesse, da sie entsprechend dem Art. 15 Abs. 1 B-VG für die allgemeine Siedlungsplanung verantwortlich sind.

Fazit zu Abschn. 6.2

Generell kann konstatiert werden, dass hinsichtlich eines automatisierten ÖPNV in Österreich noch erheblicher Regulierungsbedarfe bestehen (Gstöttner und Lachmayer 2021, S. 478). Ob dies durch ein eigenes regulatorisches Regime erfolgen muss, wie dies von Lachmayer generell hinsichtlich des automatisierten Verkehrs gefordert wurde (Gstöttner und Lachmayer 2021, S. 481), oder ob eine Integration in bestehende Rechtsvorschriften zweckmäßiger wäre, sei an dieser Stelle dahingestellt.

Die Regelungsbedarfe bestehen dabei vorwiegend im Bundesrecht, während das Landesrecht eher von nachrangiger Bedeutung ist.

Derzeit dürfte die Notwendigkeit im Vordergrund stehen, neue Testkapazitäten und Anwendungsfelder zu eröffnen. Im weiteren Verlauf wird es darum gehen, notwendige Infrastrukturen zu schaffen und auch datenschutzrechtliche Begleitregelungen zu treffen. Auf die vielfältigen Herausforderungen im Hinblick auf öffentlich-rechtliche und zivilrechtliche Aspekte von Verantwortlichkeiten sei an dieser Stelle nur hingewiesen.

Insgesamt eröffnet der automatisierte öffentliche Verkehr jedoch nicht nur der Verkehrsplanung, sondern auch generell der Stadtplanung neue Chancen.

6.3 Rechtsgrundlagen für automatisiertes Fahren in der Schweiz

Nadja Braun Binder und Raoul Fasler

6.3.1 Einleitung

Im Zuge der technologischen Entwicklung ist automatisiertes Fahren auch hierzulande ein intensiv diskutiertes Thema. In der Schweiz werden und wurden bereits verschiedene Pilotversuche mit automatisierten Fahrzeugen durchgeführt. Das automatisierte Fahren und damit eingeschlossen auch die bisherigen Pilotversuche waren im Schweizerischen Recht jedoch für lange Zeit nicht konkret geregelt. Ein seit Anfang der 2020er-Jahre durchgeführter Revisionsprozess des Straßenverkehrsgesetzes (SVG) soll dies jedoch ändern (Lohmann 2021, S. 621). Durch diese Gesetzesrevision werden in der Schweiz erstmals grundlegende Rahmenbedingungen für den Bereich von automatisierten Fahrzeugen festgelegt, wie beispielsweise Zulassungsvoraussetzungen, Betriebs- und Versuchsbedingungen. Das Gebiet des automatisierten Fahrens soll so in einen gesetzlichen Rahmen gegossen werden. Auffallend im Zusammenhang mit der Revision des

Straßenverkehrsgesetzes ist die umfassende Kompetenzdelegation an den Bundesrat⁷, also an die Schweizerische Landesregierung. Diese erhält mit der Gesetzesrevision die Ermächtigung, in Verordnungen die Konkretisierungen zu den gesetzlichen Leitplanken auszuarbeiten. Der Gesetzgeber erhofft sich dadurch, dass eine anpassungsfähige Regulierung gewährleistet werden kann, welche dem sich schnell entwickelnden Bereich des automatisierten Fahrens gerecht wird (Botschaft 2021, S. 33).

Durch den Umstand, dass die Konkretisierung der Regelung automatisierten Fahrens auf Verordnungsstufe stattfinden wird, empfiehlt es sich, die sich mitunter rasch ändernden Verordnungsbestimmungen im Blick zu behalten.

6.3.2 Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen

In der Schweiz wird zwischen National-, Kantons- sowie Gemeindestraßen unterschieden (Keusen 2015, S. 453 f.). Nationalstraßen zum einen sind Straßen von gesamtschweizerischer Bedeutung, darunter fallen insbesondere die meisten Autobahnen. Die Nationalstraßen fallen in die Hoheit und somit in die Zuständigkeit des Bundes (Keusen 2015, S. 453). Kantonsstraßen wiederum dienen dem regionalen und überregionalen Verkehr. Diese Straßen unterliegen der Hoheit der Kantone und fallen somit in deren Zuständigkeitsbereich (Keusen 2015, S. 454). Die dritte Kategorie bilden kommunale Gemeindestraßen, welche die Kantonsstraßen miteinander verbinden und dem Verkehr innerhalb der Gemeinden dienen. Für sie sind grundsätzlich die Gemeinden zuständig (Keusen 2015, S. 454). Diese Unterteilung ist Ausdruck der föderalen Ausgestaltung des Schweizerischen Bundesstaats. Die Zuständigkeiten und Regelungskompetenzen von Bund, Kantonen und Gemeinden sind dabei ineinander verflochten und können in gewissen Bereichen auch nebeneinander zum Tragen kommen (Keusen 2015, S. 445).

Neben der Hoheit über die Nationalstraßen kommt dem Bund gemäß Bundesverfassung die Zuständigkeit für den Erlass von Vorschriften im Bereich des Straßenverkehrs zu. In seiner Straßenverkehrsgesetzgebung und dem dazugehörigen Verordnungsrecht hat der Bund beispielsweise landesweit einheitliche Regelungen für die Straßenverkehrsregeln, die Zulassungsbedingungen von Fahrzeugen sowie die Anforderungen an die Signalisation erlassen. Die Bundeskompetenz im Bereich des Straßenverkehrs ist eine umfassende Zuständigkeit. Für die Kantone bedeutet dies, dass sie in diesen Bereichen grundsätzlich keine eigenen Regelungen erlassen dürfen. Stoppschilder haben beispielsweise in der ganzen Schweiz gleich auszusehen,

⁷Der Bundesrat ist die vom Parlament auf vier Jahre gewählte, aus sieben Mitgliedern bestehende Regierung der Schweiz und entspricht damit in keiner Weise dem in Deutschland oder Österreich als „Bundesrat“ bezeichneten Organ. Das Pendant zum deutschen bzw. österreichischen Bundesrat ist – mit einigen Unterschieden in den konkreten Kompetenzen – der Ständerat, also die kleine Kammer des Schweizerischen Parlaments, in welchem die Kantone vertreten sind.

Geschwindigkeits- und Vortrittsregelungen gelten auch gesamtschweizerisch und können nicht kantonal unterschiedlich gehandhabt werden.

Die Kantone ihrerseits haben neben der Hoheit über die Kantonsstraßen aber insbesondere Kompetenzen im Zusammenhang mit dem Bau und dem Unterhalt der Straßen sowie Umsetzungsaufgaben im Bereich der Signalisation (Keusen 2015, S. 451). Des Weiteren haben die Kantone eigene Straßengesetze oder -verordnungen erlassen, in welchen sie diejenigen Bereiche regeln, die von der kantonalen Zuständigkeit erfasst werden. Dazu gehören z. B. polizeiliche Kompetenzen im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr, Vorschriften zum Parkieren oder Bestimmungen zu Gebühren für die in der kantonalen Vollzugskompetenz liegenden Sachverhalte (z. B. die Zulassung von Fahrzeugen).

Für den Bereich des automatisierten Fahrens kann generell festgehalten werden, dass für Fragen in Bezug auf die geltenden Verkehrsregeln, die Zulassungsbedingungen von (automatisierten) Fahrzeugen sowie die Signalisationen in erster Linie die bundesrechtlichen Erlasse zu konsultieren sind. Stellen sich hingegen Fragen zur geltenden Rechtslage im Zusammenhang mit Versuchen und Pilotprojekten mit automatisierten Fahrzeugen, so sind neben dem Bundesrecht auch die jeweiligen kantonalen und allenfalls die kommunalen Bestimmungen zu berücksichtigen. Aufgrund der föderal ausgestalteten Schweizerischen Rechtsordnung und des Umstandes, dass in gewissen Bereichen die Kompetenzen des Bundes, der Kantone und der Gemeinden nebeneinander koexistieren, ist es sicherlich ratsam, zusätzlich zu den bundesrechtlichen Vorgaben auch die jeweils einschlägigen kantonalen und kommunalen Bestimmungen im Blick zu haben. Dasselbe gilt für die allgemeinen rechtlichen Grundlagen für den öffentlichen Verkehr. So gibt es einschlägige Erlasse auf Bundesebene, wie beispielsweise das Bundesgesetz über die Personenbeförderung (Kern und König 2015, S. 391 und S. 399 ff.). Es bestehen jedoch auch zahlreiche Erlasse auf kantonaler Ebene, welche insbesondere Bestimmungen über die lokalen Transportbetriebe zum Inhalt haben (Kern und König 2015, S. 410).

6.3.3 Pilotprojekte

In der Schweiz fanden und finden seit 2015 im ganzen Land verteilt diverse Projekte im Bereich des automatisierten Fahrens statt. Dabei handelt es sich um Versuche mit Personenwagen, Projekte mit Lieferrobotern oder aber um Pilotversuche mit Shuttlebussen im Rahmen des öffentlichen Verkehrs. Viele dieser Projekte wurden in kleinen und mittelgroßen Orten oder Städten durchgeführt.

Die PostAuto AG erprobte zum Beispiel im Rahmen ihres „SmartShuttle“-Projekts in der Stadt Sion im Kanton Wallis seit 2016 mehrfach Shuttlebusse auf öffentlichen Straßen. Der Projektbeschreibung ist zu entnehmen, dass zwar immer eine instruierte Begleitperson in den Fahrzeugen dabei war, dass die Shuttles aber komplett automatisiert und ohne Lenkrad, Brems- oder Gaspedale unterwegs waren. Der jüngste Testbetrieb in

Sion war in der Form eines On-Demand-Angebots ausgestaltet, bei welchem per App oder Telefon eine Wunschstrecke (mit einer vorgegebenen Auswahl an Haltestationen) gebucht werden konnte. Dieses On-Demand-Projekt soll zur besseren Vernetzung von Wohnquartieren beitragen und ist als Ergänzung des bestehenden ÖPNV-Netzes vorgesehen. Ein ähnliches Projekt führten die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) unter dem Namen „MyShuttle“ im Jahr 2019 in der Stadt Zug im gleichnamigen Kanton durch. Dabei wurden automatisierte Shuttlebusse vornehmlich in Tempo-50-Zonen eingesetzt und ebenfalls in das bestehende ÖPNV-Angebot integriert.

Auch lokale ÖPNV-Anbieter wie die Verkehrsbetriebe Schaffhausen (in Neuhausen am Rhein), die BERNMOBIL (in Bern), die transport publics fribourgeois (in Marly) sowie die transports publics genevois (in Meyrin und Thônex) führten vergleichbare Pilotversuche mit automatisierten Shuttlebussen auf öffentlichen Straßen durch. In Saas Fee hat die PostAuto AG außerdem den Einsatz eines automatisierten Gepäckroboters zwischen dem Busbahnhof und verschiedenen Hotels erprobt.

Bewilligungen für die bisherigen Pilotversuche mit automatisierten Fahrzeugen stützen sich auf Art. 106 Abs. 5 SVG (Botschaft 2021, S. 36). Durch diese Regelung ist es dem Bundesrat möglich, entsprechend vorläufige Maßnahmen zu treffen, wenn im Bereich des Straßenverkehrs neue technische Erscheinungen auftreten. Die Gesetzesbestimmung ist jedoch in erster Linie eine Grundlage für den Erlass von Verordnungen und war ursprünglich nicht als Grundlage für die Bewilligung von einzelnen Versuchsprojekten vorgesehen (Botschaft 2021, S. 36).

Alternativ dazu kommt allenfalls auch Art. 53 SVG als rechtliche Grundlage für die Bewilligung von Versuchen mit automatisierten Fahrzeugen in Frage. Diese Bestimmung legt fest, dass für Versuchsfahrten, bei denen die Verkehrsregeln oder die Vorschriften über die Fahrzeuge nicht eingehalten werden können, eine kantonale Bewilligung erforderlich ist. Zuständig hierfür wäre derjenige Kanton, dessen Gebiet befahren wird.

Für das „MyShuttle“-Projekt der SBB lag gemäß Abschlussbericht eine Ausnahmegewilligung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vor (gestützt auf Art. 106 Abs. 5 SVG). Auch den Projektunterlagen zu den erwähnten Testläufen der PostAuto AG ist zu entnehmen, dass jeweils Sonderbewilligungen sowie eine enge Zusammenarbeit mit den Behörden auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene notwendig waren.

6.3.4 Rechtslage

Wie bereits erwähnt, gab es im Straßenverkehrsrecht der Schweiz lange Zeit keine ausdrücklichen Regelungen zum automatisierten Fahren. Unabhängig davon gilt jedoch der in Art. 31 Abs. 1 SVG festgeschriebene Grundsatz, dass die Fahrzeugführenden das Fahrzeug ständig so beherrschen müssen, dass sie ihren Vorsichtspflichten nachkommen können. Durch die Verkehrsregelverordnung (VRV) wird dieser Grundsatz in Art. 3

Abs. 3 VRV insofern konkretisiert, als dass die Lenkervorrichtung während der Fahrt nicht losgelassen werden darf (Lohmann 2021, S. 620 f.).

Verschiedene kantonale Verordnungen im Bereich des Straßenverkehrsrechts nehmen Bezug auf die heutige Kompetenz in Art. 53 SVG zur Bewilligung von Versuchsfahrten (z. B. Art. 6 Verordnung über den Straßenverkehr des Kantons Uri, § 11 Verordnung über den Straßenverkehr und die Straßensignalisation des Kantons Zug). Diese Normen sind aber sehr allgemein formuliert und enthalten keine näheren Angaben über die Art der bewilligungsfähigen Versuche.

Eine schweizweit einzigartige Bestimmung findet sich im Gesetz über den öffentlichen Verkehr des Kantons Genf. Dieses Gesetz räumt den Genfer Verkehrsbetrieben (TPG) bereits heute die Möglichkeit ein, automatisierte Fahrzeuge zu kaufen, zu mieten, herzustellen und zu betreiben.

6.3.5 Revision des Straßenverkehrsgesetzes

Kernpunkte der Revision

Assistenzsysteme, welche die Fahrzeuglenkerin oder den Fahrzeuglenker unterstützen, gelten bereits seit einigen Jahren als Standard (Botschaft 2021, S. 9). Zusätzlich wird jedoch auch die Frage aufgeworfen, wie aus rechtlicher Sicht mit Systemen umzugehen ist, welche in bestimmten Situationen die Fahrzeuglenkung vollständig übernehmen können. Das beinhaltet sowohl die Wahrnehmung der Umgebung als auch die Bedienung des Fahrzeugs. Diese modernen Automatisierungssysteme stellen die im Straßenverkehrsrecht verankerten Aufmerksamkeits- und Beherrschungspflichten der Fahrzeuglenkerin bzw. des Fahrzeuglenkers zumindest teilweise in Frage. Um dem durch die Entwicklungen in diesem Bereich entstehenden Reformbedarf gerecht zu werden, wurde das Schweizerische Straßenverkehrsgesetz einem Revisionsprozess unterworfen, durch welchen der Bereich des automatisierten Fahrens konkret geregelt wird. Damit wird in der Schweiz erstmals eine Rechtsgrundlage auf Gesetzesstufe zur Regelung des automatisierten Fahrens geschaffen (Botschaft 2021, S. 37). Das Vernehmlassungsverfahren⁸ zum Revisionsvorschlag wurde 2020 abgeschlossen. Das Parlament hat die Revision am 17. März 2023 beschlossen (BBl 2023 791). Zum Zeitpunkt der Endredaktion dieses Beitrags waren die betreffenden Gesetzesbestimmungen (Art. 25a ff. revSVG) noch nicht in Kraft gesetzt.

⁸Die Vernehmlassung ist dem Schweizerischen Gesetzgebungsverfahren vorgelagert. Im Vernehmlassungsverfahren haben die Kantone, politische Parteien sowie betroffene Verbände und Interessensgruppen die Möglichkeit, zu einem von der Exekutive vorgeschlagenen Gesetzesentwurf Stellung zu nehmen.

Durch die Revision wird u. a. eine Legaldefinition für Fahrzeuge mit einem Automatisierungssystem Einzug in das Straßenverkehrsgesetz finden. Diese Fahrzeuge werden gemäß Art. 25a revSVG definiert als „Fahrzeuge, die in der Lage sind, die Fahraufgaben des Fahrzeugführers zumindest unter bestimmten Bedingungen dauerhaft und umfassend zu übernehmen“. Diese Definition umfasst automatisierte Fahrzeuge der SAE-Definitionsstufen 3–5 (Botschaft 2021, S. 61). Im Übrigen knüpft auch das UVEK in seinen Berichten an die international gängige Unterscheidung von fünf Automatisierungsstufen an, wie sie von der SAE ausgearbeitet wurde.

Mit der Revision des Straßenverkehrsgesetzes sollen insbesondere die folgenden vier Anwendungsbereiche des automatisierten Fahrens reguliert werden (Botschaft 2021, S. 34):

- Aufhebung der Aufmerksamkeits- und Beherrschungspflichten für die Fahrzeugführerin oder den Fahrzeugführer bei aktiviertem Automatisierungssystem
- Selbständiges Parkieren von führerlosen Fahrzeugen auf abgegrenzten Parkierungsflächen
- Zulassung von auf festgelegten Fahrstrecken verkehrenden führerlosen Fahrzeugen
- Zulassung von streckenunabhängig verkehrenden führerlosen Fahrzeugen mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit

In zeitlicher Hinsicht hält die Botschaft⁹ des Bundesrats zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes fest, dass diese Anpassungen des SVG den Bedürfnissen und Entwicklungen des automatisierten Fahrens bis mindestens Anfang der 2030er-Jahre ausreichend Rechnung tragen sollen (Botschaft 2021, S. 33).

Kompetenzdelegation an den Bundesrat

Die Revision steht ganz im Zeichen der Kompetenzdelegation an den Bundesrat (Botschaft 2021, S. 13 und S. 38). Für viele Bereiche des automatisierten Fahrens hält das Gesetz bloß die grundlegenden Bestimmungen in Form von Rahmenbestimmungen fest. Für die Konkretisierungen wird der Verordnungsgeber, also der Bundesrat, zuständig sein. In der Botschaft zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes heißt es indes auch, dass es das vorrangige Ziel der Revision sei, die Regelung der Verwendung von Fahrzeugen mit einem Automatisierungssystem auf Verordnungsstufe zu ermöglichen (Botschaft 2021, S. 33). Als Begründung hierfür wird angeführt, dass auf diese Weise rasch auf internationale Entwicklungen reagiert werden kann (Botschaft 2021, S. 34). Außerdem sei eine abschließende materielle Regelung auf Gesetzesstufe zum Zeitpunkt der Revision, also Anfang der 2020er-Jahre, noch nicht möglich, da die sehr

⁹Als Botschaft wird der ausführliche Bericht der Schweizerischen Landesregierung bezeichnet, in welchem sie ihre jeweiligen Erlassentwürfe erläutert.

dynamischen Entwicklungen in den technischen und rechtlichen Bereichen des automatisierten Fahrens nur schwer vorhersehbar seien (Botschaft 2021, S. 33 f.).

Durch die gesetzliche Kompetenzdelegation und die dadurch ermöglichte Regelung auf der Verordnungsebene können konkrete Bestimmungen schneller erlassen und angepasst werden, der oft langsame und schwerfällige Prozess zum Erlass von Gesetzesbestimmungen kann so umgangen werden. Es liegt in der Natur eines demokratischen Gesetzgebungsverfahrens, dass dieses eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. In der Schweiz wird dieser Prozess mitunter durch den Umstand verlängert, dass Gesetzesänderungen einem (fakultativen) Referendum unterstehen und somit die Möglichkeit besteht, per Volksabstimmung über Gesetzesänderungen zu entscheiden. Durch die Regelung auf Verordnungsebene ist es möglich, flexibler und rascher auf technologische Entwicklungen und Fortschritte sowie auf die internationalen Referenzen reagieren zu können.

Die Regelungskompetenz des Bundesrats bezieht sich in erster Linie auf automatisierte Fahrzeuge der Stufen 3 und 4 (Botschaft 2021, S. 34). Die Exekutive erhält die Möglichkeit, Regelungen vorzusehen, welche die grundsätzlich geltenden Aufmerksamkeits- und Beherrschungspflichten der Fahrzeugführerin oder des Fahrzeugführers aufheben, sobald das entsprechende Automatisierungssystem aktiviert ist (Botschaft 2021, S. 34 und S. 62 f.). Auch kann der Bundesrat Bestimmungen für den Bereich des führerlosen Parkierens auf abgegrenzten Parkierungsflächen erlassen, die vom übrigen Verkehr sowie den Geh- und Radwegen abgegrenzt sind (Botschaft 2021, S. 34 und S. 63). Regelungen betreffend die Zulassung von führerlosen automatisierten Fahrzeugen auf festgelegten Strecken (z. B. Shuttles) sowie im Bereich der streckenunabhängigen Zulassung von führerlosen automatisierten Fahrzeugen mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit (z. B. Lieferroboter) werden ebenfalls in die Kompetenz des Bundesrats fallen (Botschaft 2021, S. 34 und S. 65).

Eingegrenzt wird die Regelungskompetenz des Bundesrats durch den ebenfalls durch die Revision im Straßenverkehrsgesetz verankerten Grundsatz, dass automatisierte Fahrzeuge die Verkehrsregeln einhalten können müssen und die Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigen dürfen (Botschaft 2021, S. 34, Art. 25e revSVG). Nicht von der Regelungskompetenz eingeschlossen sind außerdem die Zulassungen von automatisierten Fahrzeugen der Stufe 5, also von führerlosen automatisierten Fahrzeugen, welche nicht an eine bestimmte festgelegte Strecke gebunden sind (Botschaft 2021, S. 34). In der Botschaft zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes wird dieser Ausschluss mit der Vermutung begründet, dass automatisierte Fahrzeuge der Stufe 5 bis zum Anfang der 2030er-Jahre höchstens versuchsweise eingesetzt werden könnten (Botschaft 2021, S. 34). Es zeigt sich auch in diesem Punkt deutlich, dass die erwarteten Wirkungen der erwähnten Revision zeitlich beschränkt sind und sich die Legislative der Schwierigkeit einer Regelung in einem sehr dynamischen Rechtsgebiet bewusst ist. Versuche mit automatisierten Fahrzeugen der Stufe 5 können hingegen durchgeführt werden (Botschaft 2021, S. 36 und S. 71).

Regelungen zu führerlosen Fahrzeugen

Für automatisierte Fahrzeuge, die keine Fahrzeugführerin oder keinen Fahrzeugführer mehr benötigen, hält das revidierte SVG fest, dass diese nur auf festgelegten Fahrstrecken zugelassen werden dürfen (Botschaft 2021, S. 56 und S. 64, Art. 25c Abs. 1 revSVG). In erster Linie bezieht sich dies auf die Zulassung der in den beschriebenen Pilotversuchen eingesetzten Shuttlebusse, aber auch die Zulassung anderer solcher Fahrzeuge der Stufe 4 soll ermöglicht werden (Botschaft 2021, S. 56 und S. 64). Die „festgelegte Strecke“ ist von der Zulassungsbehörde im Voraus klar zu bestimmen (Botschaft 2021, S. 64). Es muss sich dabei jedoch nicht um eine einzelne Strecke handeln, vielmehr kann die Zulassung auch mehrere Strecken oder ganze Gebiete umfassen, sofern die Zulassungsbedingungen für alle Streckenabschnitte erfüllt sind (Botschaft 2021, S. 65). Auf diese Weise wird es beispielsweise möglich sein, dass On-Demand-Systeme mit automatisierten Fahrzeugen in den ÖPNV integriert werden können (Botschaft 2021, S. 65).

Die zuständige Behörde muss im Rahmen der Zulassung zudem die weiteren Parameter festlegen, wie beispielsweise die zulässige Höchstgeschwindigkeit oder allfällige Einschränkungen bezüglich der Tageszeiten, zu denen das Fahrzeug verkehren darf (Botschaft 2021, S. 56). Der Botschaft zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes ist zu entnehmen, dass das konkretisierende Verordnungsrecht des Bundesrats insbesondere den Zulassungsverfahren für automatisierte Fahrzeuge ein starkes Gewicht zukommen lassen soll (Botschaft 2021, S. 57). Insbesondere soll dabei auch den Bedürfnissen des Fußgänger- und Fahrradverkehrs ausreichend Rechnung getragen werden (Botschaft 2021, S. 57).

Führerlose automatisierte Fahrzeuge müssen des Weiteren durch eine Person beaufsichtigt werden, der sog. Operatorin bzw. dem sog. Operator (Botschaft 2021, S. 35 und S. 56, Art. 25c Abs. 1 revSVG). Diese Beaufsichtigungsperson kann sich auch außerhalb des Sichtfelds des Fahrzeugs aufhalten (Botschaft 2021, S. 35). Ein führerloses automatisiertes Fahrzeug kann also beispielsweise von einer Betriebszentrale aus beaufsichtigt werden (Botschaft 2021, S. 35 und S. 57). Die Überwachung des führerlosen Fahrzeugs durch die Operatorin oder den Operator hat zudem nicht pausenlos zu sein, vielmehr soll eine Reaktion in Situationen sichergestellt werden, in welchen das automatisierte Fahrzeug der Beaufsichtigungsperson einen Handlungsbedarf signalisiert (Botschaft 2021, S. 57 und S. 64). Sofern die Aufsichtspflichten ausreichend wahrgenommen werden können, kann eine Operatorin oder ein Operator gleichzeitig mehrere automatisierte Fahrzeuge beaufsichtigen (Botschaft 2021, S. 35 und S. 64). Die weiteren Zulassungs- und Verwendungsvoraussetzungen dieser Fahrzeuge sowie die Rechte und Pflichten der Operatorinnen und Operatoren werden durch den Bundesrat festgelegt (Botschaft 2021, S. 35 und S. 64, Art. 25c Abs. 2 revSVG). Der zuständige Kanton legt die Fahrstrecken und allfällige weitere Einsatzbedingungen für solche Fahrzeuge fest (Botschaft 2021, S. 64, Art. 25c Abs. 3 revSVG). Bei kantonsübergreifenden Straßen haben sich die betroffenen Kantone zu verständigen und bei Strecken auf Nationalstraßen hat der für die Zulassung zuständige Kanton das Bundesamt für Straßen (ASTRA) zu benachrichtigen (Botschaft 2021, S. 64, Art. 25c Abs. 3 revSVG).

Eine Ausnahme wird bei „führerlosen Fahrzeugen mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit“ gemacht (Art. 25d revSVG). Damit sind beispielsweise automatisierte Lieferroboter gemeint, mit denen in der Schweiz bereits Versuche durchgeführt wurden (Botschaft 2021, S. 57). Auch kleine automatisierte Transportgefährte für einzelne Personen sind in diesem Zusammenhang denkbar (Botschaft 2021, S. 65). Für diese Art von Fahrzeugen kann der Bundesrat vorsehen, dass sie auch ohne eine Beschränkung auf bestimmte Fahrtstrecken zugelassen werden können (Botschaft 2021, S. 58 und S. 65, Art. 25d Abs. 1 revSVG). Die Operatorin oder der Operator solcher führerlosen Fahrzeuge mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit kann außerdem von bestimmten Pflichten befreit werden (Botschaft 2021, S. 58 und S. 65, Art. 25d Abs. 1 revSVG). Zudem muss der Zulassungskanton die Zustimmung jener Kantone einholen, auf deren Gebiet die Fahrzeuge verwendet werden (Art. 25d Abs. 2 revSVG). Die Botschaft zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes hält jedoch fest, dass der Bundesrat in der Anfangsphase der Umsetzungen der neuen Bestimmungen darauf verzichten möchte, seine Regelungskompetenz in diesem Bereich wahrzunehmen (Botschaft 2021, S. 58 und S. 65). Somit wird die Zulassung von führerlosen Fahrzeugen mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit, die streckenunabhängig unterwegs sind, in der Schweiz wohl nicht in naher Zukunft möglich sein. Grund dafür ist letztlich, dass solche Fahrzeuge nach dem zum Zeitpunkt der Revision absehbaren Entwicklungsstand zu langsam sind für die Straße, sich aber auch nicht reibungslos in den Fußgängerverkehr integrieren lassen (Botschaft 2021, S. 67). Die Zulassung von führerlosen Fahrzeugen mit geringen Dimensionen und niedriger Geschwindigkeit, deren Einsatz auf bestimmte Strecken beschränkt ist, sollte hingegen grundsätzlich möglich sein. Die Bindung an bestimmte Strecken würde den Einsatz solcher Fahrzeuge aber wohl stark einschränken (Botschaft 2021, S. 65). Der Nutzen wäre bei einer Streckenbeschränkung vermutlich sehr überschaubar (man denke beispielsweise an Lieferroboter).

Fahrmodusspeicher

Das Straßenverkehrsgesetz sieht neu vor, dass Fahrzeuge mit Automatisierungssystemen mit einem Fahrmodusspeicher ausgerüstet sein müssen (Botschaft 2021, S. 35 und S. 43, Art. 25e Abs. 2 revSVG). Die Anforderungen an diesen Fahrmodusspeicher werden im revidierten Straßenverkehrsgesetz bereits relativ umfassend geregelt (Botschaft 2021, S. 68 f., Art. 25f revSVG). Zunächst wird durch das revidierte Gesetz festgehalten, dass der Fahrmodusspeicher nicht deaktivierbar sein darf. Art. 25f Abs. 2 revSVG enthält sodann eine Auflistung von Ereignissen, die der Fahrmodusspeicher zwingend aufzeichnen und mit einem Zeitstempel versehen muss. So müssen die Aktivierung und Deaktivierung des Automatisierungssystems des Fahrzeugs, Übernahmeaufforderungen durch das System, das Unterdrücken oder Abschwächen von Eingriffen der Fahrzeugführerin oder des Fahrzeugführers durch das Automatisierungssystem, das Auslösen eines Manövers zur Risikominimierung durch ebendieses sowie das Auftreten von sicherheitsrelevanten technischen Störungen durch den Fahrmodusspeicher aufgezeichnet werden. Im Falle einer Deaktivierung oder Übernahmeaufforderung des

Automatisierungssysteme muss der Fahrmodusspeicher zudem auch die dazu ausschlaggebenden Gründe aufzeichnen. Bei führerlosen Fahrzeugen müssen gemäß Art. 25f Abs. 3 revSVG außerdem die Befehle durch die Operatorin oder den Operator sowie allfällige Unterbrechungen der Kommunikationsverbindung zwischen Fahrzeug und Beaufsichtigungsperson aufgezeichnet werden.

Für die auf dem Fahrmodusspeicher festgehaltenen Daten sieht das revidierte SVG vor, dass die Fahrzeughalterin oder der Fahrzeughalter Zugriff auf diese Daten haben muss und sie ihr oder ihm „in einer einfach lesbaren Form zur Verfügung stehen“ (Art. 25g Abs. 1 revSVG). Auf die während Fahrten von Dritten aufgezeichneten Daten hat die Halterin oder der Halter des Fahrzeugs nur dann ohne Zustimmung der Dritten Zugriff, wenn daran ein berechtigtes Interesse besteht. Dieses Interesse muss in Verbindung zu einem Unfall oder einer Widerhandlung gegen die Straßenverkehrsvorschriften stehen (Botschaft 2021, S. 70, Art. 25g Abs. 1 revSVG). Für Polizei-, Justiz- und Administrativbehörden enthält die SVG-Revision eine gesetzliche Grundlage zum Auslesen und Bearbeiten von auf Fahrmodusspeichern abgelegten Daten, welche mit der Aufklärung von Unfällen oder mit der Beurteilung von Widerhandlungen gegen die Straßenverkehrsvorschriften in Zusammenhang stehen (Botschaft 2021, S. 70, Art. 25g Abs. 3 revSVG).

Versuche mit automatisierten Fahrzeugen

Das Straßenverkehrsgesetz enthält neu auch eine explizite Grundlage für Versuche mit Fahrzeugen mit einem Automatisierungssystem (Botschaft 2021, S. 36 und S. 71, Art. 25h revSVG). Es wird neben der Regelungskompetenz des Bundesrats auch die Möglichkeit geschaffen, Versuche mit automatisierten Fahrzeugen zu ermöglichen, bei denen nicht alle Verkehrsregeln eingehalten werden können und bei denen die Fahrzeuge (noch) nicht alle Zulassungsvoraussetzungen erfüllen (Botschaft 2021, S. 71). Für Versuche wird es keine Einschränkungen in Bezug auf die Art der automatisierten Fahrzeuge geben, Versuche würden somit auch mit Fahrzeugen der Stufe 5 durchgeführt werden können (Botschaft 2021, S. 36 und S. 71). Die Zuständigkeit für die Bewilligung von Pilotversuchen im Bereich des automatisierten Fahrens liegt beim ASTRA (Botschaft 2021, S. 36 und S. 71, Art. 25h Abs. 1 revSVG). Bei diesen Versuchen darf außerdem von den geltenden Vorschriften des Straßenverkehrsrechts abgewichen werden, sofern die Bewilligung des ASTRA dies vorsieht und die Verkehrssicherheit jederzeit gewährleistet werden kann (Botschaft 2021, S. 71, Art. 25h Abs. 2 revSVG). In Bezug auf die Gewährleistung der Verkehrssicherheit werden beispielsweise gewisse Anforderungen an die eingesetzten Begleitpersonen gestellt und es wird ein vorheriger Test des Fahrzeugs auf einem gesperrten Areal vorausgesetzt (Botschaft 2021, S. 71).

Die Erkenntnisse und Berichte zu diesen Versuchen werden vom ASTRA publiziert und das ASTRA erhält Zugang zu allen mit dem Versuch in Zusammenhang stehenden Daten (Botschaft 2021, S. 71, Art. 25h Abs. 3 revSVG). Bei Versuchen mit automatisierten Fahrzeugen, welche einen regionalen Rahmen nicht überschreiten, kann der Entscheid über die Bewilligung dieser Tests im Einzelfall an die betroffenen Kantone

übertragen werden (Botschaft 2021, S. 72, Art. 25h Abs. 4 revSVG). Das ASTRA legt aber auch in diesen Fällen die Rahmenbedingungen für die jeweiligen Versuche fest.

Versuche mit Fahrzeugen, die keine Führerin und keinen Führer benötigen, können vom ASTRA auch dann bewilligt werden, wenn diese Versuche nicht auf bestimmte Fahrstrecken beschränkt sind (Art. 25h Abs. 1 revSVG). Somit sind automatisierte Fahrzeuge der Stufe 5 zumindest im Rahmen von Versuchsfahrten Gegenstand des revidierten Straßenverkehrsgesetzes (Botschaft 2021, S. 36 und S. 71).

Weitere Aspekte der Revision

Weiter enthält das revidierte SVG Regelungsaufträge an den Bundesrat in Bezug auf die Sicherstellung, dass die Verkehrssicherheit aller Straßenbenutzerinnen und Straßenbenutzer durch die neuen Bestimmungen im Bereich der automatisierten Fahrzeuge nicht beeinträchtigt wird, dass die Verkehrsregeln beachtet werden können und dass die Automatisierungssysteme bei der Datenverarbeitung die Richtigkeit und Integrität der Daten gewährleisten können (Botschaft 2021, S. 34 und S. 67).

Durch die Revision wird auch eine explizite gesetzliche Grundlage für Finanzhilfen für neue Technologien im Bereich des automatisierten Fahrens geschaffen (Botschaft 2021, S. 37 und S. 77, Art. 105a revSVG). So können Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie Projekte zur Erprobung neuer technologischer Entwicklungen finanziell unterstützt werden (Botschaft 2021, S. 77). Im Rahmen der bewilligten Kredite zur Förderung neuartiger Lösungen für den Verkehr auf öffentlichen Straßen kann das ASTRA entsprechende Finanzhilfen gewähren. Die Finanzhilfen werden auf Gesuch hin ausgeschüttet und unterstehen verschiedenen Voraussetzungen (Botschaft 2021, S. 78). Zum einen muss die Gesuchstellerin oder der Gesuchsteller eine zielgerichtete Durchführung und eine systematische Auswertung der Arbeiten gewährleisten können. Des Weiteren muss das Projekt im Hinblick auf einen nachhaltigen Verkehr einen positiven Effekt haben (Botschaft 2021, S. 78). Die Finanzhilfen werden außerdem nur für Vorhaben ausgeschüttet, die nicht länger als drei Jahre dauern sollen, und sie belaufen sich auf höchstens 50 % der anrechenbaren Kosten des Projekts (Botschaft 2021, S. 78). Die detaillierten Anforderungen an das Gesuch um finanzielle Unterstützung und die weiteren Vorgaben für die Gewährung dieser Finanzhilfen werden vom Bundesrat in Verordnungstexten geregelt werden (Botschaft 2021, S. 78).

Konkrete Regelungen im Bereich der Vernetzung des Verkehrs und somit auch im Bereich der damit verbundenen Datenbearbeitung sind nicht Gegenstand der beschriebenen Revision des Straßenverkehrsgesetzes (Botschaft 2021, S. 42). Es wird im revidierten SVG lediglich festgehalten, dass die Automatisierungssysteme der Fahrzeuge nur unter Gewährleistung der Richtigkeit und Integrität Daten bearbeiten dürfen (Botschaft 2021, S. 43, Art. 25e Abs. 1 revSVG). Speziell in Bezug auf die Vernetzung zwischen führerlosen Fahrzeugen und der Operatorin bzw. dem Operator enthält das Gesetz jedoch die Bestimmung, dass allfällige Unterbrechungen dieser Aufsichtsverbindung im Fahrmoduspeicher aufgezeichnet werden müssen (Botschaft 2021, S. 68, Art. 25f Abs. 3 revSVG).

6.3.6 Haftungsrechtliche Fragen

Mit den technischen Entwicklungen von automatisierten Fahrzeugen und der damit einhergehenden Veränderung der Mobilität stellen sich diverse haftungsrechtliche Fragen. Für eine Haftung im Zusammenhang mit automatisiertem Fahren kommen insbesondere die Halterin oder der Halter des Fahrzeugs, die Fahrzeugführerin bzw. der Fahrzeugführer oder aber eine Herstellerhaftung (Produkthaftpflicht) in Frage.

Im Zuge der Revision des Straßenverkehrsgesetzes geht der Bundesrat auch auf haftungsrechtliche Fragen ein und hält fest, dass die etablierten Haftungsregelungen bezüglich der Halterin bzw. des Halters von Fahrzeugen „vorläufig“ auch für den Bereich der automatisierten Fahrzeuge sachgerecht seien (Botschaft 2021, S. 40). Gemeint ist damit die in Art. 58 SVG festgehaltene Gefährdungshaftung der Fahrzeughalterin bzw. des Fahrzeughalters, die obligatorische Haftpflichtversicherung sowie der direkte Forderungsanspruch der Geschädigten bzw. des Geschädigten (Botschaft 2021, S. 40). Auch nach der Revision und somit auch im Bereich des automatisierten Fahrens soll grundsätzlich an diesem Modell der Halterhaftung festgehalten werden. Die Schaffung einer Gefahr durch den Betrieb eines Motorfahrzeugs, welche die Halterhaftung begründet, ist aus der Sicht des Bundesrats als Begründung analog auf den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen anzuwenden (Botschaft 2021, S. 40).

Eine Haftung der Fahrzeugführerin bzw. des Fahrzeugführers setzt zunächst voraus, dass diese bzw. diesen ein Verschulden trifft. Durch Automatisierungssysteme können die Fahrzeugführenden von gewissen Aufmerksamkeits- und Beherrschungspflichten befreit werden. Dadurch, dass gewisse Fahraufgaben vom Automatisierungssystem übernommen werden, kann jedoch kein genereller Haftungsausschluss der Fahrzeugführerin bzw. des Fahrzeugführers abgeleitet werden, bestimmte Sorgfaltspflichten sind weiterhin zu beachten (Botschaft 2021, S. 40).

Der Bundesrat geht davon aus, dass mit steigender Automatisierung der Fahrzeuge die Haftung der Fahrzeugführerin bzw. des Fahrzeugführers mehr und mehr an Bedeutung verlieren wird, wohingegen die Herstellerhaftung vermehrt in den Fokus rücken könnte (Botschaft 2021, S. 40). Insbesondere werden die produkthaftpflichtrechtlichen Anforderungen an die Beobachtungspflicht, also an die Pflicht, die von einem Produkt ausgehenden Risiken und Gefahren auch nach dessen Inverkehrbringen zu beobachten, intensiver werden. Grund dafür ist, dass automatisierte Fahrzeuge relativ neue Technologien umfassend, die sich noch in der Entwicklung befinden (Botschaft 2021, S. 41). Im Bereich der Herstellerhaftung hält der Bundesrat in Bezug auf die Schweiz explizit fest, dass die mit den technologischen Entwicklungen verbundenen Besonderheiten durch die Produkthaftpflichtgesetzgebung nicht ausreichend erfasst werden (Botschaft 2021, S. 41). Mit einer Anpassung der Schweizerischen Rechtslage soll jedoch zugewartet werden, bis die Europäische Union ihre entsprechenden Regelungen angepasst hat (Botschaft 2021, S. 41).

Fazit zu Abschn. 6.3

Durch die Revision des Straßenverkehrsgesetzes wird der Bereich des automatisierten Fahrens in der Schweiz erstmals grundlegend einer Regulierung unterworfen. Zentral ist dabei, dass sich die gesetzlichen Bestimmungen auf grundlegende Punkte konzentrieren und somit in erster Linie die Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren in der Schweiz vorgeben. Für die detaillierten Regelungen und konkretisierten Vorgaben wird das Verordnungsrecht und somit der Bundesrat zuständig sein. Durch diese breite Kompetenzdelegation an den Bundesrat und aufgrund der dynamischen Natur dieses Rechtsgebiets wird das Verordnungsrecht im Bereich des automatisierten Fahrens sicherlich häufigen Änderungen unterworfen sein.

Daraus lässt sich in Bezug auf die Planung von Projekten mit automatisierten Fahrzeugen schließen, dass die betreffenden Verordnungen und allfällige Anpassungen ebendieser stets im Blick behalten werden müssen. Etlliche Regulierungsfragen lässt die Revision indes unbeantwortet, weil hier noch kein zwingender Handlungsbedarf gesehen wird. Es kann jedoch mit einer neuerlichen umfassenden Revision des Straßenverkehrsgesetzes für die Zeit nach 2030 gerechnet werden.

Literatur

- Amlacher N, Andréewitch M (2017a) Rechtliche Fragen des autonomen Fahrens – Haftung (Teil II). *jusIT* 2017:209
- Amlacher N, Andréewitch M (2017b) Rechtliche Fragen des autonomen Fahrens – Verkehrsrecht (Teil I). *jusIT* 2017:167
- Amlacher N, Andréewitch M (2018) Rechtliche Fragen des autonomen Fahrens – Datenschutz (Teil III). *jusIT* 2018:19
- Arge ITA-AIT Parlament (2021) Autonomer öffentlicher Verkehr (https://www.parlament.gv.at/ZUSD/FTA/070_autonomer_oepnv.pdf)
- AustriaTech (2021) Automatisierte Mobilität in Österreich. Monitoringbericht 2020
- Beckmann KJ (2020) Automatisierter Verkehr und Einsatz autonomer Fahrzeuge – (mögliche) Folgen für die Raum- und Verkehrsentwicklung. In: Reutter U, Holz-Rau C, Albrecht J, Hülz M (Hrsg) Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels, S 244
- Botschaft des Bundesrats zur Änderung des Straßenverkehrsrechts vom 17. November 2021. BBl 2021:3026 ff.
- Braun M, Gudd C, Rohs M, Seyfferth J, Teichmann J (2020) Autonome Busse im ÖPNV. Innovativ, nachhaltig – aber auch finanzierbar?
- Brenner M (2021) Verfassungsrechtliche Vorgaben für die rechtliche Ausgestaltung des autonomen Fahrens. In: Hermann M, Knauff M (Hrsg) Autonomes Fahren, S 45 ff.
- Bruck E, Soteropoulos A, Stickler A (2018) Technologische Innovationen im Verkehrssystem: Automatisiertes Fahren als Herausforderung für Siedlungsentwicklung und Stadtplanung. In:

- Suitner J, Giffinger R, Plank L (Hrsg) Raumplanung. Jahrbuch des Departments für Raumplanung der TU Wien 2017, S 39
- Bundesgesetz vom 23. Juni 1967 über das Kraftfahrwesen (Kraftfahrgesetz 1967 – KFG. 1967), BGBl I 190/2021
- Bundesgesetz vom 16. Juli 1971, betreffend die Bundesstraßen (Bundesstraßengesetz 1971 – BStG 1971), BGBl I 156/2021
- Bundesgesetz über die Personenbeförderung vom 20. März 2009 (Personenbeförderungsgesetz, PGB), SR 745.1
- Bundesgesetz vom 8. Oktober 1982, mit dem eine Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft errichtet wird, mit dem die Planung und Errichtung von Bundesstraßenteilstrecken übertragen wird und mit dem das Bundesministeriengesetz 1973 geändert wird (ASFINAG-Gesetz), BGBl I 38/2016
- Bundesgesetz über den Führerschein (Führerscheingesetz – FSG), BGBl I 154/2021
- Bundesgesetz über die linienmäßige Beförderung von Personen mit Kraftfahrzeugen (Kraftfahr-liniengesetz – KfIG), BGBl 18/2022
- Bundesgesetz über die Ordnung des öffentlichen Personennah- und Regionalverkehrs (Öffentlicher Personennah- und Regionalverkehrsgesetz 1999 – ÖPNRV-G 1999), BGBl 59/2015
- Bundesgesetz über die Zahl, den Wirkungsbereich und die Einrichtung der Bundesministerien (Bundesministeriengesetz 1986 – BMG), BGBl I 148/2021
- Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957 – EisbG), BGBl I 231/2021
- Bundesgesetz über Seilbahnen (Seilbahngesetz 2003 – SeilbG 2003), BGBl I 139/2020
- Bundesgesetz vom 6. Juli 1960, mit dem Vorschriften über die Straßenpolizei erlassen werden (Straßenverkehrsordnung 1960 – StVO. 1960), BGBl I 154/2021
- Bundesgesetz zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten (Datenschutzgesetz – DSG), BGBl I 148/2021
- Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999, SR 101
- Bundesverfassungsgesetz über die Regelung der finanziellen Beziehungen zwischen dem Bund und den übrigen Gebietskörperschaften (Finanz-Verfassungsgesetz 1948 – F-VG 1948), BGBl I 51/2012
- Bundesverfassungsgesetz (B-VG), BGBl 235/2021
- Bußjäger P (2014) Art. 102 B-VG. In: Kneihls B, Lienbacher G (Hrsg) Rill-Schäffer-Kommentar Bundesverfassungsrecht. Rz 22
- Dauer P (2021) § 1 StVG. In: Hentschel P, König P, Dauer P (Hrsg) Beck'sche Kurz-Kommentare, Straßenverkehrsrecht
- Eisenberger I, Gruber CJ, Huber A, Lachmayer K (2016) Automatisiertes Fahren. Komplexe regulatorische Herausforderungen. ZVR 2016:383
- Ennöckl D, Erlacher E (2017) Verkehrsrecht – Automatisiertes Fahren. RdU 2017:71
- European Data Protection Board (2021) Leitlinien 01/2020 zur Verarbeitung personenbezogener Daten im Zusammenhang mit vernetzten Fahrzeugen und mobilitätsbezogenen Anwendungen. https://edpb.europa.eu/system/files/2021-08/edpb_guidelines_202001_connected_vehicles_v2.0_adopted_de.pdf
- Eustacchio A (2017) Automatisiert zum Recht. Zum Kriterium der Sicherheit und zur Haftung für Assistenzsysteme in selbstfahrenden Kfz (FN 1). ZVR 2017:509
- Forgó N (2018) DSGVO, Dateneigentum und autonomes Fahren: eine Beziehungsgeschichte. ZVR Verkehrsrechtstag 2018. ZVR 2018:454
- Gamper A (2016) Kompetenzgerichtsbarkeit und Kompetenzinterpretation in Österreich. In: Gamper et al (Hrsg) Föderale Kompetenzverteilung in Europa, S 575

- Gatzke S (2021) Gesetz zum autonomen Fahren – Ist die externe Überwachung autonomer Fahrsysteme mit dem Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr vereinbar? NZV 2021:402 ff.
- Geber F (2021) Rechtliche Anforderungen an Software-Updates von vernetzten und automatisierten Pkw. NZV 2021:14 ff.
- Gesetz über die Einhebung einer Dienstgeberabgabe, LGBl 71/2018
- Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren vom 12. Juli 2021, BGBl. I 3108/2021
- Gesetz zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts (PBefG) vom 16. April 2021, BGBl. I 822/2021
- Graul S (2020) Haftung autonomer Fahrzeuge – eine zivilrechtliche Perspektive. ELSA Austria Law Rev 2020:24
- Gruber CJ, Flucher S, Eisenberger I, Sammer G, San Nicolás S (2018) Forschungsprojekt AUTONOM, Analyse, Evaluierung und Anforderungen an innovative Anwendungen von autonomen Fahrzeugen aus verkehrlicher Sicht, Teil 1: Verkehrliche Auswirkungen und verkehrspolitische Aussagen
- Gstöttner S, Lachmayer K (2021) Digitalisierung des Straßenverkehrsrechts im Zusammenhang mit automatisiertem Fahren. ZVR 2021:478
- Harnoncourt M (2016) Haftungsrechtliche Aspekte des autonomen Fahrens. ZVI 2016:546
- Haselbacher A (2020) Rechts überholt? – Zum aktuellen Stand des Rechtsrahmens „Automatisiertes Fahren“. jusIT 2020:127
- Haupt T (2021) Auf dem Weg zum autonomen Fahren. NZV 2021:172 ff.
- Haupt T (2022) Die Verordnung zum Gesetz zum autonomen Fahren. NZV 2022:166 ff.
- Hilgendorf E (2015) Automatisiertes Fahren und das Recht. ZVR 2015:469
- Juschten M, Hössinger R (2017) Verkehrsplanerische Aspekte des autonomen Fahrens. In: Eisenberger I, Lachmayer K, Eisenberger G (Hrsg) Autonomes Fahren und Recht, S 21
- Kaltenegger A (2018) Zehn Grundsätze zur Entwicklung des autonomen Fahrens. ZVR 2018:417
- Kaufmann M (2022) Vorfahrt für Elektromobilität. RAW 2022:ff.
- Kern M, König P (2015) Verkehr: Öffentlicher Verkehr. In: Biaggini G, Häner I, Saxer U, Schott M (Hrsg) Fachhandbuch, Verwaltungsrecht, Expertenwissen für die Praxis, Kapitel 9
- Keusen U (2015) Verkehr: Straßenrecht. In: Fachhandbuch, Verwaltungsrecht, Expertenwissen für die Praxis, Kapitel 10
- Kleemann S, Arzt C (2021) Das Gesetz zum „autonomen“ Fahren in Deutschland. RAW 2021:99 ff.
- Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Mehr Fortschritt wagen. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>
- Koch BA (2021) Produkthaftung für autonome Fahrzeuge. In: Laimer S, Perathoner C (Hrsg) Mobilitäts- und Transportrecht. Bestandsaufnahmen und Zukunftsperspektiven, S 113
- Kunnert G (2017) Autonomes Fahren aus datenschutzrechtlicher Sicht. In: Eisenberger I, Lachmayer K, Eisenberger G (Hrsg) Autonomes Fahren und Recht, S 169
- Lachmayer K (2017a) Verfassungsrechtliche Rahmenbedingungen. In: Eisenberger I, Lachmayer K, Eisenberger G (Hrsg) Autonomes Fahren und Recht, S 71
- Lachmayer K (2017b) Verkehrsrecht: Rechtsstaatliche Defizite der Regelungen zu Testfahrten. In: Eisenberger I, Lachmayer K, Eisenberger G (Hrsg) Autonomes Fahren und Recht, S 147
- Lachmayer K (2017c) Von Testfahrten zum regulären Einsatz automatisierter Fahrzeuge. ZVR 2017:515
- Laws J, Lohmeyer T, Vinke G (2021) § 1e StVG. In: Freyemann H-P, Wellner W (Hrsg) jurisPK-Straßenverkehrsrecht

- Lenz B (2022) Neue Mobilitätskonzepte und städtischer Raum. In: Chibanguza K, Kuß C, Steege H (Hrsg) Künstliche Intelligenz, Recht und Praxis automatisierter und autonomer Systeme, S 267 ff.
- Leonetti E (2021) Autonomes Fahren im ÖPNV – Rechtsrahmen und offene Regulierungsfragen für die Integration autonomer Verkehrsangebote in den ÖPNV. In: Hermann M, Knauff M (Hrsg) Autonomes Fahren, S 79 ff.
- Leonetti E (2022) Automatisiertes Fahren – ÖPNV. In: Chibanguza K, Kuß C, Steege H (Hrsg) Künstliche Intelligenz, Recht und Praxis automatisierter und autonomer Systeme, S 431 ff.
- Lohmann MF (2021) Mobilität von morgen – Die Zulässigkeit automatisierter Fahrzeuge im Ländervergleich. *AJP* 2021:617
- Loi sur les Transports publics genevois du 21 novembre, (1975) (LTPG), H 1:55
- Lutz LS (2021) Neue Vorschriften für das automatisierte und autonome Fahren – ein Überblick. *DAR* 2021:182 ff.
- Reinisch P (2019) Autonomes Fahren aus regulatorischer Sicht. In: Paulus E (Hrsg) *Jahrbuch Regulierungsrecht* 2019, S 197
- Rohregger M (2017) Autonome Fahrzeuge und strafrechtliche Verantwortlichkeit. *JSt* 2017:196
- Romaniewicz-Wenk M, Jirak C (2018) Autonomes Fahren in Österreich – eine Utopie? *ecolex* 2018:466
- Roubik M (2018) Automatisiertes Fahren auf Straßen mit öffentlichem Verkehr – Rechtliche Rahmenbedingungen im Vergleich
- Roubik M (2019) Novellierung der Verordnung über die Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren. Was heute schon alles möglich ist! *ZVR* 2019:154
- Siegel T (2001) Die Verfahrensbeteiligung von Behörden und anderen Trägern öffentlicher Belange
- Siegel T, Himstedt J (2021) Neues Planungsrecht für Straßenbahnen. *DÖV* 2021:137 ff.
- Steege H (2021a) Künstliche Intelligenz und Mobilität. *SVR* 2021:1 ff.
- Steege H (2021b) Gesetzentwurf zum autonomen Fahren (Level 4). *SVR* 2021:128 ff.
- Steege H (2022) Das (vorerst) letzte Puzzlestück – das autonome Fahren nimmt Fahrt auf! *SVR* 2022:161 ff.
- Straßenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG), SR 741.01
- Verkehrsregelnverordnung vom 13. November 1968 (VRV), SR 741.11
- Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über den Bau und den Betrieb von Schleppliften (Schleppliftverordnung 2004 – SchleppVO 2004), BGBl II 364/2013
- Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Straße und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 1191/69 und (EWG) Nr. 1107/70 des Rates ABI 2007 L 315/1
- Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung) (Text von Bedeutung für den EWR) ABI 2016 L 119/1
- Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 78/2009, (EG) Nr. 79/2009 und (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 631/2009, (EU) Nr. 406/2010, (EU) Nr. 672/2010, (EU) Nr. 1003/2010, (EU) Nr. 1005/2010, (EU) Nr. 1008/2010, (EU) Nr. 1009/2010, (EU) Nr. 19/2011,

- (EU) Nr. 109/2011, (EU) Nr. 458/2011, (EU) Nr. 65/2012, (EU) Nr. 130/2012, (EU) Nr. 347/2012, (EU) Nr. 351/2012, (EU) Nr. 1230/2012 und (EU) 2015/166 der Kommission (Text von Bedeutung für den EWR) ABI 2019 L 325/1
- Verordnung des Bundesministers für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren (Automatisiertes Fahren Verordnung – AutomatFahrV), BGBl II 142/2022
- Wagner M (2021a) Das neue Mobilitätsrecht
- Wagner M (2021b) Gesetz zum autonomen Fahren – Streitpunkte im Gesetzgebungsverfahren. SVR 2021: 287 ff.
- Wüstenberg D (2021) Änderung im Personenbeförderungsgesetz. RdTW 2021: 250 ff.
- Zankl C, Rehr K (2018) Digibus 2017. Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich
- Zelenka U (2017) Verkehrsrechtliche Neuerungen. ZVR 2017:498

Prof. Dr. Nadja Braun Binder, MBA ist Professorin für Öffentliches Recht an der Juristischen Fakultät Universität Basel und leitet ebenda die Forschungsstelle für Digitalisierung in Staat und Verwaltung (e-PIAF). 2017 hat sie an der Deutschen Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer habilitiert. Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen u. a. Rechtsfragen rund um die Digitalisierung in Staat und Verwaltung.

Prof. Dr. Peter Bußjäger ist Universitätsprofessor am Institut für Öffentliches Recht, Staats- und Verwaltungslehre der Universität Innsbruck. Er leitet in Innsbruck auch das Institut für Föderalismus. Seit 2009 ist er Mitglied des Staatsgerichtshofes des Fürstentums Liechtenstein und seit 2018 Mitglied der Venedig Kommission des Europarates. In seiner Forschung beschäftigt er sich hauptsächlich mit Föderalismus im Mehrebenensystem, Verwaltungswissenschaft sowie mit Nachhaltigkeitsrecht.

Raoul Fasler (M.Law) ist Doktorand an der Juristischen Fakultät der Universität Basel. 2020 hat er das Studium der Rechtswissenschaft an der Universität Basel mit Vertiefungsrichtung Transnationales Recht abgeschlossen. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen Fragen der Digitalisierung im Migrationsrecht.

Prof. Dr. Annette Guckelberger hat an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen Rechtswissenschaft studiert, und dort über die Vorwirkung von Gesetzen promoviert. Nach Abschluss ihrer Habilitation an der Deutschen Universität für Verwaltungswissenschaften in Speyer ist sie an die Universität des Saarlandes gewechselt, wo sie seit 2006 den Lehrstuhl für Öffentliches Recht innehat. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehört neben dem Klimaschutzrecht die Digitalisierung der Verwaltung. Seit geraumer Zeit befasst sie sich mit den Voraussetzungen, unter denen vollständig automatisierte Verwaltungsentscheidungen ergehen können, oder auch mit den Einsatzmöglichkeiten Künstlicher Intelligenz in der Verwaltung. Das von Deutschland – soweit ersichtlich – weltweit erste Gesetz zum autonomen Fahren statuiert dafür zahlreiche Anforderungen, etwa in Bezug auf die technische Ausrüstung der Fahrzeuge sowie die Einholung einer Betriebserlaubnis.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Handlungsleitfaden zur Integration automatisierten Fahrens

7

Constantin Pitzen, Heiner Monheim, Mario Zweig,
Robert Yen und Christoph Marquardt

Inhaltsverzeichnis

7.1	Wie ist bei der Integration automatisierten Fahrens vorzugehen?	264
7.2	Wie kann eine Mobilitätsstrategie entwickelt werden, die die gezielte Integration automatisierten Fahrens berücksichtigt, bzw. wie lässt sich automatisiertes Fahren in eine bestehende Mobilitätsstrategie integrieren?	270
7.2.1	Priorität 1: Kfz-Verkehr vermeiden	272
7.2.2	Priorität 2: Kfz-Verkehr verlagern	273
7.2.3	Priorität 3: Verbleibenden, notwendigen Kfz-Verkehr verbessern und umweltfreundlich betreiben	274
7.2.4	Prozess zur Mobilitätsstrategie	275

C. Pitzen (✉)
Fahrplangesellschaft, Oelsnitz/Vogtland, Deutschland
E-Mail: cp@fahrplangesellschaft.de

H. Monheim
Kasseedorf OT Stendorf, Deutschland

M. Zweig
Team Homologation, DEKRA Automobil GmbH, Klettwitz, Deutschland
E-Mail: mario.zweig@dekra.com

R. Yen
Rapp Trans (DE) AG, Berlin, Deutschland
E-Mail: robert.yen@rapp-trans.de

C. Marquardt
Mobile Zeiten, Oldenburg, Deutschland
E-Mail: marquardt@mobile-zeiten.net

7.3	Was ist verkehrs- und raumplanerisch bei der Implementierung eines automatisierten ÖPNV zu beachten und welche der vorgestellten Methoden können wie zur Anwendung gebracht werden?	275
7.3.1	Nahverkehrsplanung in den Kommunen	276
7.3.2	Straßeninfrastruktur	278
7.3.3	Flächennutzungsplanung und Regionalplanung	284
7.3.4	Anpassung an Gesetze auf Landesebene	285
7.4	Beispiel Lindau – Die romantische Stadt am Bodensee bindet nicht erschlossene Siedlungsflächen an die großen Buslinien an und reduziert den Pendelverkehr	285
7.4.1	Die Vision von klimaneutraler Mobilität in Lindau	285
7.4.2	Ausgangslage	286
7.4.3	Schlussfolgerungen und allgemeine Lösungsansätze	288
7.4.4	Automatisierter ÖPNV zur Überwindung der letzten Meile	290
7.4.5	Vision der Erschließung Oberreitnau und Unterreitnau mit einem automatisierten ÖPNV	291
7.4.6	Die Rolle des automatisierten ÖPNV für den Pendlerverkehr	293
7.5	Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug oder eine automatisiert fahrende Transportdienstleistung beschafft und implementiert werden?	294
7.5.1	Am Anfang war die Frage	295
7.5.2	Definition der Anforderungen	306
7.5.3	Definition der Eignungs- und Zuschlagskriterien	308
7.6	Gesetzlicher Rahmen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge	310
7.6.1	Zulassung von automatisierten SAE Level 1 bis 3 Fahrzeugen	310
7.6.2	Zulassung von automatisierten SAE Level 4 Fahrzeugen	311
7.6.3	Ausblick	313
7.7	Automatisierter ÖPNV in der betrieblichen Umsetzung aus Sicht der Verkehrsunternehmen	314
7.7.1	Aufbau der Technischen Aufsicht	314
7.7.2	Fahrmeister 4.0	316
7.7.3	Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Straßen	317
7.7.4	Anpassung Akku-Ladung, Fahrzeugpflege und -instandhaltung	317
7.7.5	Anpassung der IT der Verkehrsunternehmen für den Einsatz autonomer Fahrzeuge	318
7.7.6	Planung des ÖPNV	319
7.7.7	Marketing-Kommunikation	320
7.7.8	Kundenbetreuung	320
	Literatur	321

7.1 Wie ist bei der Integration automatisierten Fahrens vorzugehen?

Constantin Pitzen und Heiner Monheim

Die Marktdurchdringung mit automatisierten und künftig auch fahrerlosen Fahrzeugen wird schrittweise erfolgen. Die neuen Fahrzeughersteller und die Digitalwirtschaft, die sich auf diesen Pfad konzentrieren, werden sowohl mit ihrer Angebotspolitik (Modelle,

Preise, Marketing) wie auch ihrer politischen „Begleitmusik“ dafür sorgen, dass weltweit und vor allem in reichen Ländern des sog. „Nordens“ die Regierungen die Märkte für die neuen Produkte öffnen. In Deutschland waren die Novellierung des StVG und die Veröffentlichung der Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften für die Zulassung ‚*autonomer Fahrzeuge*‘ die nötigen Meilensteine. Auf dieser Basis bereiten große und kleinere Hersteller dieser fahrerlosen Fahrzeuge die Produktion vor. Mögliche kommerzielle Nutzer entwickeln ihre Geschäftsmodelle. Diverse Unternehmen bereiten sich auf die Bereitstellung von ergänzenden Produkten und Serviceleistungen vor.

Aber noch ist das alles Zukunftsmusik mit unklaren zeitlichen Perspektiven, zumal die konventionelle Automobilwirtschaft auch noch mit ihren alten Fahrzeugkonzepten der Massenmotorisierung auskömmliche Ergebnisse erzielt. Trotzdem ist es wichtig, sich vorausschauend Gedanken über die mögliche kommunale Betroffenheit von solchen Entwicklungen zu machen, um proaktiv zu klären, welchen Beitrag die neuen Entwicklungen zur Lösung der aktuellen Mobilitäts- und Verkehrs-, Umwelt- und Klimaprobleme der Städte und Regionen leisten können.

Die grundlegenden rahmensetzenden Fragen müssen auf den oberen Ebenen der EU, des Bundes und der Länder geklärt werden. Die Fragen der kommunalen Betroffenheit im Sinne von Chancen und Risiken dagegen sind vor allem durch die kommunale Ebene zu klären.

Die Themen zur Integration automatisierten Fahrens lassen sich grob einteilen in die Gruppen a) „die Rahmenbedingungen“ für die automatisierten Fahrzeuge und b) „der Einsatz automatisierter Fahrzeuge“ in den Kommunen und durch die Kommunen.

Dabei sind Kommunen auf zwei sehr verschiedene Weisen davon betroffen: Einmal stellt sich die Frage, wie sie für ihre eigene Fuhrpark- und Flottenpolitik die neuen Möglichkeiten nutzen und ob sich aus dem Einsatz automatisierter Fahrzeuge neue Konzepte und Spielräume für die eigenen kommunalen Fuhrparke oder die Fuhrparke der von den Kommunen beauftragten Verkehrsunternehmen ergeben.

Zum anderen stellt sich die Frage, wie sich bei verstärkter Marktdurchdringung des privaten und betrieblichen Fahrzeugmarktes die verkehrs- und ortsplanerischen Fragen neu und besser lösen lassen im Vergleich zur derzeitigen, extrem problematischen, stark klimaschädlichen, umweltbelastenden, verkehrsunsicheren und die Verkehrsarten des Umweltverbundes massiv einengenden alltäglichen Verkehrsrealität im Ortsverkehr.

In Kap. 3 wurden die Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit, auf Datenhaltung und -sicherheit, auf das Verkehrsgeschehen, auf den Betrieb von Verkehrsunternehmen, auf die Gesellschaft usw. dargestellt und erläutert. Massive Änderungen ergeben sich für die Disposition der öffentlichen und betrieblichen Fuhrparke mit ihren Flotten und bisher erforderlichen Personalständen für das Fahrzeugführen. Und massive Änderungen ergeben sich auch für den Verlauf der privaten Motorisierung mit Pkw und die Art der Nutzung privater Pkw, die beide in starkem Maße

von den straßenverkehrsrechtlichen und straßenräumlichen Bedingungen für das Fahren und Abstellen von Autos geprägt sind.

Im Bereich der öffentlich und betrieblich disponierten Fahrzeugflotten führt der Entfall des Fahrpersonals zu einer veränderten Wirtschaftlichkeit derjenigen Dienstleistungen, die bisher mit starken Personalkosten belastet sind und daher hohem Rationalisierungsdruck unterliegen.

Welche Änderungen sich im privaten und betrieblichen Motorisierungsverhalten (Fahrzeugbeschaffung) und Verkehrsverhalten (Fahrzeugnutzung) ergeben, hängt sicher auch davon ab, wie sich die Kostenstrukturen der Fahrzeughaltung und Fahrzeugnutzung im Vergleich zu den bisherigen Praktiken einstellen werden. Möglicherweise wegfallende bisheriger Subventionen und neue Kostenstrukturen durch eine verstärkte Fahrraum- und Parkraumbewirtschaftung mittels neuer Road-Pricing-Regularien werden als Push-Maßnahmen zur Förderung der Veränderung Berücksichtigung finden müssen.

Die tatsächlichen Entwicklungen werden einerseits davon abhängen, welche weiteren rahmensetzenden Regularien die EU, der Bund und die Länder für die neuen technologischen und verkehrsplanerischen Optionen festlegen und welche Spielräume darin für eine differenzierte kommunale Detailgestaltung eröffnet werden. Weiterhin gilt dies auch für kommunale Konzepte, die auf dieser Basis dann für die örtliche und regionale Regulierungspraxis (Gebote, Verbote, Standards, Preise, Satzungen) entwickelt werden.

Wichtig ist, dass sich die Kommunen, also die Landkreise, Städte und Gemeinden, auf mögliche Entwicklungen proaktiv vorbereiten. Das ist nicht leicht, weil die meisten Kommunen heute schon mit der alltäglichen Regulierung und Neuordnung ihrer Verkehrsnetze und Strukturen stark belastet sind und nur begrenzte Personalkapazitäten haben, auf der Basis völlig neuer Technologien weitreichende Zukunftskonzepte zu entwickeln.

Umso wichtiger ist es, den Kommunen schon frühzeitig Vorstellungen von den möglichen Entwicklungen mit ihren Chancen und Risiken und Problemlösungspotenzialen zu vermitteln.

Das Kap. 7 bietet einen Handlungsleitfaden für die Kommunen (Politik und Verwaltungen, kommunale Betriebe) für den proaktiven Umgang mit den neuartigen Herausforderungen.

Handelnde Akteure in den Kommunen sind:

- Stadtparlamente, Kreistage, Gemeinderäte, ihre Ausschüsse u. v. m.
- Verwaltungen
- Kommunalen Unternehmen und Einrichtungen
- Betriebe der privaten Wirtschaft
- Private Haushalte mit ihrer Verkehrsmittelausstattung und Verkehrsmittelnutzung
- Interessierte Bürgergruppen und örtliche politische Organisationen, Umwelt- und Verkehrsverbände

Mit den folgenden Handlungsfeldern im Bereich der automatisierten Fahrzeuge werden sich die Kommunen und die Regionen befassen müssen:

1. *Automatisierte Fahrzeuge, die durch die Kommune angeschafft werden*, wie z. B. Fahrzeuge für den ÖPNV, Straßenreinigung, Botendienste, Sicherheits- und Ordnungsdienste, Straßenzustandsüberwachung, Pflege von Straßen und Grünanlagen. Die Zahl solcher neuen Fahrzeuge ist mengenmäßig begrenzt und ihre Nutzung unterliegt in der Regel internen Wirtschaftlichkeitsreglungen, bei denen einerseits die Anschaffungskosten nach Effizienzkriterien bewertet werden, andererseits die Personalkosten bei der Nutzung eine große Rolle spielen. In beiden Bereichen sind Effizienzgewinne und Kosteneinsparungen angesichts meist angespannter Haushaltslage hochwillkommen. Bislang wurden diese Adressaten oft auch durch spezielle Förderprogramme angesprochen, um staatlich gewünschte Fahrzeuginnovationen in einer frühen Marktphase zu fördern
2. *Automatisierte Fahrzeuge, die durch die Anbieter der Sharing Economy, insbesondere Car-Sharing und Ride-Sharing, angeschafft werden*. Die Zahl solcher Fahrzeuge ist in der Regel begrenzt, weil entsprechende Anbieter bislang regional selektiv mit Konzentration auf Großstädte und Hochschulstädte operieren. Allerdings kann durch die neuen Möglichkeiten des automatisierten Fahrens und Erwartungen an eine verstärkte Nachfrage durch Privathaushalte mit marginaler Autonutzung die Angebotsphilosophie um flächendeckende Angebotsstrukturen erweitert werden, insbesondere wenn der öffentliche Verkehr weit größere Marktanteile als bisher erringen kann.
3. *Automatisierte Fahrzeuge, die durch private Betriebe für deren Transportbedürfnisse in der Mitarbeitendenmobilität und im Güter- und Warentransport angeschafft werden*. Auch hier ist die Zahl solcher neuen Fahrzeuge mengenmäßig meist begrenzt und ihre Nutzung unterliegt in der Regel internen Wirtschaftlichkeitsreglungen, bei denen einerseits die Anschaffungskosten nach Effizienzkriterien bewertet werden, andererseits die Personalkosten bei der Nutzung der Fahrzeuge eine große Rolle spielen. In beiden Bereichen sind Effizienzgewinne und Kosteneinsparungen ein wesentliches Innovationsmotiv.
4. *Automatisierte Fahrzeuge, die durch private Haushalte beschafft und genutzt werden*. Hier kann sich je nach Preispolitik der Hersteller und nach ordnungspolitischer Priorisierung und fiskalischer Förderung dieser Fahrzeugtypen ein massenhafter Einsatz ergeben. Wie groß die Menge der dann zugelassenen Pkw sein wird, hängt neben der Frage des Anschaffungspreises von den Anschaffungsregularien (z. B. Anschaffung nur bei Nachweis eines Stellplatzes außerhalb des öffentlichen Raumes) und den Abstellregularien (z. B. hohe marktwirtschaftlich eingestellte Abstellgebühren im öffentlichen Raum) ab. Es gibt insoweit gute Gründe für die Hoffnung auf mögliche Effizienzgewinne der neuen Fahrzeuge und ihrer Nutzung wegen erhöhter Anschaffungs- und Nutzungswiderstände. Jedenfalls ist es unwahrscheinlich, dass die bisherigen, meist noch fossilen und erst in geringem Maße elektrischen privaten Fahrzeugflotten 1:1 durch Fahrzeuge der automatisierten Fahrzeuggeneration

ersetzt werden. Wahrscheinlich ist beim schrittweisen Ersatz konventioneller privater Fahrzeugflotten durch automatisierte Fahrzeuge eine deutliche Verringerung der Gesamtzahl von Pkw und der Nutzung dieser automatisierten Fahrzeuge. Der private Einsatz automatisierter SAE Level 5 Fahrzeuge als Familienauto wird jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach noch deutlich mehr als zehn Jahre dauern (siehe Abschn. 1.1).

5. *Letztlich hängt die weitere Entwicklung maßgeblich vom staatlichen (EU, Bund, Länder bzw. Bund und Kantone) Regulierungsrahmen des Verkehrssektors ab: Welche Zulassungsvoraussetzungen für Kfz werden definiert? Welche Push-Maßnahmen (z. B. Road Pricing, Reduzierung des Straßenraums für den stehenden Verkehr usw.) sollen eingeführt werden? Welche Tempolimits werden eingeführt? Welche Art der Parkraumbewirtschaftung wird ermöglicht? Welche klimapolitischen Minderungsziele werden vorgegeben? Welche Mengenbeschränkungen werden aus solchen Minderungszielen abgeleitet? Welche Maßnahmen zur Kapazitätsbeschränkung und zum Netzzrückbau oder aber zum Netzausbau werden im klassifizierten Straßennetz festgelegt? Welche Ausbau- und Neubaumaßnahmen werden umgekehrt im Schienennetz festgelegt (BVWP)?*

Vor diesem rahmensetzenden Hintergrund stellt sich dann die Frage, wie die Kommunen selbst im Rahmen ihrer legalen Kompetenzen und ihrer fiskalischen Möglichkeiten eigene Gestaltungsspielräume nutzen, die Optionen des automatisierten Fahrens für eine ortsverträgliche Verkehrsentwicklung zu nutzen – durch Erlass entsprechender kommunaler Satzungen, Entwicklung und Umsetzung eigener Konzepte und Berücksichtigung der neuen Optionen in der alltäglichen Planungs-, Bau- und Regulierungspraxis.

Besonders früh sind die Kommunen als Aufgabenträger und vielfach auch Inhaber kommunaler Verkehrsbetriebe gefordert, die Potenziale des automatisierten Fahrens für die Weiterentwicklung der ÖPNV-Angebote zu nutzen und die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des kommunalen ÖPNV durch flankierende straßenplanerische und straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zu fördern (z. B. mengenmäßige Beschränkung der Einfahrt in Wohnquartiere für bestimmte Straßenraumnutzungen, Beschränkung der Personenverkehrsdienste durch Festlegungen im Nahverkehrsplan). Empfehlungen für diesen Regulierungsrahmen durch Planung und kommunale Festlegungen werden in Abschn. 7.3 erläutert.

Gefordert sind die Kommunen auch für die Bereitstellung der Infrastruktur für automatisierte Fahrzeuge, wie z. B. stets aktualisierte Kartografie, die Grundlage für die hochauflösenden dreidimensionalen digitalen Karten der Fahrzeuge für die Ortung ist, Infrastruktur für den Austausch der Verkehrsinformationen zwischen den Fahrzeugen, Verkehrsüberwachung und u. U. auch Reservierung spezieller Fahrspuren für automatisierte Fahrzeuge (platz- und kapazitätsoptimierte Straßenraumnutzung).

Abhängig von der Ermächtigung durch die Rahmensetzungen von EU, Bund und Ländern sind die Kommunen auch gefordert bzgl. der Transformation der bis-

her auf analogen Betrieb ausgelegten Regularien der StVO in die digitale Praxis. Das bedeutet zusätzlich zu den Kfz-verkehrsbezogenen Verkehrszeichen die schrittweise Implementation digitaler Lenkungselemente in der Straßeninfrastruktur bzw. in den digitalen Karten.

Unklar ist angesichts der noch sehr spekulativen Debatten, wie die vermehrte Zulassung automatisierter und künftig auch fahrerloser Fahrzeuge den Verkehrsmarkt verändert (mehr oder weniger Autoverkehr nach der Zahl der zugelassenen Kfz und der Häufigkeit und Fahrleistung ihrer Nutzung) und welche Auswirkungen solche Änderungen auf die Standort- und Baupolitik der Kommunen und Investoren und somit auf die Flächennutzung sowie Stadt- und Regionalentwicklung haben werden.

Die Art der Betroffenheit der Kommunen hängt nicht nur von der technologischen Entwicklung der Fahrzeuge (Angebotsverhalten der Fahrzeugindustrie und Digitalwirtschaft) ab, sondern von den weitergehenden staatlichen Rahmenseetzungen für die kommunale Verkehrsentwicklung, beispielsweise im Bereich des Road Pricing oder der Tempolimits oder auch der Umwelt- und Klimagesetzgebung mit darin festgelegten Begrenzungsmechanismen beim Überschreiten von Grenz- und Alarmwerten. Die Kommunen sollten vor dem Hintergrund der bei allen regionalen Unterschieden bislang nirgendwo befriedigend gelösten kommunalen Verkehrsprobleme jedenfalls rechtzeitig ihre Bedürfnisse und Erwartungen an den Gesetzgeber und an den Initiator und Bereitsteller von Förderprogrammen artikulieren, damit sie die neuen Chancen des automatisierten Fahrens auch gut nutzen können. Dies gilt insbesondere für die folgenden Herausforderungen kommunaler Verkehrsentwicklungsplanung:

- Es wird zu verhindern sein, dass die Menge Pkw-ähnlicher Fahrzeuge kritische Grenzen der Umwelt-, Klima- und Ortsverträglichkeit übersteigt, weil sonst die Ziele der Verkehrswende konterkariert werden. Wenn noch mehr Menschen statt in Straßenbahnen, U-Bahnen, Bussen und Zügen vermehrt in Pkw-ähnlichen Fahrzeugen fahren, steigen hierdurch die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen und die Flächenkonkurrenzen mit dem Umweltverbund und den Grünansprüchen im öffentlichen Raum. Um das zu verhindern, werden die Kommunen den ÖPNV unter Nutzung der neuen Möglichkeiten weiter ausbauen müssen und gleichzeitig im Kontext der Push-and-Pull-Strategie dem Autoverkehr beim Fahren und Parken klare Grenzen setzen müssen und ihn mit verursachergerechten Preisen belegen müssen. Die Kommunen werden dafür sorgen müssen, dass der monofunktionale Verkehrsraum für Fahren und Abstellen von Autos auf ein für Fuß- und Radverkehr, für Aufenthalt und Straßengrün verträgliches Maß begrenzt wird. In Abschn. 7.2 werden mögliche Strategien aufgezeigt.
- Automatisierte Fahrzeuge (ohne Fahrer) senken die Kosten von mobilen Dienstleistungen, wie z. B. Paketdiensten, Botendiensten, Sicherheitsdiensten. Und sie senken die Betriebskosten des ÖPNV. Eine exzessive Zunahme von Dienstleistungsfahrten mit Kfz zu Lasten der Lebensqualität in Wohnquartieren muss verhindert werden durch logistische Bündelung entsprechender Fahrten. Soweit dabei Klein-

roboter zum Einsatz kommen, muss verhindert werden, dass sie die Bewegungs- und Aufenthaltsflächen des Fußverkehrs einschränken. In Abschn. 7.3 werden mögliche Strategien gegen solche Fehlentwicklungen erläutert.

- Automatisierte Fahrzeuge (ohne Fahrer) im ÖPNV erlauben eine Differenzierung der ÖPNV-Angebote nach den Fahrzeugformaten und Betriebsformen. Sie ermöglichen eine Angebotserweiterung und räumliche und zeitliche Verdichtung der Angebote in Räumen und Zeiten mit bislang unzureichendem ÖPNV-Angebot und erfüllen damit die Voraussetzungen für eine stärkere Beschränkung der Zahl und Nutzung automatisierter Pkw.
- Automatisierte Fahrzeuge (ohne Fahrer) der Share Economy (Car-Sharing, Ride-Sharing) erlauben einen Abbau der bisherigen Ineffizienzen massenhafter Auto-nutzung durch Verlagerung des MIV auf diese Dienste. Sie fördern eine effizientere Nutzung der Fahrzeuge mit höherem Besetzungsgrad (Ride-Sharing) und damit besserer Ausnutzung der fahrenden Fahrzeuge und Reduzierung der ungenutzten Standzeiten. Diese Angebote erlauben damit eine Reduzierung des privaten und betrieblichen Pkw-Besitzes. Eine Entlastung stark überparkter Quartiere wird dadurch möglich.
- Verkehrsentwicklung ist künftig immer mehr interkommunal zu regulieren, weil die Verkehrsverflechtungen immer komplexer geworden sind und Gemeinde- und Kreis-grenzen zwar administrativ noch relevant sind, im privaten und betrieblichen Ver-kehrsverhalten aber kaum noch eine Rolle spielen. Bei allen verkehrslenkenden und regulierenden Maßnahmen jenseits des Quartiersmaßstabs ist daher eine gute inter-kommunale Abstimmung erforderlich, die auf konsistenten Konzepten aufbaut und verhindert, dass die lokalen Preise und Tarife und die überörtlichen Netzplanungen kontraproduktiv im Sinne einer interkommunalen Konkurrenz festgesetzt werden. CO₂-Emissionen und Luftschadstoffe machen ebenso wenig an administrativen Grenzen Halt. Daher besteht ein großer Bedarf an interkommunaler Abstimmung, der bislang noch nicht ausreichend beachtet wird, z. B. bei der Planung von kreisweisen Busnetzen oder durchgängigen SPNV-Angeboten.

7.2 Wie kann eine Mobilitätsstrategie entwickelt werden, die die gezielte Integration automatisierten Fahrens berücksichtigt, bzw. wie lässt sich automatisiertes Fahren in eine bestehende Mobilitätsstrategie integrieren?

Constantin Pitzen und Heiner Monheim

Das Ziel der Verkehrswende zur Reduzierung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen und zur Lösung der Mengenprobleme des fahrenden und stehenden Motorisierten Individualverkehrs (MIV) erfordert eine Mobilitätsstrategie, die die Prioritäten 1) Kfz-Verkehr vermeiden, 2) Kfz-Verkehr auf CO₂-minimierte und flächensparsame Ver-

kehrsmittel verlagern und 3) Kfz-verkehrsbedingte Emissionen durch Technologien verringern adressiert. Insbesondere die 1. genannten Priorität hat Einfluss auf die verschiedensten Politikbereiche und bietet somit viel gesellschaftlichen Sprengstoff.

Die Größe einer Gemeinde (nach Einwohnern, Arbeitsplätzen und Fläche) bestimmt den Anteil des innergemeindlichen Binnenverkehrs. Sie wachsen mit der Gemeindegröße. Im kommunalen Interesse liegt zunächst vor allem die Klimaneutralität des Binnenverkehrs wegen der unmittelbaren Betroffenheit und Zuständigkeit. Doch auch auf den Durchgangsverkehr und den Zielverkehr haben die Kommunen unmittelbaren Einfluss, indem entsprechende Maßnahmen der Gestaltung der Straßennetze (insbesondere Länge und Dimensionierung sowie Temporegulierung der innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen) und Nutzungsbeschränkungen, z. B. Durchfahrt- oder Einfahrbeschränkungen, durch- und umgesetzt werden. Das generelle Kfz-Verkehrsaufkommen reguliert man am besten durch eine sinnvolle Parkraumpolitik (Stellplatzschlüssel im Neu- und Umbau, systematische Parkraumbewirtschaftung) und für den Fall einer dringend erforderlichen Änderung der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) durch eine restriktive Fahrzeugzulassung, die an den Stellplatznachweis außerhalb des öffentlichen Raumes geknüpft ist („japanische Großstadtregelung“).

Der Spielraum für eine restriktive Mengenpolitik wächst in dem Maße, in dem die Alternativen des Umweltverbundes einschließlich des Paratransit im Bereich der Share Economy (Car-Sharing, Ride-Sharing und Bike-Sharing) kapazitätserweiternd und attraktivitätsfördernd ausgebaut werden. Dafür bieten automatisierte und fahrerlose Fahrzeuge im ÖPNV und im Paratransit große Potenziale.

Und der Spielraum wächst durch eine systematische und flächendeckende verursachergerechte Bepreisung des Kfz-Verkehrs mittels einer intelligenten Fahr- und Abstellmaut.

Alle diese Impulse werden auch Auswirkungen auf das Standortverhalten von Investoren und Haushalten haben, bei der Betriebs- und Wohnstandortwahl, aber auch bei der Wahl der Einkaufs- und Freizeitziele. Tendenziell werden sich immer mehr distanzminimierende und damit auch kostenminimierende Verhaltensweisen durchsetzen, entfernungsintensive Praktiken dagegen werden sehr viel selektiver wahrgenommen.

Insoweit werden automatisierte fahrerlose Fahrzeuge den Verkehrsmarkt grundlegend verändern. Darauf werden mittel- und langfristig auch Raum- und Siedlungsstrukturen reagieren. Alle Impulse laufen auf eine Verringerung des privaten und betrieblichen Fahrzeugbestandes und eine Verringerung der privaten und betrieblichen Fahrleistungen hinaus, es werden sich dann nach Effizienz- und Notwendigkeitskriterien selektierte Verhaltensroutinen einstellen. Der gesellschaftliche Konsens über diesen Entwicklungspfad wird in dem Maße wachsen, in dem einerseits die Dringlichkeit einer klimapolitisch motivierten Verkehrswende offenkundiger wird, andererseits die neuen Qualitätsgewinne im Bereich der Ortsbilder, Straßenräume, Wohnumfelder, Kaufumfelder erlebbar werden und die neuen Freiheitsspielräume für die Aktivmobilität und den verbleibenden notwendigen Kfz-Verkehr spürbar werden („raus aus dem Stau“, Just-in-Time-Mobilität) und angemessen kommuniziert werden. Die nachfolgenden Strategien werden daher die

Ziele des Klimawandels unter Berücksichtigung der automatisierten fahrerlosen Fahrzeuge beantworten.

7.2.1 Priorität 1: Kfz-Verkehr vermeiden

Zur Vermeidung von Verkehr braucht es kurze Wege, die zu Fuß, per Fahrrad oder auch mit dem feinerschließenden ÖPNV erledigt werden können. Nach dem Vorbild der 15-min-Stadt in Paris haben die Kommunen die Möglichkeit, durch ein Bündel von Maßnahmen Kfz-Verkehr und lange Fahrdistanzen zu vermeiden.

1. *Dezentrale wohnortnahe Strukturen* zur Versorgung der Menschen mit Waren des täglichen Bedarfs, Förderung von Nachbarschaftsläden, Restriktion des großflächigen und suburbanen Einzelhandels durch Bodenversiegelungsabgaben, kostenpflichtige Parkraumbewirtschaftung und Pflanzgebote sowie eine ÖPNV-Erschließungspflicht solcher suburbanen Standorte
2. *Mehr kostengünstige Wohnangebote durch Nutzung entbehrlicher Kfz-Verkehrsflächen* (z. B. Großparkplätze, überdimensionierte Fahrbahnen und Kreuzungen, Umnutzung von entbehrlichen Parkhäusern) als Wohnbauland, worauf dann wegen des ohnehin schon öffentlichen Besitzes der Flächen bevorzugt öffentlicher Wohnungsbau errichtet wird
3. *Höhere Bau- und Nutzungsdichten* durch Nachverdichtung mit Gebäudeaufstockung suburbaner gewerblicher Flachbauten und mehr Mischung von Arbeiten, Freizeit und Wohnen in monofunktionalen Strukturen
4. *Höhere Aufenthaltsqualität auf Straßen und Plätzen* durch Redimensionierung monofunktionaler Kfz-Verkehrsflächen, mehr Platz für Bäume und Wasser
5. *Bessere, zusammenhängende Netze für den Fuß- und Fahrradverkehr* (Flaniermeilen, Fahrradstraßen und -zonen) und ausreichende Abstelloptionen für die immer wertvolleren Fahrräder
6. *Etablierung eines feinerschließenden ÖPNV mit Midi- und Mini-Fahrzeugformaten* und deutlich mehr Haltestellen oder Halt auf digitalen oder analogen „Zuruf“
7. *Etablierung dezentraler Paratransitangebote* durch ein System von Mobilstationen mit Car- und Bike-Sharing-Angeboten und Ride-Sharing-Treffpunkten
8. *Ausbau intermodaler Kombinationsangebote* an Haltestellen des ÖPNV, SPNV und SPFV (Bike & Ride, Radstationen, Leihradstationen) und Weiterentwicklung des Fahrzeugdesigns für größere Plattformflächen, mehr und breitere Türen und barrierefreie Niederflurtechnik
9. *Vereinheitlichung der Tarifstrukturen* durch attraktive bundesweite Generalabonnements nach dem Vorbild des Schweizer Generalabonnements, des Klimatickets in Österreich oder der 9-€-Tickets, aber mit Erweiterung um den SPFV oder durch Regionalabonnements (z. B. Bodenseeregion)

Die Einbettung automatisierter Fahrzeuge und eines intelligenten Verkehrssystemmanagements in eine Verkehrswendestrategie bietet die Chance für eine deutliche Minimierung der Kfz-Verkehrsvolumina nach der Zahl der zugelassenen Fahrzeuge, der Menge der damit erbrachten Verkehrsleistung und einer starken Steigerung der quantitativen und qualitativen Bedeutung des Umweltverbundes mit erheblichen Sekundäreffekten für die Raum- und Siedlungsentwicklung.

Es wird Aufgabe der Kommunen sein, durch geeignete Instrumente diese Prozesse mit geeigneten verkehrsorganisatorischen und planerischen Maßnahmen zu flankieren. Beschrieben werden die Maßnahmen in Abschn. 7.3.

Dabei wird entscheidend sein, welchen rechtlichen Spielraum die Kommunen für Road Pricing, für das Zulassen, Fahren und Abstellen von Kfz im öffentlichen Raum erhalten, als Regulativ gegen ein zusätzliches Verkehrsaufkommen mit automatisierten Kfz.

7.2.2 Priorität 2: Kfz-Verkehr verlagern

Kfz-Verkehr, der trotz der vorgenannten Maßnahmen nicht vermieden werden kann, wird in einer künftigen Mobilitätsstrategie möglichst auf klimaschonende Verkehrsarten zu verlagern sein. Die Kommunen können die Verkehrsverlagerung durch verschiedene Anreize unterstützen:

1. *Reduzierung des öffentlich zugänglichen Parkraums und der bauordnungsrechtlich geforderten Stellkapazitäten* durch Anpassung der Stellplatzsetzungen (Begrenzung der Stellplätze bei Neubau und Erweiterung), Umnutzung von Parkstreifen zu Fußgänger- und Radverkehrsflächen sowie zur Schaffung von Grünzonen und Wasserflächen (Alleen) und zur Verbesserung des Stadtklimas, Umnutzung von öffentlichen Parkplätzen und überdimensionierten monofunktionalen Kfz-Verkehrsflächen (mehrspurige Straßen und Kreuzungen) zu potenziellem Wohnbauland.
2. *Verknappung und Verteuerung des öffentlichen Parkraums durch systematische Parkraumbewirtschaftung und parallele Erweiterung des feinerschließenden ÖPNV-Angebots* und der zunehmenden Verbreitung automatisierter und künftig fahrerloser Fahrzeuge für Taxi- und Carsharing-Dienste wird dazu führen, dass es zur verstärkten Nutzung des ÖPNV und des Langsamverkehrs kommt. Diese Entwicklung kann durch die Kommunen gestärkt werden.
3. *Verbesserung der Mobilität mit Bahn und Bus* durch einerseits deutlich einfachere und attraktivere Tarife (bundesweites Generalabonnements, s. o.) und räumliche und zeitliche Erweiterung und Verdichtung der Linien- und Taktverkehrsdichten. Der Kostenfaktor Fahrpersonal entfällt zu einem großen Teil (es entstehen dafür neue, aber geringere Personalkosten für die Technische Aufsicht) und dadurch wird die bisherige Scheinrationalität großer ÖPNV-Fahrzeuge und reiner Korridorsysteme obsolet. Es werden vielmehr abseits der großen Achsen insbesondere in großen Städten mittlere und kleine Fahrzeugformate (Midi und Mini) eingesetzt (Dorfbus, Quartiersbus ...).

4. *Schaffen attraktiver Radinfrastruktur, durchgängig, attraktiv, schnell ...* (separate Radverkehrsinfrastruktur ist dann viel weniger nötig, weil überall digital gesicherte friedliche Koexistenz etabliert wird) Schaffen attraktiver Fußwegeninfrastruktur, durchgängig, attraktiv, ohne Umwege und sicher. Für beide Verkehrsarten gilt eine digitale Priorisierung im öffentlichen Raum.
5. Das bisherige Tarifchaos der vielen kleinteiligen Verkehrsverbände wird durch ein *bundeseinheitliches Generalabonnement* (s. o.) ersetzt, das in zwei Stufen (nur Nahverkehr oder Nahverkehr plus Fernverkehr) angeboten wird und angesichts der gleichzeitigen Preissteigerung im fossilen und postfossilen Autoverkehr einen sehr hohen Marktanteil erobert.

Die Kommunen haben also schon jetzt einige Möglichkeiten, Anreize zur Verlagerung des Verkehrs zu setzen. Wenn die rechtlichen Spielräume für ein systematisches Road Pricing und eine intelligente digitale Verkehrssteuerung erweitert werden, wächst der Handlungsspielraum der Kommunen.

7.2.3 Priorität 3: Verbleibenden, notwendigen Kfz-Verkehr verbessern und umweltfreundlich betreiben

Jeder Kfz-Verkehr verursacht Umweltbelastungen und beansprucht Platz. Die Umstellung auf elektrische Antriebe kann zwar die CO₂-Emissionen und die Schadstoffbelastung in den Städten senken, es bleiben jedoch die „*grauen Emissionen*“ der Produktion und der Flächenverbrauch der Verkehrswege.

Grundsätzlich wird der Kfz-Verkehr teurer werden. Kostentreiber sind primär Investitionen zur Speicherung der elektrischen Energie, wie Batterie oder Brennstoffzellen und Wasserstofftanks. Und die Investitionen in die digitale Aufrüstung der Straßen müssen ebenfalls fahrleistungsabhängig umgelegt werden.

Dennoch wird es den MIV auch in Zukunft benötigen. Hier spielt selbst im Falle eines elektrischen Antriebs die Auslastung der Fahrzeuge eine wesentliche Rolle. Je mehr Personen-Kilometer ein Auto leistet, um so besser ist dessen CO₂-Fußabdruck. Stationäre Sharing-Angebote mit Fahrzeugen unterschiedlicher Größe und Funktion (z. B. Autos für komfortable Fahrten auf langen Strecken, Autos für den Transport, kleinere Stadtfahrzeuge usw.) können eine attraktive und kosteneffiziente Alternative für den privaten Pkw-Besitz darstellen. Durch die digitale Buchung und entsprechende Tarifmodelle des Sharings kann die Verbindlichkeit hinsichtlich des Zeitpunkts des Nutzungsbegins und der Rückgabe gesteuert werden. Außerdem können durch die über die Zeit gewonnenen Daten die Sharing-Angebote hinsichtlich der Zusammensetzung des Fuhrparks, der Tarifgestaltung und des Nutzermanagements stetig optimiert und verbessert werden.

Autofahren mit dem privaten Pkw muss jedoch – ausgenommen für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen – deutlich teurer und die tatsächlichen externen Kosten

(z. B. CO₂- und Schadstoffemissionen, Kosten des zur Verfügung gestellten Raum des stehenden und fahrenden Verkehrs usw.) mitberücksichtigt werden.

7.2.4 Prozess zur Mobilitätsstrategie

Die Strategien der Priorität 1 bis 3 erfordern Beschlüsse und Verwaltungshandeln in den verschiedensten Bereichen des kommunalen und regionalen Handelns. Die langfristige Durchsetzung solcher grundlegenden Änderungen erfordert zudem eine intensive Begründung und eine vorbereitende Bürgerbeteiligung.

Dazu gehört eine einerseits generelle und andererseits auch auf die lokalen und regionalen Bedingungen abgestellte Problemanalyse der bisherigen Fehlentwicklungen und ihrer aktuellen Zuspitzungen im Bereich der Klimakrise. Je bildhafter die Problemanalyse auch auf die alltäglichen Probleme vor Ort eingeht, desto besser mit Blick auf die Überzeugungskraft gegenüber einem von Grund auf skeptischen Publikum. Optimal sind mehrdimensionale Problemkarten und der empirische Nachweis der permanenten Überschreitung verbindlicher Grenz- und Alarmwerte.

In der Regel werden dann die stark belasteten innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen als Problemzonen herauskommen (City Ring, Radiale, Stadtautobahnen, Durchzugsstraßen usw.). Entscheidend wird es sein, aufzuzeigen, welche Problemlösungsbeiträge automatisiertes Fahren im Kontext der Push-and-Pull-Strategie eröffnet.

Die für Bürgerbeteiligungsprozesse bestgeeignete illustrierte Darstellung bietet immer noch die Publikation des damaligen BMBau von 1986 „Stadtverkehr im Wandel“, die mit plakativen Bildern und Texten die Problemlagen beschreibt. Bei den Lösungen bleibt sie dann allerdings auf dem Stand von 1986 stehen und sollte durch Darstellung der neuen Optionen ergänzt werden. Gut geeignet sind dafür auch die diversen Publikationen des UBA und der Agora Verkehrswende zu Stadtverkehrsthemen.

7.3 Was ist verkehrs- und raumplanerisch bei der Implementierung eines automatisierten ÖPNV zu beachten und welche der vorgestellten Methoden können wie zur Anwendung gebracht werden?

Heiner Monheim und Constantin Pitzen

Die automatisierten fahrerlosen Fahrzeuge haben das Potenzial, die Stadt und das Land zu verändern, und sie haben das Potenzial, die in Kap. 3 beschriebenen potenziellen Fehlentwicklungen zu vermeiden. Dafür werden nachfolgend Handlungsempfehlungen beschrieben, die von den Kommunen dann umgesetzt werden können, wenn die EU-, bundes- und landesrechtlichen Ermächtigungen gegeben sind.

7.3.1 Nahverkehrsplanung in den Kommunen

Das im Jahr 2021 novellierte Personenbeförderungsgesetz (PBefG) sieht erstmals Regelungen für bedarfsgesteuerte On-Demand-Verkehrsangebote vor. Die rechtliche Grauzone ist seither überwunden, nachdem über 40 Jahre lang Verkehrsangebote unter Namen wie „Rufbus“, „Anruf-Sammel-Taxi“, „Alita“, „AnrufBus“ oder „Flexibus“ auf Basis von zeitlich begrenzten Experimentierklauseln oder durch Dehnung von Rechtsgrundlagen agierten. Das novellierte PBefG sieht zwei Arten von On-Demand-Verkehrsangeboten vor:

- **Linienbedarfsverkehr (§ 44):** Hierbei handelt es sich um räumlich und zeitlich flexible Verkehrsangebote in Regie des ÖPNV. Die Verkehrsangebote werden im Nahverkehrsplan festgelegt und sind in den ÖPNV integriert. Unternehmen wie Clevershuttle, ioki oder door2door bieten die Durchführung dieser Verkehrsart im Auftrag der meist kommunalen Aufgabenträger oder auch kommunalen Verkehrsunternehmen an.
- **Gebündelter Bedarfsverkehr (§ 50):** Diese Verkehrsangebote sind marktinitiiert und werden ohne öffentlichen Auftrag von Unternehmen wie Uber, Lyft oder Moya angeboten. Sie sind nicht in den ÖPNV integriert und müssen ohne öffentliche Beauftragung oder Zuschüsse wirtschaften. Ihre Entwicklung hängt aber auch maßgeblich davon ab, wie das Betriebskonzept angeboten wird, also als Free-Floating-System ohne Stationen oder als stationsbasiertes System mit zahlreichen dezentralen Zugangsstellen.

Mit dem Nahverkehrsplan haben die Landkreise, kreisfreien Städte und andere Aufgabenträger ein Instrument, um für den ÖPNV Ziele, Standards sowie Rahmenbedingungen für die Vergabe der Leistungserbringung und zur Finanzierung von Betrieb sowie Investitionen festzulegen.

Die Kommunen können z. B. über Festlegungen im Nahverkehrsplan Einfluss auf den Wettbewerb zwischen den Anbietern der Verkehrsdienstleistungen ausüben. Folgende Regelungsbereiche sieht das PBefG vor:

- Höchstbeförderungsentgelte (§ 51a Abs. 2 S. 2 Nr. 1 PBefG)
- Bündelungsquote (§ 50 Abs. 4 S. 2 Nr. 3 PBefG), welche zum Schutz öffentlicher Verkehrsinteressen auch außerhalb des Stadt- und Vorortverkehrs notwendig ist
- Rückkehrpflicht (§ 50 Abs. 1 S. 3, Abs. 4 S. 1 u. 2 Nr. 1 und Nr. 2 PBefG)
- Zeitliche, räumliche Beschränkungen des Einsatzes (§ 50 Abs. 2 S. 2 PBefG)
- Barrierefreiheit
- Emissionsstandards
- Sozialstandards (§ 50 Abs. 4 S. 2 Nr. 4, Nr. 5, S. 3 PBefG)

Motive für Festlegungen im Nahverkehrsplan sind:

- Beschlussfassung in den politischen Gremien über die Qualität und die Rahmenplanung für die Mobilität von Bewohnern, Reisenden und Touristen
- Absicherung der Finanzierung der o. g. politisch gewünschten Standards für die Laufzeit des Nahverkehrsplans oder einen definierten Prognosezeitraum
- Koordination mit benachbarten Aufgabenträgern für landes-, kreis- und stadtgrenzenüberschreitende Verkehrsverbindungen
- Vorgaben für die Planung in anderen Behörden, z. B. Straßennetzplanung, Schulnetzplanung oder Flächennutzungsplanung
- Abwehr oder Begrenzung von Verkehrsangeboten, die den Zielen des Nahverkehrsplanes zuwiderlaufen. Hierbei geht es einerseits um die Verhinderung von „Rosinenpickerei“, also Übernahme von profitablen Linien, während wenig profitable Linien von der öffentlichen Hand finanziert werden müssen, und andererseits um die Abwehr oder Begrenzung von gebündelten Bedarfsverkehren entsprechend § 48 PBefG von Anbietern, wie Moja, Uber oder Lyft, die den öffentlich finanzierten ÖPNV konkurrenzieren.

Mit Blick auf die Einführung automatisierter fahrerloser Fahrzeuge werden nachfolgend einzelne mögliche Regelungsbedarfe im Nahverkehrsplan erläutert:

- Die Rahmenplanung des Nahverkehrsplans umfasst Bedienungsgebiete oder Linienwege, Bedienform (Linienverkehr oder Linienbedarfsverkehr = Rufbus oder on demand), Häufigkeit der Fahrten, Anforderung an Anschlüsse, maximale Fußwegentfernungen, maximale Fahrpreise und weitere Qualitäten des Verkehrsangebotes. Diese Festlegungen sind die Grundlage für die Planung des Verkehrsangebotes, dienen aber zugleich auch als Mindeststandards, die im Fall von Genehmigungswettbewerben die Anträge von Billiganbietern ausschließen helfen. Auch die Festlegung von Linienbündeln ist ein Instrument zur Verhinderung von ungewollten Genehmigungswettbewerben, indem profitable Linien und nicht kostendeckende Verkehrsangebote (Linienverkehre oder Linienbedarfsverkehre) zu Paketen gebündelt werden, die nur gemeinsam vergeben werden, sodass das ausschließliche Bedienen lukrativer Strecken vermieden wird. Automatisierte fahrerlose Fahrzeuge haben geringere Betriebskosten und damit werden neuerliche Genehmigungswettbewerbe wahrscheinlich. Eine genaue Beschreibung der Angebotsstandards im Nahverkehrsplan ist daher zunehmend wichtig. Die Kommunen haben die Möglichkeit, durch die Festlegung von Standards den ÖPNV vor Verschlechterungen zu schützen.
- Restriktionen für gebündelte Bedarfsverkehre werden nötig sein, um ein Rosinenpicken durch die Mobilitätsportale Uber, Lyft, Moja u. a. m. zu vermeiden. Die

Portale, bzw. Unternehmen, sind auf Gewinnerzielung ausgerichtet und agieren bislang eher in einer kleinen Marktnische zwischen ÖPNV und Taxi. Mit der Einführung automatisierter fahrerloser Fahrzeuge ändert sich das Geschäftsmodell dieser Unternehmen grundlegend, weil durch die dann geringeren Betriebskosten Fahrpreise unweit des Fahrpreinsniveaus des ÖPNV möglich sein werden.

Die Kommunen haben durch Festlegung von Restriktionen im Nahverkehrsplan die Möglichkeit, den ÖPNV vor den künftig fahrerlosen gebündelten Bedarfsverkehren zu schützen.

7.3.2 Straßeninfrastruktur

Die Straßen beeinflussen die technische Machbarkeit und die Regeln für den Einsatz automatisierter fahrerloser Fahrzeuge. Die Kommunen haben in ihrer Funktion als Straßenbaulastträger und durch ihre Entscheidungsspielräume die Möglichkeit, die Einsatzmöglichkeiten der neuartigen Fahrzeuge für Aufgaben im ÖPNV sowie für kommerzielle und private Aufgaben durch die Eigenschaft der Straßen und durch Festlegen von Regeln zu beeinflussen.

Grundsätzlich sollte die Straßeninfrastruktur so geplant werden, dass 1) automatisierte fahrerlose Fahrzeuge gut fahren können, 2) möglichst wenig Emissionen verursacht, 3) negative Auswirkungen vermieden werden und 4) der öffentliche Raum effizient und fair genutzt werden kann, mit angemessener Berücksichtigung des Fuß- und Radverkehrs und Aufenthalts.

Herstellung der Befahrbarkeit für automatisierte fahrerlose Fahrzeuge

Fahrzeuge, die auf Basis der Regularien des novellierten StVG entsprechend SAE Level 4 zugelassen sind, sollen im regulären Straßenverkehr ohne Eingriffe eines menschlichen Fahrers selbständig, jedoch unter technischer Aufsicht fahren können.

Für die Herstellung der Befahrbarkeit sind damit grundsätzlich keine Maßnahmen erforderlich. Die absehbar verfügbaren Fahrzeuge SAE Level 4 werden aber per Definition die Technische Aufsicht (auch Tele-Operator genannt) zur Beurteilung der Verkehrsverhältnisse anfragen müssen, wenn die Verkehrssituation die Fähigkeiten des automatisierten Fahrzeuges überfordern.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist nicht bekannt, wie einfach die Verkehrsverhältnisse sein müssen, damit die automatisierten Fahrzeuge die Strecke fehlerfrei und flüssig befahren können.

Die Straßenbaulastträger können die Befahrbarkeit des Straßennetzes für Fahrzeuge entsprechend SAE Level 4 beispielsweise durch folgende Maßnahmen beeinflussen:

- Herstellung der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen mit Lichtsignalanlagen (LSA), Wechselverkehrszeichen, Bahnübergängen etc. durch V2X (Vehicle-to-X-Kommunikation) zur rechtssicheren Übertragung von Signalen an das Fahrzeug.

Ambitionierter ist die Herstellung einer digitalen, internetbasierten Kommunikation ohne die bisher üblichen Infrastrukturanlagen (Signale, Schranken u. a. m.)

- Eindeutige Spurführung zur Vereinfachung der Verkehrsverhältnisse, dabei aber Spurführung ohne bauliche Elemente oder Markierungselemente, sondern über digitale Leittechnik, was eine sehr viel schmalere Dimensionierung erlaubt und daher den Flächenbedarf der Hauptverkehrsstraßen auf der Strecke und an Knoten minimiert
- Freihalten der Sichtdreiecke zur verbesserten Beurteilung der Vorfahrtssituationen in Kreuzungsbereichen. Auch hier erlaubt die digitale Spurführung sehr viel sicherere und platzsparendere Abläufe und effektivere Raumnutzung
- Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit auf allen Strecken und in allen Kreuzungsbereichen im Rahmen des generellen Geschwindigkeitsregimes, das 30 km/h als Maximalgeschwindigkeit und 20 km/h als Regelgeschwindigkeit auf gemischt genutzten Verkehrsflächen einstellt.

Verkehrssteuerung

Weniger medial präsent sind bislang die Hersteller von allen Einrichtungen für die Verkehrssteuerung, also das Verkehrssystemmanagement mit ihren Verkehrsrechnern, Signalsystemen und intelligenten Parkleitsystemen. Erst recht unentdeckt bleiben einstweilen die Potenziale für den Austausch des Schilderwaldes aus analogen Verkehrszeichen gegen digitale „Signale“, die das Verkehrsverhalten der Fahrzeuge steuern. Die „intelligente Straße“ als Zwilling zum „intelligenten Auto“ wird wenig diskutiert. Zu berücksichtigen sind dabei jedoch jene Verkehrsräume, in denen Fußgänger und Fahrradfahrer im Mischverkehr mit automatisierten Fahrzeugen unterwegs sind.

Dabei liefern beide Optionen in Kombination wichtige Werkzeuge einer Verkehrswende, vor allem im innerörtlichen Verkehr. Die Effizienz-, Verträglichkeits- und Sicherheitsprobleme des Ortsverkehrs könnten gelöst werden, wenn weniger der Komfort der Autoinsassen mit neuem Infotainment das Ziel der digitalen Aufrüstung der Fahrzeuge und Straßen wäre, sondern die Steigerung der Effizienz und insbesondere der Flächen- und Energieeffizienz und der Ortsverträglichkeit des Autoverkehrs.

Digitale und intelligente Straße

Viel weniger diskutiert werden Fragen der „digitalen und intelligenten Straße“. Wenn es keine Radfahrer, Fußgänger und konventionellen Kfz gäbe, könnte sie sogar ohne Verkehrszeichen auskommen. Stattdessen gäben Sender die jeweiligen Informationen als digitale Signale aus, regulierten so z. B. das Geschwindigkeitsverhalten, Abstandsverhalten, Parkierungsverhalten etc. und optimierten die Verkehrsabläufe. Die im öffentlichen Raum integrierten Sender gäben die relevanten Signale und kommunizierten mit den Fahrzeugen der Umgebung. Darüber würden die Prozesse optimiert. Der bisher übliche „verzweifelte Versuch“, das Fahr- und Parkierungsverhalten baulich oder per Verkehrszeichen zu regulieren, könnte damit entfallen. Die baulichen Maßnahmen könnten sich endlich auf die Verschönerung, Begrünung, Stadtgestaltung

etc. konzentrieren. Die Aufgabe der Verkehrsbeeinflussung übernehme die digitale Steuerung.

Eigentlich müssten die Kommunen hocheifrig sein, künftig auf Schilder und Signale verzichten zu können, weil die intelligente Straße die Verkehrsregelung übernimmt. Und sie müssten hoch erfreut sein über die neuen Freiheiten für die Gestaltung des öffentlichen Raumes, wenn der Autoverkehr digital „domestiziert“ wird, also nach Menge und Verhalten verträglich gemacht wird. Dazu findet man einstweilen noch kaum Positionierungen aus dem kommunalen Raum und aus dem Kreis der Straßenverkehrsbehörden und der Straßenverkehrsforschung.

Aber bei der Straße ist – abgesehen von wenigen Beispielen für moderne Ampeltechnik und Verkehrssystemsteuerung in Verkehrsrechnern noch wenig von Digitalisierung zu bemerken.

Neue Chancen für Paratransit

Das gilt auch für die stark technologiefixierten Länder wie USA und China oder die stark ÖV-orientierten Länder wie Japan und die Schweiz. Beide Ländergruppen haben ÖPNV-ähnliche Mobilitätsangebote des Paratransit als Bestandteil der modernen Share Economy immer populärer gemacht (USA – Uber und Nachfolgeangebote, China – Didi, Schweiz – Mobility und Publicar und öffentliche Leihräder) und beachtliche Mengenvolumina im Paratransit erreicht. In Deutschland dagegen wurden On-Demand-Angebote und Sharing-Angebote lange mit ordnungspolitischen Hemmnissen ausgebremst. Das Car-Sharing hatte trotz widriger Rahmenbedingungen über die letzten 40 Jahre allerdings zuletzt eine gewisse Dynamik erfahren, seit einige Free-Floating-Anbieter aus dem Kreis der konventionellen Autoindustrie aufgetreten sind. Die zunächst sehr kleinteiligen Car-Sharing-Anbieter wurden zu regionalen und überregionalen Verbundsystemen wie z. B. Cabio, DB Rent (Marke Flinkster) konsolidiert. Mehr Dynamik entwickelte sich im Bereich des Bike-Sharings, das etwa seit dem Jahr 2000 in vielen Ländern beachtliche Mengenvolumina erreicht. In Deutschland dagegen blieb Bike-Sharing selektiv auf Angebote in diversen Großstädten und in einigen touristischen Regionen beschränkt. Als Grundbestandteil öffentlich erstellter Mobilitätsangebote wurde das Bike-Sharing nicht entwickelt. Dabei können mit den neuen digitalen Medien und entsprechenden Apps die früheren logistischen Hemmnisse überwunden werden und sich ganz neue Horizonte für modernen Paratransit auf Massenbasis ergeben. Das gilt in besonderem Maße für die Angebote des Ride-Sharing, dessen Potenzial in Deutschland verkehrspolitisch und verkehrsplanerisch lange Zeit ignoriert und ordnungspolitisch gebremst wurde.

Frühere, noch telefonische und analog betriebene Mitfahrzentralen haben angesichts einerseits fortschreitender Motorisierung und andererseits stark expandierender Billigangebote wie z. B. Flixbus und Flixtrain ihre frühere geschäftliche Basis verloren und werden heute durch internetbasierte Online-Vermittlung von Mitreisen (z. B. bla ba Car) konkurrenziert. Bislang beschränkt sich deren Nutzung aber auf Fernreisen. Im Nahverkehr konnten sich bislang keine großen Vermittlungsplattformen

etablieren. Auch die Low-Tech-Angebote wie Mitfahrbänke für ländliche Regionen haben sich trotz ihrer besonderen Sozialfunktion für Autolose bislang nie über marginale Angebotsmengen und Nutzungsmengen gesteigert. Das gilt auch für die gelegentlich kommunalen Car-Sharing-Angebote in Form von Bürgerautos, die das geringe Interesse der kommerziellen Car-Sharing-Anbieter am ländlichen Raum kompensieren sollten. Digitales „Trampen“ blieb in Deutschland also bislang ein Nischenprodukt. Dabei bietet das Internet angesichts der möglichen Effizienzsteigerung des privaten ländlichen Pkw-Verkehrs erhebliche Potenziale, die dann gehoben werden können, wenn dafür seriöse Plattformen mit sicherem Ordnungsrahmen für das schnelle „Matchen“ (Abgleichen) von fahrenden, mitnahmewilligen Autos und mitnahmeinteressierten potenziellen Fahrgästen und eine leistungsfähige Dispositions- und Kommunikationslogistik aufgelegt werden, unter kommunaler Regie. Ein gut regulierter Rahmen für spontane Fahrgemeinschaften und eine Integration in das ÖPNV-System könnten erhebliche Verkehrseinsparungen und Effizienzgewinne mobilisieren.

Öffentlicher Raum

Der innerörtliche Autoverkehr verursacht große Probleme in der Flächenkonkurrenz. Er lässt wegen seiner maßlosen Anforderungen an breite Fahrbahnen mit oft mehreren Fahrspuren und große Kreuzungen mit mehreren Aufstell- und Abbiegespuren wenig Platz für den Fuß- und Radverkehr, die mit minimalen Flächen abgespeist werden.

Dramatisch verschlimmert wird die Flächenkonkurrenz durch den Flächenbedarf des Parkens und Haltens. Da das jederzeitige Abstellen von Autos politisch und administrativ als eine Art „Grundrecht“ im Rahmen des Gemeindegebrauchs behandelt wird und die Bereitstellung von Parkraum auf Parkstreifen, am Straßenrand und auf öffentlichen und privaten Stellplätzen (sei es ebenerdig oder in Tiefgaragen und Parkhäusern) als prioritäre Planungsaufgabe und baurechtliche Investorenpflicht der Bauherren (private wie gewerbliche) gehandhabt wird, bleibt für die Nutzung des öffentlichen Raumes für fließenden Fußverkehr und ruhenden Fußverkehr (= Aufenthalt) und fließenden und ruhenden Radverkehr wenig Platz. Zumal bislang systematische Parkraumbewirtschaftung als Mittel, die Straßen vom Parken zu entlasten und das gebührenpflichtige Angebot intensiv zu nutzen, in den meisten Kommunen nicht oder räumlich sehr selektiv genutzt wird.

Auch der Verkehrsraum für den öffentlichen Verkehr bleibt oft unzureichend (keine Busspuren, keine Gleisstraßen). Und in Zeiten des Klimawandels, Hitzestresses und der Flutereignisse ist der fehlende Platz für das Straßengrün (Alleen, Grünflächen, Bauminseln) als entsiegelte, kühlende Infrastruktur ganz dramatisch.

Hier bietet die digitale Revolution der Fahrzeuge und der Verkehrslenkungs- und Ordnungsinfrastruktur ganz neue Möglichkeiten. Die Innenortshöchstgeschwindigkeiten können digital auf verträgliche Limits begrenzt werden, die in öffentlichen Räumen mit gemischten Verkehrsarten und mit autonomen Autos durchweg auf z. B. 20 oder 30 km/h begrenzt werden müssen. Raserei ist dann nicht mehr möglich. Und damit eröffnen sich ganz andere Spielräume für die Gestaltung des Verkehrsraumes. Das planerische Grund-

prinzip der Separation des öffentlichen Raumes in Fahrbahnen, Parkstreifen, Rad- und Gehwege kann in größeren Räumen zu Gunsten einer flächeneffizienten Shared-Space-Reglung verlassen werden. Es gibt im Innerortsbereich keine exklusiven Fahrbahnen mehr. Der gesamte öffentliche Raum kann freizügig für den Fußverkehr (Bewegung und Aufenthalt) genutzt werden. Die Straßenraumgestaltung wird aus dem starren Korsett autofixierter Straßenbaurichtlinien befreit. Im Extremfall kann der ganze Schilderwald abgebaut werden. Stattdessen werden die Straßen wieder angemessen „bewaldet“ mit Alleebäumen, Bäumen auf Mittelinseln, Beeten etc.

Damit wird endlich die seit den 1980er-Jahren geforderte und mit kleinen Projekten mühsam vorangebrachte „flächenhafte Verkehrsberuhigung“ landesweit implementiert. Bislang hat der Straßenbau bei seinen Verkehrsberuhigungsmaßnahmen überwiegend mit baulichen Mitteln der Verkehrsberuhigung gearbeitet. Jetzt wird die Verkehrsberuhigung digital eingestellt. Die Prioritäten werden umgedreht: Der gesamte öffentliche Raum gehört prioritär dem Fußverkehr als Basismobilität. Der Kfz-Verkehr bleibt unter den digital eingestellten Regeln der Verkehrsberuhigung (langsam, rücksichtsvoll, jederzeit anhaltebereit und dem Fußverkehr immer Vortritt gewährend) möglich, aber in seiner Menge immer nach voreingestellten Grenzen der Verträglichkeit limitiert. Solche Limits gelten vor allem für das Parken, das auf solche Flächen beschränkt bleibt, wo die anderen Belange (Straßengrün, Sicherheit, Straßenraumgestalt) nicht beeinträchtigt werden.

Hauptstraßen – Domestizierung von Hauptverkehrsstraßen

Die intensivsten Kämpfe werden in den Orten um die Zukunft der Hauptverkehrsstraßen und großen Kreuzungen ausgefochten. Bislang galt hier das Primat der relativ hohen Geschwindigkeit von 50 km/h, am Ortsrand gelegentlich auch 60 km/h und nur in wenigen begründeten Ausnahmen 30 km/h in besonders schützenswerten Teilabschnitten (mit Randnutzungen für Kliniken, Schulen, Kindergärten, Altenheime oder besonders hohen Lärm- und Luftschadstoffgrenzwertüberschreitungen). Die digitale Steuerung erlaubt auch auf diesen Straßen eine zuverlässige, durchgängige Drosselung der Geschwindigkeiten. Dafür bieten sich zwei Optionen. Entweder man behandelt auch innerörtliche Hauptverkehrsstraßen nach dem digitalen Shared-Space-Prinzip mit max. 20 km/h. Oder man akzeptiert ihre besondere Bündelungsfunktion mit Beibehaltung des Separationsprinzips und Drosselung auf 30 km/h. Auch das ermöglicht schon eine andere Gestaltung der Hauptverkehrsstraßen mit deutlich verminderten Fahrspurmaßen und verringerten Fahrspurzahlen. Der gewonnene Platz kann für Alleepflanzung und breitere Geh- und Radwege genutzt werden, wenn partout das Separationsprinzip beibehalten werden soll. So können aus den oft historisch gewachsenen Hauptachsen wieder städtebaulich integrierte Stadträume werden, als Boulevard mit mehreren Baumreihen und deutlich zurückgenommener Dominanz des Fahrverkehrs. Im Falle einer durchgängigen digitalen Shared-Space-Regelung ergeben sich dann natürlich viel größere Freiheitsgrade der Gestaltung und kapazitäts- und attraktivitätsmindernde Effekte auf den verbleibenden Kfz-Verkehr.

Maut – Marktwirtschaftliche Mengenregulierung über ein intelligentes Pricing (Maut)

Gewaltige Mengeneffekte entstehen auch, wenn endlich der kommunale Autoverkehr mit angemessenen, kostendeckenden Nutzungsgebühren für Fahren und Abstellen belastet wird, die nicht als Schikane, sondern als „wahre Preise“ gehandelt werden. Wahre Preise und das Verursacherprinzip gelten als Grundaxiome moderner Umweltpolitik und sind grundsätzlich von der Europäischen Kommission als Ziel vorgegeben. Im Autoverkehr müssten z. B. die (angemessen abgezinsten) Kosten für die Straßeninfrastruktur (Neu-, Aus- und Umbau, Unterhaltung der Anlagen für Fahren und Parken mit Autos sowie für Verkehrslenkung und -überwachung) eingerechnet werden. Hinzu kämen die Kosten für Straßenplanung und -verwaltung sowie die externen Kosten im Umwelt-, Unfall- und Gesundheitsbereich. Aus der Gesamtsumme dieser Kosten würden sich dann, umgelegt auf das Straßennetz und die Fahrleistung bzw. die Aufenthaltsdauer im städtischen Raum in diesem Straßennetz, zunächst einmal die km-Grundkosten ergeben.

Die digitale Intelligenz autonomer Autos und intelligenter Straßen eröffnet darüber hinaus weitere Steuerungsoptionen für Zu- und Abschläge. Variiert werden können beispielsweise Zuschläge für besonders kritische Verkehrszeiten, z. B. Nachtfahrten, die wegen des Ruhebedürfnisses der Anlieger besonders schädlich sind und daher höher bepreist werden. Auch Staustrecken würden dann wegen der wachsenden Ineffizienz bei hoher Nachfrage marktwirtschaftlich verteuert (sodass Staufahrten vermieden werden und Staus verschwinden).

Tarifiert werden können auch fahrzeugseitige Merkmale (z. B. Lärm- und Schadstoffklassen sowie Gewichtsklassen, vor allem bei Lkw) und betriebliche Merkmale (z. B. Pkw-Besetzungsgrad, mit absolutem oder relativem Rabatt für besser besetzte Autos und Zuschlägen für Single-Fahrten).

Tarife und Preise können auf diese Weise sehr differenzierte zeitliche, räumliche und verkehrliche Steuerungsoptionen eröffnen. Diese benötigen eine sinnvolle gesetzliche Grundlage für modernes, intelligentes kommunales Verkehrssystemmanagement.

Die Regeln, wie solche Tarife definiert werden, müssen politisch durch entsprechende Rahmengesetzgebung des Bundes und der Länder definiert werden. Dabei sollen die Kommunen sehr viel Differenzierungsspielräume im Rahmen ihrer Satzungshoheit erhalten, wie das ja auch bei den Tarifen für Anwohnerparkausweise oder generell für die Parkraumbewirtschaftung genutzt wird.

Bislang wehren sich die deutschen Kommunen und ihre Spitzenverbände heftig gegen das Thema „City-Maut“, mit Verweis auf London („Congestion Charge“) oder skandinavische City-Maut-Städte (z. B. Bergen, Trondheim, Oslo in Norwegen oder Stockholm in Schweden). Sie verweisen auf die große interkommunale Konkurrenz der Orte im dicht besiedelten, sehr polyzentrischen Deutschland. Die singuläre Einführung eines kommunalen City-Maut-Systems würde zu massiven Abwerbeaktivitäten mautloser Nachbarstädte und folglich erheblichen Marktverzerrungen führen. Bei den skandinavischen City-Maut-Systemen ist dies wegen der großen Entfernungen zwischen den jeweiligen Maut-Städten und bei der Londoner Congestion Charge wegen der ein-

zigartig dominanten Rolle und konkurrenzlosen Attraktivität der englischen Hauptstadt kein Thema. Dass sich die deutschen Kommunen mit reflexartiger Ablehnung von City-Maut-Modellen generell aus der Maut-Debatte abgemeldet haben, ist jedoch bedauerlich.

Über die intelligente Straße und das intelligente Auto hat man alle Möglichkeiten, mit minimalem Infrastrukturaufwand differenzierte Maut-Systeme einzuführen.

Verhinderung von Schleichverkehren

Navigationsgeräte, Google und andere Routenoptimierer führen Autofahrer auf dem kürzesten Weg zu ihrem Ziel. In Abhängigkeit von der Verkehrssituation ist nicht auszuschließen, dass der kürzeste Weg auch durch sensible Wohngebiete führt. Eine solche nicht umfeldverträgliche Routenwahl durch automatisierte fahrerlose Fahrzeuge kann verhindert werden, wenn in den Navigationssystemen der umfeldabhängige „Widerstand“ einprogrammiert wird und wenn das Umfahren von stauumgehenden „Schleichwegen“ in der digitalen Verkehrssteuerung ausgeschlossen wird.

Solche Bemühungen sind im analogen Verkehrsmanagement schon lange gebräuchlich, erfordern dort aber mühsame bauliche Maßnahmen (Diagonal- und Durchfahrsperrern, Einbahn- und Sackgassensysteme), die hohen Planungsaufwand erfordern. In der digitalen Verkehrslenkung sind solche Optionen leicht mobilisierbar und im Falle von Baustellen etc. auch leicht variierbar.

7.3.3 Flächennutzungsplanung und Regionalplanung

Die traditionelle Bauleitplanung ist auf ihren verschiedenen Konkretisierungsstufen (FLNP, B-Plan) immer noch geprägt von den alten Leitbildern autogerechter Ortsentwicklung. Mit den typischen Höchstdichten, Abstandsregelungen und der Präferenzierung monofunktionaler Nutzungszuweisungen war die Bauleitplanung ein wesentlicher Faktor für die Entwicklung der heutigen Misere des lokalen und regionalen Autoverkehrs. Mit ihren Dichte- und Stellplatzlogiken ist sie der impliziten Prämisse der Disurbanisierung und Suburbanisierung gefolgt und hat damit das allgegenwärtige Verkehrschaos befördert.

Eine Maßstabsebene höher hat die Regionalplanung mit ihrer Fixierung auf zentrale Orte und ihrer betriebswirtschaftlichen Optimierung aller öffentlich regulierten Bildungs-, Sozial- und Gesundheitseinrichtungen maßgeblich zur stufenweisen Konzentration öffentlicher Versorgungsinfrastrukturen und zur Explosion der daraus resultierenden, überwiegend straßenfixierten Verkehrsvolumina beigetragen, denen dann durch den Ausbau der Straßennetze und Parkraumangebote Rechnung getragen wurde.

Dieser Prozess hat sich im Zeichen von Klimakrise und Verkehrswendepostulaten als zunehmend negativ erwiesen. Er verursacht hohe Kosten, großen Mobilitätsaufwand und hohe Umwelt- und Klimabelastungen. Daher ist ein neues Leitbild und ein neuer Steuerungsmechanismus erforderlich, der die Potenziale des automatisierten Fahrens und der intelligenten Verkehrssteuerung sowie der darauf basierenden fairen Kostenanlastung

durch Road Pricing für Fahren und Abstellen der Kfz konsequent nutzt und daraus neue Impulse für eine bessere Regional- und Ortsentwicklung generiert.

7.3.4 Anpassung an Gesetze auf Landesebene

Die Landkreise, die kreisfreien Städte und teilweise auch die großen kreisangehörige Städte sind Aufgabenträger für den ÖPNV auf der Straße. Im Interesse einer besseren Nahmobilität ist es wichtig, den feinerschließenden ÖPNV massiv auszubauen, um auch hier hohe Marktanteile des ÖPNV zu sichern. Dafür müssen die kleineren Städte und Gemeinden auch als Aufgabenträger der lokalen, feinerschließenden ÖPNV-Systeme und der lokalen Paratransitsysteme bestimmt werden. Es ist nicht einzusehen, dass sie für den lokalen Kfz-Verkehr mit Vorhalten von Gemeindestraßen und kommunalem Parkraum zuständig sind, nicht aber für den lokalen feinerschließenden ÖPNV.

Dementsprechend müssen die Landesnahverkehrsgesetze verändert werden und die Kommunen generell zur Aufstellung von lokalen Nahverkehrsplänen verpflichtet werden, natürlich eingebettet in das System der regionalen Nahverkehrspläne der Landkreise.

Um die dafür nötigen Finanz- und Personalmittel aufbringen zu können, sind Anpassungen in den Gemeindefinanzgesetzen und in den GVFG-Regelungen zu treffen und der Gesamtrahmen entsprechend zu erhöhen.

7.4 Beispiel Lindau – Die romantische Stadt am Bodensee bindet nicht erschlossene Siedlungsflächen an die großen Buslinien an und reduziert den Pendelverkehr

Robert Yen

7.4.1 Die Vision von klimaneutraler Mobilität in Lindau

In diesem Beispiel soll **eine Vision** entwickelt werden, wie mit Hilfe automatisierter Shuttles der motorisierte Individualverkehr (MIV) sowohl im Bereich des Binnenverkehrs als auch im Bereich des Pendelverkehrs reduziert werden könnte. Ausgangspunkt ist die in verschiedenen Studien untersuchte aktuelle Situation des Mobilitätssystems in Lindau. Diese gilt als Grundlage für **die Entwicklung einer rein hypothetischen Vision, die keine Rücksicht auf die politische Lage und Entscheidungen der letzten Zeit nimmt, sondern frei auf Grundlage der zu erreichenden Ziele das Visionsbild zeichnet.**

In einem Wettbewerbsbeitrag zum Mobilitätswandel #2035 des Bundesministeriums für Umwelt schreiben die Lindauer Autoren: „Für uns als Stadt Lindau bedeutet Mobili-

tätswandel #2035 die Veränderung der Rahmenbedingungen und Lebensumstände in der Weise, dass die Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger steigt, Lindau attraktiver auch für jüngere Menschen und Familien wird und das große Ziel der CO₂-Neutralität bis 2038 erreicht wird.“ Dieses Ziel bestimmt die in diesem Beispiel ausgeführte Vision.

7.4.2 Ausgangslage

Die romantisch anmutende Stadt Lindau ist mit ihrer direkten Lage am Bodensee ein attraktiver Wohnstandort vor allem für Rentner aus dem ganzen Bundesgebiet Deutschlands. Die Große Kreisstadt Lindau ist Oberzentrum mit mehreren weiterführenden Schulen, vielen Freizeitmöglichkeiten und bereits heute einer hohen Lebensqualität. Lindau erstreckt sich insgesamt über rund 6,5 km in Ost-West- und rund 7 km in Nord-Süd-Richtung und umfasst ca. 33 km². Die Stadtstruktur ist durch den ländlichen, weitläufigen Norden und den städtischen, kompakten Süden sehr heterogen. Der Sitz von einigen größeren Arbeitgebern im Stadtgebiet, die direkte Grenzlage zu Österreich sowie die Nähe zur Schweiz führen zu starkem Pendelverkehr zwischen Lindau und dem Umland (Arbeitsverkehre, Einkaufsverkehre, Verteilverkehre). Das Lindauer Straßennetz ist dadurch sehr stark belastet. Das Stadtzentrum liegt auf einer Insel am nördlichen Ufer des Bodensees. Die Insel hat einen hohen und schönen Altbaubestand, was die Stadt vor allem im Sommer zu einer attraktiven Destination für Tourist:innen macht.

2017 wurde der KLiMo-Prozess (klimafreundliches Lindauer Mobilitätskonzept) mit einem Endbericht abgeschlossen. In diesem findet sich nicht nur die Analyse und Bewertung unterschiedlicher Szenarien, sondern auch eine ausführliche Beschreibung und Bewertung von Maßnahmen, die zu mehr Klimaschutz und einem besseren Angebot an Alternativen zum motorisierten Individualverkehr (MIV) führen sollen. KLiMo wurde in einem breiten Bürger:innen-Beteiligungsprozess erarbeitet. Es wurden eine Verkehrserhebung und -befragung mit mehr als 1100 Bürger:innen durchgeführt und zur Analyse der Wirkung ein Verkehrsmodell erstellt. Schritt für Schritt arbeitet die Stadt die einzelnen Maßnahmen ab. Trotz einer hohen Bereitschaft in der Bevölkerung ihr Mobilitätsverhalten anzupassen (50,2 % der Wege werden im KLiMo-Szenario 2030 ohne MIV zurückgelegt), können im Bereich des Verkehrs nur rund 7,7 t CO₂-Äquivalent pro Jahr im Vergleich zu den Emissionen von 2015 (40.400 t CO₂-Äquivalent pro Jahr) eingespart werden. Dies genügt bei Weitem nicht.

Hoher Anteil MIV im Binnenverkehr und als Quell-/Ziel-Verkehr mit dem Umland

Das KLiMo weist 34 % MIV im Binnenverkehr und 68 % MIV im Quell-/Ziel-Verkehr aus. Der MIV macht bei Wegen von 0–2 km 29 % (ÖPNV 1 %) aus, bei Wegen zwischen 2 und 5 km wird von 50 % der Bürgerinnen und Bürger auf das Auto (ÖPNV 6 %) zurückgegriffen und bei Wegen von 5–10 km von 68 % (ÖPNV 11 %). Für Wege von über 10 km wird von 81 % der Bevölkerung dem Auto vor dem ÖPNV mit 14 % der Vorzug gegeben. Es zeigt sich, dass im Binnenverkehr noch viel zu oft die Bürgerinnen und

Bürger auf das Auto zurückgreifen. Außerdem kann daraus geschlossen werden, dass der ÖPNV nicht attraktiv genug für den Umstieg vom Pkw zum ÖPNV ist.

Als häufigsten (35 % trifft zu und 15 % trifft teilweise zu) Grund dafür, warum der Pkw genutzt wird, nennen die Befragten „Einkaufen“. Als zweithäufigster (30 % trifft zu und 12 % trifft teilweise zu) Grund wird „bequem“ angegeben. Analysiert man die Verkehrszwecke des Quell-/Ziel-Verkehrs, so zeigt sich, dass nur 30 % einen beruflichen Zweck haben, hingegen 62 % der Fahrten einen privaten oder Bildungshintergrund (18 % Einkaufen, 27 % Freizeit, 17 % Erledigungen/Begleitung) haben. Es handelt sich bei 8 % der Personen im Quell-/Ziel-Verkehr um Tages- bzw. Übernachtungstouristen (KLiMo S. 40).

Starker Pendlerverkehr

Der Sitz von einigen größeren Arbeitgebern (z. B. Dornier, Continental, Liebherr) im Stadtgebiet, die direkte Grenzlage zu Österreich sowie die Nähe zur Schweiz führen zu starkem Pendelverkehr zwischen Lindau und dem Umland (7500 Einpendler und 3900 Auspendler täglich). *„Die Große Kreisstadt Lindau (Bodensee) besitzt ausgeprägte Pendlerverflechtungen [innerhalb des Landkreises] mit Gemeinden des Landkreises insbesondere mit den Märkten Weiler-Simmerberg (755 Pendler) und Scheidegg (649 Pendler) sowie der Gemeinde Weißensberg (634 Pendler). [...] Der größte Pendlerstrom zu einer Gemeinde außerhalb des Landkreises besteht zwischen der Großen Kreisstadt Lindau (Bodensee) und der Stadt Wangen i. Allgäu (1188 Pendler). Weitere bedeutende Verbindungen bestehen jeweils zwischen der Großen Kreisstadt Lindau (Bodensee) und Friedrichshafen (829 Pendler), Kressbronn am Bodensee (505 Pendler), Tett nang (445 Pendler) sowie Ravensburg (401 Pendler). Es besteht zudem ein nennenswerter Pendlerstrom zwischen der Großen Kreisstadt Lindau (Bodensee) und Österreich (308 Pendler).“* (Meder, E. et al. 2021). Das Lindauer Straßennetz ist dadurch besonders auf den Ost-West- und Nord-Süd-Achsen belastet. Dies führt zu hohen Emissionen und einer störenden Wirkung für die Anwohner. Besonders die Ost-West-Achse Bregenzer Straße (B12)/Friedrichshafener Straße weist mit etwa 25.000 Kfz/Tag eine sehr hohe Belastung auf. Diese Achse spielt nicht nur für Quell-/Ziel-Verkehre bzw. Durchgangsverkehre eine wichtige Rolle, sondern stellt auch für den Binnenverkehr eine bedeutende Strecke für die Anbindung vieler Ziele innerhalb Lindaus dar. An einzelnen Knotenpunkten entstehen zeitweise Rückstaus, die den Verkehrsfluss im Stadtgebiet deutlich beeinträchtigen. Die kleineren Wohnstraßen und Stadtteilverbindungen weisen hingegen weitestgehend geringe Verkehrsbelastungen auf (vgl. KLiMo 2017).

Hohe Verkehrsbelastungen insbesondere in Tourismushochsaison – Rückstaus, hohe Emissionen

In den Sommermonaten spielen besonders auch touristische Verkehre eine Rolle. Dadurch kommt es gehäuft zu tageszeitlichen Überlastungen an Knotenpunkten und Staubildungen sowie zur Beeinflussung anderer Verkehrsmittel (z. B. Verspätungen im ÖPNV). Dieser tourismusbedingte Anstieg der Verkehrsmengen führt zu einer Ver-

schärfung der Probleme. Besonders stark von den zusätzlichen Verkehrsbelastungen ist die Zufahrt zur Insel betroffen (KliMo 2017: 51). Langzeittouristen machen Ausflüge innerhalb der Bodenseeregion und Tagestouristen kommen, um sich das malerische Lindau (Insel) anzuschauen.

Demografischer Wandel – Alterung der Bevölkerung

Der demografische Wandel und die damit verbundene Alterung der Bevölkerung stellen eine der größten Herausforderungen der nächsten Jahre für die Stadt Lindau dar. Vom Jahr 1990 bis zum Jahr 2015 ist der Anteil der über 65-Jährigen um 23 % gestiegen, während der Anteil, der unter 18-Jährigen seit 2004 um zwei Prozent gesunken ist (KliMo 2017: 11). Um den gesellschaftlichen Veränderungen gerecht zu werden, gilt es, den öffentlichen Raum auf die Belange der älteren Menschen auszulegen (Barrierefreiheit) und die Stadt attraktiver für junge Familien und junge Menschen zu machen. Hier spielen leistbarer Wohnraum, attraktive Arbeitgeber vor Ort und Bildungsangebote auch im Bereich der Hochschulen eine wesentliche Rolle.

Ausbau des ÖPNV in Lindau gut und dennoch sind einige Siedlungsflächen in Lindau nicht erschlossen

Insgesamt kann der Ausbau des ÖPNV in Lindau im Vergleich zu anderen ähnlich großen Städten als gut bezeichnet werden. Lindau hat einen Zentralen Umsteigepunkt (ZUP), an dem sich basierend auf einem 30-min-Takt die Stadtbusse treffen. Es zeigt sich jedoch, dass die Attraktivität des ÖPNV nicht ausreicht, um auf die Nutzung des privaten Pkw zu verzichten. Es gibt immer noch einige Quartiere Lindaus, wie Bertersweiler, Hörbolz, Regnersweiler, Humbertsweiler, Rickatshofen, Oberrengrersweiler, Aeschacher Ufer usw., die nicht mit dem ÖPNV erschlossen sind. Ein großer Teil des Binnenverkehrs mit dem privaten Auto kommt aus diesen Siedlungsflächen.

7.4.3 Schlussfolgerungen und allgemeine Lösungsansätze

Das von den Autoren eines Wettbewerbsbeitrags Lindaus zum Mobilitätswandel #2035 formulierte Ziel (siehe Abschn. 7.2.1) geht davon aus, dass wir Menschen dazu bereit sind, Gewohnheiten aufzugeben, wenn notwendige Bedürfnisse gestillt werden können und sich dadurch ein Mehr an Qualität erreichen lässt. Die Stadt Lindau ist davon überzeugt, dass Mobilität nicht einfach mit Verkehr oder der Bewegung von Menschen und Gütern von A nach B gleichgesetzt werden kann. Mobilität ist ein Ökosystem von räumlichen Strukturen, Angeboten, Beziehungen, Bedürfnissen und teilweise auch Zwängen der Menschen, die dazu führen können, dass Menschen sich von A nach B bewegen. Betrachten wir dieses Ökosystem heute, so sind auch in Lindau die räumlichen Strukturen für die Nutzung eines Autos optimiert und die Angebote zur Erfüllung der Bedürfnisse räumlich so ausgestaltet, dass die einzelnen Punkte zur Deckung der wesent-

lichen Bedürfnisse für viele Bürgerinnen und Bürger nicht in attraktiver Weise fußläufig, mit dem Fahrrad oder mit dem ÖPNV zu erreichen sind. Die Optimierung der Straßen für motorisierte Fahrzeuge für den Personen- und den Güterverkehr hat dazu geführt, dass immer mehr Menschen auch ein Auto nutzen. Lärm- und Luftverschmutzung sowie ein stetig wachsender räumlicher Bedarf für den stehenden und fahrenden Verkehr sind die Folge. Es geht also darum, mit den Bürger:innen sowie mit den Gewerbetreibenden, Arbeitgeber:innen und der Tourismuswirtschaft darüber ins Gespräch zu kommen, unter welchen Bedingungen eine außergewöhnlich hohe Lebensqualität in Lindau erreicht wäre, sodass sie weitestgehend auf den motorisierten Individualverkehr verzichten könnten.

Der ÖPNV spielt derzeit in Lindau und in Verbindung mit dem Umland eine relativ geringe Rolle. Am Beispiel ÖPNV lassen sich gut die Zusammenhänge zwischen Lebensumständen, Mobilität und Stadtentwicklung zeigen.

Der Automobilzulieferer Continental betreibt die Entwicklung von automatisiertem und vernetztem Fahren (avF) von Lindau aus. Die Einführung von elektrischen automatisierten Kleinbussen (SAE Level 4), sogenannten Shuttles, zur Einbindung von bis heute nicht erschlossenen Siedlungsflächen mit einem 5- bis 10-min-Takt könnte ein attraktives Angebot für den Umstieg vom Auto auf den ÖPNV sein. Ein erster Pilotversuch hat automatisierte Kleinbusse von Continental während der Landesgartenschau auf der Insel in Einsatz gebracht. Weitere Pilotversuche auf ausgewählten Strecken im Linienverkehr könnten initiiert und später im Regelbetrieb ausgedehnt werden.

Lindau muss für junge Menschen deutlich attraktiver werden. Um zu verhindern, dass die Menschen zum Wohnen ins Umland ziehen und somit pendeln müssen, ist bei der Entwicklung der Stadtteile darauf zu achten, dass es zur Mischnutzung einschließlich leistbarem Wohnen und Gewerbe in diesen Gebieten kommt. So wäre es vorstellbar, dass beispielsweise im bestehenden Gewerbegebiet in der Nähe zur Grenze nach Österreich neue Wohnanlagen sowie Geschäfte und Gastronomie entstehen. Um nicht zusätzliche Flächen zu verbrauchen, könnten bestehende Parkplätze genutzt werden oder Fabrikhallen mit einem Wohnquartier überbaut werden. Mitarbeiter der Unternehmen und Menschen mit geringem Einkommen sollten in diesen Wohnanlagen im Sinne einer sozialgerechten Bodennutzung bevorzugt werden. Alle Stadtteile müssen mit einem guten Fahrradwegenetz (von den Straßen baulich getrennte und wenn möglich durch Bäume beschattete Fahrradwege) erreichbar sein. Der Verkehrsraum in den Stadtteilen könnte zum großen Teil zur Begegnungszone oder autofrei (vgl. Superblocks in Barcelona) werden. Fußwege sollten nach Möglichkeit beschattet sein. Auf die Gestaltung des öffentlichen Raums sollte größter Wert gelegt werden und den Bürgern sollte die Möglichkeit gegeben werden auch durch Eigeninitiativen den öffentlichen Raum zu gestalten. Für die Unternehmen könnten von der Stadt Beratungsgutscheine für die Entwicklung betrieblicher Mobilitätskonzepte ausgegeben werden.

„Einkaufen“ wird am häufigsten als Grund für die Fahrt mit dem Auto genannt. Die Einführung von Lieferdiensten beispielsweise mit speziellen Lastenfahrrädern, die die Stadt Lindau für die private sowie für die gewerbliche Nutzung fördert, und mithilfe

einer Logistikmanagementsoftware, oder die Etablierung von kleinen selbstfahrenden Trolleys, sogenannter „TransportBuddies“, könnte das Einkaufen auch ohne Auto komfortabel machen. Flanieren in der Stadt oder im Stadtteilzentrum wäre ohne das Schleppen von Tüten möglich. Dies würde besonders gut gehen, wenn Teile der Stadt autofrei sind und breite Fuß- und Fahrradwege zur Verfügung stünden.

Es ist zu erwarten, dass durch das Zusammenbringen von Wohnen und Arbeiten bereits ein Teil des einpendelnden Verkehrs reduziert werden könnte. Dennoch müssen der ÖPNV und ÖV ins Umland deutlich verdichtet und gestärkt werden. Durch die Analyse der Wege des heute verlaufenden MIV können beispielsweise über Floating Car Data (FCD) Knotenpunkte identifiziert werden, über die der Verkehr führt. Zu diesen Knotenpunkten müsste der ÖPNV/ÖV ausgebaut und an diesen Orten Parkmöglichkeiten errichtet werden. Hier ist die Initiierung von regionalen Projekten notwendig und Überlegungen hinsichtlich einer Pendlerabgabe zu prüfen. Der innerstädtische ÖPNV müsste dann eine rasche Verteilung an die Ziele ermöglichen.

Touristen schätzen an Lindau die wunderschöne Lage der Stadt am Bodensee und den wunderschönen alten Baubestand. Ruhe im urbanen Raum der Insel ohne Autoverkehr wird als besonders attraktiv empfunden. Zudem ist der Bodenseeraum (D, A, CH) eine landschaftlich wunderschöne und für viele Freizeitmöglichkeiten bekannte Region und verfügt auch über ein unheimlich reiches kulturelles Angebot. Touristen besuchen nicht nur die Stadt Lindau, sondern den ganzen Bodenseeraum. Langzeittouristen in Lindau machen Ausflüge in die anderen Städte und Orte rings um den See. Die Vernetzung mit den anderen Ländern, die Vermarktung der ganzen Region mit einem einheitlichen ÖV-Konzept einschließlich Schiffen, Fahrradverleih, Seilbahnen usw. könnte den Gästen ein attraktives Angebot ohne Auto ermöglichen. Durch den Ausbau und die Elektrifizierung der Strecke Zürich-München und Zürich-Stuttgart ist Lindau auch gut mit der Bahn zu erreichen.

7.4.4 Automatisierter ÖPNV zur Überwindung der letzten Meile

Selbst sehr kurze Strecken (0–2 km: 29 % MIV, 2–5 km: 50 % MIV) werden im Binnenverkehr in Lindau trotz eines 30-min-Takts des ÖPNV mit dem Auto gefahren. Als häufigster Grund dafür wird von 50 % der Befragten „Einkaufen“ und als zweithäufigster Grund von 42 % der Befragten „Bequemlichkeit“ angegeben.

Der zweite wesentliche Bereich für die hohe Belastung mit MIV entsteht durch die vielen Ein- und Auspendler aus dem Umland. Die meisten Berufspendler greifen auf das Auto zurück, um zu ihrem Arbeitsplatz in Lindau oder außerhalb von Lindau zu kommen. Bei einer Befragung im Landkreis Lindau (ausgenommen der Großen Kreisstadt Lindau) zur Zufriedenheit mit dem ÖPNV sagten 63 % der Befragten, dass sie werktags, und 78 %, dass sie am Wochenende sehr unzufrieden bzw. unzufrieden mit der Häufigkeit des ÖPNV sind. 58 % der Befragten bringen ihre Unzufriedenheit mit der räumlichen Erschließung des ÖPNV zum Ausdruck (Meder, E. et al. 2021).

7.4.5 Vision der Erschließung Oberreitnau und Unterreitnau mit einem automatisierten ÖPNV

Im Lindauer Stadtteil Oberreitnau leben 1933 Einwohner und im Stadtteil Unterreitnau 510. Beide Stadtteile bestehen aus Streusiedlungen, die derzeit zum großen Teil nicht durch den ÖPNV erschlossen sind. Das macht fast 10 % der Bevölkerung von Lindau aus. Die Buslinien R19 und 2 führen nach bzw. durch Oberreitnau und die Buslinie 3 nach Unterreitnau. Dazu kommt ein Regionalzug, der durch Oberreitnau führt. Folgende Siedlungsflächen befinden sich jedoch weiter entfernt (in den meisten Fällen deutlich mehr als 400 m) von den Buslinien:

- Oberreitnau: Höhenreute, Greit, Sauters und Waltersberg
- Unterreitnau: Eggatsweiler, Rickatshofen, Bechtersweiler, Hörholz & Hörholzmühle, Dürren, Rengersweiler, Humbertsweiler und Lattenweiler

Das in der Abb. 7.1 dargestellte Konzept zum Nahverkehrsplan hat zum Ziel, die Streusiedlungen der beiden Stadtteile Oberreitnau und Unterreitnau an das ÖPNV-Netz in Lindau anzuschließen. Dafür sollen zwei neue Buslinien entstehen, die einerseits an bestehende Haltestellen gebunden sind und andererseits mittels App im Bereich der bis heute noch nicht erschlossenen Siedlungsflächen angehalten werden können. Diese Vision soll an der konkreten Situation und den konkreten Bedingungen aufzeigen, wie durch einen automatisierten ÖPNV die letzte Meile für die Nutzer:innen komfortabel überwindbar wird und somit eine echte Alternative zum eigenen Auto besteht.

Die Bushaltestelle Oberreitnau Nord wird zu einem neuen Knoten (dargestellt als grüner Punkt). Dort treffen sich die Buslinien R19, 2 sowie die neuen Buslinien Grün (Oberreitnau) und Gelb (Unterreitnau). Außerdem soll der Regionalzug an dieser Haltestelle halten. Die Buslinie 3 führt direkt zum ZUP und über den Bahnhof Lindau Reutin bzw. über das dem Bahnhof gegenüberliegende Einkaufszentrum Lindapark bis zum Gewerbegebiet Zech, das von der Auenstraße im Westen fast bis zur österreichischen Grenze im Südosten des Gewerbegebiets führt. Mit dem Regionalzug oder mit einmal Umsteigen auf die Buslinie 2 können die Bürger:innen von Oberreitnau und Unterreitnau die Lindauer Insel erreichen. Durch die Erschließung der Streusiedlungen mit der Linie Grün und der Linie Gelb werden die für die Menschen im Allgemeinen wichtigsten Punkte der Stadt auch ohne eigenes Auto leicht erreichbar.

Die beiden neuen Buslinien sollen über automatisierte Elektro-Shuttlebusse SAE Level 4 realisiert werden. In einem ersten Pilotprojekt werden die Buslinie Grün und Gelb in einem 5- bis 10-min-Takt fahren und der Takt der Buslinie 3 und 2 auf einen 15-min-Takt erhöht werden. Dadurch soll für die über 2400 Menschen in den Stadtteilen Oberreitnau und Unterreitnau die Attraktivität des ÖPNV von Anfang an hoch sein. Ziel ist es, insbesondere den Anteil an ÖPNV-Nutzer:innen im Binnenverkehr als auch im Quell-Ziel-Verkehr zu erhöhen.

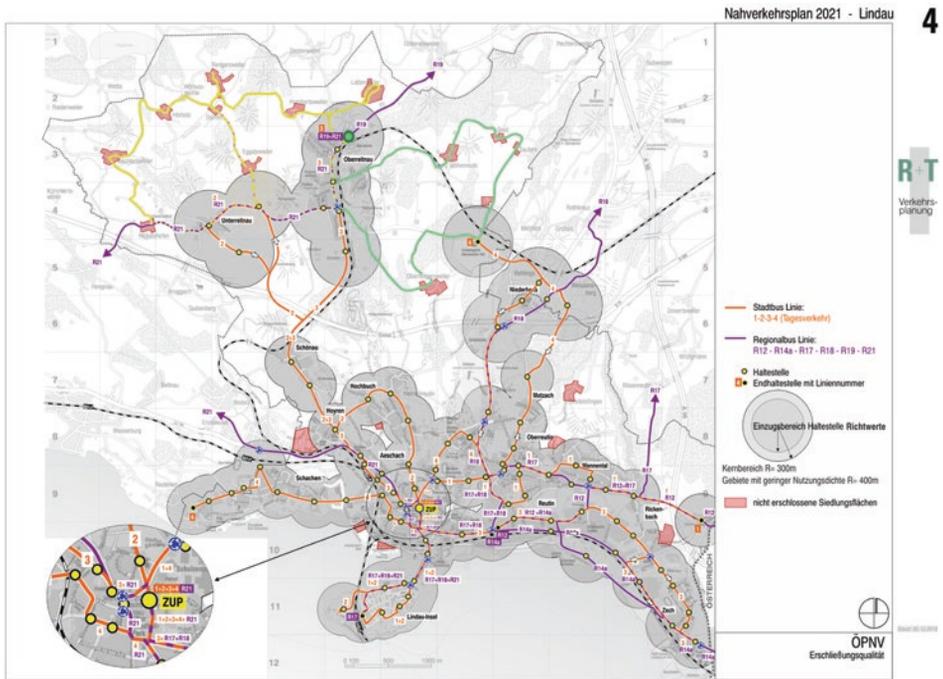


Abb. 7.1 Erschließungsplan mit zwei zusätzlichen Buslinien zur Erschließung der Streusiedlungen in Oberreitnau (grün) und Unterreitnau (gelb). Der 2. Nahverkehrsplan wurde für die Stadt Lindau durch R+T Verkehrsplanung erstellt. (Mit freundlicher Genehmigung der Stadt Lindau, 2022, ohne kommerziellen Hintergrund, all Rights Reserved.)

In Kooperation mit dem Lindauer Handel soll ein Lieferservice etabliert werden, der es den Lindauer:innen ermöglicht, ihre Einkäufe nicht selbst nach Hause tragen zu müssen, wenn sie sich entschieden haben, den ÖPNV oder das Fahrrad zu nutzen oder zu Fuß zu gehen. Auch hierbei sollen emissionsfreie Lastenfahrräder oder Lieferwagen zum Einsatz kommen.

Basierend auf den Ergebnissen der begleitenden Evaluation des Pilotprojekts werden weitere Stadtteile Lindaus mit einem automatisierten ÖPNV im Linienverkehr erschlossen und ggf. können dadurch andere Buslinien verkürzt bzw. ganz gestrichen werden. Gleichzeitig wird die Frequenz des traditionellen Bus-ÖPNV auf einen 15-min-Takt angehoben. Um den Anteil des MIV weiter zu reduzieren, sind parallel bzw. nach der Schaffung des alternativen Mobilitätsangebots sogenannte Push-Maßnahmen einzuführen. Parallel zum Pilotprojekt wird die Geschwindigkeit innerhalb des Stadtgebiets auf 30 km/h reduziert. Mit Fertigstellung des ÖPNV in seiner finalen Form wird das Parken im öffentlichen Verkehrsraum insbesondere auf der Insel im Allgemeinen verboten und wenn notwendig in manchen Stadtteilen nur noch für Anrainer möglich sein. Es wird an bestimmten Orten, wie am Bahnhof Reutin, am Karl-Beyer-Platz, bei

den Neubaugebieten auf der Hinteren Insel usw. Parkhäuser oder Parkplätze geben. Die Einnahmen aus der Parkraumbewirtschaftung kommen dann dem ÖPNV in Lindau zugute.

7.4.6 Die Rolle des automatisierten ÖPNV für den Pendlerverkehr

Entsprechend einer Umfrage, die für den Nahverkehrsplan des Landkreises Lindau (ausgenommen die Kreisstadt Lindau) gemacht wurde, gibt es eine große Unzufriedenheit mit der Häufigkeit des ÖPNV, und immer noch 58 % der Bevölkerung empfinden die lokale Verfügbarkeit des ÖPNV für unzureichend. Betrachtet man, dass Lindau an Werktagen 7500 Einpendler und 3900 Auspendler hat (vgl. Meder, E. et al. 2021), die mehrheitlich mit dem Auto ihren Arbeitsplatz aufsuchen, wird deutlich, dass der MIV und somit der Ausstoß von Treibhausgasen im Bereich der Mobilität nur dann in einem ausreichenden Maße reduziert werden können, wenn es gelingt, den ÖPNV auch für die vielen Pendler attraktiv zu gestalten.

Im Abschn. 7.2.4 wurde eine Strategie beschrieben, mit der es gelingen sollte, die Menschen davon zu überzeugen, dass sie ohne wesentliche Komforteinbußen in Lindau auf die Nutzung ihres Autos verzichten und stattdessen das ÖPNV-Angebot in Anspruch nehmen. Dabei spielt die Erschließung der Streusiedlungen in Oberreitnau und Unterreitnau eine wesentliche Rolle. Das Konzept setzt auf drei Aspekte der Attraktivität des ÖPNV: die Häufigkeit und die lokale Verfügbarkeit des ÖPNV-Angebots sowie die Ermöglichung, dass die wesentlichen Ziele bzw. Wege in der Kreisstadt Lindau mit maximal zweimal Umsteigen erreicht werden können. Insbesondere jene Punkte, von denen aus Bus- oder Zugverbindungen in das Umfeld führen, sollten mit maximal einmal Umsteigen erreichbar sein. Einpendler:innen mit dem Zug oder den regionalen Buslinien haben somit die Möglichkeit, in den meisten Fällen bequem innerhalb von Lindau ihren Arbeitsplatz oder andere Ziele zu erreichen. Auspendelnde Lindauer:innen können ohne großen Aufwand den Bahnhof der Bahnverbindung oder die Haltestelle des Regionalbusses erreichen, der sie zum Ort ihres Arbeitsplatzes bringt.

Da es jedoch beim Pendeln um Ende-zu-Ende-Verbindungen von zuhause zum Arbeitsplatz oder einem anderen Ziel, wie ein Einkaufszentrum und wieder zurück geht, sind die Anstrengungen der Stadt Lindau den ÖPNV auszubauen und attraktiver zu gestalten nicht ausreichend. Ähnliche Anstrengungen müssten in anderen Gemeinden des Landkreises mit hoher Pendlerverflechtung mit der Kreisstadt Lindau, wie „... Weiler-Simmerberg (755 Pendler) und Scheidegg (649 Pendler) sowie der Gemeinde Weißensberg (634 Pendler)“ (Meder, E. et al. 2021) gemacht werden. Außerhalb des Landkreises Lindau müsste der ÖPNV in den Städten „...Wangen i. Allgäu (1188 Pendler), [...] Friedrichshafen (829 Pendler), Kressbronn am Bodensee (505 Pendler), Tett nang (445 Pendler) sowie Ravensburg (401 Pendler)“ (Meder, E. et al. 2021) ausgebaut und attraktiver werden.

Nicht zu vergessen sind die Bahn- und Busverbindungen in das Umland von Lindau, die zumindest ein Angebot im 30-min-Takt bereitstellen sollten. Dass dies möglich ist, zeigt ein Blick über die Grenze nach Vorarlberg, wo die Kommunen im Rheintal im 15-min-Takt miteinander verbunden sind. Sicherlich gibt es auch dort noch einen Nachholbedarf betreffend das ÖPNV-Angebot auf der letzten Meile.

Fazit zu Abschn. 7.4

Die hier dargestellte Vision für die Mobilität der Großen Kreisstadt Lindau mit ihren knapp 25.000 Einwohnern illustriert anschaulich, wie die Mobilitätswende durch einen attraktiveren ÖPNV mit automatisierten Fahrzeugen SAE Level 4 gelingen könnte. Lindau steht dabei für viele Städte im ländlichen Raum in Deutschland und Österreich, die alle mit ähnlichen Fragestellungen befasst sind. Das Beispiel zeigt jedoch auch, dass es nicht genügt, die Kommunen unabhängig von ihrem Umland zu beleuchten, sondern es wesentlich ist, die Interdependenzen zwischen den Kommunen in einer Region in Augenschein zu nehmen und gemeinsame Lösungen zu entwickeln. Es müssen somit regionale Konzepte, die weder Grenzen zwischen Bundesländern noch zwischen Staaten kennen, entwickelt werden. Europäische Fonds würden die Finanzierung solcher Projekte ermöglichen, wenn der politische Wille bestünde, der einen freien Umgang mit bestehenden Richtlinien einschließt.

7.5 Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug oder eine automatisiert fahrende Transportdienstleistung beschafft und implementiert werden?

Robert Yen und Constantin Pitzen

Bevor automatisierte Fahrzeuge für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) oder Transportdienstleistungen oder etwas irgendwo dazwischen beschafft werden können, sind sowohl für die Mobilität der Region oder der Kommune strategische sowie für die direkte operative und technische Umsetzung relevante Fragen zu beantworten. Die Antworten zu diesen Fragen bilden die Grundlage für die öffentliche Ausschreibung, die ja aufgrund des europäischen Vergaberechts bei dem zu erwartenden Auftragsvolumen auf jeden Fall verpflichtend ist. Um welche Fragen es sich handelt, warum diese Fragen relevant sind und wie man zu einer Entscheidung zu diesen Fragen und letztlich zu einer Ausschreibung und einer Beauftragung eines Auftragnehmers kommt, soll in diesem Beitrag behandelt werden.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt bei den Geschäftsmodellen. Diese können sehr unterschiedliche Fertigungstiefen umfassen und sind von den Möglichkeiten der

jeweiligen Auftraggeber abhängig. Dennoch ist gerade in diesem Bereich essenziell, sich die Frage zu stellen, welche Aufgaben und Entscheidungen unbedingt in der Verantwortung der öffentlichen Hand über kommunale Verwaltungen, Aufgabenträgerorganisationen oder kommunale Verkehrsunternehmen verbleiben müssen, um auch künftig das Mobilitätssystem im Sinne der Kommune oder Region gestalten zu können.

7.5.1 Am Anfang war die Frage

Mit der zunehmenden Anzahl und besser werdenden Qualität der automatisierten Fahrzeuge (SAE Level 4), die im öffentlichen Verkehr zum Einsatz kommen werden, werden auch die Hoffnungen auf der politischen Ebene größer, dass mit dieser neuen Technologie einige der Verkehrsprobleme der eigenen Kommune oder der Region gelöst werden könnten, ohne Maßnahmen ergreifen zu müssen, die den Bürger:innen nicht gefallen könnten. Sollte keine gezielte Einbindung der automatisierten Fahrzeuge in das Mobilitätssystem mit einer klaren Aufgabenzuordnung erfolgen, werden die Erwartungen vermutlich enttäuscht werden, da zumindest in den nächsten Jahren der Freiheitsgrad hinsichtlich des Einsatzortes ohne Anpassung des Umfeldes deutlich begrenzt sein wird. Für die Beschaffung eines automatisierten ÖPNV sind in Deutschland mehrere Verfahren möglich:

- Öffentliches Vergabeverfahren (in Deutschland nach dem *Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen*)
- Genehmigungswettbewerb (Erteilung der Linienverkehrsgenehmigung auf Basis eines wettbewerblichen Vergleichs von Genehmigungsanträgen für das ausschließliche Recht zum Betrieb von Linienverkehren nach PBefG unter Berücksichtigung der Festlegungen im Nahverkehrsplan des Landkreises bzw. der kreisfreien Stadt
- Direktvergabe (Inhausvergabe ohne Wettbewerb) an einen internen Betreiber, also ein Verkehrsunternehmen im Eigentum des Landkreises oder der kreisfreien Stadt in ihrer Funktion als Aufgabenträger für den ÖPNV, das wie eine Behörde der Kommune geführt wird

Ungeachtet dessen, welches Verfahren zur Anwendung kommt, müssen durch die beauftragende Stelle die folgenden Fragen beantwortet und als Anforderungen einer Leistungsbeschreibung der öffentlichen Ausschreibung oder im Nahverkehrsplan definiert werden.

Was wollen wir mit dem Einsatz von automatisierten Fahrzeugen erreichen?

In Abschn. 7.2 „Wie kann eine Mobilitätsstrategie entwickelt werden, die die gezielte Integration automatisierten Fahrens berücksichtigt bzw. wie lässt sich automatisiertes Fahren in eine bestehende Mobilitätsstrategie integrieren?“ wurde bereits die Entwicklung einer Mobilitätsstrategie bzw. die Integration des automatisierten ÖPNV in die

Mobilitätsstrategie beschrieben und darauf eingegangen, wie man zu den Zielen für den Einsatz eines automatisierten SAE Level 4 ÖPNV kommt. Der automatisierte ÖPNV ist nur ein Instrument unter mehreren Instrumenten, das richtig eingesetzt werden will, um den möglichst größten Beitrag zur Erreichung der Mobilitätswende zu leisten.

Es ist für den Erfolg des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge daher wichtig, dass man klar die Zielsetzung formuliert und eine konkrete Vorstellung darüber hat, wo die automatisierten Fahrzeuge durch das bessere Angebot auch eine große Wirkung beispielsweise für die Verringerung von Aus- und Einpendlern mit dem Auto entfalten.

Welche Form des ÖPNV-Angebots wollen wir bereitstellen?

Die ÖPNV-Angebote, die beispielsweise in der Novelle des deutschen Personenbeförderungsgesetz (PBefG, vgl. dazu Abschn. 1.1) festgehalten werden, reichen von sehr starr (Streckenbindung und fahrplangebunden) bis sehr flexibel und individualisiert (örtlich und zeitlich flexibel). Außerdem wird in Abschn. 2.2 „Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf“ detailliert auf das Verhältnis von Raumstrukturen und spezifischen ÖPNV-Angeboten eingegangen. In den nächsten Jahren, abhängig vom technischen Fortschritt bei den Fahrzeugen, werden die Angebote mit Einsatz automatisierter Fahrzeuge eher starr sein. Ungeachtet dessen, sollte die Entscheidung in erster Linie vom Ziel, das mit der Einführung des neuen Angebots erreicht werden soll, und den Gegebenheiten vor Ort getroffen werden. Dabei ist zu beachten, dass je höher der Grad der Individualisierung ist, desto höher auch der Fahraufwand pro beförderter Person sein wird, um dieses Angebot in einer verlässlichen Weise gewährleisten zu können. Die daraus resultierenden Folgen für den Klimaschutz sind abzuwägen.

Auf welcher Strecke oder zwischen welchen Ziel- und Endpunkten sollen die automatisierten Fahrzeuge ohne Streckenbindung fahren bzw. welches Gebiet sollen die automatisierten Fahrzeuge mit dem Bahnhof oder einer qualifizierten Bushaltestelle verbinden?

Die Strecke sollte so gewählt werden, dass sie möglichst vielen Nutzer:innen beispielsweise aus einem Wohngebiet zu einem Knotenpunkt eine Weiterfahrt zu wesentlichen Destinationen wie dem Bahnhof, dem Stadtzentrum usw. eine gute Alternative bietet (siehe dazu auch Abschn. 2.2 „Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf“).

In einem zweiten Schritt ist zu analysieren, ob die gewählte Strecke ohne Anpassungen im Bereich der Infrastruktur und der Verkehrsverhältnisse für den aktuellen Stand der Technik der automatisierten Fahrzeuge möglich ist. Ggf. sind die Straßen auf der ganzen Strecke oder in Teilen als Einbahnen zu führen oder es muss an besonders engen Stellen der Raum für den stehenden Verkehr reduziert werden (vgl. dazu Abschn. 7.4). Um den Stand der Technik zu erheben, ist es möglich, noch bevor das Vergabeverfahren begonnen wurde, eine Markterkundung durchzuführen. In den nächsten Jahren, in denen die Technologie noch so neu ist und die Geschäftsmodelle noch nicht

erprobt sind, sieht zumindest das deutsche Vergaberecht das Instrument der Innovationspartnerschaft vor.

Ein anderes Szenario könnte sein, dass beispielsweise in touristisch interessanten Städten das historische Stadtzentrum autofrei bleiben soll und auch Reisebusse im Stadtzentrum nicht erwünscht sind. Hier ist vorstellbar, dass automatisierte Busse zwischen einem Parkhaus für Busse und Pkw oder zwischen dem Bahnhof mit oder ohne Streckenbindung und dem Stadtzentrum pendeln. Es ist unter Umständen sinnvoll, bereits den Standort des Parkhauses so zu wählen, dass die Strecke in das Stadtzentrum für den automatisierten Shuttle leicht zu bewerkstelligen ist.

Sollen die Fahrzeuge auch für andere Aufgaben eingesetzt werden?

Beobachtet man das Verkehrsaufkommen verteilt auf die 24 h eines Tages so entsteht ein Muster von Zeiten morgens und abends und in manchen Kommunen auch mittags, in denen das Verkehrsaufkommen deutlich höher ist als in den Zwischenräumen. Nachts fahren nur noch vereinzelt Fahrzeuge. Während Shuttle beispielsweise von morgens bis abends in einem Linienverkehr mit Streckenbindung fahren, könnten diese in der Nacht anliegende Kommunen mit dem Stadtzentrum in Form des Ridepoolings verbinden. Somit könnten diese Angebote die Akzeptanz anderer Maßnahmen für die Neugestaltung des Mobilitätssystems, wie die Reduktion von Verkehrsraum für den stehenden und fließenden motorisierten Individualverkehr erhöhen. Die Freiheit beim Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV nur noch eingeschränkt an die Personalkosten gebunden zu sein, ermöglicht es unterschiedliche Fahrzeuge auf unterschiedlichen Linien zu unterschiedlichen Zeiten zu kombinieren und dadurch kosteneffizient neue Angebote zu machen, die eine attraktive Alternative zur Nutzung des privaten Pkw sind.

Was soll gekauft respektive beauftragt werden? Welches Geschäftsmodell scheint für unsere Situation geeignet?

Neue technische Produkte bringen häufig auch eine Variation neuer Geschäftsmodelle mit sich. Darin liegen Risiken, aber auch große Chancen. Es rentiert sich demnach, die einzelnen Teile der Wertschöpfungskette zu betrachten und mit den heutigen Geschäftsmodellen zu vergleichen, um besser zu verstehen, welche Aufgaben man als Auftraggeber selbst übernehmen sollte und welche Aufgaben man an externe Dienstleister übertragen möchte.

Die in Abb. 7.2 dargestellte Wertschöpfungskette von der Beschaffung und vom Betrieb eines Busses durch ein Verkehrsunternehmen mit mehreren Verkehrslinien macht deutlich, dass primär ein Fahrzeug beschafft (Kauf oder Leasing) wird und die gesamte Planung und der Betrieb der Buslinie in der Verantwortung des Verkehrsunternehmens auf Basis von Vorgaben des Aufgabenträgers für den ÖPNV, also i. d. R. Landkreise und kreisfreie Städte, verbleibt. Dies schließt die Möglichkeit ein, dass Verkehrsunternehmen häufig Subunternehmen in die Produktion des Fahrbetriebs einbeziehen. In ländlichen westdeutschen Regionen findet sich zudem noch häufig die Vergabe von

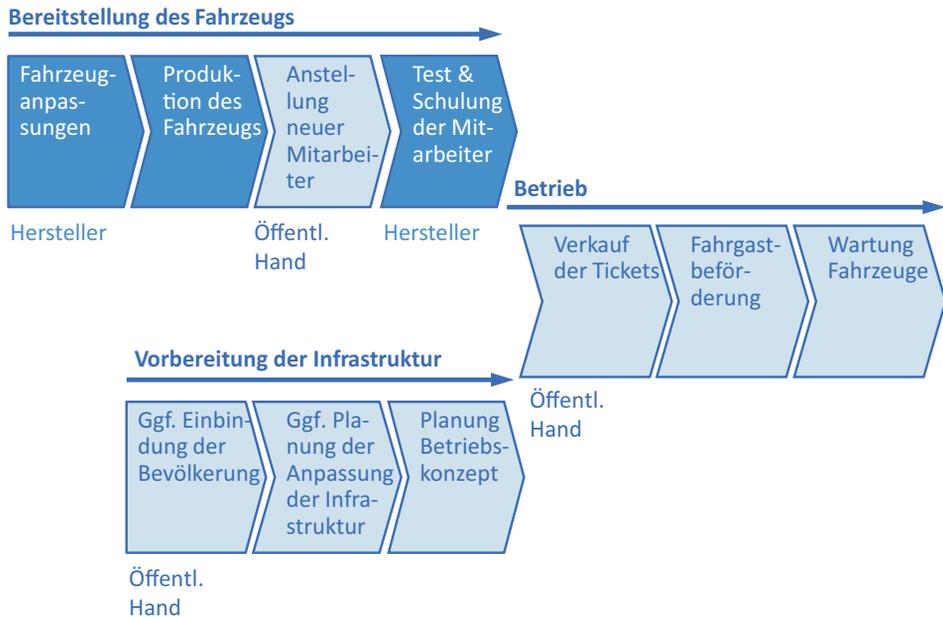


Abb. 7.2 Bestehende Wertschöpfungskette Bus

Liniengenehmigungen auf Basis von Genehmigungswettbewerben und anschließender Finanzierung über allgemeine Vorschriften.

Die Wertschöpfungskette automatisierter Busse SAE Level 4 unterscheidet sich deutlich von der Beschaffung traditioneller Busse, da es sich um vernetzte Systeme handelt. Diese Systeme beinhalten zum großen Teil proprietäre Software, die auch nur durch den Hersteller gewartet werden können. Außerdem kommen besondere Aufgaben wie die Technische Aufsicht und der Betrieb einer Leitstelle dazu. In der folgenden Abb. 7.3 wird die Wertschöpfungskette von der Beschaffung und dem Betrieb automatisierter Busse SAE Level 4 ohne Zuordnung der Aufgaben an beteiligte Akteure dargestellt.

Die Fähigkeiten der Fahrzeuge werden sich in den nächsten Jahren deutlich verbessern und damit kann auch der Aufgabenumfang entsprechend erweitert werden. Es ist somit bereits bei der Beschaffung darauf zu achten, dass die Fahrzeuge mit dem wachsenden Fortschritt auch stets aktualisiert werden. Dies ist möglich, da der größte Fortschritt im Bereich der Software erfolgt. Die Fahrzeuge agieren vernetzt, d. h. es ist möglich, Informationen zwischen Fahrzeug und Zentrale oder zwischen Fahrzeug und Infrastruktur auszutauschen. Je nachdem, welche Informationen das Fahrzeug erhält, reagiert es. Dies kann der Status einer Lichtsignalanlage sein oder der Befehl, an einer bestimmten Position anzuhalten und einen Fahrgast aufzunehmen, der eine entsprechende Meldung über eine App an die Zentrale gesendet hat. Außerdem befindet sich das Fahrzeug in ständigem Kontakt mit der Technischen Aufsicht, die bei

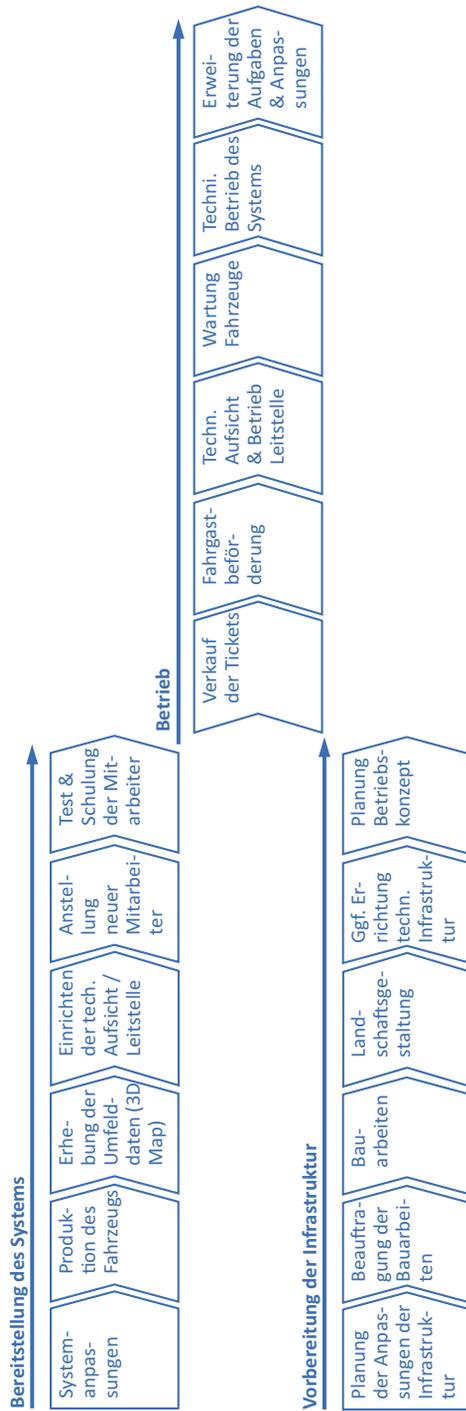


Abb. 7.3 Wertschöpfungskette automatisierte Busse SAE Level 4

schwierigen Verkehrssituationen durch manuellen Eingriff das Fahrzeug unterstützt. Bei der Beschaffung ist somit nicht nur die Funktionalität des Busses, sondern des Gesamtsystems einschließlich App zu berücksichtigen. Andererseits kann das Fahrzeug für die Planung der Verkehrslinien wesentliche Daten automatisch sammeln und der Zentrale zur Verfügung stellen.

Die automatisierten Fahrzeuge setzen zur Orientierung im geografischen Raum dreidimensionale hochauflösende Karten voraus. Diese werden für das gesamte Straßennetz oder das Gebiet erhoben, auf bzw. in dem das Fahrzeug unterwegs sein soll. Da diese Karten im Allgemeinen proprietär sind, wird die Erstellung der Karten, die auch Geo-Modelle genannt werden, durch den Hersteller der Fahrzeuge erstellt. Wesentliche Informationen wie Standort und Inhalt von Verkehrszeichen, Standort von Lichtsignalanlagen usw., die für das Geo-Modell notwendig sind, werden häufig durch die Kommunen bereitgestellt.

Da zum aktuellen Zeitpunkt die Fähigkeiten bezogen auf die Rahmenbedingungen, unter denen das automatisierte Fahrzeug reibungslos seinen Dienst verrichten kann, noch sehr eingeschränkt sind, wird es in vielen Fällen für einen sinnvollen Einsatz der Fahrzeuge Anpassungen im Bereich der Infrastruktur geben müssen. Diese können von der Herstellung einer Einbahnregelung für die Strecke, auf der das Fahrzeug verkehrt, bis hin zur Anpassung des Straßenverlaufs mit Einrichtung einer eigenen Fahrspur reichen. Diese Anpassungen können gemeinsam mit Maßnahmen aufgrund des Klimawandels (z. B. Beschattung der Hausfassaden durch Bäume) erfolgen (vgl. in diesem Handbuch, Abschn. 2.3 und 7.4).

Es kann von Nöten sein, dass zusätzliche technische Infrastruktur installiert wird, die dem automatisierten Fahrzeug zusätzliche Informationen liefert. Beispielsweise stellt das Abbiegen nach links mit der Überquerung der Gegenfahrbahn im Bereich einer nicht geregelten Kreuzung eine besondere Herausforderung für automatisierte Fahrzeuge dar. Um die Effizienz und den reibungslosen Betrieb der Fahrzeuge zu steigern, können Kameras installiert werden, die Auskunft über entgegenkommende Fahrzeuge geben.

ÖPNV sollte immer vernetzt verstanden und geplant werden. Durch den Einsatz von automatisierten Bussen kommt diesem Grundsatz nicht weniger Bedeutung zu. Wie oben bereits beschrieben, steckt die Stärke eines automatisierten ÖPNV gerade als Zubringer im Bereich der letzten Meile zu größeren Zug- oder Buslinien. Durch die Erstellung eines Fahrplans soll sichergestellt werden, dass die Nutzer:innen sicher den Anschlusszug oder -bus erreichen. Hier scheint in der Planung eine besondere Verantwortung bei der öffentlichen Hand zu liegen.

Durch die hohe Komplexität des Systems automatisierter ÖPNV erscheinen zwei Szenarien zur Aufteilung der Aufgaben zwischen Hersteller und Verkehrsunternehmen (öffentliche Hand). Der wesentlichste Unterschied zur Beschaffung eines traditionellen Busses, der noch einen Fahrer benötigt, liegt darin, dass im Falle eines automatisierten ÖPNV voraussichtlich eine Dienstleistung und in den meisten Fällen nicht das System (automatisierter Bus, Software für die Technische Aufsicht usw.) gekauft wird.

Die Wertschöpfungskette in Abb. 7.4 zeigt ein Beispiel für die Aufgabenverteilung eines Verkehrsunternehmens, das über einen ausreichend großen eigenen Personalstand und damit auch über die Managementressourcen verfügt, um das ÖPNV-Angebot für die Region oder die Kommune sicherzustellen. Das Verkehrsunternehmen nimmt nicht nur im Bereich der Planung die Führungsrolle ein, sondern positioniert sich auch während der Betriebsphase bestimmend in der Bereitstellung des automatisierten ÖPNV-Angebots. Selbst die Technische Aufsicht in Verbindung mit der Disposition der Fahrzeuge, der Überwachung der Fahrzeuginnenräume, der Koordination von Hilfskräften bei Notfällen usw. in der Leitstelle könnte von Mitarbeitern des Verkehrsunternehmens übernommen werden.

Abb. 7.5 stellt beispielhaft die Aufteilung von Aufgaben im Falle eines kleineren Verkehrsunternehmens einer kleineren Kommune dar, die unter Umständen bisher noch keinen eigenen innerstädtischen ÖPNV ihren Bürger:innen anbieten konnte. In diesem Fall ist das Leistungsangebot des Herstellers sehr breit und umfasst den gesamten Betrieb des ÖPNV-Angebots. Letztlich ist die Kommune ausschließlich im Bereich der Planung und Finanzierung und in der Leitstelle mit eigenem Personal aktiv tätig. Da die Planung direkte Auswirkungen auf das Mobilitäts-Ökosystem hat, muss die Kommune auch selbst die Verantwortung für diesen Arbeitsbereich ggf. unter Zuhilfenahme eines externen Dienstleisters übernehmen. Hier gilt es, die automatisierten Fahrzeuge klar als Werkzeuge zur Erreichung der Ziele der Mobilitätsstrategie zu erfassen.

Aufgrund der Möglichkeit, rasch und vor Ort auf Ereignisse in den Bussen oder im Umfeld der Busse reagieren zu können, sollte die Leitstelle auch in der Verantwortung des Verkehrsunternehmens verbleiben. Währenddessen stellt es kein Problem dar und erscheint auch deutlich effizienter, wenn die Technische Aufsicht durch den Hersteller oder einen Dienstleister, der den gesamten Betrieb des ÖPNV-Angebots erbringt (z. B. Deutsche Bahn), erfolgt.

Zwischen diesen zwei Szenarien sind mehrere Variationen der Aufgaben- und Verantwortungsaufteilung möglich. Abhängig von den bestehenden Ressourcen können mehr oder eben auch weniger Aufgaben durch die Kommune oder das Verkehrsunternehmen selbst übernommen werden. Die Nutzung der Synergien des Herstellers der Systeme oder andere Dienstleister, die in den meisten Fällen mehrere Systeme betreuen, stellt hierfür eine geeignete Lösung dar.

Welcher Takt scheint aus unserer Sicht mindestens und zu den Stoßzeiten maximal notwendig?

Zur Frage nach dem Takt für den ÖPNV bekommt man am ehesten eine Antwort, indem man sich die Frage stellt, was dazu führt, dass man lieber in sein Auto steigt, und was den Komfort ausmacht, den das Auto bietet. Zur Beantwortung dieser Frage finden sich auch Hinweise im Abschn. 4.1 „Akzeptanz und Attraktivität eines automatisierten ÖPNV“ sowie im Abschn. 2.2 „Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf“.

Bringen wir durch die Einrichtung eines ÖPNV-Angebots im Bereich der letzten Meile zwischen den Bahnlinien oder den großen Buslinien und den Orten, wo Menschen

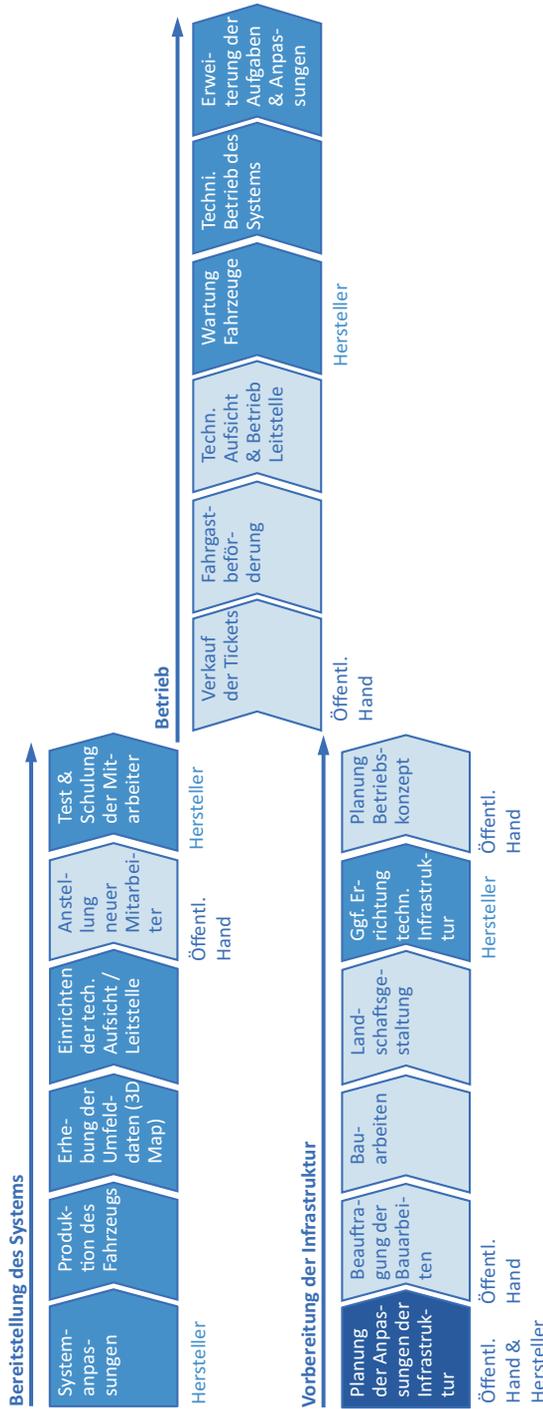


Abb. 7.4 Aufgabenverteilung im Falle eines größeren Verkehrsunternehmens

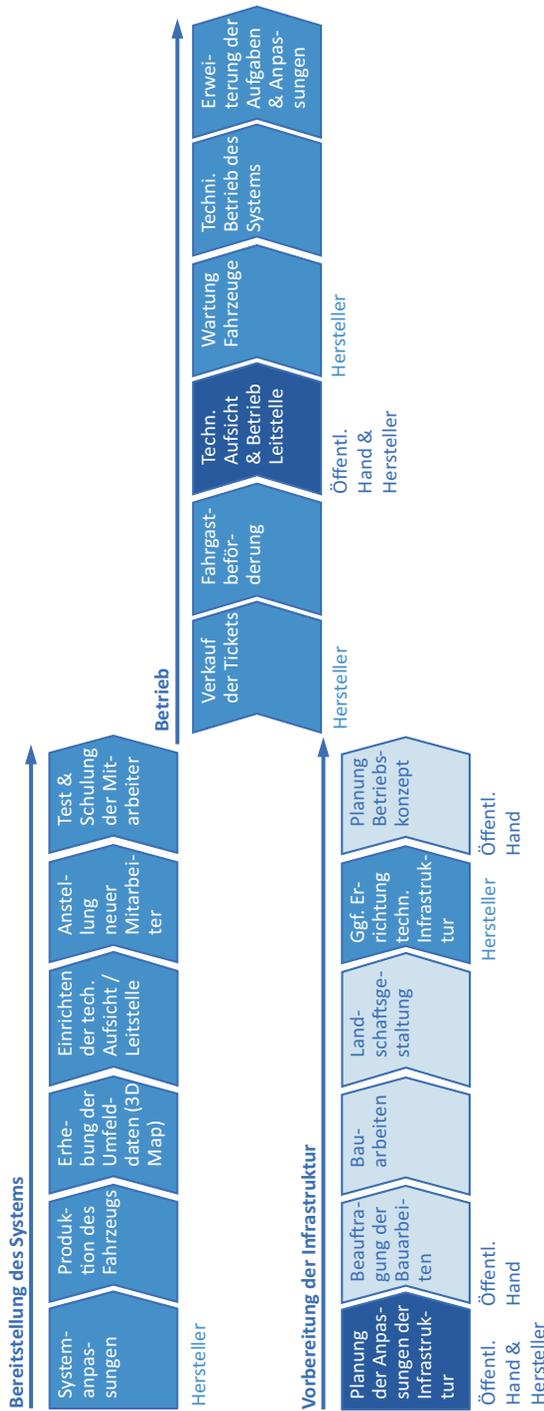


Abb. 7.5 Aufgabenverteilung im Falle einer kleineren Kommune, die vielleicht bis heute noch kein eigenes ÖPNV-Angebot hatte

sich aufhalten, näher zu den Menschen, dann scheint der Takt das bestimmende Element zu sein. Der Takt erscheint ausreichend hoch, wenn es keinen gravierenden Einfluss auf meinen gesamten Weg hat, ob ich einen Bus früher oder später nehme. Ein Takt, der unter zehn Minuten liegt, wird häufig nicht als schlimm wahrgenommen, wenn man den vorherigen Bus versäumt hat, da man ohnehin etwas zusätzliche Zeit eingeplant hat. Wesentlich ist jedoch die Verlässlichkeit des ÖPNV-Angebots auf der gesamten Wegstrecke.

Im Falle einer Streckenbindung: Wie viele Haltestellen soll es geben oder soll das automatisierte Fahrzeug individuell durch den Nutzer oder die Nutzerin angehalten werden können?

Gerade wenn es darum geht, für die Nutzer:innen mit dem ÖPNV ein attraktives Angebot bereitzustellen, das eine Alternative zum eigenen Auto darstellt, ist eine lokale Verfügbarkeit, d. h. der Weg zur nächsten Haltestelle ist nicht allzu weit, relevant (siehe dazu Abschn. 2.2 „Anforderungen an ein automatisiertes ÖPNV-Netz – Großstadtrand, Stadt, Umland und Dorf“).

Soll das Angebot gratis für die Nutzer:innen sein und, wenn nein, wie kann das Nutzungsentgelt für den automatisierten ÖPNV erhoben werden?

Ziel des Ausbaus des ÖPNV ist es, den Menschen eine attraktive Alternative zur Nutzung des privaten Autos zu bieten. Um die Attraktivität zu unterstützen, wird nicht nur in Deutschland die Einführung eines kostenlosen ÖPNV diskutiert und in manchen Städten sogar bereits eingeführt (mehr dazu in Abschn. 7.1 „Wie ist bei der Integration automatisierten Fahrens vorzugehen?“ und Abschn. 7.2 „Wie kann eine Mobilitätsstrategie entwickelt werden, die die gezielte Integration automatisierten Fahrens berücksichtigt bzw. wie lässt sich automatisiertes Fahren in eine bestehende Mobilitätsstrategie integrieren?“).

Neue Studien zum kostenlosen ÖPNV kommen jedoch zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. So zeigt eine Studie, für die knapp 7000 Haushaltsvorstände des forsa-Haushalts-Panels befragt wurden, dass 72 % der Antwortenden die Einführung eines kostenlosen ÖPNV befürworten würden.

Eine Studie der TU Dortmund auf Grundlage einer Untersuchung mit Hilfe eines agentenbasierten Modells, in der die Auswirkungen u. a. eines kostenlosen bzw. sehr günstigen ÖPNV simuliert und ausgewertet wurden, kam zum Schluss, dass das Angebot eines kostenlosen ÖPNV keinen signifikanten Einfluss auf die CO₂-Emissionen hat und keinen signifikanten Mehrwert für die Gesellschaft mit sich bringt.

Wie wird sichergestellt, dass auch spezifische Nutzergruppen (z. B. Kinder, mobilitätseingeschränkte Personen, Eltern mit Kinderwagen usw.) das Angebot in Anspruch nehmen können?

Damit die Menschen auch tatsächlich das automatisierte ÖPNV-Angebot nutzen wollen, muss die Dienstleistung aus der Perspektive der Fahrgäste und mit ihren unterschiedlichen Anforderungen an das Dienstleistungsangebot und das Fahrzeug entwickelt

werden. Eine besondere Rolle hierbei spielen die spezifischen Nutzergruppen. Dabei handelt es sich nicht nur um Menschen mit Mobilitätseinschränkung oder blinde und gehörlose Personen, sondern auch Eltern mit Kleinkindern, Kinder oder Menschen, die nicht die deutsche Sprache beherrschen.

Um deren spezifische Anforderungen zu verstehen, hilft es, sich den typischen Ablauf einer Fahrt zu vergegenwärtigen und sich in die Schuhe der jeweiligen Personen mit den spezifischen Anforderungen zu stellen. Mehr Informationen zu den Anforderungen spezifischer Nutzergruppen findet sich in Abschn. 4.2 „Anforderungen an die Nutzbarkeit eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung spezifischer Nutzergruppen“.

Sollen Bewegungsdaten anderen Applikationen beispielsweise zur statistischen Auswertung zur Verfügung gestellt werden?

Ein Grundsatz des Datenschutzes ist es, sparsam mit dem Sammeln und Aufbewahren von Daten umzugehen. Dieser Grundsatz steht diametral zum Bedürfnis der Nutzung von Daten, insbesondere von Bewegungsdaten zur Verbesserung des Mobilitätssystems und des ÖPNV-Angebots. Die Erfahrung mit Daten zeigt uns, dass zu einem späteren Zeitpunkt der Bedarf an Daten zur Auswertung und Analyse besteht, die man hätte erheben können, aber eben mit Rücksichtnahme auf den Datenschutz nicht erhoben hat.

Um aus diesem Dilemma herauszukommen, ist es notwendig zu verstehen, was es zu schützen gilt und was Daten grundsätzlich schützenswert macht. Die Bewegungsdaten einer bestimmten Person sind schützenswert, da sie in der weiteren Verarbeitung mit anderen Daten (z. B. geografische Daten, Daten über die besuchten Orte usw.) viele persönliche Informationen über die Person preisgeben, die niemanden etwas angehen und ggf. gegen die Person genutzt werden könnten. Anonymisierte Bewegungsdaten, die nicht mehr auf eine bestimmte Person bezogen werden können und als Rohdaten sicher gespeichert werden, können der individuellen Person nicht mehr schaden, sondern geben in ihrer Gesamtheit (die Bewegungsdaten eines großen Teils der Nutzer) Auskunft über die Qualität des Angebots bezogen auf alle Wege sowie über die Orte, die im Zuge der Wege passiert werden.

Demnach ist es notwendig, die Identität der Fahrgäste von deren Bewegungsdaten zu trennen. Um dies auch tatsächlich umzusetzen, muss die Entität, die den Kontakt zum Fahrgast hat, unabhängig von der Entität sein, die die Bewegungsdaten erhebt. Dies ist möglich, wenn die Erhebung der Daten an eine externe Organisation vergeben wird, während der Kundenkontakt und die Verrechnung beispielsweise beim Verkehrsbetrieb verbleiben. Der erhebende Akteur leitet auf Grundlage der Bewegungsdaten und der tarifbestimmenden Parameter ausschließlich den ermittelten Preis für die Fahrt gemeinsam mit einer Identifikationsnummer weiter, die es dem Verkehrsbetrieb erlaubt, den konkreten Preis der Fahrt der richtigen Person zuzuordnen. Vertraglich muss sichergestellt werden, dass der Akteur, der die Bewegungsdaten erhebt, nicht durch seinen Auftraggeber dazu gezwungen werden kann, Bewegungsdaten zu einer bestimmten Identifikationsnummer herauszugeben.

Grundsätzlich sind auch beispielsweise Modelle vorstellbar, bei denen die Bewegungsdaten überhaupt nie das Mobiltelefon des Fahrgasts verlassen und im Nachhinein nur die Summensätze oder den jeweiligen Preis der Fahrt an den Verkehrsbetrieb weiterleiten. In diesem Fall stehen jedoch die Daten keiner weiteren Auswertung zur Verfügung.

Wird auf diese Weise vorgegangen, können die anonymen Bewegungsdaten nicht nur gesichert gespeichert, sondern auch für Analysen und Auswertungen weitergegeben werden.

7.5.2 Definition der Anforderungen

Wenn Anforderungen definiert werden sollen, stellen sich viele ausschreibende Stellen eine konkrete Lösung vor. Insbesondere wenn es sich um technische Systeme handelt, wie beispielsweise bei automatisierten Bussen, kann die Beschreibung der konkreten technischen Lösung dazu führen, dass es nur einen Bewerber gibt oder dass mit der Einführung solcher Lösungen Patentrechte anderer Hersteller missachtet werden, was zu langwierigen Konflikten vor Gericht führen kann und ggf. sogar zum Stilllegen des erst neu aufgebauten Systems. Daher ist es notwendig, abstrakte Anforderungen zu formulieren, die ausschließlich die Funktionalität, die erwartete Dienstleistung oder die Qualität beschreiben. Folgend einige Beispiele für die Definition von Funktionen, Dienstleistungen und Qualitätsparametern für die Ausschreibung eines automatisierten Busses SAE Level 4:

Beispiele Anforderungen an die Funktionalität

- Der zum Fahrgast in Fahrtrichtung nächste Bus muss durch die Signalisierung (Anhaltesignal) des Fahrgastes per App über die Information verfügen, wo sich der Fahrgast an der vorgegebenen Strecke befindet, und muss an dieser Stelle anhalten.
- Der Bus muss das Anhaltesignal eines Fahrgastes an einer Position, die der Bus bereits passiert hat, ignorieren.
- Der Bus muss über die Information zur spezifischen Nutzergruppe (z. B. Rollstuhlfahrer) spätestens mit dem Erhalt des Anhaltesignals dieses Fahrgastes verfügen.
- Der Bus muss beim Erreichen der Position, wo der Fahrgast sich aufhält, der einer spezifischen Nutzergruppe angehört, jene Schritte ausführen, die es dem Fahrgast ermöglichen, die Fahrt mit dem Bus anzutreten. Folgende bestimmten Anforderungen je spezifischer Nutzergruppe sind hierfür zu beachten:

Beispiele Anforderungen an die Dienstleistung

- Die Technische Aufsicht muss 24 h/365 Tage im Jahr verfügbar sein und die automatisierten Fahrzeuge bei der Ausführung ihrer Fahraufgaben unterstützen.

- Die Technische Aufsicht muss entsprechend den nationalen gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien (z. B. das deutsche StVG) eingerichtet und qualifiziert werden. Der Auftraggeber hat das Recht, zur Sicherstellung der im Gesetz geforderten Anforderungen an die Technische Aufsicht die Umsetzung dieser Anforderungen zu überprüfen. Dafür muss der Auftragnehmer dem Auftraggeber alle Instrumente einschließlich des Zutrittsrechts zu den Räumlichkeiten der Technischen Aufsicht bereit- und zur Verfügung stellen.
- Die Technische Aufsicht muss folgende Aufgaben erfüllen:
 - Unterstützung der automatisierten Busse SAE Level 4 bei der Ausführung ihrer Fahraufgaben.
 - Entsprechende Maßnahmen ergreifen im Falle eines Notfalls, um die Sicherheit der Fahrgäste und der anderen Verkehrsteilnehmer sicherzustellen.
 - Entsprechende Maßnahmen ergreifen im Falle von Fehlfunktionen, Störungen bzw. Ausfällen.
 - Entsprechende Maßnahmen in Absprache mit der Leitstelle oder der Polizei ausführen, wenn ein Eingreifen in das Fahrgeschehen von der Leitstelle oder der Polizei verlangt wird (z. B. Anhalten des Fahrzeugs).
- Das für die Technische Aufsicht eingesetzte Personal muss für die Aufgaben eines Agenten der Technischen Aufsicht qualifiziert worden sein. Hierfür muss der Auftragnehmer ein Qualifizierungskonzept, den Zeitplan der Qualifizierungsmaßnahmen einschließlich der Ziele und Inhalte sowie die Schulungsunterlagen für die Qualifizierungsmaßnahmen dem Auftraggeber vorlegen.

Beispiele Anforderungen an die Qualität

- Die Ausfälle jedes Busses (β) pro Beobachtungszeitraum ($BZ\beta$) von 365 Tagen (8760 h) dürfen in der Summe nicht mehr als 122,5 h einschließlich der Zeiten für die Wartung betragen. Dies entspricht einer Verfügbarkeit von 98,6 % bzw. einer Ausfallrate von 1,4 %.
 - Die Ausfallzeit ($AZ\beta$) wird auf Grundlage der Tickets zur Meldung eines Ausfalls bzw. der Meldung der Behebung des Ausfalls im ITSM-System dokumentiert und gemessen. Jeder Ausfall eines Busses muss gemeldet werden.
 - Zur Berechnung der Ausfallrate ($AR\beta$) kommt folgend Formel zu Anwendung:

$$AR\beta = \frac{AZ\beta}{BZ\beta}$$

Es ist hinsichtlich des Vergabeverfahrens darauf zu achten, dass für jede Anforderung auch ein Nachweis erbracht wird. Dieser Nachweis wird in den meisten Fällen in einer einfachen Bestätigung zu jeder Anforderung beispielsweise durch das Ankreuzen eines Bestätigungsfeldes liegen. Für jene Anforderungen, die hinsichtlich der funktionalen und technischen oder operativen Ausführung der Anforderung interessant sind, kann ein

Konzept als Nachweis oder ein Feldtest gefordert werden. Hierfür sind genaue Angaben zu Ziel und Inhalt des Konzepts oder Angaben zur Durchführung des Feldtests notwendig. Außerdem müssen nachvollziehbare und nach Möglichkeit messbare Kriterien für die Bewertung dieser Nachweise formuliert werden. Dazu siehe Abschn. 7.5.3 „Definition der Eignungs- und Zuschlagskriterien“.

7.5.3 Definition der Eignungs- und Zuschlagskriterien

Bei einem öffentlichen Vergabeverfahren werden zur Auswahl eines geeigneten Auftragnehmers sowohl Eignungskriterien als auch Zuschlagskriterien durch die vergebende Stelle definiert.

Eignungskriterien haben das Ziel, den Bieterkreis auf jene potenziellen Bieter zu reduzieren, die fachlich, technisch und wirtschaftlich fähig sind, die ausgeschriebene Dienstleistung oder das Produkt auch tatsächlich innerhalb der vertraglich vorgeschriebenen Rahmenbedingungen und entsprechend der geforderten Qualität auszuführen. Als Nachweis dieser Fähigkeit werden häufig die Beschreibung von für das Projekt passenden Referenzen sowie formale Nachweise wie der Handelsregisterauszug, die Selbstdeklaration der Umsätze der vergangenen drei Jahre, eine Bestätigung der Vermögenshaftpflichtversicherung usw. gefordert.

Die **Zuschlagskriterien** dienen der Auswahl des besten Auftragnehmers aus der Gruppe der grundsätzlich geeigneten Bieter. Während es bei der Prüfung der Eignung im Allgemeinen um ein KO-Verfahren geht, d. h. jeder, der die Eignungskriterien nicht erfüllt, scheidet aus, werden die Bieter im Auswahlverfahren auf Grundlage der Zuschlags- bzw. Auswahlkriterien bewertet. Die Zuschlagskriterien umfassen das Preiskriterium und die Qualitätskriterien. Dabei spielt das Verhältnis zwischen Preis und Qualität eine wesentliche Rolle.

Das **Zuschlagskriterium Preis** kann beispielsweise wie folgt definiert werden:

- Die maximal mögliche Anzahl Punkte für den Preis und die maximal erreichbare Punktzahl für die Qualität machen zusammen 100.
- Der vergebenden Stelle ist die Qualität des Systems und der Dienstleistung besonders wichtig und sie entscheidet sich für ein Verhältnis zwischen Preis und Qualität von 30 zu 70 % (maximal erreichbare Anzahl Punkte für den Preis ist 30 von insgesamt 100 erreichbaren Punkten).
- Die Anzahl der Punkte für den Preis errechnet sich wie folgt:

$$\text{Punkte Preis} = 30 * \frac{\text{Niedrigster Angebotspreis [EUR]}}{\text{Angebotspreis des bewerteten Angebots}}$$

- Geht man davon aus, dass der günstigste Angebotspreis EUR 7 Mio. ist, so ist der Wert jedes Punktes EUR 233.333. D. h., dass der theoretische Wert der Qualität beim

Preis-Qualitäts-Verhältnis von 30 zu 70 sehr hoch ist. Dessen sollte man sich bei der Definition der Qualitätskriterien bewusst sein oder das Verhältnis zwischen Preis und Qualität entsprechend anpassen.

Die **Zuschlagskriterien Qualität** verlangen nach einem Nachweis, der tatsächliche Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit und Qualität der erwarteten Dienstleistung des Bieters ermöglicht. Hier sind vor allem zwei Formen der Nachweise zu empfehlen:

- Eine **Teststellung**: Eine Teststellung weist ein bestimmtes Testfeld, beispielsweise eine durch den Auftraggeber definierte Strecke aus, die ein automatisierter SAE Level 4 Shuttle (ein Shuttle je Bieter) befahren muss. Diese Strecke kann unterschiedliche Verkehrsverhältnisse beinhalten und muss von jedem automatisierten Shuttle mehrfach befahren werden, um für alle Shuttle in der Summe die gleichen Bedingungen herzustellen. Die Qualität der Fähigkeiten der Shuttle könnte beispielsweise über die durchschnittliche Geschwindigkeit für die Befahrung der gesamten Strecke bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h gemessen werden. Zusätzlich könnte die Anzahl der Eingriffe in das Fahrgeschehen durch die Technische Aufsicht gezählt werden. Der wesentliche Vorteil dieses Vorgehens liegt in der tatsächlichen Überprüfung der Qualität der Fahrzeuge und/oder des technischen Systems und damit in der Objektivität des Kriteriums. Der wesentlichste Nachteil liegt im hohen Aufwand zur Vorbereitung der Teststellung durch den Auftraggeber und die sehr hohen Kosten für die Bieter. Um die Kosten des Vergabeverfahrens mit Teststellung für die Bieter nicht zu hoch ausfallen zu lassen, wird durch die ausschreibende Stelle ein Teil der Kosten der unterlegenen Bieter pauschal abgegolten.
- Ein **Konzept**: Durch ein Konzept können insbesondere Funktionen des Systems oder Fragestellungen bezogen auf den Betrieb beispielsweise des automatisierten ÖPNV-Angebots nachgewiesen werden. Ein Systemkonzept könnte z. B. die Beschreibung des Zusammenspiels zwischen Technischer Aufsicht und der im Feld fahrenden automatisierten Shuttles beleuchten und es könnte dabei der Frage nachgegangen werden, wie technisch und funktional mit Störungen umgegangen wird. Damit könnte die Resilienz des Systems überprüft werden. Ein anderes Beispiel für ein Konzept als Nachweis wäre die konkrete funktionale und technische Beschreibung, wie man gewährleisten möchte, dass ein Rollstuhlfahrer den automatisierten Bus nutzen könnte. Die größte Schwierigkeit bei Konzepten als Nachweis für ein Zuschlagskriterium liegt in der Definition der Kriterien zur Bewertung des Konzepts, da so weit als möglich objektiv bewertet werden sollte. Der Vorteil von Konzepten ist die Möglichkeit, einen Eindruck vom betrieblichen Vorgehen der Bieter zu bekommen und die Lösungskompetenz der Bieter wahrnehmen zu können.

Neben den oben genannten beiden Formen zum Nachweis von Qualitätskriterien durch die Bieter gibt es selbstverständlich noch andere, und dem Ideenreichtum sind keine

Grenzen gesetzt. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die zur Bewertung der Nachweise angelegten Kriterien möglichst objektivierbar sind.

Nicht zu empfehlen sind Qualitätskriterien, bei denen mehr Punkte zu erreichen sind, wenn der Bieter bei den Leistungsparametern (Key Performance Indicators – KPI) einen höheren Zielerreichungsgrad verspricht. Diese werden dann meist im täglichen Betrieb nicht erreicht und die als Konsequenz folgenden Pönalen haben einen negativen Einfluss auf den Betrieb und die Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. In den meisten Fällen führt dies nicht zur Kündigung des Vertrags.

Fazit zu Abschn. 7.5

Das Um-und-Auf eines jeden gelungenen öffentlichen Beschaffungsvorgangs ist es, ein klares Bild über den zu beschaffenden Gegenstand (Dienstleistung oder technisches System) und dessen Ausprägung zu haben. Bevor auch nur eine Zeile hinsichtlich der Anforderungen an das automatisierte ÖPNV-Angebot verfasst wird, sollte die ausschreibende Stelle sich im Klaren sein, was mit der Umsetzung der Beschaffung erreicht werden soll und welche Konsequenzen dies für das Mobilitätssystem haben wird.

Diese Klarheit wirkt sich auf die Qualität der Ausschreibung und in Folge auf den Erfolg des Betriebs des automatisierten ÖPNV-Angebots und seine Wirkung für die Mobilitätswende aus.

7.6 Gesetzlicher Rahmen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge

Mario Zweig

Im folgenden Kapitel werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Zulassung von automatisierten Fahrzeugen insbesondere des automatisiertem ÖPNV im Regelbetrieb dargestellt. Dies ist seit der Gesetzesnovelle des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) 2021 in Deutschland möglich. In der Schweiz sowie in Österreich sind derzeit ausschließlich Zulassungen für den Testbetrieb erlaubt.

7.6.1 Zulassung von automatisierten SAE Level 1 bis 3 Fahrzeugen

Für automatisierte Fahrzeuge SAE Level 1–3, hierbei handelt es sich um Fahrzeuge ohne Automatisierung (L1), mit Assistenzsystemen (L2) und teilautomatisierte (L3) Fahrzeuge, werden nach wie vor entsprechend dem Verfahren zur Erteilung der Betriebs-erlaubnis bzw. der Genehmigung ohne Beteiligung des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA)

angewendet. Dazu wird das Begutachtungsverfahren basierend auf den Bauvorschriften des einzelnen Fahrzeugs zur Erlangung einer Einzelbetriebserlaubnis, mit ggf. festzulegenden Ausnahmen von den jeweiligen Bauvorschriften, durchgeführt. Durch Ausnahmegenehmigungen gemäß § 70 StVZO für die „Erprobung und den Betrieb automatisiert und autonom fahrender Kraftfahrzeuge“ wird der Einsatz von SAE Level 2 und 3 Fahrzeugen legitimiert.

Die Zulassungsprüfung besteht aus zwei Teilen, 1. der Fahrzeugprüfung und 2. der Streckenbeurteilung.

Ad 1. Im Rahmen der Fahrzeuguntersuchung werden die automatisierten Fahrfunktionen hinsichtlich der Möglichkeit der Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr auf Basis des § 30 StVZO geprüft. Ausnahmen von § 30 StVZO sind nicht zulässig. Für die Überprüfung automatisierter Fahrfunktionen sind Prüfscenarien zu entwickeln, die als Grundlage zur Gefährdungsprüfung dienen. Die Ergebnisse dieser Überprüfung der automatisierten Fahrfunktionen werden dann in einem Prüfbericht zur funktionalen Sicherheit dargelegt.

Ad 2. In der Streckenbeurteilung wird überprüft, inwiefern die für den konkreten Betrieb der automatisierten Fahrzeuge und ihre entsprechenden technischen Fähigkeiten im jeweiligen Automatisierungsgrad vorgesehene Strecke auch geeignet ist.

Das Ergebnis wird in einem Bericht festgehalten, mit dem der Antragsteller bei der jeweiligen oberen Landesbehörde eine Genehmigung des Fahrzeuges mit den notwendigen Ausnahmen beantragen kann und im Anschluss ggf. die Zulassung erhält. Parallel dazu wird bei der jeweiligen oberen Landesbehörde die Erlaubnis nach § 29 StVO für die vorgesehene Strecke erteilt.

7.6.2 Zulassung von automatisierten SAE Level 4 Fahrzeugen

Die Zulassung und der Betrieb automatisierter Fahrzeuge SAE Level 4 erfolgt in Deutschland entsprechend der Novelle des StVG 2021 in zwei Schritten:

- Genehmigung des automatisierten Fahrzeugs
- Genehmigung des festgelegten Betriebsbereichs

Wenn die Zulassung erfolgt ist, sind jedoch für den Betrieb der automatisierten Fahrzeuge spezifische Anforderungen an den Hersteller und den Halter der Kraftfahrzeuge sowie an die *Technische Aufsicht* gestellt, die entweder durch den Hersteller oder den Halter sichergestellt wird. Die *Technische Aufsicht* ist eine natürliche Person, die den Betrieb der hochautomatisierten Fahrfunktion deaktivieren bzw. teilweise steuern kann. Dabei kann sich die Technische Aufsicht im Fahrzeug befinden oder die Fahrfunktion aus der Ferne beaufsichtigen.

Genehmigung des automatisierten Fahrzeugs SAE Level 4

Für die Genehmigung eines automatisierten Fahrzeugs SAE Level 4 benötigt der Hersteller zunächst eine Betriebserlaubnis für das Fahrzeug, welche beim Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) entsprechend § 1e Abs. 4 StVG zu beantragen ist. Die diesbezüglichen Voraussetzungen werden in § 3 Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und-Betriebs-Verordnung (AFGBV) konkretisiert. Dem Hersteller wird mit § 3 Abs. 2 AFGBV für das (nationale) Genehmigungsverfahren insbesondere ein Vorschriftenkatalog an die Hand gegeben, der definiert, welche Beschreibungen und Erläuterungen durch ihn zu erstellen sind und welche Unterlagen dem KBA vorzulegen sind.

Der Prüfungsumfang des KBA wird ebenfalls in § 3 AFGBV dargestellt. Entsprechend Absatz 4 sind unter anderem die technischen Anforderungen der Anlage I zur AFGBV einzuhalten. Mit dieser Anlage I hat das deutsche Verkehrsministerium (BMDV) einen umfassenden Anforderungskatalog an Kraftfahrzeuge mit „autonomer Fahrfunktion“ erstellt.

Darüber hinaus sind vom Fahrzeughersteller die *Operational Design Domain* (ODD), der bauartbedingte Einsatzbereich, festzulegen und zu definieren. Darin müssen die spezifischen Betriebsbedingungen im Hinblick auf z. B. geografisches Umfeld, Tageszeit, Verkehrslage, Beschaffenheit der Infrastruktur, Geschwindigkeitsbereich, Wetter, Notwendigkeit externer Sensoren usw. definiert werden. Die ODD bildet die Grundlage für die Erteilung einer Betriebserlaubnis gemäß § 4 AFGBV durch das KBA.

Die Abb. 7.6 zeigt automatisierte Kleinbusse, die auf eigenen, baulich abgetrennten Fahrbahnen verkehren. Diese Streckenführung ermöglicht es, SAE Level 4 Fahrzeuge schon zu einem Zeitpunkt in einem vernünftigen Regelbetrieb einzusetzen, zu dem die



Abb. 7.6 Automatisierte Kleinbusse in ihrem Betriebsbereich mit hohen ODD-Anforderungen (Suwin/shutterstock.com)

automatisierten Fahrfunktionen noch nicht voll ausgeprägt sind. Hinsichtlich eines automatisierten ÖPNV kann dies, wenn auf irgendeine Weise der notwendige Raum freigemacht werden kann, die Attraktivität des ÖPNV deutlich steigern, weil die ÖPNV-Fahrzeuge schneller als der motorisierte Individualverkehr (MIV) im Mischverkehr und ggf. im Stau vorankommen.

Genehmigung des festgelegten Betriebsbereichs

Auf einer zweiten Stufe ist der Betriebsbereich, in dem das autonome Fahrzeug eingesetzt werden darf, zu genehmigen. Auch hierzu werden in der Verordnung Regelungen getroffen, die sowohl die Voraussetzungen als auch das Verfahren zur Genehmigung beschreiben. Nach § 7 Abs. 1 AFGBV erfolgt die Festlegung des Betriebsbereichs durch den Fahrzeughalter des automatisierten Kraftfahrzeuges, wobei die Voraussetzungen für den Antrag in § 8 AFGBV konkretisiert werden. Für die Genehmigung durch die zuständige Behörde ist entscheidend, ob der Betriebsbereich für den Betrieb des konkreten Fahrzeuges geeignet ist (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 i. V. m. Abs. 2 AFGBV). Hierfür hält das KBA Rücksprache mit der entsprechenden Landesbehörde.

Liegen sowohl die Betriebserlaubnis als auch die Genehmigung des festgelegten Betriebsbereichs vor und besteht eine entsprechende Kraftfahrzeug-Haftpflichtversicherung, kann das automatisierte Fahrzeug zugelassen werden. Die Zulassung des Fahrzeuges wird gemäß der Fahrzeug-Zulassungs-Verordnung (FZV) durch die entsprechende Behörde durchgeführt. Dies ist in § 11 AFGBV geregelt.

Konkretisierung der Anforderungen an Hersteller, Halter und Technische Aufsicht

Sowohl dem Hersteller (§ 12 AFGBV) als auch dem Halter (§ 13 AFGBV) werden weitergehende Pflichten auferlegt. Besonderes Augenmerk ist auf die konkreten Anforderungen an die Technische Aufsicht (§ 1d Abs. 3 StVG) zu legen. Diesbezüglich wurde bereits mehrfach die Frage aufgeworfen, ob und welche Voraussetzungen an die Qualifikation der Technischen Aufsicht geknüpft sind. Mit § 14 AFGBV wird klar gestellt, dass die als Technische Aufsicht eingesetzte Person für die damit verbundenen Aufgaben geeignet sein muss. Die Eignung wird anhand von hohen Anforderungen an die Qualifikationen konkretisiert, was bereits im Vorgriff erhebliche Kritik erfahren hat. So muss die Person u. a. über ein abgeschlossenes technisches Studium verfügen oder staatlich geprüfter Techniker sein. Dadurch könnte ein wirtschaftlicher Betrieb automatisierter Fahrzeuge erheblich erschwert werden und die digitalen, neuen Mobilitätsangebote sicher nicht in dem Maße gefördert werden, wie dies eigentlich gewünscht ist.

7.6.3 Ausblick

Mit der Verordnung (AFGBV) wurden 2022 entscheidende Vorgaben ergänzt, die im Rahmen der StVG-Novelle 2021 bewusst ausgespart wurden. Vor diesem Hintergrund erscheint ein zeitnahe Einsatz von autonomen Fahrzeugen in festgelegten Betriebs-

bereichen durch Hersteller und Anbieter von Mobilitätslösungen grundsätzlich als möglich – wenngleich man wohl weiterhin, u. a. wegen der hohen Anforderungen in § 14 AFGBV, nicht über einen Erprobungsverkehr hinauskommen wird.

Spätestens im Rahmen der mit Ablauf des Jahres 2023 vorgesehenen Evaluierung (§ 11 StVG) wird festzustellen sein, ob die bestehenden Regelungen im StVG mit den Konkretisierungen der Verordnung harmonisieren und auf nationaler Ebene eine sichere Rechtsgrundlage für den (wirtschaftlichen) Regelbetrieb von autonomen Fahrzeugen in festgelegten Betriebsbereichen bieten.

7.7 Automatisierter ÖPNV in der betrieblichen Umsetzung aus Sicht der Verkehrsunternehmen

Christoph Marquardt und Constantin Pitzen

Die Einführung von Level-4-Bussen im ÖPNV wird zu einem kompletten Umbau der vorhandenen ÖPNV-Unternehmen führen. Hierbei geht es sowohl um technische Infrastrukturen und neue Prozesse wie auch um das Selbstverständnis der Unternehmen. In diesem Kapitel wird der wichtigste Änderungsbedarf auf der Betreiberseite beschrieben, auch wenn die künftig erforderlichen Strukturen zum jetzigen Zeitpunkt selbstverständlich längst nicht klar sind.

Vor dem Hintergrund der Ziele zur Reduzierung der verkehrsbedingten Klimabelastung hat die Bündelung von Verkehrsströmen in großen Fahrzeugen mit ihrem geringen Energieverbrauch pro Sitzplatz eine zentrale Bedeutung. Fahrerlose Fahrzeuge helfen, den ÖPNV in Zeiten von Personalmangel und begrenzter öffentlicher Finanzen auszubauen und somit auch außerhalb der Großstädte nutzbar zu machen. Die Verkehrsangebote des ÖPNV müssen hinsichtlich ihrer Fahrtzahl und Betriebszeiten auf einem dichteren Netz als heute verfügbar sein.

Der Einsatz autonomer Fahrzeuge birgt aber nicht nur eine Vielzahl von technischen Herausforderungen für den Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr, sondern erfordert auch den Umbau der Verkehrsunternehmen in allen ihren Bereichen.

7.7.1 Aufbau der Technischen Aufsicht

Das novellierte Straßenverkehrsgesetz StVG sieht vor, dass autonome Fahrzeuge kontinuierlich durch eine Technische Aufsicht (TA) zu überwachen sind. Level-4-Fahrzeuge fällen autonome Entscheidungen. Allerdings wird es Verkehrssituationen geben, bei denen ein Mensch auch weiterhin eingreifen muss.

Die TA muss jederzeit die Möglichkeit haben, die autonomen Fahrfunktionen zu deaktivieren sowie dem Fahrzeug Manöver vorzuschlagen. Sie sorgt für einen „risikominimalen Zustand“, sobald eine sichere Weiterfahrt nicht mehr möglich ist bzw.

das Fahrzeug selbst keine Entscheidung fällen kann, wie z. B. beim kurzfristigen Ausweichen in den Gegenverkehr. Die TA wird jedoch keinen direkten Zugriff auf die Steuerung des Fahrzeuges haben, sondern lediglich auf das System. Aus dieser Anforderung ergeben sich verschiedene Anforderungen:

- Die TA ist eine natürliche Person. Der Gesetzgeber sieht vor, dass ihre Aufgaben durch Ingenieure oder qualifizierte Mitarbeiter mit mehrjähriger Erfahrung und Zertifikat wahrgenommen werden.
- Eine ständige Datenverbindung zwischen der TA und den Fahrzeugen in Echtzeit stellt sicher, dass die TA in Echtzeit Videos vom Fahrbetrieb erhält und mit den Fahrgästen kommunizieren kann. Voraussetzung hierfür wird eine 5G-Mobilfunkverbindung sein.
- Der Arbeitsplatz der TA umfasst eine Bildschirmüberwachung der Fahrzeuge sowie eine Technik zur Übermittlung von Fahrmanövern. Die TA darf zwar das autonome Fahrzeug nicht steuern (direktes teleoperiertes Fahren), aber die TA kann dem Fahrzeug Fahrmanöver vorschlagen, die das Fahrzeug bewerten und durchführen kann (indirektes teleoperiertes Fahren).
- Die TA sollte auf einen möglichen Ausbau und Erweiterung ausgerichtet sein und eine Skalierbarkeit ermöglichen. Mit zunehmender Erfahrung wird das Verhältnis zwischen Mitarbeitern der TA und der Anzahl der betreuten Fahrzeuge von anfänglich 1: 1 auf eine größere Anzahl überwachter Busse pro Mitarbeiter angehoben. Über das erreichbare Verhältnis gibt es bislang keine Erfahrungen. Dadurch lassen sich erst zu einem späteren Zeitpunkt und auf Basis neuer Erfahrungswerte Aussagen zur Kombinierbarkeit von Fahrzeugüberwachung und weiteren Aufgaben, wie z. B. der Kundenkommunikation, fällen.

Die TA wird Aufgaben übernehmen, die von den heutigen Leitstellen der Verkehrsunternehmen nicht wahrgenommen werden mussten. Ob die Aufgaben der heutigen Leitstellen mit der TA zusammengefasst werden können, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch offen.

Eine besondere Herausforderung stellt die Anschlusssicherung zwischen fahrerlosen Fahrzeugen sowie zwischen automatisierten und konventionellen Bussen dar. Über die VDV-Schnittstelle lässt sich zwar sicherstellen, dass ein Übergang zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln möglich ist, aber woran erkennt das fahrerlose Fahrzeug einen heraneilenden Fahrgast?

Die Kommunikation mit den Fahrgästen wird ein weiteres zu entwickelndes Thema sein, da der Fahrer für eventuelle Problemlösungen nicht zur Verfügung steht. Eine Kommunikation über Video in zwei Richtungen wird helfen, die Ängste von Fahrgästen zu verringern. Denkbare Probleme können sich beispielsweise in den folgenden Situationen ergeben: Auskunft bei betrieblichen Unregelmäßigkeiten, Fundsachen, verlorengegangene Kinder, Probleme beim Zugang von mobilitätseingeschränkten

Menschen, Streit zwischen Fahrgästen, Einschränkung wegen Verschmutzung oder Vandalismus.

7.7.2 Fahrmeister 4.0

Mit dem Wegfall des Fahrers entfällt der persönliche Kontakt zwischen dem Verkehrsunternehmen, den Fahrgästen und den übrigen Teilnehmern des öffentlichen Straßenverkehrs. Im Fall von Unregelmäßigkeiten im Betrieb bzw. im Straßenverkehr oder bei Problemen von Fahrgästen kann dies zu Beeinträchtigungen des Betriebes und damit zu Akzeptanzproblemen führen.

Die Verkehrsunternehmen werden verstärkt Mitarbeiter im Verkehrsgebiet mobil einsetzen müssen, um Probleme vor Ort zu regeln. Der frühere Verkehrsmeister (West) oder Dispatcher (Ost) erhält in einem Unternehmen mit fahrerlosen Fahrzeugen eine neue und zentrale Bedeutung für die Sicherstellung eines attraktiven und sicheren ÖPNV-Angebotes. Seine Tätigkeit wird eng mit der Technischen Aufsicht für den Level-4-Betrieb verbunden sein, um wirksam zu sein.

Bei einer Betriebsstörung, einer außerplanmäßigen Abweichung oder im schlimmsten Falle bei einem Unfall muss die Aufsicht in der Lage sein, aktuelle Situationen schnellmöglich zu erkennen, den Handlungsbedarf zu ermitteln und eine Eingriffsmöglichkeit zu haben. Mögliche Fälle, die zu lösen sind:

- Fahrzeugpanne (Problemlösung vor Ort oder Austausch des Fahrzeuges)
- Unfall mit oder ohne Personenschäden
- Unregelmäßigkeiten auf der Strecke, z. B. Hindernisse, Sperrungen oder Fahrzeug kann dort nicht fahren; Freigabe (entsprechend StVG), damit das Fahrzeug weiterfahren kann
- Kommunikation mit den Fahrgästen (siehe Kapitel [7.7.7](#))

Die Rolle des bisherigen Fahrmeisters oder Dispatchers wird neu definiert werden. Das Betätigungsfeld ist deutlich stärker im Außeneinsatz mit Verantwortung für kleinere Fahrzeugflotten von mehreren Bussen zu sehen. Dieses hat eine gravierende Veränderung des Berufsbildes zur Folge und setzt eine erhebliche Weiterqualifikation voraus.

Das Berufsbild des Fahrmeisters 4.0 wird zukünftig zu einem Verkehrsmanager mit vielfältigen Aufgaben und Kompetenzen aufgewertet. Gefordert ist eine interdisziplinär ausgebildete Allroundkraft, die der Komplexität und Vielschichtigkeit der Aufgabe gewachsen ist.

7.7.3 Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Straßen

Der Betrieb von fahrerlosen Fahrzeugen ist nur möglich, wenn es durch die Straßeninfrastruktur ermöglicht wird. Im Level 4 kann das Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr mitschwimmen und gewöhnliche Verkehrssituationen bewältigen. Weil aber das Fahrzeug noch nicht alle Fähigkeiten eines menschlichen Fahrers hat, ist das Fahrzeug in seinen Einsatzmöglichkeiten eingeschränkt. Dadurch können nur Verkehrsverhältnisse beherrscht werden, die die fahrerlosen Busse auch bewältigen können. Um einen reibungslosen Betrieb zu ermöglichen, sollte die nachfolgende nicht abschließende Liste von Anforderungen erfüllt sein:

- Straßenbreiten ermöglichen problemlose Begegnungen mit dem Gegenverkehr.
- Freie Sichtdreiecke gewährleisten die Einsehbarkeit von Kreuzungen und ermöglichen die Funktion der Sensorik.
- Straßenschäden sind gering zu halten, um die Ortung der Fahrzeuge nicht zu stören.
- Fahrbahnmarkierungen sind eindeutig und helfen bei der Ortung.
- Road-Side-Units (RSU) übertragen den Status von Lichtsignalanlagen („grün“ oder „rot“), Wechselverkehrszeichen, Bahnübergängen und anderen Verkehrszeichen an die Fahrzeuge per Funk (5G) im Sinne einer V2X-Kommunikation.
- Digitale Karten mit allen relevanten straßenverkehrstechnischen Informationen (Abgrenzung der Fahrbahn, zulässige Höchstgeschwindigkeiten, statische Verkehrszeichen etc.) sind aktuell, rechtssicher und verfügbar, ggf. sogar mit Informationen vernetzter Fahrzeuge aktualisiert.
- Änderung an Verkehrsregelungen und Fahrbahnen im Fall von Baustellen, Veranstaltungen, Unfällen und anderen Fällen werden umgehend in die digitale Karte aufgenommen.

Aus diesen Anforderungen ergibt sich der Bedarf zu Abstimmung und Informationsaustausch zwischen dem Verkehrsunternehmen, dem Straßenbaulastträger (Planung sowie kurz- und langfristige Störungen) und der Straßenverkehrsbehörde (Zulassung von Fahrzeugen), Polizei (Verkehrsüberwachung) und ggf. dem Verkehrsdatenmanagement.

7.7.4 Anpassung Akku-Ladung, Fahrzeugpflege und -instandhaltung

Bei den Aufgaben der Akku-Ladung, der Fahrzeugpflege und der Instandhaltung fahrerloser Busse wird die Tatsache zu berücksichtigen sein, dass der Mensch einerseits nicht überall und ständig eingreifen kann und andererseits Möglichkeiten zur Optimierung von Abläufen auf einem Betriebs Hof genutzt werden müssen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Finanzierbarkeit des zukünftigen ÖPNV mit einem starken digitalen und

technischen Kostenanteil von der Nutzung von Synergien und Mengeneffekten beeinflusst wird.

Erste Sammlung von Fragestellungen zur Fahrzeugpflege und Instandhaltung von fahrerlosen Fahrzeugen im ÖPNV:

1. Der fahrerlose Bus kann sich nicht selbst helfen, wenn im Betriebseinsatz technische Probleme auftreten, die ein menschlicher Fahrer üblicherweise selber gelöst hätte, wie z. B. ein Türdefekt. Das Verkehrsunternehmen wird folglich ein größeres Serviceteam für den Fall von technischen Problemen auf der Strecke bereithalten müssen. Sicherlich lassen sich ähnliche Aufgaben, wie bedarfsweise die Reinigung während des Einsatzes oder Betreuung von Fahrgästen im Fall von Problemen, bündeln.
2. Der ÖPNV setzt heute i. d. R. Fahrzeuge mit großen Kapazitäten ein, weil die Kosten des Fahrpersonals rund 70 % der Produktionskosten verursachen. Möglicherweise wird die Einführung fahrerloser Fahrzeuge zu einer stärkeren Differenzierung der Fahrzeuggrößen führen. So hat beispielsweise VW mit der Vorstellung von Sedric bereits einen 4-Sitzer für die Schülerbeförderung präsentiert. Die Werkstätten werden sich folglich stärker auf unterschiedlich große Fahrzeuge einzustellen haben.
3. Die Kostenstruktur des Busbetriebes wird nicht zuletzt von den Betriebsabläufen auf dem Betriebshof bestimmt. Die abends einlaufenden Fahrzeuge sind zu tanken bzw. zu laden, innen zu reinigen, außen zu waschen und in der richtigen Reihenfolge für den morgendlichen Auslauf bereitzustellen. Auf großen Betriebshöfen werden die Fahrzeuge bislang durch gesonderte Fahrer von Station zu Station gefahren. Autonome Fahrfunktionen können hier zu einer erheblichen Absenkung des Personalaufwandes beitragen. Dies erfordert eine Anpassung der Betriebshofdisposition mit Standorterfassung und Planung.
4. Für das Anschließen eines batteriebetriebenen Fahrzeuges wird i. d. R. kein Personal bereitstehen, weil dies anderenfalls zu einem großen zusätzlichen Aufwand führen würde. Für die Automatisierung des Ladevorgangs ist eine geeignete Infrastruktur aufzubauen, sei es über Pantographen, Induktionsschleifen oder Kabelverbindungen in Verbindung mit einem Roboterarm.

7.7.5 Anpassung der IT der Verkehrsunternehmen für den Einsatz autonomer Fahrzeuge

Sämtliche Bereiche eines Verkehrsunternehmens werden durch digitale Prozesse gesteuert. Der fahrerlose Busverkehr wird zusätzliche Automatisierungen erforderlich machen, weil die Mitarbeiter nicht mehr überall zur Überwachung und für Problemlösungen stets zur Verfügung steht.

Eine Sammlung von neuen Regelungsbedarfen:

- Aufbau der TA (s. o.) mit Verknüpfung zur Verkehrsüberwachung der Verkehrsbehörden (soweit verfügbar), zu Baustellenmanagement des Straßenbaulasträgers (Kenntnis über Baustellen) und Disposition
- Programmierung des Fahrweges, Fahrweginformation mit Schnittstelle zur Fahr- und Dienstplanung
- Disposition der Routen für On-Demand-Verkehrsangebote (flexibler Fahrweg, flexible Fahrzeiten)
- Disposition zur Anschlussicherung unter Nutzung der VDV-Schnittstelle für Datenaustausch mit anderen Verkehrsunternehmen (s. o.)
- Kommunikation mit Fahrgästen im Bus mit Schnittstellen zu Polizei, Ordnungsamt und Rettungsdiensten (s. o.)
- Betriebshofmanagementsystem (s. o.) mit Steuerung der Fahrzeuge für innerbetriebliche Fahrten zur Waschanlage, zur sonstigen Fahrzeugpflege, zur Akku-Ladung, zur Abstellung
- Abschätzungen zu Reisendenströmen (Verkehrsmengen) sowie zum Reisendenverhalten an Knoten zur Planung von Kapazitäten

7.7.6 Planung des ÖPNV

Die automatisierten fahrerlosen Fahrzeuge ermöglichen die Umsetzung von Betriebskonzepten, die aus Gründen der Finanzierbarkeit oder aufgrund von Fahrermangel bislang nicht umsetzbar werden konnten. Die neuen Möglichkeiten werden – wenn es einen konventionellen ÖPNV auch künftig gibt – zu einem Wachstum von Fahrzeugen und neuen Betriebsleistungen beitragen. Auf nachfragestarken Achsen können die Kapazitäten erhöht und Fahrtenfolgen verdichtet werden. Auf nachfrageschwachen Achsen bzw. in nachfrageschwachen Räumen können angebotsorientierte und attraktive Betriebskonzepte realisiert werden, die bislang nicht umgesetzt werden konnten (vgl. Abschn. 2.2).

Die Planung neuer ÖPNV-Angebote, die sich der Möglichkeiten fahrerloser Fahrzeuge bedienen, führt zu einem verbesserten Angebotsniveau und damit auch zu Leistungsmengen, die mit dem Status quo nicht vergleichbar, aber für die Erfüllung der CO₂-Minderungsziele erforderlich sind. Das Maß der Veränderung der ÖPNV-Planung ist aber von einer Vielzahl externer Einflüsse abhängig:

- Welche Restriktionen für den Einsatz der Level-4-Fahrzeuge werden in absehbarer Zeit zu berücksichtigen sein, wie z. B. Ausschluss der Befahrung von Straßen mit hohen Fahrgeschwindigkeiten oder unübersichtlichen Verkehrssituationen. Zudem beeinflusst der Umsetzungsprozess zur Aufrüstung der Lichtsignalanlagen mit RSU die Geschwindigkeit der Umsetzung aufgrund der zu erwartenden Investitionskosten erheblich.

- Erlauben die künftigen Kostenstrukturen eine erhebliche Ausweitung des ÖPNV-Angebotes? Die Kostenstrukturen werden von den Investitionskosten in Fahrzeuge, in die Infrastruktur (s. o.) und das Zahlenverhältnis zwischen Mitarbeitern der TA und Fahrzeugen beeinflusst.
- Wie sehen die politischen Rahmenbedingungen für den ÖPNV aus? In welchem Umfang stehen finanzielle Mittel zur Verfügung oder wie werden sich die Kosten für die Nutzung des motorisierten Individualverkehrs entwickeln? Entscheidend wird zudem auch die Marktaufteilung zwischen dem privaten Mietwagengewerbe bzw. privaten Buchungsplattformen und dem von Aufgabenträgern verantworteten ÖPNV sein.

7.7.7 Marketing-Kommunikation

Die Kommunikation gewinnt in Bezug auf den Einsatz von fahrerlosen Bussen in mehrfacher Hinsicht an Bedeutung. Zum einen muss der Kontakt zwischen Unternehmen und Fahrgast auch dann sichergestellt werden, wenn kein Fahrer mehr an Bord ist. Zum anderen macht der Einsatz der neuen Technologie und die für viele Kunden neue und ungewohnte Nutzung der Digitalisierung ein Umdenken erforderlich.

Nachdem nicht mehr in jedem Fahrzeug ein Ansprechpartner in Person eines Fahrers oder Schaffners vorhanden ist, muss die vertrauensvolle Beziehung von Fahrgast zu Technik aufgebaut werden. Das Vertrauen gilt es zunächst aufzubauen und danach dauerhaft zu fördern.

Für die neue Form des Kundendialogs müssen die Sorgen und eventuellen Vorbehalte der Kunden von Beginn an ernst genommen werden.

Für die Bereitschaft, sich in die Abhängigkeit der Technik zu begeben, muss geworben werden. Dafür müssen neue Wege der Kommunikation gefunden werden. Unter anderem können Trainings und Angstseminare dazu beitragen, dass die notwendige Akzeptanz zum neuen Angebot geschaffen wird und sich der Kunde auch weiterhin im ÖPNV wohlfühlt.

7.7.8 Kundenbetreuung

Durch den Wegfall des Fahrers an Bord der Fahrzeuge muss die Kundenbetreuung neu aufgebaut werden. Die regelmäßige Kontrolle und Bestreifung der Busse kann dabei stichprobenhaft vorgenommen werden. In Zeiten und Bereichen mit Konfliktpotenzial sind allerdings auch intensivere Personaleinsätze notwendig.

Die Unterstützung von Kunden an Verknüpfungsanlagen, auf Busbahnhöfen oder an aufkommensstarken Haltestellen gehört dabei ebenfalls zu den Aufgaben einer Kundenbetreuung. Damit kann sichergestellt werden, dass in Situationen, in denen es notwendig ist, eine Assistenz, Hilfestellung und Unterstützung angeboten werden kann oder ein Mitarbeiter rasch zu einem möglichen Einsatzort gelangt.

Fazit und Empfehlungen zu Abschn. 7.7

Die Einführung von Level-4-Bussen im ÖPNV bewirkt einen umfassenden Transformationsprozess im Verkehrsunternehmen. Das Ausmaß von Umsetzung und Wirkung ist aber von externen Rahmenbedingungen abhängig.

Um ein Lernen mit der neuen Technik möglich zu machen und die zunächst eingeschränkten Fähigkeiten autonomer Fahrzeuge sinnvoll nutzen zu können, bietet sich eine Umsetzung in Stufen an. Aufgaben mit einfachen Verkehrsverhältnissen können zuerst übernommen werden, z. B. kleine Ortsbusse mit geringen Geschwindigkeiten, Zubringer auf kurzen Strecken zur Bahn und zu konventionellen Linien. Erst zu einem späteren Zeitpunkt wird der Einsatz von Fahrzeugen mit größeren Kapazitäten auf schnellen Linien bei komplexen Verkehrsverhältnissen möglich.

Aufgrund der steigenden Anforderungen an den ÖPNV zum Erreichen der CO₂-Klimaschutzziele, der Daseinsvorsorge und aufgrund des absehbar steigenden Wettbewerbsdrucks zu Mietwagen- bzw. Ridepooling-Angeboten im Rahmen von gebündeltem Bedarfsverkehr wird die Nutzung der neuen Technologie eine entscheidende Bedeutung für die Aufgabenträger und die Unternehmen des ÖPNV erlangen.

Literatur

Huber-Erler R, Feuerbach S, Weisz S (2017) Klimafreundliches Lindauer Mobilitätskonzept (KliMo), Lindau

Meder E et al (2021) Fortschreibung Nahverkehrsplan für den Landkreis Lindau

Constantin Pitzen (Dipl.-Ing. Raumplanung) kennt die Welt des ÖPNV aus der Perspektive großer und kleiner Verkehrsunternehmen, von Aufgabenträgern und Verkehrsgemeinschaften, aus seiner Arbeit als externer Verkehrsplaner, aber auch als Vertreter von Bürgerinitiativen, Umwelt- und Verkehrsverbänden. Als Geschäftsführer der Fahrplangesellschaft B&B mbH entwickelt er seit 10 Jahren betriebsnahe und innovative Konzepte für den ÖPNV sowohl im ländlichen wie auch im städtischen Raum und vertritt diese erfolgreich in politischen Gremien. Als sich abzeichnete, dass eines Tages fahrerlose Fahrzeuge in den Verkehrsmarkt eintreten würden, initiierte er mit dem Büro autoBus ein Netzwerk für autonomes Fahren im ÖPNV und begleitet seither Forschungsprojekte bei Konzeption, Genehmigungsverfahren und Umsetzung.

Prof. Dr. Heiner Monheim (Jg. 1946) ist Geograf, Stadt- und Verkehrsplaner und bekleidete 16 Jahre die Leitung des Infrastruktureferats BfLR (heute BBSR) des Bauministeriums, in NRW leitete er 10 Jahre das Referat Stadtverkehr und Verkehrsberuhigung im Verkehrsministerium. 16 weitere Jahre war er Professor für Raumentwicklung und Landesplanung an der Universität Trier. Seit 2007 ist er Mitinhaber der raumkom-Büros für Raumentwicklung und Kommunikation. Dort bearbeitet er Projekte für Kommunen, Kreise, Ministerien und Verkehrsunternehmen. Sein Schwerpunkt liegt auf der Konzeptarbeit für die Verkehrswende in den

Bereichen öffentlicher Verkehr, Fuß- und Fahrradverkehr, Gestaltung öffentlicher Räume sowie Städtebau und Verkehr. Heiner Monheim war Mitbegründer des ADFC, des VCD und des Forums Mensch und Verkehr sowie des „Bündnis Bürgerbahn für eine starke Schiene.“

Mario Zweig (Dipl.-Ing. (FH)) hat sich nach seinem Maschinenbau-/Fahrzeugtechnikstudium der Automobiltechnik zugewandt und ist jetzt als Teamleiter Typprüfung/Homologation im DEKRA Automobil Test Center am Lausitzring in Klettwitz tätig. Schwerpunktthemen sind Typpgenehmigungen und ABEs für Fahrzeuge aller Fahrzeugklassen und deren Bauteile. Hinzu kommen neue Aufgaben durch die Themenbereiche ADAS (Fahrerassistenzsysteme) und automatisiertes Fahren sowie nationale Einzelabnahmen für automatisierte Fahrzeuge nach StVZO.

Gutachten gemäß der AFGBV (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebs-Verordnung) für autonome Fahrzeuge ab Level 4 sind dabei u. a. die neuen Schwerpunkte.

Robert Yen (Mag. theol.) ist Vorstand und Partner der Rapp Trans in Deutschland. Seit rund 25 Jahren ist er als Berater für verschiedene internationale Unternehmen tätig. Seit 2002 arbeitet Robert Yen auf dem Feld der intelligenten Verkehrssysteme. In dieser Zeit war er u. a. als Technischer Projektleiter in Vergabeverfahren bzw. bei der Errichtung von landesweiten Mautsystemen international tätig. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Entwicklung von Systemstrategien und -konzepten sowie das Design und die Implementierung von Mautsystemen und anderen ITS-Anwendungen. Seit 2015 beschäftigt sich Robert Yen zunehmend mit dem Themenbereich automatisiertes Fahren und der Transformation der Mobilität angesichts der Klimakrise.

Christoph Marquardt (Dipl.-Ing. Raumplanung) ist spezialisiert auf die Bereiche ÖPNV- und Mobilitätsplanung. Nach seinem Studium an der Universität Dortmund war er in Verkehrsunternehmen, bei Aufgabenträgern und in Planungsbüros tätig und verfügt inzwischen über eine mehr als 30-jährige Berufserfahrung. Seit 2004 ist Christoph Marquardt Geschäftsführer des von ihm gegründeten Büros MOBILE ZEITEN und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Themen „Optimierung von ÖPNV-Strukturen“ und „Mobilität im ländlichen Raum“. In den vergangenen sieben Jahren hat er sich im Rahmen von nationalen und internationalen Projekten mit der Nutzung automatisierter und autonomer Fahrzeugtechnik für den ÖPNV auseinandergesetzt. Dabei geht es vor allem um die Entwicklung zukunftsfähiger Nahverkehrsstrukturen, in denen fahrerlose Busse Bedienungsaufgaben übernehmen können.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

