

TEXTE

133/2023

Abschlussbericht

Digitalisierung im Verkehr

Vorschläge für Regelungskonzepte und Rahmenbedingungen zur Realisierung einer nachhaltigen Mobilität

von:

Frank Bruns, Ralph Straumann
EBP Deutschland GmbH, Berlin

Claudia Nobis, Martin Winter, Viktoriya Kolarova
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin

Astrid Karl, Christian Burgdorf, Jan Werner, Jonas Frölicher, Lea Regling
KCW GmbH, Berlin

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 133/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3718 58 100 0

FB001062

Abschlussbericht

Digitalisierung im Verkehr

Vorschläge für Regelungskonzepte und
Rahmenbedingungen zur Realisierung einer nachhaltigen
Mobilität

von

Frank Bruns, Ralph Straumann
EBP Deutschland GmbH, Berlin

Claudia Nobis, Martin Winter, Viktoriya Kolarova
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin

Astrid Karl, Christian Burgdorf, Jan Werner, Jonas
Frölicher, Lea Regling
KCW GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

EBP Deutschland GmbH
Am Hamburger Bahnhof 4
10557 Berlin

Abschlussdatum:

November 2022

Redaktion:

Fachgebiet I 2.1 Umwelt und Verkehr
Björn Verse

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Digitalisierung im Verkehr

Die Digitalisierung im Verkehr – verstanden als Herstellung von Verfügbarkeit und Zugang zu Mobilitätsangeboten über digitale Anwendungen, die Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle bis hin zur vollständigen Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen – weckt hohe Erwartungen. Dies gilt auch und insbesondere mit Blick auf die Potenziale einer Digitalisierung im Verkehr, zum Klimaschutz und einer nachhaltigen Ausgestaltung des Verkehrs beizutragen.

Die vorliegende Studie untersucht anhand identifizierter Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Digitalisierung im Verkehr Regelungsansätze und -konzepte, die der Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität dienen. Durch das fortentwickelte automatisierte Fahren sind erhebliche Auswirkungen zu erwarten. Die sich daraus ergebenden Risiken und Chancen für die ökologisch nachhaltige Entwicklung des Verkehrs und die Möglichkeiten der öffentlichen Hand, diese Entwicklung im Sinne einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung – unter Berücksichtigung von Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz sowie Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs – zu lenken, stehen im Mittelpunkt der Studie. Untersucht werden die jeweiligen Entwicklungen in den „Teilsystemen“ der physischen und digitalen Infrastruktur, des motorisierten Individualverkehrs, des öffentlichen Personenverkehrs und des Güterverkehrs.

Ergebnis der Studie ist eine gesamthafte Darstellung der zur Regulierung der Digitalisierung im Verkehr und insbesondere des automatisierten und vernetzten Fahrens erforderlichen Maßnahmen mit Fokus auf ihrer Zielrichtung und in ihrem Zusammenwirken (regulativer Gesamtrahmen).

Abstract: Digitalization in the transport sector

Digitalization in the transport sector – that is making mobility services digitally available and accessible, facilitating new business models, culminating in completely automated and connected vehicles – raises high expectations. This is also and especially true when it comes to the potential of the digitalization in the transport sector for contributing to climate protection and making transport (more) sustainable.

This report analyses approaches and concepts of regulating the digitalization in the transport that support implementing an ecologically sustainable mobility; that analysis is based on identified potential paths of development and potential use cases. An advanced vehicle automation level is expected to have substantial impacts. This report focuses on corresponding risks and opportunities concerning an ecologically sustainable mobility and with regard to the ability of public authorities to steer transport developments into the direction of an ecologically sustainable mobility, taking into consideration individual mobility, climate protection, energy efficiency, transport safety, health protection, reduced use of land area and resources. The pertaining examination focuses on the following ‘subsystems’: the physical and digital infrastructure, private car use, public transport and transport of goods.

The report results in a comprehensive presentation of the measures required to regulate the digitalization in the transport sector, and especially to regulate automated and connected driving, according to the regulatory aims and their interrelation.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
Glossar	16
Zusammenfassung.....	24
Summary	28
1 Einleitung.....	31
2 Problemaufriss und methodisches Vorgehen	33
2.1 Problemaufriss	33
2.2 Methodisches Vorgehen	35
2.2.1 Schritt 1: Festlegung von Prüfkriterien für eine ökologisch nachhaltige Mobilität	36
2.2.2 Schritt 2: Beschreibung von Anwendungsfällen	36
2.2.3 Schritt 3: Identifizierung von Regulierungserfordernissen	40
2.2.4 Schritt 4: Identifizierung von rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfen	41
2.2.5 Schritt 5: Gesamthafte Auswertung	41
3 Zielausrichtung: ökologisch nachhaltige Mobilität	42
3.1 Klimaschutz, Treibhausgasreduktion und Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr	42
3.2 Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs	45
3.3 Sicherheit insbesondere für den Fuß- und Radverkehr	46
3.4 Luftreinhaltung und Lärmreduktion	47
3.5 Abgeleitete Kriterien für ökologisch nachhaltige Mobilität.....	48
4 Systematisierung und Festlegung der untersuchten Anwendungsfälle.....	51
4.1 Überblick: Digitalisierung im Verkehr	52
4.1.1 Digitalisierung und digitale Transformation	52
4.1.2 „Digitale“ Fahrdienste.....	53
4.1.3 Überblick automatisiertes Fahren	54
4.1.3.1 Automatisierung im Straßenverkehr	54
4.1.3.2 Automatisierung im Schienenverkehr	56
4.1.4 Überblick Vernetzung	57
4.1.5 Infrastrukturelle Mindestvoraussetzungen	59
4.2 Denkbare Entwicklungslinien in den Teilsystemen Infrastruktur, MIV, ÖV und GV	61
4.2.1 Physische und digitale Infrastruktur	61
4.2.1.1 Physische und digitale Infrastruktur für automatisiertes und vernetztes Fahren.....	61

4.2.1.2	Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Serviceleistungen	63
4.2.2	Motorisierter Individualverkehr	65
4.2.3	Öffentlicher Verkehr	67
4.2.4	Güterverkehr.....	70
5	Regulierungserfordernisse für eine ökologisch nachhaltige Mobilität	73
5.1	Übergreifende Regulierungserfordernisse für den automatisierten und vernetzten Verkehr.....	73
5.1.1	Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität	73
5.1.1.1	Zusätzlicher Energieverbrauch durch neue IT-Systeme	73
5.1.1.2	Fahrweise automatisierter Fahrzeuge	74
5.1.1.3	Veränderung im Verkehrsfluss bzw. im Verkehrsverhalten	74
5.1.1.4	Vernetzung und Routenwahl	74
5.1.1.5	Auswirkungen auf Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs	75
5.1.2	Konkrete übergreifende Regulierungserfordernisse	76
5.2	Regulierungserfordernisse der Teilsysteme	76
5.2.1	Physische und digitale Infrastruktur	76
5.2.1.1	Physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren	77
5.2.1.2	Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen	81
5.2.2	Motorisierter Individualverkehr	87
5.2.2.1	Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität	87
5.2.2.2	Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?	90
5.2.2.3	Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem MIV	90
5.2.3	Öffentlicher Verkehr	92
5.2.3.1	Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität	92
5.2.3.2	Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?	95
5.2.3.3	Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem ÖV	95
5.2.4	Güterverkehr.....	97
5.2.4.1	Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität	97
5.2.4.2	Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?	100
5.2.4.3	Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem GV	100
6	Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe	104
6.1	Digitale Infrastruktur für den Straßenverkehr	105
6.1.1	Regulierungserfordernisse.....	105

6.1.2	Bestehende Rechtsnormen.....	106
6.1.3	Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	107
6.2	Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr	108
6.2.1	Regulierungserfordernisse.....	108
6.2.2	Bestehende Rechtsnormen.....	110
6.2.3	Rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	110
6.3	Straßenverkehrsregeln.....	111
6.3.1	Regulierungserfordernisse.....	111
6.3.2	Bestehende Rechtsnormen.....	112
6.3.3	Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	113
6.3.3.1	Zielausrichtung des Straßenverkehrsrechts und Verbindung mit Mobilitäts- und Verkehrsplanung.....	113
6.3.3.2	Weitere Anpassungsbedarfe speziell für das fahrerlose Fahren	114
6.4	Öffentliche Straßeninfrastruktur	115
6.4.1	Regulierungserfordernisse.....	115
6.4.2	Bestehende Rechtsnormen.....	115
6.4.3	Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	117
6.5	Öffentlich-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente	117
6.5.1	Regulierungserfordernisse.....	117
6.5.2	Bestehende Rechtsnormen.....	118
6.5.3	Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	120
6.6	Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr	121
6.6.1	Regulierungserfordernisse.....	121
6.6.2	Bestehende Rechtsnormen.....	122
6.6.3	Rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf	123
6.7	Schwerpunkt Güterverkehr.....	124
6.7.1	Regulierungserfordernisse.....	124
6.7.2	Bestehende Rechtsnormen.....	125
6.7.3	Rechtlicher Klärungs- und Anpassungsbedarf	126
6.8	Zusammenfassung: Handlungsbedarfe des Gesetzgebers	127
7	Beispielhafte Formulierungsvorschläge für Änderungen von Rechtsnormen	130
7.1	Verkehrsgewerberecht: Automatisierte und autonome Busse im ÖPNV	130
7.1.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten	131
7.1.1.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen des PBefG.....	131

7.1.1.2	Formulierungsvorschläge für Änderungen der BOKraft	132
7.1.1.3	Formulierungsvorschläge für Änderungen der BefBedV	134
7.1.2	Begründungsansätze	136
7.1.2.1	Allgemein	136
7.1.2.2	Zu den Änderungen des PBefG	136
7.1.2.3	Kein Konflikt mit der Verordnung (EG) Nr. 1071/2009	140
7.1.2.4	Zu den Änderungen der BOKraft	142
7.1.2.5	Zu den Änderungen der BefBedV	143
7.2	Straßenverkehrsrecht: Dynamische Beschränkung des MIV	143
7.2.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten	144
7.2.1.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen der StVO	144
7.2.1.2	Formulierungsvorschläge für Änderungen der VwV-StVO	145
7.2.2	Begründungsansätze	147
7.2.2.1	Einklang mit der Verordnungsermächtigung	148
7.2.2.2	Kein Verstoß gegen den Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit des Straßenverkehrsrechts	149
7.2.2.3	Verhältnismäßigkeit	149
7.2.3	Weitere Hinweise	150
7.3	Straßenverkehrsrecht: Beschränkung des Parksuchverkehrs	150
7.3.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten	151
7.3.1.1	Formulierungsvorschläge für Änderungen der StVO	151
7.3.1.2	Formulierungsvorschläge für Änderungen der VwV-StVO	151
7.3.2	Begründungsansätze	152
7.3.2.1	Vereinbarkeit mit der Ermächtigungsgrundlage	152
7.3.2.2	Keine Erweiterung des Ordnungswidrigkeitenkatalogs erforderlich	152
7.3.2.3	Verhältnismäßigkeit	152
7.3.3	Weitere Hinweise	153
8	Gesamthafte Auswertung	154
8.1	Ziel: Ökologisch nachhaltiges, digitalisiertes Gesamtverkehrssystem	155
8.2	Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung	156
8.3	Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV	159
8.4	Gezielte Stärkung des Umweltverbunds	163
8.5	Personenbeförderung: In den ÖV integrierte fahrerlose Sammelfahrdienste	166

8.6	Güterverkehr: Stärkung Schiene, Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr.....	168
8.7	Zulassung von automatisierten Fahrzeugen mit Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit	170
8.8	Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr.....	173
8.8.1	Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren	173
8.8.2	Digitales Verkehrsmanagement.....	174
8.8.3	Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang und für Mobilitäts-Serviceleistungen	176
9	Quellenverzeichnis	179
A	Anhang: Zielbild und Prüfkriterien zum Refoplan Projekt “Digitalisierung im Verkehr – Regulativer Rahmen“ (Input des UBA, April 2020).....	187

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Methodisches Vorgehen	35
Abbildung 2:	Kriterien für ökologisch nachhaltige Mobilität.....	36
Abbildung 3:	Übersicht zur rechtlichen Sortierung der Regulierungserfordernisse	41
Abbildung 4:	Klimaschutz und Treibhausgasreduktion im Verkehr.....	44
Abbildung 5:	Taxonomie von Geschäftsmodellen im Verkehr gemäß Remane et al. (2017).....	52
Abbildung 6:	Systematik Begriffsverwendung Fahrdienste.....	54
Abbildung 7:	Automatisierungsstufen gemäß SAE International (2018).....	55
Abbildung 8:	Anteil der Automatisierungsstufen im weltweiten Fahrzeugpark von Pkws und leichten Nutzfahrzeugen (Nfz) bis 2040	56
Abbildung 9:	Automatisierungsgrade nach UITP	57
Abbildung 10:	Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem Infrastruktur	61
Abbildung 11:	Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem MIV	65
Abbildung 12:	Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem ÖV	68
Abbildung 13:	Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem Güterverkehr	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen	37
Tabelle 2:	Verwendeten Quellen zur Herausarbeitung der Anwendungsfälle	38
Tabelle 3:	Weltweite Neuzulassungen von Fahrzeugen nach Automatisierungsstufe bis 2040.....	56
Tabelle 4:	Grundgesetzliche Zuständigkeiten für den Verkehr.....	128
Tabelle 5:	Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs	158
Tabelle 6:	Straßenverkehrsregeln	161
Tabelle 7:	Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente	162
Tabelle 8:	Ausbau des ÖV-Systems	164
Tabelle 9:	Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr.....	167
Tabelle 10:	Verhältnis Güterverkehr Schiene und Straße.....	169
Tabelle 11:	Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr	172
Tabelle 12:	Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren.....	173
Tabelle 13:	Digitales Verkehrsmanagement	175
Tabelle 14:	Digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung	177

Abkürzungsverzeichnis

5G	fünfte Mobilfunk-Generation
ABl.	Amtsblatt der Europäischen Union
Abs.	Absatz
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
App	Applikation (Internet/Smartphone-Anwendung)
Art.	Artikel
ATO	Automatic Train Operation
BefBedV	Allgemeine Beförderungsbedingungen für den Straßenbahn- und Obusverkehr sowie den Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen
B2B	„Business-to-business“ (zwischen zwei oder mehreren Unternehmen)
B2C	„Business-to-consumer“ (zwischen Unternehmen und Konsumenten)
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit auch (bis 8.12.2021): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BOKraft	Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr
BuMoG-Entwurf	Entwurf eines Bundesmobilitätsgesetzes
C2C-CC	CAR to CAR Communication Consortium
CA	Cooperative Awareness
CAM	Cooperative Awareness Message
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems and Services
CP	Cooperative Perception
C-V2X	Cellular V2X
DAWI	„Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse“
DB	Deutsche Bahn
DELFI	Durchgängige Elektronische Fahrplaninformation
DEN	Decentralized Environmental Notification
DENM	Decentralised Environmental Notification Message
d.h.	das heißt
DSRC	Dedicated Short-Range Communications
ebd.	ebenda
EG	Europäische Gemeinschaft
etc.	et cetera
ETCS	European Train Control System

ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ETSI TC ITS	European Telecommunications Standards Institute Technical Committee ITS
EU	Europäische Union
f./ff.	folgende/fortfolgende
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
GG	Grundgesetz
ggü.	gegenüber
ggf.	gegebenenfalls
GHz	Gigahertz
GV	Güterverkehr
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
i.d.R	in der Regel
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IT	Informationstechnik
ITS	Intelligent Transport Systems and Services
IVS	(digitales) Intelligentes Verkehrssystem
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KV	Kombinierter Verkehr
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
MDM	„Mobilitäts Daten Marktplatz“
MDV	Mobilitätsdatenverordnung
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Nr.	Nummer
o.ä.	oder ähnlich
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Personenverkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
RegG	Regionalisierungsgesetz
resp.	respektive
S.	Seite
SAE	Society of Automotive Engineers
sog.	sogenannt(e/er)
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
t	Tonne
Tkm	Tonnenkilometer

UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UITP	Union Internationale des Transports Publics
UN	United Nations Organization (Organisation der Vereinten Nationen)
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe)
URL	Uniform Resource Locator – Angabe Internetquellen
V2I	„Vehicle-to-Infrastructure“
V2M	„Vehicle-to-mobile“
V2N	„Vehicle-to-network“
V2V	„Vehicle-to-Vehicle“
V2X	„Vehicle-to-Everything“
vgl.	vergleiche
VRU	Vulnerable Road Users (besonders gefährdete Straßennutzende)
VwV-StVO	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung
WLAN	Wireless LAN (LAN = local area network)
z. B.	zum Beispiel

Glossar

Begriff	Erläuterung
Fahrdienst	<p>Fahrdienst steht in dieser Studie als Oberbegriff für die Beförderung von Personen in Kraftfahrzeugen auf Abruf bzw. nach Bedarf (vgl. Abbildung 6, S. 54). Herkömmliche und bekannteste Form des Fahrdienstes ist der Taxiverkehr (vgl. dort). Die Digitalisierung ermöglicht neue Formen wie den per App bestellbaren (Sammel-)fahrdienst (vgl. dort) mit softwaregesteuerter Disposition und Routing sowie Zugang und Abrechnung über eine Smartphone-App. Hier handelt es sich um taxiähnliche Angebote. In Deutschland sind auf Grundlage des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) drei Formen von App-basierten Fahrdiensten möglich: a) per App vermittelte Exklusivfahrten mit zugelassenen Fahrzeugen des „Mietwagenverkehrs“ (vgl. dort) b) potenzielle Sammelfahrten im „gebündelten Bedarfsverkehrs“ (vgl. dort) oder c) potenzielle Sammelfahrten im „Linienbedarfsverkehr“ (vgl. dort).</p>
gebündelter Bedarfsverkehr	<p>Eine der vom PBefG vorgesehenen Formen des „Gelegenheitsverkehrs“ (vgl. dort) mit Personenkraftwagen. Der gebündelte Bedarfsverkehr wird näher bestimmt in § 50 PBefG. Fahrten des gebündelten Bedarfsverkehrs finden auf Abruf statt und sind (potenziell) gebündelt („Sammelfahrdienst“, „Ridepooling“).</p> <p>Es besteht keine Beförderungs- oder Betriebspflicht. Soweit von der Genehmigungsbehörde keine speziellen Vorgaben erfolgen, die unter dem Vorbehalt öffentlicher Verkehrsinteressen stehen, besteht auch keine Pflicht zur Einhaltung behördlich festgelegter Beförderungsentgelte und -bedingungen.</p>
Gelegenheitsverkehr	<p>Eine im PBefG festgelegte Verkehrsart. Es handelt sich um Verkehre, die sich nach individuellen Bedürfnissen richten (z. B. Taxi, Mietwagenverkehr, gebündelter Bedarfsverkehr) oder die dem Bedarf abgegrenzter Gruppen dienen (z. B. Verkehr mit Mietomnibussen). § 46 PBefG formuliert: „Gelegenheitsverkehr ist die Beförderung von Personen mit Kraftfahrzeugen, die nicht Linienverkehr nach den §§ 42, 42a, 43 und 44 ist.“ – § 42 PBefG definiert den Linienverkehr, § 42a PBefG den Fernlinienverkehr, § 43 PBefG den Sonderlinienverkehr und § 44 PBefG den Linienbedarfsverkehr. Das PBefG sieht folgende Formen des Gelegenheitsverkehrs vor: Taxiverkehr (§ 47), Ausflugsfahrten und Ferienzele-Reisen (§ 48), Mietomnibus- und Mietwagenverkehr (§ 49) sowie den gebündelten Bedarfsverkehr (§ 50).</p>
Güterverkehr	<p>Unter Güterverkehr wird der (i.d.R. außerbetriebliche) Transport von Waren auf den Verkehrsträgern Straße, Schiene, Wasserstraße und in der Luft verstanden. Im Gegensatz zum öffentlichen (Personen)verkehr ist der Güterverkehr strikt marktlich organisiert, d.h. es existiert kein öffentlicher Güterverkehrssektor.</p>
Hub(s)	<p>Wortschöpfung aus dem Englischen („hub“ – Drehkreuz, Hauptumschlagplatz, Verkehrsknotenpunkt). In Deutschland wird der Begriff häufig verwendet für einen Knotenpunkt, der das</p>

Begriff	Erläuterung
	<p>Umsteigen zu und zwischen öffentlichen bzw. öffentlich zugänglichen Verkehrsmitteln („Mobilitätshub“, Mobilitätsstationen) oder den Umschlag von Gütern ermöglicht. Hubs sollen es im Personenverkehr erlauben, Verkehrsmittel möglichst nahtlos und ohne größeren Aufwand zu verknüpfen, um so Alternativen zur Nutzung des Privat-Pkw anzubieten und zu stärken. In den Nabe-Speiche-Systemen („hub and spoke“) des Güterverkehrs ermöglichen Hubs eine bessere Bündelung von Sendungsströmen auf aufkommensschwachen Verkehrsrelationen.</p>
Kombinierter Verkehr	<p>Der Begriff wird in dieser Studie im Sinne des in Richtlinie 92/106/EWG definierten Verständnisses verwendet. Danach gelten als „kombinierter Verkehr“ Güterbeförderungen zwischen Mitgliedstaaten, bei denen der Lastkraftwagen, der Anhänger, der Sattelanhänger mit oder ohne Zugmaschine, der Wechselaufbau oder der Container von mindestens 20 Fuß Länge die Zu- und Ablaufstrecke auf der Straße und den übrigen Teil der Strecke auf der Schiene oder auf einer Binnenwasserstraße oder auf See, sofern diese mehr als 100 km Luftlinie beträgt, zurücklegt, wobei der Straßenzu- oder -ablauf erfolgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - entweder — für die Zulaufstrecke — zwischen dem Ort, an dem die Güter geladen werden, und dem nächstgelegenen geeigneten Umschlagbahnhof bzw. — für die Ablaufstrecke — zwischen dem nächstgelegenen geeigneten Umschlagbahnhof und dem Ort, an dem die Güter entladen werden. - oder in einem Umkreis von höchstens 150 km Luftlinie um den Binnen- oder Seehafen des Umschlags. <p>In Abgrenzung dazu wird der multimodale Verkehr im Kontext Güterverkehr als Transport von Gütern mit zwei oder mehreren verschiedenen Verkehrsträgern (Straße, Schiene, Wasserstraße, Luft) verstanden.</p>
Linienbedarfsverkehr	<p>Linienbedarfsverkehr ist eine im PBefG 2021 neu eingeführte Form des Linienverkehrs (vgl. dort), definiert in § 44 PBefG. Merkmale des Linienbedarfsverkehrs sind die vorherige Bestellung und die Beförderung ohne festen Linienweg zwischen bestimmten Einstiegs- und Ausstiegspunkten innerhalb eines festgelegten Gebietes und von festgelegten Bedienzeiten. Für den Linienbedarfsverkehr dürfen nur vom Aufgabenträger festgelegte Beförderungsentgelte und die Beförderungsbedingungen zur Anwendung kommen, die Zuschläge vorsehen können. Die gesetzgeberische Zuordnung zum ÖPNV führt dazu, dass die Aufgabenträger den Linienbedarfsverkehr finanzieren und wie beim ÖPNV sonst weitere Vorgaben treffen können. Die Zuordnung bewirkt auch die Geltung der Betriebs- und Beförderungspflicht sowie des ermäßigten Umsatzsteuersatzes (§ 12 Abs. 2 Nr. 10 Buchstabe b Umsatzsteuergesetz).</p>
Linienverkehr	<p>Der Begriff wird in der Studie übergreifend verwendet für die schienen- bzw. leitungsgebundene Verkehrsarten</p>

Begriff	Erläuterung
	<p>Straßenbahnverkehr (inklusive U-Bahn) und Verkehr mit Obussen, den Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen sowie den Verkehr mit Eisenbahnen.</p> <p>Linienverkehr im engeren Sinn ist eine im PBefG festgelegte Art der Personenbeförderung mit Kraftfahrzeugen, von der der Gelegenheitsverkehr (vgl. dort) abgegrenzt wird. Im Abschnitt C „Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen“ bestimmt § 42 PBefG den Begriff wie folgt: „Linienverkehr ist eine zwischen bestimmten Ausgangs- und Endpunkten eingerichtete regelmäßige Verkehrsverbindung, auf der Fahrgäste an bestimmten Haltestellen ein- und aussteigen können.“</p> <p>Der Linienverkehr unterliegt der Betriebs- und Beförderungspflicht sowie bestimmten Tarifpflichten. Manche verwenden den Begriff auch als Synonym für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV, vgl. dort) – verkürzt gesprochen handelt es sich hier um Linienverkehr im Nahraum. Der ÖPNV unterliegt besonderen Vorgaben der Aufgabenträger, die den ÖPNV mit öffentlichen Mitteln finanzieren.</p>
Mietwagenverkehr	<p>Eine der vom PBefG vorgesehenen Formen des „Gelegenheitsverkehrs“ (vgl. dort) mit Personenkraftwagen, definiert in § 49 Abs. 4 PBefG. Fahrten des Mietwagenverkehrs (mit Fahrer/Fahrerin) erfolgen nach Bedarf, die Fahrten müssen im Voraus und das Fahrzeug „im Ganzen“ gebucht werden. In Abgrenzung zum Taxiverkehr dürfen Fahrzeuge des Mietwagenverkehrs keine Fahrgäste spontan am Straßenrand oder von Halteplätzen aufnehmen. Die Beförderungsaufträge müssen beim Unternehmer (Wohnung oder Betriebssitz) eingehen. Das Fahrzeug hat nach jeder Beförderung zum Betriebssitz zurückzukehren, soweit nicht vor oder während der Fahrt ein Folgeauftrag eingegangen ist. Es besteht keine Beförderungs- oder Betriebspflicht und auch – soweit keine Vorgaben gemäß § 51a Abs. 1 PBefG existieren, die unter dem Vorbehalt öffentlicher Verkehrsinteressen stehen – keine Pflicht zur Einhaltung behördlich festgelegter Beförderungsentgelte und -bedingungen. Beim Mietwagenverkehr kommt grundsätzlich der normale Umsatzsteuersatz zur Anwendung.</p>
Mobility as a Service (MaaS)	<p>Wortschöpfung aus dem Englischen: „Mobilität (bzw. Mobilitätsangebot) als Dienstleistung“. Mit dem Begriff Mobility as a Service (MaaS) werden Angebote bezeichnet, die über Informations- und Kommunikationstechnologien (z. B. Mobilitätsplattformen bzw. Smartphone-Anwendungen) öffentlich zugängliche Verkehrsangebote als integrierte Dienstleistung verfügbar machen. MaaS-Angebote sind in der Regel darauf ausgerichtet, Mobilitätsbedürfnisse unabhängig von eigenen Verkehrsmitteln zu decken, insbesondere unabhängig vom Privat-Pkw. Kern von MaaS ist die Kombination und Integration von Daten zu z. B. Fahrplan, Verfügbarkeit von Angeboten auf Abruf, Vertrieb, Tarif, Kundendaten und Infrastruktur.</p>

Begriff	Erläuterung
	<p>Der schillernde Begriff wird häufig nicht mit eindeutigem Verständnis verwendet – im Detail kann sich das Begriffsverständnis unterscheiden oder es geht nur implizit aus dem jeweiligen Kontext hervor. Betreiber und Befürworter verbinden mit MaaS die Erwartung, eine Verkehrsverlagerung weg vom MIV und hin zum Umweltverbund bzw. zu Sharing-Angeboten zu erreichen.</p> <p>Instruktiv ist der Vorschlag der Kommission zur Definition eines „multimodalen digitalen Mobilitätsdienstes“, der in dem Vorschlag zur Änderung der IVS-Richtlinie¹ enthalten ist (Art. 4 Nr. 24 neu): „[Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck] ‚multimodaler digitaler Mobilitätsdienst‘ einen Dienst, der Informationen über Verkehrs- und Reisedaten wie den Standort von Beförderungseinrichtungen, Fahrpläne, Verfügbarkeit oder Tarife für mehr als einen Verkehrsträger bereitstellt und der über Funktionen verfügen kann, die es ermöglichen, Reservierungen, Buchungen oder Zahlungen vorzunehmen oder Fahrkarten auszustellen.“</p>
Motorisierter Individualverkehr (MIV)	<p>Auch der Begriff des motorisierten Individualverkehrs wird häufig ohne explizite Definition verwendet. Implizit wird darunter häufig die Nutzung privater Pkw bzw. Nutzung anderer privater motorisierter Verkehrsmittel (z. B. Motorrad) verstanden. In dieser Studie wird der Begriff ergänzend auch für die Nutzung nicht privater Pkw verwendet, wenn deren Nutzung außerhalb des systematisch auf kollektiven Verkehr ausgerichteten ÖV stattfindet. Übergänge zwischen MIV und ÖV sind abhängig von der (aktuellen und künftigen) gesetzlichen Definition des ÖV bzw. ÖPNV (vgl. dort).</p>
Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	<p>Im Alltagsverständnis handelt es sich beim öffentlichen Personennahverkehr um die örtlichen Bus- und Bahnangebote. Der ÖPNV ist ein Teilbereich des öffentlichen Verkehrs (vgl. dort). Gesetzliche Definitionen des ÖPNV finden sich im Regionalisierungsgesetz², im Personenbeförderungsgesetz³ sowie in den Nahverkehrsgesetzen der Bundesländer. Gemäß § 1 Regionalisierungsgesetz gilt: „Die Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen im öffentlichen Personennahverkehr ist eine Aufgabe der Daseinsvorsorge.“</p> <p>Bund, Länder und Kommunen stellen den verantwortlichen Aufgabenträgern Mittel zur Umsetzung dieses Sicherstellungsauftrags zur Verfügung. An die ÖPNV-Angebote</p>

¹ Vorschlag für eine 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.

² § 2 Regionalisierungsgesetz definiert den Begriff wie folgt: „Öffentlicher Personennahverkehr im Sinne dieses Gesetzes ist die allgemein zugängliche Beförderung von Personen mit Verkehrsmitteln im Linienverkehr, die überwiegend dazu bestimmt sind, die Verkehrsnachfrage im Stadt-, Vorort- oder Regionalverkehr zu befriedigen. Das ist im Zweifel der Fall, wenn in der Mehrzahl der Beförderungsfälle eines Verkehrsmittels die gesamte Reiseweite 50 Kilometer oder die gesamte Reisezeit eine Stunde nicht übersteigt. Der Verkehr mit Taxen ist öffentlicher Personennahverkehr im Sinne dieses Gesetzes, wenn er die in Satz 1 genannte Verkehrsnachfrage zur Beseitigung einer räumlichen oder zeitlichen Unterversorgung befriedigt.“

³ Vgl. § 8 Abs. 1 und 2 PBefG.

Begriff	Erläuterung
Öffentlicher Verkehr (ÖV)	<p>werden im öffentlichen Interesse umfangreiche Anforderungen gestellt: z. B. Herstellung von Barrierefreiheit, Zugang zu sozial ausgewogenen Tarifen, Angebot abgesenkter Fahrpreise für verschiedene Fahrgastgruppen (Schüler/Schülerinnen, Auszubildende, Senioren/Seniorinnen).</p> <p>In dieser Studie wird der Begriff für an die Allgemeinheit gerichtete und fortlaufend verfügbare Personenverkehrsdienste verwendet. Das EU-Recht spricht hier von einer Dienstleistung von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse. In der einschlägigen Verordnung (EG) Nr. 1370/2007⁴ werden öffentliche Personenverkehrsdienste als für die Allgemeinheit diskriminierungsfrei und fortlaufend erbrachte Personenbeförderungsleistung verstanden (Art. 2 Buchstabe a). Zuständige Behörden sind befugt, durch Bestellung von Personenverkehrsdienste Angebote sicherzustellen, die im öffentlichen Interesse erforderlich sind – in Deutschland sind die die Aufgabenträger verantwortlich.</p> <p>Die Eingriffsbefugnisse der Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 wurden in Deutschland gesetzlich für den ÖPNV (vgl. dort) umgesetzt; Fernverkehrsangebote mit Bussen und auf der Schiene sind also bislang nicht erfasst.</p>
öffentlich zugängliche Verkehrsangebote	<p>Es gibt keine einheitliche Definition öffentlich zugänglicher Verkehrsangebote. Häufig werden hierfür gerade durch die Digitalisierung ermöglichte Angebote verstanden, die über Apps gebucht und genutzt bzw. ausgeliehen werden können (vgl. unter „Sharing“). Solche Angebote richten sich zwar an die Allgemeinheit, setzen aber bestimmte Voraussetzungen (Nutzung Smartphone, Registrierung, ggf. Kreditkarte, Mindestalter etc.). Diese Voraussetzungen können faktische Zugangshürden darstellen.</p> <p>Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch die Digitalisierung ermöglichte öffentlich zugängliche Verkehrsangebote zukünftig auch als ÖPNV (vgl. dort) verstanden werden können, wenn die üblicherweise für den ÖPNV geltenden Anforderungen erfüllt werden (sozial ausgewogene Preisgestaltung, Zugang auch ohne Smartphone/App, Barrierefreiheit etc.).</p>
On-Demand(-Verkehr)	<p>Eigentlich: „On-Demand-Verkehr“ oder „On-Demand-Angebot“ – Wortschöpfung aus dem Englischen („on demand“ – auf Abruf/nach Bedarf). In Deutschland häufig unspezifisch gebraucht für per App vermittelte, auf Abruf verkehrende Sammelfahrdienste – sowohl für kommerzielle Angebote als auch für solche Angebote, die als in den ÖPNV integriert gelten (vgl. auch Erläuterungen unter Sammelfahrdienst). Zum Teil wird der Begriff auch übergreifend für Mobilitätsangebote verwendet, die nach Bedarf genutzt werden können, also auch für taxiähnliche Fahrdienste generell (vgl. dort) oder Sharing-Angebote (vgl. dort).</p>

⁴ 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 (ABl. L 315 vom 3.12.2007, S. 1) in der Fassung der Änderungen durch die Verordnung (EU) 2016/2338 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 (ABl. L 354 vom 23.12.2016, S. 22)

Begriff	Erläuterung
	Wegen seiner Unschärfe wird in dieser Studie auf die Verwendung dieses Begriffes verzichtet.
Regulierung	In dieser Studie wird der Begriff „Regulierung“ – anders als im Kontext der Monopolregulierung von netzgebundenen Versorgungsindustrien – in einem weiten Sinn verwendet. Mit Bezug auf den Untersuchungsgegenstand der Studie werden damit staatliche Handlungsansätze unterschiedlicher Art beschrieben, die dazu dienen, den privaten Verkehr und den Markt des Verkehrsgewerbes so zu lenken, dass insbesondere die Existenz und Funktionsfähigkeit von im allgemeinen Interesse liegenden Verkehrsmitteln, Personenverkehrsdiensten und Güterverkehrsangeboten gewährleistet und aus ökologischer Sicht unerwünschte verkehrliche Wirkungen verhindert werden.
Ridehailing	<p>Wortschöpfung aus dem Englischen („to hail a ride“ – etwa „eine Fahrt/Beförderung herbeirufen“). Der Begriff wird in Deutschland teils ohne weitere Erklärung für per App vermittelte Exklusivfahrten von Fahrdiensten verwendet.</p> <p>Das Personenbeförderungsgesetz kennt diesen Begriff nicht; vgl. Erläuterungen unter „Fahrdienst“ und „Mietwagenverkehr“.</p> <p>In dieser Studie wird anstelle von Ridehailing übergreifend der Begriff (fahrerloser) taxiähnlicher Fahrdienst verwendet.</p>
Ridepooling	<p>Wortschöpfung aus dem Englischen („pooled ride“ – gebündelte Fahrt/Sammelfahrt). Der Begriff ist insbesondere in Deutschland gebräuchlich und wird meist verstanden als per App vermittelte (potenzielle) Sammelfahrten von Fahrdiensten. Im Englischen werden hierfür eher Umschreibungen wie „pooled rides/services“, „shared rides“ oder „ride splitting“ verwendet.</p> <p>Das Personenbeförderungsgesetz kennt diesen Begriff nicht; vgl. Erläuterungen unter „gebündelter Bedarfsverkehr“ und „Linienbedarfsverkehr“.</p> <p>In dieser Studie wird anstelle von Ridepooling übergreifend der Begriff (fahrerloser) Sammelfahrdienst verwendet.</p>
Ridesharing	<p>Im Englischen „Fahrgemeinschaft“ – Mitfahrende fahren unentgeltlich oder gegen Beteiligung an den Fahrtkosten mit. Bis zum Aufkommen der App-Fahrdienste insbesondere Bezeichnung für Pendlerfahrgemeinschaften oder die Angebote von Mitfahrzentralen (in den USA sind üblichere Begriffe „carpool“ und „vanpool“). Die Anbieter kommerzieller App-Fahrdienste wie z. B. von Uber vermarkten sich sowohl in den USA als auch in Europa und Deutschland – missverständlich – als „Ridesharing“-Anbieter. Die Bezeichnung „Ridesharing“ wird häufig (unkritisch) auch in Presse und Fachliteratur für diese kommerziellen Dienste verwendet.</p> <p>Wegen der einhergehenden Missverständnisse vermeiden wir in dieser Studie diesen Begriff.</p>
Sammelfahrdienst (Sammel-)fahrdienst	In dieser Studie Oberbegriff für Fahrdienstangebote, die darauf angelegt sind, Fahrtwünsche separater Parteien auf eine Fahrt zu bündeln. In Deutschland sieht das PBefG seit der Novellierung

Begriff	Erläuterung
	<p>2021 die Formen des Linienbedarfsverkehrs (vgl. dort) und des gebündelten Bedarfsverkehrs (vgl. dort) vor.</p> <p>Die Schreibweise (Sammel-)fahrdienst wird für Fahrdienstangebote verwendet, die dem Fahrgast die Wahl lassen, eine Exklusivfahrt (bzw. individuelle Fahrt) oder eine (potenziell) gebündelte Fahrt zu bestellen. In Deutschland sieht das PBefG keine eigene Verkehrsform hierfür vor, Fahrzeuge können nur entweder für Exklusivfahrten (Taxi, Mietwagenverkehr) oder für Sammelfahrten (Linienbedarfsverkehr, gebündelter Bedarfsverkehr) verwendet werden. Eine Ausnahme besteht für Orte unter 50 000 Einwohnern, da hier für denselben Personenkraftwagen Genehmigungen für den Taxenverkehr, den Mietwagenverkehr oder den gebündelten Bedarfsverkehr erteilt werden können (§ 46 Abs. 3 PBefG).</p>
Sharing(-Angebote)	<p>Wortschöpfung aus dem Englischen („to share“ – teilen, gemeinsam nutzen). Gemeint sind häufig öffentlich zugängliche kommerzielle Dienstleistungen bzw. spontan nutzbare Verleihangebote, die von sich unbekannten Personen gleichzeitig genutzt oder bei Verleihdiensten nacheinander genutzt werden. Bekannte (kommerzielle) Verleihdienste im Mobilitätsbereich sind etwa Carsharing (geteilte Nutzung von Kraftfahrzeugen) oder Bikesharing (geteilte Nutzung von Fahrrädern); ähnliche Systeme existieren für den spontanen Verleih von E-Tretrollern oder E-Leichtkrafträdern.</p> <p>Ähnlich wie beim Begriff des Ridesharings (vgl. dort) geht die Verwendung des Sharing-Begriffs mit Uneindeutigkeiten einher, weswegen wir ihn in dieser Studie vermeiden.</p>
Taxi	<p>Eine der vom PBefG vorgesehenen Formen des Gelegenheitsverkehrs (vgl. dort) mit Personenkraftwagen; nähere Bestimmungen finden sich in § 47 und § 51 PBefG. Taxis dürfen sich an behördlich zugelassenen Stellen bereithalten oder dürfen von der Straße aus „abgewunken“ werden; das Fahrtziel bestimmt der Fahrgast. Im behördlich festgelegten Pflichtfahrgebiet besteht Beförderungspflicht; Taxiverordnungen regeln für das Pflichtfahrgebiet den Umfang der Betriebspflicht sowie die Festlegung von Beförderungsentgelten und -bedingungen.</p>
taxiähnlicher Fahrdienst	<p>Insbesondere durch die Digitalisierung ermöglichte Angebote im Zusammenwirken von App-Vermittlungsdiensten und konzessionierten Mietwagenverkehren – durch die Bestellung über die App wird zwar das Merkmal der Vorbestellung (vgl. Erläuterung zu Mietwagenverkehr) erfüllt, aber tatsächlich ist der Fahrdienst durch die Echtzeitvermittlung spontan und unmittelbar verfügbar, was gemäß PBefG dem Taxiverkehr (vgl. dort) vorbehalten ist.</p>
Umweltverbund	<p>Der Begriff Umweltverbund wird weder planerisch/organisatorisch noch rechtlich noch tatsächlich einheitlich verwendet. Was unter Umweltverbund verstanden</p>

Begriff	Erläuterung
Verkehrsaufkommen	<p>werden soll, wird häufig nicht explizit definiert; meist steht der Begriff für umweltverträgliche Mobilitätsformen des öffentlichen Verkehrs, Radverkehrs sowie des Fußverkehrs, teilweise auch unter Einschluss von öffentlich zugänglichen Verleihsystemen wie Car- oder Bikesharing. Vgl. etwa auch die (engere) Definition im Berliner Mobilitätsgesetz, § 13: „Umweltverbund umfasst die Verkehrsmittel Fußverkehr, Radverkehr und ÖPNV.“</p> <p>In dieser Studie steht der Begriff in Anlehnung an diese Definition für Fußverkehr, Radverkehr und öffentlichen Verkehr; eingeschlossen wären auch zukünftige fahrerlose Angebote, soweit sie von gesetzlichen Definitionen des ÖPNV (Bundesgesetz oder/und Landesgesetz/e) erfasst werden.</p>
Verkehrsleistung	<p>In dieser Studie für die Menge des Verkehrs (Anzahl Wege, Anzahl Beförderungsfälle bzw. Anzahl beförderte Tonnen) verwendet.</p> <p>Maß für die Anzahl der beförderten Personen/Güter und der dabei zurückgelegten Strecke, Einheiten: Personen-, Tonnenkilometer.</p>
virtuelle Haltestellen/Haltepunkte	<p>In einer App angezeigte Abhol- bzw. Absetzpunkte für App-Fahrdienste. Nutzer werden nicht von ihrem konkreten Ausgangspunkt abgeholt bzw. an ihrem konkreten Ziel abgesetzt, sondern es fallen Wege von/zu virtuellen Haltestellen an. Durch den Einsatz von virtuellen Haltestellen werden Umwege verringert, die durch Fahrtbündelungen anfallen. Virtuelle Haltepunkte werden z. T. auch aus Gründen der Verkehrssicherheit mit bestimmten Kriterien vorgeschrieben und können zur Steuerung bepreist oder nur zeitweise freigeben werden.</p>

Zusammenfassung

Die Digitalisierung im Verkehr ist bereits heute auf vielfältige Weise Realität: Smartphone-Apps informieren über Verbindungen im Nah- und Fernverkehr und ermöglichen die Buchung von Tickets und Reaktionen auf Verspätungen oder Ausfälle. Navigationsgeräte senden Stauinformationen und schlagen je nach Bedarf optimierte Routen vor. Fahrassistenzsysteme gehören inzwischen zur üblichen Ausstattung von Kraftfahrzeugen. Digitale Systeme übernehmen Aufgaben der Steuerung und Beeinflussung von Eisenbahnzügen. Digitale Plattformen bieten einfach zugängliche Fahrdienste an. Digitale Mobilitätsplattformen bündeln verschiedene Mobilitätsdienste und vereinfachen damit die Planung von intermodalen Wegekettten. Unzählige Start-ups werben mit ihren Apps für diverse Mobilitätsbausteine (E-Leichtkrafträder, E-Tretroller, Fahrrad, Auto ...) um Kundschaft.

Die Digitalisierung im Verkehr – verstanden als Herstellung von Verfügbarkeit und Zugang zu Mobilitätsangeboten über digitale Anwendungen, die Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle bis hin zur vollständigen Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen – weckt hohe Erwartungen. Dies gilt auch und insbesondere mit Blick auf die Potenziale einer Digitalisierung im Verkehr, zum Klimaschutz und bezüglich einer nachhaltigen Ausgestaltung des Verkehrs.

Die vorliegende Studie hat anhand zu erwartender künftiger Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Digitalisierung im Verkehr Regelungsansätze und -konzepte untersucht, die der Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität dienen.

Als **Ziele einer auf ökologische Nachhaltigkeit ausgerichteten Regulierung** der Digitalisierung im Verkehr sind hervorzuheben:

- ▶ Klimaschutz, Treibhausgasreduktion und Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr,
- ▶ Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs,
- ▶ Sicherheit, insbesondere für den Fuß- und Radverkehr, und
- ▶ Luftreinhaltung und Lärmreduktion.

Auf Basis dieser Ziele waren die folgenden **Prüfkriterien für die Untersuchung** der Digitalisierung des Verkehrs maßgeblich:

1. Verbesserung der Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs
2. Möglichst viel Mobilität im Rad- und Fußverkehr
3. Möglichst wenig Mobilität im MIV
4. Höchstmögliche Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem
5. Leistungsfähige und attraktive Gestaltung des ÖV-Systems und des Schienengüterverkehrs
6. Einsatz alternativer Antriebe
7. Ausrichtung neuer digitaler Systeme auf optimale Energieeffizienz
8. Möglichkeit zur ökologisch sinnvollen Umnutzung frei werdender Verkehrsflächen
9. Reduzierung Luftschadstoffe und Lärm
10. Reduzierung Ressourceneinsatz für (neue) digitale Systeme und Fahrzeugherstellung

Neben ökologischen Aspekten wurden bei der Identifikation von Regulierungserfordernissen die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- ▶ Die Mobilitätssicherung der Bevölkerung als staatliche Gewährleistungsverantwortung im Rahmen der Daseinsvorsorge.
- ▶ Die Umsetzbarkeit für staatliche Akteure, insbesondere für Kommunen (organisatorisch und finanziell).

Zudem wurden – unter der Prämisse, dass automatisiertes und vernetztes Fahren auf Level 4 und 5 möglich ist – denkbare **Entwicklungslinien sowie Anwendungsfälle in den Teilsystemen MIV, ÖV, Güterverkehr und Infrastruktur** sowie übergreifende Aspekte, die nicht ausschließlich einem der Teilsysteme zugeordnet werden können, identifiziert. Maßstab für die Auswahl der Anwendungsfälle war, dass diese einerseits in der Breite alle denkbaren Entwicklungen im jeweiligen Kontext abdecken, andererseits ausreichend konkretisiert sind, um Regulierungserfordernisse ableiten zu können. Anwendungsfälle, bei denen aus heutiger Sicht weitgehend sicher beurteilt werden kann, dass sie nicht umsetzbar sind, wurden in der näheren Untersuchung nicht berücksichtigt.

Durch einen Abgleich der Prüfkriterien mit den Entwicklungslinien wurden die Anwendungsfälle in ihren Ausprägungsvarianten weiter aufgefächert und ökologische Effekte sowie **Chancen bzw. Risiken spezifischer Entwicklungen innerhalb der Anwendungsfälle** aufgezeigt. Dadurch wurden für übergreifende Aspekte sowie für jedes Teilsystem (Infrastruktur, MIV, ÖV und Güterverkehr) Regulierungserfordernisse identifiziert, die sich für das automatisierte und vernetzte Fahren aus der Zielausrichtung auf eine nachhaltige Mobilität ergeben.

Durch die so gewonnenen Erkenntnisse lässt sich schließen, dass nur durch eine **größere Anzahl von verschiedenen Instrumenten** – im Sinne eines konsistenten regulativen Gesamtrahmens – eine ausreichende Befähigung der öffentlichen Hand zur Regulierung des automatisierten und vernetzten Fahrens mit Ausrichtung auf ökologisch nachhaltige Mobilität erreicht werden kann. Die Anknüpfungspunkte der Regulierung sind vielfältig und betreffen unterschiedliche Themen, Akteure und Rechtsgebiete im Kontext von Verkehr und Mobilität:

- ▶ Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung von Mobilität und Verkehr mit (systematischer) Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Ziele
- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV und im Straßengüterverkehr durch (neue) straßenverkehrsrechtliche Instrumente, (neue) öffentliche-rechtliche Abgaben, verkehrsgewerberechtliche Instrumente
- ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds durch eine gesamthafte planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs, einer am Umweltverbund ausgerichteten Gestaltung des öffentlichen Straßenraum und durch den Ausbau des ÖV-Systems
- ▶ Förderung des Betriebs von in den ÖV integrierte fahrerlose Sammelfahrdienste gegenüber anderen fahrerlosen Fahrdienste durch verkehrsgewerberechtliche Instrumente
- ▶ Gezielte Stärkung des Güterverkehrs auf der Schiene gegenüber dem Güterverkehr auf der Straße durch eine entsprechende Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und planerischen Vorgaben
- ▶ Zulassung von automatisierten Fahrzeugen mit Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit
- ▶ Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr durch eine entsprechend ausgerichtete öffentliche Finanzierung und Förderung der Infrastruktur für die Digitalisierung im Verkehr

Der Akteur der jeweils einzelnen Regulierung kann nur seinen Teilaspekt verantworten. In ihrem Zusammenspiel – im Sinne eines regulativen Gesamtrahmens – können die einzelnen Instrumente die im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit erforderliche Regulierung ermöglichen. Dieses ist aber kein Selbstläufer, sondern bedarf zueinander konformer Ziele einer nachhaltigen Entwicklung im Verkehr und letztlich auch ein konzertiertes Vorgehen in der Festlegung und Umsetzung der konkreten Maßnahmen.

Von Seiten der Gesetzgebung ist sowohl horizontal über die verschiedenen Rechtsgebiete als auch vertikal über die verschiedenen Gesetzgebungsebenen (EU, Bund und Länder) Zielkohärenz über die verschiedenen Rechtsgebiete der Regulierung zu schaffen, Zielkonflikte sind zu identifizieren und weitestgehend aufzulösen.

Zudem erfordert eine auf ökologisch nachhaltige Mobilität ausgerichtete Regulierung an vielen Punkten eine **Anpassung des Rechtsrahmens**. Von Seiten der Gesetzgebung ist sowohl horizontal über die verschiedenen Rechtsgebiete als auch vertikal über die verschiedenen Gesetzgebungsebenen (EU, Bund und Länder) Zielkohärenz über die verschiedenen Rechtsgebiete der Regulierung zu schaffen; Zielkonflikte sind zu identifizieren und weitestgehend aufzulösen. Ein Rechtsrahmen für die Digitalisierung im Verkehr, auf dessen Basis die Mobilität von Personen und Gütern verbessert und zugleich die verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima reduziert werden können, erfordert insbesondere

- ▶ die Entwicklung einheitlicher öffentlicher Interessen und staatlicher Zielstellungen für den relevanten Rechtsrahmen,
- ▶ verfügbare und aufeinander abstimmbare Instrumente für die handelnden Akteure der öffentlichen Hand (Straßenbaulastträger, Genehmigungsbehörden, Aufsichtsbehörden) und
- ▶ eine Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und der planerischen Vorgaben zur Infrastrukturentwicklung an diesen öffentlichen Interessen und staatlichen Zielstellungen.

Ein Handlungs- und Anpassungsbedarf besteht vor diesem Hintergrund mit Blick auf die zu erwartenden Veränderungen durch die Digitalisierung im Verkehr zusammengefasst wie folgt:

- ▶ Der Rechtsrahmen für den Straßenverkehr sollte auf eine Verringerung von Fahrleistungen im motorisierten Verkehr sowie eine Verbesserung von Attraktivität und Sicherheit des Rad- und Fußverkehrs ausgerichtet sein.
- ▶ Der Rechtsrahmen für den Personenverkehr sollte auf eine konsequente Stärkung und Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) gegenüber dem MIV ausgerichtet sein.
- ▶ Der Rechtsrahmen für den Güterverkehr sollte auf eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene ausgerichtet sein.
- ▶ Automatisierte Fahrzeuge sollten zugelassen werden, wenn die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden (inkl. Rad- und Fußverkehr) gewährleistet ist. Zusätzliche Energiebedarfe der erforderlichen Technik müssen berücksichtigt und möglichst geringgehalten werden.
- ▶ Mit Blick auf die digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren sowie für digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang ist die rechtliche Vorgabe von Standards relevant. Für Entscheidungen über den Aufbau bzw. die Förderung entsprechender digitaler Infrastrukturen durch die öffentliche Hand bedarf es der Bewertung der spezifischen Maßnahmen im Einzelfall, bei der Vor- und Nachteil für die ökologische Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Dabei sollten auch die Chance berücksichtigt werden, dass ein an die Digitalisierung der Fahrzeuge anknüpfendes digitales

Verkehrsmanagement ggf. gezielt für eine Steuerung des Verkehrs in Richtung ökologisch nachhaltiger Mobilitäteingesetzt werden kann.

Eine **(systematische) Zielausrichtung aller Rechtsnormen** für den Verkehr auf Umwelt- und Klimaschutz ist für das Erreichen ökologisch nachhaltiger Ziele bei einer fortschreitenden Digitalisierung im Verkehr wesentlich. Insbesondere der Bund muss aufgrund der grundgesetzlichen Kompetenzverteilung als koordinierender Akteur und als Gesetzgeber aktiv werden.

Summary

The digitalization in the transport sector is in many ways already now reality: smartphone apps provide information about connections in regional and long-distance transport and enable booking tickets and reacting to delays or cancellations. Navigation devices send information about congestion and suggest, if needed, optimised routes. Driving assistance systems are now part of the standard equipment of motor (road) vehicles. Digital systems take over tasks of controlling railway trains. Digital platforms offer easily accessible ride services. Digital mobility platforms bundle different mobility services and thus simplify the planning of combining different transport modes for a trip. Countless start-ups compete for customers offering their apps for various transport services (e.g., electric scooters, electric kick scooters, bicycles, cars).

Digitalization in the transport sector – in terms of making mobility services digitally available and accessible, facilitating new business models, culminating in completely automated and connected vehicles – raises high expectations. This is also and especially true when it comes to the potential of the digitalization in the transport sector for contributing to climate protection and making transport (more) sustainable.

Based on identified potential paths of development and potential use cases, this report has analysed approaches and concepts of regulating the digitalization in the transport sector that support implementing an ecologically sustainable mobility.

The following objectives of a regulation of digitalisation in transport that is oriented towards ecological sustainability should be highlighted:

- ▶ climate protection, greenhouse gas reduction and reduction of energy demand in transport
- ▶ reduction of land use and resource consumption
- ▶ transport safety, especially for pedestrians and cyclists, and
- ▶ air pollution control and noise reduction

Based on these objectives, the following criteria were decisive for the investigation of the digitisation of transport:

1. Improving the safety and attractiveness of cycling and walking.
2. Increasing cycling and walking as much as possible.
3. Decreasing private motorised transport as much as possible.
4. The greatest possible transport efficiency in the overall motorised transport system.
5. Efficient and attractive design of the public transport system and of rail freight transport.
6. Use of green vehicles.
7. Orientation of new digital systems towards optimal energy efficiency.
8. Ecologically sensible conversion of freed-up infrastructure.
9. Reduction of air pollutants and noise.
10. Reduction in the use of resources for (new) digital systems and vehicle production.

In addition to ecological aspects, the following aspects were considered when identifying regulatory requirements:

- ▶ Ensuring the mobility of the population as a state responsibility within the framework of services of general interest.

- Feasibility for state actors to implement measures or instruments, especially for municipalities (organisational and financial).

In addition - under the premise that automated and connected driving is possible at levels 4 and 5 - conceivable paths of development and use cases were identified in the 'subsystems' of private transport, public transport, transport of goods and infrastructure, as well as overarching aspects that cannot be assigned exclusively to one of the subsystems. Use cases were selected when they met two criteria: use cases had to cover all conceivable developments in the respective context on the one hand, and on the other hand, use cases had to be sufficiently concrete to be able to derive regulatory requirements. Use cases for which it can be assessed with a high degree of certainty from today's perspective that they cannot be implemented were not considered in the closer examination.

By comparing the test criteria with the development paths, the use cases were further diversified in their variants and ecological effects. Opportunities and risks of specific developments within the use cases were shown. In this way, regulatory requirements were identified for overarching aspects as well as for each subsystem (infrastructure, private motorized transport, public transport and freight transport), which result for automated and connected driving from the goal orientation towards sustainable mobility.

Based on these findings, it can be concluded that only a substantial number of different instruments – in the sense of a consistent overall regulatory framework – can sufficiently enable public authorities to regulate automated and connected driving in a way that support implementing an ecologically sustainable mobility. Issues for regulation are manifold and concern different topics, actors and areas of law in the context of transport and mobility:

- integrated and targeted transport planning of mobility and traffic with a (systematic) targeting of ecologically sustainable goals
- limitation of negative effects in automated private transport and road freight transport through (new) road traffic law instruments, (new) public-law levies as well as transport trade law instruments
- targeted strengthening of the sustainable transport modes through a comprehensive planning development and design of transport, a design of the public road space oriented towards sustainable transport modes and through the expansion of the public transport system
- privileged promotion of the operation of driverless collective transport services integrated into public transport instead of other driverless transport services by means of transport trade law instruments
- targeted strengthening of freight transport by rail instead of freight transport by road through a corresponding orientation of the fiscal framework conditions and planning requirements
- approval of automated vehicles with a focus on safety and sustainability
- development of a digital transport infrastructure oriented towards ecological sustainability through correspondingly oriented public funding and promotion of the infrastructure for digitalisation in transport

The actors of each individual regulation can only be responsible for their partial aspect. In their interaction – in the sense of an overall regulatory framework – the individual instruments can enable the regulation that is required to achieve ecological sustainability. However, this is not a matter of course, but requires mutually consistent goals of sustainable development in transport

and ultimately also a concerted approach in the definition and implementation of concrete measures.

On the legislative side, goal coherence must be created both horizontally across the various legal areas and vertically across the various legislative levels (EU, federal government and federal states) across the various legal areas of regulation; potential goal conflicts must be identified and resolved as far as possible.

In addition, regulation oriented towards ecologically sustainable mobility requires at many points an adaptation of the legal framework. On the legislative side, goal coherence must be created both horizontally across the various legal areas and vertically across the various legislative levels (EU, federal government and federal states) across the various legal areas of regulation; goal conflicts must be identified and resolved as far as possible.

A legal framework for digitalisation in transport, on the basis of which the mobility of people and goods can be improved and at the same time the transport-specific burdens on the environment and climate can be reduced, requires in particular the following:

- ▶ the development of consistent public interests and government objectives for the relevant legal framework
- ▶ available and harmonized instruments for the public sector actors (road authorities, licensing authorities, supervisory authorities), and
- ▶ aligning the fiscal framework conditions and the planning requirements for infrastructure development with these public interests and state objectives

Against this background, there is a need for action and adaptation in view of the expected changes caused by the digitalisation in transport, summarised as follows:

- ▶ The legal framework for road transport should be oriented towards reducing mileage in motorised transport and improving the attractiveness and safety of cycling and walking.
- ▶ The legal framework for passenger transport should be oriented towards consistently strengthening and giving preference to sustainable transport modes (walking, cycling, public transport) over private motorized transport.
- ▶ The legal framework for freight transport should be oriented towards a modal shift from road to rail.
- ▶ Automated vehicles should be permitted if the safety of all road users (including cyclists and pedestrians) is guaranteed. Additional energy requirements of the necessary technology must be taken into consideration and kept as low as possible.
- ▶ With regard to the digital infrastructure for automated and connected driving as well as for digital applications for transport access, the legal specification of standards is relevant. Decisions on the development or promotion of corresponding digital infrastructures by the public sector require an assessment of the specific measures in each individual case, considering the advantages and disadvantages for environmental sustainability. This should also consider the opportunity that digital traffic management linked to the digitalisation of vehicles can be used specifically to steer traffic in the direction of ecologically sustainable mobility.

A (systematic) target orientation of all legal norms for transport towards environmental and climate protection is essential for achieving ecologically sustainable goals in a progressing digitalisation in transport. In particular, the federal government must become active as a coordinating actor and as a legislator owing to the distribution of competences under the Basic Law for the Federal Republic of Germany.

1 Einleitung

Die Digitalisierung im Verkehr – verstanden als Herstellung von Verfügbarkeit und Zugang zu Mobilitätsangeboten über digitale Anwendungen, die Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle bis hin zur vollständigen Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen – weckt hohe Erwartungen. Dies gilt auch und insbesondere mit Blick auf die Potenziale einer Digitalisierung im Verkehr, zum Klimaschutz und einer nachhaltigen Ausgestaltung des Verkehrs beizutragen.

Die vorliegende Studie untersucht anhand identifizierter Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Digitalisierung im Verkehr Regelungsansätze und -konzepte, die der Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität dienen. Durch das fortentwickelte automatisierte Fahren sind erhebliche Auswirkungen zu erwarten. Die sich daraus ergebenden Risiken und Chancen für die ökologisch nachhaltige Entwicklung des Verkehrs und die Möglichkeiten der öffentlichen Hand, diese Entwicklung im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung – unter Berücksichtigung von Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz sowie Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs – zu lenken, stehen im Mittelpunkt der Studie. Untersucht werden die jeweiligen Entwicklungen in den „Teilsystemen“ der physischen und digitalen Infrastruktur, des motorisierten Individualverkehrs,⁵ des öffentlichen Personenverkehrs (im Folgenden kurz „Öffentlicher Verkehr“) und des Güterverkehrs.

Ausgehend von gegebenen und absehbaren Weichenstellungen der Digitalisierung im Verkehr gibt **Kapitel 2.1** einen Problemaufriss und greift die aktuelle Studienlage sowie den aufgrund verbindlicher Klimaschutzziele und weiterer bestehender Erfordernisse zur Stärkung von Gemeinwohlbelangen (z.B. Sicherheit, Gesundheit, Aufenthaltsqualität, gerechte Umverteilung von Flächen) bestehenden Handlungs- und Umsteuerungsbedarf im Verkehrssektor auf. Dieser ist Maßstab für die Frage danach, inwieweit von Entwicklungslinien der Digitalisierung Beiträge für die Erreichung von Reduktionszielen (Treibhausgase, Energie) und von Nachhaltigkeits- und Allgemeinwohlzielen zu erwarten sind. **Kapitel 2.2** erläutert das methodische Vorgehen für die Untersuchung.

Kapitel 3 entwickelt anhand übergeordneter rechtlich verbindlicher ökologischer Ziele in den Bereichen Klimaschutz und Energiebedarf, Flächen- und Ressourcenverbrauch, Sicherheit sowie Luftreinhaltung und Lärmreduktion abzuleitenden Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität. Aus diesen Kriterien werden für die weitere Untersuchung Prüffragen für die Bewertung der zu erwartenden Entwicklungslinien der Digitalisierung im Verkehr in den betrachteten Teilsystemen sowie für die Ableitung von Regulierungserfordernissen entwickelt.

Kapitel 4 erläutert einleitend im Überblick das der Untersuchung zugrundeliegende Verständnis von Digitalisierung, automatisiertem Fahren und Vernetzung und beschreibt Mindestvoraussetzungen der Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren. Nachfolgend werden in diesem Kapitel jeweils für die in der Untersuchung betrachteten Teilsysteme aus heutiger Sicht denkbare Entwicklungslinien und einzelne Anwendungsfälle herausgearbeitet.

Kapitel 5 greift die herausgearbeiteten Entwicklungslinien und Anwendungsfälle auf. Anhand der in Kapitel 3 entwickelten Kriterien und Prüffragen werden Regulierungserfordernisse herausgearbeitet. Nach der Darstellung der den Teilsystemen übergeordneten Regulierungserfordernisse widmet sich das Kapitel den Regulierungserfordernissen der jeweiligen Teilsysteme, indem jeweils danach gefragt wird, inwieweit von den herausgearbeiteten Entwicklungen Beiträge für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen

⁵ „MIV“ verstanden als private Pkw-Nutzung und anderer Motorisierter Individualverkehr, der – wie bei Taxis – nur bei Bedarf erfolgt.

Mobilität zu erwarten sind und ob – und wenn ja, welche – Regulierungen für eine Zielausrichtung auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität erforderlich sind.

Kapitel 6 gleicht die Regulierungserfordernisse mit den bestehenden Rechtsgrundlagen ab und zeigt rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarfe auf.

Kapitel 7 untersucht im Ergebnis eine Fülle von rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfen zur Veranschaulichung rechtlicher Handlungsmöglichkeiten beispielhaft zwei Felder näher auf die konkret zu ändernden Rechtsnormen.

Kapitel 8 wertet die zur Regulierung der Digitalisierung im Verkehr und insbesondere des automatisierten und vernetzten Fahrens erforderlichen Maßnahmen mit Fokus auf ihrer Zielrichtung und in ihrem Zusammenwirken gesamthaft aus (regulativer Gesamtrahmen) und stellt die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung dar.

2 Problemaufriss und methodisches Vorgehen

Im Folgenden werden zunächst die aktuellen und künftigen Herausforderungen für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung der Digitalisierung im Verkehr skizziert (vgl. Kapitel 2.1). Anschließend wird die für die Bearbeitung dieser Studie gewählte Methodik beschrieben (vgl. Kapitel 2.2).

2.1 Problemaufriss

Die Digitalisierung im Verkehr ist bereits heute auf vielfältige Weise Realität: Smartphone-Apps informieren über Verbindungen im Nah- und Fernverkehr und ermöglichen die Buchung von Tickets und Reaktionen auf Verspätungen oder Ausfälle. Navigationsgeräte senden Stauinformationen und schlagen je nach Bedarf optimierte Routen vor. Fahrassistenzsysteme gehören inzwischen zur üblichen Ausstattung von Kraftfahrzeugen – neue Modelle müssen immer umfangreicher über Assistenzsysteme zum Schutz von Insassinnen und Insassen und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden verfügen.⁶ Digitale Systeme übernehmen Aufgaben der Steuerung und Beeinflussung von Eisenbahnzügen. Digitale Plattformen bieten einfach zugängliche Fahrdienste an. Digitale Mobilitätsplattformen bündeln verschiedene Mobilitätsdienste und vereinfachen damit die Planung von intermodalen Wegekettten. Unzählige Start-ups werben mit ihren Apps für diverse Mobilitätsbausteine (E-Leichtkrafträder, E-Tretroller, Fahrrad, Auto ...) um Kundschaft.

Die Weichen für ein weiteres Fortschreiten der Digitalisierung sind gestellt: Weltweit treibt die Automobilindustrie mit klassischen und neuen Anbietern die Entwicklung vollständig automatisierter Fahrzeuge voran. Digitalisierung und Automatisierung sind unverzichtbare Bestandteile der Strategie der Europäischen Kommission für eine nachhaltige und intelligente Mobilität (Europäische Kommission 2020). Im Zuge der Strategie der Bundesregierung zum automatisierten und vernetzten Fahren (vgl. BMVI 2015) wurde mit dem „Gesetz zum autonomen Fahren“⁷ in Deutschland erstmals der Regelbetrieb von Kraftfahrzeugen mit „autonomer Fahrfunktion“ in festgelegten Betriebsbereichen als Übergangslösung bis zu einer unionsrechtlichen Harmonisierung ermöglicht. In einem ersten Schritt macht das Personenbeförderungsgesetz in seinem Anwendungsbereich die Bereitstellung von „Mobilitätsdaten“ – statischen Daten zu Anbietern und zum Angebot und der Zugangsinfrastruktur sowie dynamische Daten über die Verfügbarkeit der Angebote, Änderungen und Störungen – zur Pflicht.⁸ Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung stellt – neben der Förderung von innovativen digitalen Mobilitätsdienstleistungen und ihrer Einbeziehung in eine langfristige Strategie für autonomes und vernetztes Fahren öffentlicher Verkehre – ein Mobilitätsdatengesetz und die freie Zugänglichkeit von Verkehrsdaten in Aussicht (vgl. SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021, S. 50 ff.). Die ÖV-Branche arbeitet an digitalen Lösungen für anbieterübergreifende Informationen und Buchungs- und Bezahlungsmöglichkeiten (vgl. Mobility inside 2022⁹).

⁶ Vgl. die Vorgaben der 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 (...).

⁷ Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes vom 12. Juli 2021, BGBl. I 2021, S. 3108. Detailfragen werden durch die Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften geklärt (vgl. BR-Drs. 86/22).

⁸ Vgl. § 3a bis 3c PBefG. 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), sowie die hierzu erlassene Mobilitätsdatenverordnung, vom 20. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4728), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. Januar 2022 (BGBl. I S. 21).

⁹ Die erste App-Version startete Anfang April 2022.

Explizit oder auch nur implizit versprechen alle diese Entwicklungen einen Beitrag zu effizienter, sicherer und umweltverträglicher Mobilität. Besonders schillernd ist die Vision vom automatisierten und vernetzten Fahren im Straßenverkehr – prominent sind hier Studien bzw. Szenarien, die autonomen Flotten mit emissionsfreien Fahrzeugen, die für Sammelbeförderungen genutzt werden, das Potenzial einer drastischen Reduktion der Zahl erforderlicher Fahrzeuge und des Flächenbedarfs zuschreiben.¹⁰

Die genauere Betrachtung zeigt hier, dass den teils sehr optimistischen Aussagen – sowohl für herkömmliche als auch zukünftige fahrerlose Sammelfahrdienste – meist enge bzw. simplifizierende Annahmen über das zukünftige Nutzungsverhalten zugrunde liegen: So wird etwa in verschiedenen Szenarien ein Umstieg auf die Nutzung von Sammelfahrdiensten umstandslos unterstellt (vgl. etwa Friedrich & Hartl 2016, S. 14) oder es werden bei Vergleichsrechnungen Wartezeiten auf den Sammelfahrdienst oder Nutzungskosten sogar bewusst vernachlässigt (vgl. Kagho et al. 2021, S. 9¹¹).¹²

Modellsimulationen der verkehrlichen Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung im Verkehr, die nicht nur Potenziale von Sammelbeförderungsdiensten im Fokus haben, zeigen potenzielle negative Entwicklungen. Modellbasierte Simulationen, die im Rahmen des UBA-Projekts „Digitalisierung im Verkehr – Potenziale und Risiken für Umwelt und Klima“ (vgl. DLR et al. i. E.) durchgeführt wurden, weisen auf Risiken der Automatisierung für einen ökologisch-nachhaltigen Verkehr hin. Automatisierung kann in einzelnen Szenarien laut der Berechnungen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr zu einer Zunahme der Verkehrsleistung auf der Straße sowie der Emissionen im Straßenverkehr führen. Im Personenverkehr ist eine Verlagerung des Verkehrs auf den MIV auf Kosten des öffentlichen Personenverkehrs zu erwarten, im Güterverkehr nimmt der Anteil der Verkehrsleistung auf der Straße zu, auf der Schiene hingegen stark ab (vgl. DLR et al. i.E.).

Diese Ergebnisse sprechen deutlich dafür, dass die Einführung der Technik neben von Befürwortern betonten Chancen auch erhebliche Risiken für die Entwicklung eines zukünftigen ökologisch-nachhaltigen Verkehrssystems birgt. Diese Erkenntnisse sind auch in weiteren Untersuchungen der potenziellen Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung im Verkehr festgestellt worden, auf die im Kapitel 5 näher eingegangen wird. Um die Potenziale der Technik auszuschöpfen und die negativen Effekte zu vermeiden, gilt es zu prüfen, wie eine gezielte frühzeitige (regulatorische) Lenkung der Entwicklungspfade gestaltet werden kann.

Angesichts drängender Klimaschutzbedarfe und eingegangener Verpflichtungen ist der Handlungsbedarf im Verkehrsbereich enorm: Die Treibhausgasemissionen des Verkehrs stagnierten 2019 auf dem Niveau von 1990 – der motorisierte Straßenverkehr verursacht allein 96% dieser Emissionen (vgl. BMU 2021 S. 36). Der Verkehr wird allein mit den Maßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030 voraussichtlich das im Bundes-Klimaschutzgesetz gesetzte Sektorziel deutlich verfehlen und auch „das Mitte 2021 neu aufgelegte Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 lässt nicht erkennen, wie damit die drohende ‚Klimalücke‘ geschlossen werden könnte“ (Bundesrechnungshof 2022, S. 20 f.).¹³ Mit den Klimaschutzzielen einher geht das Verlangen nach Stärkung solcher Gemeinwohlbelange wie Verkehrssicherheit und

¹⁰ Statt vieler: Fraunhofer IAO 2019, S. 12; kritisch zu ggf. theoretischen bzw. extremen Varianten der Modellierung und Simulationsrechnung Esser & Kurte, 2018, S. 29 f.

¹¹ „DRT fares are not considered in the scenarios“; „we assume that the waiting time for the DRT vehicle is zero“ – DRT steht hier für „demand responsive transit“.

¹² Vgl. ausführliche Bewertung der Potenziale des automatisierten Fahrens KCW 2020, Kapitel 5.4, S. 179 ff.; Bewertung der Potenziale von App-Fahrdiensten KCW 2020, Kapitel 5.1, S. 146 ff. sowie Karl & Werner 2020, S. 453 ff.

¹³ Der Bundesrechnungshof bemängelt für beide Programme insbesondere das Fehlen von Maßnahmen, die nachweislich und wirtschaftlich einen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leisten, und das Fehlen eines wirksamen Maßnahmen-Monitorings.

Gesundheitsschutz, Flächengerechtigkeit, Rückgewinnung von Straßenraum für den Fuß- und Radverkehr und die Schaffung lebenswerter Räume. Dieser Handlungsdruck stößt auf eine Situation, die trotz erster Gegensteuerungen immer noch von der jahrzehntelangen umfassenden Förderung des motorisierten Straßenverkehrs und insbesondere des individuellen Autoverkehrs durch Politik, Recht und Wirtschaft geprägt ist. Straßenausbau und die autogerechte Stadt waren prägendes und wirkmächtiges planerisches Leitbild der 1960er Jahre. Das Auto wurde zum Maßstab für Zugänglichkeit, Erreichbarkeit, Reisezeit und Reisekomfort. Auch im Güterverkehr dominiert die Straße.

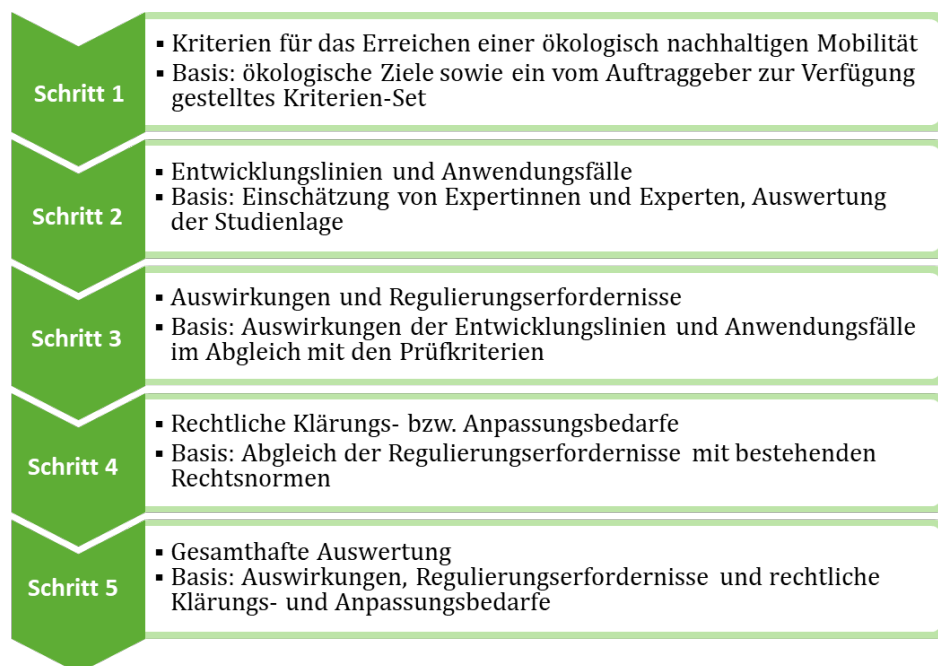
Die Ausrichtung auf die verbindlichen Klimaschutzziele im Verkehr erfordert die Umstellung auf treibhausgasneutrale Antriebsenergien und eine gezielte Verkehrsverlagerung vom individuellen Pkw-Verkehr und Straßengüterverkehr zum Umweltverbund (öffentlicher Personenverkehr, Rad- und Fußverkehr) und Schienengüterverkehr. Jüngere Studien belegen, dass die bestehenden Regelungsansätze/-konzepte nicht systematisch auf die nötigen Umsteuerungen ausgerichtet sind (vgl. KCW 2020, Hermes et al. 2022).

Angesichts der mit der umfassenden Digitalisierung des Verkehrs einhergehenden Hoffnungen auf substanzielle Beiträge zur Reduktion von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen und den gleichzeitig bestehenden potenziellen Risiken, auf die aktuelle Untersuchungen hinweisen, gilt es, vorausschauend die nötigen Rahmenbedingungen zu definieren, mittels derer der tatsächliche Beitrag der neuen Technologien ermittelt werden kann und/oder frühzeitig notwendige Lenkungswirkungen erzeugt werden können.

2.2 Methodisches Vorgehen

Für die Bearbeitung wurde ein fünfstufiges Vorgehen gewählt (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen



Quelle: Eigene Darstellung.

Die fünf Schritte werden im Folgenden genauer erläutert.

2.2.1 Schritt 1: Festlegung von Prüfkriterien für eine ökologisch nachhaltige Mobilität

Zunächst wurden zehn Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität festgelegt (vgl. Übersicht in Abbildung 2 sowie Detailbeschreibung in Kapitel 3.5), die dafür dienen, die Realisierung einer nachhaltigen Mobilität im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung zu bewerten.

Abbildung 2: Kriterien für ökologisch nachhaltige Mobilität

Verbesserung Sicherheit und Attraktivität Rad- und Fußverkehr	möglichst viel Mobilität im Rad- und Fußverkehr	möglichst wenig Mobilität im MIV	höchstmögliche Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem	leistungsfähige und attraktive Gestaltung ÖV-System und Schienengüterverkehr
Einsatz alternativer Antriebe	Ausrichtung neuer digitaler Systeme auf optimale Energieeffizienz	ökologisch sinnvolle Umnutzung frei werdender Verkehrsflächen	Reduzierung Luftschadstoffe und Lärm	Reduzierung Ressourceneinsatz für (neue) digitale Systeme und Fahrzeugherstellung

Quelle: Eigene Darstellung.

Grundlage der Kriterien sind übergeordnete rechtlich verbindliche Ziele (vgl. Kapitel 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) und ein vom Auftraggeber speziell für die vorliegende Studie zur Verfügung gestelltes Kriterien-Set (vgl. Anhang A).

Berücksichtigt wurden für die Ableitung der Kriterien ökologische Ziele aus den Bereichen

- Klimaschutz und Energiebedarf,
- Flächen- und Ressourcenverbrauch,
- Sicherheit sowie
- Luftreinhaltung und Lärmreduktion.

Das vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Kriterien-Set berücksichtigt darüber hinaus gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte. Auf diesen lag in der weiteren Untersuchung nicht der Fokus, allerdings wurden sie in ihrer Verflechtung mit ökologischen Zielen und im Rahmen einer Grobkontrolle der gefunden Ergebnisse berücksichtigt (vgl. dazu Kapitel 3.5 am Ende).

2.2.2 Schritt 2: Beschreibung von Anwendungsfällen

In einem zweiten Schritt wurden – unter der Prämisse, dass automatisiertes und vernetztes Fahren auf Level 4 und 5 möglich ist – denkbare Entwicklungslinien in den Teilsystemen MIV, ÖV, Güterverkehr und Infrastruktur identifiziert. Die folgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im Rahmen dieser Studie herausgearbeiteten Anwendungsfälle je Teilsystem vgl. zur Detailbeschreibung Kapitel 4.2).

Tabelle 1: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen

Teilsystem Infrastruktur

A) Physische und digitale Infrastruktur

1. Beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium ohne vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem
2. Starke Vernetzung von Beteiligten und Objekten des Verkehrssystems mit lenkender Verkehrsinfrastruktur (V21-Kommunikation)

B) Digitale Anwendungen

1. Multimodaler/intermodaler Verkehrsmittelzugang
2. Mobilitätsbezogene Serviceleistungen

Teilsystem Motorisierter Individualverkehr

A) Level 4

1. Autobahnpilot
2. Automatisiertes Valet Parking
3. City Pilot

B) Level 5

1. Privatfahrzeuge / Dienstwagen
2. Fahrzeuge für fahrerlose Fahrdienste

Teilsystem Öffentlicher Verkehr

1. Automatisierung bestehender ÖV-Systeme
2. Teilweiser Ersatz bestehender Linienverkehre
3. Ausweitung des bestehenden ÖV-Systems
4. Gezielte Ergänzung des übergeordneten ÖV-Systems („Feeder“)
5. ÖV-Erschließung im ländlichen Raum

Teilsystem Güterverkehr

1. Logistiknetzwerke mit fahrerlosen schweren Lkw (20 -40 t zulässiges Gesamtgewicht – zGG) über große Transportdistanzen
2. B2B-Direktverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw (3,5-7,5 t zGG) über mittlere und große Transportdistanzen
3. Verteilerverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw im Nahverkehr (3,5-7,5 t zGG) über kurze Transportdistanzen
4. Schienengüterverkehr/Kombinierter Verkehr (KV) national und international

Maßstab für die Auswahl der Anwendungsfälle war, dass diese einerseits in der Breite alle denkbaren Entwicklungen im jeweiligen Kontext abdecken, andererseits ausreichend konkretisiert sind, um Regulierungserfordernisse ableiten zu können. Anwendungsfälle, bei denen aus heutiger Sicht weitgehend sicher beurteilt werden kann, dass sie nicht umsetzbar sind, wurden in der näheren Untersuchung nicht berücksichtigt (vgl. dazu jeweils die Erläuterungen in der Einleitung in Kapitel 4 und in den Unterabschnitten von Kapitel 4.2).

Die getroffene Auswahl fußt auf einer umfassenden Auswertung der aktuellen Studienlage sowie der Konzepte des automatisierten und vernetzten Fahrens und wird ergänzt durch Erfahrungen und Erkenntnissen aus diversen Projekten, u. a. von den vom Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF) bearbeiteten UBA-Projekt „Digitalisierung im Verkehr – Potenziale und Risiken für Umwelt und Klima“ (vgl. DLR et al. i.E.) sowie dem 1. und 2. Teilbericht des Forschungsvorhabens „Recht und Rechtsanwendung als Treiber oder Hemmnis

gesellschaftlicher, ökologisch relevanter Innovationen – untersucht am Beispiel des Mobilitätsrechts“ (vgl. KCW, 2020; Öko-Institut & HWR 2019). Bewusst wurden sowohl Anwendungsfälle mit Chancen als auch solche mit Risiken hinsichtlich einer nachhaltigen Mobilität herausgearbeitet. Die folgende Tabelle 2 listet eine Auswahl an Quellen auf, die für die Herausarbeitung der Anwendungsfälle und für die Ableitung ihrer ökologischen Auswirkungen verwendet wurden.

Tabelle 2: Verwendeten Quellen zur Herausarbeitung der Anwendungsfälle

Teilsystem Infrastruktur

Agora Verkehrswende (2020b): Auto tankt Internet.

Beratungsstelle für Unfallverhütung (2020): Automatisiertes Fahren - Mischverkehr, Bern.

BMDV (2021): Mobilithek – Deutschlands Plattform für Daten, die etwas bewegen.

Esser, K.; Kurte, J. (2018): Autonomes Fahren - Aktueller Stand, Potentiale und Auswirkungsanalyse.

European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Levin, S.; Skinner, I.; Nokes, T.; et al. (2019): Support study for impact assessment of cooperative intelligent transport systems: final report, Publications Office.

Haefeli, U.; Bruns, F.; Arnold, T.; Straumann, R. (2020): Potenzialanalyse multimodale Mobilität. Verlagerungswirkungen, Erhöhung des Fahrzeugbesetzungsgrades sowie Reduktion Organisationsaufwand für Reisende im ÖV bis 2030. Bericht zuhanden des Bundesamts für Verkehr (BAV), Luzern/Zürich.

Hensher, D.A., C.Q. Ho, C.Q.; Reck, D.J. (2021): Mobility as a Service and private car use: evidence from the Sydney MaaS trial, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145: 17-33.

Strömberg, H.; Karlsson, I.C.M.; Sochor, J. (2018): Inviting travelers to the smorgasbord of 13 sustainable urban transport: evidence from a MaaS field trial, in: Transportation, 2018. 45 (6):1655- 14 1670.

Teilsystem Motorisierter Individualverkehr

Agora Verkehrswende (2020a): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität.

Dokic, J.; Müller, B.; Meyer, G. (2015): European roadmap smart systems for automated driving. European Technology Platform on Smart Systems Integration.

ERTRAC (2019): Automated Driving Roadmap, Status: final for publication.

Fraedrich, E., Beiker, S.; Lenz, B. (2015): Transition pathways to fully automated driving and its implications for the sociotechnical system of automobility, in: European Journal of Futures Research, Vol. 3, No. 1.

Lenz, B.; Fraedrich, E. (2015): Neue Mobilitätskonzepte und autonomes Fahren: Potenziale der Veränderung. In: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Springer.

PWC (2015): Connected Car Study 2015: Racing ahead with autonomous cars and digital innovation.

VDA (2015): Automatisierung von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren, VDA Magazin.

Teilsystem Öffentlicher Verkehr

Agora Verkehrswende (2020a): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität.

AustriaTech – Gesellschaft des Bundes für technologiepolitische Maßnahmen GmbH (2021): Mobilität findet Stadt - Fokus: Automatisierte Mobilität.

Dang, L.; von Arx, W.; Frölicher, J. (2021): The Impact of On-Demand Collective Transport Services on Sustainability: A Comparison of Various Service Options in a Rural and an Urban Area of Switzerland.

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2019): Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von morgen [AFKOS].

Hochschule Fresenius (2020): The future of autonomous vehicles.

Hörl, S.; Becker, F.; Dubernet, T.; Axhausen, K. (2019): Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung.

KCW (2020): Grundlagen für ein umweltorientiertes Recht der Personenbeförderung.

Knie, A.; Canzler, W.; Ruhrort, L. (2019): Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr - Chancen, Risiken und politischer Handlungsbedarf.

Litman, T. (2021): Autonomous Vehicle Implementation Predictions- Implications for Transport Planning.

Perret, F.; Arnold, T.; Fischer, R.; de Haan, P.; Haefeli, U. (2020): Automatisiertes Fahren in der Schweiz: Das Steuer aus der Hand geben?

PTV AG; PTV TC GmbH; KIT IfV + FAST; Rödl & Partner (2019): Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-) Bus.

Sonderegger, R.; Frölicher, J.; Imhof, S.; von Arx, W.; Sträuli, C.; Stadler, J.; Maibach, M. & Schaaffkamp, C. (2018): Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr - Neue Geschäftsmodelle für die SBB im ländlichen Raum?

Sonderegger, R.; Imhof, S.; von Arx, W.; Frölicher, J. (2019): Selbstfahrende Fahrzeuge im ländlichen Raum.

Soteropoulos, A.; Bruck, E.; Berger, M.; Egoldt, A.; Holst, A.; Richter, T.; László Z. (2021): Automatisierung, öffentlicher Verkehr und Mobility as a Service: Erfahrungen aus Tests mit automatisierten Shuttlebussen.

UITP (2020): Policy Brief - Autonomous vehicles: A Potential game changer for urban mobility.

Teilsystem Güterverkehr

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Masterplan Schienengüterverkehr.

Deutsche Bahn AG (2021): Automatisierte Zugbildung: Güterzüge starten künftig deutlich schneller, Pressemitteilung vom 07.06.2021.

Enzweiler, K.; Kind, S.; Jetzke, T. (2018): Autonomer Güterverkehr auf Straßen, Schienen und Wasserwegen, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Themenkurzprofil Nr. 19, September 2018.

Leister, H. (2017): ETCS und digitale Technologie für Stellwerke, in: Eisenbahn-Revue International, 8-9/2017.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2021): Autonomes Fahren im Liefer- und Güterverkehr, Empfehlungspapier der Arbeitsgruppe B im Themenfeld 5.

DLR; KIT; ifeu (im Erscheinen): Digitalisierung im Verkehr. Potentiale und Risiken für Umwelt und Klima: Abschlussbericht, UBA-Texte 04/2021, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau.

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Schaffung zukunftsfähiger Grundlagen für einen effizienten Schienengüterverkehr, Gutachten Nr.3/2020.

2.2.3 Schritt 3: Identifizierung von Regulierungserfordernissen

Im dritten Schritt wurden Regulierungserfordernisse identifiziert, die sich für das automatisierte und vernetzte Fahren aus der Zielausrichtung auf eine nachhaltige Mobilität ergeben.

Übergreifende Regulierungserfordernisse für den automatisierten und vernetzten Verkehr insgesamt (unabhängig vom Teilsystem) wurden insbesondere aus Interviews mit Entwicklerinnen und Entwicklern neuer Fahrzeugkonzepte am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte gewonnen sowie unter Einbezug einschlägiger Literatur zum Thema (vgl. dazu Kapitel 5.1). Hierbei handelt es sich um Regulierungserfordernisse für das automatisierte und vernetzte Fahren, die nicht ausschließlich einem der Teilsysteme Infrastruktur, Motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr und Güterverkehr zugeordnet werden können, sondern übergeordnet für mindestens zwei oder mehr Teilsysteme relevant sind.

Für die Identifikation von Regulierungserfordernissen in den Teilsystemen Infrastruktur, Motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr und Güterverkehr wurden die in Schritt 2 herausgearbeiteten Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Teilsysteme anhand der in Schritt 1 entwickelten Prüfkriterien für eine ökologisch nachhaltige Mobilität untersucht (vgl. dazu Kapitel 5.2). Durch den Abgleich mit den Prüfkriterien wurden die Anwendungsfälle in ihren Ausprägungsvarianten weiter aufgefächert und ökologische Effekte sowie Chancen bzw. Risiken spezifischer Entwicklungen innerhalb der Anwendungsfälle aufgezeigt.

Der Abgleich der Prüfkriterien mit den Anwendungsfällen erfolgte anhand von drei Prüffragen:

Frage 1: Tragen die untersuchten Entwicklungen bzw. Anwendungsfälle im Teilsystem gemessen an den Prüfkriterien etwas zum Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität bei?

- Bei Antwort „ja (uneingeschränkt)“ trägt die untersuchte Entwicklung bereits ohne regulierendes Eingreifen etwas zur Zielausrichtung auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität bei. Eine Unterstützung bzw. Förderung der Entwicklung durch staatliches Handeln ist erwägenswert.
- Bei Antwort „ja, aber nur, wenn ...“, „unklar“, „nein“ oder „nein, im Gegenteil“ ist die untersuchte Entwicklung ohne regulierendes Eingreifen als kritisch anzusehen. Eine kanalisierende bzw. begrenzende Regulierung ist (zwingend) erforderlich.

Frage 2: Sind die erwartbaren Entwicklungen im Teilsystem in jeder Hinsicht ökologisch nachhaltig bzw. können sie (voraussichtlich) durch Regulierung so kanalisiert/begrenzt werden, dass sie in jeder Hinsicht ökologisch nachhaltig erfolgen?

Frage 3: Soweit Regulierung erforderlich ist, was konkret sollte/muss getan werden?

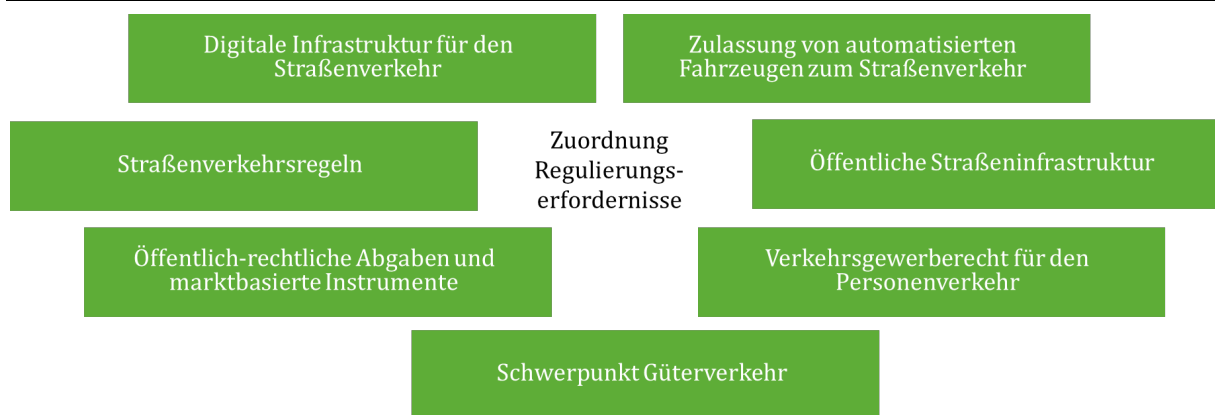
Die in Kapitel 2.2.2 dargestellte Tabelle 2 listet eine Auswahl an Quellen auf, die für die Bewertung verwendet wurden.

Als Ergebnis von Schritt 3 erfolgte eine auf die relevanten Aspekte fokussierte qualitative Beschreibung, in der die Konditionen bzw. Umfeldbedingungen für eine nachhaltige Umsetzung/Entwicklung bzw. die Tendenzen und Risiken einer ungesteuerten Umsetzung/Entwicklung aufgezeigt werden (vgl. Kapitel 5). Aus den Einschätzungen ergeben sich übergeordnete Regulierungserfordernisse sowie konkrete Regulierungserfordernisse je Teilsystem.

2.2.4 Schritt 4: Identifizierung von rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfen

Im vierten Schritt wurden die in Schritt 3 identifizierten Regulierungserfordernisse aus rechtlicher Perspektive thematisch geordnet (vgl. Übersicht in Abbildung 3) und durch einen Abgleich mit bestehenden Rechtsnormen rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarfe identifiziert (vgl. dazu die Details Kapitel 6).

Abbildung 3: Übersicht zur rechtlichen Sortierung der Regulierungserfordernisse



Quelle: Eigene Darstellung.

2.2.5 Schritt 5: Gesamthafte Auswertung

Abschließend erfolgte eine gesamthafte Auswertung der zur Regulierung der Digitalisierung im Verkehr und insbesondere des automatisierten und vernetzten Fahrens erforderlichen Maßnahmen mit Fokus auf ihrer Zielrichtung und in ihrem Zusammenwirken (regulativer Gesamtrahmen).

3 Zielausrichtung: ökologisch nachhaltige Mobilität

Die vorliegende Studie untersucht und identifiziert Regulierungserfordernisse, die der Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung im Verkehr dienen.

Eine nachhaltige Entwicklung wird – angelehnt an die „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021“ (vgl. Bundesregierung, 2020) – verstanden als eine wirtschaftlich leistungsfähige, sozial ausgewogene und ökologisch verträgliche Entwicklung, wobei die planetaren Grenzen unserer Erde zusammen mit der Orientierung an einem Leben in Würde für alle (ein Leben ohne Armut und Hunger; ein Leben, in dem alle Menschen ihr Potenzial in Würde und Gleichheit voll entfalten können) die absolute äußere Beschränkung vorgeben. „Nachhaltige Mobilität“ erfüllt also grundsätzlich Ansprüche an die drei Bereiche Ökologie, Gesellschaft und Ökonomie.

Der Fokus dieser Studie liegt auf den ökologischen Belangen als wichtigem Baustein einer nachhaltigen Mobilität. Effekte der Digitalisierung und Regulierungserfordernisse, welche sich primär auf die gesellschaftliche oder wirtschaftliche Dimension einer nachhaltigen Mobilität beziehen, stehen nicht im Vordergrund, werden aber dennoch in diesem Gutachten vorgestellt. Insbesondere dürfen die **gesellschaftliche sowie die wirtschaftliche Dimension** durch die gefundenen Studienergebnisse nicht nachteilig betroffen sein (vgl. dazu Kapitel 3.5 am Ende).

Übergeordnete **rechtlich verbindliche ökologische Ziele** ergeben sich in den folgenden Bereichen:

- ▶ **Klimaschutz, Treibhausgasreduktion und Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr** (vgl. Kapitel 3.1),
- ▶ **Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs** (vgl. Kapitel 3.2),
- ▶ **Sicherheit, insbesondere für den Fuß- und Radverkehr** (vgl. Kapitel 3.3),
- ▶ **Luftreinhaltung und Lärmreduktion** (vgl. Kapitel 3.4).

Aus diesen Zielsetzungen lassen sich Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität ableiten (vgl. dazu Kapitel 3.5), die für die Bewertung der zu erwartenden Entwicklungslinien der Digitalisierung im Verkehr in den betrachteten Teilsystemen und Regulierungserfordernisse herangezogen werden (vgl. dazu Kapitel 4 und 5).

3.1 Klimaschutz, Treibhausgasreduktion und Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr

Der Schutz des Klimas stellt ein herausragendes und verfassungsrechtlich verankertes Gemeinwohlinteresse dar. Die verfassungsrechtliche Pflicht zum Schutz des Lebens und der körperlichen Unversehrtheit (nach Art. 2 Abs. 2 Satz 1 GG) umfasst die Verpflichtung des Staates, Leben und Gesundheit – auch für künftige Generationen – vor den Gefahren des Klimawandels zu schützen.¹⁴ Art. 20a des Grundgesetzes (GG) verpflichtet den Staat zum Klimaschutz inklusive des Ziels, Klimaneutralität herzustellen.¹⁵

Verpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland zur Treibhausgasminderung bzw. Treibhausgasneutralität bestehen sowohl auf völkerrechtlicher Ebene als auch auf EU-Ebene:

¹⁴ Siehe dazu Bundesverfassungsgericht, Beschluss vom 24.03.2021, 1 BvR 2656/18, Leitsatz 1.

¹⁵ Siehe dazu Bundesverfassungsgericht, Beschluss vom 24.03.2021, 1 BvR 2656/18, Leitsätze 2 bis 4,

- ▶ Im Pariser Klimaschutzübereinkommen¹⁶ sind als Vertragsziele das Erreichen einer treibhausgasneutralen Weltwirtschaft zwischen 2050 und 2100 und die Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperaturen auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau festgelegt. Es sollen Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.
- ▶ Die Verordnung (EU) 2018/842¹⁷ verpflichtet Deutschland – für Sektoren, die nicht dem Emissionshandelssystem der EU¹⁸ unterliegen – bis 2030 zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 38 % gegenüber den Emissionen von 2005 und legt jährliche Emissionszuweisungen mit einem linearen Minderungspfad fest.
- ▶ Die Verordnung (EU) 2021/1119¹⁹ knüpft an den „Europäischen Grünen Deal“ der Europäischen Kommission (vgl. Europäische Kommission 2019) an und enthält als verbindliche Klimazieltvorgaben der EU bis 2030 die Senkung der Nettotreibhausgasemissionen (Emissionen nach Abzug des Abbaus) innerhalb der EU um mindestens 55 % gegenüber dem Stand von 1990 und Klimaneutralität bis spätestens 2050.

Der „Europäische Grüne Deal“ wie auch die daran anknüpfende „Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität“ der Europäischen Kommission (vgl. Europäische Kommission 2020) sehen eine Verringerung der verkehrsbedingten Emissionen um 90 % bis 2050 vor.

Das (im August 2021 novellierte)²⁰ Klimaschutzgesetz des Bundes (KSG)²¹ legt für die schrittweise Minderung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 Folgendes rechtlich verbindlich fest (vgl. § 3 Abs. 1, Abs. 4 Satz 2 KSG):

- ▶ für das Zieljahr 2030 eine Minderungsquote von mindestens 65 %,
- ▶ für das Zieljahr 2040 eine Minderungsquote von mindestens 88 %.

Bis zum Jahr 2045 sollen die Treibhausgasemissionen so weit gemindert sein, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird; nach dem Jahr 2050 sollen negative Treibhausgasemissionen erreicht werden (§ 3 Abs. 2 KSG). Im Gesetz werden zulässige Jahresemissionsmengen (u. a. für den Sektor Verkehr) für die Jahre 2020 bis 2030 (§ 4 und Anlage 3) festgelegt. Für die Jahre 2031 und 2040 werden jährliche Minderungsziele gegenüber 1990 genannt (§ 4 und Anlage 3). Auch ist ein Mechanismus für die Überprüfung, Anpassung und Fortschreibung der Jahresemissionsmengen und jährlichen Minderungsziele vorgesehen (§ 4 Abs. 1, Abs. 5, Abs. 6 und Abs. 7 KSG).

Die tatsächliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehr wird diesen Entwicklungen bisher nicht gerecht (vgl. dazu Abbildung 4).

¹⁶ Gesetz zu dem Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember 2015 vom 28. September 2016, BGBl. 2016 Teil II Nr. 26 vom 30. September 2016.

¹⁷ Verordnung (EU) 2018/842 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013.

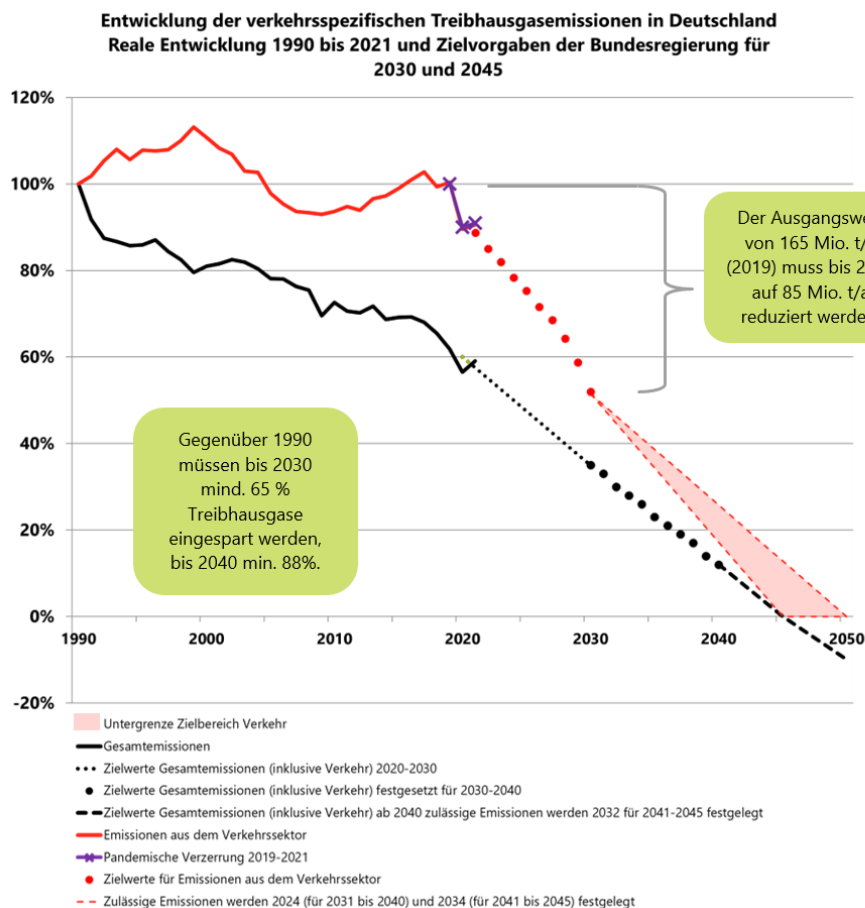
¹⁸ Siehe zum EU-Emissionshandelssystem (in den Sektoren Strom- und Wärmeerzeugung, energieintensive Industriezweige und Luftverkehr) und den diesbezüglichen EU-Vorgaben: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_de

¹⁹ Verordnung (EU) 2021/1119 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“).

²⁰ Siehe zur vorhergehenden Gesetzesfassung auch Bundesverfassungsgericht, Beschluss vom 24.03.2021, 1 BvR 2656/18, Randziffern 256 ff.

²¹ Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist.

Abbildung 4: Klimaschutz und Treibhausgasreduktion im Verkehr



Quelle: Eigene Darstellung KCW mit Daten von Umweltbundesamt (2022) sowie Bundes-Klimaschutzgesetz²².

Eine den Zielvorgaben entsprechende Treibhausgasreduktion im Verkehr erfordert sowohl eine Umstellung auf klimaneutrale Antriebsenergien mit hoher Primärenergieeffizienz wie auch eine Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr insgesamt (vgl. KCW 2020, S. 57 ff.). Das Gesamtverkehrssystem muss mit allen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten auf eine effiziente Nutzung und die Einsparung von Energie ausgerichtet werden. Das bedeutet einerseits, dass im Verhältnis der motorisierten Verkehrsmittel zueinander eine Verkehrsverlagerung zu Verkehrsmitteln mit einer hohen Beförderungseffizienz erfolgen muss (vgl. zum Einsparpotenzial KCW 2020, S. 62). Auch müssen technologische Entwicklungen und ggf. durch diese neu geschaffene Möglichkeiten für energieeffiziente Fahrweisen genutzt werden (Vgl. dazu Kapitel 5.1.1.2 und 5.1.1.3). Zudem dürfen etwaige Effizienzgewinne bei Fahrweise und Gesamtverkehrssystem nicht durch zusätzliche Energiebedarfe der erforderlichen digitalen Infrastruktur und neuer Fahrzeugkomponenten überwogen werden (vgl. Agora Verkehrswende (2020b).

Vorteilhaft mit Blick auf die Energieeffizienz ist eine Verlagerung von Personenverkehrsleistung vom Pkw-Verkehr in den Umweltverbund (Rad- und Fußverkehr und Öffentlicher Verkehr)²³.

²² Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist.

²³ Der Begriff Umweltverbund wird weder planerisch/organisatorisch noch rechtlich noch tatsächlich einheitlich verwendet. Was unter Umweltverbund verstanden werden soll, wird häufig nicht explizit definiert; meist steht der Begriff für umweltverträgliche Mobilitätsformen des öffentlichen Verkehrs, Radverkehrs sowie des Fußverkehrs, teilweise auch unter Einschluss von öffentlich zugänglichen Vermietungssystemen wie Car- oder Bikesharing. In dieser Studie steht der Begriff für Fußverkehr, Radverkehr und öffentlichen Verkehr; eingeschlossen wären auch zukünftige fahrerlose Angebote, soweit sie von gesetzlichen Definitionen des ÖPNV erfasst werden.

Der Rad- und Fußverkehr sollte zugleich einen möglichst großen Anteil im Gesamtverkehrssystem haben (vgl. zum Potenzial KCW 2020, S. 67). Für den Personenverkehr mit motorisierten Fahrzeugen stellt sich ein systematischer Effizienzgewinn ein, wenn – im Vergleich zum Status quo – eine höhere Fahrzeugbesetzung, eine Reduktion von Leerfahrten (bei der Personenbeförderung) oder eine Reduktion von Umwegen erreicht wird. Vorteile des öffentlichen Verkehrs ergeben sich – vor allem in verdichteten Räumen mit höherer Verkehrsnachfrage – aus den Klimaschutz- und Energieeffizienzvorteilen von elektrischen Zügen, U-Bahnen, Straßenbahnen, Obussen und batterieelektrischen Bussen, da hier viele Fahrgäste in Fahrzeugen mit effizienten Elektroantrieben gemeinsam befördert werden können. Die Effizienz eines Sammelfahrdienstes oder taxiähnlichen Fahrdienstes steht regelmäßig deutlich hinter der Effizienz von elektrischen Zügen, U-Bahnen, Straßenbahnen, Obussen und batterieelektrischen Bussen zurück.²⁴ Ein ökologisch nachhaltiger Fahrdienst zeichnet sich daher vor allem dadurch aus, dass er nicht in Konkurrenz zu Verkehrsmitteln mit Klimaschutz- und Energieeffizienzvorteilen tritt, sondern deren Nutzung durch die Fahrgäste systematisch unterstützt (Kohärenz statt Konkurrenz). Eine hohe Fahrzeugbesetzung ist allerdings nicht immer erreichbar, z.B. wenn (räumlich) eine gemeinsame Beförderung nicht oder nur unter Inkaufnahme erheblicher Umwege möglich wäre. Hier stößt der öffentliche Verkehr mit den genannten spezifischen Vorteilen an seine Grenzen.

Für den Güterverkehr gelten analoge Überlegungen wie für den Personenverkehr. Auch bei der Beförderung von Gütern ist ein hohes Maß an Energieeffizienz klimapolitisch geboten. Der Schienengüterverkehr ist durch seinen geringen Primärenergiebedarf je Aufkommenseinheit (t, Tkm) und die weitgehende Streckenelektrifizierung wesentlich energieeffizienter als der Straßengüterverkehr. Dementsprechend sind Verlagerungen von Gütern von der Straße auf die Schiene dort sinnvoll, wo eine entsprechend große Verkehrsnachfrage gebündelt werden kann. Insbesondere auf langen Strecken kann die Schiene ihre spezifischen (Kosten- und Volumen-) Vorteile ausspielen. Parallel bedarf es vielfältiger Verbesserungen des Schienenverkehrsangebotes, etwa hinsichtlich der Transportzeiten, der Be- und Entladezeitfenster und der Zuverlässigkeit / Planbarkeit, um verladende Unternehmen und Speditionen von einem Umstieg von der Straße auf die Schiene überzeugen zu können.

Für die Vor- und Nachläufe in Sammel- und Verteilverkehren des Güterverkehrs auf der Straße werden weiterhin straßengebundene Verkehre benötigt. Diese müssen möglichst rasch auf klimafreundlichere, d.h. batterieelektrische und ggf. wasserstoffbasierte Antriebe umgestellt werden. Darüber hinaus sind diese alternative Antriebsformen auch auf (bislang) nicht elektrifizierten Schienengüterverkehrsstrecken klimapolitisch sinnvoll nutzbar.

Als Maßstab für die Beurteilung von Verlagerungswirkungen innerhalb des motorisierten Personenverkehrs kann der Besetzungsgrad bzw. Besetzungsquotient und innerhalb des Güterverkehrs der Auslastungsgrad herangezogen werden. Der Besetzungsquotient bzw. Auslastungsgrad ergibt sich als Quotient aus Verkehrsleistung (in Personenkilometern bzw. Tonnenkilometern) und Fahrleistung (in Fahrzeugkilometern).

3.2 Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs

Die Flächeninanspruchnahme durch den Verkehr und allgemein der Verbrauch von Ressourcen hat in mehrfacher Sicht eine Bedeutung für eine ökologisch nachhaltige Mobilität:

Zum einen konkurrieren um die Nutzung des öffentlichen Straßenraums in verdichteten Lagen vielfältige – durch grundgesetzliche Freiheitsrechte geschützte – Interessen von Menschen, Einrichtungen und Unternehmen (vgl. KCW 2020, S. 49 ff.). Hier gilt es durch staatliches Handeln

²⁴ Vgl. etwa anhand der Kosten pro Personenkilometer KCW 2020, S. 132.

eine den vielfältigen Freiheitsrechten und ökologischen Zielen gerecht werdende Auflösung zu finden – insbesondere die ökologischen Vorteile des Rad- und Fußverkehrs sollten ausreichend berücksichtigt werden.

Zum anderen ist ein sparsamer Flächenverbrauch bzw. jedenfalls die Vermeidung einer Neuinanspruchnahme von Flächen sowie ein effizienter Umgang mit den vorhandenen Ressourcen Gegenstand von Nachhaltigkeitsstrategien (vgl. Bundesregierung 2020; Europäische Kommission 2011) und verkehrlichen Planungen²⁵.

Verkehrsleistung und Flächennutzungen durch Verkehr müssen möglichst effizient ausgestaltet werden. Wesentlich dafür ist einerseits eine hohe Beförderungseffizienz (vgl. dazu in Kapitel 3.1). Grenzen bestehen hier, wie bereits oben skizziert, für Sammel- und Verteilverkehren des Straßengüterverkehrs, bei denen Verlagerungen kaum machbar sind.

Vorteile bieten zudem eine Verkleinerung der gesamten Fahrzeugflotte und ein damit einhergehender Rückgang des Flächenbedarfs für den ruhenden Verkehr. Im Idealfall wird dadurch nicht nur eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme verhindert, sondern es werden sogar vom motorisierten Verkehr genutzte Flächen frei und können einer anderen Nutzung zugeführt werden.

Der Einsatz von Ressourcen (für Infrastruktur und Fahrzeuge) ist ebenfalls effizient zu entwickeln.

3.3 Sicherheit insbesondere für den Fuß- und Radverkehr

Das Leben und die körperliche Unversehrtheit als grundrechtliche Schutzgüter (vgl. Art. 2 Abs. 2 Satz 2 Grundgesetz) sind vor Unfallgefahren im Verkehr präventiv zu schützen.

Sowohl Strategien bzw. Aktionspläne auf UN-Ebene²⁶ als auch EU-Ebene (vgl. Europäische Kommission 2020; Europäische Kommission 2021a) zielen auf den Schutz von Verkehrsteilnehmern und Verkehrsteilnehmerinnen im Straßenverkehr, insbesondere auf eine starke Reduzierung von Todesopfern. Die „Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität“ der Europäischen Kommission (vgl. Europäische Kommission 2020) definiert als prioritäres Etappenziel, dass es in der EU bis 2050 verkehrsträgerübergreifend „praktisch keine Todesopfer“ mehr geben soll. Den verschiedenen Formen der aktiven Mobilität (Rad- und Fußverkehr) soll darüber hinaus mehr Raum verschafft werden, um Todesopfer und Schwerverletzte unter den ungeschützten Verkehrsteilnehmenden zu vermeiden.

Auf die Sicherheit im Bereich Rad- und Fußverkehr haben viele Faktoren Einfluss:

- ▶ Die Gestaltung des öffentlichen Straßenraums, insbesondere die Straßenraumaufteilung zwischen motorisiertem Verkehr, Radverkehr und Fußverkehr sowie die Gestaltung von Straßenkreuzungen,
- ▶ die Geschwindigkeit motorisierter Fahrzeuge, Licht (adaptive Scheinwerfer, Tagfahrlicht), Abstand,
- ▶ Ablenkungen und Beeinträchtigungen der Person, die das Fahrzeug führt (z.B. durch Müdigkeit, Drogen oder Alkohol),
- ▶ Sicherheitstechnik zum Schutz der Fahrzeuginsassinnen und -insassen und weiterer Verkehrsteilnehmenden.

²⁵ Siehe z.B. den Bundesverkehrswegeplan 2030 vom 03.08.2016, der die Inanspruchnahme von Flächen neben den „in erster Linie“ bestehenden Zielen („Herstellung eines bedarfsgerechten und sicheren Verkehrsnetzes“) erwähnt (vgl. BMVI 2016).

²⁶ Siehe Ziel 3 insbesondere 3.6 und 3.9 der UN-Resolution A/RES/70/1 vom 25.09.2015 (vgl. UN 2015).

Eine Erhöhung der Beförderungseffizienz durch eine Verlagerung von Personenverkehrsleistung vom Pkw-Verkehr in den Umweltverbund bzw. von Güterverkehrsleistung von der Straße auf die Schiene (vgl. Kapitel 3.1) sowie eine daraus resultierende verringerte Fahrleistung im motorisierten Verkehr können sich vorteilhaft auf die Sicherheit insbesondere für den Fuß- und Radverkehr auswirken. Grenzen bestehen hier, wie bereits oben skizziert, für Sammel- und Verteilverkehren des Straßengüterverkehrs, bei denen Verlagerungen kaum machbar sind.

Wegen der potenziellen Unfallschwere muss ein besonderes Augenmerk auf einer Verbesserung des Schutzes von Rad- und Fußverkehr vor Unfällen mit Lkw liegen. Diese finden aufgrund der höheren Nutzungskonkurrenzen des öffentlichen Raumes vorrangig in verdichteten Gebieten statt. Neben baulichen Veränderungen an der Straßenraumaufteilung kommen hierfür insbesondere Assistenzsysteme wie Rückfahsassistenten, Kollisionswarnungssysteme und Abbiegeassistenzsysteme in Betracht. Eine entsprechende EU-Verordnung zur schrittweisen verpflichtenden Einführung derartiger Systeme ist zum 06.07.2022 in allen EU-Mitgliedsstaaten anzuwenden.²⁷

3.4 Luftreinhaltung und Lärmreduktion

Auch die Reduzierung von Luftverschmutzung und Lärm sind Gegenstand von Strategien bzw. Aktionsplänen auf UN-Ebene²⁸ und EU-Ebene (vgl. Europäische Kommission 2020; Europäische Kommission 2021a).

Der „Europäische Grüne Deal“ wie auch der an diesen anknüpfende EU-Aktionsplan „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“ (vgl. Europäische Kommission 2021a) sehen ein „Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt“ vor. Dieses Ziel wird im EU-Aktionsplan wie folgt definiert:

- ▶ Null-Schadstoff-Ziele 2030: unter anderem eine Reduzierung der gesundheitlichen Auswirkungen (vorzeitige Todesfälle) der Luftverschmutzung um mehr als 55 % und eine Reduzierung des Anteils der durch Verkehrslärm chronisch beeinträchtigten Menschen um 30 %.
- ▶ Null-Schadstoff-Vision 2050: Reduzierung der Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden auf ein Niveau, das als nicht mehr schädlich für die Gesundheit und die natürlichen Ökosysteme gilt und die für unseren Planeten hinnehmbaren Grenzen respektiert, sodass eine schadstofffreie Umwelt geschaffen wird.

Gegenstand des EU-Aktionsplans ist unter anderem eine Überarbeitung der EU-Richtlinien über die Luftqualität sowie Folgemaßnahmen zur Evaluierung der Richtlinie über umweltbelastende Geräuschemissionen.

Die bestehenden Luftqualitätsnormen der EU (Richtlinie 2008/50/EG²⁹) legen Luftqualitätsziele zur Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt fest. In Deutschland werden wesentliche Ziele und Grenzwerte für die Luftreinhaltung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und in nachgelagerten Verordnungen und technischen Anleitungen festgelegt. Sie betreffen im Bereich Verkehr vor allem Schadstoffe aus Verbrennungsvorgängen und dem Bremsabrieb sowie

²⁷ Siehe EU-Verordnung 2019/2144 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.

²⁸ Siehe Ziel 3 insbesondere 3.6 und 3.9 der UN-Resolution A/RES/70/1 vom 25.09.2015 (vgl. UN 2015).

²⁹ RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, geändert durch die RICHTLINIE (EU) 2015/1480 DER KOMMISSION vom 28. August 2015.

mittelbar bei elektrischem Antrieb energiebedingte Schadstoffe aus Verbrennungsvorgängen der Kraftwerke.

Die bestehenden europäischen Lärmschutzvorschriften (Richtlinie 2002/49/EG³⁰) zielen darauf schädliche Auswirkungen, einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern. Eine Umsetzung der Vorschriften ist ebenfalls im BImSchG, §§ 47 ff., erfolgt.

Die aktuelle Entwicklung hin zu mehr Elektromobilität kann sowohl Luftreinhaltung als auch (in Grenzen) Lärmreduktion unterstützen.

In besonders betroffenen Gebieten – Ballungsräumen sowie Kleinstädten und Straßendörfern auf dem Land, die eine hohe Verkehrsbelegung haben – muss zusätzlich durch eine gezielte Verlagerung des Personenverkehrs vom motorisierten Individualverkehr hin zum Umweltverbund eine Entlastung gebracht werden (vgl. KCW 2020).

Bei den Sammel- und Verteilverkehren des Straßengüterverkehrs, die wesentlich zur Lärmbelastung und lokalen Luftverschmutzung in Ballungsräumen beitragen, sind derartige Verlagerungen kaum machbar: Hier müssen andere Maßnahmen greifen. Insbesondere kommt der verstärkte Einsatz batterieelektrisch betriebener Lieferfahrzeuge in Frage. Diese stoßen keine lokalen Luftschadstoffe aus und sind i.d.R. sehr leise. Darüber hinaus kommt z.B. (Nacht-)Fahrverboten für Lkw in besonders sensiblen Wohngebieten und fahrzeugseitigen Maßnahmen eine Bedeutung zur Lärmreduktion und Luftreinhaltung zu.

Zu berücksichtigen sind auch die Auswirkungen auf sensible Gebiete (z.B. Wohngebiete, Krankenhausanlagen, Grünanlagen und Parks), die besonders vor Umweltauswirkungen wie Lärm und Luftschadstoffen geschützt werden sollten. Im Einzelfall kann es hier zu Zielkonflikten zwischen einer grundsätzlich angestrebten Reduktion der Fahrleistung im motorisierten Verkehr und dem Schutz der sensiblen Gebiete (z.B. durch Inkaufnahme von Umwegen) kommen, die gemessen an den jeweils in der konkreten Situation betroffenen Interessen und der Intensität der Betroffenheit angemessen aufgelöst werden müssen.

3.5 Abgeleitete Kriterien für ökologisch nachhaltige Mobilität

Wie im methodischen Vorgehen in Kapitel 2.2 beschrieben, lassen sich aus den oben (Kapitel 3.1, 3.2, 3.3 und 3.4) genannten ökologischen Zielsetzungen die folgenden Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität ableiten.

Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

1. Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs³¹ werden verbessert.
2. Es gibt möglichst viel Mobilität im Rad- und Fußverkehr.
3. Es gibt möglichst wenig Mobilität im motorisierten Verkehr (Ausnahme: ÖV-Linienverkehr).

Erläuterung: Idealerweise wird die Fahrleistung im motorisierten Verkehr insgesamt reduziert. ÖV als Linienverkehr, der unabhängig von einzelnen Fahrtwünschen stattfindet, ist anders zu bewerten als MIV oder als ÖV, der im Gegensatz zum ÖV-Linienverkehr als bedarfsorientierter Sammelfahrdienst erfolgt (und zusätzliche Fahrleistungen auslöst). Induzierter Verkehr, der zusätzliche Fahrleistungen im motorisierten Verkehr bewirkt, ist besonders kritisch zu sehen;

³⁰ RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.

³¹ vgl. Gericke et al. 2020, S. 145 ff. Siehe auch die Publikationen auf der Internetseite „Aktive Mobilität“ des Umweltbundesamtes (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/aktive-mobilitaet>).

eine Ausnahme stellen hier Angebote zur Gewährleistung einer Grundmobilität oder ggf. spezielle barrierefreie Angebote dar.

4. Soweit Verkehrsaufkommen bzw. die Beförderung von Personen und Güter im motorisierten Verkehr nicht vermeidbar ist, wird eine höchstmögliche Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem erreicht (Gesamtbetrachtung aller Verkehrsmittel ohne Fuß- und Radverkehr).

Erläuterung: Die Beförderungseffizienz zeichnet sich dadurch aus, dass die Beförderungsleistung (Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer) mit geringem Einsatz von Ressourcen ermöglicht wird. Der tragende Grund dafür ist die Bündelungsfunktion des ÖV bzw. des Schienengüterverkehrs.

Ein durchschnittliches Fahrzeug des ÖV wird auch unter Berücksichtigung der notwendigen Leerfahrten von vielen Personen genutzt und die Fahrzeuge werden viele Stunden am Tag eingesetzt und haben daher keine dem privaten Pkw vergleichbare Standzeiten. Ein höherer Verkehrsleistungs-Anteil an ÖPNV bei gleichzeitiger Verringerung der mit dem MIV erbrachten Verkehrsleistungen verbessert daher die Nachhaltigkeit des Verkehrssystems in seiner Gesamtheit durch einen erhöhten Beitrag zur Einhaltung der Klimaschutzziele, zum Schutz von Leben und körperlicher Unversehrtheit und durch mehr Flächen für lebenswerte Städte und Räume.

Anhand des Prüfkriteriums wird die durch die untersuchte Entwicklung zu erwartende Veränderung betrachtet und zwar anhand eines überschlägigen (nicht zahlenbasierten) Vergleichs des „Besetzungsquotienten“ bzw. Auslastungsgrads des Gesamtverkehrssystems mit der untersuchten Entwicklung und ohne die untersuchte Entwicklung. („Besetzungsquotient“ wird verstanden als Quotient aus Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer und Fahrzeugkilometer jeweils im gesamten motorisierten Verkehr).

5. Das ÖV-System und der Schienengüterverkehr werden leistungsfähig und attraktiv gestaltet.³²
6. Es werden umfassend alternative Antriebe eingesetzt, die postfossile, treibhausgasneutrale Kraftstoffe und Strom nutzen.
7. Neu geschaffene digitale Systeme werden funktional auf optimale Energieeffizienz ausgerichtet.

Erläuterung: Erforderliche neue Systemkomponenten der Fahrzeuge und erforderliche neue digitale Infrastrukturen sollten nach dem Prinzip „so viel wie nötig und so wenig wie möglich“, also begrenzt auf das funktional erforderliche Minimum umgesetzt werden.

8. Bisher (überwiegend) vom motorisierten Verkehr genutzte Flächen werden frei und können einer anderen (ökologisch sinnvollen) Nutzung zugeführt werden.
9. Luftschadstoffe und Lärm werden so weit wie möglich reduziert (insgesamt bzw. prioritär in sensiblen Gebieten).

Erläuterung: Eine Reduktion von Verkehrsemissionen und -lärm sollte insbesondere/prioritär in sensiblen Gebieten wie z.B. Wohngebieten, Krankenhausanlagen, Grünanlagen und Parks erreicht werden.

10. Der Ressourceneinsatz für (neue) digitale Systeme und die Fahrzeugherstellung wird so weit wie möglich reduziert (Gesamtbetrachtung aller Verkehrsmittel).

³² Im Gegensatz zum Personenverkehr mit seinen Elementen ÖV und MIV (plus Rad- und Fußverkehr) ist der Güterverkehr strikt marktlich organisiert, d.h. es gibt keinen öffentlichen Güterverkehrssektor. Schienengebundener Güterverkehr ist aber weit energieeffizienter und i.d.R. umweltfreundlicher als Straßengüterverkehr und ähnelt in dieser relativen Vorteilhaftigkeit dem ÖV. Deshalb werden beide Systeme an dieser Stelle gleichrangig erwähnt.

Für die Untersuchung zu beachtende gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte

Neben den vorgenannten ökologischen Aspekten werden bei der Identifikation von Regulierungserfordernissen die folgenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt:

- ▶ Die **Mobilitätssicherung der Bevölkerung** als staatliche Gewährleistungsverantwortung im Rahmen der Daseinsvorsorge:³³ Die Sicherung von Mobilität für alle setzt voraus, dass für alle tägliche Wege – auch in Räumen und Zeiten schwacher Nachfrage – ein tatsächlich für alle nutzbares Mobilitätsangebot besteht. Angebotslücken im öffentlichen Verkehr z.B. im ländlichen Raum, hohe Nutzungskosten oder eine exklusive Ausgestaltung von Mobilitätsangeboten können dem entgegenstehen.
- ▶ Die **Umsetzbarkeit für staatliche Akteure, insbesondere für Kommunen (organisatorisch und finanziell)**: Die Kommunen sind maßgebliche Akteure für die lokale verkehrliche Gestaltung.³⁴ Eine Digitalisierung im Verkehr wie auch eine ggf. diesbezüglich erforderliche lokale Regulierung durch Kommunen müssen den verfassungsrechtlichen Status der Kommunen beachten (vgl. Hermes et al. 2022a, S. 27 ff.) und für diese sowohl finanziell als auch organisatorisch umsetzbar sein.

³³ Siehe zur verfassungsrechtlichen Begründung: KCW,2020, S. 43 f. Siehe zur „Fortentwicklung“ der Gewährleistungsverantwortung bezogen auf eine „umwelt- und klimaverträgliche Mobilität“: Hermes et al.2022a, S. 9.

³⁴ Die ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit lokalen Verkehrsleistungen im ÖPNV liegt als „Angelegenheit der örtlichen Gemeinschaft“ in der Verantwortung der Kommunen (sog. kommunale Selbstverwaltungsgarantie nach Art. 28 Absatz 2 Grundgesetz). Kommunen sind „Träger der Straßenbaulast“ für Gemeindestraßen nach dem Straßen- und Wegerecht des jeweiligen Landes und ggf. für Ortsdurchfahrten weiterer Straßen. Zudem tragen Kommunen Aufgaben der „Straßenverkehrsbehörde“ und sind damit in den Vollzug des Straßenverkehrsrechts eingebunden.

4 Systematisierung und Festlegung der untersuchten Anwendungsfälle

In Kapitel 4.1 werden zunächst die übergreifenden Entwicklungen der Digitalisierung und der dadurch ermöglichten digitalen Transformation im Verkehr dargestellt, in Kapitel 4.2 folgt dann eine Darstellung für die einzelnen Teilsysteme Infrastruktur, Motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr und Güterverkehr. Eine Übersicht der für diese Untersuchung identifizierten Anwendungsfälle in den Teilsystemen findet sich in Kapitel 2.2.2. Die einzelnen Anwendungsfälle werden in den Kapiteln 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 und 4.2.4 erläutert.

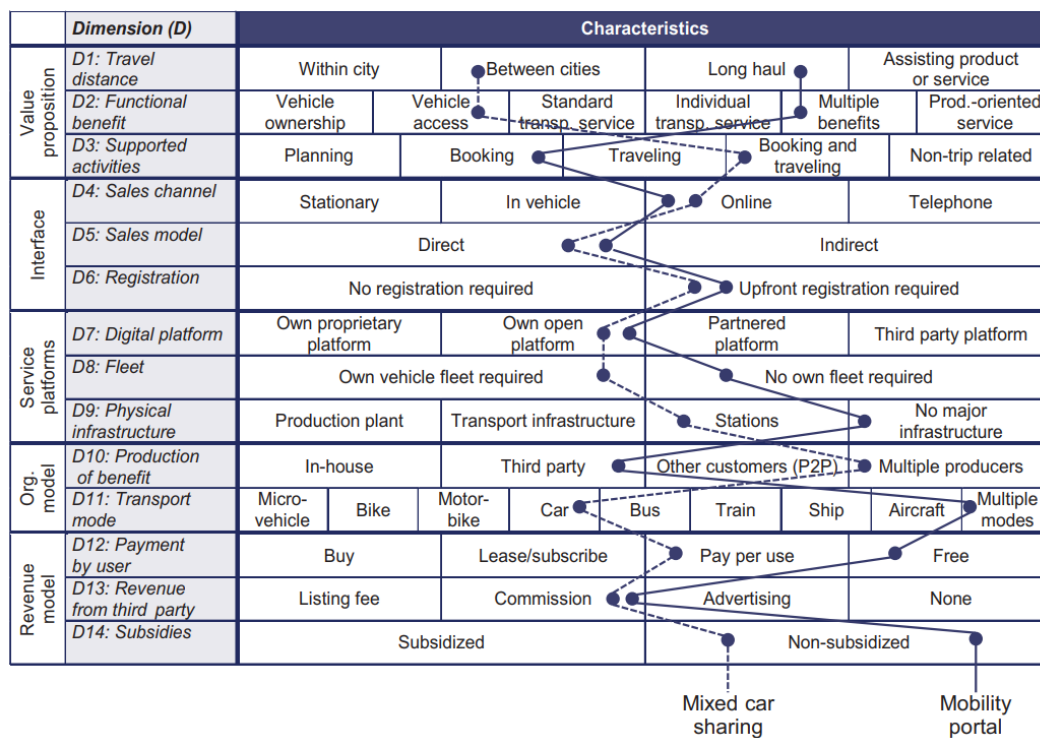
Vorangestellt seien hier die wichtigsten Grundannahmen bzw. -feststellungen für die Untersuchung von Entwicklungslinien und Anwendungsfällen der jeweiligen Teilsysteme. Der Prozess der Digitalisierung (und die damit verknüpfte digitale Transformation; zur Unterscheidung zwischen diesen Begriffen vgl. Kapitel 4.1.1) sowie die Automatisierung im Verkehrsbereich (aber auch in anderen Bereichen), erfolgen weitgehend ungesteuert von der in Kapitel 3 entwickelten Zielausrichtung. Generell prägt Entwicklerinnen und Entwickler, beteiligte Unternehmen und (auch politische) Unterstützerinnen und Unterstützer eine „technikoptimistische“ Perspektive, indem der Digitalisierung und der digitalen Transformation hohe, aber teils nicht differenziert hinterfragte Lösungspotenziale etwa für die Herausforderungen des Klimaschutzes zugeschrieben werden (vgl. kritisch Clausen et al. 2022). Die Entwicklung und auch eine erste rechtliche Rahmgebung folgen bisher häufig dem Prinzip der Ermöglichung ohne Rückkoppelung des Nachweises eines wirksamen Beitrags hin zu einer nachhaltigen Mobilität bzw. einem nachhaltigen Verkehrssystem (vergleichbar auch in anderen Bereichen).

Dynamische Entwicklungsprozesse von Technologien erfolgen inhärent unter hoher Unsicherheit über Erfolg, Akzeptanz und tatsächliche spätere Ausprägung der Anwendungen dieser Technologien. Die vorliegende Untersuchung der nachfolgend systematisierten und festgelegten Anwendungsfälle (vgl. Kapitel 4.2) basiert auf heute bekannten Entwicklungslinien und dem in der Fachwelt diskutierten Stand. Aus der vertiefenden Betrachtung wurden allerdings solche Entwicklungslinien ausgeschlossen, die – zu Ende gedacht – in einem Konflikt mit verfassungsrechtlichen Gütern oder den verfügbaren Ressourcen stehen, sodass eine Entwicklung in diese Richtung aus heutiger Sicht als sehr unrealistisch zu betrachten ist. Solch „harte Umsetzungsgrenzen“ bestehen z.B. in den absoluten Grenzen der Flächen- und Infrastrukturkapazität.

Für die Untersuchung der denkbaren Entwicklungslinien im MIV wird angenommen, dass grundsätzlich anfangs hohe Nutzungskosten entstehen werden. Unter der Annahme, dass die Kosten ggf. auf längere Zeit in der Breite tragbar werden könnten, werden die erwarteten Effekte auf die ökologische Nachhaltigkeit dennoch für eine Umsetzung in der Breite untersucht.

Im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung entstehen als Produkte der digitalen Transformation des Verkehrs neue Geschäftsmodelle, die neue Akteure (z.B. Automobilhersteller oder Plattformanbieter) auf den Plan rufen (vgl. zur in dieser Studie verwendeten Begrifflichkeit nachfolgend Kapitel 4.1.2, Abbildung 6). Beispielsweise definieren Remane et al. (2017, S.45) eine Taxonomie von digitalen Geschäftsmodellen im Verkehr anhand von 14 Dimensionen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Taxonomie von Geschäftsmodellen im Verkehr gemäß Remane et al. (2017)



Quelle: Remane et al. (2017).

Überwiegend digitale neue Geschäftsmodelle identifizieren Remane et al. (2017) in den Teilbereichen der Fahrdienst-Angebote (Fahrräder und Pkw), taxiähnliche Dienste (z.B. Taxi-Apps), Smart Parking, intermodale Reisen (z.B. Fahrplaninformationen, Vergleich von Transportmodi oder Transportdienstleistern, Routenoptimierung), E-Mobilität (z.B. Betrieb von Ladeinfrastrukturen), vernetzte Fahrzeuge (z.B. Navigationsdienste, nutzungsbasierte („pay as you drive“) Versicherung, ortsbasierte Werbung), Mikrofahrzeuge (z.B. E-Tretroller), ländliche Mobilität (z.B. Carsharing im ländlichen Raum) und Vergleichsportale (z.B. Vergleich von Treibstoffkosten, Vergleich von Fahrzeugen, Vergleich von Fahrzeugversicherungen, Vergleich von Reparaturdienstleistern) (ebd., S.49). Anthopoulos und Attour (2018) identifizieren diverse „Smart Mobility“-Dienstleistungen in ähnlichen, aber weniger, Bereichen, darunter Parkleitsysteme, Informationssysteme für den öffentlichen Personenverkehr und „Carpooling“-Systeme (gemeinschaftliche Nutzung privater Pkw). Cruz und Sarmento (2020) untersuchten spezifisch das digitale Geschäftsmodell von „Mobility as a Service“-Lösungen, Stocker & Shaheen (2017) generell Geschäftsmodelle von Sammelfahrdiensten.

Die Entwicklungen digitaler Geschäftsmodelle im Verkehr werden bei der Ableitung von denkbaren Entwicklungslinien aufgenommen. Offen gelassen wird in der vorliegenden Untersuchung, welche Rolle Beförderungsunternehmen in der Mobilitätskette zukünftig einnehmen werden. Denkbar sind unterschiedliche Rollen vom Komplettanbieter (Informieren, Buchen, Bezahlen, Fahren) bis zu einer reinen „Fuhrhalterrolle“ (Plattform wird durch Privatunternehmen betrieben, Verkehrsunternehmen ist nur für „das Fahren“ zuständig).

4.1 Überblick: Digitalisierung im Verkehr

4.1.1 Digitalisierung und digitale Transformation

Immer mehr Lebens- und Wirtschaftsbereiche unterliegen dem Megatrend der fortschreitenden Digitalisierung. Digitalisierung bedeutet grundlegend der zunehmende Einsatz von digitaler

Technologie wie Computern und dem Internet unter „Umwandelung“ von bislang analogen in digitale Inhalte, Prozesse oder Arbeitsweisen (vgl. zum Beispiel Bengler & Schmauder 2016 oder Bendel 2016). Die Digitalisierung geht in der Regel einher mit einem wachsenden Aufkommen von digital, z.B. mit Sensoren erhobenen Daten, deren Auswertung durch Informationstechnologie sowie einer ubiquitären Verfügbarkeit von digitalen auf diesen Daten basierenden Inhalten und Informationen mittels mobiler Endgeräte wie Smartphones und anderen sogenannten Smart Devices (internetfähige Endgeräte) (vgl. BMWK 2017).

Die Digitalisierung – mit der besseren Verfügbarkeit von Daten, digitalen Endgeräten und der digitalen Vernetzung – ist Grundlage für die digitale Transformation von Bereichen der Lebenswirklichkeit und von Wirtschaftszweigen wie dem Verkehrswesen. In der digitalen Transformation werden Prozesse, Organisationsformen und Geschäftsmodelle mittels durch die Digitalisierung bestehender Hilfsmittel grundlegend hinterfragt und erneuert oder gar neu entworfen (vgl. Cole 2017, BMVI 2021, S. 61). Ein beispielhaftes Resultat der digitalen Transformation sind die neuartigen digitalen Geschäftsmodelle der sogenannten Plattformwirtschaft.

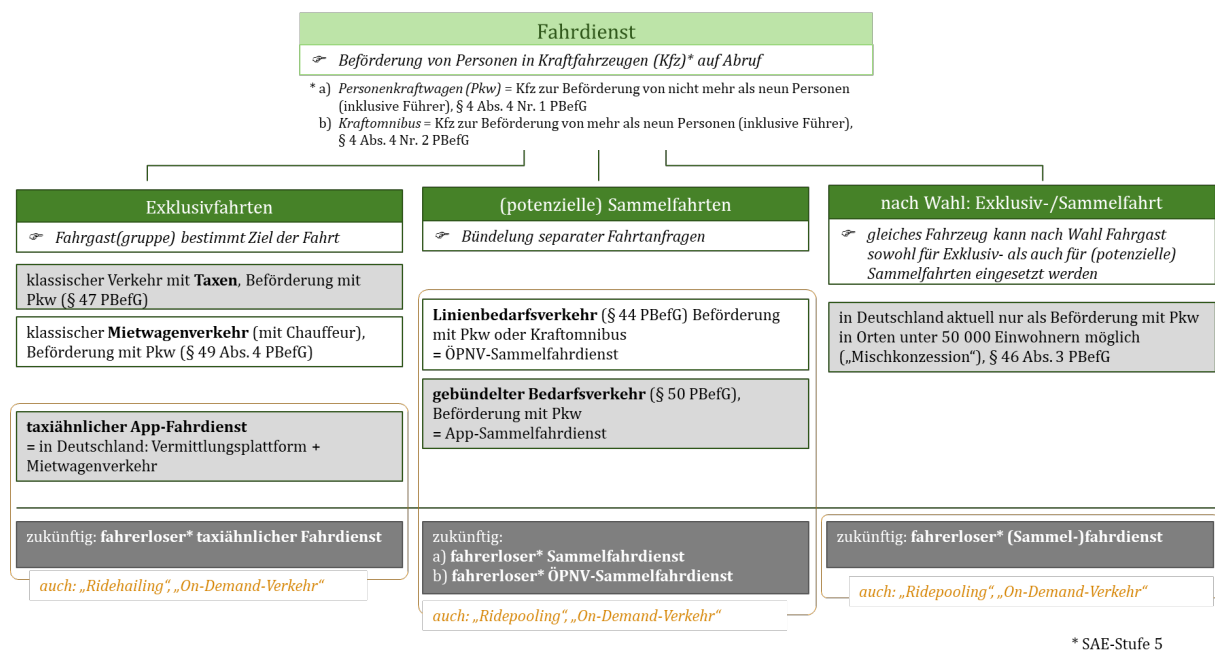
Auch der Verkehr ist von der Digitalisierung und von der digitalen Transformation nicht ausgenommen: Vernetzte Fahrzeuge (vgl. Kapitel 4.1.4), die über Erstausrüster- oder zugekaufte Navigationsgeräte verfügen, speisen in der Regel ihre mittels Sensoren gewonnen Fahrdaten über das Internet zurück an den Hersteller des Navigationsgeräts. Dort werden die Daten aufbereitet und in Mehrwert-Informationsprodukte aggregiert (und oftmals den Fahrzeugen der eigenen „Flotte“, d.h. mit den Geräten des Herstellers an Bord, zur Optimierung der Routenwahl und Vermeidung von stockendem Verkehr zurückgespielt). Smartphones werden beispielsweise genutzt für das Abrufen von Informationen über Verbindungen des Fernverkehrs, für die Buchung eines Fahrdienstes, für den Kauf einer ÖPNV-Fahrkarte oder für die Aufzeichnung der eigenen Reisen im ÖPNV zur ex-post-Abrechnung zum günstigsten Tarif. Die Nutzerinnen und Nutzer neuartiger digitaler Angebote können von der digital stark vereinfachten Planung von Wegen und insbesondere von intermodalen Wegekettten und einer einfachen Abrechnung der genutzten Leistungen profitieren.

4.1.2 „Digitale“ Fahrdienste

Für die in dieser Studie zentralen neuen Fahrdienstangebote („On-Demand-Verkehr“, „Ridepooling“, „Ridehailing“) verwenden wir zur Verständlichkeit einheitlich als Oberbegriff „Fahrdienst“ (vgl. nachfolgende Abbildung 6 sowie die Erläuterungen im Glossar) und unterscheiden:

- Fahrdienste für Exklusivfahrten: klassischer Taxiverkehr, Verkehr mit Mietwagen (mit Fahrer/Fahrerin), (fahrerloser) taxiähnlicher App-Fahrdienst,
- Fahrdienste für (potenzielle) Sammelfahrten: die im Personenbeförderungsgesetz definierten Verkehrsformen Linienbedarfsverkehr, gebündelter Bedarfsverkehr sowie (fahrerloser) Sammelfahrdienst und (fahrerloser) ÖPNV-Sammelfahrdienst.

Abbildung 6: Systematik Begriffsverwendung Fahrdienste



Quelle: Eigene Darstellung.

4.1.3 Überblick automatisiertes Fahren

Das automatisierte und vernetzte Fahren stellt eine wesentliche Entwicklung im Zuge der Digitalisierung im Verkehr dar. Es wird erwartet, dass diese zu deutlichen Veränderungen der Nachfrage im Personen- und Güterverkehr führt, neue Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilität ermöglicht und somit in der Summe deutliche Auswirkungen auf die heutigen Verkehrssysteme und die verkehrlichen Effekte verursachen wird.

Die Studie untersucht den Motorisierten Individualverkehr, den Öffentlichen Verkehr und den Güterverkehr auf der Straße und der Schiene. Der nicht landgebundene Verkehr (z.B. Drohnen, Lufttaxis, Schifffahrt etc.) wird nicht betrachtet.

4.1.3.1 Automatisierung im Straßenverkehr

Das Führen eines Fahrzeugs im Straßenverkehr beinhaltet drei fahrdynamische Aufgaben, die künftig vermehrt automatisiert ablaufen können:

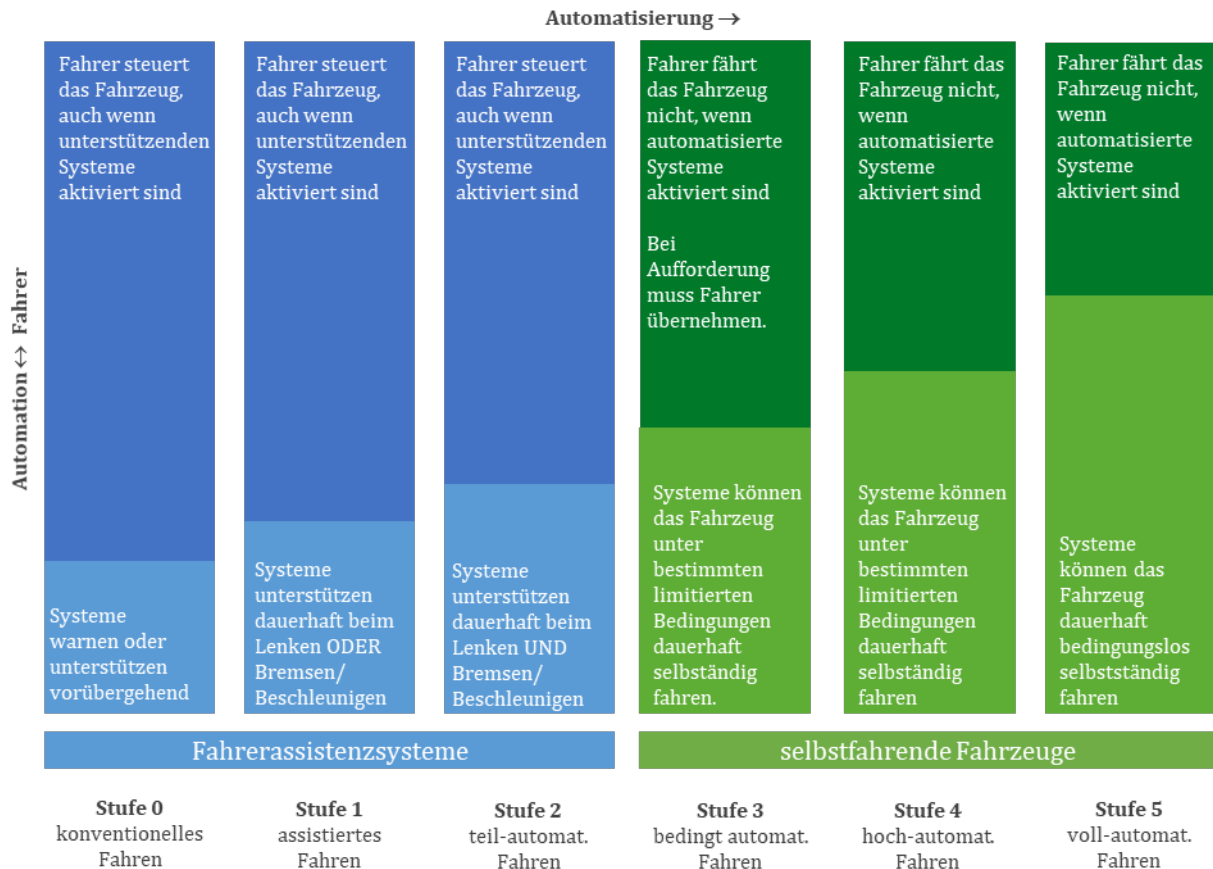
- ▶ Querführung des Fahrzeuges durch Lenkung (operativ),
- ▶ Längsführung des Fahrzeuges durch Beschleunigung und Verzögerung (operativ) und
- ▶ Überwachung der Fahrumgebung durch Objekt- und Ereigniserkennung sowie -klassifizierung und Reaktionsvorbereitung (operativ und taktisch).

Zur Ausführung dieser Aufgaben werden gewisse operative und taktische Echtzeitfunktionen benötigt, und es müssen in Quasi-Echtzeit entsprechende Manöver geplant und ausgeführt werden.

Der Umfang der Übernahme von fahrdynamischen Aufgaben durch Hard- und Softwaresysteme wird häufig in unterschiedlichen Stufen definiert. Im internationalen Forschungsdiskurs hat sich die Nomenklatur der amerikanischen Vereinigung von Automobilingenieuren (SAE) als Standard etabliert, wonach die Differenzierung der Automatisierung in sechs Stufen erfolgt (SAE International 2018). Bei den Stufen 0 (konventionelles Fahren) sowie 1 und 2 (assistiertes und teilautomatisiertes Fahren) übernimmt der Fahrer die fahrdynamischen Aufgaben, bei denen er

durch automatisierte Funktionen unterstützt wird. Für die Stufen 3 bis 5 (von bedingt automatisiertem Fahren zu hochautomatisiertem Fahren bis hin zu fahrerlosem Fahren) können diese Aufgaben vollständig durch ein automatisiertes Fahrsystem übernommen werden. Jedoch ausschließlich bei Stufe 5 können Systeme das Fahrzeug dauerhaft bedingungslos selbstständig fahren.

Abbildung 7: Automatisierungsstufen gemäß SAE International (2018)



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an SAE 2018.

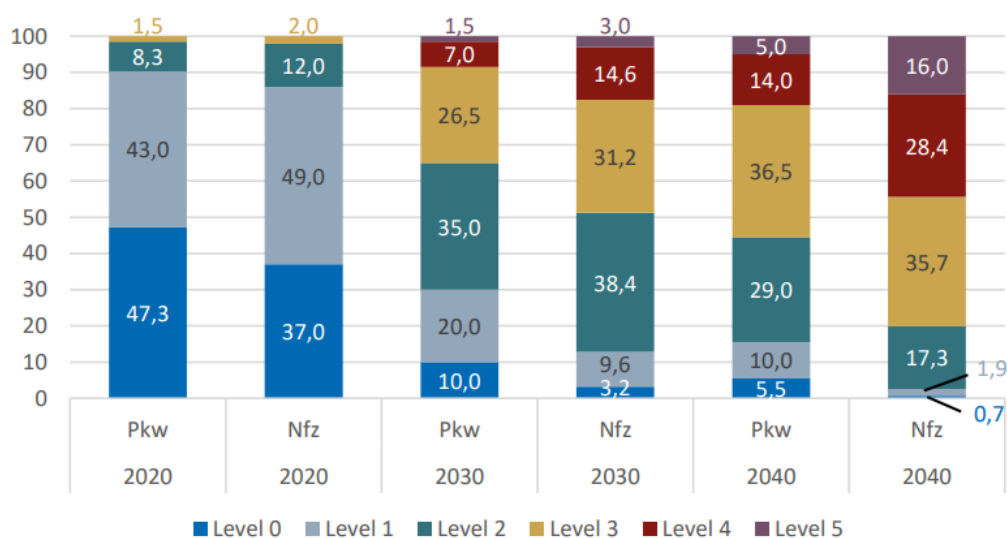
Derzeit sind international gemäß Wiener Übereinkommen Fahrzeuge bis zur Stufe 2 regulär im Straßenverkehr zugelassen. Tests mit Fahrzeugen höherer Stufen finden an verschiedenen Orten bereits statt. Mit der UN-Regelung Nr. 157 (UNECE 2021), ist eine erste verbindliche Regelung für den Level-3 Anwendungsfall von Automated Lane Keeping Systems (ALKS) unter eingeschränkten Bedingungen geschaffen; auf dieser Basis erfolgte eine erste Typgenehmigung für ein automatisiertes Spurhaltesystem (bei dem Mercedes-Benz-Modell S-Klasse). Es ist aber absehbar, dass es noch lange Zeit dauern wird, bis der Straßenverkehr zu einem großen Teil fahrerlos funktioniert. Weltweit wird der Anteil von Pkw der Automatisierungsstufen (SAE-Level) 4 und 5 im Jahr 2040 auf 19 % geschätzt (Fraunhofer IAO 2020, vgl. Tabelle 3 und Abbildung 8). Bis dahin werden sich teil- bis vollautomatisierte Fahrzeuge die Straße mit Fahrzeugen teilen müssen, bei denen keine oder nur ein Teil der fahrdynamischen Aufgaben automatisiert sind (Stufen 0 bis 2).

Tabelle 3: Weltweite Neuzulassungen von Fahrzeugen nach Automatisierungsstufe bis 2040

Automatisierungsstufe gemäß SAE International	2020	2025	2030	2035	2040
Level 5	0,0%	0,0%	1,8%	4,2%	7,5%
Level 4	0,0%	1,2%	8,7%	14,0%	17,3%
Level 3	1,6%	14,1%	27,6%	30,0%	36,3%
Level 2	9,1%	35,0%	35,8%	34,1%	26,3%
Level 1	44,4%	22,9%	17,6%	11,0%	8,1%
Level 0	44,9%	26,8%	8,4%	6,6%	4,4%

Quelle: Fraunhofer IAO (2020, zitiert nach Lichtblau et al., 2021).

Abbildung 8: Anteil der Automatisierungsstufen im weltweiten Fahrzeugpark von Pkws und leichten Nutzfahrzeugen (Nfz) bis 2040



Quelle: Lichtblau et al. (2021).

Neben der Automatisierung der fahrdynamischen Aufgaben gibt es zahlreiche weitere sich gegenseitig beeinflussende technologische Entwicklungen im Fahrzeug und in der physischen und digitalen Straßeninfrastruktur, die im Ergebnis ein „intelligentes“ Verkehrssystem ermöglichen sollen (vgl. Kapitel 4.2.1.1).

4.1.3.2 Automatisierung im Schienenverkehr

Ähnlich wie bei der Automatisierung im Straßenverkehr wird auch im Schienenverkehr zwischen verschiedenen Stufen von Assistenz- und Automatisierungsgraden unterschieden. Nach UITP-Definition gibt es vier verschiedene Assistenz- und Automatisierungsgrade, welche von L0 „Fahren auf Sicht“ bis L4 „selbstfahrend“ reichen. In Abbildung 9 werden die Teilaufgaben des Zugbetriebs nach Automatisierungsgrad beschrieben.

Ab Stufe L4 geschehen alle Abläufe automatisch – vom Fahren und Anhalten des Schienenfahrzeuges, dem Schließen und Öffnen der Türen bis zum unverzüglichen Stopp an einem sicheren Standort im Falle einer Störung. Es braucht theoretisch weder Fahrpersonal für Zug und Straßenbahn noch Zugbegleitungspersonal. Der automatisierte Fahrbetrieb kann die Energieeffizienz (geringere Maximalgeschwindigkeit, effizienteres Beschleunigungs- und

Bremsverhalten) sowie die Pünktlichkeit verbessern. Zudem kann die reale Streckenkapazität erhöht werden (permanente Optimierung des Verkehrsflusses). Die Automatisierung im Schienenverkehr kann einerseits dazu führen, dass Personalkosten für Fahrpersonal etc. eingespart werden können. Andererseits werden Fachkräfte zum Beispiel im Bereich Informatik benötigt. Per Saldo können potenziell Personalkosten eingespart werden.

Abbildung 9: Automatisierungsgrade nach UITP

Stufe/Level	Betrieb	Anfahrt	Halt	Türen schließen	Störfall
0	Herkömmlich auf Sicht (z.B. Straßenbahn)	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
1	Manuell mit Zugbeeinflussung	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
2	Halbautomatisch	automatisch	automatisch	Fahrer	Fahrer
3	Vollautomatisch	automatisch	automatisch	Zugbegleiter	Zugbegleiter
4	Selbstfahrend	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch

Quelle: UITP (2019), S. 8.

Zu beachten sind hierbei insbesondere die erheblichen Unterschiede zwischen Metrosystem und den „normalen“ Eisenbahnen. Metrosysteme und andere technisch isolierte und räumlich klar abgegrenzte Anwendungen, wie beispielsweise Zubringerbahnen zu Flughafenterminals, nutzen schon heute die höchsten Automatisierungsstufen. Ansonsten ist L4 v.a. in Asien verbreitet, in Europa weniger.

Für den Fern- und Regionalverkehr in gemischt genutzten Netzen existiert weltweit noch keine vollautomatisierte Anwendung. Gründe hierfür sind die offene Netzumgebung, heterogenes Rollmaterial, unterschiedliche Bahnsteige und Gleisanlagen und Differenzen in der technischen Netzausrüstung. Es gibt allerdings Feldversuche mit automatisierten bzw. ferngesteuerten Zügen, in Deutschland etwa im Erzgebirge (Smart Rail Connectivity Campus).

4.1.4 Überblick Vernetzung

Neben der Automatisierung der fahrdynamischen Aufgaben (vgl. Kapitel 4.1.3) ist die Vernetzung zwischen den „Objekten“ im Verkehrssystem (Fahrzeugen, Infrastrukturen, Nutzende und Schnittstellen zwischen den Verkehrsmitteln) das zweite wichtige Element in der Entwicklung zu einem digitalen intelligenten Verkehrssystem (IVS). Vernetzung bezeichnet die Interkonnektivität verschiedener Elemente eines Gesamtsystems über Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zwecks (drahtlosem und meist in Echtzeit ablaufendem) Austausch von beispielsweise über Sensoren gewonnenen Daten und daraus abgeleiteten Informationen.

Die Vernetzung im digitalisierten Verkehrssystem ermöglicht es einem Fahrzeug, mit anderen Fahrzeugen, der Verkehrsinfrastruktur, dem Netzwerk und mobilen Endgeräten zu kommunizieren. Das Bespielen dieser Kommunikationskanäle wird mit folgenden Begriffen und Abkürzungen bezeichnet (VDA 2015):

- Fahrzeug zu Fahrzeug: „Vehicle-to-Vehicle“, V2V

- Fahrzeug zu Infrastruktur: „Vehicle-to-Infrastructure“, V2I
- Fahrzeug zum Netzwerk: „Vehicle-to-network“, V2N
- Fahrzeug zu mobilen Endgeräten: „Vehicle-to-mobile“, V2M

Alle Verbindungen zusammen werden als „Vehicle-to-Everything“-Konnektivität (V2X) bezeichnet.

Die Bereitstellung und Weiterverwendung von Daten und Informationen in Echtzeit über V2X-Kanäle bildet die Grundlage für optimale Entscheidungen der Verantwortlichen oder Komponenten des Verkehrssystems (Verkehrsinfrastruktur, automatische Systeme der Fahrzeuge, fahrzeugführende Fahrzeuginsassinnen und -insassen und andere Verkehrsteilnehmende; im technischen Diskurs: „ITS-Station“ bzw. „ITS-S“ (C2C-CC k.A.) im digitalisierten Verkehr.

Der Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen kann die Verkehrssicherheit erhöhen, beispielsweise, wenn Informationen zum Umfeld ausgetauscht werden können und dahinterfahrende Fahrzeuge über die Absichten vorausfahrender Fahrzeuge in Echtzeit informiert werden. Größerer Nutzen entsteht aber in noch stärker kooperativen Lösungen (vgl. den nächsten Absatz), in denen Fahrzeuge dank der Vernetzung ihre Fahrmanöver untereinander abstimmen, damit in der Gesamtheit ein höherer Nutzen für alle Beteiligten erzeugt wird (z.B. Einhaltung eines konstanten Geschwindigkeitsniveaus bei hohem Verkehrsaufkommen) (ETSI 2022).

Kooperative Lösungen werden in Europa unter der Bezeichnung „C-ITS“ (Cooperative Intelligent Transport Systems and Services) vorangetrieben (C2C-CC k.A.). Die C-ITS-Deployment Group (ein Zusammenschluss von u.a. Fahrzeugherstellern, Straßeninfrastrukturbetreibern und diversen Behörden in Europa) zielt darauf ab, mittels C-ITS die Verkehrssicherheit zu erhöhen und die Infrastrukturüberlastung zu reduzieren. Relevante Standards und C-ITS-Services werden im European Telecommunications Standards Institute Technical Committee ITS (ETSI TC ITS) entwickelt (ETSI 2022). Zu den geplanten C-ITS-Services gehören u.a. „Cooperative Awareness“ (CA, Bewusstsein bezüglich des jeweils anderen Verkehrsteilnehmenden), „Decentralized Environmental Notification“ (DEN, gegenseitige Benachrichtigung über wichtige Ereignisse) oder „Cooperative Perception“ (CP, gegenseitige Benachrichtigung über Position, Fahrdynamik und Attribute anderer Verkehrsteilnehmender oder Objekte). Die Nachrichteninhalte von CA und DEN (sogenannte „Message Sets“) werden mit CAM bzw. DENM abgekürzt und wurden durch ETSI bereits normiert (Norm ETSI EN 302 637-2 bzw. Norm ETSI EN 302 637-3). CAM und DENM sind Bestandteil der ersten Rollout-Phase der C-ITS-Roadmap des CAR 2 CAR Communication Consortium (ein Zusammenschluss europäischer und internationaler Fahrzeughersteller, Zulieferer, Forschungseinrichtungen und weiterer Partner) (C2C-CC 2020).

Die C-ITS-Akteure arbeiten auch daran, sogenannte Vulnerable Road Users (VRU), also besonders gefährdete bzw. ungeschützte Straßennutzende wie Fahrradfahrende und zu Fuß Gehende in C-ITS einzubinden. In der C2C-CC-Roadmap sind entsprechende „VRU-Services“ in der zweiten Phase des C-ITS-Rollouts vorgehen. Gemäß ETSI können ungeschützte Straßennutzende mit einem mobilen Endgerät direkt mit C-ITS interagieren. Ungeschützte Straßennutzende ohne mobile Endgeräte sollen indirekt in C-ITS eingebunden werden, indem sie durch andere an C-ITS angebundene Verkehrsteilnehmende oder dedizierte Infrastruktur (beispielsweise an Straßenkreuzungen³⁵) „wahrgenommen“ werden (vgl. ETSI 2019 und Kapitel

³⁵ Vgl. die Resultate des Projekts VRUIT (Europäische Kommission 2017).

4.4) und diese Information durch sogenannte „VRU Awareness Messages“ (VAM) an andere agierende Personen weitergegeben wird.

Die direkte Einbindung von ungeschützten Straßennutzenden mit mobilen Endgeräten in C-ITS ist ebenfalls noch Gegenstand der Forschung. Scholliers et al. (2017) gehen davon aus, dass die C-ITS-Funktionalität für ungeschützte Straßennutzende entweder als Applikation in Smartphones oder als dedizierte Geräte, die zum Beispiel in Fahrräder eingebaut werden könnten, ausgerollt werden wird. Es gab schon diverse Versuche und Forschungsansätze für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und VRU mittels WLAN bzw. DSRC (vgl. Kapitel 4.1.5) oder Mobilfunk (vgl. zum Beispiel Dasanayaka et al. 2020 und Vermesan et al. 2020, Kapitel 6.2.3). Soweit ersichtlich, basieren die getesteten Systeme aber auf spezieller Konfiguration des mobilen Endgeräts oder der Verwendung von dedizierten Apps, was für die breite Nutzung wenig attraktiv ist. Lozano Dominguez und Sanguino (2019) stellen in Bezug auf die Verkehrssicherheit fest, dass nur wenige Anwendungsbeispiele von Vernetzung die Kommunikation mit ungeschützten Straßennutzenden zum Gegenstand haben und dass Vehicle-to-Mobile-Kommunikation erst ein aufkommendes Forschungsfeld ist.

4.1.5 Infrastrukturelle Mindestvoraussetzungen

Im Folgenden werden zwei Arten von Infrastrukturen unterschieden, die das automatisierte und vernetzte Fahren ermöglichen oder unterstützen können:

- **Physische Infrastruktur:** Unter physischer Infrastruktur wird gebaute, (an)fassbare und analoge Infrastruktur im Straßenraum oder am Straßenkörper verstanden. Darunter fallen beispielsweise Mobilitätsstationen, Zonen für den Passagierwechsel („Pick-up/Drop-Off-Zonen“), spezielle Kennzeichnungen von Ein- und Ausstiegsszonen am Fahrbahnrand als Teil des sogenannten Curb- oder Curbside-Managements, also der Organisation von Halte-, Abstell- oder Laderechten am Straßenrand, oder analoge Installationen für das Ermöglichen des vernetzten Fahrens (zum Beispiel Bauten, die sogenannte „Roadside-Units“ zur digitalen Kommunikation mit Fahrzeugen enthalten, oder Masten für Fernmeldevorrichtungen).
- **Digitale Infrastruktur:** Unter digitaler Infrastruktur wird nichtmaterielle digitale Infrastruktur oder die digitalen Teile von gebauter Infrastruktur verstanden. Zur ersten Klasse gehören beispielsweise Software wie IT-Plattformen, Datenbanken, Schnittstellen, mobile Apps und Anwendungen, aber auch zum Beispiel reservierte Funkfrequenzbereiche und Standards für Datenformate und Übertragungsprotokolle. Zur zweiten Klasse (digitale Teile von gebauter Infrastruktur) gehören beispielsweise die digitalen Komponenten von Sensoren in Fahrzeugen bzw. im Straßenraum, Verkehrsrechner, die digitalen Anlageteile von Roadside-Units und die digitalen Komponenten von Übertragungsinfrastruktur (zum Beispiel von Mobilfunkstationen).

Die Vernetzung der Akteure und Komponenten des Verkehrssystems (Fahrzeuge, inklusive Fahrräder, und je nach Vernetzung und Fahrzeugart Nutzende der Fahrzeuge, zu Fuß Gehende sowie Fahrradfahrende) erfordert verschiedene technische bzw. infrastrukturelle Mindestvoraussetzungen. Für die Kommunikation ist die Verständigung über zu nutzende bzw. zu unterstützende Datenaustausch-Formate und -protokolle sowie Kommunikationskanäle und reservierte Funkfrequenzbereiche notwendig. Entsprechende Arbeiten laufen in Normeninstitutionen (z.B. ETSI) und Verbänden der betroffenen bzw. verantwortenden Akteure (z.B. C-ITS Deployment Group und C2C-CC). Die entsprechenden Standards sind von allen in die Vernetzung einbezogenen Elemente des Verkehrssystems (beispielsweise Fahrzeuge und Infrastruktur) verbindlich zu unterstützen.

Aktuell stehen sich im Bereich der Datenaustausch-Formate und -protokolle die beiden Standards Dedicated Short-Range Communications (DSRC) und Cellular V2X (C-V2X) gegenüber. DSRC basiert auf der Übertragungstechnologie Wireless LAN (WLAN) gemäß dem Standard IEEE 802.11p im Frequenzbereich 5.875–5.905 GHz (Europa) bzw. 5.85–5.925 GHz (USA). In den USA firmiert DSRC für den vernetzten Verkehr unter der Bezeichnung „Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)“. Cellular V2X bzw. C-V2X basiert auf Mobilfunk gemäß 4G LTE- oder 5G-Standard als Übertragungstechnologie.

Die Vernetzung mit der Infrastruktur (V2I) erfordert straßenseitig bzw. schienenseitig die Installation sogenannter Road-Side Units für die kontaktlose (Funk-)Kommunikationsinfrastruktur. Diese sind mit IKT-Infrastrukturen (Rechner, Netzwerke, Datenbanksysteme) verbunden, welche den Betrieb der digitalen Infrastruktur steuern, Informationen von den Verkehrsteilnehmenden empfangen, ablegen und verarbeiten sowie Informationen oder Steuerungsbefehle an die Verkehrsteilnehmenden auslösen können. Dabei ist ein direktes Interagieren der Verkehrsteilnehmenden mit C-ITS (also der „digitalen Infrastruktur“) nur möglich, wenn diese über ein mobiles Endgerät verfügen. Verkehrsteilnehmende ohne mobiles Endgerät werden indirekt in C-ITS eingebunden.

Die Elemente des automatisierten und vernetzten Verkehrssystems müssen auch große Datenmengen in Echtzeit verarbeiten können. Für den sicheren Betrieb und die Wahrung des Vertrauens der Verkehrsteilnehmenden muss diese Datenverarbeitung unter Einhaltung der Grundsätze der Informationssicherheit und des Datenschutzes erfolgen.

Zusammengefasst werden für das automatisierte (Kapitel 4.1.3) und vernetzte (Kapitel 4.1.4) Fahren die folgenden Infrastrukturen als erforderliche Mindestvoraussetzungen angenommen:

- ▶ im Fahrzeug und im Straßen- bzw. Schienenraum verbaute Sensoren (Kameras, Wärmebildkameras, Lidar, Radar, Induktionsschleifen u.ä.) zur Analyse der Fahrumgebung bzw. der Verkehrssituation (Position und Bewegung von Objekten wie Fahrzeugen, Hindernissen oder Personen im Straßen- oder Schienenraum),
- ▶ im Fahrzeug verbaute Rechner zur Verarbeitung und Analyse der Datenströme zwecks Unterstützung der fahrdynamischen Aufgaben,
- ▶ im Fahrzeug verbaute Aktuatoren zur Ausführung von automatisch hergeleiteten fahrdynamischen Befehlen,
- ▶ standardisierte Übertragungsprotokolle und Datenformate sowie reservierte Funkfrequenzbereiche für die Vernetzung zwischen Akteuren und Komponenten des Verkehrssystems und
- ▶ Datensammlungen bzw. Datenbanken mit präzisen räumlichen Daten zur Straßen- und Schieneninfrastruktur, inklusive beispielsweise geltender Einschränkungen wie signalisierte Geschwindigkeiten.

Bezüglich physischer Infrastruktur sind die Anforderungen zum Beispiel an Fußgängerquerungen oder Straßenmarkierungen offen je nach Art der eingesetzten Technologie. Bedarf nach weiteren physischen Infrastrukturen könnte sich bei den Entwicklungslinien in der Umsetzung ergeben, wie zum Beispiel der Ausbau von Haltestellen und Bahnhöfen zu multimodalen Hubs oder spezifische Markierungen von Umsteigebereichen.

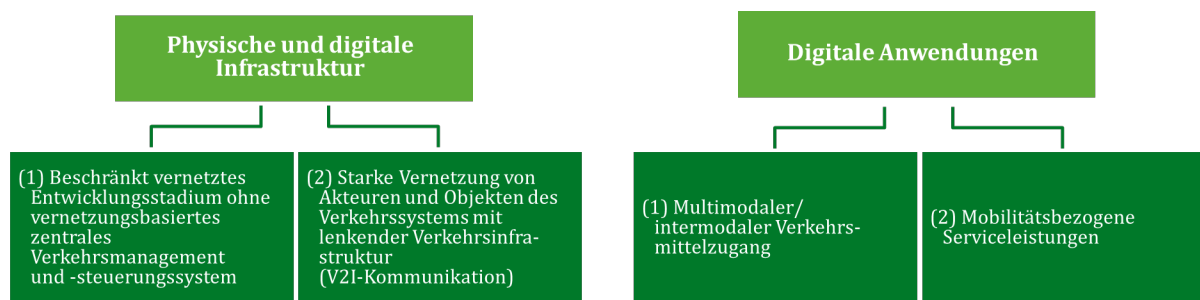
4.2 Denkbare Entwicklungslinien in den Teilsystemen Infrastruktur, MIV, ÖV und GV

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben, wurden für die Ableitung der Regulierungserfordernisse die denkbaren Entwicklungslinien und darauf aufbauend konkrete Anwendungsfälle für die Teilsysteme Infrastruktur, MIV, ÖV und GV identifiziert. Diese werden im Folgenden je Teilsystem beschrieben. Eine Gesamtübersicht findet sich in Kapitel 2.2.2 in Tabelle 1.

4.2.1 Physische und digitale Infrastruktur

Aufbauend auf den Ausführungen im Kapitel 2 diene als Grundlage für die Auswahl der Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Leitgedanke, in der Gesamtheit möglichst breit Aspekte insbesondere der digitalen Infrastruktur abzudecken (vgl. Übersicht in Abbildung 10).

Abbildung 10: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem Infrastruktur



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Beschreibungen sind nicht abschließend, beleuchten aber aus heutiger Sicht plausible Entwicklungslinien für die Digitalisierung im Mobilitätssektor.

4.2.1.1 Physische und digitale Infrastruktur für automatisiertes und vernetztes Fahren

Bei der Diskussion zu den infrastrukturellen Voraussetzungen für das automatisierte und vernetzte Fahren und den damit verbundenen Prognosen für die zukünftige Entwicklung in den verschiedenen Verkehrssystemen ist es wichtig, zwischen den verschiedenen Automatisierungsstufen zu unterscheiden. Der Schwerpunkt der folgenden Betrachtungen liegt dabei auf den Endstufen 4 und 5, also gänzlich fahrerlosen Fahrzeugkonzepten in denen Systeme das Fahrzeug unter bestimmten limitierten Bedingungen (Stufe 4) bzw. dauerhaft (Stufe 5) selbstständig fahren und keine Aufforderung zur Übernahme des Fahrzeuges mehr erfolgt.

Bis es zu einem spürbaren Anteil an hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen im täglichen Verkehr kommt, ist mit einer langen Übergangsphase zu rechnen, in der sich Fahrzeuge mit unterschiedlichen Automatisierungsstufen den Straßenraum teilen werden. Hinzu kommen nicht motorisierte Verkehrsteilnehmende, die von den automatisierten Fahrzeugen erkannt werden müssen, auch dann, wenn sie nicht über ein mobiles Endgerät vernetzt sind. Wie schnell sich das automatisierte und vernetzte Fahren durchsetzt, hängt neben der technologischen Entwicklung in den Fahrzeugen und der Infrastruktur insbesondere auch davon ab, wie hoch die für die Automatisierung erforderlichen Investitions- und Unterhaltskosten ausfallen werden und wer letztlich dafür aufkommt (öffentlicher Sektor, privater Sektor, Endverbraucher). Denn nur mit einer funktionsfähigen Infrastruktur kann ein hoher Grad an Vernetzung im Verkehrssystem erreicht werden, damit automatisiertes Fahren seine vollständige Wirkung entfalten kann. Während in einem beschränkt vernetzten Entwicklungsstadium kein vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem besteht und die Fahrzeuge untereinander kommunizieren (V2V-Kommunikation bzw. mit zu Fuß Gehenden und

Radfahrenden mittels V2M-Kommunikation), sind auf einer stärker vernetzten Stufe die Beteiligten und Objekte des Verkehrssystems nicht nur untereinander, sondern zusätzlich über V2I-Kommunikation auch mit einer lenkenden Verkehrsinfrastruktur vernetzt. Insbesondere für die Vernetzung der automatisierten Fahrzeuge mit der Infrastruktur (V2I) sind erhebliche Investitionen notwendig, um die Infrastruktur entsprechend auszurüsten und zu ertüchtigen (Esser & Kurte 2018 und European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Levin, Skinner, Nokes, et al. 2019). Wer für die benötigten Investitionen in die Sicherheitstechnik, die digitale und physische Infrastruktur (C-ITS-Technologie in den Fahrzeugen und an der Infrastruktur) sowie in die Ausbildung der Verkehrsteilnehmenden aufkommt, ist stark von der öffentlichen Akzeptanz des automatisierten Fahrens abhängig (Beratungsstelle für Unfallverhütung 2020). Ein hoher Marktanteil des automatisierten und vernetzten Fahrens gelingt vermutlich nur, wenn die Verkehrssicherheit und -effizienz gegenüber dem konventionellen Fahren erhöht werden kann.

Weiter bestimmen die entsprechenden Anwendungsbereiche die Anforderungen an die benötigte physische und digitale Infrastruktur. Im Mischverkehr zwischen vollständig automatisierten und vernetzten Fahrzeugen (Stufe 4 und 5) und konventionellen Fahrzeugen bzw. nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmenden sind die Anforderungen anders als in Anwendungsbereichen, bei denen eine komplett getrennte Fahrbahn zwischen den verschiedenen Verkehrssystemen möglich ist (z.B. Autobahn oder vollständig abgetrennte ÖPNV-Trasse). Bei letzterem sind mindestens für den Streckenanteil, für den eine klare Fahrbahntrennung möglich ist, die Anforderungen an die physische und digitale Infrastruktur geringer als im Mischverkehr.

Im Folgenden werden zwei Anwendungsfälle betrachtet, die unterschiedliche Entwicklungsstadien in Bezug auf den Grad der Vernetzung aufweisen:

- (1) Beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium ohne vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem**
- (2) Starke Vernetzung von Akteuren und Objekten des Verkehrssystems mit lenkender Verkehrsinfrastruktur (V2I-Kommunikation).**

Bei Anwendungsfall (1) **Beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium ohne vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem** kommunizieren die Fahrzeuge nur untereinander (V2V-Kommunikation) und können im Mischverkehr allenfalls mit zu Fuß Gehenden und Radfahrenden per V2M-Kommunikation interagieren bzw. erkennen nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmende mit im Fahrzeug eingebauten Sensoren. Da keine Vernetzung mit einer lenkenden Infrastruktur erfolgt, sind keine erheblichen Investitionen in die Ausrüstung einer digitalen Infrastruktur notwendig. Für die physische Infrastruktur werden Elemente wie Mobilitätsstationen oder Pick-Up-Zonen für den Passagierwechsel ausgebaut. Auf einem beschränkt vernetzten Entwicklungsstadium sind aus betrieblicher Sicht vor allem Anwendungsbereiche effizient, für die eine vollständige abgetrennte Fahrbahn zwischen den verschiedenen Verkehrssystemen möglich ist (z.B. automatisierte U-Bahnen oder abgetrennte Spur auf Autobahn). Im Mischverkehr verhalten sich die automatisierten Fahrzeuge konservativ, da sie die mehrfache und kontextabhängige Bedeutung von Kommunikationssignalen von nicht vernetzten Verkehrsteilnehmenden nicht kennen (vgl. Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2020). Solange automatisierte Fahrzeuge Blick- oder Handzeichenerfassung von nicht vernetzten Verkehrsteilnehmenden nicht klar und sicher erfassen und unter Berücksichtigung der Situation interpretieren können, so lange müssen diese Verkehrsteilnehmenden als potenzielle Gefahr interpretiert werden und in jedem Fall eine entsprechende Reaktion im automatisierten Fahrzeug auslösen. Im Zweifel wird das automatisierte Fahrzeug immer anhalten müssen.

Beim **Anwendungsfall (2) Starke Vernetzung von Akteuren und Objekten des Verkehrssystems mit lenkender Verkehrsinfrastruktur** erfolgt die Vernetzung nicht nur untereinander, sondern über V2I-Kommunikation mit einer lenkenden Verkehrsinfrastruktur. In diesem Vernetzungsstadium kann die Verkehrsinfrastruktur Informationen und Steuerungsbefehle an die Akteure und Objekte des Verkehrssystems übermitteln. So können beispielsweise Zugangskontrolle (Geofencing oder situationsbezogene Sperrungen einzelner Straßenabschnitte oder von Netzteilen) und eine Bepreisung der Infrastrukturnutzung (Maut, Cordon Pricing, Tolling) mittels zentraler Verkehrslenkung leichter implementiert werden. Zudem besteht mit den zentral in Echtzeit gesammelten Daten die Möglichkeit der besseren Vorhersage von Verkehrszuständen und damit der (verbesserten) proaktiven Lenkung. Für die Vernetzung der automatisierten Fahrzeuge mit der Infrastruktur (V2I) sind erhebliche Investitionen insbesondere in die digitale Infrastruktur notwendig. Hinzukommen wie bei Anwendungsfall (1) physische Elemente, wie Mobilitätsstationen oder Pick-Up-Zonen für den Passagierwechsel, die ausgebaut werden müssen. Anwendungsfall 2 lässt sich theoretisch in allen Anwendungsbereichen (abgetrennte Spur und Mischverkehr) umsetzen. Unter der Prämisse des Anstrebens systemoptimalen Verhaltens, sind die Zielgrößen der Verkehrslenkung und Art der möglichen Eingriffe durch die zentrale Verkehrslenkung zu definieren.

4.2.1.2 Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Serviceleistungen

In den vergangenen Jahren traten erhebliche Digitalisierungstendenzen in zahlreichen Mobilitätsbereichen auf, die sich in den kommenden Jahren fortsetzen und zum Teil weiter verstärken werden. Ein wichtiger Bestandteil dieser Entwicklung ist die Schaffung multimodaler oder intermodaler Mobilitätsplattformen, die es den Nutzenden ermöglichen, verschiedene Verkehrsmittel bzw. vollständige Wegeketten von Tür zu Tür zu buchen und zu bezahlen sowie sich über entsprechende Angebote vor und während der Reise zu informieren. Derzeit greifen die Kundinnen und Kunden vor allem über Smartphone-Apps auf entsprechende Angebote zu.

Digitale Mobilitätsdienstleistungen können einen erheblichen Beitrag zur Inwertsetzung nachhaltiger Mobilitätsdienstleistungen leisten. Durch die multi-, besser noch intermodale Vernetzung von physischen öffentlichen Verkehrsangeboten (vgl. hierzu Kapitel 5.2.3) bzw. öffentlich zugänglichen Verkehrsangeboten können attraktive Alternativen zur Nutzung des privaten Pkw geschaffen werden – auch bei speziellen Verkehrszwecken wie dem wöchentlichen Großeinkauf oder der nächtlichen Spontanfahrt. Grundsätzlich können hierbei auch Rad- und Fußverkehr sowie der motorisierte Individualverkehr einbezogen werden. Zusätzliche Serviceangebote, etwa die App-gesteuerte Reservierung von Ladesäulen oder Sitzplätzen im Zug oder eine intelligente Reiseassistenz, können die Attraktivität umweltfreundlicher Fortbewegungsvarianten zusätzlich erhöhen.

Derzeit stehen vor allem multimodale Plattformen zur Buchung unterschiedlicher Verkehrsmittel oder vergleichsweise einfache Servicedienstleistungen wie Platzreservierungen in Fernzügen oder Parkplatzsuchsysteme zur Verfügung. Mit bestimmten Apps lassen sich intermodale Wegeketten mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln buchen, wobei die erste und letzte Meile in vielen Fällen nicht abgedeckt sind, da Mobilitätsdienstleistungen jenseits des klassischen ÖV-Linienvverkehrs nicht in die Wegekette integriert werden können. In vielen Fällen stellt die unzureichende Abdeckung der ersten bzw. letzten Meile eine erhebliche Nutzungshürde dar. Mit dem automatisierten und vernetzten Fahren besteht hier jedoch zumindest ein Potenzial, dass in den kommenden Jahren neue Anwendungsfälle entstehen (vgl. hierzu Kapitel 4.2.3, Anwendungsfälle 4 und 5) und intermodale Plattformen an Attraktivität gewinnen.

Derzeit mangelt es nicht nur an physischen Verkehrsangeboten, auch infrastrukturelle Vernetzungspunkte (Mobilitätsstationen, Mobility Hubs etc.) fehlen vielerorts – und schließlich besteht auch bei den für die Vernetzung unterschiedlicher Mobilitätsangebote erforderlichen Hintergrundsystemen erheblicher Ausbau- bzw. Harmonisierungsbedarf. Dies gilt insbesondere für Datenplattformen, auf denen die erforderlichen Mobilitätsdaten zusammengezogen, aufbereitet und abgerufen werden können. Auch fehlen bestimmte Daten, die für multi- bzw. intermodale Mobilitätsangebote erforderlich sind. Hierzu zählen insbesondere Fahrplansolldaten, Echtzeitdaten, Vertriebsdaten und – generell – Mobilitätsdaten aus ländlichen Regionen. Es gibt derzeit zahlreiche Initiativen zur Verbesserung des Datenangebots und der Datenvernetzung bzw. des Datenaustauschs: in Nordrhein-Westfalen ist geplant, einen zentralen Mobilitätsdatenzugang (ZMDZ.NRW) einzurichten (Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH 2021, S. 15) in Bayern soll DEFAS Bayern als zentrale Datendrehscheibe für den öffentlichen Verkehr weiter ausgebaut werden, insbesondere mit Blick auf Echtzeitdaten, neue Mobilitätsangebote und den ländlichen Raum (Bayrische Eisenbahngesellschaft 2022). Auf Bundesebene besteht seit 1. Juli 2022 die „Mobilithek“ (löst den „Mobilitäts Daten Marktplatz“, MDM, ab), mit der eine Verbesserung herbeigeführt werden soll (BMDV 2021). Angesichts der zahlreichen Initiativen und Fortschritte ist in den kommenden Jahren mit einer deutlichen Verbesserung im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Mobilitätsdaten zu rechnen. Auf dem Weg dorthin sind allerdings noch zahlreiche rechtliche Fragen zu klären, insbesondere im Hinblick auf Bereitstellungs- bzw. Erhebungspflichten sowie den Datenzugang für Dritte. Auch die Frage der Finanzierung von Hintergrundsystemen ist in vielen Fällen ungeklärt. Hinzu kommen Herausforderungen bei Standardisierung und Datenschutz sowie Datensparsamkeit.

Im Rahmen dieser Studie werden bei den digitalen Anwendungen zwei konkrete Anwendungsfälle betrachtet:

Anwendungsfall (1): Digitale Anwendungen für den multimodalen/intermodalen Verkehrsmittelzugang.

In diesem Fall stehen Hintergrundsysteme und Endnutzeranwendungen für Planung, Buchung und Bezahlung von intermodalen Wegeketten von Tür zu Tür sowie entsprechend erforderliche physische Verkehrsangebote und infrastrukturelle Vernetzungspunkte in hinreichend großen Gebieten zur Verfügung, so dass erhebliche Nachfrageeffekte zu erwarten sind. Es entsteht für zahlreiche Menschen eine attraktive Alternative zur Nutzung privater Pkw, wobei der öffentliche Linienverkehr bei einem Großteil der Wegeketten die Rolle des Hauptverkehrsmittels einnimmt. Auch multimodale Angebote können gebucht werden – also neben ÖV auch weitere öffentlich zugängliche Angebote zum Selbstfahren (vgl. Begriffsverständnis bei Hermes et al. 2022, S. 87) – häufig als „Sharing“-Angebote bezeichnet – oder auf Abruf verkehrende Fahrdienste – häufig auch „On-demand-Angebote“ bezeichnet).

Anwendungsfall (2): Digitale Anwendungen für (zusätzliche) mobilitätsbezogene Serviceleistungen

Hierbei geht es um zusätzliche Angebote jenseits der Kernfunktionen Planen, Buchen, und Bezahlen von intermodalen Wegeketten (Anwendungsfall (1)). Sinnvolle Serviceleistungen im Hinblick auf eine Attraktivierung nachhaltiger Mobilitätsangebote könnten beispielsweise sein:

- ▶ Platzreservierung im ÖV, Auslastungsinformation zu Zügen oder Wagons
- ▶ Informationen zur Verkehrssituation (aktuelle Verbindungen, Verspätungen, Staus etc.),
- ▶ Parkplatzvermittlung per App (für Fahrräder oder Autos),
- ▶ Anzeige/Buchung von Ladestationen.

Die Anbieter dieser Serviceleistungen greifen grundsätzlich auf die gleichen Hintergrundsysteme zurück wie die Anbieter der Kernfunktionen.

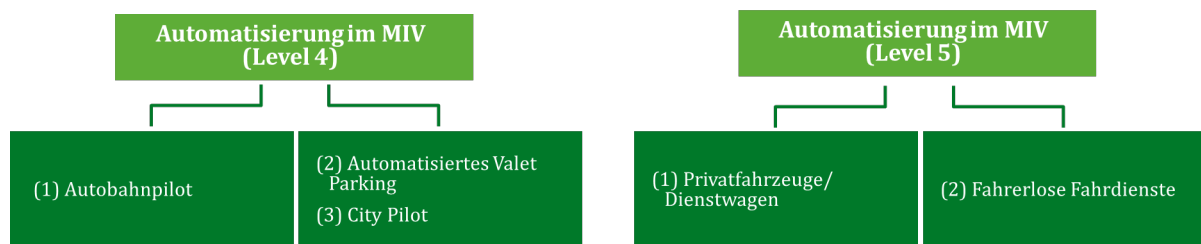
4.2.2 Motorisierter Individualverkehr

Die Entwicklungslinien des hochautomatisierten Fahrens im motorisierten Individualverkehr ergeben sich aus:

- ▶ den Automatisierungsstufen der Fahrzeuge,
- ▶ den Anwendungsbereichen sowie
- ▶ der Unterscheidung zwischen Fahrzeugen im Privatbesitz und Fahrzeugen, die im Rahmen eines gewerblichen Fahrdienstes eingesetzt werden.

Im Folgenden werden fünf konkrete Anwendungsfälle beschrieben, drei für Level 4 und zwei für Level 5 (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem MIV



Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Unterscheidung dieser beiden Automatisierungsstufen ist vor allem aus den folgenden Gründen wichtig: Da für die Zulassung und den Betrieb von Level-4- und Level-5-Fahrzeugen unterschiedliche rechtliche und technische Voraussetzungen notwendig sind, wird sich der Zeitpunkt der Markteinführung unterscheiden. Während der Übergang von Level-4-Fahrzeugen in den Realbetrieb bereits in den kommenden Jahren möglich ist, wird die Einführung von Level-5-Fahrzeugen, die per Definition alle Fahraufgaben unter allen denkbaren Anwendungsszenarien selbstständig übernehmen, noch dauern. Bei den Level-4-Fahrzeugen sind die Nutzungsmöglichkeiten noch eingeschränkt. Die spezifischen Nutzungsmuster und die damit einhergehenden Auswirkungen hängen in diesem Fall stark von der konkreten Fahraufgabe ab, die das Fahrzeug selbstständig ausführt. Die nachfolgend für Level 4 beschriebenen Anwendungsfälle entsprechen bereits veröffentlichten Roadmaps zur Markteinführung von automatisierten Fahrzeugen. Da es bei den Level-5-Fahrzeugen keine Einschränkung bei der Anwendung gibt, wird an dieser Stelle lediglich unterschieden, ob die Fahrzeuge in Privatbesitz oder Teil einer gewerblichen Flotte sind. Bei den Anwendungsfällen für Level-4-Fahrzeuge wird diese Unterscheidung nicht vorgenommen, da der wesentliche Effekt hier weniger vom Besitz als der konkret übernommenen Fahraufgabe ausgeht.

Beim **Level 4** werden die folgenden Anwendungsfälle betrachtet:

- (1) Autobahnpiilot,**
- (2) Automatisiertes Valet Parking und**
- (3) City Pilot.**

Im Anwendungsszenario **(1) Autobahnpiilot** kann das Fahrzeugsystem die Fahraufgabe auf der Autobahn vollständig übernehmen. Es handelt sich dabei um einen Zwischenschritt zum vollautomatisierten Fahren. Bei diesem Anwendungsfall wird es daher immer Mischverkehr mit anderen Automatisierungsstufen geben. Der Einsatzbereich des Autobahnpiiloten werden vor

allem Langstreckenfahrten sowohl für private als auch dienstliche Zwecke sein. Er kann aber auch bei kürzeren Alltagswegen (z.B. Arbeits-, Freizeitwege), die eine Etappe auf der Autobahn enthalten, zum Einsatz kommen.

Im Anwendungsszenario **(2) Automatisiertes Valet Parking** haben Fahrzeuge eine vollautomatisierte Parkfunktion, d.h. das Fahrzeugsystem kann die Parkplatzsuche und den Einparkvorgang vollständig übernehmen. Die Fahrerin bzw. der Fahrer kann am Zielort aus dem Fahrzeug aussteigen und das Fahrzeug selbstständig zum Parken schicken. Auf diese Weise werden die Zu- und Abgangszeiten zwischen Parkplatz und Zielort eingespart. Das Aussteigen aus dem Fahrzeug erfolgt in dafür definierten Bereichen (private Parkplätze, Parkhäuser und eingeschränkt im öffentlichen Raum, z.B. in bestimmten Quartieren oder Stadtteilen). Alle übrigen Fahraufgaben werden von der Fahrerin bzw. dem Fahrer des Fahrzeugs übernommen. Ähnlich wie bei dem Autobahnpiloten, handelt es sich bei diesem Anwendungsszenario um ein Übergangsszenario zum vollautomatisierten Fahren.

Im Anwendungsszenario **(3) City Pilot** kann das Fahrzeug in bestimmten Städten, Quartieren und/oder suburbanen Räumen vollständig autonom fahren. Dieser Anwendungsfall ist schon bei Level 4 Automatisierung möglich, da die Fahrzeuge in einem konkreten geographischen Raum fahren, in dem die entsprechende digitale und physische Infrastruktur vorhanden ist und weitere Rahmenbedingungen (z.B. digitale Karten oder topographische Gegebenheiten) gegeben sind. Der Einsatzbereich des City Pilots umfasst vor allem Alltagswege, die in den Räumen stattfinden, in denen die Funktion verfügbar ist. Der City Pilot kommt der Fahrzeugnutzung der Automatisierungsstufe 5 bereits sehr nahe, da von den Fahrzeugen nicht nur einzelne, sondern alle Fahraufgaben übernommen werden. Aufgrund der räumlichen Einschränkung und der nur begrenzt vorhandenen digitalen und physischen Infrastruktur zählt der City Pilot trotz vollständig autonomen Fahrens zu Level 4. Es handelt sich um ein unmittelbares Übergangsszenario zu Level 5, für dessen Erreichung lediglich eine räumliche Ausdehnung notwendig ist.

Beim **Level 5** werden die folgenden Anwendungsszenarien betrachtet:

**(4) Privatfahrzeug/Dienstwagen Level 5 und
(5) Fahrerlose Fahrdienst Level 5.**

Im Anwendungsszenario **(4) Privatfahrzeug/Dienstwagen Level 5** werden Pkws betrachtet, die privat oder gewerblich zugelassen werden und in der Regel einer Person oder einem Haushalt zugeordnet sind. Es handelt sich analog zur momentanen Situation überwiegend um private Pkw und zu einem geringen Anteil um Dienstwagen, die teilweise auch für private Fahrtzwecke genutzt werden können. Das Fahrzeugsystem kann die Fahraufgabe unter allen Bedingungen übernehmen, es ist keine Unterstützung des Fahrenenden mehr erforderlich. Bei diesem Szenario wird von Mischverkehr der verschiedenen Automatisierungsstufen ausgegangen, wie er mindestens zu Beginn von Level 5 vorzufinden sein wird.

Beim Anwendungsszenario **(5) Fahrerlose Fahrdienst Level 5** handelt es sich um einen gewerblichen (Sammel-)Fahrdienst mit vollautomatisierten Fahrzeugen, der in der Regel von Privatunternehmen angeboten wird (denkbare Sonderfälle vgl. unten). Dabei können dispers verteilte Fahrwünsche individuell bedient („Ridehailing“ bzw. taxiähnlicher Fahrdienst) oder – bei einem ähnlichen Start- oder Zielort der Nutzenden – in Form gebündelter Fahrten angeboten werden („Ridepooling“ bzw. Sammelfahrdienst). Das automatisierte Angebot weist somit ähnliche Charakteristiken auf wie herkömmliche, nicht automatisierte Taxi- oder taxiähnliche Angebote und Sammelfahrdienste, nur dass es ohne Fahrerin oder Fahrer stattfinden. Damit nähert sich das automatisierte Angebot zugleich auch bisherigen Angeboten eines Mietwagens zum Selbstfahren an. Selbstfahren und Personenbeförderung lassen sich ohne eine fahrzeugführende Person nicht mehr trennscharf abgrenzen.

Neben Tür-zu-Tür Fahrten bzw. Fahrten zwischen virtuellen Haltestellen könnten Level-5-Fahrzeuge auch in Kombination mit dem ÖV auf der ersten/letzten Meile oder zum Lückenschluss genutzt werden. Hierbei wären die Fahrten ein Teil einer intermodalen Wegeketten und könnten zum Lückenschluss in schwer mit dem klassischen ÖV-Linienverkehr abzudeckenden Gebieten oder (Rand-)Zeiten genutzt werden.

Folgende Sonderfälle sind denkbar:

- ▶ Das (gewerbliche) Angebot könnte sich nur an spezifische Personengruppen (z.B. Personen mit Mobilitätseinschränkungen, Kinder, Urlaubsreisende etc.) richten und von diesen im Alltagsverkehr für diverse Fahrtzwecke genutzt werden (z.B. Fahrt zur Schule, Sightseeing-Touren, Arztbesuche etc.).
- ▶ Das Angebot könnte durch Privatpersonen erfolgen (Peer-to-Peer), die ihr privates, automatisiertes Fahrzeug gegen Gebühr anderen Nutzenden in der Zeit zur Verfügung stellen, in der es von ihnen selbst nicht gebraucht wird.
- ▶ Automatisierte Firmenfahrzeuge könnten als Teil eines Fahrzeugpools zur Verfügung gestellt werden, damit sie von mehreren Mitarbeitenden eines Unternehmens genutzt werden können. Der Fahrzeugpool kann dabei auch unternehmensübergreifend organisiert sein.

4.2.3 Öffentlicher Verkehr

Für die Beschreibung der Entwicklungslinien wird Öffentlicher Verkehr im Folgenden (in Abgrenzung zum MIV) stets als an die Allgemeinheit gerichtetes und fortlaufend verfügbares Verkehrsangebot verstanden. Das Angebot steht also prinzipiell allen Personengruppen offen und kann grundsätzlich für alle denkbaren Wegezwecke genutzt werden.

Wie die Entwicklungslinien im Teilsystem ÖV im Einzelnen aussehen werden, lässt sich nicht verlässlich vorhersagen. Die Entwicklungslinien sind insbesondere abhängig von:

- ▶ dem Stand der technologischen Entwicklung in Fahrzeugen und bei der (digitalen) Infrastruktur,
- ▶ der wirtschaftlichen Tragfähigkeit von automatisierten Sammelfahrdiensten,
- ▶ der Ausgestaltung der Regulierung in allen Teilsystemen,
- ▶ den entsprechenden Anwendungsbereichen sowie
- ▶ der Rolle der beteiligten Akteure.

Für eine Nutzung des automatisierten und vernetzten Fahrens im ÖV sind die technologischen Entwicklungslinien in der physischen und digitalen Infrastruktur sowie im Fahrzeug maßgeblich (vgl. Kapitel 4.1.3 und 4.2.1.1). Für die gewerbliche Personenbeförderung muss mindestens Stufe 4 oder 5 – das fahrerlose Fahren – erreicht werden.

Weiter hängt die Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrdienste im ÖV davon ab, ob die autonomen Fahrzeugflotten einen effizienten Verkehrsfluss erreichen. Eine Automatisierung der bestehenden ÖV-Systeme benötigt keinen zusätzlichen Straßenraum. Zusätzliche Verkehrsfläche benötigen hingegen ein Ersatz bestehender Linienverkehre bzw. eine Ergänzung oder Ausweitung des bestehenden ÖV-Systems mit kleinen, automatisierten Straßenfahrzeugen. Dies ist nur in Anwendungsbereichen möglich, wo der von den Fahrdiensten genutzte Straßenraum möglichst störungsfrei organisiert werden kann und genügend Verkehrsfläche für die zusätzlichen Fahrzeuge besteht.

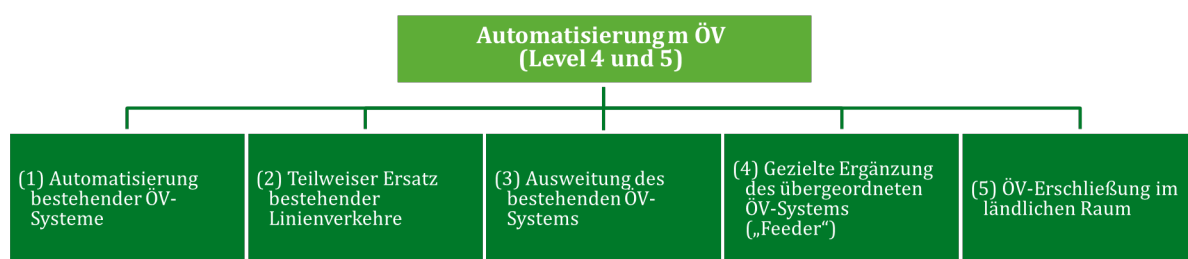
Im Folgenden werden konkrete Anwendungsfälle im Teilsystem Öffentlicher Verkehr beschrieben, die sich – aus heutiger Sicht – durch automatisiertes und vernetztes Fahren ergeben können. Es handelt sich dabei um fünf Anwendungsfälle in verschiedenen Anwendungsbereichen, die aktuell in der Fachwelt diskutiert (z.B. Erschließung des ländlichen Raumes), bereits erprobt (z.B. Kleinbusse als Feeder des bestehenden Systems) oder gar umgesetzt werden (z.B. Automatisierung von U-Bahnen in diversen Städten).

Anwendungsfälle, bei denen aus heutiger Sicht weitgehend sicher beurteilt werden kann, dass der großflächige Einsatz von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen nicht plausibel erscheint, wurden in der weiteren Untersuchung nicht berücksichtigt:

- ▶ Dazu gehört insbesondere die substanzielle Umstellung des kompletten ÖPNV-Angebots (inkl. schienengebundene Systeme) auf automatisierte Straßenfahrzeuge in Großstädten bzw. dicht besiedelten Zentren. Dafür würde die vorhandene Fläche (unabhängig von Überlegungen zur nachhaltigen Mobilität) nicht ausreichen – in diesen Gebieten ist die Massenleistungsfähigkeit von großen Gefäßen wie S- oder U-Bahnen alternativlos.
- ▶ Ebenfalls nicht näher untersucht wird das in Studien und Simulationen häufig als das Idealbild der „Stadt der Zukunft“ angepriesene Zusammenspiel von automatisierten Sammelfahrdienstflotten und ÖV. Automatisierte Fahrzeuge als Feeder für das übergeordnete ÖV-System in dicht besiedelten Räumen werden kaum die heutige Funktion des ÖPNV übernehmen können. Es ist wenig plausibel, dass in dichten Räumen ein automatisierter Pkw-Verkehr den nötigen Fahrgastwechsel so organisiert bekommt, dass die Umschlagsmengen zentraler Haltestellen des ÖPNV bzw. ÖV auch nur annähernd erreicht werden können (Grenzen: Nutzerpsychologie, Verkehrssicherheit und Platzrestriktionen)³⁶.
- ▶ Ebenfalls nicht näher betrachtet wird ein bedarfsorientierter Zugverkehr auf der Schiene, der sich individuell aus kleinen Einheiten zusammensetzt und wieder trennt, da für diese Art Zugverkehr mit Blick auf die durch die Schieneninfrastruktur gegebenen Grenzen kein realistischer Pfad besteht.

Es werden die in Abbildung 12 dargestellten Anwendungsfälle betrachtet.

Abbildung 12: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem ÖV



Quelle: Eigene Darstellung.

Die beschriebenen Anwendungsfälle sind dabei nicht trennscharf voneinander abzugrenzen. Es ist durchaus denkbar, dass sich unterschiedliche oder sich gar überlagernde Anwendungsfälle in verschiedenen Anwendungsbereichen im Teilsystem ÖV ergeben.

³⁶ Entsprechend der Vielzahl an gleichzeitig eintreffender Fahrzeuge, müssten die Bahnhöfe auch eine Vielzahl an Haltemöglichkeiten für den Umstieg bieten. Ein Umsteigevorgang erfordert allerdings aus Sicht der Nutzenden kurze, (möglichst) unkomplizierte und sichere Wege – dem kann ein „Slalom“ um zahlreiche stehende und fahrende Kleinfahrzeuge nicht entsprechen. Neben diesen Grenzen gibt es in nahezu jeder Großstadt – zumindest an großen „Hubs“ – auch eine Kapazitätsrestriktion: Ein „Massenumschlag“ von Reisenden von einem Massentransportmittel (S-Bahn) in kleine, autonome Gefäße wird aus Platzgründen nicht möglich sein (vgl. etwa nur die Raumsituation am Bahnhof Friedrichstraße in Berlin oder aktuelle Taxistände an größeren Bahnhöfen). Hinzu kommen logistische Probleme bei der Wegleitung zahlreicher gleichzeitig eintreffender Fahrgäste von größeren Gefäßen auf die entsprechenden bereitstehenden Kleinfahrzeuge.

Im Anwendungsfall **(1) Automatisierung bestehender ÖV-Systeme** wird der vorhandene öffentliche Verkehr auf Schiene und Straße mit automatisierten Fahrzeugen und fixen Haltestellen abgewickelt – ohne Fahrerin oder Fahrer, aber ggf. mit einer oder mehreren Begleitpersonen. Das Grundprinzip des ÖP(N)V – Linienverkehr auf bestimmten Strecken in einer bestimmten Taktung – bleibt unverändert. Gleiches gilt auch, abgesehen von den für die Automatisierung erforderlichen Komponenten, für die Fahrzeuge, im Wesentlichen also Fernverkehrszüge, Regionalzüge, Busse, U-Bahnen und Straßenbahnen. Da der Betrieb in der Regel auf dedizierten Trassen erfolgt, reicht zumeist eine Level-4-Automatisierung und eine beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium ohne vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem aus. Für die ÖV-Nutzenden können sich Taktverdichtungen dank kleiner werdenden Sicherheitsabständen und eine erhöhte Pünktlichkeit und Verlässlichkeit ergeben. Zudem ist eine Ausdehnung der Betriebszeiten denkbar, da die variablen Kosten bei Energie und – bei einer Level-5-Automatisierung – beim Personal sinken könnten (soweit nicht Personalkosten für anderes Personal wie z.B. Begleitpersonen anfällt). Effizienzgewinne aus Kostensicht sind allerdings, wie einleitend geschrieben, stark davon abhängig, in welcher Art und Weise die für die Automatisierung erforderlichen Investitions- und Unterhaltskosten umgelegt werden. Bei Anwendungsfall 1 sind keine erheblichen Abweichungen zum heutigen ÖV-System zu erwarten. Das automatisierte ÖV-Angebot wird wie bisher in allen räumlichen Einsatzgebieten (Stadtzentrum, am Stadtrand, im ländlichen Raum, zwischen Städten und Regionen) genutzt.

Im Anwendungsfall **(2) Teilweiser Ersatz bestehender Linienverkehre** werden bestehende öffentliche Verkehrsmittel auf Straße oder Schiene, die über eine schwache Auslastung (im ländlichen Raum oder in Neben- und Randzeiten) verfügen, mit kleinen, automatisierten Straßenfahrzeugen ersetzt. Diese automatisierten Straßenfahrzeuge fahren (ebenso wie das ersetzte Verkehrsmittel) im Linienverkehr zwischen klar definierten Haltestellen, allerdings mit einer erhöhten Frequenz. Die Fahrzeuge können gekoppelt im Verbund oder einzeln fahren, was es ermöglicht, das Angebot relativ genau an den jeweiligen Bedarf anzupassen und die Wartezeit für die ÖV-Nutzenden gering zu halten. Die Fahrzeuge werden z.B. optisch spurgeführt und kommen (exklusiv) auf neuen Straßen zum Einsatz, die auf den ehemaligen Schienennetzen geführt werden, oder auf bestehenden öffentlichen Straßen (parallel mit anderen Nutzungen des öffentlichen Straßenraums). In ausgewählten Gebieten bzw. auf ausgewählten Strecken ist der Betrieb mit Level 4 und einem beschränkt vernetzten Entwicklungsstadium möglich. In anderen Gebieten bzw. Einsatzbereichen ist eine Level-5-Automatisierung und eine starke Vernetzung aller Beteiligten und Objekte Voraussetzung (z.B. im Mischverkehr).

Im Anwendungsfall **(3) Ausweitung des bestehenden ÖV-Systems** wird das bestehende (ggf. entsprechend Anwendungsfall 1 automatisierte) ÖV-Liniensystem durch zusätzliche Linien ergänzt, auf denen automatisierte Busse und Bahnen im Linienverkehr unterwegs sind. Neben neuen Schienenstrecken oder Buslinien können hierbei auch neuartige Systeme zum Einsatz kommen, etwa optisch spurgeführte Fahrzeuge auf der Straße (oder eigenen Trassen) oder auf den Nahverkehr ausgerichtete Magnetschwebbahnen. Grundlage für die Erweiterung sind die bestehenden Liniennetze und Fahrpläne sowie die vorhandenen bzw. prognostizierten Mobilitätsbedarfe. Zusätzlich zu neuen Linien sind auch Taktverdichtungen auf bestehenden Linien oder eine Ausdehnung der Betriebszeiten in Neben- und Randzeiten denkbar. Aufgrund des Liniencharakters ist davon auszugehen, dass regelmäßig eine Level-4-Automatisierung und ein beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium für den Betrieb ausreichend ist. Sofern der Betrieb nicht auf dedizierten Trassen erfolgt, könnte in bestimmten Fällen jedoch auch Level 5 und eine starke Vernetzung aller Beteiligten und Objekte erforderlich sein. In der Regel ist bei diesem Anwendungsfall davon auszugehen, dass große Fahrzeuge zum Einsatz kommen, ähnlich wie bei den bestehenden Linien. Grundsätzlich sind jedoch auch kleinere Gefäße denkbar. Die Netzausweitung wird in allen räumlichen Einsatzgebieten umgesetzt.

Bei Anwendungsfall **(4) Gezielte Ergänzung des übergeordneten ÖV-Systems („Feeder“)** wird das ÖP(N)V-Angebot auf bestimmte Gebiete oder Strecken ausgeweitet, die bislang nicht oder nur mangelhaft erschlossen waren. Das bestehende (ggf. entsprechend Anwendungsfall ÖV-1 automatisierte) ÖV-Liniensystem trägt die Grundlast. Eine weitere Erschließung erfolgt mittels kleiner, automatisierter Straßenfahrzeuge (Level-5-Automatisierung auf starkem Vernetzungsstadium). Diese fahren in einem abgegrenzten Bereich bei Bedarf an verkehrlich geeigneten Orten an (virtuelle) Haltepunkte, nehmen dort die Reisenden auf und bringen sie zu einem „Hub“, in der Regel einem Haltepunkt eines Massentransportmittels (S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn etc.) bzw. von einem solchen „Hub“ zu einem Haltepunkt innerhalb des abgegrenzten Bereichs. Das jeweilige Fahrtangebot an den Kunden stellt eine gezielte Anbindung an das übergeordnete ÖV-Netz her. Die Fahrzeuggröße kann variieren: Abhängig vom spezifischen Bedarf können Kleinbusse eingesetzt werden, es kommen grundsätzlich aber auch größere Gefäße infrage. Ein solcher Anwendungsfall ist vor allem in kleinen, abgegrenzten Gebieten denkbar, in denen eine relevante Besiedlungsdichte gegeben und ein „Hub“ in erreichbarer Nähe vorhanden ist. Es handelt sich um Anwendungsbereiche, die bisher unzureichend oder gar nicht durch den ÖP(N)V erschlossen sind – etwa Wohngebiete in Stadtrandlage oder Räume zwischen Städten. Daneben kommen auch Gebiete innerhalb von Städten verschiedener Größenordnungen in Betracht, die grundsätzlich vom ÖPNV bereits erschlossen sind, allerdings um zusätzliche Angebote auf der ersten/letzten Meile ergänzt werden.

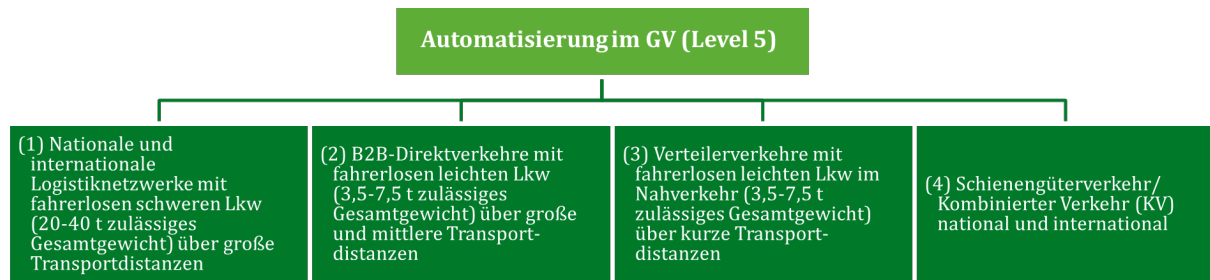
Beim Anwendungsfall **(5) ÖV-Erschließung im ländlichen Raum** findet in bestimmten Gebieten eine Vollerschließung mit kleinen, automatisierten Straßenfahrzeugen statt. Die Fahrzeuge verbinden (virtuelle) Haltepunkte an verkehrlich geeigneten Orten, speziell für das Umsteigen eingerichtete Hubs sowie Haltestellen des Regional- und Fernverkehrs bzw. des ÖV-Systems angrenzender Gebiete. Grundsätzlich denkbar wäre auch eine Tür-zu-Tür-Bedienung. Die Fahrzeuge fahren direkt zum Zielort oder kombinieren – wo sinnvoll – die Fahrt mit einem Umstieg in ein anderes automatisiertes Fahrzeug. Eine Level-5-Automatisierung und eine starke Vernetzung aller Beteiligten und Objekte ist Voraussetzung für den Betrieb in der Fläche. Die Fahrzeuggröße kann variieren: Abhängig vom spezifischen Bedarf können Kleinbusse eingesetzt werden, es kommen grundsätzlich aber auch größere Gefäße infrage. Als räumliches Einsatzgebiet sind insbesondere sehr dünn besiedelte Räume relevant, die heute nur mangelhaft oder gar nicht mit dem ÖV erschlossen sind. Besonders aussichtsreich für diesen Anwendungsfall sind Räume mit sehr feingliedrigen Verkehrswegen, die wenig Bündelung zulassen. Teilweise bietet es erstmals eine Anbindung an das ÖV-System mit einer akzeptablen ÖV-Erschließungsqualität.

4.2.4 Güterverkehr

Nach heutigem Stand sind insbesondere im Straßengüterverkehr erst dann relevante Veränderungen der Marktstrukturen und Verkehrsströme zu erwarten, wenn die Technologie automatisiert fahrender Fahrzeuge so weit ausgereift ist, dass ein fahrerloser Betrieb möglich ist. Wenn dies der Fall sein wird, werden vermehrt auch automatisierte Umschlaganlagen in Transport- und Logistikketten Einzug gehalten haben. Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung oder zur Erhöhung des Komforts der Fahrenden werden vorher vermehrt Eingang in den Sektor finden, jedoch wegen vernachlässigbaren Auswirkungen auf die Kostenstruktur des Güterverkehrs keine relevanten Änderungen der räumlichen und zeitlichen Strukturen in Produktion, Logistik und Transport bewirken. Aus diesem Grunde stellen alle zu analysierenden Anwendungsfälle im Güterverkehr auf selbstfahrende Fahrzeuge (Automatisierung Level 5) verschiedener Gewichtsklassen und Entfernungsstufen ab. Ergänzt werden die Anwendungsfälle mit Fokus auf den Straßengüterverkehr durch einen des Schienengüterverkehrs. Im Einzelnen

handelt es sich um vier Anwendungsfälle (vgl. Abbildung 13), die im Folgenden dargestellt werden.

Abbildung 13: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen im Teilsystem Güterverkehr



Quelle: Eigene Darstellung.

Wichtiger Bestandteil heutiger Logistikkonzepte zur Bündelung von Sendungen sind so genannte Hauptläufe, die in der Fläche verteilte Umschlagslager miteinander verbinden. Hierfür werden i.d.R. schwere Lkw verwendet. Da die Umschlagszentren heute schon an verkehrsgünstig gelegenen Stellen (u.a. in der Nähe von Autobahnausfahrten und Autobahnkreuzen) liegen und da es sich häufig um paarige Pendelverkehre handelt, erscheint es als plausibel, dass die Hauptläufe als erstes vollständig automatisiert ablaufen können.

In **Anwendungsfall (1) Nationale und internationale Logistiknetzwerke mit fahrerlosen schweren Lkw (20-40 t zGG) über große Transportdistanzen** werden automatisierte, fahrerlose Lkw im Hauptlauf auf Autobahnen zwischen mono- oder multimodalen Umschlagknoten bestehender Logistiknetzwerke eingesetzt (z.B. in Stückgut- und Teilladungsnetzen sowie in der Kontraktlogistik). Betreiber dieser Lkw sind Speditionen und andere Logistikdienstleister. Denkbar ist auch, dass Werkverkehre großer Versender mit Punkt-zu-Punkt-Verkehren zwischen verschiedenen Standorten automatisiert werden (z.B. die Verbindung eines Motorenwerkes mit einer Pkw-Endmontage). Gegebenenfalls werden für diese Fahrten auch Lang-Lkw oder Platoons eingesetzt, da es sich hier häufig um hohe Aufkommensmengen handelt. Weiterhin können solche automatisierten Pendelverkehre auch im Seehafen-Hinterland Verkehr Einzug halten. In Einklang mit den betrachteten Einsatzmärkten gibt es in diesem Anwendungsfall nur automatisierte Fahrten ohne Endkundenkontakt; den Umschlagknoten kommen automatisierte Umschlagtechnologien für Sattelaufleger und Wechselbrücken zum Einsatz.

Für den **Anwendungsfall (2) B2B-Direktverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw (3,5-7,5 t zGG) über große und mittlere Transportdistanzen** ist im Vergleich zum Anwendungsfall (1) ein höherer technologischer Reifegrad der Fahrzeuge und der damit verbundenen Steuerungstechnik auf der Strecke und in den Betriebshöfen unterstellt. Er würde sich entsprechend erst später am Markt durchsetzen können.

In diesem Anwendungsfall werden fahrerlose leichte Nutzfahrzeuge von Logistikdienstleistern oder im Werkverkehr in Punkt-zu-Punkt-Verkehren eingesetzt. Diese Transporte unterscheiden sich hinsichtlich (höherer) Dringlichkeit und ggf. auch geringerer Sendungsgröße von den Hauptläufen des Anwendungsfalles (1). Die Vorteile der Automatisierung für vergleichsweise kleine Fahrzeuge sind verhältnismäßig größer als für schwere Lkw, da die Kosteneinsparungen durch den Wegfall des Fahrpersonals bei kleinen Fahrzeugen verhältnismäßig größer sind als bei großen Lkw. Auch entfallen bei Direkttransporten mit kleinen Lkw die Umschlagkosten und die Zeitverluste, die ansonsten für die Bündelung in Stückgutnetzen angefallen wären. Kleine Los- bzw. Sendungsgrößen im Bereich Handel und Industrie (B2B-Sektor) werden in diesem Anwendungsfall durch zeitlich und räumlich flexible Direktverkehre autonomer Fahrzeuge abgewickelt. Bei der Beladung beim Verloader und bei der Entladung beim Zielunternehmen

finden automatisierte Umschlagtechnologien Anwendung. Dementsprechend wird die Be- und Entladung an den Rampen automatisiert ohne nennenswerten Personalbedarf realisiert.

Im Anwendungsfall (3) Verteilerverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw im Nahverkehr (3,5-7,5 t zGG) über kurze Transportdistanzen werden fahrerlose leichte Nutzfahrzeuge von Logistikdienstleistern in Verteilerverkehren z.B. in urbanen Räumen eingesetzt. Diese setzen gegenüber Anwendungsfall (2) nochmals eine Erhöhung des Reifegrades der Technologie autonomer Fahrzeuge voraus.

In Konzepten der urbanen Logistik mit automatisierten Fahrzeugen werden Sendungen durch intelligente Bestellabwicklungs- und Logistiksysteme gebündelt, um die Anzahl der Fahrten zu minimieren. Aus neu zu schaffenden Kommissionierungszentren am Stadtrand und von innerstädtischen Umschlagpunkten heraus erfolgt die Feinverteilung mittels automatisierter Fahrzeuge oder Liefer- bzw. Paketroboter. Die Lieferungen können entweder an Unternehmen (B2B), an Privathaushalte (B2C) oder auch an Paketstationen übergeben werden. Durch den Wegfall des Fahrpersonals müssen jedoch i.d.R. automatisierte Entladungsmöglichkeiten vorhanden sein. Die Lieferungen werden im gesamten Sendeprozess und für die Empfängerinnen bzw. Empfänger jederzeit einsehbar getrackt. Mittels geeignet Kommunikationskanäle erhält die Empfängerin bzw. der Empfänger oder die Paketstation eine verlässliche Information über die Ankunftszeit der Ware und ggf. einen sicheren Zugang zum sicheren Ablageort (u.a. Paketfach).

Im Gegensatz zu den straßenbasierten Anwendungsfällen widmet sich **Anwendungsfall (4) Schienengüterverkehr/Kombinierter Verkehr national und international** explizit den Automatisierungsmöglichkeiten im Schienengüterverkehr sowie seinen Vor- und Nachläufen. Auf der Schiene wird ein hoher Grad an automatisierter Zugführung erwartet; auch der Umschlag ist weitestgehend automatisiert. Insbesondere wird von der automatischen Kupplung von Güterwagen, der Automatisierung der Rangiervorgänge und der Zugbildung sowie der automatisierten Zugbeeinflussung (via ETCS – European Train Control System) ausgegangen. All diese Techniken befinden sich bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium bzw. sind in der Einführung.

Ab der Ausbaustufe ETCS Level 2 werden im Bahnnetz keine ortsfesten Hauptsignale mehr benötigt. Dies ermöglicht eine Verringerung der Zugfolgeabstände; im selben Streckenabschnitt können mehr Züge fahren, ohne dass dabei die Sicherheit verringert wird. Diese sogenannte Blockverdichtung trägt somit zu einer Erhöhung der Streckenkapazität bei mit positiven Auswirkungen auf die Kapazität und/oder Zuverlässigkeit. Sind auch nachgeordnete Netzbereiche mit (ggf. vereinfachtem) ETCS ausgerüstet, lassen sich Wagengruppen mit vergleichsweise geringem Aufwand zu Knoten verbringen, an denen Züge mit einer dem KV-Transportsystem entsprechenden Standardlänge zusammengestellt werden. Diese technische Grundlage erlaubt die Einführung eines automatisierten Zugbetriebs (Automatic Train Operation – ATO).

Für diesen Anwendungsfall werden Güterwagen vorausgesetzt, die zumindest bis zu einem gewissen Grad selbstfahrend sind. Beachtenswert sind darüber hinaus die Entwicklungen und Möglichkeiten hinsichtlich der Automatisierung in den Zubringerverkehren auf der Straße für den Kombinierten Verkehr.

5 Regulierungserfordernisse für eine ökologisch nachhaltige Mobilität

5.1 Übergreifende Regulierungserfordernisse für den automatisierten und vernetzten Verkehr

Digitalisierungstechnologie und die Anforderungen eines automatisierten Verkehrssystems (vgl. dazu oben Kapitel 4.1) realisieren sich in konkreten Fahrzeugkonzepten (Design, Abmessungen, Materialien, Energiemanagement, Motorisierung etc.), Informationserkennungs- und Verarbeitungssystemen im Fahrzeug und Kommunikationssysteme zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. Diese Systeme können unabhängig von der konkreten infrastrukturellen Umsetzung bzw. ihrem Einsatz in einem bestimmten Teilsystem Auswirkungen auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität haben – z.B. durch erhöhte Ressourcenverbräuche oder Auswirkungen auf die Sicherheit des Rad- und Fußverkehrs – und damit den Teilsystemen übergeordnete Regulierungserfordernisse mit sich bringen.

In diesem Kapitel werden Regulierungserfordernisse für das automatisierte und vernetzte Fahren hergeleitet, die nicht ausschließlich einem der Teilsysteme Infrastruktur, Motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr und Güterverkehr zugeordnet werden können, sondern übergeordnet für mindestens zwei oder mehr Teilsysteme bestehen. Entwicklungen und Anwendungsfälle mit Infrastrukturbezug werden in Kapitel 5.2.1 behandelt: Die physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren (vgl. Kapitel 5.2.1.1) sowie digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen (vgl. Kapitel 5.2.1.2).

5.1.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Als Beitrag des automatisierten und vernetzten Fahrens für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität (vgl. dazu die Prüfkriterien in Kapitel 3.5) ist – übergeordnet zu den verschiedenen Teilsystemen – das Folgende zu bedenken.

5.1.1.1 Zusätzlicher Energieverbrauch durch neue IT-Systeme

Für die Frage, ob durch Digitalisierung eine Reduktion des Energiebedarfs im motorisierten Verkehr erreicht werden kann, ist der Energiebedarf der erforderlichen neuen IT-Systeme zwingend einzubeziehen: Im Vergleich mit einer „analogen“ Umsetzung besteht ein zusätzlicher Energiebedarf, der aus den IT-Systemen resultiert (s. auch Agora Verkehrswende 2020b).

So wird zusätzlich zum Energiebedarf für den Antrieb für die Automatisierung selbst noch weitere Energie für die Sensorik, die zusätzliche Kühlung der Sensorik, die Aktorik und die Datenverarbeitung sowie für die Ausstattung der Infrastruktur benötigt (vgl. Gawron et al. 2018, Lee & Kockelman 2019, Agora Verkehrswende 2020b). Der resultierende Energiebedarf ist auch davon abhängig, wie sich die Automatisierungstechnologie künftig weiterentwickelt, vornehmlich in Bezug auf die Bilddatenverarbeitung. Derzeitige Forschungsfahrzeuge brauchen teilweise genauso viel Energie für die Automatisierung wie für den Antrieb selbst.

Mit Blick auf den Energieverbrauch ist die Digitalisierung im Verkehr also nur dann ökologisch nachhaltig, wenn die zusätzlichen Energiebedarfe durch (deutlich) übersteigende Effizienzgewinne und Vorteile an anderer Stelle kompensiert und überwogen werden (s. auch Agora Verkehrswende 2020b).

5.1.1.2 Fahrweise automatisierter Fahrzeuge

Automobilhersteller könnten das Anliegen verfolgen – wie auch heute schon bei Automatikgetrieben – ihren Kundinnen und Kunden „Fahrspaß“ trotz Automatisierung zu bieten, indem z.B. auf einen Sport-Modus (mit einer zügigen Beschleunigung bzw. zügigem Abbremsen) umgestellt werden kann. Diese Komponenten sind meist nicht mit einer an ökologischen Kriterien orientierten Fahrweise zu vereinen und dürften zu einem Rebound-Effekt führen bzw. den Energiebedarf erhöhen. Wichtig wäre somit, dass bereits bei der Entwicklung der Fahrprogramme für automatisierte Fahrzeuge ökologische Ziele im Vordergrund stehen und folglich für die Grundausstattung bereits energieeffiziente Fahrweisen realisiert werden und Komponenten hierfür verbaut werden.

Grundsätzlich steigen Lärmemissionen sowie Energiebedarfe mit zunehmender Geschwindigkeit – der Luftwiderstand und der für seine Überwindung notwendige Energiebedarf steigen quadratisch zur Fahrgeschwindigkeit, während die benötigte Leistung mit der dritten Potenz zur Fahrgeschwindigkeit steigt. Unter Berücksichtigung von fixen Energiebedarfen – für Elektronik und Aggregate – liegt Aussagen von Experten am DLR im Rahmen eines Experteninterviews zufolge eine energieoptimale Betriebsgeschwindigkeit für heutige Fahrzeuge zwischen 70 und 90 km/h. Geschwindigkeitsregelungen für automatisierte Fahrzeuge sollten die aus ökologischer Sicht optimale Geschwindigkeit und der optimale Verkehrsfluss für eine energieeffiziente, emissions- und lärmreduzierte Fahrweise berücksichtigen.

5.1.1.3 Veränderung im Verkehrsfluss bzw. im Verkehrsverhalten

Ein effizienter, homogener Verkehrsfluss kann Vorteile für die ökologische Nachhaltigkeit mit sich bringen. Erreicht werden könnte dies durch verbindliche „Absprachen“ zwischen den automatisierten Fahrzeugen für z.B. kooperative Fahrstreifenwechsel. Auch könnten aneinander gekoppelte automatisierte Fahrzeuge (Kolonnen) zu einer durch Windschatten erreichten energiesparenderen Fahrweise und – durch sinkende Minimalabstände – zu einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Straße führen. Wenn diese Vorteile genutzt werden sollen, dann muss die Kommunikationstechnik aller Fahrzeuge kompatibel sein. Dies erfordert, dass Nachrichteninhalte, -formate und deren Übertragung sowie Interpretation standardisiert werden. Daneben müsste die physische Infrastruktur auf diese Fahrweise ausgerichtet werden, um Gefahren z.B. bei Ein- und Ausfädelungsprozessen in Kolonnen auszuräumen.

5.1.1.4 Vernetzung und Routenwahl

Die Einführung eines kooperativen vernetzten Verkehrs und die Wahl einer geeigneten Route stellen zum einen Anforderungen an die Fahrzeugelektronik und zum anderen an die Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur.

Für die Steuerung bzw. Beeinflussung der Routenwahl ergeben sich mehrere Möglichkeiten von der dezentralen Vernetzung der Fahrzeuge bis hin zur Kommunikation der Fahrzeuge über eine Zentrale. Über eine zentrale Kommunikation ergäbe sich das größte Potenzial für verkehrsflussoptimierte Routen aus Sicht Umwelt- und Klimaschutz, da die Zentrale alle Fahrtenbeziehungen überwachen und regeln würde. Wenn systemoptimales Verhalten angestrebt wird, so ist zunächst die Art des Ziels zu definieren. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten sind dabei neben den Fahrzeiten und Betriebskosten der Fahrzeuge auch ökologische Kriterien einzubeziehen. Die Umsetzung eines kooperativen vernetzten Fahrens bringt jedoch in städtischen Gebieten, in denen sich ebenfalls nicht automatisierte und allenfalls nicht vernetzte Verkehrsteilnehmende bewegen, vielschichtige Herausforderungen mit sich, wie etwa, dass stets die Resilienz des Systems, aber auch die Akzeptanz durch die Nutzenden gewährleistet sein muss. In einer Übergangsphase der

Einführung von automatisiertem Fahren ließe sich solch ein System in einer definierten Zone oder einem Korridor, wie einem abgesteckten Bereich innerhalb der Stadt oder im Fernverkehr, leichter und sicherer umsetzen. Wie hoch die Energieeinsparungs-Potenziale in solch einem verkehrsflussoptimierten System sein könnten, ist noch weiter zu erforschen.

5.1.1.5 Auswirkungen auf Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs

Die Gewährleistung von Sicherheit – allgemein und auch für den Rad- und Fußverkehr – stellt eine besondere Herausforderung für das automatisierte und vernetzte Fahren dar.

Das automatisierte System sowie die erforderlichen Komponenten bringen eigene, neue Risiken mit sich. Neben dem Risiko von Hacking und Cyber-Attacken können sich im Langzeiteinsatz – z.B. aus Verschleiß, unsachgemäßen Reparaturen oder Beschädigungen (vgl. TÜV Rheinland 2021) – Funktionseinschränkungen ergeben.

Aus Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden ergeben sich weitere Sicherheitsrisiken. Grundsätzlich richtet sich die maximal mögliche Geschwindigkeit bei automatisierten Fahrzeugen nach der Reichweite der Sensorik, der Kapazität der Sensoren (Rechenleistung pro Zeiteinheit) sowie dem Bremsweg. Auf geraden Strecken ohne Kreuzungen und Sichtverdeckungen gibt es faktisch keine Begrenzung der maximal möglichen Geschwindigkeit, da die Sensorik Hindernisse stets rechtzeitig erkennen kann. Im städtischen Raum mit vielen Kreuzungen und Sichtverdeckungen ergeben sich jedoch Limitationen für die Geschwindigkeit, da jederzeit mit einem plötzlichen Überqueren der Fahrbahn gerechnet werden muss. Bei 30 km/h wäre der Bremsweg so gering, dass das Fahrzeug (fast) jederzeit sicher zum Stillstand kommen kann. Solch eine niedrige Geschwindigkeit kann gleichzeitig zu einem geringeren Energiebedarf sowie Schadstoffausstoß beitragen.

Auch das Linksabbiegen stellt eine Herausforderung für die Gewährleistung von Sicherheit insbesondere für zu Fuß Gehende und Radfahrende dar – in Übergangsphasen der Automatisierung bzw. im Mischverkehr mit nicht automatisierten und vernetzten Fahrzeugen auch für den Gegenverkehr. Die einfachste Lösung wäre, das Rechtsabbiegen stets zu bevorzugen. Hieraus ergäben sich jedoch Umwege, die mit dem Ziel einer nachhaltigen Mobilität nicht zu vereinen sind. Besser wären demnach Lösungen, die das Linksabbiegen für automatisierte Fahrzeuge absichern, was z.B. mittels eigener Abbiegestreifen sowie einer separaten Signal-Phase möglich wäre. Auch diese Ansätze hätten allerdings einen nachteiligen ökologischen Effekt, da zusätzliche Flächen gebraucht würden.

Insgesamt sind die Auswirkungen auf die Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs nach aktueller Einschätzung unklar. Einerseits kann beim automatisierten und vernetzten Fahren menschliches Versagen als Sicherheitsrisiko ausgeschlossen werden, andererseits bestehen gerade im Straßenverkehr bei gemeinsamer/paralleler Nutzung des öffentlichen Straßenraums erhebliche Ansprüche an automatisierte Systeme und neue Unfallrisiken sind denkbar. Durch den Einsatz neuer bzw. zusätzlicher Straßenfahrzeuge könnte sich zudem die Situation auf den Straßen ändern und die Unfallgefahr steigen und zwar insbesondere dann, wenn keine separaten Radwege vorhanden sind. Sollten in Folge der Automatisierung neue Fuß- und Radwege erforderlich werden, muss neben Sicherheitsüberlegungen allerdings immer auch deren Attraktivität mitbedacht werden (keine komplizierten, langen Wege mit unattraktiver Umgebung).

Die Auswirkungen auf die Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs in Abhängigkeit von der infrastrukturellen Umsetzung werden in Kapitel 5.2.1.1.1 näher betrachtet.

Weitere Sicherheitsrisiken durch Ausfall der Technik sollten durch die Implementierung von redundanten Systemen vermieden werden.

5.1.2 Konkrete übergreifende Regulierungserfordernisse

Aus den vorgenannten Einschätzungen ergeben sich die nachfolgend dargestellten übergeordneten Regulierungserfordernisse:

- ▶ Vorgaben zur permanenten Ermittlung und Kompensation des durch die Automatisierung erforderlichen zusätzlichen Energiebedarfs (Begrenzung Fahrzeuggewicht, Deckelung Geschwindigkeit o.Ä.),
- ▶ Vorgaben zur Energieeffizienz für die Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen und von für die Automatisierung erforderlichen Komponenten (wie Sensorik, Aktorik oder Bildverarbeitung),
- ▶ Vorgaben für eine effiziente Erhebung und Verarbeitung von Informationen, z.B. Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten,
- ▶ Entwicklung von Komponenten für die Grundausstattung von automatisierten Fahrzeugen, die eine energieeffiziente und vorausschauende Fahrweise ermöglichen,
- ▶ Vorgabe der Programmierung und Umsetzung umwelt- und klimaschutzorientierter Fahrweisen, die durch Automatisierung und Vernetzung möglich werden,
- ▶ Festlegung der Geschwindigkeit (Höchst-, Richt- und Mindestgeschwindigkeit bzw. Geschwindigkeit in homogenisiertem Verkehrsablauf) unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs und der Gewährleistung von Sicherheit für den Rad- und Fußverkehr,
- ▶ Standardisierung von Kommunikationstechnik und von Nachrichtenprotokollen sowie von verbindlichen „Absprachen“ zwischen automatisierten Fahrzeugen (Interoperabilität),
- ▶ Regelung der Art und Umsetzung der Vernetzung zwischen den Fahrzeugen (zentral/dezentral) sowie die Routenermittlung und -wahl nach vielschichtigen Kriterien,
- ▶ Definition der Zielfunktion beim vernetzten Fahren und bei einem zentral mitgesteuerten System auch unter ökologischen Gesichtspunkten,
- ▶ Festlegung geeigneter Standards für z.B. das sichere Linksabbiegen für automatisierte Fahrzeuge.

5.2 Regulierungserfordernisse der Teilsysteme

5.2.1 Physische und digitale Infrastruktur

In Kapitel 4.2.1 wurden die zu erwartenden Entwicklungslinien bzw. Anwendungsfälle im Teilsystem physische und digitale Infrastruktur skizziert. Der Fokus lag auf folgenden Aspekten:

- ▶ physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren und
- ▶ digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen.

Diese beiden Aspekte schaffen die Voraussetzung für unterschiedliche Anwendungsfälle im MIV, ÖV und im Güterverkehr. Übergreifend lässt sich feststellen, dass der Beitrag der Infrastruktur zu einer ökologisch nachhaltigen Mobilität maßgeblich davon abhängt, welche Art von Mobilität beanreizt bzw. unterstützt wird. Die spezifischen Beiträge zum Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität aus den Anwendungsfällen der Teilsysteme MIV, ÖV und im Güterverkehr

werden separat in den nachfolgenden Kapiteln 5.2.2 bis 5.2.4 behandelt. In diesem Kapitel werden nur die in Kapitel 4.2.1 skizzierten Entwicklungslinien und Anwendungsfällen der physischen und digitalen Infrastruktur untersucht. Dabei erfolgt der Abgleich getrennt, d.h. in Kapitel 5.2.1.1 für die physische und digitale Infrastruktur, die für das automatisierte und vernetzte Fahren benötigt wird und in Kapitel 5.2.1.2 für digitale Anwendungen, die den Verkehrsmittelzugang vereinfachen resp. verschiedene Mobilitäts-Serviceleistungen auf einer Plattform integrieren und nutzbar machen.

5.2.1.1 Physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren

5.2.1.1.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Der Beitrag der Anwendungsfälle für die physische und digitale Infrastruktur für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) wird im Folgenden jeweils im Abgleich mit den oben definierten Prüfkriterien (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt.

Die Weiterentwicklung und Zusammenführung bestehender Assistenzsysteme, welche das Fahren technisch unterstützen, versprechen, dass in Zukunft eine sichere Interaktion zwischen motorisierten Fahrzeugen und dem Rad- und Fußverkehr möglich ist. Im Idealbild der Zukunft wird die **Sicherheit und Attraktivität** nicht nur im Straßenverkehr, sondern auch im **Rad- und Fußverkehr** deutlich erhöht. Bis zu diesem Entwicklungsstadium, in welchem alle Beteiligte und Objekte mit einer lenkenden Verkehrsinfrastruktur vernetzt sind (Anwendungsfall 2) braucht es allerdings noch sehr viel Zeit und erhebliche Investitionen in den Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur. Experten und Expertinnen vermuten, dass bis dahin mit einer langen Übergangsphase zu rechnen ist, in der neu auftretende Gefährdungsbilder in der Mensch-Fahrzeug-Interaktion noch nicht durch geeignete Maßnahmen minimiert werden können und das Unfallgeschehen sogar zunimmt (Beratungsstelle für Unfallverhütung 2020). Unabhängig von dieser Entwicklung, wird eine konsequente Erhöhung der Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs durch die Entwicklungslinien der physischen und digitalen Infrastruktur vor allem erreicht, wenn für den Rad- und Fußverkehr insgesamt mehr öffentlicher Straßenraum zur Verfügung steht und die Zahl der Interaktionen mit motorisierten Fahrzeugen reduziert wird. Dies gelingt insbesondere dann, wenn die digitale und physische Infrastruktur so angelegt ist, dass prioritär Anwendungsfälle im Rad- und Fußverkehr bzw. im öffentlichen Linienverkehr (vgl. Kapitel 5.2.3) beanreizt werden. Ob **möglichst viel Mobilität im Rad- und Fußverkehr** stattfindet, hängt demnach weniger vom Grad der Vernetzung aller Beteiligten und Objekte ab, sondern viel mehr von der generellen physischen Ausgestaltung des öffentlichen Straßenraumes. Dazu zählt auch eine optimale räumliche Ausgestaltung von Transitflächen, die das Umsteigen zwischen verschiedenen Verkehrsmodi erleichtert und damit intermodale Wegeketten stärkt.

In einem Entwicklungsstadium, in dem nur eine beschränkte Vernetzung der Akteure und Objekte besteht (Anwendungsfall 1), sollten Fahrbahnen bzw. weitere physische Infrastrukturen wie Pick-Up-Zonen oder Umsteigehubs konsequent vom motorisierten Verkehr getrennt sein. Im besten Fall erfolgt die Trennung der Verkehrssysteme über eine separate dauerhafte physisch abgetrennte Fahrbahn. Alternativ sind auch sogenannte elektrische Fahrspuren, d.h. für einen vorher definierten Zeitraum für ein bestimmtes Verkehrssystem reservierte Trassen, denkbar. Damit könnte dann eine Straße zu bestimmten Zeitfenstern ausschließlich bestimmten Verkehrsmitteln oder Fahrzeugen zugeordnet werden und Rad- und Fußverkehr wären geschützt. Durch die Nutzungszuteilung wären aber Einschränkungen für alle gegeben. Die für das automatisierte und vernetzte Fahren benötigte Infrastruktur in allen Entwicklungsstadien darf aber keinen negativen Einfluss auf den Rad- und Fußverkehr haben.

Die Ausgestaltung der physischen und digitalen Infrastruktur hat nur indirekt einen Einfluss, ob **möglichst wenig Mobilität im motorisierten Verkehr** stattfindet und eine höchstmögliche

Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem erreicht wird. Die Infrastruktur sollte vor dem Hintergrund einer ökologisch nachhaltigen Mobilität so ausgestaltet sein, dass sie eine Verlagerung vom MIV und hin zum Rad- und Fußverkehr bzw. Linienverkehr im ÖV beanreizt bzw. unterstützt. Ein deutlich positiver Beitrag ist zu erwarten, wenn Verkehrsmengen mit Hilfe einer digitalen Infrastruktur so gesteuert werden können, dass es in spezifischen Bereichen (als kleinste Einheit Straßenabschnitte) zu keiner Überlastung durch den motorisierten Verkehr kommt und das Gesamtverkehrssystem funktionsfähig bleibt. Die dafür benötigten Hilfsmittel wie bspw. elektrische Fahrspuren, Elastic Spaces (tages- oder nachfrageabhängige Anpassung von multifunktionalen Flächen) oder intelligente und mit den automatisierten Fahrzeugen kommunizierende Lichtsignalanlagen benötigen einen hohen Grad an Vernetzung. Voraussetzung ist neben einer V2V-Kommunikation auch eine V2I-Kommunikation mit einer lenkenden Verkehrsinfrastruktur, wie sie in Anwendungsfall 2 dargestellt ist. Weiter können physische Elemente wie Mobilitätsstationen oder optimal ausgestaltete Transitflächen dazu führen, dass ein nahtloser Umstieg zwischen ökologisch nachhaltigen Mobilitätsformen vereinfacht wird und individuelle Pkw-Fahrleistungen reduziert wird.

Automatisiertes und vernetztes Fahren kann die **Leistungsfähigkeit und Attraktivität des ÖV auf Straße und Schiene und des Schienengüterverkehrs** erhöhen. Dank Automatisierungseffekten kann in kürzeren Abständen und ausgeweiteten Betriebszeiten gefahren werden, was die Kapazität und Attraktivität des ÖV-Systems erhöht. Bei der Automatisierung des bestehenden ÖV-Systems reicht ein beschränkt vernetztes Entwicklungsstadium, wie sie in Anwendungsfall 1 skizziert ist, aus. Bei Anwendungsfällen im ÖV, die im Mischverkehr unterwegs sind (bspw. automatisierte und flexible Bedarfsverkehre oder Bus und Straßenbahnen), ist für einen effizienten und sicheren Betrieb ein vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem notwendig, wie es im Anwendungsfall 2 skizziert ist.

Ebenfalls einen hohen Grad an Vernetzung aller Akteure und Objekten des Verkehrssystems mit einer lenkenden Infrastruktur wird benötigt, um automatisierte Fahrzeuge so zu steuern, dass der Vorrang des ÖV-Linienverkehrs im Straßenraum gewährleistet bleibt. Dazu gehören u. a. passfähige Geschwindigkeiten im Umfeld von Lichtsignalanlagen und Fahrwegfreihaltungen für Fahrzeuge des ÖPNV.

Auf den **Einsatz alternativer Antriebe** hat die Infrastruktur keinen direkten Einfluss. Indirekt kann die physische Infrastruktur aber beispielsweise durch die Platzierung und Einbettung von geeigneten Ladestationen oder durch das Anbringen von Oberleitungen Einfluss auf die entsprechenden Antriebsarten nehmen. In einem weiteren Entwicklungsstadium (Anwendungsfall 2) könnte die digitale Infrastruktur so ausgelegt sein, dass sie Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, die postfossile, treibhausgasneutrale Kraftstoffe und Strom nutzen, in der Verkehrslenkung priorisiert.

Die für das automatisierte und vernetzte Fahren benötigte Infrastruktur wie neue Software, Sensoren und gegebenenfalls IT-Anlagen steigern den Energieverbrauch. Der Energieverbrauch steigt je nach Grad der Vernetzung aller Akteure und Objekte weiter an (Agora Verkehrswende (2020b)). Ob die benötigten eingesetzten **digitalen Systeme** (u.a. Sensoren und Steuerungssoftwares) **funktional auf optimale Energieeffizienz ausgerichtet** sein werden, lässt sich heute noch nicht sagen. Grund dafür ist, dass zum Beispiel bei einer Investition in solche Systeme das wirtschaftliche Optimum nicht unbedingt mit der energieeffizientesten Lösung übereinstimmen muss. Hinsichtlich Energieeffizienz sollten sich neu geschaffene digitale Systeme auf ihre Hauptfunktion fokussieren (Lenkung des Verkehrs). Für zusätzliche und nicht der Lenkung des Verkehrs dienliche Nebenfunktionen wie bspw. das umfassende Sammeln und

Speichern von Daten der Nutzenden, sollte aus Sicht Energieeffizienz möglichst verzichtet werden.

Im Hinblick auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität muss in allen Entwicklungsstadien des automatisierten und vernetzten Fahrens der zusätzliche Energiebedarf, der für die physische und digitale Infrastruktur benötigt wird, durch eine gesteigerte Effizienz des Verkehrsangebots ausgeglichen werden.

Ob die digitale und physische Infrastruktur dazu beitragen kann, dass **vom motorisierten Verkehr genutzte Flächen** einer anderen Nutzung zugeführt und **Verkehrsemissionen und -lärm** sowie der **Ressourceneinsatz für die Fahrzeugherstellung reduziert** werden, hängt in erster Linie vor allem von der konkreten Umsetzung im MIV, ÖV, Güterverkehr und unter Einbezug des Rad- und Fußverkehrs ab (vgl. die entsprechenden Kapitel 5.2.2, 5.2.3 und 5.2.4). Ein deutlich positiver Beitrag für diese drei Zielausrichtungen ist zu erwarten, wenn es zu Verlagerungseffekten von MIV zum Fuß- und Radverkehr bzw. zum (dekarbonisierten) ÖV kommt. Hier kann die Infrastruktur nur indirekt Einfluss nehmen, in dem sie diese Verkehrsmodi beanregt. Direkt ergeben sich aus der Ausgestaltung der Infrastruktur Potenziale, wenn mit Hilfe einer entsprechenden Verkehrssteuerung und -lenkung Fahrzeuge nicht durch sensible Gebiete fahren werden und auf vorgegebenen Straßen gebündelt werden (vgl. Anwendungsfall 2). Dadurch besteht die Möglichkeit heute überwiegend vom motorisierten Verkehr genutzte Straßen anders zu nutzen und sensible Gebiete vom motorisierten Verkehr zu entlasten.

Demgegenüber besteht die Gefahr, dass in Anwendungsfällen, in denen Mischverkehr zwischen nicht automatisierten und automatisierten Verkehrsteilnehmenden stattfindet, zusätzliche und separate Fahrspuren für die automatisierten Fahrzeuge nötig werden könnten. Andererseits wären, wenn ein Streckennetzabschnitt nur durch automatisierte Fahrzeuge genutzt wird, die kolonnenstabil fahren können, zwischen den Fahrzeugen (sowohl im Längsverkehr als auch im Querverkehr) weniger Abstände erforderlich, sodass Seitenabstände und die Breite von Fahrstreifen reduziert werden könnten. Zu beachten ist, dass zusätzliche Fahrspuren im Hinblick auf eine nachhaltige Mobilität nie auf Kosten des Rad- und Fußverkehrs bzw. des öffentlichen Verkehrs gehen dürfen. Dies ist insbesondere eine große Herausforderung in einem Entwicklungsstadium, in dem nur eine beschränkte Vernetzung der Beteiligten und Objekte besteht (Anwendungsfall 1) und sich automatisierte und konventionelle motorisierte Fahrzeuge den Straßenraum teilen müssen.

5.2.1.1.2 Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?

Hinsichtlich der Entwicklungslinien für die physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren ist für eine Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Mobilität eine Regulierung zu folgenden Aspekten erforderlich:

- ▶ Gewährleistung bei der Gestaltung der Infrastruktur, dass kein negativer Einfluss auf die Sicherheit und Attraktivität von Rad- und Fußverkehr besteht (in technischer Umsetzung wie auch räumlicher Gestaltung),
- ▶ Optimale räumliche Ausgestaltung von Transitflächen, die das Umsteigen zwischen verschiedenen Verkehrsmodi erleichtert und damit intermodale Wegeketten stärkt,
- ▶ Sicherstellung, dass es zu keinen Überlastungen durch den motorisierten Verkehr kommt und das Gesamtverkehrssystem funktionsfähig bleibt,
- ▶ Sicherstellung, dass der Vorrang des ÖV-Linienverkehrs im Straßenraum gewährleistet bleibt,

- ▶ Sicherstellung einer funktional auf optimale Energieeffizienz ausgerichteten digitalen Infrastruktur, die sich auf ihre Hauptfunktion (Lenkung des Verkehrs) beschränkt,
- ▶ Vermeidung einer zusätzlichen Flächeninanspruchnahme durch den motorisierten Verkehr, z.B. durch separate Fahrstreifen, die für automatisierte Fahrzeuge reserviert sind.

Auf einem **beschränkt vernetzten Entwicklungsstadium von Beteiligten und Objekten ohne vernetzungsbasiertes zentrales Verkehrsmanagement und -steuerungssystem (Anwendungsfall 1)** kann die Sicherheit und Attraktivität von Rad- und Fußverkehr nur gewährleistet werden, wenn Fahrbahnen bzw. Transitflächen konsequent vom motorisierten Verkehr dauerhaft oder mindestens für die Zeit der Inanspruchnahme getrennt sind. Ist keine Trennung des ÖV-Linienvverkehrs (Bus und Straßenbahn) vom motorisierten Verkehr im Straßenraum möglich, muss sichergestellt werden, dass der Vorrang des ÖV-Linienvverkehrs bestehen bleibt. Dies ist eine besonders große Herausforderung in einem Entwicklungsstadium, in dem nur eine beschränkte Vernetzung besteht. Auch bei einem **hohen Grad an Vernetzung von Akteuren und Objekten mit einer leitenden Infrastruktur (Anwendungsfall 2)** muss im Hinblick auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität dem Rad- und Fußverkehr möglichst viel öffentlicher Straßenraum zur Verfügung stehen und die Interaktionen mit motorisierten Fahrzeugen reduziert werden. Im Gegensatz zu einem beschränkt vernetzten Entwicklungsstadium, besteht bei Anwendungsfall 2 die Chance, dass Verkehrsmengen mit Hilfe einer digitalen Infrastruktur gesteuert werden können und Überlastungen im Straßennetz verhindert werden können. Dafür benötigte digitale Systeme sollen sich hinsichtlich Energieeffizienz auf ihre Hauptfunktion, der Lenkung des Verkehrs, beschränken.

Ein attraktiver und sicherer Rad- und Fußverkehr sowie ein attraktiver Öffentlicher Verkehr sind zentral für eine ökologisch nachhaltige Mobilität. Das Einrichten von für das automatisierte Fahren zusätzlich benötigten Fahrbahnen darf nie auf Kosten des Rad- und Fußverkehrs bzw. öffentlichen Verkehrs gehen.

5.2.1.1.3 Konkrete Regulierungserfordernisse

Für die Entwicklungslinien der physischen und digitalen Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren ergeben sich die nachfolgend dargestellten Regulierungserfordernisse.

Technische Mindestvoraussetzungen

- ▶ Es dürfen nur vollständig funktionierende digitale Systeme zugelassen werden, die die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden (inkl. Fuß- und Radverkehr) gewährleisten. Das erfordert u. a.:
 - Das technische System muss selbstständig oder in Interaktion mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur Personen und Objekte erkennen und kann Gefahrensituationen vermeiden. Das System kann auch auf (spielende) Kinder und Tiere – mit schwer berechenbaren Verhaltensweisen – angemessen reagieren. (Somit ist das Mitführen eines mobilen Gerätes (o. ä.) im Rad- und Fußverkehr nicht erforderlich).
 - Nichtautomatisierte Fahrzeuge könnten/sollten auf geeignete Weise in die Vernetzung einbezogen werden (mittels Fahrzeugkomponenten zur Vernetzung sowie die Vermittlung visueller oder hörbarer Signale an die fahrende Person).
 - Erforderlich ist eine Standardisierung von Kommunikationstechnik und von Nachrichtenprotokollen sowie von verbindlichen „Absprachen“ zwischen automatisierten – und bei Mischverkehr auch nichtautomatisierter Fahrzeuge in geeigneter Weise – Fahrzeugen (Interoperabilität), Festlegung von verbindlichen Standards für Schnittstellen (Datenaustauschformate und -protokolle) und

Frequenzbänder (Standardisierung für die Software, Typenzulassung für fahrzeugseitige Hardware).

- Energieeffizienz digitaler technischer Systeme (vgl. Kapitel 5.1.2).

Öffentlicher Straßenraum

- Für die Gestaltung des öffentlichen Straßenraum sind zur Erreichung der ökologischen Ziele die jeweiligen Anforderungen in unterschiedlichen Räumen zu berücksichtigen.
 - Wesentlich ist die Bereitstellung von ausreichend öffentlichem Straßenraum für den Rad- und Fußverkehr, der Attraktivität und Sicherheit gewährleistet.
 - Beförderungseffiziente ÖV-Linienverkehre sollten ebenfalls ausreichend Platz und bei Bedarf eine exklusive Nutzungsmöglichkeit erhalten.
 - Eine Separierung von Fahrbahnen für den automatisierten Verkehr bringt einen großen Flächenbedarf und das Risiko mit sich, dass Wege für den Rad- und Fußverkehr unattraktiv werden und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum negativ beeinflusst wird.
 - Für Straßen, die ausschließlich von automatisierten Fahrzeugen genutzt werden, ist ein neuer Standard bzgl. der Wahl der Straßenkategorie als auch deren Straßenraumentwurf unter dem Gesichtspunkt von Flächeneinsparungen zu erarbeiten.
- Es sollten Fahrverbote für sensible Gebiete durchgesetzt werden z.B. analog zu Gefahrguttransporten oder zu Anliegerstraßen. Die Fahrverbote müssen ähnlich wie Navigationsinformationen in den Fahrzeugen aktuell gehalten werden. Sie können dann praktisch mittels Geofencing umgesetzt werden. Je nach Vernetzungsstadium bestehen digitale Kontrollmöglichkeiten durch die Fahrzeugüberwachung oder bei einem hohen Vernetzungsgrad die Möglichkeit zur Fernsteuerung der Fahrzeuge.

Neue digitale Regulierungsmöglichkeiten

- Die Einführung eines digitalen Verkehrsmanagements kann erwogen werden. Erforderlich dafür wäre die Festlegung der Zuständigkeit für Aufbau und Betrieb einer entsprechenden öffentlichen IT-Infrastruktur. Zur Minimierung von Schnittstellen- und Kompatibilitätsproblemen sowie zu Realisierung von Kostenvorteilen ist zu prüfen, ob es bestenfalls einen Infrastrukturbetreiber für Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen geben soll. Aufgrund des Verursacherprinzips sollte die Finanzierung der Infrastruktur durch z.B. Nutzungsentgelte/-gebühren erfolgen. Die Steuerung könnte sich auf folgende Aspekte beziehen:
 - Durchsetzung von Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen,
 - Vereinfachte und verbesserte Möglichkeiten zur Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten,
 - ggf. sogar eine umfassende Fernsteuerung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale; Voraussetzung dafür wäre eine hohe Vernetzung der Fahrzeuge und der Infrastruktur.

5.2.1.2 Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen

5.2.1.2.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Der Beitrag der Anwendungsfälle aus digitalen Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang bzw. von zusätzlichen Serviceleistungen für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen

Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) wird im Folgenden jeweils im Abgleich mit den oben definierten Prüfkriterien (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt.

Durch digitale Anwendungen, insbesondere intermodale Mobilitätsplattformen, können **Attraktivität und Sicherheit von Rad- und Fußverkehren** unter bestimmten Umständen verbessert werden. Eine direkte Attraktivitätssteigerung kann gelingen, wenn eine Einbindung der Verkehre in intermodale Wegeketten erfolgt bzw. das reisebezogene Informationsangebot ausgeweitet wird – und somit eine stärkere Inwertsetzung des Rad- und Fußverkehrs erfolgt

Die Sicherheit wird ggf. durch digitale Anwendungen bzw. zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen indirekt verbessert, wenn mehr Reisende den ÖV nutzen, dadurch die MIV-Verkehrsleistung sinkt und somit **weniger Mobilität im motorisierten Verkehr** stattfindet. In der Folge wird öffentlicher Straßenraum frei, der für den Rad- und Fußverkehr genutzt werden kann.

Allerdings können attraktive intermodale Angebote (Anwendungsfall 1) und vor allem digitale Anwendungen für zusätzliche mobilitätsbezogene Serviceleistungen (Anwendungsfall 2) auch zu einer Zunahme der Nachfrage nach motorisiertem Verkehr führen und somit auch die Anzahl motorisierter Fahrzeuge erhöhen, unter anderem aufgrund einer Verlagerung vom Rad- und Fußverkehr und vom ÖV-Linienverkehr zum MIV oder durch induzierten Verkehr. Die Gefahr der Kannibalisierung besteht insbesondere dann, wenn ein erheblicher Teil der Wegeketten vollständig oder überwiegend vom motorisierten Verkehr abgedeckt werden kann und insbesondere bei den Verkehrsmittelwahlfaktoren Preis und Verfügbarkeit keine wesentlichen Nachteile gegenüber dem ÖV-Linienverkehr oder dem Rad- und Fußverkehr vorhanden sind.

Zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen haben vermutlich nur einen vergleichsweise geringen direkten Einfluss auf die Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs. Indirekt können sie positive (Attraktivierung des ÖV-Linienverkehrs) oder negative (Attraktivierung des motorisierten Verkehrs) Effekte haben.

Ob die Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem durch digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen gesteigert werden kann, hängt insbesondere davon ab, ob entsprechende Anwendungsfälle in den Teilsystemen ÖV, MIV bzw. Güterverkehr vorhanden sind. Gelingt es beispielsweise, durch attraktive physische Mobilitätsangebote und eine entsprechende Einbindung dieser Angebote in intermodale Wegeketten durch entsprechende Anwendungen, eine Verlagerung vom MIV zum ÖV-Linienverkehr zu erreichen, steigt der Besetzungsquotient und somit letztlich auch die Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem.

Insgesamt können digitale Plattformen bzw. Mobilitäts-Serviceleistungen eine Verlagerung im Sinne einer nachhaltigen, ökologischen Mobilität begünstigen. Dies, weil sie den Organisationsaufwand für eine multimodale Fahrt reduzieren, alternative multimodale Angebote zur Auswahl stellen und auch die Reservierung über verschiedene Angebote (ÖV-Unternehmen, Anbieter Sammelfahrdienste, Verleihfirmen (Rad, Tretroller, Kraftfahrzeuge)) vornehmen. Das bestehende Angebot wird damit für die Reisenden bedeutend besser verfügbar. Der ÖV und ergänzende Angebote werden damit eher als attraktive Alternative zum eigenen Pkw bei der Anschaffung von Mobilitätswerkzeugen und bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die entsprechenden Verkehrsangebote vorhanden sind, auch auf der ersten/letzten Meile. Erst durch entsprechende Angebote auf der ersten und letzten Meile und deren Verknüpfung mit dem ÖV kommt der Nutzen der Mobilitäts-Serviceleistungen zum Tragen.

Die **Effizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem** wird somit **gesteigert**.

Durch digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang bzw. zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen **steigt die Attraktivität des ÖV** deutlich, wobei das Ausmaß der Attraktivitätssteigerungen vom vernetzbaren physischen Verkehrsangebot abhängt. Mit dem Begriff Mobility as a Service (MaaS) werden Angebote bezeichnet, die über Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. Mobilitätsplattformen bzw. Smartphone-Anwendungen) öffentlich zugängliche Verkehrsangebote als integrierte Dienstleistung verfügbar machen. MaaS-Angebote sind in der Regel darauf ausgerichtet, Mobilitätsbedürfnisse unabhängig von eigenen Verkehrsmitteln zu decken, insbesondere unabhängig vom Privat-Pkw. Kern von MaaS ist die Kombination und Integration von Daten zu z.B. Fahrplan, Verfügbarkeit von Angeboten auf Abruf, Vertrieb, Tarif, Kundendaten und Infrastruktur. Es gibt nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zu den Wirkungen von MaaS. Folgende Quellen liegen vor.

- In Göteborg (Testphase) wurde UbiGo als MaaS-Plattform getestet. Die Plattform verknüpft den Öffentlichen Verkehr, Car Sharing und Pkw-Miete und Taxi in einer Applikation. Fahrradvermietsysteme und Mikromobilität sind hier demnach nicht enthalten. Trotzdem zeigen Strömberg et al. (2018), dass MaaS bei allen untersuchten Personengruppen die Nachfrage im öffentlichen Verkehr und im Fußverkehr erhöhte. Die Pkw-Nutzung sank bei den Personengruppen, die zuvor ein eigenes Fahrzeug hatten. Sie stieg aber bei den Personen, die vorher kein Fahrzeug zur Verfügung hatten. Die Autoren ziehen das Fazit, dass ein Dienstleistungsansatz wie UbiGo das Potenzial hat, die Notwendigkeit des Besitzes eines privaten Autos zu verringern und die Menschen in die Lage zu versetzen, ihre Verkehrsmittelwahl und ihr Reiseverhalten zu ändern. Das Potenzial hängt jedoch von einer Reihe spezifischer Merkmale des Dienstes ab, von denen Flexibilität und ein eher bedarfs- als verkehrsmittelorientierter Ansatz sind die wichtigsten Merkmale.
- In Sydney begann im April 2019 ein MaaS-Versuch mit einer Laufzeit von zwei Jahren (vgl. Hensher; Ho; Reck 2021). Die Studie untersuchte die Wirkung verschiedener MaaS-Abonnementpläne, bei denen öffentliche Verkehrsmittel, Mitfahrgelegenheiten, Carsharing und Autovermietungen mit unterschiedlichen finanziellen Rabatten und monatlichen Abonnementgebühren gebündelt werden im Gegensatz zu Pay-as-you-go (PAYG). Zum anderen wurde ermittelt, inwieweit sich die Nutzung des Privatwagens nach dem Abschluss eines monatlichen Mobilitätspakets ändern könnte. Das Papier entwickelt ein gemeinsames diskret-kontinuierliches Modellsystem, um die Wahl zwischen monatlichen Paketen und PAYG und in der Folge die gesamten monatlichen Autokilometer zu erklären. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die angebotenen Pakete die private Pkw-Nutzung reduzieren. MaaS hat damit das Potenzial, das Reiseverhalten im Sinne der Nachhaltigkeitsziele zu verändern.
- In Augsburg wurde von November 2018 bis Juni 2020 ein MaaS Angebot getestet (vgl. Reck, D. J. et al. 2021). Das MaaS-Bündel umfasste Carsharing, Fahrradvermietsysteme und öffentliche Verkehrsmittel. Zwischen November 2018 und Juni 2020 kauften 341 Kundinnen und Kunden Pakete. Die Autoren schätzen die Nachfrage als beträchtlich ein, sahen aber Anzeichen einer Marktsättigung. Deshalb könnte aus ihrer Sicht das getestete MaaS-Paket, dass nur diese Verkehrsträger umfasste, eher ein Nischenprodukt als ein "Game Changer" sein. Die Studie stellt einerseits fest, dass eine beträchtliche Anzahl von Kundinnen und Kunden ihr Carsharing-Kontingent nicht voll ausschöpfte. Andererseits erhöhten Carsharing-Zuschüsse in bestimmten Paketen die Carsharing-Nutzung der Abonnentinnen und Abonnenten. In der Studie bleibt offen, wie sich die Verkehrsmittelwahl, die ÖV-Nachfrage und die PKW-Nutzung per Saldo verändern. Forschungsbedarf besteht sowohl bezüglich der kurzfristigen Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl als auch die langfristigen Auswirkungen auf den Autobesitz. Eine Möglichkeit, dies zu tun, ist die

Durchführung einer kontrollierten Vorher-Nachher-Panel-Studie, die derzeit in der Schweiz durchgeführt wird (Yumuv-Studie).

- Potenzialabschätzungen für die Mobilitätsvermittlung von öffentlichen Verkehr und Verleihangeboten (Rad, Tretroller, Pkw) für die Schweiz kommen zum Schluss, dass bei gegebenem heutigem Angebot MaaS eine Steigerung des ÖV-Anteils an der Verkehrsleistung um 0,8 %-Punkte ermöglicht. Angesichts der Stagnation des Modal-Splits trotz Milliarden Investitionen ist dies eine deutliche Zunahme (vgl. Haefeli et al. 2020).

Insbesondere bei einer Ausweitung der Angebote auf der ersten und letzten Meile können sich im Zuge der intermodalen Vernetzung unterschiedlicher Verkehrsmittel zahlreiche neue Anwendungsfälle für die Nutzenden ergeben und MIV-Verkehrsleistung substituiert werden. Voraussetzung ist allerdings, dass die digitale Anwendung Zugang für alle ermöglicht – sowohl für Fahrentgelt, die Buchung/Bestellung als auch die Zahlungswege. Exklusiv könnte hier wirken, wenn das Vorhandensein eines eigenen Mobilgerätes zwingende Voraussetzung für die Verkehrsmittelnutzung ist oder nur bestimmte Zahlungswege möglich sind. In einer Studie zur MaaS-Akzeptanz wurde festgehalten, dass es vorteilhaft wäre, eine Telefonoption für MaaS zu haben. Zudem sollten Online-Plattformen mit Voice-over-Software kompatibel und anpassbar sein (z.B. Großdruck). Von Personen, die in ländlichen oder abgelegenen Gebieten leben oder reisen, wurden Bedenken bezüglich der begrenzten Mobilfunkabdeckung geäußert. (vgl. Bizgan et al. 2020).

Durch die **erhöhte Attraktivität intermodaler Angebote** werden vermehrt Verkehrsnachfragende durch Flottenbetreiber (ÖV, aber auch Anbieter von Vermietsystemen, vgl. Anwendungsfall 1) befördert. Neben dem herkömmlichen ÖV, der zukünftig größtenteils mit alternativer Energie angetrieben sein wird, ist zu erwarten, dass auch Elektrofahrzeuge im Flottenbetrieb tendenziell eine größere Verbreitung als im privaten Bereich haben werden. Es besteht ein positiver Beitrag zum Zielbild. Zudem können mobilitätsbezogene Serviceleistungen jenseits der Kernfunktionen Planen, Buchen und Bezahlen bei der Verbreitung entsprechender Antriebsformen helfen, da Applikationen zum Beispiel die Anzeige von Ladestationen und deren Reservierung vereinfachen (Anwendungsfall 2).

Digitale Hintergrundsysteme verbrauchen tendenziell viel Strom (vgl. dazu Agora Verkehrswende 2020b und Kapitel 5.1.1 und 5.2.1) Mit Blick auf eine **optimale Energieeffizienz** ist es daher wichtig, sich von vornherein auf wesentliche zentrale Funktionen zu beschränken und auf tendenziell überflüssige Nebenfunktionen zu verzichten. Zusätzliche Serviceleistungen neben den zentralen Bausteinen Planen, Buchen und Bezahlen sollten kontinuierlich evaluiert und bei geringen Nachfrageeffekten im Hinblick auf nachhaltige Mobilität konsequent eingestellt werden. Positive Beiträge zur Steigerung der Energieeffizienz können ggf. beispielsweise Applikationen zur Verbesserung der Ladevorgänge und zur Optimierung der Ladezeiten leisten.

Haefeli und Arnold (2020) zeigen mittels einer Abschätzung zur Veränderung der Verkehrsmittelwahl, dass vernetzte (multimodale) Angebote die **verkehrsbedingten Emissionen** senken. Zudem zeigt der Test in Göteborg (vgl. oben), dass sich der private Fahrzeugbesitz reduzieren kann. Eine solche Abnahme lässt dann auch im Hinblick auf **Flächenverbrauch** und auch beim Ressourceneinsatz für die Fahrzeugherstellung (indirekt) positive Beiträge durch digitale Anwendungen erwarten. Deren Ausmaß ist jedoch vor allem vom realisierten Mobilitätsmix (insbesondere Verlagerung vom MIV zum ÖV-Linienverkehr) sowie von der technischen Entwicklung bzw. der Verbreitung technischer Innovationen im motorisierten Verkehr (insbesondere Antriebstechnik) abhängig. Auch durch die stärkere Nutzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge können sich (indirekt) positive Effekte ergeben, zumindest dann, wenn die entsprechenden Anwendungsfälle in intermodalen

Wegekettten vor allem auf der ersten und der letzten Meile zum Einsatz kommen und so den ÖV-Linienverkehr als Hauptverkehrsmittel attraktivieren.

Weitere Reduktionen von Emissionen können sich durch digitale Anwendungen für mobilitätsbezogene Serviceleistungen ergeben. So können zum Beispiel Parkplatzapplikationen den Suchverkehr reduzieren. Voraussetzung für einen positiven Zielbeitrag ist aber, dass durch die entsprechenden Applikationen die Attraktivität des privaten Pkw nicht so erhöht wird, dass es zu einer Nachfragesteigerung kommt. Hier ist mit den Möglichkeiten der Parkraumbewirtschaftung durch die Kommunen entsprechend gegenzusteuern.

Die Erhöhung der Beförderungseffizienz durch die Verbesserung intermodaler Angebote reduziert aufgrund der Verlagerungswirkung zudem auch die Emissionen und den Lärm des motorisierten Verkehrs. Die Erhöhung der Attraktivität des ÖV auf der ersten und letzten Meile hat auch das Potenzial, dass der private Pkw-Besitz reduziert wird. Damit ist eine Reduktion der Anzahl motorisierter Fahrzeuge und des Parkplatzbedarfs möglich. Dies auch unter Berücksichtigung eines eventuell steigenden Bedarfs für Fahrzeuge im ÖV oder für Sammelfahrdienste auf der ersten und letzten Meile.

5.2.1.2.2 Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung

Multi- bzw. intermodale Vernetzungsangebote sowie zusätzliche Serviceleistungen führen tendenziell – durch die Verlagerung vom MIV auf Wegekettten, die überwiegend aus Verkehrsmitteln des Umweltverbundes bestehen – zu einer Verbesserung der Ökobilanz. Betrachtet man die Entwicklungslinien für digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang bzw. von zusätzlichen Serviceleistungen, sind für eine Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Mobilität vor allem Regulierungsmaßnahmen bei den zu vernetzenden Anwendungsfällen erforderlich. Regulierungsbedarfe mit direktem Bezug ergeben sich zusätzlich im Hinblick auf:

- ▶ Energieerzeugung und Energieverbrauch, insbesondere bei rechenintensiven digitalen Hintergrundsystemen; Fokussierung auf nachhaltige Energieerzeugung und nachfragerrelevante Kernfunktionen.
- ▶ Standardisierung von technischen Systemen bzw. Schnittstellen, insbesondere im Zusammenhang mit Mobilitätsdaten, überregionale Vernetzung.
- ▶ Datenerhebung und Datenbereitstellung, insbesondere von Echtzeit- und Vertriebsdaten unter Berücksichtigung von Akteuren jenseits des klassischen ÖV-Linienverkehrs.
- ▶ Fokussierung der multi- und intermodalen Angebote auf den ÖV-Linienverkehr (ökologisch nachhaltiges Hauptverkehrsmittel): Die ÖV-Dienstleistung muss das zentrale Element der buchbaren Wegekette sein, welche durch Verleihdienste von Fahrrädern, Tretrollern etc. zweckmäßig ergänzt werden, Verleihdienste von Pkw sind in begrenzten Umfang und als ÖV-Ergänzung ebenfalls zu integrieren. Eine Kannibalisierung des ÖV-Linienverkehrs durch Sammelfahrdienste muss vermieden werden.
- ▶ Ausrichtung digitaler Anwendungen für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen auf ökologisch nachhaltige Mobilität.
- ▶ Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang (Anwendungsfall 1) können nur erfolgreich im Sinne eines ökologisch nachhaltigen Verkehrssystems sein, wenn attraktive intermodale Wegekettten den privaten Pkw in vielen Fällen überflüssig machen und zugleich der ÖV-Linienverkehr im Regelfall das Hauptverkehrsmittel einer intermodalen Wegekette ist. Auch zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen (Anwendungsfall 2) müssen in erster Linie dazu geeignet sein, ökologisch nachhaltige Mobilität attraktiver zu machen.

- ▶ Die Zielausrichtung für eine ökologisch nachhaltige Mobilität sollte darin bestehen, dass Angebote zur Mobilitätsvermittlung zur Stärkung des ÖV ermöglicht werden. Der Regulierungsrahmen muss die Chancen einer Steigerung intermodaler Wege und damit eine Reduktion von Fahrleistungen privater Pkw und des privaten Fahrzeugbesitzes ermöglichen. Gleichzeitig sind aber auch Risiken wie Verlagerungen von Rad- und Fußverkehr sowie induzierte Verkehre zu reduzieren.

5.2.1.2.3 Konkrete Regulierungserfordernisse

Für die Entwicklungslinien digitaler Anwendungen ergeben sich die nachfolgend dargestellten Regulierungserfordernisse:

- ▶ Vernetzung von Hintergrundsystemen sowie Standardisierung von Datenquellen und Schnittstellen.
- ▶ Datenbereitstellung durch Mobilitätsanbieter im Umweltverbund – hierzu gehören ÖV-Unternehmen sowie Unternehmen, die Fahrräder und Tretroller vermieten – sowie durch Vermietdienste von Pkw.
- ▶ Festlegung des Verhältnisses von Mobilitätsanbietern und Vermittlern. Verhinderung einer marktbeherrschenden Position eines oder weniger insbesondere privatwirtschaftlicher Mobilitätsvermittler, damit beispielsweise den Mobilitätsanbietern keine Transportpreise oder Angebotsvorgaben diktiert werden können.
- ▶ Ggf. Vergabe von Lizenzen/Konzessionen oder öffentliche Bestellung von Mobilitätsplattformen. Dies dürfte der zielführendste Weg sein, die Chancen der Mobilitätsvermittlung für eine nachhaltige Mobilität im oben skizzierten Sinne zu realisieren und die Risiken zu minimieren. So kann dann bspw. sichergestellt werden, dass ökologisch eher fragwürdige Angebote wie Fahrdienste nicht Teil der Mobilitätsvermittlung werden.
- ▶ Gleichberechtigter Zugang: Die Mobilitätsvermittlung muss so ausgestaltet sein, dass sie auch in der analogen Welt für die Kundinnen und Kunden verfügbar ist.
- ▶ Beschränkungen für die Vermittlung von Mobilitäts- bzw. zusätzlichen Serviceleistungen, die nachteilige Effekte auf die ökologische Nachhaltigkeit haben können, z.B.
 - Vermeidung einer Verlagerung vom Rad- und Fußverkehr in den Plattform-vermittelten motorisierten Verkehr. Insbesondere taxiähnliche Fahrdienste könnten dazu führen, dass Personen einen Fuß- oder Radweg zu einer Haltestelle mit einer Fahrt im Fahrdienst ersetzen. Hier sind Auflagen zur Mobilitätsvermittlung an die Unternehmen zu formulieren (wie z.B. Mindesttransportweiten).
 - Verhinderung der Vermittlung privater Parkplätze: Werden private Parkplätze vermittelt, besteht das Risiko, dass das Parkplatzangebot an zentralen Lagen deutlich erhöht wird und der MIV attraktiver wird. Es könnte zu Verlagerungen auf den MIV kommen.
- ▶ Auf Seiten der physischen Infrastruktur werden insbesondere Mobilitätsstationen, Pick-Up-Zonen bzw. Hubs für den einfachen Passagierwechsel benötigt.
- ▶ Digitale Anwendungen und die dafür erforderlichen Hintergrundsysteme können neue Ansätze für regulierendes Handeln bieten: z.B.
 - Erhebung von Entgelten/Gebühren bei Mobilitätsanbietern für die Straßennutzung,

- Kommunale Parkraumbewirtschaftung: Messung der Parkraum-Nutzung, adäquate Bepreisung, Kontrolle und Sanktionen für zu langes Parken.

5.2.2 Motorisierter Individualverkehr

In Kapitel 4.2.2 wurden die zu erwartenden Entwicklungen bzw. Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens im Teilsystem Motorisierter Individualverkehr skizziert.

5.2.2.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Der Beitrag der Anwendungsfälle im MIV für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) wird im Folgenden jeweils im Abgleich mit den oben definierten Prüfkriterien (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt. Dabei werden die wesentlichen Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im MIV dargestellt und diskutiert sowie auf potenzielle Unterschiede zwischen den Anwendungsfällen verwiesen.

Die Automatisierung im MIV kann zur Erhöhung der **Sicherheit im Rad- und Fußverkehr** beitragen, da zu erwarten ist, dass die Reaktionszeiten des Fahrzeugsystems prinzipiell kürzer sind, im Gegensatz zum Menschen keine Ablenkungsgefahr besteht und Fahrzeuge sich stets regelkonform verhalten. Dieses Potenzial kann allerdings nur dann entfaltet werden, wenn:

- das IT-System fehlerfrei funktioniert und
- sich die Fahrleistung im motorisierten Verkehr nicht erhöht.

Eine verkehrssichere Kombination der verschiedenen Verkehrsformen erfordert eine digitale und/oder physische Lösung von Raumnutzungskonflikten (vgl. zu den bestehenden Unklarheiten oben in Kapitel 5.1.1 und 5.2.1.1.1). Zur Reduktion von Raumnutzungskonflikten gilt es zudem, potenzielle Steigerungen der MIV-Fahrleistung zu vermeiden, beispielsweise durch eine Begrenzung von Leerfahrten automatisierter Fahrzeuge oder durch Preisinstrumente (für Regulierungsansätze vgl. Kapitel 5.2.2.3). Sollte der Rad- und Fußverkehr durch die Automatisierung im MIV sicherer werden, kann dies zu einer Steigerung der **Attraktivität aktiver Modi** führen.

Es besteht ein hohes Risiko, dass automatisierte Fahrzeuge im Alltags- und im Fernverkehr zu einer Steigerung der **MIV-Fahrleistung** beitragen, die zulasten der Verkehrsleistung im Umweltverbund geht und zu Teilen neu induziert ist (vgl. DLR et al. i.E.). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Motorisierte Individualverkehr durch das automatisierte Fahren attraktiver, einfacher zugänglich und je nach Kontext bzw. Kostenentwicklung finanziell erschwinglicher werden könnte. Die Automatisierung und die damit einhergehende Befreiung der Nutzenden von Fahraufgaben ermöglicht es, komfortabler zu reisen und die Reisezeit anderweitig zu nutzen (vgl. u.a. Anderson et al. 2014, Trommer et al. 2016, Das et al. 2017, ITF 2019, DLR et al. i.E.). Auf Routinewegen (z.B. dem Weg zur Arbeit), langen Fahrten oder zu nachfragestarken Zeiten im Stadtverkehr kann es zur Entlastung von Fahrerinnen und Fahrern kommen. Diese Vorteile sind schon ab Automatisierung Level 4 realisierbar (z.B. Autobahnpilot im Fernverkehr oder auf längeren Pendelwegen; City Pilot in der Stadt). Durch den Wegfall der Parkplatzsuche und die Abholung und das Absetzen „vor der Tür“ verkürzt sich die Reisezeit; dies trifft auf alle Anwendungen außer Autobahnpilot Level 4 zu. Durch Level-5-Anwendungen wird die individuelle Fahrzeugnutzung für Personengruppen zugänglich, die selbst aktuell nicht fahren können, dürfen oder wollen (z.B. Kinder und Jugendliche, körperlich eingeschränkte Personen, ältere Personen; Anderson et al. 2014, Trommer et al. 2016, Zmud et al. 2017). Die Autonutzung kann zudem preiswerter werden, wobei sich die Kostenentwicklung der einzelnen Anwendungsszenarien aktuell schwer abschätzen lässt: Bei automatisierten Fahrzeugen stehen

potenziell hohe Anschaffungskosten aufgrund von Mehrkosten für die Technik geringeren variablen Kosten durch die Möglichkeit zu einer energiesparenden Fahrweise und eine Reduktion der Versicherungskosten gegenüber. Für fahrerlose Fahrdienste sind aufgrund der Einsparung des Fahrpersonals niedrige Kosten zu erwarten. Die konkreten Kosten für die Nutzenden hängen u.a. von Einsatzgebiet, Teilung der Fahrt mit Mitfahrenden und weiteren Kosten für die Anbieter, wie z.B. Reinigungskosten ab (vgl. Litman 2015, Kröger & Kickhöfer 2017, Bösch et al. 2018, Becker et al. 2020). Das Ergebnis der genannten Änderungen durch die Automatisierung ist eine höhere Bereitschaft, insgesamt mehr Wege und längere Strecken mit dem Auto zurückzulegen (vgl. Trommer et al. 2016, Gucwa 2014, Childress et al. 2015, Harper et al. 2016, DLR et al. i.E.). Hinzu kommen potenzielle Leerkilometer bspw. durch das selbstständige Parken des Fahrzeugs auf weiter entfernten (ggf. kostengünstigeren) Parkplätzen oder durch das Bedienen von aufeinander folgenden Fahrtwünschen eines Haushalts und dazwischen entstehenden Leerfahrten. Ohne eine aktive politische Steuerung, wie zum Beispiel durch eine systematische Benachteiligung der MIV-Nutzung und den Ausbau des ÖV-Streckennetzes, ist eine Zunahme des MIV und eine Verlagerung vom Umweltverbund zum MIV durch die Automatisierung sehr wahrscheinlich (vgl. Fraedrich et al. 2017, Agora Verkehrswende 2020a, DLR et al. i.E.).

Es ist zu erwarten, dass sich die private Nutzung von automatisierten Fahrzeugen negativ auf die **Beförderungseffizienz** im motorisierten Gesamtverkehrssystem auswirkt. Private automatisierte Fahrzeuge des Level 5 können innerhalb eines Haushalts geteilt werden: Ein Fahrzeug kann zwei Personen zeitversetzt zur Arbeit bringen oder Hol- und Bringwege von Kindern übernehmen. Somit erhöht sich die Anzahl der Einzelwege mit einem Fahrzeug sowie die Anzahl der Leerfahrten, wodurch die Beförderungseffizienz sinkt (vgl. Fagnant & Kockelman 2014, Schoettle & Sivak 2015, Kröger et al. 2016, Zhang et al. 2018, DLR et al. i.E.). Chancen für eine Reduktion der individuellen Pkw-Nutzung und einen mittel- bis langfristigen Rückgang des Fahrzeugbesitzes bieten allenfalls fahrerlose Fahrdienste in Kombination mit „Mobility as a Service“-Plattformen (vgl. Kapitel 5.2.1.2 und Fagnant & Kockelman 2015, VDV 2015, OECD & ITF 2016, Friedrich & Hartl 2016, Chen et al. 2016). Diese Chancen kommen aber im Sinne einer gesteigerten/höchst möglichen Beförderungseffizienz nur zum Tragen, wenn Fahrten mit solchen Fahrzeugen in einem ausreichenden Maß geteilt werden (durch Bündelung von Fahrtwünschen) und die Angebote in bestehende ÖV-Angebote (auf der ersten/letzten Meile bzw. zum Lückenschluss) integriert werden. Darüber hinaus ist es notwendig, Leerfahrten zur Abholung von Fahrgästen oder zusätzliche Fahrten bei Umwegen zur Abholung von weiteren Fahrgästen von Sammelfahrdiensten auf ein Minimum zu reduzieren. Dies sollte sowohl in nachfragestarken als auch in nachfrageschwachen Gebieten erfolgen. Allerdings können sich hier nicht oder nur schwer auflösbare Zielkonflikte ergeben: Ein hoher Fahrgastkomfort (kurze Wartezeiten, wenige Umwege usw.) geht zwangsweise auf Kosten der Beförderungseffizienz und umgekehrt; eine Minimierung von Leerkilometern kann zwar durch z.B. die Zuweisung von Stellplätzen unterstützt werden, hier entsteht dann aber ein entsprechender Flächenbedarf.

Wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben, kann die optimierte und abgestimmte Fahrweise von automatisierten Fahrzeugen, der dadurch verbesserte Verkehrsfluss sowie eine effizientere Routenplanung zur Reduktion des Energieverbrauchs der Fahrzeuge führen. Gleichzeitig steigt der Energieverbrauch durch den Mehrbedarf an Energie für den Betrieb des Fahrzeugs (z.B. IKT-Infrastruktur, Datensammlung und -verarbeitung im Fahrzeug). Hinzu kommt das bereits oben beschriebene hohe Risiko einer Steigerung der MIV-Fahrleistung.

Der Grad der **Energieeffizienz** und die Höhe der Verkehrsemissionen hängen bei automatisierten Fahrzeugen entscheidend von den folgenden Faktoren ab (vgl. auch Kap. 5.1.1):

- ▶ Programmierung der Fahrweise: Der Energieverbrauch kann durch abgestimmte und gleichmäßige Fahrweise bspw. gesenkt werden (vgl. Lee & Kockelman 2019, Wadud et al. 2016), durch eine vorsichtige Fahrweise, insbesondere durch höhere Sicherheitsabstände kann der Energieverbrauch auch zunehmen (vgl. Stogios et al. 2019).
- ▶ Gesendete und empfangene Datenmenge (Agora Verkehrswende 2020b).
- ▶ Anwendungsfall: Potenziale zur Reduktion bestehen bei fahrerlosen Fahrdiensten bspw. durch „Rightsizing“, indem Nutzende je nach Platz- und Sitzbedarf ein Fahrzeug der passenden Größe bestellen können (vgl. Lee & Kockelman 2019, Wadud et al. 2016, EIA 2018).
- ▶ Flottenmanagementbedarf: Höherer Energieverbrauch kann durch Back-End-Infrastruktur entstehen (vgl. Kap. 5.2.1).
- ▶ Mobilitätsverhalten der Nutzenden: Die Zunahme des Energiebedarfs entsteht im Wesentlichen durch eine höhere MIV-Fahrleistung aufgrund einer gestiegenen Attraktivität der Autonutzung und potenzielle Leerfahrten (vgl. Lee & Kockelman 2018, Wadud et al. 2016, EIA 2018).

Zudem spielt der **Einsatz von alternativen Antrieben** eine wichtige Rolle. Automatisierung bietet Chancen für die Steigerung der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen (z.B. durch automatisierte Ladevorgänge beim Parken) sowie die Möglichkeit des Einsatzes von Leichtfahrzeugen. In jedem Fall kann der Mehrbedarf an Energie nur dann kompensiert werden, wenn die technischen Optimierungsmöglichkeiten umfassend genutzt und eine Steigerung der MIV-Fahrleistung vermieden wird.

In nachfrageschwachen Gebieten und Zeiten stoßen sowohl die Bündelung als auch die Vermeidung von Leerfahrten an Grenzen. Es stellt eine große Herausforderung dar, eine dem privat genutzten Fahrzeug vergleichbare Beförderungseffizienz zu erreichen. Auch ein wirtschaftlicher Betrieb könnte für kommerzielle Mobilitätsanbieter schwierig sein. Soweit kommerzielle Sammelfahrdienste in nachfrageschwachen Gebieten und Zeiten aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit bzw. für eine ausreichende Mobilitätsversorgung sinnvoll und erforderlich sind (vgl. dazu die Erläuterungen oben zur Beförderungseffizienz), wären Anreize bzw. Vorgaben für kommerzielle Betreiber notwendig. Eine optimierte Routen- und Einsatzplanung nach Möglichkeit der gesamten in einem Gebiet zur Verfügung stehenden Flotte (bspw. inklusive eines Firmenfahrzeugpools) kann hier einen entscheidenden Beitrag leisten. An dieser Stelle muss jedoch betont werden, dass dieses Potenzial nur dann genutzt werden kann, wenn die individuelle Nutzung automatisierter Fahrzeuge systematisch eingeschränkt wird und die zwangsläufig entstehenden Leerfahrten minimiert werden, da ansonsten die beschriebenen Risiken eines Fahrleistungsanstiegs deutlich überwiegen.

Durch die Automatisierung des MIV und die Einführung neuer fahrerloser Fahrdienste kann es auch zur Zunahme des Flächenverbrauchs kommen. Zwar können sich durch den dauerhaften Einsatz und die geringere Standzeit von geteilten automatisierten Fahrzeugen positive Effekte durch eine Reduktion des Parkplatzbedarfs ergeben. Durch die Möglichkeit, automatisierte Fahrzeuge außerhalb sensibler Gebiete zu parken, können bisher für den MIV vorgehaltene Flächen zudem für aktive Modi genutzt und zu einer höheren Aufenthaltsqualität in Städten beitragen. Dieser Vorteil wird jedoch durch weiter entfernt gelegene Parkmöglichkeiten und dadurch entstehende Leerfahrten mit einer höheren Beanspruchung des Straßenraums erkauft. Problematisch wird es, wenn automatisierte Fahrdienste in Konkurrenz zu bestehenden ÖV-Angeboten stehen und beförderungseffizientere ÖV-Angebote ersetzen. In diesem Fall nimmt

der Platzbedarf aufgrund einer höheren Anzahl an automatisierten Fahrzeugen, aber auch wegen der für den Fahrgastwechsel benötigten Flächen zu.

5.2.2.2 Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?

Die in Kapitel 5.2.2.1 dargestellte Analyse der potenziellen Auswirkungen der Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens im MIV bestätigen das Ergebnis von Kapitel 5.2.1, dass die Einführung der Technik im MIV sowohl (geringe) Chancen als auch (erhebliche) Risiken birgt. Ohne politische Rahmensetzung ist die Gefahr groß, dass Automatisierung „eine neue Ära der Massenmotorisierung“ einleitet (vgl. Agora Verkehrswende 2020a). Die größte Gefahr stellt die Zunahme individueller motorisierter Mobilitätsoptionen dar, die zu einer Steigerung der MIV-Fahrleistung und damit des Ressourcen-, Energie- und Flächenverbrauchs sowie einer Verlagerung vom Umweltverbund auf den Pkw führen kann.

Die Risiken müssen durch eine starke Regulierung so kanalisiert und begrenzt werden, dass automatisierte Fahrzeuge nur im Sinne eines zukünftigen nachhaltigen Verkehrssystems genutzt werden. Einige grundlegende Voraussetzungen hierfür in Form von Fahrzeugkonzepten, IT-Elementen und Infrastrukturen wurden bereits in den Kapiteln 5.1.1 und 5.2.1.1 diskutiert. Zusätzlich sollten die Regulierungsmaßnahmen im MIV-Bereich den Fokus haben, die individuelle Nutzung automatisierter Fahrzeuge (privat, gewerblich, als Fahrdienst) einzuschränken und fahrerlose Fahrdienste als ökologisch nachhaltige Ergänzung zum ÖV (Einsatz auf der ersten/letzten Meile und zum Lückenschluss) und/oder in Form von Sammelfahrdiensten zuzulassen.

5.2.2.3 Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem MIV

Konkret und zusammengefasst, lassen sich die folgenden Regelungserfordernisse für den MIV ableiten:

Regulierung der MIV-Fahrleistung

- Sowohl für private Fahrzeuge als auch für privatwirtschaftliche Fahrdienste müssen Maßnahmen zur Einschränkung der Fahrleistung, inkl. Leerfahrten, ergriffen werden. Dazu gehören u.a. Regelungen für den Parkplatzsuchradius beim automatisierten Valet Parking, beim City Pilot und bei Level-5-Anwendungen sowie die Beschränkung der zugelassenen Länge für Repositionierungsfahrten von fahrerlosen Fahrdiensten und von Leerfahrten pro Fahrzeug und Fahrt. In nachfragestarken bzw. überlasteten Räumen sollten Maßnahmen zu einer systematischen Benachteiligung der MIV-Nutzung (z.B. durch Kosten, eingeschränkte Zulassung) der potenziellen Steigerung der Fahrleistung entgegenwirken.
- Der Einsatz automatisierter Fahrzeuge für den Transport von Waren oder Personen als privat angebotene Dienstleistung muss stark reguliert werden, um ein Induzieren von Verkehr und Leerfahrten zu vermeiden.
- Das Gesamtverkehrssystem sollte auf eine konsequente Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) gegenüber dem MIV ausgerichtet sein. Dabei gilt es die Potenziale von fahrerlosen Sammeldiensten zur Stärkung des ÖV durch Lückenschluss und erste-/letzte Meile-Anwendungen zu fördern und die Nutzung von privaten automatisierten (und konventionellen) Fahrzeugen systematisch einzuschränken.

Optimierung der Fahrzeugkonzepte und der Vernetzung der Fahrzeuge (s. auch Kapitel 5.1.1):

- Im Motorisierten Individualverkehr sollten umwelt- und klimaschutzorientierte Fahrweisen, die durch Automatisierung und Vernetzung möglich werden, zum Standard werden.

- ▶ Öffentliche Investitionen in digitale und physische Infrastruktur sollten nur dann erfolgen, wenn sie zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden im Straßenverkehr und/oder zu einer nachhaltigeren Gestaltung des Verkehrsmanagements beitragen. Eine Investition, die vor allem oder ausschließlich dem Motorisierten Individualverkehr zu Gute kommt, sollte kritisch überprüft werden.
- ▶ Für die Regelung der IT-Infrastrukturnutzung durch automatisierte und vernetzte Fahrzeuge im motorisierten Individualverkehr müssen umwelt- und klimaschutzorientierte Kriterien aufgestellt werden.
- ▶ Es bedarf einer verbindlichen Vorgabe, damit automatisierte Fahrzeugflotten im Motorisierten Individualverkehr zu einem hohen Anteil aus Elektrofahrzeugen bestehen.

Beförderungseffizienz und Einsatzbereiche von fahrerlosen Fahrdiensten:

- ▶ Damit fahrerlose Fahrdienste nicht in Konkurrenz zum Umweltverbund treten, bedarf es Regelungen, damit die Fahrzeuge gezielt für geteilte Fahrten, auf der ersten/letzten Meile und zum Lückenschluss sowie in nachfrageschwachen Zeiten und Gebieten eingesetzt werden.
- ▶ Es sollten konkrete Konzepte für einen sinnvollen Einsatz von fahrerlosen Fahrdiensten und deren Integration in das ÖV-Netz erstellt und daraus Anforderungen an Mobilitätsanbieter von fahrerlosen Fahrdiensten abgeleitet werden. Für nachfrageschwache Räume sollten diese auch Subventionierungsmöglichkeiten enthalten.
- ▶ Regelungen für Unternehmen sollten zu einem effizienten Einsatz vollautomatisierter Dienstwagen beitragen. Darüber hinaus sollten Unternehmen Anreize für die Umsetzung eines nachhaltigen betrieblichen Mobilitätsmanagements erhalten, damit – auch bei verfügbaren automatisierten Dienstfahrzeugen – dem Umweltverbund auf Dienstreisen der Vorzug gegeben wird und Firmenfahrzeugpools bzw. gewerbliches Carsharing anstelle von individuellen Dienstwagen genutzt werden. Das kann unter anderem in Mobilitätsbudget-Konzepten (s. auch NPM, 2021) als konkrete Maßnahme umgesetzt werden.

Regelung zur Flächennutzung:

- ▶ Um einer Ausweitung der Flächeninanspruchnahme entgegen zu wirken, sollte die zugelassene Anzahl an Anbietern fahrerloser Fahrdienste und Fahrzeugen beschränkt werden.
- ▶ Der Fahrgastwechsel muss einheitlich geregelt werden (z.B. Festlegung geeigneter Ein- und Ausstiegspunkte, Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmenden und Ankündigung eines Fahrgastwechsels).
- ▶ Für spezifische Personengruppen (z.B. in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen) können automatisierte Mobilitätsdienste eine Verbesserung der Alltagsmobilität darstellen, vorausgesetzt sie entsprechen dem Mobilitätsbedarf der Personengruppen, sind erschwinglich und bedienen ggf. weitere Bedarfe der Gruppen (z.B. Assistenz bei barrierefreien Angeboten oder kürzere Wartezeiten). Damit sie die Dienste auch in nachfragestarken Gebieten uneingeschränkt nutzen können, bedarf es einer genauen Abgrenzung der zugelassenen Personengruppen. Dienste, bei denen es stattdessen zu einer Verdrängung umweltverträglicher Alternativen kommt (z.B. Ersatz von Touristenbussen durch kleinere Fahrdienst-Angebote), sollten nur in eingeschränktem Umfang zugelassen werden.

- Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen (für bestimmte Gebiete und/oder Zeiträume) für privat genutzte automatisierte Fahrzeuge können einem übermäßigen Anstieg der MIV-Fahrleistung und des Flächenverbrauchs entgegenwirken.

5.2.3 Öffentlicher Verkehr

In Kapitel 4.2.3 wurden die zu erwartenden Entwicklungslinien bzw. Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens im Teilsystem Öffentlicher Verkehr skizziert.

5.2.3.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Der Beitrag der Anwendungsfälle im ÖV für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) wird im Folgenden jeweils im Abgleich mit den oben definierten Prüfkriterien (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt.

Eine Erhöhung der **Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs** durch die Entwicklungslinien im ÖV wird nur erreicht, wenn

- insgesamt weniger motorisierte Straßenfahrzeuge auf den gemeinsam genutzten Straßen unterwegs sind,
- dadurch im Rad- und Fußverkehr die Anzahl an Interaktionen mit motorisierten Fahrzeugen reduziert wird und
- öffentlicher Straßenraum frei wird, der für den Rad- und Fußverkehr genutzt werden kann.

Eine Automatisierung des bestehenden ÖV-Systems hat nicht automatisch einen positiven Einfluss auf die Verkehrsflächen. Werden bestehende Linienverkehre durch kleine, automatisierte und geteilte Straßenfahrzeuge ersetzt, so nimmt die Verkehrsleistung auf der Straße sogar zu. Demgegenüber stehen die Potenziale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Rad- und Fußverkehr durch abgetrennte Fahrbahnen und/oder durch die Weiterentwicklung und Zusammenführung bestehender Assistenzsysteme, welche das Fahren technisch unterstützen (BMVI, 2015).

Ob die Entwicklungen im ÖV fördern, dass **möglichst viel Mobilität im Rad- und Fußverkehr** stattfindet, hängt von der Art der Umsetzung und der Nachfragereaktion ab: Einerseits könnten neue automatisierte ÖV-Angebote Wege insbesondere im Radverkehr, aber auch im Fußverkehr ersetzen. Andererseits besteht im ÖV auch das Potenzial, dass durch eine optimale räumliche Ausgestaltung der Transitflächen die Wegstrecken sowie die Barrieren zwischen den verschiedenen Modi reduziert und intermodale Verkehre gestärkt werden. Durch eine Kombination von Rad- und Fußverkehr mit dem ÖV könnte sich eine Verlagerung aus dem MIV zugunsten des gesamten Umweltverbundes einstellen.

Inwieweit die Entwicklungen im ÖV dazu führen, dass **möglichst wenig Mobilität im motorisierten Verkehr** stattfindet sowie eine **höchstmögliche Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem** und ein **leistungsfähiges und attraktives ÖV-System** erreicht werden, hängt von der konkreten Umsetzung auch unter Einbezug des MIV und des Rad- und Fußverkehrs ab.

Ein deutlich positiver Beitrag für diese drei Zielausrichtungen ist zu erwarten, wenn

- MIV-Fahrten auf den Umweltbund verlagert werden und die Verkehrsleistung auf der Straße insgesamt abnimmt,
- die Hauptlast der Personenbeförderung im motorisierten Verkehr weiterhin bzw. mehr als bisher in massenleistungsfähigen, großen Gefäßen im ÖV-Linienverkehr (z.B. U-Bahnen, S-Bahnen, Regionalbahnen, Omnibusse) erfolgt (vgl. DLR et al. i.E.),

- ▶ dieses (klassische) ÖV-System nur in bestimmten Anwendungsbereichen und gezielt mit kleinen bzw. flexibel verkehrenden Fahrzeugen bzw. einer privaten Pkw-Nutzung ergänzt wird (in Räumen/Zeiten schwacher Nachfrage mit wenig Bündelungspotenzial),
- ▶ die verschiedenen Anwendungsfälle im ÖV jeweils angepasst an die konkreten Umstände vor Ort und als funktionaler Teil eines insgesamt starken und flächendeckenden ÖV-Systems umgesetzt werden und
- ▶ schienengebundene Mobilitätshubs so ausgestaltet werden, dass ein nahtloser Umstieg zwischen ökologisch nachhaltigen Mobilitätsformen insbesondere des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr und öffentlichen Verkehr, eingeschlossen wären auch zukünftige fahrerlose Angebote, soweit sie von gesetzlichen Definitionen des ÖPNV erfasst werden) möglich ist (Fraunhofer IAO 2019).

Eine Verlagerung weg vom MIV und hin zum Rad- und Fußverkehr bzw. Linienverkehr im ÖV setzt voraus, dass auch ohne privaten Pkw grundsätzlich überall, jederzeit und für alle Menschen ein ausreichendes und attraktives Mobilitätsangebot mit diesen Verkehrsmitteln besteht. Hierfür können alle in Kapitel 4.2.3 beschriebenen ÖV-Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens einen relevanten Beitrag leisten.

Eine besondere Bedeutung für eine hohe Beförderungseffizienz im Gesamtverkehrssystem sowie ein leistungsfähiges und attraktives ÖV-System kommt der Automatisierung des bestehenden ÖV-Systems sowie der Ausweitung dieses Systems durch zusätzliche Linien zu (vgl. Anwendungsfälle 1 und 3). Die Leistungsfähigkeit kann durch diese Maßnahmen erheblich gesteigert und dadurch eine Verlagerung aus dem (weniger beförderungseffizienten) MIV ermöglicht werden: Dank der Automatisierung kann in kürzeren Abständen gefahren werden, was zum einen die Beförderungskapazität erhöht und zum anderen die Bedienqualität steigert. Die Allianz pro Schiene schätzt, dass durch Taktverdichtungen bis zu 20 % mehr Passagiere befördert werden können (Allianz pro Schiene 2017). In der Regel besteht ein hohes Vertrauen von Fahrgästen in die Verlässlichkeit von insbesondere Schienenverkehren. Ein verlässlicher und regelmäßiger Linienverkehr mit enger durchgehender Taktung in Rand- und Hauptverkehrszeiten hat grundsätzlich eine hohe Akzeptanz.

Soweit Öffentlicher Verkehr nur bei Bedarf stattfindet – vgl. dazu die ÖV-Anwendungsfälle 4 und 5 zur gezielten Ergänzung des übergeordneten ÖV-Systems (Feeder) und zur ÖV-Erschließung im ländlichen Raum – ergibt sich ein Nutzen für eine ökologisch nachhaltige Mobilität nicht unmittelbar, da hier mehr Mobilität nur durch zusätzliche Fahrleistung erreicht wird. Ein relevanter Beitrag für eine Verkehrsverlagerung kann sich bei diesen Anwendungsfällen allerdings (mittelbar) aus der Schließung von Lücken ergeben, die die Nutzung des ÖV insgesamt attraktiver machen bzw. überhaupt erst ermöglichen. In Zeiten und Räumen schwacher Nachfrage, in denen der Linienverkehr keine wirtschaftliche Basis findet, könnten diese Angebote für den Durchbruch des öffentlichen Verkehrs sorgen gegenüber der stark verbreiteten Nutzung eines privaten Pkw (vgl. Sonderegger et al. 2018, Fraunhofer IAO 2019). Eine Gestaltung des Fahrdienstes als ÖPNV-Angebot setzt allerdings voraus, dass die Angebote tatsächlich „ÖV-Qualität“ haben, also so ausgestaltet sind, dass sie für die Allgemeinheit erbracht werden (Zugang für alle) und zwar sowohl mit Blick auf Information, Preisgestaltung, Buchung und Bezahlung als auch die Nutzung selbst.³⁷

Für eine Ausrichtung auf eine **höchstmögliche Beförderungseffizienz** ist bei automatisierten Bedarfsverkehren Folgendes zu beachten:

³⁷ An ÖPNV-Angebote werden gesetzlich im öffentlichen Interesse umfangreiche Anforderungen gestellt: z.B. Herstellung von Barrierefreiheit, Zugang zu sozial ausgewogenen Tarifen, Angebot abgesenkter Fahrpreise für verschiedene Fahrgastgruppen (Schüler/Schülerinnen, Auszubildende, Senioren/Seniorinnen).

- ▶ Ein Ersatz bestehender und etablierter Linienverkehre (insbesondere auf der Schiene) durch kleinere, flexible Straßenfahrzeuge macht mit Blick auf die erheblichen Effizienzvorteile des Linienverkehrs (raumsparend mit sinkenden Kosten und hoher Qualität bei großer Nachfrage) in der Regel keinen Sinn.
- ▶ Gleiches gilt für eine Ausweitung des bestehenden ÖV-Systems: Es sollte stets vorrangig eine Umsetzung als Linienverkehr in Betracht gezogen werden.
- ▶ Gegenüber einer privaten Pkw-Nutzung können durch fahrerlose Sammelfahrdienste Vorteile in der Beförderungseffizienz nur erreicht werden, wenn – unter Berücksichtigung der Leerkilometer – eine Bündelung in ausreichendem Maß erreicht wird. Insbesondere muss die durchschnittliche Betriebsleistung (Fahrzeugkilometer) unter der Verkehrsleistung (Personenkilometer) liegen. Ein solches Angebot ist also nur dann effizient, wenn es ein besseres Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung gegenüber einer privaten Nutzung eines Fahrzeugs aufweist.

Zwischen Leistungsfähigkeit und Beförderungseffizienz einerseits und Attraktivität für Fahrgäste andererseits kann sich ein Spannungsverhältnis ergeben – insbesondere, wenn in der allgemeinen Wahrnehmung (weiterhin) Merkmale der privaten Pkw-Nutzung (z.B. sofortige Verfügbarkeit, Flexibilität, exklusive Nutzung, Tür-zu-Tür) als Maßstab für Attraktivität bzw. „Ideal“ der Mobilität gelten. Dieses Spannungsverhältnis muss ggf. durch geeignete Maßnahmen aufgelöst werden.

Ein **umfassender Einsatz alternativer Antriebe** kann durch die Entwicklungen im ÖV (bestenfalls) deutlich gestärkt werden, wenn bzw. soweit

- ▶ motorisierte MIV-Fahrten auf den ÖV verlagert werden (vgl. oben),
- ▶ für den ÖV (lückenlos) eine Pflicht zum Einsatz alternativer Antriebe besteht (wie aktuell bereits rechtlich angestoßen) und
- ▶ die Antriebe ausschließlich mit Strom resp. Kraftstoffen aus regenerativen Energiequellen betrieben werden

Wenn die Fahrzeuge elektrifiziert werden und durch Automatisierung Effizienzgewinne im Betrieb resultieren (höhere Effizienz beim Anfahren und Bremsen) ist für die Reduktion des Energiebedarfs ein (besonders) positiver Effekt zu erwarten.³⁸ Bei selbstfahrenden U-Bahnen wird z.B. teilweise davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch um 30 % sinkt.

Eine **funktionale Ausrichtung neuer digitaler Systeme im ÖV auf optimale Energieeffizienz** ist dann zu erwarten, wenn dies für alle relevanten Akteure (Fahrzeughersteller, öffentliche Besteller usw.) verpflichtend vorgegeben ist.

Inwieweit die Entwicklungen im ÖV dazu führen, dass bisher **vom motorisierten Verkehr genutzte Flächen frei werden** sowie **Verkehrsemissionen und -lärm und der Ressourceneinsatz für die Fahrzeugherstellung reduziert werden**, hängt von der konkreten Umsetzung auch unter Einbezug des MIV und des Rad- und Fußverkehrs ab.

Ein deutlich positiver Beitrag für diese drei Zielausrichtungen ist insbesondere zu erwarten, wenn es zu Verlagerungseffekten von MIV zum Rad- und Fußverkehr bzw. zum (elektrifizierten) ÖV kommt. Durch die Verlagerung werden auch weniger Ressourcen für die Fahrzeugherstellung benötigt. In Anwendungsbereichen, bei denen flexible Bedarfsverkehre zur gezielten Ergänzung des übergeordneten ÖV-Systems bzw. zur ÖV-Erschließung im ländlichen Raum eingesetzt werden, wird ein positiver Beitrag erreicht, wenn die ÖV-Fahrzeuge einen

³⁸ Zugleich muss allerdings berücksichtigt werden, dass durch die Automatisierung und Vernetzung ein neuer Energiebedarf für den Betrieb der IT-Systeme erforderlich wird.

höheren Besetzungsquotienten gegenüber dem privaten PKW aufweisen (Vorteile für Flächennutzung, Lärmreduzierung und Luftreinhaltung).

5.2.3.2 Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?

Für eine in jeder Hinsicht ökologisch nachhaltige Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens im ÖV ist ein regulierendes Handeln der öffentlichen Hand erforderlich. Hierbei ist für die verschiedenen in Kapitel 4.2.3 skizzierten Anwendungsfälle zu differenzieren:

Die Umsetzung der Anwendungsfälle **(1) Automatisierung bestehender ÖV-Systeme** und **(3) Ausweitung des bestehenden ÖV-Systems** trägt (in jeder Hinsicht) zu einer ökologisch nachhaltigen Mobilität bei, wenn Folgendes sichergestellt ist:

- ▶ Bei Gestaltung der physischen Infrastruktur wird die Sicherheit und Attraktivität von Rad- und Fußverkehr gewährleistet.
- ▶ Das ÖV-System insgesamt wird attraktiv und leistungsfähig gestaltet sowie eine optimale Verknüpfung mit dem Rad- und Fußverkehr hergestellt.
- ▶ Für den ÖV besteht (lückenlos) eine Pflicht zum Einsatz alternativer Antriebe und diese werden ausschließlich mit Strom bzw. Kraftstoffen aus regenerativen Energiequellen betrieben.
- ▶ Im Zusammenspiel mit einer auf Begrenzung der MIV-Fahrleistung, Erhöhung der Beförderungseffizienz und Reduktion des Flächenverbrauchs zielenden Regulierung im Teilsystem MIV wird eine Verlagerung in den Rad- und Fußverkehr und in den ÖV erreicht.

Die Umsetzung des Anwendungsfalles **(2) teilweiser Ersatz bestehender Linienverkehre** mit kleinen, automatisierten Straßenfahrzeugen kann nur in besonderen Ausnahmesituationen eine ökologisch nachhaltige Umsetzungsvariante sein. Grundsätzlich ist der klassische ÖPNV im Linienverkehr als raumsparendes Transportmittel mit sinkenden Kosten und hoher Qualität bei großer Nachfrage alternativlos. Ein teilweiser Ersatz des bestehenden Linienverkehrs wäre z.B. denkbar, wenn eine schwache Nachfrage im ÖV besteht, die keine durchgehend enge Taktung rechtfertigt und perspektivisch z.B. durch eine Verlagerung vom MIV auch keine höhere Nachfrage erzielt werden kann. In solchen Anwendungsbereichen kann ein bedarfsgesteuertes Angebot in Ausnahmefällen eine höhere Beförderungseffizienz und -qualität erreichen als ein Linienverkehr.

Auch die Anwendungsfälle **(4) gezielte Ergänzung des übergeordneten ÖV-Systems (Feeder)** und **(5) ÖV-Erschließung im ländlichen Raum** sind nicht in jeder Hinsicht als ökologisch nachhaltig zu bewerten. Sie haben einen engen, sinnvollen Anwendungsbereich und sollten stets so konzipiert werden, dass sie das übergeordnete, klassische ÖV-System im Linienverkehr bestmöglich stützen. In diesem Fall besteht die Chance, dass die Angebote in Zeiten und Räumen schwacher Nachfrage einen Durchbruch des öffentlichen Verkehrs bewirken und eine Verlagerung vom MIV zum ÖV fördern. Dabei sollte ein solches Angebot grundsätzlich so ausgestaltet sein, dass insgesamt ein besseres Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung gegenüber einer privaten Nutzung eines Fahrzeugs besteht (höherer Besetzungsgrad als beim privaten PKW, niedriger Anteil an Leerkilometern).

5.2.3.3 Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem ÖV

Für das Teilsystem Öffentlicher Verkehr ergeben sich die nachfolgend dargestellten Regulierungserfordernisse.

Angebotsplanung und -gestaltung im ÖV

- ▶ Auf allen Ebenen der ÖV-Gestaltung muss auf ein bundesweit flächendeckendes bzw. (weitgehend) lückenloses ÖV-System für die Personenbeförderung im Fern- und Nahverkehr (in Kombination mit Rad- und Fußverkehr) hingewirkt werden (vgl. umfassend zu unabhängig von der Digitalisierung erforderlichen Maßnahmen KCW 2020, S. 80 ff.).
- ▶ Die Gestaltung des ÖV muss an Fahrgastbedürfnissen ausgerichteten Standards in der Bedienqualität genügen (vgl. dazu KCW 2020, S. 81).
- ▶ Vorrangig sollte ein verlässlicher und regelmäßiger ÖV-Linienverkehr mit enger Taktung umgesetzt werden. Nur ergänzend sollten ÖV-Angebote außerhalb des klassischen ÖV-Linienverkehrs umgesetzt werden.
- ▶ Für den Einsatz fahrerloser Sammelfahrdienste im ÖV sollten bei der Umsetzung folgende Aspekte beachtet werden:
 - Betriebliche Nachhaltigkeitsanforderungen des ÖV: Integration des Angebots in das klassische ÖV-System im Linienverkehr (mit Blick auf Angebot und Fahrentgelt), Vermeidung von Leerfahrten, Ausrichtung des Angebots auf hohe Bündelung von Fahrtwünschen.
 - Herstellung des Zugangs für alle, inklusive erforderlicher Begleitmaßnahmen, z.B.
 - Design der im ÖV eingesetzten Gefäße muss z.B. Mitnahme von Rollstühlen, Kinderwagen, Gepäck und Fahrrädern ermöglichen.
 - Soweit Geräte für Bestellung/Buchung erforderlich, aber bei (potentiellen) Fahrgästen nicht vorhanden sind, müssen diese in geeigneter Form bereitgestellt werden.
 - Auch Zahlungswege für das Fahrentgelt müssen so gestaltet werden, dass alle Personen (in angemessener Weise) eine Buchung vornehmen können.
 - Ein Evaluationssystem mit Nachsteuerungsmöglichkeit sollte – jedenfalls in einer ausreichend langen Erprobungszeit – umgesetzt werden. Dafür sollte ein Monitoring anhand geeigneter Messzahlen erfolgen (z.B. Verhältnis Verkehrsleistung zu Betriebsleistung) und bei Bedarf das Konzept nachgesteuert werden.
- ▶ Im Zuge der Automatisierung können neue Geschäftsmodelle im ÖV entstehen, die neue Akteure herrufen könnten (z.B. Automobilhersteller oder Plattformanbieter). Die Entwicklungen sollten aus dem Blickwinkel der ökologischen Nachhaltigkeit beobachtet und aufgegriffen bzw. eingeschränkt werden.

Verkehrsregelung auf der Straße

- ▶ Für automatisierte Straßenfahrzeuge im ÖV sollte – im Verhältnis zum motorisierten Individualverkehr – auf geeigneten Strecken bzw. zu geeigneten Zeiten eine exklusive Nutzung des öffentlichen Straßenraums umgesetzt werden.
- ▶ Raumkonflikte insbesondere mit dem Rad- und Fußverkehr müssen aufgelöst werden, z.B. durch eine Straßenraumgestaltung, die sicherstellt, dass Rad- und Fußverkehr sicher und barrierefrei möglich ist.
- ▶ Straßenraum sollte zugunsten des Rad- und Fußverkehrs und zulasten des motorisierten Individualverkehrs umverteilt werden.

Finanzierung

- ▶ Öffentliche Investitionen in den automatisierten und vernetzten ÖV sollten nur erfolgen, wenn das jeweilige Konzept Vorteile für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, Luftreinhaltung und Lärmschutz mit sich bringt.
- ▶ In der öffentlichen Beschaffung sollten ausschließlich Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, die postfossile, treibhausgasneutrale Kraftstoffe und Strom nutzen, erworben werden bzw. deren Erwerb/Einsatz bei der Vergabe von Verkehrsverträgen vorgesehen werden.

Organisation, Abstimmung der staatlichen Akteure (horizontal, vertikal)

- ▶ Es sollten allgemeine Handlungsempfehlungen für den Einsatz von automatisiertem und vernetzten Fahren im ÖV sowie jeweils geeignete Kriterien für den Einsatz der verschiedenen Anwendungsfälle entwickelt werden.
- ▶ Durch eine ressortübergreifende Koordination in der Kommune – z.B. im Rahmen eines kommunalen Mobilitätsmanagements –, sollte eine zielgerichtete Verlagerung vom MIV in den Umweltverbund befördert werden.
- ▶ ÖV-Verkehrsangebote unter Einbezug des automatisierten und vernetzten Fahrens im ÖV sollten mit Blick auf den Systemcharakter des ÖV regional geplant (und vergeben) werden.

Öffentlichkeitsarbeit

- ▶ Die Öffentlichkeitsansprache (Kommunikation und Information) sollte darauf ausgerichtet werden, die Akzeptanz des ÖV-Systems bei den Fahrgästen zu erhöhen bzw. neue Fahrgäste zu gewinnen.

5.2.4 Güterverkehr

In Kapitel 4.2.4 wurden die zu erwartenden Entwicklungslinien bzw. Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens im Teilsystem Güterverkehr aufgezeigt. In den folgenden Abschnitten werden diese unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten analysiert.

5.2.4.1 Beitrag für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Der Beitrag der Anwendungsfälle im Güterverkehr für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) wird im Folgenden jeweils im Abgleich mit den oben definierten Prüfkriterien (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt. Dabei sind die vom Personenverkehr abweichenden Charakteristika des Güterverkehrs zu berücksichtigen, weshalb einigen sehr spezifischen Prüfkriterien eine geringere Rolle als im MIV oder im ÖV zukommt.

Die Interdependenzen zwischen automatisiertem Güterverkehr auf der einen und Rad- und Fußverkehr auf der anderen Seite finden ausschließlich über die ggf. konkurrierende Nutzung von physischer Infrastruktur im öffentlichen Straßenraum statt. Am ehesten treten Nutzungskonflikte im urbanen Raum, d.h. für den Anwendungsfall **(3) Verteilerverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw im Nahverkehr (3,5-7,5 t zGG) über kurze Transportdistanzen** auf. Durch die Automatisierung ergibt sich zunächst ein Potential für die Erhöhung der Sicherheit des Rad- und Fußverkehrs, u.a. durch verkürzte Reaktionszeiten des Fahrzeugsystems auf Gefahrensituationen und die Eliminierung von Gefahren durch die Ablenkung des Fahrers bzw. der FahrerIn, sowie aufgrund der möglicherweise geringeren Geschwindigkeit der Fahrzeuge wegen des entfallenen Zeitdrucks des Fahrpersonals. Allerdings bedarf es hier einer entsprechenden Ausgestaltung und Regulierung der betreffenden automatisierten urbanen Logistik-Systeme zur Lösung dieser Nutzungskonflikte.

Die Entwicklungen der Automatisierung im Straßengüterverkehr, insbesondere der Anwendungsfälle **(1) Nationale und internationale Logistiknetzwerke mit fahrerlosen schweren Lkw (20-40 t zGG) über große Transportdistanzen** und **(2) B2B-Direktverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw (3,5-7,5 t zGG) über große und mittlere Transportdistanzen**, führen zwar zu einer höheren Beförderungseffizienz, allerdings im Nettoeffekt auch zu höheren Fahrleistungen. Letzteres ist konträr zu den Zielen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität.

Bei allen drei straßengebundenen Anwendungsfällen entfallen die Personalkosten des Fahrpersonals, und es kommt zu erheblichen Kostensenkungen in Logistiknetzwerken. Bei leichten Nutzfahrzeugen sinken die Kosten überproportional, was Direktfahrten mit diesen Fahrzeugen attraktiv für Versender und Transporteure macht. Wegen der geringeren Vorhaltekosten bietet es sich an, mehr Fahrzeuge einzusetzen, die nach ihrem Einsatz auf Folgeaufträge warten, anstatt leere Transferfahrten zu den nächsten Kunden bzw. Kundinnen durchzuführen. Allerdings entfallen Lenk- und Ruhezeitbeschränkungen, so dass davon auszugehen ist, dass die Fahrzeuge häufiger zum Einsatz kommen, was den Effekt einer größeren Flotte wiederum abschwächt.

Aus einer engeren zeitlichen Taktung von Systemverkehren (mehrere Fahrzeuge am Tag zwischen jeweils zwei Hubs sind kostenseitig verhältnismäßig einfacher realisierbar) ist eine höhere Servicequalität für die Verloader realisierbar. Durch die andere zeitliche Gestaltung von Systemverkehren mit schweren Lkw werden niedrigere, kraftstoffsparende Betriebsgeschwindigkeiten (z.B. 60 statt 80 km/h) und damit weitere Kostensenkungen möglich. Hinzu kommen Möglichkeiten eines veränderten Designs der Lkw; durch den Wegfall des Fahrerhauses kann – vorbehaltlich entsprechender rechtlicher Regelungen – der Laderaum potentiell ausgedehnt werden.

Der Ersatz schwerer Lkw durch kleinere Fahrzeuge und ein höherer Anteil an Direktverkehren auf aufkommensschwachen Relationen bewirkt Veränderungen an der räumlichen und zeitlichen Konfiguration von Logistiknetzwerken, es kommt zu einem Rückgang der Bündelungseffekte der Logistiknetze. Im Durchschnitt dürfte ein Fahrzeug weitere Distanzen als zuvor zurücklegen. Dabei ist beachten, dass die spezifischen CO₂-Emissionen pro Tkm Verkehrsleistung bei leichten Nutzfahrzeugen höher als bei schweren Lkw sind. Unabhängig von den detaillierten und zum Teil auch gegenläufigen Effekten kann argumentiert werden, dass Transport durch den Wegfall des Fahrpersonals schlicht günstiger wird und daher stärker nachgefragt wird. Kostengünstiger Transport wiederum ermöglicht dispersere Lagerstandorte und/oder eine Reduktion der Bestände vorhandener Lager. Letztendlich dürften sich also die Kostensenkungen und die erhöhte Servicequalität durch Automatisierung in Mehrverkehr auf der Straße niederschlagen. Dies korrespondiert mit einem erhöhten CO₂-Ausstoß und negativen Umweltwirkungen, welche die positiven Effekte ggf. geringerer Geschwindigkeiten überkompensieren dürften. Dies kann beträchtliche Marktvorteile für den Straßengüterverkehr verursachen und für die Bahn eine Expansion in margenstarke Zukunftsmärkte der Logistik verhindern. Eine entsprechende Regulierung im Sinne ökologischer Zielstellungen scheint unumgänglich.

Weniger eindeutig als in den Anwendungsfällen (1) und (2) des Güterverkehrs sind die ökologischen Auswirkungen der Entwicklungen im Anwendungsfall **(3) Verteilerverkehre mit fahrerlosen leichten Lkw im Nahverkehr (3,5-7,5 t zGG) über kurze Transportdistanzen**. Bisher ist nicht klar, wie sich die Tourenplanung derartiger Lieferfahrten gegenüber dem heutigen Stand ändern wird. Denkbar sind sowohl größere Fahrzeuge, die über 24h im Einsatz sind, also auch kleinere Fahrzeuge mit eher kurzen Fahrdistanzen. Hier wird es einen Trade-off zwischen Kosten und Dringlichkeit der Sendungen geben, die u.a. von den Zeitfenstern der Kunden, aber auch von zeitlichen Restriktionen hinsichtlich der Einfahrt in Innenstädte beeinflusst wird. Wird gleichzeitig der Umschlag bei Verteilerverkehren hoch automatisiert, sind

aufgrund der Kostenstrukturänderungen auch neue Nahverkehrslogistikkonzepte denkbar. Beispiele hierfür sind mehrstufige Verteilsysteme, in denen Waren nach mehreren Umschlägen ihr Ziel erreichen, wobei immer kleinere Fahrzeuge eingesetzt werden: Leichte Nutzfahrzeuge, autonome Schwerlastfahrräder und Mini-Lieferroboter. Auch könnten neue Verpackungen Einzug finden, die ineinander (Matroschka-Prinzip) oder miteinander (Tetris-Prinzip) kombinierbar sind.

Die Verteilverkehre in Mischverkehren in Gebieten mit hohen Dichten an Bevölkerung, Bebauung und Verkehr stellen besonders hohe technische Anforderungen an die Verkehrssicherheit. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass diese fahrerlosen Fahrzeuge nur in speziell dafür definierten Bereichen und auf dafür bestimmten Strecken eingesetzt werden. Dies impliziert ebenso einen Regelungsbedarf, wie potentiell negative Klima- und Umweltwirkungen durch Mehrverkehr. Dies gilt insbesondere dann, falls autonome Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb eingesetzt werden. Als positiv für ökologische Zielstellungen können hingegen stärkere Bündelungseffekte durch neue Konzepte der urbanen Logistik mit autonomen Fahrzeugen gelten. Diese gegenläufigen Effekte müssen im konkreten Fall gegeneinander abgewogen werden.

Die Automatisierung bietet auch die Chance, die Wettbewerbsposition des **Schienengüterverkehrs / Kombinierten Verkehrs national und international (Anwendungsfall 4)** gegenüber dem Straßengüterverkehr durch eine höhere Flexibilität und Zuverlässigkeit zu verbessern, neue Marktsegmente für den Schienengüterverkehr zu erschließen und so zur Energiewende im Verkehr beizutragen. Basis dafür sind die auf der Automatisierung beruhenden Kapazitäts- und Qualitätssteigerungen bei Umschlagsanlagen und auf Schienenstrecken. Mit dem Anstieg der Kapazitäten der Infrastruktur durch eine dynamische Planung und Steuerung der Verkehre gehen Transport- und Umschlagskostensenkungen einher, die den Schienengüterverkehr im intermodalen Wettbewerb attraktiver machen.

Auch neue oder erweiterte Logistikkonzepte werden durch die Automatisierung im Schienengüterverkehr möglich. Die höhere Zuverlässigkeit führt zu einer besseren Netzbildungsfähigkeit im Kombinierten Verkehr. Eine verstärkte Anwendung von Flügelkonzepten, d.h. die Nutzung aufteilbarer Teilzüge, ist für große Versender im sogenannten Wagengruppen-Verkehr denkbar. Ebenso könnten vermehrt Hub-and-Spoke-Netzwerke aufgebaut werden oder sich jeweils treffende Begegnungsverkehre mit Wagengruppen durchgeführt werden. Darüber hinaus erlauben selbstfahrende Güterwagen potentiell eine Revitalisierung des Einzelwagenverkehrs und individueller Gleisanschlüsse von Verladern. Gegebenenfalls können auch stillgelegte Güterverkehrsstrecken mit geringen Sicherheitsanforderungen reaktiviert werden.

Im Ergebnis kann die (weitere) Automatisierung des Schienengüterverkehrs also zu einem höheren Marktanteil der Schiene im Güterverkehr mit den entsprechenden positiven Klima- und Umweltwirkungen beitragen.

Der Straßengüterverkehr ist im Vergleich zum MIV, ÖV und Schienengüterverkehr durch eine relativ kurze Nutzungsphase der Fahrzeuge im europäischen Markt gekennzeichnet. Dies erleichtert eine rasche Durchdringung der Fahrzeugflotten mit **alternativen, umweltfreundlichen Antrieben**. Die bestehenden Regulierungen zu CO₂-Flottenzielwerten bei schweren Lkw³⁹ unterstützen den Einsatz neuer, CO₂-armer Antriebe. Während im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge (relevant für die Anwendungsfälle 2 und 3) bereits aktuell von einer breiten Verfügbarkeit batterieelektrischer Fahrzeuge ausgegangen werden kann, befindet sich

³⁹ Vgl. Verordnung (EU) 2019/1242 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates.

der Fahrzeugmarkt für schwere Lkw mit alternativen Antrieben (H₂ und Batterieelektrik) noch in der Entwicklung. Von einem Markthochlauf kann aber bis 2030 ausgegangen werden. Der Schienengüterverkehr weist ohnehin einen hohen Elektrifizierungsgrad auf, der sich ökologisch vorteilhaft auswirkt.

Eine **funktionale Ausrichtung neuer digitaler Systeme im Güterverkehr auf eine optimale Energieeffizienz** liegt zunächst im Eigeninteresse der Betreiber von Straßen- und Schienengüterverkehr. Insbesondere ist sie aber dann zu erwarten, wenn dies für alle relevanten Akteure (vor allem die Fahrzeughersteller) verpflichtend vorgegeben ist.

Inwieweit die Entwicklungen bezüglich der Automatisierung im Straßengüterverkehr dazu führen, dass bisher **vom Verkehr genutzte Flächen frei sowie Verkehrsemissionen und -lärm und der Ressourceneinsatz für die Fahrzeugherstellung reduziert werden**, hängt von ihrer konkreten Umsetzung ab. In Anwendungsfall (1) kann die Automatisierung zu einem Wegfall von Parkplätzen für die Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten führen. Dieser Effekt wird jedoch dadurch abgeschwächt, dass mehr Transporte nachgefragt werden. Ähnliches gilt auch für die Luftschadstoff- und Lärmemissionen der anderen Anwendungsfälle des Straßengüterverkehrs, so dass eine diesbezügliche Regulierung unumgänglich erscheint, insbesondere auch mit Blick auf die Lärmgrenzwerte in der Nacht. Vor allem in urbanen Gebieten (Anwendungsfall 3) ist aufgrund vielfältiger Nutzungskonkurrenzen im öffentlichen Raum ein hoher Regulierungsbedarf gegeben, der die Chance auf eine besonders ökologische Ausgestaltung derartiger automatisierter Logistik-Systeme bietet. Je nach regulierenden Vorgaben sind in allen Anwendungsfällen von Straßen- und Schienengüterverkehr Kosteneinsparungen an Fahrzeugen und somit ein effizienterer Ressourceneinsatz aufgrund geringerer Komfortanforderungen für das Fahrpersonal möglich.

5.2.4.2 Ökologische Nachhaltigkeit mit/ohne Regulierung?

Wie in Abschnitt 5.2.4.1 deutlich wurde, sind in allen Anwendungsfällen des automatisierten Fahrens im Straßengüterverkehr regulatorische Eingriffe der öffentlichen Hand geboten, um eine ökologisch nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Der Anwendungsfall (4) bietet hingegen das Potential, die Attraktivität des Schienenverkehrs zu erhöhen, somit Verkehr auf die Schiene zu verlagern und neue Märkte zu erschließen. Dies deckt sich mit übergreifenden ökologischen Zielsetzungen.

5.2.4.3 Konkrete Regulierungserfordernisse im Teilsystem GV

- Für die Anwendungsfälle (1) bis (3) des Straßengüterverkehrs ergeben sich zunächst Regulierungserfordernisse zur Verminderung des aus der Automatisierung resultierenden Mehrverkehrs bzw. zur Vermeidung unerwünschter Verlagerungseffekte, um eine ökologisch nachhaltiges Verkehrssystem zu erreichen.
- Zusätzlich zu diesen Begrenzungen ist darauf hinzuwirken, dass der verbleibende Straßengüterverkehr durch den Einsatz alternativer Antriebe auf nichtfossiler Basis umweltfreundlich gestaltet wird.
- Darüber hinaus sind flankierende regulatorische Maßnahmen für den automatisierten Straßengüterverkehr sinnvoll, die auf Sicherheitsaspekte abzielen.
- Für den Schienengüterverkehr spielen hingegen regulatorische Förderinstrumente eine große Rolle.

Verminderung der Fahrleistung im automatisierten Straßengüterverkehr

- ▶ Zur Vermeidung von Mehrverkehr auf der Straße einerseits und unerwünschter Verlagerungseffekte (von der Straße auf die Schiene) durch die Automatisierung andererseits bietet es sich an, Mautlösungen in Betracht zu ziehen.
- ▶ Dabei sind sowohl die Umgestaltung bestehender oder demnächst einzuführender Mautsysteme für die Lkw der Anwendungsfälle (1) und (2), als auch die Einführung neuer Mautlösungen für den Anwendungsfall (3) mögliche Optionen.
 - Ausgestaltungsparameter sind sowohl die Höhe als auch die Struktur dieser Mauten. Insbesondere komme höhere, CO₂- und luftschadstoffbasierte Mautsätze in Frage.
 - Um einen Anreiz zu bieten, dass möglichst große Fahrzeuge mit einer höheren CO₂-Effizienz pro transportiertem Tonnenkilometer eingesetzt werden, bietet es sich an, die Maut nach dem CO₂-Ausstoss pro Nutzlast zu differenzieren.
- ▶ Ähnliche Wirkungen können sich auch durch eine Anhebung der Energiesteuer erzielen lassen.
- ▶ Für urbane Logistik-Systeme mit autonomen Fahrzeugen kommen zur Verminderung lokaler Schadwirkungen (Lärm, lokale Schadstoffe) räumlich und zeitlich differenzierte Zufahrtsbeschränkungen in Frage (vgl. FGSV 2021). Diese sind so auszugestalten, dass sie gleichermaßen Sicherheitsaspekten für den Rad- und Fußverkehr gerecht werden.
- ▶ Darüber hinaus sollte im Rahmen der kommunalen Planung städtischer Belieferungskonzepte mit autonomen Fahrzeugen eine Konzentration des Güterverkehrs auf Strecken mit möglichst geringen negativen Auswirkungen auf die Bevölkerung erfolgen (vgl. FGSV 2021 und Fraunhofer IIS 2019). Durch diese räumliche Bündelung besteht das Potential, lokale negative externe Effekte zu reduzieren.

Beitrag zur Antriebswende

- ▶ Zum Erreichen ökologischer Ziele ist eine Pflicht zum Einsatz alternativer, i.d.R. batterieelektrischer Antriebe für automatisierte Lkw aller Anwendungsfälle zu erwägen.
- ▶ Für Verteilerverkehre im Anwendungsfall (3) stehen bereits heute leistungsfähige batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge zur Verfügung.
- ▶ Auch für die schweren Nutzfahrzeuge des Anwendungsfalls (1) und die im Fernverkehr eingesetzten leichten Lkw des Anwendungsfalls (2) ist kurz- und mittelfristig von der Verfügbarkeit geeigneter vor allem batterieelektrisch betriebener Modelle auszugehen, die den Anforderungen an diese Logistikdienstleistungen gerecht werden.
- ▶ Vom Vorhandensein einer für alle Anwendungsfälle geeigneten (Schnell-)Ladeinfrastruktur kann zum Zeitpunkt der Marktreife von fahrerlosen Lkw ausgegangen werden.

Sicherheitsaspekte

- ▶ Zur Gewährleistung eines hohen Sicherheitsstandards für alle anderen Verkehrsteilnehmer, insbesondere des Rad- und Fußverkehrs, erscheinen erhöhte Sicherheitsauflagen für automatisierte Lkw aller drei Anwendungsfälle des Straßengüterverkehrs erforderlich.
- ▶ Besonders dringlich erscheint dies für Anwendungsfall (3), da in urbanen Räumen besonders viele Nutzungskonflikte auftreten.
 - Empfohlen werden darüber hinaus weitgehende Geschwindigkeitsregulierungen für fahrerlose leichte Lkw des Anwendungsfalls (2), z.B. auf 80 km/h oder des Anwendungsfalls (3) auf 30 km/h.

- Eine substantielle Geschwindigkeitsreduktion bewirkt neben einer erhöhten Verkehrssicherheit auch eine Verringerung negativer ökologischer Effekte infolge hohen Kraftstoffverbrauchs bei hohen Geschwindigkeiten.
 - Sofern Zustellroboter zum Einsatz kommen, kann es weitere konkrete Sicherheitsanforderungen hinsichtlich des Querens von Rad- und Fußwegen geben.
- Bestehende und künftig geltende Vorschriften zu sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen für Nutzfahrzeuge, z.B. Notbremsassistentensysteme oder Kollisionswarnsysteme, sind für den Einsatz in (voll) automatisierten Fahrzeugen anzupassen und weiterzuentwickeln.

Beitrag zu ökologisch nachhaltiger Flächennutzung

- Zur Begrenzung negativer Wirkungen auf die Flächennutzung erscheint ein Positivnetz / Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge des Anwendungsfalles (1) erwägenswert.
- In diesem Fall wäre es sinnvoll, gleichzeitig ein Verbot des Parkens außerhalb dieses Netzes bzw. außerhalb extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätze einzuführen.
- Analog ist es für die autonomen Fahrzeuge der urbanen Logistik des Anwendungsfalles (3) notwendig, eine exakte Definition von zugelassenen Lieferpunkten, -gebieten, -Strecken und ggf. -routen vorzunehmen und den Parkraum für diese Fahrzeuge zu beschränken.
- Bei automatisierten Lieferverkehren im Rahmen von Konzepten der urbanen Logistik sind zum einen mehrere im Wettbewerb stehende Anbieter denkbar. Dann müssen sich die entsprechenden Regulierungen von Flächen und Parkraum auf alle diese Unternehmen beziehen.
 - Ausschreibungsmodelle für zeitlich befristete Gebietskonzessionen nur eines Anbieters automatisierter Lieferverkehre (im Sinne eines Wettbewerbs um den Markt) kommen je nach Marktgröße ebenfalls in Betracht. Dann können die entsprechenden Regulierungen Bestandteil des Ausschreibungsverfahrens sein. Diese müssten gewährleisten, dass zusätzliche Fahrten zwischen den Verteilzentren den anderweitigen Einsparungen nicht zuwiderlaufen.

Fördermaßnahmen für den automatisierten Schienengüterverkehr

- Schon im bisherigen System finanziert und reguliert die öffentliche Hand den Schienensektor weitreichend, insbesondere Schienenfahrzeuge, Bahninfrastruktur und zugehörige Serviceeinrichtungen. Über zielgerichtete Investitionen in Infrastruktur und die Förderung von Bedienkonzepten und Betriebsmitteln kann der Staat entsprechend positiv Einfluss auf die Einführung und Weiterentwicklung von automatisiertem Schienenverkehr nehmen.
- Der Netzcharakter der Infrastruktur unterstützt eine möglichst zentrale Steuerung des Betriebs und Verkehrsablaufes inkl. der damit verbundenen Automatisierungsmöglichkeiten. Eine zielgerichtete Förderung von Automatisierung im Schienengüterverkehr erscheint möglich und nötig.
- Konkret können (teil-)automatisiertes Fahren, leistungsfähige Zugbeeinflussungsanlagen (ETCS - European Train Control System) sowie der Einsatz automatischer Kupplungen den Bahnbetrieb beschleunigen, flexibilisieren und die Zuverlässigkeit des Systems Schienengüterverkehr erhöhen (vgl. FGSV 2021). Deshalb sind möglichst rasche Investitionen in die entsprechende Infrastruktur vonnöten.

- ▶ Die Förderung des automatisierten Schienenverkehrs sollte auch in direkten Subventionen für neue Bedienkonzepte bestehen, die auf den Kombinierten Verkehr (KV) von Straße und Schiene basieren. Zwar gibt es bestehende Förderungen für den Kombinierten Verkehr und Förderungen sowie Regulierungen für die Umschlagsanlagen. Jedoch ist darauf zu achten, dass innovative Einrichtungen für einen multimodalen Verkehr ebenso von Förderungen profitieren können und/oder dass risikobereite Innovatoren gewisse Ausnahmen von Zugangsregulierungen bekommen, um im Erfolgsfall eine positive Rendite als Ausgleich für das eingegangene Risiko erzielen zu können.
- ▶ Für den Vor- und Nachlauf auf der Straße kommen Sonderregelungen in Frage, wie etwa eine Ausnahme dieser Fahrzeuge von Straßenbenutzungsgebühren.
- ▶ Ebenso sind direkte Infrastrukturinvestitionen, z.B. für den schnelleren Ausbau des ETCS notwendig.
- ▶ Eine Notwendigkeit zur Regulierung besteht auch bei Standardisierungs- und Normierungsfragen hinsichtlich des technischen Equipments, z.B. beim Rollmaterial. Diese sind (auch) für andere Betreiber von Schienengüterverkehr als der DB im Rahmen des freien Netzzugangs wichtig.

Ergänzend zur Förderung der Automatisierung im Schienengüterverkehr ist ein weiterer physischer Ausbau der Infrastruktur mit dem Fokus auf der Engpassbeseitigung, erforderlich.

6 Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

Nachfolgend werden die in Kapitel 5 identifizierten Regulierungserfordernisse rechtlich geordnet, jeweils die bestehenden Rechtsgrundlagen sowie rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarfe und die zuständigen Akteure für eine Rechtssetzung aufgezeigt.

Die identifizierten Regulierungserfordernisse werden für die ökologische Nachhaltigkeit des Verkehrssystems für erforderlich erachtet. Sie wirken im Kontext von Digitalisierung im Verkehr bzw. für das automatisierte und vernetzte Fahren. Allerdings sind sie oftmals auch erforderlich für die ökologisch nachhaltige Regulierung des nicht bzw. wenig digitalisierten Verkehrs. In den nachfolgenden Abschnitten wird angegeben, ob es sich um Regulierungserfordernisse handelt, die neben dem klassischen Verkehr auch bzw. erst recht für den digitalisierten Verkehr oder ob sie ausschließlich im Kontext der Digitalisierung im Verkehr relevant werden. Der rechtliche Anpassungsbedarf ist mit Blick auf die Digitalisierung im Verkehr in beiden Fällen gleichermaßen gegeben. Es wäre unzureichend, wenn an dieser Stelle nur die spezifischen Regulierungserfordernisse des digitalisierten Verkehrs dargestellt würden, da diese nur eingebettet in die Regulierungserfordernisse wirksam werden, die für digitale und analoge Verkehrswirtschaft gleichermaßen gelten.

Relevante Akteure in der Rechtssetzung im Kontext Verkehr sind neben europäischen und internationalen Akteuren (dazu sogleich) der Bund, die Länder und die Kommunen, denen abhängig vom konkreten Kontext, eine relevante Rolle bei der Rechtsetzung, der Planung oder der Daseinsvorsorge im Kontext des Verkehrs zukommt.

Die Europäische Union (EU) hat sowohl strategisch als auch rahmensetzend einen hohen Einfluss auf Regelungen im Kontext des Verkehrs in Deutschland. Gemäß dem Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) besteht für den Verkehr eine geteilte Zuständigkeit der EU mit den Mitgliedstaaten (Art. 4 Abs. 2 Buchstabe g AEUV). Für sogenannte „Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse“ (DAWI) hat die EU eine rahmengestaltende Zuständigkeit (Art. 14 AEUV). Die EU treibt den Auf- und Ausbau transeuropäischer Netze in den Bereichen der Verkehrs-, Telekommunikations- und Energieinfrastruktur voran (Art. 170 bis 172 AEUV). Im Rahmen insbesondere ordnungsrechtlicher Instrumente setzt die EU u. a. einen verbindlichen Rahmen durch unmittelbar in allen Mitgliedstaaten geltende Verordnungen sowie EU-Richtlinien, die einer Umsetzung in deutsches Recht bedürfen. Die EU ist ein relevanter Akteur für die finanzielle Förderung von Vorhaben mit Verkehrsrelevanz. Mit Blick auf eine Ausrichtung des Rechtsrahmens sowohl auf die Anforderungen des Klimaschutzes wie auch auf die Digitalisierung im Verkehr besteht auf EU-Ebene eine hohe Dynamik. Da derzeit viel in Bewegung ist, ist der das diesbezügliche Recht nicht als ein fester und klar konturierter Rahmen darstellbar. Beispielhaft genannt seien die nachfolgenden Strategien bzw. Aktionspläne der Europäischen Kommission:

- ▶ der „Europäische Grüne Deal“ (Europäische Kommission 2019) von Dezember 2019,
- ▶ die „Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität“ (Europäische Kommission 2020) aus Dezember 2020,
- ▶ das Klimaschutzpaket „Fit für 55“ (Europäische Kommission 2021b) aus Juli 2021.

In diesen Strategien bzw. Aktionsplänen werden diverse Maßnahmen mit inhaltlichen Bezügen zum untersuchten Kontext genannt und sie befinden sich teilweise bereits im Gesetzgebungsprozess.⁴⁰

Zudem werden unter dem Dach der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) diverse internationale Übereinkommen mit Verkehrsbezug weiterentwickelt. Dies betrifft neben allgemeinen Verkehrsregeln und Verkehrszeichen für den Straßenverkehr⁴¹ auch die Weiterentwicklung von Regelungen zwecks internationaler Harmonisierung der technischen Vorschriften für Kraftfahrzeuge.⁴² Die Übereinkommen sind für Deutschland verbindlich und enthalten eine Pflicht zur Herstellung der Übereinstimmung der im jeweiligen Hoheitsgebiet geltenden Verkehrsregeln mit dem sachlichen Gehalt des Übereinkommens.

6.1 Digitale Infrastruktur für den Straßenverkehr

6.1.1 Regulierungserfordernisse

Für das automatisierte und vernetzte Fahren ist eine **Standardisierung von Kommunikationstechnik und von Nachrichtenprotokollen** sowie von verbindlichen „Absprachen“ zwischen automatisierten – und bei Mischverkehr auch nichtautomatisierter Fahrzeuge in geeigneter Weise – Fahrzeugen erforderlich (Interoperabilität). Es sollten verbindlichen Standards für Schnittstellen (Datenaustauschformate und -protokolle) und Frequenzbänder (Standardisierung für die Software, Typenzulassung für fahrzeugseitige Hardware) festgelegt werden (vgl. Kapitel 5.2.1.1.3).

Auch Anwendungen für den multimodalen und intermodalen Verkehrsmittelzugang erfordern für die – für eine gezielte Stärkung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität erforderliche – Einbindung und Priorisierung von Mobilitätsanbietern im Umweltverbund, eine **Vernetzung von Hintergrundsystemen sowie die Standardisierung von Datenquellen und Schnittstellen** (vgl. dazu 5.2.1.2.2 und 5.2.1.2.3). Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Serviceleistungen sind auch ohne das automatisierte Fahren relevant, so dass diesbezügliche Regulierungserfordernisse einen generellen Charakter haben.

Darüber hinaus kann es für die Erreichung gemeinwohlorientierter Ziele sinnvoll sein, ein **digitales Verkehrsmanagement** einzuführen für die:

- ▶ Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln, Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung (vgl. dazu in den Kapiteln 6.3, 6.4 und 6.5).
- ▶ Verkehrssteuerung und -lenkung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale, z.B. um eine ökologisch nachhaltige Fahrweise zu etablieren oder durch eine Steuerung der Routen gezielt bestimmte Straßen und Gebiete zu entlasten (vgl. dazu oben Kapitel 5.1.1.2, 5.1.1.3, 5.1.1.4 und 5.2.1.1.1.). Voraussetzung dafür wäre eine hohe Vernetzung der Fahrzeuge und der Infrastruktur und es sollte bestenfalls nur ein Infrastrukturbetreiber für Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen tätig werden.

⁴⁰ Z.B. zu den „Leitlinien der Union für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes“ (Verordnung (EU) Nr. 1315/2013) und zur sog. IVS-Richtlinie (Richtlinie 2010/40/EU). Aktuell laufen EU-Prozesse zur Änderung dieser EU-Rechtsakte, siehe zum aktuellen Stand hier: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=CELEX:52021PC0812> bzw. hier: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=COM:2021:813:FIN>

⁴¹ Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 und Wiener Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen.

⁴² Siehe dazu insbesondere die aktuellen Themen der „Working Party on Road Traffic Safety“ (WP.1) und des „World Forum for the harmonization of vehicle regulations“ (WP.29).

6.1.2 Bestehende Rechtsnormen

Im Kontext Infrastruktur sieht der AEUV einen Beitrag der EU zum Auf- und Ausbau transeuropäischer Netze in den Bereichen der Verkehrs-, Telekommunikations- und Energieinfrastruktur vor (Art. 170 bis 172 AEUV). In diesem Rahmen ist die EU zuständig für Leitlinien, die Durchführung von Aktionen, welche für Interoperabilität notwendig sind (insbesondere Harmonisierung der technischen Normen), die Unterstützung von Vorhaben sowie finanzielle Beiträge zu spezifischen Verkehrsinfrastrukturvorhaben in den Mitgliedstaaten.

Vor diesem Hintergrund hat die EU die sog. Intelligente-Verkehrssysteme-Richtlinie⁴³ (IVS-Richtlinie) erlassen. Auf der IVS-Richtlinie basieren zahlreiche delegierte Verordnungen der Europäischen Kommission, die Spezifikationen und Normen für in der Richtlinie genannte vorrangige Bereiche (Art. 2)⁴⁴ bzw. vorrangige Maßnahmen (Art. 3) definieren, im Einzelnen:

- ▶ Delegierte Verordnung (EU) 2022/670 und Delegierte Verordnung (EU) 2015/962 zur Bereitstellung EU-weiter Echtzeit-Verkehrsinformationsdienste,
- ▶ Delegierte Verordnung (EU) 2017/1926 zur Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationsdienste,
- ▶ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 886/2013 in Bezug auf Daten und Verfahren für die möglichst unentgeltliche Bereitstellung eines Mindestniveaus allgemeiner für die Straßenverkehrssicherheit relevanter Verkehrsinformationen für die Nutzer,
- ▶ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 885/2013 in Bezug auf die Bereitstellung von Informationsdiensten für sichere Parkplätze für Lastkraftwagen und andere gewerbliche Fahrzeuge,
- ▶ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 305/2013 in Bezug auf die harmonisierte Bereitstellung eines interoperablen EU-weiten eCall-Dienstes.

Für den in Art. 2 Abs. 1 der IVS-Richtlinie genannten vorrangigen Bereich IV „Verbindung zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur“ ist bisher keine delegierte Verordnung erlassen. Die Europäische Kommission hat zwar im März 2019 einen detaillierten Entwurf für eine „Delegierte Verordnung (EU) (...) im Hinblick auf die Einführung und den Betrieb kooperativer intelligenter Verkehrssysteme“ (Europäische Kommission 2019a) vorgelegt, diese delegierte Verordnung ist allerdings nicht in Kraft getreten.

In den „Leitlinien der Union für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes“ (Verordnung (EU) Nr. 1315/2013)⁴⁵ finden sich ebenfalls Bezüge auf Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bzw. „IKT-Plattformen und Informationssysteme unter Einschluss von Verkehrsmanagementsystemen und elektronischen Meldesystemen“. Sowohl für die IVS-Richtlinie wie auch die Leitlinien liegen aktuell – anknüpfend an den „Europäische Grünen Deal“ (Europäische Kommission 2019) – Änderungsvorschläge vor. Im Neuentwurf für die Leitlinien werden u. a. (wie bisher) IKT-Systeme und innovative Technologien im Prioritätenprogramm (vgl. dazu Art. 12, 13 und 31) geführt. Neu ist die Priorisierung der „Entwicklung verbesserter multimodaler und interoperabler Verkehrslösungen“ (Art. 13) und

⁴³ Richtlinie 2010/40/EU. Aktuell läuft ein EU-Prozess zur Änderung der Richtlinie, siehe zum aktuellen Stand hier: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=COM:2021:813:FIN>

⁴⁴ Vorrangige Bereiche: I. Optimale Nutzung von Straßen-, Verkehrs- und Reisedaten, II. Kontinuität der IVS-Dienste in den Bereichen Verkehrs- und Frachtmanagement, III. IVS-Anwendungen für die Straßenverkehrssicherheit, IV. Verbindung zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur.

⁴⁵ Aktuell läuft ein EU-Prozess zur Änderung der Verordnung, siehe zum aktuellen Stand hier: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=CELEX:52021PC0812>

ein deutliches Nachschärfen teilweise vorher bereits aufgeführter Prioritäten auf Nachhaltigkeit bzw. die explizite Berücksichtigung von gefährdeten Verkehrsteilnehmenden des Rad- und Fußverkehrs (vgl. Art. 12, 13 und 31).

Auf nationaler Ebene ist die IVS-Richtlinie der EU im IVS-Gesetz des Bundes, das im Juni 2013 in Kraft getreten ist, umgesetzt, mit dem die EU-rechtliche Begrifflichkeit definiert wurde sowie Grundsätze für die Einführung Intelligenter Verkehrssysteme in Anlehnung an die IVS-Richtlinie und eine Aufgabenzuweisung der sich aus der IVS-Richtlinie ergebenden Aufgaben festgelegt wurden (Bestimmung der Stelle für den „Nationaler Zugangspunkt“ durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Einvernehmen mit den Ländern, § 2 Nr. 11; Übertragung der Aufgaben als „Nationale Stelle“ an die Bundesanstalt für Straßenwesen, §§ 5 und 6).

Maßnahmen in Deutschland beschränkten sich zunächst vor allem auf die Förderung von Initiativen und Strategien, z.B. die Entwicklung einer „IVS-Rahmenarchitektur für den Öffentlichen Verkehr“. (Zwischen-)Ergebnisse dieser Maßnahme waren laut Bericht des BMVI von September 2017 die Initiative „Digitale Vernetzung im ÖV“, die Strategie DELFI 2020 und die Förderinitiative „eTicket und digitale Vernetzung im ÖV“ (BMVI 2017a).

Zahlreiche weitere Förderprogramme der EU und des Bundes zielen auf die Förderung des intelligenten, vernetzten und/oder automatisierten Verkehrs – im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft 2017-2020 z.B. das Förderprogramm „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“.

Als Nationalen Zugangspunkt im Sinne der IVS-Rechtsquellen hat das BMVI zunächst den „Mobilitäts Daten Marktplatz“ (MDM) eingerichtet, der von der seit dem 1. Juli 2022 bestehenden „Mobilithek“ abgelöst wird. Die Bedeutung des MDM – bzw. der „Mobilithek“ – ist mit der Novelle des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) im Jahr 2021 und der auf dem PBefG beruhenden Mobilitätsdatenverordnung erheblich gestiegen (vgl. dazu die Bereitstellungspflicht in § 3a Abs. 1 PBefG).

6.1.3 Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

Mit Blick auf eine erforderliche **Standardisierung von Daten, Datenquellen und Schnittstellen** hat die EU bereits für viele Bereiche verbindliche Maßstäbe gesetzt. Da die „Verbindung zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur“ in Art. 2 Abs. 1 der IVS-Richtlinie als vorrangiger Bereich festgelegt ist, ist diesbezüglich ebenfalls mit dem Erlass von Spezifikationen und Normen durch die EU zu rechnen.

Vor der Einführung eines **digitalen Verkehrsmanagements** ist die sachliche und örtliche Zuständigkeit für die damit verknüpften Aufgaben und deren Finanzierung zu klären und festzulegen. Regelungen dazu sind aktuell nicht vorhanden.

Soll die digitale Infrastruktur konkrete Zwecke in bereits bestehenden und gesetzlich definierten Aufgabenbereichen erfüllen (z.B. Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln, Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung) wäre einerseits eine funktionale Anknüpfung an bereits bestehende Aufgabenbereiche denkbar (vgl. Hermes et al. 2022a, S. 15 ff.). Andererseits sollte auch dem Aspekt einer nachhaltigen Wirksamkeit bei der Zuordnung der Aufgaben- und Finanzierungsverantwortung entsprochen werden, was für die Einrichtung einer übergeordneten zentralen Stelle sprechen könnte. Insbesondere für eine eventuelle digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren – z.B. zwecks Fernsteuerung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale – sind Fragen zur Aufgaben- und Finanzierungsverantwortung nicht einfach zu beantworten. Es bestehen enge Verbindungen zur physischen Infrastruktur und damit zu Straßen verschiedener Kategorien. Die

Zuständigkeit für das Straßen- und Wegerecht ist zwischen Bund (Bundesstraßen und Bundesbahnen) und Ländern (weitere Straßen) aufgeteilt. Die Zuständigkeit des Bundes für das Straßenverkehrsrecht hingegen bezieht sich auf alle Straßen. Für ein digitales Verkehrsmanagement lässt sich keine klare Trennung zwischen Straßenverkehrsrecht und Straßen- und Wegerecht vornehmen. Im Kern geht es um Verkehrsordnungsrecht. Das digitale Verkehrsmanagement funktioniert aber nur, wenn und soweit auch die dazu passende Infrastruktur vorgehalten wird. Auch bedarf es aus technischer Sicht eines einheitlichen Systems über alle Straßenbaulastträger.

Zusätzlich zur Aufgabenabgrenzung innerhalb der öffentlich Hand ist der genaue Aufgabenbereich im Verhältnis zu den Betreibern automatisierter Fahrzeuge festzulegen. Es bedarf einer genauen Abgrenzung zwischen der „Technischen Aufsicht“⁴⁶ bzw. Betriebszentrale des (privatwirtschaftlichen) Betreibers, die operativ ins Fahrzeug hereinreicht und der übergeordneten öffentlichen digitalen Infrastruktur.

6.2 Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr

6.2.1 Regulierungserfordernisse

Für die Fahrzeugzulassung ergeben sich zusätzliche Regulierungserfordernisse spezifisch für das automatisierte und vernetzte Fahren.

Für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge kommt es nicht nur auf das einzelne Fahrzeug an. Vielmehr ist für das System aus Fahrzeug und allen Komponenten der automatisierten Steuerung in seiner Gesamtheit und in ihrem Zusammenwirken **Funktionstauglichkeit und Sicherheit** zu gewährleisten (vgl. dazu die Kapitel 5.1.1.5. und 5.2.1.1.3)

Kehrseite der Automatisierung ist die fehlende Handlungsmöglichkeit der Fahrzeuginsassinnen und -insassen: Im Gefahrenfall können sie selbst bei erkannter Gefährdungslage weder den Schutz der eigenen Sicherheit noch der Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmender bewirken. Das System selbst muss insoweit einen sozialadäquaten Schutz für Leib und Leben der gefährdeten Personen gewährleisten:

- ▶ Weder Mensch noch Technik sind unfehlbar. Ein absoluter Schutz vor Gefahren für Leib und Leben ist insoweit nicht denkbar. Allerdings ist das System an allen jeweils bekannten Anwendungsfällen im Verkehr und in dessen Umfeld auszurichten und auch Missbrauch (Umgehung von Sicherheitsanforderungen) muss wirksam vorgebeugt werden. Das System muss als lernendes System ständig verbessert werden. Im Zweifel gilt für unbekannte Situationen das Gebot der Minimierung von Sicherheitsrisiken.
- ▶ Die Verkehrssicherheit der Fahrzeugnutzenden zu gewährleisten wird im eigenen Interesse der Anbieter von Fahrzeugen und Fahrdiensten liegen. Insofern bedarf es insoweit zwar sehr hoher Schutzanforderungen, aber ein minimales Restrisiko – auf dem Niveau des Risikos des Eisenbahnverkehrs – ist dann hinnehmbar, wenn es ausreichend kommuniziert wird und letztlich dieses Risiko von den Nutzenden auch bewusst eingegangen wird.
- ▶ Die Verkehrssicherheit anderer Verkehrsteilnehmender zu gewährleisten liegt nicht im unmittelbaren kommerziellen Interesse der Anbieter von Fahrzeugen und Fahrdiensten. Auch setzen sich andere Verkehrsteilnehmende nicht freiwillig dem Risiko automatisierter Fahrzeuge aus. Von daher besteht ein besonderes Regulierungserfordernis, die Sicherheitsinteressen der anderen Verkehrsteilnehmenden zu schützen. Dieses betrifft die

⁴⁶ Siehe zum Begriff § 1d Abs. 3 StVG: Technische Aufsicht eines Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion im Sinne dieses Gesetzes ist diejenige natürliche Person, die dieses Kraftfahrzeug während des Betriebs (...) deaktivieren und für dieses Kraftfahrzeug (...) Fahrmanöver freigeben kann.

Insassinnen und Insassen anderer Kraftfahrzeuge sowie insbesondere die nicht durch eine feste Hülle geschützten besonders vulnerablen Verkehrsteilnehmenden (insbesondere Rad- und Fußverkehr sowie Nutzende von Elektrokleinstfahrzeugen bzw. Tretrollern). Dabei sind das unkontrollierte Verhalten von Kindern sowie die sehr unterschiedlichen Bewegungsfähigkeiten auch von in ihrer Mobilität eingeschränkten Personen zu berücksichtigen. Das Schutzniveau ist insoweit höher anzusetzen als in Bezug auf die Fahrzeugnutzenden und muss besondere Vorkehrungen vorsehen, um das durch die Vulnerabilität stark erhöhte Gefährdungspotenzial auf einem minimalen Wert zu halten.

- Zur Gewährleistung eines hohen Sicherheitsstandards für alle anderen Verkehrsteilnehmenden, insbesondere des Rad- und Fußverkehrs, sind zudem erhöhte Sicherheitsauflagen für automatisierte Lkw erforderlich, da von diesen eine erhöhte Gefährdung ausgeht (vgl. dazu Kapitel 5.2.4.1).

Das erfordert u. a.:

- Das technische System muss selbstständig oder in Interaktion mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur Personen und Objekte erkennen und Gefahrensituationen vermeiden. Bei potenzieller Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmender sind angemessene, gefährdungsreduzierende Maßnahmen zu ergreifen. Diese Maßnahmen sind mit steigendem Gefährdungspotenzial zu erhöhen – z.B. Geschwindigkeitsreduzierung auf ein Maß, welches in allen denkbaren Fällen noch einen Zusammenstoß mit einem spielenden Kind vermeidet, sobald diese Situation vom System indiziert worden ist.
- Das Mitführen eines Gerätes (o. ä.) durch die anderen Verkehrsteilnehmenden im Rad- und Fußverkehr darf keine zwingende Voraussetzung für das Funktionieren des Systems sein.
- Im Mischverkehr könnten/sollten auch nichtautomatisierte Fahrzeuge auf geeignete Weise in die Vernetzung einbezogen werden (mittels Fahrzeugkomponenten zur Vernetzung sowie durch die Vermittlung visueller oder hörbarer Signale an die fahrende Person).
- Erforderlich ist eine Standardisierung von Kommunikationstechnik und von Nachrichtenprotokollen sowie von verbindlichen „Absprachen“ zwischen automatisierten – und bei Mischverkehr auch nichtautomatisierten – Fahrzeugen (Interoperabilität). Es müssen verbindlichen Standards für Schnittstellen (Datenaustauschformate und -protokolle) und Frequenzbänder (Standardisierung für die Software, Typenzulassung für fahrzeugseitige Hardware) festgelegt werden (vgl. dazu bereits in Kapitel 6.1).
- Bestehende und künftig geltende Vorschriften zu sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen für Nutzfahrzeuge, z.B. Notbremsassistentensysteme oder Kollisionswarnsysteme, sind für den Einsatz in (voll) automatisierten Fahrzeuge anzupassen und weiterzuentwickeln.
- Sofern Zustellroboter zum Einsatz kommen, kann es weitere konkrete Sicherheitsanforderungen hinsichtlich des Querens von Rad- und Fußwegen geben.

Darüber hinaus sollte die **Energieeffizienz** ein Kriterium für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge sein. Ohne verbindliche Vorgabe wäre denkbar, dass Hersteller/Betreiber sich mehr an „Fahrspaß“ der Nutzenden als an Energieeffizienz orientieren (vgl. Kapitel 5.1.1.2) oder Daten der Nutzenden ohne funktionalen Zweck für die eigentliche Fahrfunktion umfassend sammeln und speichern (vgl. Kapitel 5.2.1.1.1). Der zusätzliche Energiebedarf – durch die Automatisierung sowie durch mögliche Leerfahrten (Parkplatzsuche, Leerfahrt zum nächsten Nutzer etc.) – sollte z.B. durch Begrenzung des Fahrzeuggewichts kompensiert werden. Sowohl die für die Automatisierung erforderlichen Komponenten (wie Sensorik, Aktorik oder

Bildverarbeitung), die Erhebung und Verarbeitung von Informationen (Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten) als auch die Programmierung der Fahrweise (energieeffizient und vorausschauend) muss auf Energieeffizienz ausgerichtet sein.

Auch könnte die Zulassung automatisierter Fahrzeuge mit **Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Antriebe** verknüpft werden.

6.2.2 Bestehende Rechtsnormen

Die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr ist im Straßenverkehrsgesetz (StVG) und auf dem StVG beruhenden Verordnungen⁴⁷ geregelt. Relevant sind in diesem Kontext auch zahlreiche Rechtsakte der EU und der UNECE zur Typgenehmigung (Genehmigung eines in größerer Anzahl hergestellten Typs) und zur Vorgabe von Mindeststandards an Sicherheit und Umweltverhalten (Schadstoffemissionen, Geräuschpegel).

Konkret für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge finden sich bereits einzelne Regelungen im StVG, die sich auf Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktionen, Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion und die Erprobung von Entwicklungsstufen für die Entwicklung automatisierter oder autonomer Fahrfunktionen sowie auf fahrzeugführerlose Parksyste⁴⁸ beziehen. Diese gesetzlichen Regelungen werden durch die Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 24.06.2022 konkretisiert.

Das World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) der UNECE hat ein Framework document on automated/autonomous vehicles vorgelegt (im Jahr 2020 mit anschließenden Updates), das sich insbesondere mit Sicherheitsaspekten beschäftigt (UNECE 2020).⁴⁹

6.2.3 Rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

Mit den bestehenden Rechtsnormen ist Deutschland sowohl der technischen Reife automatisierter Fahrzeuge als auch rahmengebenden Klärungen auf EU- und UNECE-Ebene zuvorgekommen.

Es besteht – parallel zur technischen Fortentwicklung – weiterhin erheblicher rechtlicher Klärungs- und Anpassungsbedarf, in dessen Rahmen die oben genannten Erfordernisse zur Funktionstauglichkeit und Sicherheit, Energieeffizienz und zur Vorgabe alternativer Antriebe berücksichtigt werden sollten.

Mit Blick auf das zu erreichende Sicherheitsniveau und der Akzeptanz gegebenenfalls verbleibender technischer Risiken ist der Grundrechtsbezug (Schutz von Leib und Leben) zu beachten. Schwierigkeiten können sich hier ergeben, wenn es nationale Unterschiede in der Einstellung zu Fragen der Sicherheit gibt und das anzustrebende Sicherheitsniveau in Deutschland über den Vorstellungen auf internationaler Ebene oder EU-Ebene liegt.

⁴⁷ Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV), EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung (EG-FGV).

⁴⁸ §§ 1a Abs. 3, 1d, 1e Abs. 4 und 1i Abs. 2 StVG und § 6 Abs. 1 Nr. 17 StVG mit einer Ermächtigung zum Erlass von Rechtsverordnungen für die Einrichtung und Nutzung von fahrzeugführerlosen Parksyste⁴⁸men im niedrigen Geschwindigkeitsbereich auf Parkflächen.

⁴⁹ „Safety Vision: (...) The level of safety to be ensured by automated/autonomous vehicles implies that ‚an automated/autonomous vehicle shall not cause any non-tolerable risk‘, meaning that automated/autonomous vehicle systems, under their automated mode (...), shall not cause any traffic accidents resulting in injury or death that are reasonably foreseeable and preventable.“

6.3 Straßenverkehrsregeln

6.3.1 Regulierungserfordernisse

Viele der erforderlichen auf ökologische Nachhaltigkeit ausgerichteten Straßenverkehrsregeln sind auch ohne das automatisierte Fahren relevant, so dass diesbezügliche Regulierungserfordernisse einen generellen Charakter haben. Dazu zählen insbesondere

- ▶ eine anzustrebende Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) gegenüber dem MIV und
- ▶ die Festlegung der Geschwindigkeit (Höchst-, Richt- und Mindestgeschwindigkeit) unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs und der Gewährleistung von Sicherheit für den Rad- und Fußverkehr.

Darüber hinaus kann und sollte – mit Zielrichtung auf ökologische Nachhaltigkeit – ein eingeschränkter Zugang zu öffentlichen Straßen für die folgenden Fälle möglich sein:

- ▶ Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen für privat genutzte (automatisierte) Fahrzeuge in nachfragestarken bzw. überlasteten Gebieten bzw. zu bestimmten Zeiten, um einem übermäßigen Anstieg der MIV-Fahrleistung und des Flächenverbrauchs entgegenwirken (vgl. Kapitel 5.2.2.3) und/oder die Funktionsfähigkeit des ÖV zu stärken (vgl. Kapitel 5.2.3.3).
- ▶ Räumlich und zeitlich differenzierte Zufahrtsbeschränkungen für urbane Logistik-Systeme mit autonomen Fahrzeugen zur Verminderung lokaler Schadwirkungen (Lärm, lokale Schadstoffe) und unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten für den Rad- und Fußverkehr (vgl. Kapitel 5.2.4.3).
- ▶ Fahrverbote für den (automatisierten) motorisierten Verkehr in sensiblen Gebieten.
- ▶ Positivnetz/Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge, Verbot des Parkens außerhalb des Netzes bzw. außerhalb von extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätzen.
- ▶ Definition von zugelassenen Lieferpunkten, -gebieten, -strecken und ggf. -routen für Fahrzeuge in der urbanen Logistik, eingeschränkte Nutzung des Parkraums durch diese Fahrzeuge – als straßenverkehrsrechtliche Vorgabe für alle Anbieter (vgl. zur entsprechenden Regulierung im Rahmen einer Vergabe von Gebietskonzessionen Kapitel 6.7.1).
- ▶ Gebote/Verbote für Ein- und Ausstiege in nachfragestarken Räumen, um Verkehrsbehinderungen durch eine hohe Anzahl an anhaltenden Fahrzeugen an „Hotspots“ und Raumnutzungskonflikte mit dem Umweltverbund zu verhindern.

Darüber hinaus ergeben sich Regulierungserfordernisse spezifisch für das automatisierte und vernetzte Fahren – insbesondere:

- ▶ Vorgabe umwelt- und klimaschutzorientierter Fahrweisen (vgl. Kapitel 5.1.1.2 und 5.1.1.3),
- ▶ Vorgaben für (technische) Standards zu Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden (insb. Rad- und Fußverkehr), z.B. Vorfahrt gewähren, Signalisierung von Parkplatzsuchfahrten, Ein- und Ausstiege/Fahrgastwechsel usw.,
- ▶ Regelungen für den maximalen Parkplatzsuchradius beim automatisierten Valet Parking, beim City Pilot und bei Level-5-Anwendungen,
- ▶ Beschränkung von Leerkilometern pro Fahrzeug und Fahrt.

Die Zugangsregeln und weitere straßenverkehrsrechtliche Vorgaben können ggf. digital abgebildet und kontrolliert werden (vgl. zu einem digitalen Verkehrsmanagement auch die Kapitel 6.1.1 und 8.8.2).

6.3.2 Bestehende Rechtsnormen

Wie öffentliche Straßen von den einzelnen Verkehrsteilnehmenden genutzt werden dürfen, regelt im Wesentlichen das Straßenverkehrsrecht – das Straßenverkehrsgesetz (StVG) und die Straßenverkehrsordnung (StVO)⁵⁰ – sowie die konkrete getroffenen straßenverkehrsrechtliche Anordnung vor Ort (durch die Straßenverkehrsbehörden).⁵¹

§ 6 Abs. 1 Satz 1 StVG als Ermächtigungsnorm für den Erlass von Rechtsverordnungen fokussiert stark auf die Leichtigkeit bzw. Flüssigkeit des MIV („soweit es zur Abwehr von Gefahren für die Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs auf öffentlichen Straßen erforderlich ist“). Eine öffentliche Straße steht für den Verkehr mit Kraftfahrzeugen – im Rahmen des sog. (straßenrechtlichen) Gemeingebrauchs – grundsätzlich zur Verfügung. § 45 StVO enthält die Anordnungsbefugnisse, die eine Beschränkungen dieses Gemeingebrauchs rechtfertigen können. Dabei enthält § 45 Abs. 1 Satz 1 StVO eine Art „Generalklausel“ für straßenverkehrsrechtliche Anordnungen und nennt mit der Formulierung zu deren Voraussetzung „aus Gründen der Sicherheit oder Ordnung des Verkehrs“ zugleich die Hauptzwecke des (aktuellen) Straßenverkehrsrechts (vgl. Öko-Institut & HWR 2019, S. 77 ff.). Darüber hinaus enthält § 45 StVO zahlreiche weitere (katalogartig) aufgezählte Anordnungsgrundlagen mit jeweils spezifischen Voraussetzungen. Schwierigkeiten für straßenverkehrsrechtliche Anordnungen, die auf eine planerische Lenkung bzw. Beschränkung des Verkehrs mit Kraftfahrzeugen zielen, resultieren insbesondere aus der Vorschrift in § 45 Abs. 9 Satz 1 StVO, nach der Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen nur dort angeordnet werden dürfen, wo dies auf Grund der besonderen Umstände zwingend erforderlich ist. § 45 Abs. 9 Satz 3 StVO konkretisiert hierzu, dass „insbesondere Beschränkungen und Verbote des fließenden Verkehrs“ nur angeordnet werden dürfen, „wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine Gefahrenlage besteht, die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt“.

Für Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktionen liegen bereits einige rudimentäre Straßenverkehrsregeln vor, die sich auf die reine Absicherung der Funktionsweise (und Haftungsfragen) beziehen: § 1b StVG legt spezielle Rechte und Pflichten des Fahrzeugführenden während der Fahrzeugführung fest (Abwendungsrecht sowie Pflichten, wahrnehmungsbereit zu bleiben und die Fahrzeugsteuerung wieder zu übernehmen). Für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion legt § 1f StVG Pflichten des Halters bzw. der Halterin, der „Technische Aufsicht“⁵² und des Herstellers fest. Regelungen zur Datenverarbeitung finden sich in § 1g und §§ 63a und 63b StVG.

⁵⁰ Das StVG und die StVO berücksichtigen die unter dem Dach der UNECE fortentwickelten Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 und Wiener Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen. Die beiden Übereinkommen enthalten (ordnungsrechtliche) Regeln für die Straßenverkehrssicherheit sowie für eine internationale Standardisierung von Verkehrsregeln und die Vereinheitlichung von Verkehrszeichen für den Straßenverkehr. Sie sind für Deutschland verbindlich und enthalten eine Pflicht zur Herstellung der Übereinstimmung der im jeweiligen Hoheitsgebiet geltenden Verkehrsregeln mit dem sachlichen Gehalt des Übereinkommens.

⁵¹ Für den Güterverkehr sind weitere straßenverkehrsrechtliche Vorschriften relevant: Mehrere bundesrechtliche Verordnungen und Richtlinien wie auch das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route, ADR) enthalten Vorgaben speziell zum Gefahrguttransport.

⁵² Siehe die Definition in § 1d Abs. 3 StVG: „Technische Aufsicht eines Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion (...) ist diejenige natürliche Person, die dieses Kraftfahrzeug während des Betriebs (...) deaktivieren und für dieses Kraftfahrzeug (...) Fahrmanöver freigeben kann.“

6.3.3 Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

6.3.3.1 Zielausrichtung des Straßenverkehrsrechts und Verbindung mit Mobilitäts- und Verkehrsplanung

Die Zweckausrichtung des StVG und die restriktive rechtliche Formulierung straßenverkehrsrechtlicher Anordnungsbefugnisse durch § 6 Abs. 1 StVG und § 45 StVO (Fokussierung auf Leichtigkeit des MIV, Erfordernis konkret nachgewiesener Gefahrensituation) stehen einem nachhaltigen Verkehrssystem entgegen. Die in Kapitel 6.3.1 genannten Erfordernisse, Zugang zu öffentlichen Straßen zeitlich und/oder räumlich einzuschränken, müssen vor allem im Ergebnis zielgerichteter Mobilitäts- und Verkehrsplanung vor Ort ermittelt werden, die neben den Mobilitätsbedürfnissen und der Sicherheit auch die Nachhaltigkeit des Verkehrssystems zum Gegenstand hat. Gleiches gilt für die Festlegung von Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie die Einrichtung von Radwegen und Busspuren. Neben Sicherheitsaspekten müssen künftig z.B. qualifizierte Mobilitätsplanungen als ausreichender Grund für Anordnungen in StVG und StVO verankert werden. Voraussetzung einer effektiven Steuerungswirkung zugunsten ökologisch nachhaltiger Verkehrsabläufe ist die gesamthafte Neuausrichtung des Straßenverkehrsrechts unter Ausrichtung an übergeordneten Zielen des Klimaschutzes, des Energie- und Ressourcenverbrauchs usw. (s. die detaillierten Vorschläge in Öko-Institut & HWR 2019, S. 128 ff.). Eine entsprechende Anpassung dürfte mit den Zielen des Koalitionsvertrags der aktuellen Bundesregierung übereinstimmen, der folgendes vorsieht: „Wir werden Straßenverkehrsgesetz und Straßenverkehrsordnung so anpassen, dass neben der Flüssigkeit und Sicherheit des Verkehrs die Ziele des Klima- und Umweltschutzes, der Gesundheit und der städtebaulichen Entwicklung berücksichtigt werden, um Ländern und Kommunen Entscheidungsspielräume zu eröffnen.“ (SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 2021, S. 52)

Hierfür sind folgende Anpassungen denkbar (s. zu ähnlichen Vorschlägen: Hermes et al. 2022, S. 29 bis 31):

In § 6 Abs. 1 StVG:

- Neuformulierung Satz 1 wie folgt:

Das Bundesministerium für Digitalisierung und Verkehr wird ermächtigt, soweit es für die Abwehr von Gefahren für die Sicherheit ~~oder Leichtigkeit~~ des Verkehrs auf öffentlichen Straßen oder zur Verwirklichung von Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Gesundheitsschutz, städtebaulicher Entwicklung oder zur Reduktion verkehrsspezifischer Inanspruchnahme von Flächen erforderlich ist, Rechtsverordnungen...

- Sätze 2 und 3 bleiben unverändert.
- In Satz 4 wird gestrichen: „oder Leichtigkeit“.
- Folgende Sätze 5-7 werden hinzugefügt:

Bei Rechtsverordnungen nach Satz 1 Nummern 2 und 8 sowie Nummern 15 bis 18 sind die Ziele aus Absatz 1 Satz 1 zu berücksichtigen. Soweit Pläne zur zielgerichteten Entwicklung von Mobilität und Verkehr in einer Gebietskörperschaft unter Berücksichtigung der Ziele aus Absatz 1 Satz 1 verkehrsordnende Maßnahmen insbesondere nach § 45 der Straßenverkehrsordnung für den fließenden oder den ruhenden Verkehr festlegen, sind diese Maßnahmen erforderlich im Sinne des Satzes 1 und von den Straßenverkehrsbehörden oder den nach Landesrecht zuständigen anderen Stellen umzusetzen. Die Umsetzung unterbleibt nur, soweit die Verkehrssicherheit beeinträchtigt würde und sich diese

Beeinträchtigung nicht mit anderen Maßnahmen vermeiden lässt, die mit der Mobilitäts- und Verkehrsentwicklungsplanung in Einklang stehen.

In § 45 Abs. 9 StVO:

- Neuformulierung Satz 1 wie folgt:

„Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen sind nur dort anzuordnen, wo dies auf Grund der ~~besonderen~~ konkreten Umstände oder zur Umsetzung von Festlegungen eines Planes zur zielgerichteten Entwicklung von Mobilität und Verkehr in einer Gebietskörperschaft nach § 6 Abs. 1 Straßenverkehrsgesetz geboten ist.

- Satz 2 bleibt unverändert.

- Neuformulierung von Satz 3 wie folgt:

~~Inbesondere~~ Beschränkungen und Verbote für nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer des fließenden Verkehrs dürfen nur angeordnet werden, wenn auf Grund der ~~besonderen~~ örtlichen Verhältnisse eine besondere Gefahrenlage besteht, der nicht anders abgeholfen werden kann ~~die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt.~~

- Satz 4 bleibt unverändert.

Folgender § 45 Absatz 9a wird hinzugefügt:

Soweit Pläne zur zielgerichteten Entwicklung von Mobilität und Verkehr in einer Gebietskörperschaft nach § 6 Abs. 1 Straßenverkehrsgesetz verkehrsordnende Maßnahmen festlegen, hat die zuständige Behörde die zur Umsetzung erforderlichen Anordnungen nach den Absätzen 1 bis 9 zu treffen, soweit nicht überwiegende Gründe der Verkehrssicherheit entgegenstehen. Diese Anordnungen ergehen im Einvernehmen mit dem nach Landesrecht zuständigen Träger der Mobilitäts- und Verkehrsentwicklungsplanung.

6.3.3.2 Weitere Anpassungsbedarfe speziell für das fahrerlose Fahren

Neben diesen allgemeinen und jetzt schon dringenden Anpassungsbedarfen, ergeben sich weitere rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe zu straßenverkehrsrechtlichen Anordnungsbefugnissen speziell für die mit dem fahrerlosen Fahren zu erwartenden steigenden Fahrleistungen (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1).

In überlasteten Räumen muss im Ergebnis sichergestellt werden, dass eine spezifische Verkehrsmenge in spezifischen Bereichen (Straßenabschnitte als kleinste Einheit) nicht überschritten wird, wenn das Verkehrssystem als Ganzes funktionsfähig bleiben soll. Der Umweltverbund sollte aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit Vorrang haben bzw. über exklusive Fahrwege verfügen. Automatisierte Fahrzeuge im MIV sollten nur in einem Umfang in von Überlastung bedrohte Gebiete eingelassen werden, der die Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems nicht beeinträchtigt. Bei einer solchen Kontingentierung von Fahrten im MIV ergeben sich zahlreiche Klärungsbedarfe und gesetzliche Festlegungen, z.B. nach welchen Kriterien die Fahrerlaubnisse bei Knappheit verteilt werden und welche ggf. privilegierten Gruppen festgelegt werden sollten (bestimmte Berufsgruppen wie Ärztinnen und Ärzte, allgemein der Wirtschaftsverkehr).

Für eine wirksame Regulierung kann und sollte den Risiken aus der Digitalisierung ebenfalls mit digitalen Mitteln begegnet werden. Dafür sind entsprechende Rechtsgrundlagen zu schaffen, für die weitere Fragen zu klären sind, z.B. ob und wie eine „digitale“ Regulierung – d. h. eine Regulierung, die sich der Digitalisierung des regulierten Gegenstandes bedient und z.B. auf

Daten aus dem für den Betrieb erforderlichen IT-System zugreift – im Mischverkehr von automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen umgesetzt werden kann. Denkbar wären folgende Alternativen:

- ▶ Im Mischverkehr gilt nur die „analoge“ Regulierung.
- ▶ Nur die automatisierten Fahrzeuge unterliegen der „digitalen“ Regulierung.
- ▶ Es wird sichergestellt, dass alle Fahrzeuge mindestens so weit „digitalisiert“ sind, dass die digitale Regulierung für alle gleichermaßen angewendet werden kann – z.B. durch die Vorgabe, dass alle neu zugelassenen Fahrzeuge über eine minimale technische Ausstattung verfügen müssen, so dass digital übermittelte Verkehrszeichen nicht nur den fahrerlosen Fahrzeugen, sondern auch Fahrzeugen, die einen Fahrerenden erfordern, übermittelt werden können. Eine Nachrüstung für Gebrauchtfahrzeuge oder eine Handy-App können zur verpflichtenden Nutzung nach einer bestimmten Zeit vorgegeben werden.

6.4 Öffentliche Straßeninfrastruktur

6.4.1 Regulierungserfordernisse

Eine auf ökologische Nachhaltigkeit ausgerichtete Gestaltung des öffentlichen Straßenraums ist auch ohne das automatisierte Fahren relevant, so dass diesbezügliche Regulierungserfordernisse einen generellen Charakter haben.

Für die Gestaltung des öffentlichen Straßenraum muss eine Zielausrichtung auf Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz und die Reduktion verkehrsspezifischer Inanspruchnahme von Flächen maßgeblich sein. Die jeweiligen Anforderungen in nachfragestarken, überlasteten und sensiblen Gebieten (z.B. Wohngebiete, Krankenhausanlagen, Grünanlagen und Parks) sind zu berücksichtigen. Wesentlich ist die Bereitstellung von ausreichend öffentlichem Straßenraum für den Rad- und Fußverkehr, der die Attraktivität und Sicherheit dieser Verkehrsformen gewährleistet. Beförderungseffiziente ÖV-Linienverkehre sollten ebenfalls ausreichend Platz und bei Bedarf eine exklusive Nutzungsmöglichkeit erhalten. Zudem muss der Umweltverbund durch die Gestaltung des öffentlichen Raums auch physisch vernetzt werden (z.B. durch Mobilitätsstationen, Haltestellen, Fahrradparkplätze). Lebendige Städte nutzen Straßen und Plätze auch nicht nur rein funktional für Ortsveränderung. Auch dafür muss Platz bleiben oder neu/wieder geschaffen werden können.

Spezifisch für das automatisierte und vernetzte Fahren könnte sich – technisch bedingt – die Notwendigkeit einer Separierung von Fahrbahnen ergeben. Dies bedeutet allerdings einen großen Flächenbedarf und bringt das Risiko mit sich, dass Wege für den Rad- und Fußverkehr unattraktiv werden und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum negativ beeinflusst wird. Entsprechende räumliche Lösungen sollten daher allenfalls für beförderungseffiziente Verkehrsmittel im ÖV, nicht aber für den Verkehr in Pkw (privat oder gewerbliche Personenbeförderung) in Betracht gezogen werden.

6.4.2 Bestehende Rechtsnormen

Nach dem Neuentwurf der „Leitlinien der Union für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes“ (Verordnung (EU) Nr. 1315/2013) ist in den (zusätzlichen) Prioritäten für den Aufbau der Straßeninfrastruktur der Rad- und Fußverkehr deutlich hervorgehoben – mit Blick auf die Straßenverkehrssicherheit und auf die Förderung der aktiven Verkehrsträger durch

Fußgänger- und Radwege (vgl. Art. 31).⁵³ Allgemein findet sich eine (deutlichere) Zielausrichtung auf u. a. eine Steigerung des Güter- und Personenverkehrs mit nachhaltigeren Verkehrsträgern, eine optimalen Integration der Verkehrsträger sowie den multimodalen Verkehr (Art. 12 und 13).

Die (durch die Richtlinie (EU) 2019/1936 neugefasste) Richtlinie 2008/96/EG setzt für in Planung, im Bau oder in Betrieb befindliche Straßen, die Teil des transeuropäischen Straßennetzes sind, sowie Autobahnen und andere Fernstraßen Vorgaben über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur. Dabei ist sicherzustellen, dass den Bedürfnissen ungeschützter Verkehrsteilnehmenden Rechnung getragen wird (Art. 6b).

Die Straßengesetze des Bundes und der Länder enthalten u. a. Regelungen für die Errichtung und das Unterhalten von Straßen (Straßenbaulast). Das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) – und daran angelehnt auch viele Landesstraßengesetze – legt zur Straßenbaulast folgende grundsätzliche Maßstäbe fest:

„Die Träger der Straßenbaulast haben nach ihrer Leistungsfähigkeit die Bundesfernstraßen in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden Zustand zu bauen, zu unterhalten, zu erweitern oder sonst zu verbessern; dabei sind die sonstigen öffentlichen Belange einschließlich des Umweltschutzes sowie behinderter und anderer Menschen mit Mobilitätsbeeinträchtigung mit dem Ziel, möglichst weitreichende Barrierefreiheit zu erreichen, zu berücksichtigen.“⁵⁴

Grundsätzlich enthält das Straßenrecht ein geeignetes Instrumentarium (differenzierte Widmung, Teileinziehung, bauliche Veränderungen an Straßen) für eine an ökologischen Zielen ausgerichtet Umgestaltung des öffentlichen Straßenraums. Eine maßgebliche Ausrichtung am Verkehrsbedürfnis – regelmäßig des aktuell starken Autoverkehrs – macht eine auf Verkehrsverlagerung gerichtete lenkende Gestaltung allerdings faktisch unmöglich.

Hinzu kommt, dass im Rahmen des sogenannten Gemeingebrauchs eine Einschränkung bestimmter Nutzungen nur im Rahmen straßenverkehrsrechtlicher Anordnungsbefugnisse in Betracht kommt (Kapitel 6.3.2). Zwar sieht das Straßen- und Wegerecht eine Erlaubnispflicht für eine Sondernutzung des öffentlichen Straßenraums vor, doch kann sich diese Erlaubnispflicht nicht auf Nutzungsarten beziehen, die dem straßenrechtlichen Gemeingebrauch unterliegen (s. dazu ausführlich Öko-Institut & HWR 2019, S. 71 ff.). Für den Landesgesetzgeber besteht hier kaum bzw. kein Spielraum durch eine Definition der erlaubnispflichtigen Sondernutzung, gewerbliche Verkehrsangebote zu regulieren.⁵⁵

Schwierigkeiten ergeben sich zudem aus der Verteilung der Zuständigkeiten in Abhängigkeit von der Straßenkategorie. Für Bundesstraßen und für unselbstständige Radwege an Bundesstraßen liegt die Straßenbaulast beim Bund. Die Straßenbaulast wird im Wege der Auftragsverwaltung durch die Länder ausgeübt (Art. 90 Abs. 3 GG), sodass der Bund hier vor allem die Finanzierung trägt⁵⁶. Für Landesstraßen und Radschnellverbindungen des Landes ist das Land Straßenbaulastträger. Die Kommunen sind Straßenbaulastträger für die Gemeindestraßen sowie in Gemeinden mit mehr als 80.000 Einwohnern und Einwohnerinnen

⁵³ Aktuell läuft ein EU-Prozess zur Änderung der Verordnung, siehe zum aktuellen Stand hier: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/HIS/?uri=CELEX:52021PC0812>

⁵⁴ Zur Barrierefreiheit fordert § 8 Abs. 5 Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) darüber hinaus – ohne Einschränkung – eine barrierefreie Gestaltung öffentlicher Wege, Plätze und Straßen sowie öffentlich zugänglicher Verkehrsanlagen und Beförderungsmittel im öffentlichen Personenverkehr.

⁵⁵ Siehe dazu den Beschluss des Verwaltungsgerichts Berlin vom 01.08.2022, VG 1 L 193/22, zitiert nach: Verwaltungsgericht Berlin (2022).

⁵⁶ Siehe dazu auch die Bundesverkehrswegeplanung, das Fernstraßenausbaugesetz (FStrAbG) und den Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen.

für Ortsdurchfahrten von Landes- und Bundesstraßen (inkl. Radschnellverbindungen auf diesem Gebiet). Für die Kreisstraßen sind die Landkreise Baulastträger.

Städte mit mehr als 80.000 Einwohnern und Einwohnerinnen haben innerhalb ihres Gebietes grundsätzlich eine effektive Gestaltungsmöglichkeit. Für eine Baulastträger-übergreifende Netzplanung sind allerdings viele Akteure (Bund, Länder, Kreise und Kommunen) einzubeziehen. Bund und Länder können z.B. durch Verwaltungsvereinbarungen (öffentliche-rechtliche Verträge) eine beidseitig abgestimmte Bau- und Ausbauplanung in verbindlicher und verlässlicher Weise festlegen. Aus Sicht eines Landes kann es herausfordernd sein, landesweit unter Einbeziehung von Ortsdurchfahrten zu planen. Hierfür braucht es eine Abstimmung mit den Kommunen und ggf. die Bereitstellung der erforderlichen Finanzmittel durch das Land. Eine regionale Sicht wäre – aufgrund des Netzcharakters von Straßen – grundsätzlich hilfreich, ist in der Verteilung der Baulast allerdings nicht vorgesehen.

6.4.3 Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

Die bestehenden Abstimmungsbedarfe zwischen den verschiedenen Straßenbaulastträgern sollten durch ein festgelegtes Kooperationsverfahren zwischen allen Akteuren verbessert werden (vgl. auch Kapitel 8.2).

Auch sollten das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) und die Landesstraßengesetze in ihrer Zielausrichtung ökologische Belange stärker berücksichtigen und insbesondere eine lenkende Verkehrsverlagerung leichter ermöglichen. Zur Unterstützung einer Verkehrsverlagerung sollte es möglich sein, die Kapazitäten im Straßenraum für den fließenden und ruhenden MIV zu verringern und für den Umweltverbund und nicht verkehrliche Zwecke zu erhöhen.

Hierfür könnte die Anknüpfung an das „regelmäßige Verkehrsbedürfnis“ im Bundesfernstraßengesetz (und daran angelehnt in entsprechender Weise in den Landesstraßengesetzen) nur noch auf die Unterhaltung der Straßen bezogen werden. Für den Bau, die Erweiterung und die Verbesserung von Straßen sollte hingegen die Planung für die Verkehrswege des Bundes (bzw. des Landes) als Maßstab festgelegt werden, die ihrerseits ökologischen Zielsetzungen folgen sollte.

Denkbar ist eine Neuformulierung von § 3 Abs. 1 FStrG wie folgt (s. zu ähnlichen Vorschlägen: Hermes et al. 2022, S. 31 f.):

- Die Straßenbaulast umfasst alle mit dem Bau und der Unterhaltung der Bundesfernstraßen zusammenhängenden Aufgaben. Die Träger der Straßenbaulast haben nach ihrer Leistungsfähigkeit die Bundesfernstraßen in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden Zustand zu unterhalten. Die Verpflichtung, Bundesfernstraßen zu bauen, zu unterhalten, zu erweitern oder sonst zu verbessern richtet sich nach der alle fünf Jahre zu aktualisierenden Planung für die Verkehrswege des Bundes, die Zielvorgaben für das System der Bundesverkehrswege für Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz sowie Flächen- und Ressourcenverbrauch festlegt sowie die Ziele und Grundsätze der Raumordnung und die Erfordernisse der städtebaulichen Entwicklung berücksichtigt und zur Erfüllung dieser Zielvorgaben den Bedarf für Maßnahmen zur Entwicklung des Verkehrssystems identifiziert.

6.5 Öffentlich-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente

6.5.1 Regulierungserfordernisse

Eine Steuerung des Verkehrs über öffentlich-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente ist auch ohne das automatisierte Fahren relevant, so dass diesbezügliche

Regulierungserfordernisse einen generellen Charakter haben. Die Relevanz erhöht sich allerdings mit Blick auf die durch das automatisierte Fahren im Motorisierten Individualverkehr und im Güterverkehr zu erwartende Steigerung der Fahrleistung (vgl. Kapitel 5.2.2.1 und 5.2.4.1). Wenn die fahrleistungsabhängigen Kosten sinken, ist es wichtig eine Möglichkeit der Gegensteuerung zur Verfügung zu haben. Auch kann eine Steuerung über die Bepreisung der Notwendigkeit von Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen und Fahrverboten vorgreifen (vgl. Kapitel 6.3.1) und kann gegenüber diesen Ansätzen ein milderes Mittel darstellen.

Erforderlich ist insbesondere eine differenzierte Erhebung von **Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung**, die die externen Kosten des jeweiligen Verkehrs berücksichtigt (s. dazu z.B. Studie European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport 2019a). Es geht hierbei um ein Entgelt für die Nutzung der öffentlichen Infrastruktur, um die Kosten des Verkehrssystems zu finanzieren und dessen externe Kosten zu kompensieren. Mit dem Rückgang der Mineralölsteuer wird ein neues leistungsabhängiges Entgelt erforderlich, dass die Kostenverursachung (vgl. UBA 2020, S. 9 f.) berücksichtigt. Die Steuerung muss auf eine Verminderung der Fahrleistung im motorisierten Straßenverkehr ausgerichtet sein, z.B. durch CO₂- und luftschadstoffbasierte Gebühren- bzw. Entgeltsätze bzw. für den Güterverkehr eine Lkw-Maut nach CO₂-Ausstoß pro Nutzlast. Für den Personenverkehr sollte dadurch insbesondere in überlasteten Räumen eine Reduzierung des Verkehrs mit privaten Fahrzeugen und gewerblichen Fahrdiensten erreicht werden. Für den Güterverkehr wäre denkbar, durch Ausnahmen im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs auf der Straße, eine Verlagerung zum Schienengüterverkehr zu beanreizen.

Eine hohe Energieeffizienz sollte zudem durch eine Anhebung der **Energiesteuer oder über den CO₂-Preis (CO₂-Emissionshandel)** beanreizt werden. Über eine **Kraftfahrzeugsteuer** in Abhängigkeit von Gewicht kann zudem die Nutzung schwerer und damit weniger klimaschutzgerechter Fahrzeuge verteuert werden.

Für das automatisierte und vernetzte Fahren sind ergänzend dazu allerdings weitere Maßnahmen erforderlich, die insbesondere den aus den IT-Systemen resultierenden zusätzlichen Energiebedarf adressieren. Denkbare Ansätze wären z.B. die **Besteuerung eines hohen Energieverbrauchs pro Pkm/Tkm** (als Anreizsetzung für eine höhere Beförderungseffizienz) oder eine Berücksichtigung der gegenüber analogen Pkw zusätzlichen Energiebedarfe in der Ausgestaltung der Kraftfahrzeugsteuer. Automatisierte Fahrzeuge könnten hier z.B. in höhere Gewichtsklassen eingestuft werden, um die zusätzlich systembedingte Energiebedarfe zu berücksichtigen. Dies könnte für sowohl für die Herstellung als auch den Kauf von automatisierten Pkw einen Anreiz für leichte und energieeffiziente Fahrzeuge setzen.

6.5.2 Bestehende Rechtsnormen

In Verordnungen, Richtlinien und Leitlinien der EU sind verschiedene Preissteuerungsinstrumente vorgesehen. Die Energiesteuerrichtlinie⁵⁷ sieht eine Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom vor. Das bestehende EU-Emissionshandelssystem⁵⁸ für bestimmte Sektoren ist zentrales Instrument zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in der Energiewirtschaft sowie der energieintensiven Industrie (allerdings bisher nicht für den Verkehr). Das Klimaschutzpaket „Fit für 55“ (Europäische Kommission 2021b) der Europäischen Kommission (Juli 2021) sieht eine Ausweitung des Emissionshandels auf den Straßenverkehr bzw. die Einrichtung eines neuen EU-weiten

⁵⁷ Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom.

⁵⁸ Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union.

Emissionshandelssysteme für den Straßenverkehr vor (vgl. Europäische Kommission 2021c). Im Neuentwurf der „Leitlinien der Union für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes“ (Verordnung (EU) Nr. 1315/2013) sind für den Aufbau der Straßeninfrastruktur u. a. folgende (zusätzliche) Prioritäten vorgesehen (vgl. Art. 31):

- ▶ Minderung von Überlastung auf bestehenden Straßen, insbesondere durch intelligentes Verkehrsmanagement, einschließlich dynamischer Stau- oder Mautgebühren, die je nach Tageszeit, Woche oder Jahreszeit variieren,
- ▶ Einführung innovativer Technologien, um die Kontrolle der Einhaltung des Rechtsrahmens der Union im Bereich des Straßenverkehrs zu verbessern, einschließlich intelligenter und automatisierter Durchsetzungsinstrumente und 5G-Kommunikationsinfrastruktur.

Die ursprünglich nur für den Güterkraftverkehr (für Kraftfahrzeuge mit Gewicht von mehr als 3,5 t) geltende sog. Wegekostenrichtlinie (Richtlinie 1999/62/EG) wurde im Februar 2022 im Anwendungsbereich erheblich erweitert und enthält nun auch allgemeine Rahmenbedingungen für Maut- und Benutzungsgebühren, die von Fahrzeugen erhoben werden.⁵⁹ Dabei definiert die Richtlinie den Gebührenbegriff in Art. 2 Abs. 1 wie folgt:

- ▶ „Nr. 7: ‚Mautgebühr‘ eine für eine Fahrt eines Fahrzeugs auf einem bestimmten Verkehrsweg zu leistende Zahlung, deren Höhe sich nach der zurückgelegten Wegstrecke und dem Fahrzeugtyp richtet, die zur Benutzung der Verkehrswege durch das Fahrzeug berechtigt und die eine oder mehrere der folgenden Gebühren beinhaltet:
 - a) eine Infrastrukturgebühr;
 - b) eine Staugebühr; oder
 - c) eine Gebühr für externe Kosten“
- ▶ „Nr. 8: ‚Infrastrukturgebühr‘ eine Abgabe zur Anlastung der infrastrukturbezogenen Bau-, Instandhaltungs-, Betriebs- und Ausbaukosten, die in einem Mitgliedstaat entstehen“
- ▶ „Nr. 9: ‚Gebühr für externe Kosten‘ eine Abgabe zur Anlastung der Kosten, die durch einen oder mehrere der folgenden Faktoren entstehen:
 - a) verkehrsbedingte Luftverschmutzung,
 - b) verkehrsbedingte Lärmbelastung oder
 - c) verkehrsbedingte CO₂-Emissionen“
- ▶ „Nr. 13: ‚Stau‘ eine Situation, in der das Verkehrsaufkommen die Aufnahmekapazität der Straße fast erreicht hat oder überschreitet“
- ▶ „Nr. 14: ‚Staugebühr‘ eine Abgabe, die von Fahrzeugen zur Anlastung der in einem Mitgliedstaat entstehenden staubedingten Kosten und zur Staureduzierung erhoben wird“

Die Art. 7 ff. enthalten zahlreiche Detailvorgaben zur Ausgestaltung von Maut- und Benutzungsgebühren in den Mitgliedstaaten. In der im März 2022 neugefassten Richtlinie (EU) 2019/520⁶⁰ werden Vorgaben für die Interoperabilität elektronischer Mautsysteme gesetzt.

⁵⁹ Ursprünglich: Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. Seit Februar 2022: Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung von Straßeninfrastrukturen durch Fahrzeuge.

⁶⁰ Richtlinie (EU) 2019/520 über die Interoperabilität elektronischer Mautsysteme und die Erleichterung des grenzüberschreitenden Informationsaustauschs über die Nichtzahlung von Straßenbenutzungsgebühren in der Union.

Bestehende Preissteuerungsinstrumente des Bundes sind u. a. (teilweise in Umsetzung von EU-Richtlinien):

- ▶ Kraftfahrzeugsteuer für das Halten von Fahrzeugen, Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG),
- ▶ Lkw-Maut für den Güterkraftverkehr mit Kraftfahrzeugen mit Gewicht von mindestens 7,5 t, Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG),
- ▶ Verbrauchsteuer für Energieerzeugnisse, Energiesteuergesetz (EnergieStG),
- ▶ CO₂-Emissionshandel für Sektoren, die (bisher) nicht vom EU-Emissionshandel erfasst sind (u. a. Gebäudewärme und Verkehr), Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG).

Daneben haben einige Regelungen im Einkommenssteuergesetz (EStG) eine MIV-spezifische Wirkung (s. dazu auch UBA 2020, S. 17 und 20 ff.). Die private Nutzung von elektrisch betriebenen Dienstwagen wird steuerlich begünstigt (§ 6 Abs. 1 Nr. 4 Satz 2 EStG), was als MIV-fördernde Maßnahme mit Blick auf ökologische Nachhaltigkeit abzulehnen ist. Ebenfalls zu Ungunsten des Umwelt- und Klimaschutzes wirkt die Entfernungspauschale als allgemein MIV-fördernde Maßnahme (§ 9 EStG).

6.5.3 Rechtlicher Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

Gebühren bzw. Entgelte für die Straßennutzung unter Berücksichtigung externer Kosten sollten mit Blick auf die zu erwartenden Veränderungen durch das automatisierte und vernetzte Fahren umgesetzt werden. Für entsprechende Regelungen ist eine (konkurrierende) Gesetzgebungskompetenz des Bundes gegeben (Art. 74 Abs. 1 Nr. 22 GG) (vgl. Hermes et al. 2022a, S. 21 f.).

Denkbar wäre eine an die Vorschläge von Hermes et al. (2022)⁶¹ angelehnte rechtliche Umsetzung, die das Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG) erweitert und eine Konkretisierung des Entgeltkonzepts im Rahmen der – an Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz sowie Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs ausgerichteten – Mobilitätsplanung des Bundes vorgibt.

- ▶ Grundsatz der Nutzerfinanzierung: Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur durch fahrleistungsabhängige Nutzungsentgelte motorgetriebener Fahrzeuge,
- ▶ Erweiterung des BFStrMG auf motorisierte Fahrzeuge jeglicher Art und auf Straßen nach Landesrecht (ohne Beschränkung),
- ▶ Sozialverträgliche Ausgestaltung des Entgeltkonzepts,
- ▶ Planerische Konkretisierung der Entgeltgrundsätze, Berücksichtigung der Mobilitätsplanung des Bundes und der Länder,
- ▶ Zweck: Beitrag zur Deckung der Infrastrukturkosten und der externen Kosten des Verkehrs (u. a. Kosten der Lärmbelastung, der Luftschadstoffe, des Klimawandels und die Unfallfolgekosten),
- ▶ Differenziert nach Kostenverursachung und Kostenveranlassung,
- ▶ Möglichkeit von Auf- und Abschlägen abhängig von z.B. dem individuellen Wert der jeweiligen Verkehrsdienste und der zeitlichen und räumlichen Variabilität.

⁶¹ Siehe dazu die bei Hermes et al. (2022) die Regelungsvorschläge und Begründung zu den §§ 29 Abs. 2, 33 BMobG-Entwurf, S. 21 ff., 32 f., 86 ff. und 97.

Zu der Frage, ob und wie der aus IT-Systemen resultierende zusätzliche Energiebedarf für das automatisierte und vernetzte Fahren z.B. durch die **Kraftfahrzeugsteuer** effektiv lenkend berücksichtigt werden kann, besteht weiterer Klärungsbedarf. Ein Ansatz könnte sein, automatisierte und vernetzte Fahrzeuge im Vergleich zu „analogen“ Fahrzeugen in einer höheren Steuerklasse einzuordnen oder diesen Aspekt bei Gebühren bzw. Entgelte für die Straßennutzung durch eine Erhöhung für externe Kosten zu berücksichtigen.

Bei der Kraftfahrzeugsteuer könnte zudem eine Verteuerung in Abhängigkeit von Gewicht sowie – unter Nutzung der durch die Automatisierung Vernetzung vorhandenen Daten – eine differenzierte Kraftfahrzeugsteuer in Abhängig vom Energieverbrauch bzw. von der Beförderungseffizienz in Betracht gezogen werden (Verhältnis Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer zur verbrauchten Energie bzw. zu den Fahrzeugkilometern unter Berücksichtigung von Leerkilometern).

Bestehende **MIV-fördernde Maßnahmen im Einkommenssteuergesetz** sollten sozialverträglich abgeschafft werden (vgl. UBA 2020, S. 20 ff.).

6.6 Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

6.6.1 Regulierungserfordernisse

Die identifizierten Regulierungserfordernisse mit Bezug zum Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr sind (im Wesentlichen) auch ohne das automatisierte Fahren relevant, allerdings bekommen sie durch das automatisierte und vernetzte Fahren eine höhere Dringlichkeit (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1). Durch das fahrerlose Fahren fallen die Personalkosten – als bisher begrenzender Faktor – weg und eine straßengebundene Beförderung könnte sich dann auch für solche Verkehre lohnen, die bisher zu hohe Kosten aufweisen. Gleichzeitig werden auch individuelle Fahrten mit privaten Fahrzeugen für Personengruppen, die bisher nicht fahren durften, konnten oder wollten, zugänglich und attraktiv. Bisherige Autofahrerinnen und Autofahrer können nun die Zeit anderweitig nutzen und somit fällt eine zusätzliche Hürde für Autonutzung weg.

Durch das automatisierte Fahren ist zu erwarten, dass ein erhöhter **Einsatz privater Fahrzeuge** für den Transport von Waren oder Personen gegen Entgelt erfolgt. Hier sollte frühzeitig sichergestellt werden, dass eine solche Tätigkeit von den verkehrsgewerberechtlichen Regelungen erfasst wird⁶² und entweder verboten oder nur beschränkt rechtlich zulässig ist.

Auch für die **Mobilitätsvermittlung** ergeben sich Regulierungserfordernisse, um eine ökologisch nachhaltige Umsetzung sicherzustellen. Unter anderem sind (gesetzliche) Regelungen zu folgenden Punkten erforderlich:

- ▶ Datenbereitstellung durch Mobilitätsanbieter im Umweltverbund,
- ▶ Festlegung des Verhältnisses von Mobilitätsanbietern und Vermittlern,
- ▶ Verhinderung einer marktbeherrschenden Position eines oder weniger insbesondere privatwirtschaftlicher Mobilitätsvermittler,
- ▶ Verhinderung einer Ausgestaltung der Mobilitätsvermittlung, die Personen faktisch ausschließt,

⁶² Vgl. für den Anwendungsbereich des PBefG von Bodungen/Hoffmann (2021): „Da bislang nur der Fremdtransport einer Genehmigung nach Maßgabe des PBefG bedarf, sind Anreize zur Strukturierung von Mobilitätskonzepten im Gewande einer Gebrauchsüberlassung autonomer Beförderungsmittel zur Eigennutzung nicht von der Hand zu weisen.“

- ggf. Vergabe von gebietsbezogen exklusiven Konzessionen für Mobilitätsplattformen, die einen Verkehrsmittelzugang für alle schaffen (oder öffentliche Bestellung der Plattform), um die Chancen der Mobilitätsvermittlung für eine nachhaltige Mobilität zu realisieren und die gegebenen Risiken zu minimieren (vgl. dazu oben in Kapitel 5.2.1.2.1 und 5.2.1.2.3),
- Beschränkungen für die Vermittlung von Mobilitäts- bzw. zusätzlichen Serviceleistungen, die nachteilige Effekte auf die ökologische Nachhaltigkeit haben können.

Für automatisierte wie auch nicht automatisierte **Fahrdienste** sollte sichergestellt werden, dass diese nicht in Konkurrenz zum Umweltverbund treten. Dafür sollten betriebliche Nachhaltigkeitsanforderungen festgelegt werden, die z.B. ermöglichen, dass und wie diese Fahrdienste in das ÖV-Netz integriert werden müssen. Denkbar wäre, dass die Zulassung entsprechender Fahrdienste nur beschränkt z.B. auf Fahrten auf der ersten/letzten Meile und zum Lückenschluss im ÖV (in nachfrageschwache Zeiten und Gebieten) erteilt wird. Die Ausrichtung des Angebotskonzepts auf geteilte Fahrten (Sammelfahrdienste) muss verpflichtend vorgegeben werden können. Auch eine Beschränkung der insgesamt zugelassenen Anzahl an Fahrdienst-Anbietern in einem bestimmten Gebiet, eine Beschränkung der Anzahl zugelassener Fahrzeuge (pro Anbieter bzw. insgesamt) und eine Beschränkung der zugelassenen Länge für Repositionierungsfahrten und Leerfahrten sollte erfolgen können. Darüber hinaus muss ein Monitoring und eine Evaluation der Angebote anhand geeigneter Messzahlen (z.B. Verhältnis Verkehrsleistung zu Betriebsleistung) und bei Bedarf eine Nachsteuerungsmöglichkeit vorgesehen werden.

Soweit ein Sammelfahrdienst Lücken des ÖV-Systems schließt und zur Gewährleistung von Mobilität für alle erforderlich ist, muss sichergestellt werden, dass er in „ÖPNV-Qualität“ umgesetzt werden – dies gilt für den Zugang zum Angebot (keine exklusiv wirkenden Buchungsvoraussetzungen), für die Preisgestaltung („ÖPNV-Tarif“) und für die Nutzung (Möglichkeit barrierefreier Beförderung, Mitnahme Kinderwagen, Fahrrad, Gepäck). Auch muss das Angebot regelmäßig und verlässlich zur Verfügung stehen.

Für besondere und konkret zu definierende Personengruppen ist denkbar, dass Ausnahmen von den o. g. Anforderungen zulässig sind (z.B. in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen).

6.6.2 Bestehende Rechtsnormen

Das Personenbeförderungsgesetz (PBefG) enthält die gewerberechtliche Ordnung für eine entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, mit Oberleitungsomnibussen (Obussen) und mit Kraftfahrzeugen (vgl. dort § 1 Abs. 1).⁶³

Vom PBefG erfasst ist nur die Fremdbeförderung von Personen im Straßenverkehr. Eine gewerberechtliche Ordnung für die Selbstbeförderung mit öffentlich-zugänglichen Mobilitätsangeboten gibt es nicht.

Ausgenommen vom Anwendungsbereich des PBefG sind Beförderungen mit Pkw, die unentgeltlich sind oder ein bestimmtes Entgelt nicht überschreiten (§ 1 Abs. 2 Nr. 1). Die Ausnahme zielt in erster Linie auf Gefälligkeitsfahrten (Mitnahmen bzw. Fahrgemeinschaften).

Daneben enthält das PBefG:

- Regelungen für Mobilitätsplattformen bzw. Vermittler, wobei die Reichweite der für diese geltenden Regelungen bei der aktuellen Gesetzesformulierung unklar ist (vgl. § 1 Abs. 1a sowie § 1 Abs. 3 i.V.m. § 2 Abs. 1b) (vgl. KCW 2022, S. 25 ff.).

⁶³ Siehe ausführlich dazu (allerdings zum Gesetzesstand vor der PBefG-Novelle 2021): KCW, 2020, S. 30 f. und 34 ff.

- Regelungen für die Bereitstellung von Mobilitätsdaten, die Datenverarbeitung und die Datenlöschung (vgl. §§ 3a, 3b, 3c und die Mobilitätsdatenverordnung, MDV).

Aus verfassungsrechtlichen Gründen ist im Bereich der Personenbeförderung eine Abgrenzung zwischen der Regulierung des Verkehrsgewerbes (in Bundeskompetenz) und der Daseinsvorsorge im öffentlichen Personennahverkehr (in Landeskompetenz) erforderlich. Der Bund kann im PBefG keine Vorgaben im Sinne der Daseinsvorsorge setzen.

Die vom PBefG erfassten Beförderungen stehen unter einem Genehmigungsvorbehalt (Verbot mit Erlaubnisvorbehalt). Eine Genehmigung kann nur für die im PBefG festgelegten Verkehrsarten und -formen erteilt werden (sog. Typenzwang). Die Konkurrenzverhältnisse innerhalb eines Verkehrstyps und zwischen verschiedenen Verkehrstypen werden durch die jeweiligen Genehmigungsvoraussetzungen und -folgen bestimmt (sog. Abstandsgebot).

Für die Personenbeförderung mit Kraftfahrzeugen werden der Linienverkehr (§§ 42 bis 45) und der Gelegenheitsverkehr (§§ 46 bis 51a) unterschieden. Linienverkehr im Sinne des PBefG ist (durch eine gesetzliche Fiktion) auch der Linienbedarfsverkehr, der, als Verkehr im ÖPNV, der Beförderung von Fahrgästen „auf vorherige Bestellung ohne festen Linienweg“ dient (§ 44). Als Formen des Gelegenheitsverkehrs sind der Verkehr mit Taxen (§ 47), Ausflugsfahrten und Ferienzele-Reisen (§ 48), der Verkehr mit Mietomnibussen und mit Mietwagen (§ 49) und der gebündelte Bedarfsverkehr (§ 50) vorgesehen.

Dem PBefG wie auch den auf Basis des PBefG erlassenen Verordnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Personenbeförderung mit Fahrpersonal erfolgt. Taxiähnliche Fahrdienste (mit Fahrpersonal) können als Mietwagenverkehr, Sammelfahrdienste (mit Fahrpersonal) „ohne festen Linienweg“ entweder als Linienbedarfsverkehr oder als gebündelter Bedarfsverkehrs genehmigungsfähig sein. Der Marktzugang für (App-vermittelte) Mietwagenverkehre (mit Fahrpersonal) unterliegt keiner Beschränkung hinsichtlich einer Höchstzahl an Genehmigungen. Für den gebündelten Bedarfsverkehr hingegen kann der Marktzugang beschränkt werden, wenn die „Verkehrseffizienz“ nicht mehr sichergestellt ist, wobei eine festgesetzte Höchstzahl der genehmigungsfähigen Fahrzeuge und die Zahl bereits genehmigter Fahrzeuge zu berücksichtigen sind (§ 13 Abs. 5a). Zudem können Kommunen den gebündelten Bedarfsverkehr mit weiteren Vorgaben regulieren (§ 50, § 51 Abs. 2).

6.6.3 Rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarf

Es besteht – parallel zur technischen Fortentwicklung – ein erheblicher Klärungs- und Anpassungsbedarf für das Verkehrsgewerberecht im Personenverkehr insgesamt. Die Gesamtkonzeption des PBefG geht davon aus, dass eine Fremdbeförderung mit einer fahrzeugführenden Person erfolgt. Mit Blick auf das automatisierte, fahrerlose Fahren ist ohne Änderung von Rechtsnormen vielfach keine sinnvolle Anwendung der PBefG-Regelungen möglich. Ein minimales Nachsteuern durch z.B. eine Erweiterung des Anwendungsbereichs auch auf eine fahrerlose Personenbeförderung reichen für eine abschließende rechtliche Klärung nicht aus. Für das automatisierte Fahren fällt zwar die fahrzeugführende Person weg, doch werden weitere Akteure im laufenden Betrieb eingebunden sein. Rechtlicher Klärungsbedarf besteht u. a. dazu, wie sich eine automatisierte Form des heutigen „Carsharings“ – also eines Verleihdienstes im Mobilitätsbereich zur geteilten Nutzung von Kraftfahrzeugen – (Selbstbeförderung) zu einer automatisierten Form etwa der heutigen Beförderung im Mietwagenverkehr (Fremdbeförderung) verhält. Gleiches gilt für die Abgrenzung zwischen einer privaten automatisierten Fahrt (Selbstbeförderung) und einer Beförderung durch ein Unternehmen (Fremdbeförderung).

Unabhängig von diesen grundsätzlichen Klärungsbedarfen werden die Regelungen im aktuellen PBefG – bei einer hypothetischen Anwendung auf das fahrerlose Fahren – den o. g. Regulierungserfordernissen nicht gerecht:

- ▶ Ein Transport von Waren fällt bereits nicht in den sachlichen Anwendungsbereich des PBefG und kann daher auf Basis von PBefG-Regelungen nicht verhindert oder beschränkt werden. Für die Beförderung von Personen wäre denkbar, dass die o. g. Ausnahme für Gefälligkeitsfahrten greift, obwohl dies sachlich nicht gerechtfertigt wäre.
- ▶ Die vorhandenen Regelungen für die Mobilitätsvermittlung und die Mobilitätsdaten sind ebenfalls nicht ausreichend, um die o. g. Regulierungserfordernisse zu tragen.
 - Insbesondere braucht es eine umfassende und klare Regelung zu der Rechtsstellung der Mobilitätsplattform selbst wie auch für das Verhältnis zwischen Plattformbetreiber und Verkehrsunternehmen.⁶⁴ Dies erfordert eine klare und praxistaugliche Definition der gewerberechtlich erfassten Vermittlungsplattformen (z.B. angelehnt an die Rechtsprechung des EuGH⁶⁵: bei konzeptioneller Verbindung von Vermittlung und Fahrdienst zu einer Gesamtdienstleistung) und eine klare Festlegung der Rechtsfolgen (Genehmigungspflicht, Mitverantwortung zur Einhaltung der gewerberechtlichen Vorgaben durch die vermittelten Fahrdienste, standardisierte Berichtspflichten).
 - Wichtig wäre z.B. zudem eine Erweiterung der Datenbereitstellungspflicht an den Nationalen Zugangspunkt im Sinne der IVS-Rechtsquellen (vgl. dazu Kapitel 6.1.2) auf den Schienenpersonennahverkehr und auf weitere öffentlich zugängliche Mobilitätsangebote.⁶⁶
- ▶ Auch die erforderliche eingeschränkte Zulassung von fahrerlosen Fahrdiensten könnte bei einer (hypothetischen) Anwendung der aktuellen Regelungskonzeption (zum Linienbedarfsverkehr, gebündelten Bedarfsverkehr und Mietwagenverkehr) nicht sinnvoll erreicht werden. Hervorzuheben ist insbesondere, dass für den App-vermittelten Mietwagenverkehr eine Beschränkung der Anzahl an Anbietern bzw. Fahrzeugen nicht möglich ist. Zudem ist diese Verkehrsform wesentlich geringer reguliert als der gebündelte Bedarfsverkehr (vgl. KCW 2022, S. 46.).

6.7 Schwerpunkt Güterverkehr

6.7.1 Regulierungserfordernisse

Die identifizierten Regulierungserfordernisse für den Güterverkehr sind (im Wesentlichen) auch ohne das automatisierte Fahren relevant, allerdings bekommen sie durch das automatisierte und vernetzte Fahren eine höhere Dringlichkeit.

Grundvoraussetzung der Förderung des ökologisch nachhaltigen Schienengüterverkehrs bzw. des Kombinierten Verkehrs auf Schiene und Straße und der ökologisch nachhaltigen Gestaltung städtischer Belieferungskonzepte mit autonomen Fahrzeugen ist eine zielgerichtete und integrierte Verkehrsplanung auf verschiedenen Ebenen (vgl. dazu Kapitel 8.2).

⁶⁴ Zu den bestehenden Unklarheiten bei der aktuellen Rechtslage siehe KCW 2022, S. 25 ff. Zu Ansätzen für eine gewerberechtliche Regulierung von Vermittlungsplattformen siehe KCW, 2020, S. 207.

⁶⁵ Vgl. EuGH, Urteil vom 20.12.2017, C-434/15 und EuGH, Urteil vom 10.04.2018, C-320/16.

⁶⁶ Siehe zu den Rahmenbedingungen und rechtlichen Spielräumen ausführlich: Hermes et al. 2022a, S. 83 ff.

Für den **Straßengüterverkehr** ergeben sich insbesondere die nachfolgenden Regulierungserfordernisse, die jeweils in den vorangegangenen Kapiteln gemeinsam mit den Erfordernissen im Personenverkehr dargestellt sind:

- ▶ Thema Sicherheit: Erhöhte Sicherheitsauflagen bei Fahrzeugzulassung und Fortentwicklung von Vorschriften zu sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen (vgl. dazu Kapitel 6.2.1).
- ▶ Thema ruhender und fließender Verkehr: Positivnetz/Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge, Verbot des Parkens außerhalb des Netzes bzw. außerhalb von extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätzen, räumlich und zeitlich differenzierte Zufahrtsbeschränkungen sowie Geschwindigkeitsregulierung zur Gewährleistung von Sicherheit von Rad- und Fußverkehr sowie Reduktion negativer ökologischer Effekte sowie straßenverkehrsrechtliche Vorgaben für Fahrzeuge in der urbanen Logistik (vgl. dazu Kapitel 6.3.1).
- ▶ Thema Steuern und Abgaben: Differenzierte Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung, die die externen Kosten des jeweiligen Verkehrs berücksichtigt (mit denkbaren Ausnahmen für den Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs auf der Straße) und Anhebung der Energiesteuer (vgl. dazu Kapitel 6.5.1).

Darüber hinaus ist denkbar, dass in urbanen Gebieten gezielt ökologisch nachhaltig ausgestaltete **automatisierte urbane Logistik-Systeme** durch die Vergabe zeitlich befristeter Gebietskonzessionen an einzelne Anbieter etabliert werden (vgl. die folgenden Abschnitte). Durch die Konzessionierung wird gleichzeitig die Basis für die Wirtschaftlichkeit des Betriebs gelegt und Investitionen ermöglicht. Durch eine wettbewerbliche Vergabe der Konzession wird für Konkurrenzdruck gesorgt. Die Bündelungseffekte bewirken einen geringeren Ressourceneinsatz, der sowohl für die Nachhaltigkeit als auch für die Wirtschaftlichkeit sinnvoll ist.

Für das von der Konzession erfasste Gebiet könnten

- ▶ zugelassene Lieferpunkte, -gebiete, -strecken und ggf. -routen so definiert werden, dass Nutzungskonflikte im urbanen Raum ausgeräumt und die Verkehrssicherheit durch die Auswahl geeigneter Strecken erhöht werden sowie
- ▶ durch die Auswahl eines bzw. weniger Anbieter stärkere Bündelungseffekte erreicht und Parallelverkehr durch das Nebeneinander mehrerer Anbieter vermieden werden.

Zugleich müsste gewährleistet werden, dass zusätzliche Fahrten zwischen den Verteilzentren den anderweitigen Einsparungen nicht zuwiderlaufen.

Für die Stärkung des **Schienengüterverkehrs bzw. des Kombinierten Verkehrs auf Schiene und Straße** sind umfangreiche Fördermaßnahmen (vgl. dazu Kapitel 8.6), eine technische Standardisierung bzw. Harmonisierung sowie regulatorische Vereinfachungen bzw. Anreizsetzungen erforderlich (vgl. die folgenden Abschnitte). Neben dem Kombinierten Verkehr sollten auch innovative Einrichtungen für einen multimodalen Verkehr beachtet werden.

6.7.2 Bestehende Rechtsnormen

Eine Vergabe von **Gebietskonzessionen für urbane Logistik-Systeme** ist im bestehenden Recht nicht vorgesehen. Weder das bestehende Gewerberecht noch das bestehende Straßenverkehrsrecht (Kapitel 6.3.2) oder das Straßen- und Wegerecht (Kapitel 6.4.2) erlauben eine Konzessionsvergabe bzw. eine exklusiv wirkende Bevorzugung einzelner Anbieter.

Das Gewerberecht für den Güterkraftverkehr findet sich insbesondere in folgenden Rechtsquellen:

- ▶ Verordnung (EG) Nr. 1072/2009 über gemeinsame Regeln für den Zugang zum Markt des grenzüberschreitenden Güterkraftverkehrs,
- ▶ Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG),
- ▶ Verordnung über den grenzüberschreitenden Güterkraftverkehr und den Kabotageverkehr (GüKGKabotageV).

Der gewerbliche Güterkraftverkehr ist grundsätzlich erlaubnispflichtig (§ 3 Abs. 1 GüKG). Ein Kraftverkehrsunternehmer muss für die Erlaubnis nachweisen, dass die Berufszugangsvoraussetzungen erfüllt sind (tatsächliche und dauerhafte Niederlassung, Zuverlässigkeit, finanzielle Leistungsfähigkeit und geforderte fachliche Eignung). Anders als bei der gewerblichen Personenbeförderung kann allerdings eine erteilte Erlaubnis für einen Unternehmer keine Exklusivwirkung haben, die zur Ablehnung einer Erlaubnis für andere Unternehmer führt. Vor der Einführung einer exklusiv wirkenden Erlaubnis bzw. Konzession auf nationaler Ebene bestehen allerdings mit Blick auf den freien Binnenmarkt EU-rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe. Gegenüber dem öffentlichen Personenverkehr ist (aktuell) ein lenkendes Eingreifen des Staates für den Güterverkehr EU-rechtlich nur deutlich eingeschränkter möglich.

Für den **Schienengüterverkehr sind technische Spezifikationen für die Interoperabilität** in der Richtlinie (EU) 2016/797 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und der auf dieser Richtlinie beruhenden Durchführungsverordnungen (EU) der Kommission festgelegt. Die Richtlinie (EU) 2016/797 ist in der – das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) ergänzenden – Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung (EIGV) umgesetzt. Das Inverkehrbringen eines Fahrzeugs bzw. die Inbetriebnahme eines Teilsystems Infrastruktur, Energie, streckenseitige Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung sowie die erstmalige Inbetriebnahme der übrigen Eisenbahninfrastruktur sind genehmigungspflichtig sind (§ 9 EIGV). Technische Spezifikationen für die Interoperabilität sind anzuwenden (§ 4 Abs. 1 Satz 1 EIGV). Allerdings müssen bestehende Infrastrukturen und bestehende Fahrzeuge grundsätzlich nicht den neuen technischen Spezifikationen für die Interoperabilität oder deren Änderungen genügen, vielmehr sind diese Vorgaben erst bei einer Aufrüstung oder Erneuerung zu beachten (§ 4 Abs. 5 EIGV).

EU-rechtlich sind regulatorische **Erleichterungen für Zu- und Ablauftransporte des Kombinierten Verkehrs auf der Straße** in Richtlinie 92/106/EWG über die Festlegung gemeinsamer Regeln für Beförderungen im kombinierten Güterverkehr zwischen Mitgliedstaaten vorgesehen (mit Blick auf Genehmigungspflichten, Steuern, Tarifpflichten und Pflichten im Betrieb).

6.7.3 Rechtlicher Klärungs- und Anpassungsbedarf

Das Gewerberecht für den Güterkraftverkehr müsste um die Möglichkeit der Vergabe von **Gebietskonzessionen für urbane Logistik-Systeme** ergänzt werden.

EU-rechtliche Ansätze für eine technische Standardisierung bzw. Harmonisierung im **Schienengüterverkehr** sind bereits gegeben (Richtlinie (EU) 2016/797 und Durchführungsverordnungen). Damit diese als ein EU-weit harmonisiertes und damit für den Schienengüterverkehr grenzüberschreitendes Eisenbahnsystem verwirklicht werden können, müssen insbesondere die Infrastruktur aufgerüstet und ausgebaut und die Fahrzeuge entsprechend aufgerüstet oder erneuert werden (vgl. dazu Kapitel 8.6).

Für **Zu- und Ablauftransporte des Kombinierten Verkehrs auf der Straße** ist eine Fortentwicklung der EU-rechtlichen Vorgaben zu befürworten. Auf Basis einer Revision der Richtlinie 92/106/EWG im Jahr 2021 hat die Europäische Kommission – vor dem Hintergrund des europäischen Grünen Deals – eine Überprüfung der Art der zu unterstützenden Transportvorgänge und der Art der diesbezüglich wirksamsten Unterstützungsmaßnahmen angestoßen (vgl. Europäische Kommission 2021d):

- Zu den Transportvorgängen (Option 2): Ausweitung der für den – eng definierten – Kombinierten Verkehr vorgesehenen Erleichterungen auf alle intermodalen/multimodalen Verkehre, die im Vergleich zum Straßengüterverkehr nachweisliche Verbesserungen für die ökologische Nachhaltigkeit mit sich bringen (hinsichtlich CO₂-Emissionen, Lärm- und Luftverschmutzung, Stau und Unfälle).
- Zur Art der Unterstützungsmaßnahmen: Verpflichtung der Mitgliedstaaten die Unterstützungsmaßnahmen im Rahmen von regulären Analyse- und Planungsprozessen auszuwählen und auf ihre Effizienz zu evaluieren (Option 3). EU-rechtlich verpflichtende Vorgabe bestimmter harmonisierter Unterstützungsmaßnahmen (Option 4).

Diese Ansätze könnten – abhängig von der konkreten Umsetzung in einer neugefassten Richtlinie – hilfreich für die Stärkung eines ökologisch nachhaltigen Kombinierten Verkehrs auf Schiene und Straße sein.

6.8 Zusammenfassung: Handlungsbedarfe des Gesetzgebers

Eine auf ökologisch nachhaltige Mobilität ausgerichtete Regulierung erfordert an vielen Punkten eine Anpassung des Rechtsrahmens. Ein Rechtsrahmen für die Digitalisierung im Verkehr, auf dessen Basis die Mobilität von Personen und Gütern verbessert und zugleich die verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima reduziert werden können, erfordert insbesondere

- die Entwicklung einheitlicher öffentlicher Interessen und staatlicher Zielstellungen für den relevanten Rechtsrahmen,
- verfügbare und aufeinander abstimmbare Instrumente für die handelnden Akteure der öffentlichen Hand (Straßenbaulastträger, Genehmigungsbehörden, Aufsichtsbehörden) und
- eine Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und der planerischen Vorgaben zur Infrastrukturentwicklung an diesen öffentlichen Interessen und staatlichen Zielstellungen (vgl. KCW 2020, S. 186 ff.; Hermes et al. 2022).

Gemessen an den Maßgaben der Entscheidung des BVerfG vom 24.03.2021 besteht für den Gesetzgeber eine objektivrechtliche Schutzpflicht in Bezug auf künftige Generationen, die auf die Sicherung grundrechtsgeschützter Freiheit und eine verhältnismäßige Verteilung von Freiheitschancen über die Generationen zielt. Eine frühzeitige, möglichst geringe, aber langwirkende Eingriffsintensität staatlicher Regulierung ist vor diesem Hintergrund gegenüber einer späten, dann aber besonders starken Eingriffsintensität zu bevorzugen. Die erforderliche Regulierung soll einen Rahmen für die Freiheitsausübung aller schaffen. Auch Verbote oder Einschränkungen können gerechtfertigt sein. Je früher konsequent gehandelt wird, desto geringer müssen etwaige Eingriffe in Freiheitsrechte ausfallen.

Ein Handlungs- und Anpassungsbedarf besteht vor diesem Hintergrund mit Blick auf die zu erwartenden Veränderungen durch die Digitalisierung im Verkehr zusammengefasst wie folgt:

- ▶ Der Rechtsrahmen für den Straßenverkehr sollte auf eine Verringerung von Fahrleistungen im motorisierten Verkehr sowie eine Verbesserung von Attraktivität und Sicherheit des Rad- und Fußverkehrs ausgerichtet sein.
- ▶ Der Rechtsrahmen für den Personenverkehr sollte auf eine konsequente Stärkung und Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) gegenüber dem MIV ausgerichtet sein.
- ▶ Der Rechtsrahmen für den Güterverkehr sollte auf eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene ausgerichtet sein.
- ▶ Automatisierte Fahrzeuge sollten zugelassen werden, wenn die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden (inkl. Rad- und Fußverkehr) gewährleistet ist. Zusätzliche Energiebedarfe der erforderlichen Technik müssen möglichst geringgehalten werden.
- ▶ Mit Blick auf die digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren sowie für digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang ist die rechtliche Vorgabe von Standards relevant. Für Entscheidungen über den Aufbau bzw. die Förderung entsprechender digitaler Infrastrukturen durch die öffentliche Hand bedarf es der Bewertung der spezifischen Maßnahmen im Einzelfall, bei der Vor- und Nachteil für die ökologische Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Dabei sollten auch die Chance berücksichtigt werden, dass ein an die Digitalisierung der Fahrzeuge anknüpfendes digitales Verkehrsmanagement ggf. gezielt für eine Steuerung des Verkehrs in Richtung ökologisch nachhaltiger Mobilitäteingesetzt werden kann.

Eine (systematische) Zielausrichtung aller Rechtsnormen für den Verkehr auf Umwelt- und Klimaschutz ist für das Erreichen ökologisch nachhaltiger Ziele bei einer fortschreitenden Digitalisierung im Verkehr wesentlich. Insbesondere der Bund muss aufgrund der grundgesetzlichen Kompetenzverteilung als koordinierender Akteur und als Gesetzgeber aktiv werden (vgl. dazu Tabelle 4).

Tabelle 4: Grundgesetzliche Zuständigkeiten für den Verkehr⁶⁷

Kompetenztitel nach Grundgesetz	Regelungsbereich
Grundsatz der Art. 30, 70 Abs. 1: Die Länder sind für die Gesetzgebung zuständig, soweit nach dem Grundgesetz nicht eine Befugnis des Bundes	Daseinsvorsorge für den öffentlichen Personennachverkehr Straßen- und Wegerecht für alle Straßen mit Ausnahme der Bundesstraßen
Konkurrierende Gesetzgebung, Art. 74. Abs. 1 Nr. 11: das Recht der Wirtschaft	Verkehrsgewerberecht (Personenbeförderung und Güterverkehr)
Konkurrierende Gesetzgebung, Art. 74. Abs. 1 Nr. 22: der Straßenverkehr, das Kraftfahrwesen, der Bau und die Unterhaltung von Landstraßen für den Fernverkehr sowie die Erhebung und Verteilung von Gebühren oder Entgelten für die Benutzung öffentlicher Straßen mit Fahrzeugen	Straßenverkehrsregeln, Verkehrsordnungsrecht (für alle öffentlichen Straßen) Straßen- und Wegerecht für die Bundesstraßen (für andere Straßen besteht eine Kompetenz der Länder) Regelung bezüglich des Baus und Betriebs von Kraftfahrzeugen Entgelte und Gebühren für die Straßennutzung (für alle öffentlichen Straßen)

⁶⁷ Siehe zu den dargestellten Kompetenztiteln die ausführlichen Erläuterungen bei Hermes et al. 2022a, S. 15 ff.

Kompetenztitel nach Grundgesetz	Regelungsbereich
Konkurrierende Gesetzgebung, Art. 74. Abs. 1 Nr. 23: die Schienenbahnen, die nicht Eisenbahnen des Bundes sind, mit Ausnahme der Bergbahnen	Umfassende Kompetenz für die Schienenbahnen, die nicht Eisenbahnen des Bundes sind
Konkurrierende Gesetzgebung, Art. 74. Abs. 1 Nr. 24: die Luftreinhaltung und die Lärmbekämpfung	Regelungen mit Bezug auf den Klima- und Umweltschutz (soweit nicht andere Kompetenztitel spezieller sind, z. B. Recht der Wirtschaft)
Ausschließliche Gesetzgebung des Bundes nach Art. 73 Abs. 1 Nr. 6a: der Verkehr von Eisenbahnen, die ganz oder mehrheitlich im Eigentum des Bundes stehen (Eisenbahnen des Bundes), der Bau, die Unterhaltung und das Betreiben von Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes sowie die Erhebung von Entgelten für die Benutzung dieser Schienenwege	Umfassende Kompetenz für die Eisenbahnen des Bundes
Art. 87e Abs. 4 Satz 1: Gewährleistung durch den Bund, dass dem Wohl der Allgemeinheit, insbesondere den Verkehrsbedürfnissen, beim Ausbau und Erhalt des Schienennetzes der Eisenbahnen des Bundes sowie bei deren Verkehrsangeboten auf diesem Schienennetz, soweit diese nicht den Schienenpersonennahverkehr betreffen, Rechnung getragen wird	Gewährleistungspflicht des Bundes für die Schienenwegeinfrastruktur
Art. 104 Abs. 1: Grundsatz zur Kostentragung durch Bund und Länder gesondert für die Ausgaben, die sich aus der Wahrnehmung ihrer Aufgaben ergeben	Finanzierung grundsätzlich nach dem Konnexitätsprinzip: Aufgaben- und Finanzverantwortung gehören jeweils zusammen
Ausnahmeregelungen der Art. 106a (Regionalisierungsmittel) und Art. 125c Abs. 2 (Gemeindeverkehrsfinanzierung)	Bundesfinanzierung von Verkehrsaufgaben der Länder und Kommunen

Für die Kompetenztitel aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 und 22 besteht eine Gesetzgebungskompetenz des Bundes nur, „wenn und soweit die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse im Bundesgebiet oder die Wahrung der Rechts- oder Wirtschaftseinheit im gesamtstaatlichen Interesse eine bundesgesetzliche Regelung erforderlich macht“ (Art. 72 Abs. 2 Grundgesetz). In beiden Fällen dürfte diese Voraussetzung in der Regel gegeben sein, da Verkehrsregelungen eine länderübergreifende Bedeutung haben und eine bundeseinheitliche Regelung für Verkehrsunternehmen für die Wahrung der Wirtschaftseinheit wie auch die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse erforderlich erscheint.

7 Beispielhafte Formulierungsvorschläge für Änderungen von Rechtsnormen

Kapitel 6 zeigt im Ergebnis eine Fülle von rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfen in Reaktion auf die vermuteten Wirkungen der untersuchten Anwendungsfälle des automatisierten und vernetzten Fahrens und der digitalen Infrastrukturen. Hieran anknüpfend wurden zur Veranschaulichung rechtlicher Handlungsmöglichkeiten beispielhaft zwei Felder näher auf die konkret zu ändernden Rechtsnormen untersucht:

- Anpassungen des Verkehrsgewerberechts zur Ermöglichung des Einsatzes selbststeuernder Fahrzeuge insbesondere im ÖPNV (Änderungen im PBefG, der BOKraft sowie der BefBedV), vgl. Kapitel 7.1
- Anpassungen zur Einführung von dynamischen Zufahrtsbeschränkungen des Kraftfahrzeugverkehrs und Anpassungen zur Beschränkung des Parksuchverkehrs (jeweils Änderungen StVO und VwV-StVO), vgl. Kapitel 7.2 und 7.3

Dargestellt werden nachfolgend jeweils die anzupassenden Normen sowie die für einen Gesetzentwurf nötigen Begründungsansätze und ggf. weitere Hinweise aus rechtlicher Sicht. Zum Verständnis wird der bestehende Wortlaut – soweit dies zum Verständnis erforderlich scheint – mit abgedruckt. Änderungsvorschläge sind unterstrichen dargestellt. Streichungen sind ~~durchgestrichen~~. Die Ausarbeitung dieser Abschnitte haben die Rechtsanwälte der Anwaltskanzlei BBG und Partner Simon Kase und Marc Widemann übernommen.

Zu beachten ist, dass es sich hier um beispielhafte punktuelle Anpassungen handelt, die sehr nahe an den bestehenden Rechtsvorschriften anknüpfen und ohne größeren gesetzgeberischen Aufwand rasch umgesetzt werden könnten. Diese ersten Anpassungen ersetzen nicht die weitergehenden in Kapitel 6 aufgezeigten Anpassungsbedarfe.

7.1 Verkehrsgewerberecht: Automatisierte und autonome Busse im ÖPNV

Gegenstand der nachfolgenden Formulierungsvorschläge sind Änderungen im Verkehrsgewerberecht die darauf zielen, den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen, zu ermöglichen und zu erleichtern.

Die dargestellten Formulierungsvorschläge beinhalten nicht die oben in Kapitel 6.6 skizzierten weiteren rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfe – insbesondere zu betrieblichen Nachhaltigkeitsanforderungen für fahrerlose Fahrdienste, zur Regelungskonzeption der Verkehrstypen zueinander (unter Berücksichtigung fahrerloser Fahrdienste) und zu erforderlichen Regelungen für die Mobilitätsvermittlung.

Die vorgeschlagenen Vorschriften bieten eine erste Grundlage für den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen in der Personenbeförderung. Zugleich erfordern sie eine weitere Ausfüllung durch die Praxis: Rechtlich insbesondere mit Blick auf die Abgrenzung von Fremd- und Selbstbeförderung bei neuen bzw. neuartigen Geschäftsmodellen und tatsächlich z. B. für die Umsetzung von Pflichten des Beförderungsunternehmers bei der Beförderung, die aktuell durch Fahr- bzw. Begleitpersonal wahrgenommen werden.

7.1.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten

7.1.1.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen des PBefG

7.1.1.1.1 § 1 Sachlicher Geltungsbereich – neuer Absatz 1b (einzufügen hinter Abs. 1a)

- (1) Den Vorschriften dieses Gesetzes unterliegt die entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, mit Oberleitungsomnibussen (Obussen) und mit Kraftfahrzeugen. Als Entgelt sind auch wirtschaftliche Vorteile anzusehen, die mittelbar für die Wirtschaftlichkeit einer auf diese Weise geförderten Erwerbstätigkeit erstrebt werden.

[...]

(1b) Ob eine Beförderung von Personen im Sinne des Abs. 1 Satz 1 vorliegt, ist unabhängig davon, ob ein Fahrzeug mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion im Sinne des § 1a Abs. 1 StVG eingesetzt wird.

7.1.1.1.2 § 4 Straßenbahnen, Obusse, Kraftfahrzeuge – Änderungen in Abs. 4

- (4) Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes sind Straßenfahrzeuge, die durch eigene Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Schienen oder eine Fahrleitung gebunden zu sein, und zwar sind
 1. Personenkraftwagen: Kraftfahrzeuge, die nach ihrer Bauart und Ausstattung zur Beförderung von nicht mehr als neun Personen (einschließlich ~~Führer~~ aller Personen, die zum Betrieb des Fahrzeugs im Fahrzeug anwesend sein müssen) geeignet und bestimmt sind,
 2. Kraftomnibusse: Kraftfahrzeuge, die nach ihrer Bauart und Ausstattung zur Beförderung von mehr als neun Personen (einschließlich ~~Führer~~ aller Personen, die zum Betrieb des Fahrzeugs im Fahrzeug anwesend sein müssen) geeignet und bestimmt sind,
 3. Lastkraftwagen: Kraftfahrzeuge, die nach ihrer Bauart und Einrichtung zur Beförderung von Gütern bestimmt sind.

7.1.1.1.3 § 17 Genehmigungsurkunde – Änderungen in Abs. 4

- (4) Im Gelegenheitsverkehr mit Kraftfahrzeugen ist die Genehmigungsurkunde oder eine gekürzte amtliche Ausfertigung oder eine beglaubigte Kopie der Gemeinschaftslizenz schriftlich oder in elektronischer Form während der Fahrt mitzuführen und auf Verlangen den zuständigen Personen zur Prüfung auszuhändigen oder in vergleichbarer und geeigneter Weise zugänglich zu machen. Im Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen gilt Satz 1 nur, wenn die Genehmigungsurkunde eine entsprechende Auflage enthält.

7.1.1.1.4 § 54a Prüfungsbefugnisse der Genehmigungsbehörde – Änderungen in Abs. 1

- (1) Die Genehmigungsbehörde kann zur Durchführung der Aufsicht und zur Vorbereitung ihrer Entscheidungen durch Beauftragte die erforderlichen Ermittlungen anstellen, insbesondere
 1. Einsicht in die Bücher und Geschäftspapiere nehmen,
 2. von dem Unternehmer und den im Geschäftsbetrieb tätigen Personen Auskunft verlangen. Der zur Erteilung der Auskunft Verpflichtete kann die Auskunft auf solche Fragen verweigern, deren Beantwortung ihn selbst oder einen der in § 383

Abs. 1 Nr. 1 bis 3 der Zivilprozeßordnung bezeichneten Angehörigen der Gefahr strafgerichtlicher Verfolgung oder eines Verfahrens nach dem Gesetz über Ordnungswidrigkeiten aussetzen würde.

3. Daten verarbeiten, die von den IT-Systemen der zur Beförderung von Personen eingesetzten Fahrzeugen erzeugt werden, unabhängig vom Speicherort dieser Daten. Bei der Verarbeitung dieser Daten sind die einschlägigen Gesetze zum Schutz personenbezogener Daten zu beachten. Dies gilt nicht, soweit sicher ausgeschlossen werden kann, dass von der Verarbeitung personenbezogene Daten betroffen sind. Sofern die Genehmigungsbehörde der Mitwirkung des Unternehmers oder der im Geschäftsbetrieb tätigen Personen bedarf, um Zugriff auf die Daten zu erhalten, haben diese die erforderlichen Hilfsmittel zu stellen und die nötigen Hilfsdienste zu leisten; Nr. 2 Satz 2 gilt entsprechend.

7.1.1.2 Formulierungsvorschläge für Änderungen der BOKraft

7.1.1.2.1 § 1 Geltungsbereich – Änderungen in Abs. 2

- (2) Die §§ 2, 3, 6 bis 9, §§ 14 bis 19, 20 Abs. 1 Nr. 1, §§ 21, 22, 33 Abs. 4 und 5, §§ 41, 42, § 45 Abs. 1 Nr. 1, 4, 5 Buchstaben b bis f, o, r und s, Abs. 2 Nr. 1, 4, 5 Buchstaben a und c, Nr. 6, § 47 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 gelten entsprechend bei Beförderungen nach § 1 Nr. 4 Buchstaben d, g und i der Freistellungs-Verordnung vom 30. August 1962 (BGBl. I S. 601), die zuletzt durch Artikel 1 der Zweiten Verordnung zur Änderung personenbeförderungsrechtlicher Vorschriften vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1273) geändert worden ist, sofern dabei Kraftfahrzeuge verwendet werden, die nach Bauart und Ausstattung zur Beförderung von mehr als sechs Personen (einschließlich Fahrzeugführer aller Personen, die zum Betrieb des Fahrzeugs im Fahrzeug anwesend sein müssen) geeignet und bestimmt sind. Als Genehmigungsbehörde im Sinne dieser Vorschriften gilt diejenige Behörde, die im Falle einer Nichtfreistellung von den Vorschriften des Personenbeförderungsgesetzes zuständig wäre.

7.1.1.2.2 § 8 Verhalten im Fahrdienst – Änderungen in Abs. 1 und Abs. 2a

- (1) Das Betriebspersonal, das im Fahrdienst oder zur Bedienung von Fahrgästen eingesetzt ist oder auf andere Weise unmittelbar oder mittelbar Kontakt zu Fahrgästen hat, hat sich rücksichtsvoll und besonnen zu verhalten.

[...]

- (2a) Im Verkehr mit Kraftomnibussen hat der Fahrzeugführer dafür zu sorgen, daß den Fahrgästen durch Informationseinrichtungen (§ 21 Abs. 2) angezeigt wird, wann Sicherheitsgurte anzulegen sind. Vor Fahrtantritt hat der Fahrzeugführer die Fahrgäste auf die Pflicht zum Anlegen von Sicherheitsgurten hinzuweisen, soweit eine solche Pflicht besteht. Wird ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Fahrzeugführer im Fahrzeug anwesend sein muss, kann die Verpflichtung nach Satz 1 und Satz 2 auch durch geeignete, insb. technische, Maßnahmen erfüllt werden.

7.1.1.2.3 § 11 Fundsachen – Einfügen der neuen Sätze 4 und 5

¹Nach Beendigung jeder Fahrt haben Fahrzeugführer oder Schaffner festzustellen, ob Gegenstände zurückgeblieben sind. ²Fundsachen sind unverzüglich an die dafür vorgesehene Einrichtung des Betriebs oder an die von der Genehmigungsbehörde benannte Stelle abzuliefern, wenn sie nicht sofort zurückgegeben werden können. ³§ 978 des Bürgerlichen Gesetzbuchs bleibt unberührt. ⁴Sofern der Betrieb des Fahrzeugs die Anwesenheit einer anderen Person als einem Fahrzeugführer oder Schaffner in dem Fahrzeug erforderlich macht, gilt Satz 1 entsprechen für diese Person. ⁵Sofern für den Betrieb des Fahrzeugs keine

Person neben dem Fahrgast oder den Fahrgästen im Fahrzeug anwesend sein muss, kann der Unternehmer seine Verpflichtung nach Satz 1 unbeschadet seiner Verpflichtung nach Satz 2 auch durch geeignete, insbesondere technische, Maßnahmen erfüllen.

7.1.1.2.4 § 21 Verständigung mit dem Fahrzeugführer – Änderungen in Abs. 1

- (1) Obusse und Kraftomnibusse des Linienverkehrs müssen deutlich hör- oder sichtbare Verständigungseinrichtungen haben
 1. zur Erteilung von Fahr- oder Halteaufträgen durch das Betriebspersonal,
 2. bei Ein-Mann-Betrieb zur Mitteilung des Haltewunschs der Fahrgäste an den Fahrzeugführer.

In Kraftomnibussen, die überwiegend im Gelegenheitsverkehr verwendet werden, sind diese Einrichtungen entbehrlich, wenn sichergestellt ist, daß die Verständigung des Fahrzeugführers in anderer Weise erfolgen kann. Diese Einrichtungen sind, unabhängig von Satz 2, weiterhin entbehrlich, soweit auf andere Weise sichergestellt ist, dass Fahr- und Halteaufträge, sowie Haltewünsche der Fahrgäste Beachtung finden.

7.1.1.2.5 § 25 Türen, Alarmanlage und Trennwand – Einfügen des neuen Abs. 4

[...]

- (2) Taxen und Mietwagen müssen mit einer Alarmanlage versehen sein, die vom Sitz des Fahrzeugführers aus in Betrieb gesetzt werden kann. Die Alarmanlage muß die Hupe zum Tönen in Intervallen und die Scheinwerfer sowie die hinteren Fahrtrichtungsanzeiger zum Blinken bringen. Zusätzlich kann das Taxenschild nach § 26 Abs. 1 Nr. 2 - auch mittels eingebauter roter Leuchtdioden - zum Blinken gebracht werden.
- (3) Taxen und Mietwagen können mit einer Trennwand ausgerüstet sein, die zum Schutz des Fahrzeugführers ausreichend kugelsicher ist. Die Trennwand soll entweder zwischen den Vorder- und Rücksitzen angebracht sein oder den Sitz des Fahrzeugführers von den Fahrgastplätzen abteilen; sie darf versenkbar oder so beschaffen sein, daß ein Teil seitlich verschoben werden kann.
- (4) Abs. 2 und Abs. 3 gelten nicht, sofern während des Einsatzes des Fahrzeugs zur Personenbeförderung bestimmungsgemäß keine Person neben dem Fahrgast oder den Fahrgästen anwesend ist.

7.1.1.2.6 § 31 Fahrzeuge mit einer Genehmigung für den Taxen-, Mietwagenverkehr und gebündelten Bedarfsverkehr – Änderungen in Abs. 2

- (2) Wird ein Fahrzeug nur in geringem Umfang für den Mietwagenverkehr verwendet, kann die Genehmigungsbehörde gestatten, daß das Fahrzeug nur mit einem Fahrpreisanzeiger ausgerüstet wird; in diesem Falle hat der Fahrzeugführer bei Durchführung von Mietwagenverkehr den Fahrgast auf das Fehlen eines besonderen Wegstreckenzählers und die Art der Berechnung des Beförderungsentgelts hinzuweisen. Wird zur Beförderung ein Fahrzeug gemäß Satz 1 eingesetzt, für dessen Betrieb kein Fahrzeugführer erforderlich ist, kann die Hinweispflicht nach Satz 1 auch durch den Einsatz geeigneter, insbesondere technischer, Maßnahmen erfüllt werden.

7.1.1.2.7 § 33 Kennzeichnung und Beschilderung – Änderungen in Abs. 5

- (5) Für Fahrzeuge, die nach ihrer Bauart und Ausrüstung zur Beförderung von nicht mehr als sechs Personen (einschließlich ~~Fahrzeugführer~~ aller Personen, die zum Betrieb des Fahrzeugs im Fahrzeug anwesend sein müssen) geeignet und bestimmt sind, gilt Absatz 4 nicht.

7.1.1.2.8 § 37 Beförderungsentgelte – Einfügen des neuen Abs. 4

[...]

- (2) Bei Versagen des Fahrpreisanzeigers wird das Beförderungsentgelt nach der durchfahrenen Strecke berechnet; der Fahrzeugführer hat den Fahrgast hierauf unverzüglich hinzuweisen. Nach Beendigung der Fahrt hat der Fahrzeugführer dem Unternehmer eine Störung des Fahrpreisanzeigers unverzüglich anzuzeigen; der Unternehmer hat die Störung unverzüglich zu beheben.
- (3) Bei Fahrten, deren Ziel außerhalb des Geltungsbereichs der festgesetzten Beförderungsentgelte liegt, hat der Fahrzeugführer den Fahrgast vor Fahrtbeginn darauf hinzuweisen, daß das Beförderungsentgelt für die gesamte Fahrtstrecke frei zu vereinbaren ist. Kommt keine Vereinbarung zustande, gelten die für den Pflichtfahrbereich festgesetzten Beförderungsentgelte als vereinbart.
- (4) Wird zur Beförderung ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Fahrzeugführer im Fahrzeug anwesend sein muss, können die Hinweispflichten nach Abs. 2 und Abs. 3 auch durch den Einsatz geeigneter, insbesondere technischer, Maßnahmen erfüllt werden.

7.1.1.2.9 § 38 Fahrweg – Einfügen neu Satz 2

¹Sofern der Fahrgast nichts anderes bestimmt, hat der Fahrzeugführer den kürzesten Weg zum Fahrtziel zu wählen, es sei denn, daß ein anderer Weg verkehrs- oder preisgünstiger ist und mit dem Fahrgast vereinbart wird. ²Satz 1 gilt entsprechend, wenn zur Beförderung ein Fahrzeug eingesetzt wird, für dessen Betrieb kein Fahrzeugführer erforderlich ist.

7.1.1.2.10 Änderung in Anlage 4 (§ 33 Abs. 4)

Die Farbe des Bilduntergrunds ist der Farbreihe F 7 des Ausschusses für Lieferbedingungen und Gütesicherung (RAL) beim Deutschen Normenausschuß zu entnehmen, und zwar ist als Farbton zu wählen die retroflektierende Aufsichtsfarbe RAL 2006 „Reflexorange“. Die Farbe des Sinnbilds und der Bildumrandung ist der Farbreihe F 81 des Ausschusses für Lieferbedingungen und Gütesicherung (RAL) beim Deutschen Normenausschuß zu entnehmen, und zwar ist als Farbton zu wählen die nicht retroflektierende Aufsichtsfarbe RAL 9017 „Verkehrsschwarz“. Bei Kraftfahrzeugen, die nach Bauart und Ausstattung zur Beförderung von mehr als sechs, jedoch nicht mehr als neun Personen (einschließlich Fahrzeugführer aller Personen, die zum Betrieb des Fahrzeugs im Fahrzeug anwesend sein müssen) geeignet und bestimmt sind, kann auch auf der Rückseite ein Schulbusschild mit einer Seitenlänge von mindestens 400 mm und mit einer Stärke der Bildumrandung von 35 mm verwendet werden.

(Inhalt: nicht darstellbares Schulbus-Schild, Fundstelle: BGBl I 1975, 1587)

7.1.1.3 Formulierungsvorschläge für Änderungen der BefBedV

7.1.1.3.1 § 4 Verhalten der Fahrgäste – Einfügen des neuen Abs. 9

- (1) Fahrgäste haben sich bei Benutzung der Betriebsanlagen und Fahrzeuge so zu verhalten, wie es die Sicherheit und Ordnung des Betriebs, ihre eigene Sicherheit und die Rücksicht auf andere Personen gebieten. Anweisungen des Betriebspersonals ist zu folgen.

[...]

- (3) Die Fahrgäste dürfen die Fahrzeuge nur an den Haltestellen betreten und verlassen; Ausnahmen bedürfen der Zustimmung des Betriebspersonals. Soweit besonders gekennzeichnete Eingänge oder Ausgänge vorhanden sind, sind diese beim Betreten

oder Verlassen der Fahrzeuge zu benutzen. Es ist zügig ein- und auszusteigen sowie in das Wageninnere aufzurücken. Wird die bevorstehende Abfahrt angekündigt oder schließt sich eine Tür, darf das Fahrzeug nicht mehr betreten oder verlassen werden. Jeder Fahrgast ist verpflichtet, sich im Fahrzeug stets einen festen Halt zu verschaffen.

[...]

- (9) Wird zur Beförderung ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Betriebspersonal im Fahrzeug anwesend sein muss, gelten die Abs. 1 Satz 2 und Abs. 3 Satz 1 entsprechend für Maßgaben, die durch ein geeignetes technisches System gemacht werden. Die Fahrgäste haben diesen Maßgaben Folge zu leisten.

7.1.1.3.2 § 5 Zuweisen von Wagen und Plätzen – Einfügen des neuen Abs. 3

- (1) Das Betriebspersonal kann Fahrgäste auf bestimmte Wagen verweisen, wenn dies aus betrieblichen Gründen oder zur Erfüllung der Beförderungspflicht notwendig ist.
- (2) Das Betriebspersonal ist berechtigt, Fahrgästen Plätze zuzuweisen; Anspruch auf einen Sitzplatz besteht nicht. Sitzplätze sind für Schwerbehinderte, in der Gehfähigkeit Beeinträchtigte, ältere oder gebrechliche Personen, werdende Mütter und für Fahrgäste mit kleinen Kindern freizugeben.
- (3) Wird zur Beförderung ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Betriebspersonal im Fahrzeug anwesend sein muss, gelten Abs. 1 und Abs. 2 entsprechend für Maßgaben, die durch ein geeignetes technisches System gemacht werden. Die Fahrgäste haben diesen Maßgaben Folge zu leisten.

7.1.1.3.3 § 7 Zahlungsmittel – Einfügen des neuen Abs. 5

- (1) Das Fahrgeld soll abgezählt bereitgehalten werden. Das Fahrpersonal ist nicht verpflichtet, Geldbeträge über 5 Euro zu wechseln und Eincentstücke im Betrag von mehr als 10 Cent sowie erheblich beschädigte Geldscheine und Münzen anzunehmen.
- (2) Soweit das Fahrpersonal Geldbeträge über 5 Euro nicht wechseln kann, ist dem Fahrgast eine Quittung über den zurückbehaltenen Betrag auszustellen. Es ist Sache des Fahrgasts, das Wechselgeld unter Vorlage der Quittung bei der Verwaltung des Unternehmers abzuholen. Ist der Fahrgast mit dieser Regelung nicht einverstanden, hat er die Fahrt abubrechen.
- (3) Beanstandungen des Wechselgelds oder der vom Fahrpersonal ausgestellten Quittung müssen sofort vorgebracht werden.
- (4) Die besonderen Beförderungsbedingungen können vorsehen, dass das Verkehrsunternehmen nicht verpflichtet ist, an der Haltestelle oder im Fahrzeug einen Fahrausweiserwerb mit Bargeld zu ermöglichen, sofern auf andere Weise ein Fahrausweiserwerb angeboten wird.
- (5) Wird zur Beförderung ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Betriebspersonal im Fahrzeug anwesend sein muss, gelten die Absätze 1 bis 4 entsprechend mit der Maßgabe, dass den Fahrgästen durch geeignete, insbesondere technische, Maßnahmen die Ausübung ihrer Rechte ermöglicht werden muss.

7.1.1.3.4 § 13 Fundsachen – Einfügen des neuen Satz 5

¹Fundsachen sind gemäß § 978 BGB unverzüglich dem Betriebspersonal abzuliefern. ²Eine Fundsache wird an den Verlierer durch das Fundbüro des Unternehmers gegen Zahlung eines Entgelts für die Aufbewahrung zurückgegeben. ³Sofortige Rückgabe an den Verlierer durch das Betriebspersonal ist zulässig, wenn er sich einwandfrei als Verlierer ausweisen kann.

⁴Der Verlierer hat den Empfang der Sache schriftlich zu bestätigen. ⁵Wird zur Beförderung

ein Fahrzeug eingesetzt, für dessen Betrieb kein Betriebspersonal im Fahrzeug anwesend sein muss, sind Fundsachen an dem dafür eingerichteten und ausgeschilderten Ort abzuliefern.

7.1.2 Begründungsansätze

7.1.2.1 Allgemein

Mit den vorgeschlagenen Änderungen soll der Einsatz von Fahrzeugen, insbesondere im ÖPNV, ermöglicht und erleichtert werden, die zur Beförderung von Personen betrieben werden können, ohne dass neben den Fahrgästen eine Person im Fahrzeug anwesend sein muss.

Die Änderungen sollen die bestehende Wertung der aktuellen Regelungen nach Möglichkeit unverändert lassen. Das bestehende Regelungssystem soll lediglich unter Erhaltung der Gesamtwertung auf jene Fälle angepasst werden, in denen zur Beförderung neben den Fahrgästen keine weitere Person im Fahrzeug anwesend sein muss.

7.1.2.2 Zu den Änderungen des PBefG

7.1.2.2.1 § 1 Abs. 1b

Kernstück des Änderungsvorschlags ist der neu einzufügende § 1 Abs. 1b PBefG. Dieser dient der Abgrenzung zwischen Fremdbeförderung im Anwendungsbereich des PBefG und Selbstbeförderung abseits des PBefG.

Es ist absehbar, dass eine Abgrenzung zwischen der – nicht vom PBefG erfassten – Autovermietung (bzw. Carsharing oder ähnlichen Geschäftsmodellen) und der Beförderung durch selbstfahrende Kraftfahrzeuge notwendig sein wird. Vom PBefG erfasst ist die Fremdbeförderung, im Gegensatz zur Selbstbeförderung, wie sie zum Beispiel beim Carsharing oder der klassischen Autovermietung vorliegt.

Das PBefG geht davon aus, dass eine Fremdbeförderung von Personen voraussetzt, dass diese durch eine andere Person vorgenommen wird. Historisch war eine andere Form der Beförderung auch nicht denkbar. Fahrzeuge brauchten notwendig eine (natürliche) Person, die die tatsächliche Kontrolle über den Beförderungsvorgang innehat. Es ist jedoch absehbar – und in Teilen schon Realität –, dass Fahrzeuge nicht nur selbstbewegend, sondern auch selbststeuernd fahren. Solche Fahrzeuge ermöglichen die Beförderung von Personen, ohne dass eine weitere Person im Fahrzeug anwesend ist oder das Fahrzeug auf andere Art und Weise steuert. Die spezifischen Gefahren und Regelungsnotwendigkeiten (die die gewerberechtlichen Vorschriften des PBefG rechtfertigen) entfallen dabei nicht notwendigerweise nur, weil die Beförderung nicht unmittelbar durch eine natürliche Person durchgeführt wird.

Gleichwohl ist absehbar, dass es auch einen Markt für die Vermietung von selbststeuernden Fahrzeugen geben wird, die es ermöglichen, ohne Zutun der Mietenden gefahren zu werden. Diese Geschäftsmodelle müssen nicht zwingend in allen Konstellationen dem besonderen Gefahrenabwehrrecht des PBefG unterworfen werden, sondern nur dann, wenn gerade der spezifische Schutzbereich eröffnet ist, sich also solche Gefahren auf tun, die wesenshaft für die Fremdbeförderung sind.

Dabei ist festzuhalten, dass ein wichtiger Schutzzweck des PBefG nach der höchstrichterlichen Rechtsprechung der Verbraucherschutz ist.⁶⁸ Die Fahrgäste seien „in besonderer Weise darauf angewiesen, dass ihr Vertragspartner bei der Bearbeitung des Beförderungsauftrages und der

⁶⁸ BVerwG, Urt. v. 27.08.2015 – 3 C 14/14 –, BVerwGE 152, 382-397, juris Rn. 17.

Auswahl seines Erfüllungsgehilfen den Anforderungen des Personenbeförderungsgesetzes gerecht wird.“⁶⁹

Die hier gewählte Formulierung stellt deshalb nur klar, dass unabhängig von dem Automatisierungsgrad, den das eingesetzte Fahrzeug hat, eine Abgrenzung zwischen der Selbst- und Fremdbeförderung entsprechend den von der Rechtsprechung zur „klassischen“ Personenbeförderung entwickelten Grundsätzen erfolgen muss.

Für die Abgrenzung zwischen der – vom PBefG erfassten – Beförderung von Personen und der – nicht vom PBefG erfassten – Autovermietung ist auf das Vertragsverhältnis abzustellen, das der Anbieter der Leistung und entsprechende Kundinnen und Kunden regelmäßig abschließen. Es geht bei der Abgrenzung darum, ob aus Sicht eines objektiven Fahrgastes⁷⁰ ein (Fremd-)Beförderungsvertrag geschlossen wird. Oder ob er lediglich ein Fahrzeug zum Gebrauch zur Selbstbeförderung überlassen bekommt. Die Feststellung, welches Vertragsverhältnis tatsächlich vorliegt, kann nur im Wege einer Gesamtbetrachtung des Vertragswortlautes aber auch aller tatsächlichen Umstände erfolgen. Auch das Umgehungsverbot des § 6 PBefG ist dabei zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieser Gesamtbetrachtung sollten insbesondere folgende Aspekte Beachtung finden:

Ein wichtiger Aspekt sind die Inhalte der regelmäßig abgeschlossenen Verträge. Hier zunächst die Leistungs- und Gegenleistungspflichten. Es lassen sich möglicherweise bereits aus der geschuldeten Leistung Schlüsse ziehen – wenn z. B. ein konkreter Zielort vereinbart wird, spricht dies für eine Beförderung. Ebenso ist die Preisgestaltung zu betrachten. Aufschluss kann einerseits eine Ähnlichkeit zur Preisgestaltung in der Autovermietung oder der Personenbeförderung liefern. Z. B. dürfte eine Bezahlung, die ausschließlich an der gefahrenen Strecke orientiert ist, für eine Beförderung sprechen, während eine eher gröbere Abrechnung nach Zeiteinheiten ggf. eher für eine Selbstbeförderung spricht. Andererseits sollten auch mittelbare und Anreizeffekte beachtet werden. Etwa wenn die Preisgestaltung dazu anreizt, das Angebot wie ein Beförderungsangebot wahrzunehmen.

Aber auch die weiteren vertraglichen Vereinbarungen können wichtige Indizien enthalten, etwa das Maß an tatsächlicher Kontrolle über das Fahrzeug, das der nutzenden Person zusteht. Indizien können der Einfluss auf die gefahrene Route, weitere Aspekte des Fahrens, wie die gefahrene Geschwindigkeit, oder örtliche Begrenzungen sein. Umso kleiner die Kontrolle der nutzenden Person über das Fahrzeug ausfällt, desto eher ist von einer Beförderung auszugehen. Zwingend dürfte eine Fremdbeförderung anzunehmen sein, wenn der Fahrgast bereits vor Fahrtantritt ein Ziel angeben muss und auf die Route keinen oder nur ganz unerheblichen Einfluss hat.

Eine Beförderung ist regelmäßig auch anzunehmen bei fahrplan- und/oder liniengebundenen Angeboten.

Ein ganz maßgebliches Abgrenzungskriterium ist überdies die Exklusivität der Nutzung. In den Fällen, in denen das Fahrzeug geteilt werden muss (z. B. beim Pooling im On-Demand-Verkehr [Linienbedarfsverkehr, gebündelter Bedarfsverkehr, §§ 44, 50 PBefG, oder ÖPNV-Taxi] und auch bei klassischen Busfahrten) oder Anreizsysteme darauf angelegt sind, ist wohl regelmäßig von einer Fremdbeförderung auszugehen.

Schließlich sind auch außervertragliche Aspekte zu berücksichtigen. So sollte auch dann von einer Beförderungsleistung ausgegangen werden, wenn die vertraglichen Vereinbarungen zwar

⁶⁹ BVerwG, Urt. v. 27.08.2015 – 3 C 14/14 –, BVerwGE 152, 382-397, juris Rn. 17.

⁷⁰ Vgl. OLG Frankfurt, Urt. v. 09.07.2016 – 6 U 73/15 –, juris Rn. 50.

nicht dafür sprechen, aber die Gesamtgestaltung des Angebots bei einem objektiven Dritten die Erwartung einer Beförderungsleistung hervorruft (vgl. Umgehungsverbot in § 6).

7.1.2.2.2 § 4

Die Änderung dient der Klarstellung, dass es bei der Abgrenzung zwischen Personenkraftwagen und Omnibussen allein darauf ankommt, zur Beförderung welcher Anzahl von Personen das Fahrzeug geeignet und bestimmt ist. Für diese Unterscheidung ist es unerheblich, ob ein Fahrzeugführer überhaupt benötigt wird.

7.1.2.2.3 § 17

Beim Mitführen der Genehmigungsurkunde in elektronischer Form ist ein Aushändigen im Sinne einer physischen Übergabe höchstens vermittelt durch die Übergabe eines geeigneten Anzeigegerätes möglich. Auch bei der Beförderung von Personen durch eine Person ist diese Form der Kontrolle mit größerem Aufwand verbunden als notwendig. Beim Einsatz von Fahrzeugen, die die Anwesenheit einer Person im Fahrzeug nicht erforderlich machen, erscheint diese Form der Kontrolle nur wenig zweckmäßig.

Die mit der Norm verfolgten Kontrollziele lassen sich indes ebenso, wenn nicht besser, verfolgen, wenn die Genehmigungsurkunde auch auf anderem Wege überprüft werden kann. Denkbar wäre etwa die Übermittlung einer elektronischen und entsprechend einer Signatur ausgestatteten Fassung. Die Formulierung ist indes offen und technologieneutral gehalten, um Innovationen den nötigen Raum zu gewähren.

7.1.2.2.4 § 54a

Bereits heute erzeugen fahrzeugeigene IT-Systeme erhebliche Mengen von Daten und Informationen. Es ist absehbar, dass die Menge an erzeugten Daten weiter zunimmt, insbesondere beim Einsatz von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen (vgl. hierzu auch die Aufzeichnungspflichten in § 1g StVG). Für die Genehmigungsbehörden können diese Daten und Informationen wichtige Erkenntnisquellen im Zusammenhang mit ihrer Aufsicht (§ 54 PBefG) darstellen.

Die neue Nr. 3 ermächtigt deshalb die Genehmigungsbehörde dazu, zur Erfüllung ihrer Aufgaben auf diese Daten zuzugreifen und sie zu verarbeiten. Der Unternehmer und die im Geschäftsbetrieb tätigen Personen werden dabei zur Mitwirkung verpflichtet und müssen die erforderlichen Hilfsmittel stellen und die nötigen Hilfsdienste leisten. Diese Formulierung orientiert sich bewusst an den bestehenden Regelungen. Auch das Recht, die Mitwirkung bei Gefahr der Selbstbezichtigung zu verweigern (vgl. die in Nr. 2 Satz 2 bestehende Regelung) soll entsprechend bestehen. Damit darf der Unternehmer zwar nicht generell den Zugriff auf Daten verweigern, aber auf solche, die ihn oder bestimmte Angehörige der Gefahr strafgerichtlicher Verfolgung oder eines Verfahrens nach dem Gesetz über Ordnungswidrigkeiten aussetzen würde. In diesen Fällen muss er nur solche Daten herausgeben, die diese Gefahr nicht bergen. Hat die Genehmigungsbehörde jedoch ohne Mitwirkung des Unternehmers die Möglichkeit, auf die Daten zuzugreifen, begründet das Recht der Verweigerung der Mitwirkung bei Gefahr der Selbstbezichtigung keine Einschränkung der Ermächtigung zum Zugriff auf die Daten; die Duldungspflicht bleibt dann in Gänze bestehen.

Besonders wenn Positionsdaten von Fahrzeugen erhoben werden, die (auch) Einzelpersonen befördern – also insbesondere im Taxi- und Mietwagenverkehr, aber möglicherweise auch im Linienbedarfs- und gebündelten Bedarfsverkehr – enthalten die Daten notwendig auch die Reisewege der Fahrgäste und damit möglicherweise personenbezogene Daten. Ebenso können personenbezogene Daten des (Fahr)Personals von der Verarbeitung erfasst sein. Der Verweis auf die Einhaltung der einschlägigen Gesetze zum Schutz personenbezogener Daten hat daher in erster Linie klarstellende Wirkung, bewirkt aber auch eine Vermutung dahingehend, dass im

Zweifel von der Verarbeitung personenbezogener Daten auszugehen ist. Der Begriff der Verarbeitung ist dabei bewusst an den insofern sehr weiten Begriff der Datenschutz-Grundverordnung angelehnt. Der Behörde sollen so die im Einzelfall notwendigen Schritte offenstehen, die erforderlich sind, um das Ermittlungsziel zu erreichen, regelmäßig dürfte er sich hierbei um die Erhebung, Speicherung und Auswertung der Daten handeln.

Bei der Beurteilung der Verhältnismäßigkeit ist zwischen Fällen zu unterscheiden, in denen ausgeschlossen ist, dass personenbezogene Daten erhoben werden und solchen Fällen, in denen vom Vorliegen personenbezogener Daten auszugehen ist. Gleichwohl ist die Regelung in beiden Fällen im Ergebnis verhältnismäßig.

In den Fällen, in denen ausgeschlossen ist, dass keine personenbezogenen Daten erfasst sind, stellt die Ergänzung in Satz 3 eine Erweiterung des Beispielkatalogs dar. Gründe dafür, dass die Auswertung von Fahrzeugdaten nicht als erlaubte „erforderliche Ermittlung“ gelten könnte, sind nicht ersichtlich. Grundsätzliche Zweifel an der Verhältnismäßigkeit des § 54a PBefG bestehen indes nicht. Festzuhalten ist, dass durch die Auswertung der Fahrzeugdaten möglicherweise umfangreiche und tiefgehende Erkenntnisse über das Verkehrsunternehmen zulassen. Diese Erkenntnisse mögen zwar anderer Natur sein, aber hinsichtlich der denkbaren Eingriffsintensität liegt hier kein wesentlicher Unterschied zur möglichen Einsicht in die Bücher und Geschäftspapiere vor. Übermäßige Eingriffe in die Rechte der Unternehmen werden im Einzelfall jedoch dadurch ausgeschlossen, dass die Ermittlungen, also auch die Auswertung von Fahrzeugdaten, für die genannten Zwecke erforderlich sein müssen und die Behörde stets im Einzelfall an den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit gebunden ist.

Die vorgenannten Erwägungen lassen sich auf den Fall übertragen, dass personenbezogene Daten von der Auswertung durch die Behörde betroffen sind. In diesen Fällen müssen allerdings weitere Erwägungen angestellt werden, da in diesen Fällen die Rechte und Interessen weiterer, oft unbeteiligter bzw. nicht verantwortlicher, Personen betroffen sind.

Die Datenschutz-Grundverordnung⁷¹ (DSGVO) und die Richtlinie (EU) 2016/680⁷² (JI-RL) stehen einer Verarbeitung von personenbezogenen Daten nicht per se entgegen. Eine Verarbeitung ist vielmehr dann rechtmäßig, wenn die dort verlangten Bedingungen erfüllt sind.

Vorliegend ist regelmäßig die Datenschutz-Grundverordnung einschlägig und die Verarbeitung muss sich an dieser messen lassen. Gemäß EG (11), (12) und Art. 1 Abs. 1 JI-RL findet die JI-RL dort Anwendung, wo personenbezogene Daten „durch die zuständigen Behörden zum Zwecke der Verhütung, Ermittlung, Aufdeckung oder Verfolgung von Straftaten oder der Strafvollstreckung, einschließlich des Schutzes vor und der Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit“ verarbeitet werden. Mit §§ 54 ff. PBefG werden der Genehmigungsbehörde zwar Aufgaben der Gefahrenabwehr übertragen⁷³, soweit die JI-RL aber im Bereich der Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit anwendbar sein soll, gilt dies für solche Fälle, in denen die öffentliche Sicherheit im Vorfeld von Straftaten (davon sind i. S. d. JI-RL auch Ordnungswidrigkeiten erfasst) geschützt werden soll.⁷⁴ Die Tätigkeit der Genehmigungsbehörde kann zwar die Einleitung von Ordnungswidrigkeitenverfahren nach sich

⁷¹ 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), ABl. L 119 vom 4.5.2016, S. 1–88.

⁷² Richtlinie (EU) 2016/680 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten durch die zuständigen Behörden zum Zwecke der Verhütung, Ermittlung, Aufdeckung oder Verfolgung von Straftaten oder der Strafvollstreckung sowie zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung des Rahmenbeschlusses 2008/977/JI des Rates, ABl. L 119 vom 4.5.2016, S. 89–131.

⁷³ Anstatt vieler: *Bidinger*: Personenbeförderungsrecht – Kommentar, 2. Auflage, Stand: Dez. 2021, Berlin, B § 54 Rn. 39, B § 54a Rn. 61.

⁷⁴ Anstatt vieler: *Schwichtenberg*, in: Kühling/Buchner (Hrsg.): DS-GVO – BDSG – Datenschutz-Grundverordnung Bundesdatenschutzgesetz Kommentar, 3. Auflage, München, 2020, § 45 BDSG, Rn. 3.

ziehen. Sie ist im Grundsatz aber darauf gerichtet, die Einhaltung gewerberechtlicher Vorgaben und Auflagen zu überwachen und somit „strafverfolgungsunabhängig“ Gefahren abzuwehren.

Die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung ist demnach an Art. 6 Unterabsatz 1 Buchstabe e), Unterabsatz 3 DSGVO zu messen. Der notwendige Zweck der Verarbeitung ergibt sich bereits aus § 54a Abs. 1 Satz 1 PBefG. Die Abwehr der spezifischen Gefahren, die vom Betrieb eines Unternehmens i. S. d. PBefG ausgehen, liegt zudem zweifellos im öffentlichen Interesse. Der erwartbare Eingriff in die Rechte der Betroffenen steht zu diesem Ziel auch in einem angemessenen Verhältnis. Den Genehmigungsbehörden kommt es auf die Verarbeitung der personenbezogenen Daten in der Regel gar nicht an – diese bilden höchstens „Beifang“. Aus dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit und den einschlägigen Gesetzen zum Schutz personenbezogener Daten ergibt sich für die Behörden ohnehin die Pflicht, die Verarbeitung der personenbezogenen Daten auf das nötige Minimum zu beschränken. Das heißt, diese nach Möglichkeit nicht zu verarbeiten und möglichst zeitnah auszusondern, zu anonymisieren oder zu löschen.

Aus der Zweckbindung, der die Genehmigungsbehörde unterworfen ist, ergibt sich zudem, dass die Verarbeitungstätigkeiten in aller Regel nicht darauf abzielen werden, aus den Daten Erkenntnisse über die betroffenen Personen zu gewinnen. Der Eingriff wird regelmäßig darin bestehen, dass die ohnehin erhobenen und gespeicherten Daten zusätzlich im Verantwortungsbereich der Genehmigungsbehörde gespeichert werden. Es muss unterstellt werden, dass die Genehmigungsbehörden technische und organisatorische Maßnahmen ergreifen werden, um die Sicherheit der Daten zu gewährleisten. Insofern stellt die Verarbeitung durch die Genehmigungsbehörden nur eine äußerst geringe Eingriffsintensivierung dar, wenn bedacht wird, dass die Daten der Fahrgäste und des Fahrpersonals ja bereits ohne Veranlassung durch die Behörde durch die Fahrzeuge erhoben und gespeichert werden.

Die Eingriffsintensität in die Rechte der Betroffenen im Einzelfall lässt sich – soweit dies angesichts der ohnehin bestehenden Geltung der Gesetze zum Schutz personenbezogener Daten für erforderlich gehalten wird – darüber hinaus durch behördeninterne Vorgaben und Maßnahmen abmildern. Denkbar wären etwa das explizite Verbot, Daten zu dem Zweck zu verarbeiten, Personen zu identifizieren oder aus den Daten Schlüsse über Personen oder Personengruppen zu ziehen. Konzepte, um die Verarbeitung personenbezogener Daten soweit möglich zu verhindern oder nachträglich auszusondern, zu anonymisieren oder zu löschen und Löschkonzepte insbesondere mit Löschfristen, dürften durch die Behörden ohnehin zu erstellen sein, könnten aber zur Herstellung der nötigen Klarheit ebenfalls aufgenommen werden. Ebenso wie die Beratung mit den entsprechenden Datenschutzbehörden der Länder.

Problematisch könnte die Durchsetzung des Verarbeitungsrechts werden. Der tatsächliche und flächendeckende Zugang zu den Daten ist derzeit allerdings nicht hinreichend geregelt. Auch die Eigentümer der jeweiligen Fahrzeuge können auf die Daten nicht immer zugreifen. Diese Herausforderung wird möglicherweise durch den Data Act der Europäischen Union gelöst, dieser liegt derzeit aber nur als Entwurf vor.

7.1.2.3 Kein Konflikt mit der Verordnung (EG) Nr. 1071/2009

In den relevanten Normwerken (etwa im PBefG und vermehrt in der PBZugV) finden sich Verweise auf die Verordnung (EG) Nr. 1071/2009⁷⁵. Die Verordnung regelt die Anforderungen für die Zulassung zum Beruf des Kraftverkehrsunternehmers und ist auf Unternehmen, die Personenbeförderung nach dem PBefG durchführen, in vielen Fällen anwendbar. Für den Verkehr mit Kraftomnibussen müssen stets die Anforderungen nach Art. 3 der Verordnung

⁷⁵ Verordnung (EG) 1071/2009 zur Festlegung gemeinsamer Regeln für die Zulassung zum Beruf des Kraftverkehrsunternehmers und zur Aufhebung der Richtlinie 96/26/EG des Rates, ABl. L 300 vom 14.11.2009, S. 51–71.

eingehalten werden, § 13 Abs. 1a PBefG. Hierzu gehört auch, dass eine „tatsächliche und dauerhafte Niederlassung in einem Mitgliedsstaat“ vorhanden sein muss, Art. 3 Abs. 1 Buchstabe a) VO (EG) 1071/2009. In Art. 5 Abs. 1 Buchstabe g) VO (EG) 1071/2009 heißt es:

(1) Um die Anforderung des Artikels 3 Absatz 1 Buchstabe a zu erfüllen, muss ein Unternehmen im Niederlassungsmitgliedstaat

[...]

g) gewöhnlich und dauerhaft über eine — im Verhältnis zum Umfang der Verkehrstätigkeit des Unternehmens angemessene — Zahl an [...] Fahrern, die normalerweise einer Betriebsstätte in diesem Mitgliedstaat zugeordnet sind, verfügen.

Dem Wortlaut nach wird zwar eine „angemessene [...] Zahl an Fahrern“ gefordert, was auf dem ersten Blick in einem Spannungsverhältnis zu einem rein autonomen Fahrbetrieb stehen könnte. Ein Hindernis für den Einsatz von Fahrzeugen, für deren Betrieb kein Fahrpersonal erforderlich ist, ergibt sich hieraus indes nicht. Denn die geforderte Mindestanzahl an Fahrpersonal ergibt sich nur „im Verhältnis zum Umfang der Verkehrstätigkeit des Unternehmens“. Ein Verkehrsunternehmen, das ausschließlich Fahrzeuge einsetzt, die ohne Fahrpersonal betrieben werden können, muss daher auch kein – oder wenig, wenn manuelle Fahrten in bestimmten Situationen (Werkstattfahrten, Defekte) notwendig sind – Fahrpersonal an der Betriebsstätte vorhalten. Entsprechendes gilt für Unternehmen, die vorwiegend Fahrzeuge einsetzen, die ohne Fahrpersonal betrieben werden können.

Art. 5 Abs. 1 lit. g) VO EG 1071/2009 hat nicht zum Ziel, eine bestimmte Anzahl von Fahrer:innen vorzugeben, sondern soll verhindern, dass ein Unternehmen einen Betriebshof in einem Mitgliedstaat der Europäischen Union unterhält und dort auch tätig ist, aber das Personal durchgängig in einem anderen Mitgliedstaat unterhält (ggf. zu deutlich niedrigeren Lohn- und Sozialstandards) und so den Wettbewerb verzerrt. So heißt es in den Erwägungsgründen 6 ff. Verordnung (EU) 2020/1055 zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1071/2009⁷⁶ zur Änderung des Art. 5 VO EG 1071/2009:

„Um dem Phänomen der „Briefkastenfirmen“ beizukommen und im Binnenmarkt lauterer Wettbewerb und gleiche Wettbewerbsbedingungen sicherzustellen, muss gewährleistet werden, dass die in einem Mitgliedstaat niedergelassenen Kraftverkehrsunternehmer sich tatsächlich und dauerhaft in diesem Mitgliedstaat aufhalten und ihre Verkehrstätigkeit von dort ausüben. Daher ist es unter Berücksichtigung der gewonnenen Erfahrungen erforderlich, die Vorschriften für eine tatsächliche und dauerhafte Niederlassung zu präzisieren und zu stärken, zugleich jedoch einen unverhältnismäßig hohen Verwaltungsaufwand zu vermeiden.“

Wird also nur wenig Fahrpersonal benötigt, weil die Fahrzeuge in der Regel ohne menschliches Zutun fahren, ist es ausreichend, wenn das tatsächlich benötigte Personal an einer Betriebsstätte vorgehalten wird.

Daneben dient die Verordnung dem Sozialschutz des Personals (Erwägungsgrund 2); auch dies gebietet nicht das Vorhalten von Fahrpersonal, ohne dass dieses verkehrlich benötigt würde.

Änderungen sind daher nicht erforderlich, um die Voraussetzungen der Verordnung einzuhalten.

⁷⁶ Verordnung (EU) 2020/1055 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Juli 2020 zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1071/2009, (EG) Nr. 1072/2009 und (EU) Nr. 1024/2012 im Hinblick auf ihre Anpassung an die Entwicklungen im Kraftverkehrssektor, ABl. L 249 vom 31.7.2020, S. 17–32.

7.1.2.4 Zu den Änderungen der BOKraft

7.1.2.4.1 §§ 1, 3, 33 und Anlage 4

Die Änderung dient der Klarstellung, dass es allein darauf ankommt, für die Beförderung welcher Anzahl von Personen das Fahrzeug geeignet und bestimmt ist. Für diese Unterscheidung ist es unerheblich, ob ein Fahrzeugführer überhaupt vorhanden ist.

7.1.2.4.2 § 8

Eine zunehmende Automatisierung von Fahrzeugen kann in Zukunft möglicherweise dazu führen, dass ausschließlich Personal im Fahrzeug eingesetzt wird, das weder Schaffner noch Fahrzeugführer ist. Die Verpflichtung zur Feststellung, ob Gegenstände zurückgeblieben sind, wird auch auf solche Personen ausgeweitet.

Ebenso wird dem Unternehmer die Möglichkeit eröffnet, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, sofern keine Person neben den Fahrgästen im Fahrzeug anwesend ist. Die Formulierung ist offen und technologieneutral gehalten, um Innovationen den nötigen Raum zu gewähren und individuelle, praxisnahe Lösung zu ermöglichen.

7.1.2.4.3 § 11

Beim Einsatz von Fahrzeugen, zu deren Betrieb kein Fahrzeugführer im Fahrzeug anwesend sein muss, sind auch die entsprechenden Verständigungseinrichtungen entbehrlich. Gleichwohl ist sicherzustellen, dass die erteilten Fahr- und Halteaufträge sowie die Haltwünsche der Fahrgäste Beachtung finden. Die Formulierung ist offen und technologieneutral gehalten, um Innovationen den nötigen Raum zu gewähren und individuelle, praxisnahe Lösung zu ermöglichen.

7.1.2.4.4 § 21

§ 21 Abs. 1 Satz 2 eröffnet bereits die Möglichkeit, dass die Einrichtungen unter den genannten Voraussetzungen entbehrlich sind. Die Regelung in Satz 3 tritt neben die Vorgabe des Satz 2. Anknüpfungspunkt ist, dass das in Satz 1 erkennbare Ziel durch geeignete Einrichtungen erreicht wird. So wird der Einsatz von Fahrzeugen ermöglicht, die ohne im Fahrzeug anwesende Person betrieben werden können. Eröffnet ist die Möglichkeit nach Satz 3 jedoch für alle Fahrzeuge, da kein Grund erkennbar ist, technische Entwicklungen zu unterbinden, solange das in Satz 1 erkennbare Ziel erfüllt wird.

7.1.2.4.5 § 25

Die in Abs. 2 und 3 genannten Einrichtungen dienen dem Schutz des Fahrzeugführers und sind damit entbehrlich, soweit bei der Beförderung kein Fahrzeugführer anwesend ist. Hierbei soll es darauf ankommen, ob bestimmungsgemäß ein Fahrzeugführer anwesend ist, während das Fahrzeug zur Beförderung von Personen eingesetzt wird.

Der Einsatz zur Beförderung ist indes nicht auf die Zeiten der tatsächlichen Beförderungsvorgänge, also der Anwesenheit von Fahrgästen beschränkt. Ein Einsatz des Fahrzeuges zur Beförderung von Personen liegt auch dann vor, wenn das Fahrzeug zur Annahme von Fahrtaufträgen bereitsteht oder in der Zeit zwischen zwei Beförderungsaufträgen. Auch wenn in diesen Fällen bestimmungsgemäß Fahrpersonal anwesend ist, müssen die genannten Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Kein Einsatz zur Beförderung von Personen liegt vor, wenn das Fahrzeug dem im Taxi- und Mietwagenverkehr üblichen freien Zugang durch Fahrgäste tatsächlich entzogen ist. Insbesondere bei der privaten Nutzung, Werkstattfahrten oder dem Rangieren auf dem Betriebshof.

7.1.2.4.6 §§ 31, 37

Für den Fall, dass kein Fahrzeugführer im Fahrzeug anwesend sein muss, wird so dem Unternehmer die Möglichkeit eröffnet, den Hinweispflichten, die klassischerweise vom Personal erfüllt werden, auf andere und gleich geeignete Weise nachzukommen. Die Formulierung ist offen und technologieneutral gehalten, um Innovationen den nötigen Raum zu gewähren und individuelle, praxisnahe Lösung zu ermöglichen.

7.1.2.4.7 § 38

Der Einsatz eines Fahrzeuges, das keinen Fahrzeugführer zur Durchführung der Beförderung erfordert, soll nicht von der Pflicht zur Wahl des kürzesten bzw. – die Zustimmung des Fahrgästen vorausgesetzt – eines günstigeren Weges befreien.

7.1.2.5 Zu den Änderungen der BefBedV

7.1.2.5.1 §§ 4, 5

Der Unternehmer ist auch ohne Einsatz von Betriebspersonal im Fahrzeug verantwortlich für die Sicherheit von Fahrgästen und das Funktionieren des Betriebs. Die Bindung der Fahrgäste an die Anweisungen soll deshalb nicht nur deswegen entfallen, weil Fahrzeuge zum Einsatz kommen, in denen das Fahrpersonal die genannten Entscheidungen nicht selbst trifft.

7.1.2.5.2 § 7

Der Einsatz von Fahrzeugen, bei denen kein Fahrpersonal im Fahrzeug anwesend sein muss, erfordert auch einen Ersatz für die Rechte und Pflichten der Fahrgäste bei Zahlung des Fahrgeldes. Hier soll dem Unternehmer die Möglichkeit eröffnet werden, die Zahlung beim Fahrpersonal durch geeignete Maßnahmen oder Einrichtungen zu ersetzen. Dies soll gleichwohl nicht zu einer (wesentlichen) Verkürzung der Rechte der Fahrgäste führen.

7.1.2.5.3 § 13

Kommen Fahrzeuge ohne Fahrpersonal zum Einsatz, braucht es gleichwohl eine Möglichkeit für die Fahrgäste, etwaige Fundsachen abzuliefern. Beim Einsatz solcher Fahrzeuge hat der Unternehmer im Fahrzeug eine entsprechende Möglichkeit zur Abgabe von Fundsache zu eröffnen. Die Formulierung ist offen und technologieneutral gehalten, um Innovationen den nötigen Raum zu gewähren und individuelle, praxisnahe Lösung zu ermöglichen.

7.2 Straßenverkehrsrecht: Dynamische Beschränkung des MIV

Gegenstand der nachfolgenden Formulierungsvorschläge sind Änderungen im Straßenverkehrsrecht, die darauf zielen, den Straßenverkehrsbehörden die Möglichkeit zu geben, das Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßen oder Straßenabschnitten oder aber in bestimmten Gebieten zu reduzieren (vgl. Kapitel 6.3). Die Vorschläge knüpfen – ohne das bestehende Regelungssystem zu ändern – nahe an den bestehenden Rechtsvorschriften an.

Die dargestellten Formulierungsvorschläge beinhalten nicht die oben in Kapitel 6.3 skizzierten weiteren rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfe. Dazu gehören insbesondere:

- Voraussetzung einer effektiven Steuerungswirkung zugunsten ökologisch nachhaltiger Verkehrsabläufe ist die gesamthafte Neuausrichtung des Straßenverkehrsrechts unter Ausrichtung an übergeordneten Zielen des Klimaschutzes, des Energie- und Ressourcenverbrauchs usw. Eine entsprechende Anpassung des § 6 Abs. 1 StVG und des § 45 StVO (vgl. die Vorschläge in Kapitel 6.3.3.1) würden die Effektivität sowohl der nachfolgend skizzierten Anordnungsmöglichkeit zur dynamischen Beschränkung des MIV wie auch weiterer straßenverkehrsrechtlicher Anordnungen mit Ausrichtung auf ökologische Nachhaltigkeit im Verkehr erhöhen.

- Denkbar wäre es, die nachfolgend vorgeschlagenen Vorschriften mit Lösungsansätzen zu verknüpfen, die sich spezifisch aus der Digitalisierung ergeben. So könnte durch ein digitales Verkehrsmanagement die Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln unter Nutzung der Digitalisierung von Fahrzeugen verbessert werden, vor der rechtlichen Einführung wären allerdings zahlreiche Vorfragen zu klären (vgl. dazu Kapitel 6.3.3.2 sowie Kapitel 6.1.1, 6.1.3 und 8.8.2).

7.2.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten

7.2.1.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen der StVO

§ 45 Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen – Änderungen in Abs. 1, Abs. 9 und Abs. 11

- (1) Die Straßenverkehrsbehörden können die Benutzung bestimmter Straßen oder Straßenstrecken aus Gründen der Sicherheit oder Ordnung des Verkehrs beschränken oder verbieten und den Verkehr umleiten. Das gleiche Recht haben sie
 1. zur Durchführung von Arbeiten im Straßenraum,
 2. zur Verhütung außerordentlicher Schäden an der Straße,
 3. zum Schutz der Wohnbevölkerung vor Lärm und Abgasen,
 4. zum Schutz der Gewässer und Heilquellen,
 5. hinsichtlich der zur Erhaltung der öffentlichen Sicherheit erforderlichen Maßnahmen ~~sowie~~
 6. zur Erforschung des Unfallgeschehens, des Verkehrsverhaltens, der Verkehrsabläufe sowie zur Erprobung geplanter verkehrssichernder oder verkehrsregelnder Maßnahmen: sowie
 7. zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens, auch durch bestimmte Fahrzeugarten, auf besonders belasteten Straßen oder Straßenabschnitten oder in besonders belasteten Gebieten.

[...]

- (9) Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen sind nur dort anzuordnen, wo dies auf Grund der besonderen Umstände zwingend erforderlich ist. Dabei dürfen Gefahrzeichen nur dort angeordnet werden, wo es für die Sicherheit des Verkehrs erforderlich ist, weil auch ein aufmerksamer Verkehrsteilnehmer die Gefahr nicht oder nicht rechtzeitig erkennen kann und auch nicht mit ihr rechnen muss. Insbesondere Beschränkungen und Verbote des fließenden Verkehrs dürfen nur angeordnet werden, wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine Gefahrenlage besteht, die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt. Satz 3 gilt nicht für die Anordnung von
 1. Schutzstreifen für den Radverkehr (Zeichen 340),
 2. Fahrradstraßen (Zeichen 244.1),
 3. Sonderwegen außerhalb geschlossener Ortschaften (Zeichen 237, Zeichen 240, Zeichen 241) oder Radfahrstreifen innerhalb geschlossener Ortschaften (Zeichen 237 in Verbindung mit Zeichen 295),
 4. Tempo 30-Zonen nach Absatz 1c,
 5. verkehrsberuhigten Geschäftsbereichen nach Absatz 1d,

6. innerörtlichen streckenbezogenen Geschwindigkeitsbeschränkungen von 30 km/h (Zeichen 274) nach Absatz 1 Satz 1 auf Straßen des überörtlichen Verkehrs (Bundes-, Landes- und Kreisstraßen) oder auf weiteren Vorfahrtstraßen (Zeichen 306) im unmittelbaren Bereich von an diesen Straßen gelegenen Kindergärten, Kindertagesstätten, allgemeinbildenden Schulen, Förderschulen, Alten- und Pflegeheimen oder Krankenhäusern,
7. Erprobungsmaßnahmen nach Absatz 1 Satz 2 Nummer 6 zweiter Halbsatz,
8. Fahrradzonen nach Absatz 1i.

Satz 3 gilt ferner nicht für Beschränkungen oder Verbote des fließenden Verkehrs nach Absatz 1 Satz 1 oder 2 Nummer 3 zur Beseitigung oder Abmilderung von erheblichen Auswirkungen veränderter Verkehrsverhältnisse, die durch die Erhebung der Maut nach dem Bundesfernstraßenmautgesetz hervorgerufen worden sind. Satz 3 gilt zudem nicht zur Kennzeichnung der in einem Luftreinhalteplan oder einem Plan für kurzfristig zu ergreifende Maßnahmen nach § 47 Absatz 1 oder 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes festgesetzten Umweltzonen nach Absatz 1f. Satz 3 gilt ferner nicht für Beschränkungen oder Verbote des fließenden Verkehrs nach Absatz 1 Satz 2 Nummer 7.

[...]

- (11) Absatz 1 Satz 1 und 2 Nummer 1 bis 3, 5 ~~und 6~~ bis 7, Absatz 1a, 1f, 2 Satz 1 und 4, Absatz 3, 4, 5 Satz 2 in Verbindung mit Satz 1, Absatz 7 sowie Absatz 9 Satz 1 bis 3, 4 Nummer 7 und Satz 6 und 7 gelten entsprechend für mit den Zeichen 330.1 und 330.2 gekennzeichnete Autobahnen in der Baulast des Bundes für das Fernstraßen-Bundesamt. Absatz 2 Satz 1 und 4 sowie Absatz 3, 4 und 7 gelten entsprechend für Bundesstraßen in Bundesverwaltung für das Fernstraßen-Bundesamt.

7.2.1.2 Formulierungsvorschläge für Änderungen der VwV-StVO

7.2.1.2.1 Zu den §§ 39 bis 43 Allgemeines über Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen – Änderungen in Randnummer 5

- 5 2. Die Flüssigkeit des Verkehrs ist mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zu erhalten. Dabei geht die Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer der Flüssigkeit des Verkehrs vor. Der Förderung der öffentlichen Verkehrsmittel ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Bei der Anwendung des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 darf die Flüssigkeit des Verkehrs auf besonders belasteten Straßen oder Straßenabschnitten oder in besonders belasteten Gebieten auch zulasten der Flüssigkeit des Verkehrs auf anderen Straßen oder Straßenabschnitten oder in anderen Gebieten gesteigert werden. Entsprechendes gilt, wenn Maßnahmen nach § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 zur Reduzierung von schädlichen Umwelteinwirkungen, die von Fahrzeugen ausgehen, ergriffen werden.

7.2.1.2.2 Zu Zeichen 250 (neu einfügen)

Das Zeichen kann in den Fällen des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO regelmäßig angeordnet werden, wenn die besondere Belastung nicht auf bestimmte Fahrzeugarten, sondern allgemein auf den Fahrzeugverkehr zurückzuführen ist und sie nicht bereits durch die Anordnung des Zeichens 251 behoben werden kann. In diesen Fällen ist es regelmäßig mit dem Sinnbild „Fahrrad“ und dem Wortzusatz „frei“ zu versehen.

7.2.1.2.3 Zu Zeichen 251 Verbot für Kraftwagen – Einfügung Nummerierung Randnummer 1 (bisher nicht nummeriert) und neue Randnummer 2

(Nummerierung neu einfügen)

- 1 Das Zeichen kann zur Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Infrastruktur, insbesondere sanierungsbedürftiger Brücken, vor oder während der Bauphase zur Aufrechterhaltung der Befahrbarkeit der Brücke zumindest für Teilmengen des Verkehrs zusammen mit einem die Gesamtmasse beschränkenden Zusatzzeichen zur Gewährleistung eines geringstmöglichen Eingriffs in den Verkehr angeordnet werden. Bei einer Anordnung des Zeichens nach Satz 1 ist die Straßenfläche zusätzlich durch Verkehrseinrichtungen (Anlage 4 lfd. Nummer 1 bis 4 zu § 43 Absatz 3, Leitbake, Leitschwelle, Leitbord und gegebenenfalls Absperrschranke zur Höhenbeschränkung für besonders hohe und damit großen Fahrzeugen) zu kennzeichnen, um die tatsächliche Befahrbarkeit nur für den zugelassenen Kraftfahrzeugverkehr zu verdeutlichen. Im unmittelbaren Zulauf empfiehlt sich zudem die Aufbringung von überfahrbaren Warnschwellen zwecks Ausschluss eines fahrlässigen Übersehens der Verkehrszeichen und -einrichtungen. Die Sätze 2 und 3 gelten nicht, soweit das Zeichen 251 aus anderen als den in Satz 1 genannten Gründen oder ohne ein die Gesamtmasse beschränkendes Zusatzzeichen angeordnet wird. Mit der Anordnung des Durchfahrtsverbotes geht in diesem Fall stets ein räumlich weit gestaffeltes Hinweis- und Umleitungskonzept für den ausgeschlossenen Verkehr einher. Es empfiehlt sich zudem, das Verbot im Vorhinein rechtzeitig medial zu begleiten.
- 2 Das Zeichen kann in den Fällen des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO regelmäßig angeordnet werden, wenn sich die besondere Belastung aufgrund des Verkehrs mit Kraftwagen ergibt.

7.2.1.2.4 Zu Zeichen 267 Verbot der Einfahrt – neue Randnummer 2

- 1 Für Einbahnstraßen vgl. zu Zeichen 220.
- 2 Das Zeichen kann in den Fällen des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO regelmäßig angeordnet werden.

7.2.1.2.5 Zu § 45 Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen – Einfügen der neuen Randnummer 14a und Änderung Randnummer 45a

- 14a Via Verkehrsregelungen zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens auf besonders belasteten Straßen oder Straßenabschnitten oder besonders belasteten Gebieten – Eine besondere Belastung im Sinne des Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 liegt vor, wenn das Verkehrsaufkommen oberhalb des Niveaus vergleichbarer Straßen oder des räumlichen Umfelds der betroffenen Straßen, Straßenabschnitte oder Gebiete liegt, oder das Verkehrsaufkommen ein von der Straßenverkehrsbehörde nach pflichtgemäßem Ermessen bestimmtes Ziel überschreitet. Die Straßenverkehrsbehörde berücksichtigt bei der Bestimmung des Zielwertes insbesondere die durch das Verkehrsaufkommen zu erwartende Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs (§ 6 Abs. 1 StVG) und der Umwelt (§ 6 Abs. 4 Nr. 2 StVG). Die Straßenverkehrsbehörde darf die Zielwerte auch unterhalb des Verkehrsaufkommens vergleichbarer Straßen, Straßenabschnitte oder Gebiete oder des übrigen räumlichen Umfelds der betroffenen Straßen, Straßenabschnitte und Gebiete festlegen, wenn dies der Förderung der Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs oder der Reduzierung schädlicher Umwelteinwirkungen, die von Fahrzeugen ausgehen, dient. Die Straßenverkehrsbehörde darf bei der Festlegung der Zielwerte und der Feststellung einer besonderen Belastung nach Fahrzeugarten differenzieren. Sie hat bei der Anwendung der Vorschrift im Rahmen ihrer Ermessensausübung Planvorgaben der jeweiligen Gebietskörperschaften, zum Beispiel Verkehrsentwicklungspläne, Klimamobilitätspläne, Nahverkehrspläne nach § 8 Abs. 3 Satz 2 PBefG oder ähnliche Planwerke, zu berücksichtigen. Sie soll technische Mittel zur dynamischen Ermittlung

des Verkehrsaufkommens und Wechselverkehrszeichen-Anlagen verwenden. Wenn durch die Maßnahmen mit erheblichen Verkehrsverlagerungen zu rechnen ist oder dies zur Förderung der Leichtigkeit oder Aufrechterhaltung der Sicherheit des Verkehrs erforderlich ist, sollen verkehrslenkende Hinweise gegeben werden, z. B. durch Zeichen 357, Verkehrslenkungstafeln, Wegweisung oder sonstige Umleitungskennzeichnungen. Hierbei sollen Wechselverkehrszeichen-Anlagen verwendet werden. Fahrräder und der öffentliche Personennahverkehr sollen von Maßnahmen nach § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 ausgenommen werden, es sei denn, die besondere Belastung geht maßgeblich von diesen Verkehrsarten aus und die Einhaltung des Linienfahrplans oder die Bedienqualität des Linienbedarfsverkehrs wird durch die Maßnahme nicht beeinträchtigt.

- 45a** XII. Vor der Anordnung von Verkehrsverboten für bestimmte Verkehrsarten durch Verkehrszeichen, wie insbesondere durch Zeichen 242.1 und 244.1, ist mit der für das Straßen- und Wegerecht zuständigen Behörde zu klären, ob eine straßenrechtliche Teileinziehung erforderlich ist. Diese ist im Regelfall notwendig, wenn bestimmte Verkehrsarten auf Dauer vollständig oder weitestgehend von dem durch die Widmung der Verkehrsfläche festgelegten verkehrüblichen Gemeingebrauch ausgeschlossen werden sollen. Durch Verkehrszeichen darf kein Verkehr zugelassen werden, der über den Widmungsinhalt hinausgeht. In den Fällen des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO ist regelmäßig keine Teileinziehung erforderlich, wenn die Anordnung dynamisch erfolgt, insbesondere durch Wechselverkehrszeichen-Anlage, oder nur für einen begrenzten Zeitraum.

7.2.2 Begründungsansätze

Ziel der Änderungen ist es, den Straßenverkehrsbehörden die Möglichkeit zu geben, das Verkehrsaufkommen auf einzelnen Straßen oder Straßenabschnitten oder aber in bestimmten Gebieten zu reduzieren. Hierbei ist insbesondere an dynamische Reaktionen auf das aktuelle Verkehrsaufkommen mittels Wechselverkehrszeichen-Anlagen oder ähnlicher Instrumente gedacht. Durch diese Maßnahmen kann dynamisch auf eine erhöhte Verkehrsbelastung reagiert werden, wie sie zum Beispiel durch automatisierte Fahrzeuge entstehen kann.

Kern der Änderung ist die Einfügung der neuen Nr. 7 in § 45 Abs. 1 StVO (vgl. oben 7.2.1.1). Hiernach darf die Straßenverkehrsbehörde zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens, auch durch bestimmte Fahrzeugarten, auf besonders belasteten Straßen oder Straßenabschnitten oder in besonders belasteten Gebieten die Benutzung bestimmter Straßen oder Straßenstrecken beschränken oder verbieten und den Verkehr umleiten.

Hierbei ist auf Tatbestandsebene festzustellen, ob eine besondere Belastung durch erhöhtes Verkehrsaufkommen vorliegt. Maßgeblich zur Beurteilung durch die Straßenverkehrsbehörde sind einerseits Vergleichswerte von anderen, aber vergleichbaren Straßen. Andererseits soll die Behörde nach pflichtgemäßem Ermessen auch Zielwerte festlegen können, um ein besonders hohes Qualitätsniveau im Hinblick auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs in ihrem Zuständigkeitsbereich gewährleisten zu können. Dabei soll sie sich insbesondere auch nach den Planungsvorgaben der Gebietskörperschaften (z. B. Nahverkehrspläne, Verkehrsentwicklungspläne oder – soweit anwendbar – Klimamobilitätspläne) richten. Diese Vorgaben an die Ermessensausübung werden zur Bindung der Straßenverkehrsbehörden in der VwV-StVO festgelegt. Die VwV-StVO bindet die Straßenverkehrsbehörden als ermessenslenkende Verwaltungsvorschrift mit dem Ziel, „dass verkehrsbehördliche

Anordnungen im ganzen Bundesgebiet nach den gleichen Grundsätzen erfolgen. Der Verkehrsteilnehmer soll überall in Deutschland die gleichen Verkehrsregeln vorfinden.“⁷⁷

Die Vorschrift soll den Straßenverkehrsbehörden auch die Möglichkeit geben, im Rahmen ihres Gefahrenabwehrauftrages nach Maßgabe der Planvorgaben der Gebietskörperschaften in gewissem Rahmen gestaltend und verkehrslenkend einzugreifen. Aus diesem Grund wird die Anwendbarkeit des § 45 Abs. 9 Satz 3 StVO in den Fällen des § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO ausgeschlossen. Nach dieser Vorschrift dürfen „Beschränkungen und Verbote des fließenden Verkehrs [...] angeordnet werden, wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine Gefahrenlage besteht, die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt.“ Diese Vorgabe steht aber dadurch, dass sie auf die besonderen örtlichen Verhältnisse abstellt, einer effektiven Gefahrenabwehr entgegen. Denn aufgrund des zunehmenden PKW-Verkehrs werden die durch besondere Verkehrsbelastung ausgelösten Gefahren zu einer flächendeckenden Dauer Gefahr, die nicht mehr spezifisch für bestimmte Straßenabschnitte sind, sondern die Verkehrsverhältnisse im Allgemeinen charakterisieren. Bei einer (übermäßig) strengen Auslegung des § 45 Abs. 9 Satz 3 StVO wäre damit eine Gefahrenabwehr nicht mehr zulässig, weshalb dessen Anwendbarkeit ausgeschlossen wird.

7.2.2.1 Einklang mit der Verordnungsermächtigung

Die Vorschrift entspricht dem Zweck der Verordnungsermächtigung in § 6 Abs. 1 Nr. 2 und 8 StVG i. V. m. § 6 Abs. 4 Satz 1 Nr. 1 und 2 StVG. Nach § 6 Abs. 1 Nr. 2 und 8 StVG wird das

„Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [...] ermächtigt, soweit es zur Abwehr von Gefahren für die Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs auf öffentlichen Straßen erforderlich ist, Rechtsverordnungen mit Zustimmung des Bundesrates über Folgendes zu erlassen: [...]

2. das Verhalten im Verkehr, [...]

8. die zur Verhütung von Belästigungen anderer, zur Verhütung von schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes oder zur Unterstützung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung erforderlichen Maßnahmen“

Diese Ermächtigungsgrundlage wird durch den „zweckausdehnenden Absatz“⁷⁸ 4 konkretisierend ergänzt, hier Satz 1 Nr. 1 und 2:

„Rechtsverordnungen nach Absatz 1 Satz 1 Nummer [...] 2[...] und 8 [...], können auch erlassen werden

1. zur Abwehr von Gefahren, die vom Verkehr auf öffentlichen Straßen ausgehen,

2. zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen, die von Fahrzeugen ausgehen, [...]"

Die Ermächtigungsgrundlage in § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO dient vorrangig der Abwehr von Gefahren für die Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs. Dass eine besondere Belastung durch das Verkehrsaufkommen eine Gefahr für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs darstellt, liegt nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts „auf der Hand“.⁷⁹ Soweit auf die tatsächlich vor Ort festgestellte Verkehrsbelastung abgestellt wird, ist dies auch nicht nur eine abstrakte Gefahr, sondern eine konkrete, die sogar dem Maßstab des § 45 Abs. 9 Satz 3 StVO gerecht werden kann.⁸⁰ In gleicher Weise ist ein erhöhtes Fahraufkommen geeignet, schädliche

⁷⁷ OVG Lüneburg, Beschl. v. 05.12.2003 – 12 LA 467/03 –, juris Rn. 14 f.

⁷⁸ BR-Drs. 257/21, S. 43.

⁷⁹ BVerwG, Beschl. v. 04.07.2007 – 3 B 79/06 –, juris Rn. 6.

⁸⁰ BVerwG, Urt. v. 23.09.2010 – 3 C 37/09 –, juris Rn. 31.

Umwelteinwirkungen in Form von Luftschadstoffen, Lärm und Lichtverschmutzung zu generieren.

7.2.2.2 Kein Verstoß gegen den Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit des Straßenverkehrsrechts

Die vorgeschlagene Regelung verstößt nicht gegen den Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit des Straßenverkehrsrechts.

Nach dem vom Bundesverwaltungsgericht aus der „Gesamtausrichtung des Straßenverkehrsrechts“ hergeleiteten Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit, sind alle Verkehrsteilnehmer bei erlaubter Verkehrsteilnahme grundsätzlich gleichberechtigt und Privilegierungen unzulässig.⁸¹

Die im vorliegenden Entwurf vorgeschlagene Differenzierung einerseits zwischen denjenigen Fahrzeugen, die bereits im betroffenen Gebiet sind, und denjenigen, die dieses aufgrund der besonderen Belastung nicht mehr befahren dürfen, und andererseits der im Rahmen der Soll-Vorschriften der Änderungsvorschläge zur VwV-StVO vorgegebenen Differenzierung zwischen dem Kraftwagenverkehr und dem Radverkehr und dem öffentlichen Personennahverkehr (vgl. oben 7.2.1.2.5), lässt sich aber rechtfertigen. Denn Differenzierungen, die objektiv geeignet sind, einer bestimmten Gefahrenlage zu begegnen sind mit dem Grundsatz nach der Rechtsprechung vereinbar, selbst dann, wenn sie reflexhaft eine Besserstellung bestimmter Fahrzeugarten gegenüber anderen Fahrzeugarten verursachen. Bei ihnen „handelt es sich um eine mittelbare Folgewirkung, nicht aber um eine gezielte Privilegierung“.⁸² Das dürfte hier regelmäßig der Fall sein, da die Belastungen durch Kraftfahrzeugverkehr sowohl im Hinblick auf die Flüssigkeit des Verkehrs (sowohl der ruhende als auch der fließende Kraftfahrzeugverkehr beanspruchen wesentlich mehr Fläche als der ruhende und fließende sonstige Verkehr) als auch im Hinblick auf schädliche Umwelteinwirkungen größer sind als die durch sonstigen Verkehr.

Darüber hinaus ist der Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit ohnehin kein unumstößliches Gesetz, sondern kann durch Regelungen im Einzelfall aufgeweicht oder sogar durch explizit angeordnete Privilegierungen für einzelne Regelungskomplexe außer Kraft gesetzt werden.⁸³

7.2.2.3 Verhältnismäßigkeit

Nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit darf die Straßenverkehrsbehörde nur Maßnahmen ergreifen, wenn die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht auch durch weniger weitgehende Anordnungen gewährleistet werden kann.⁸⁴ Das dürfte in den Fällen des neuen § 45 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 StVO nur in seltenen Ausnahmefällen gegeben sein. Denn naturgemäß lassen sich Gefahren, die gerade auf der besonderen Belastung durch erhöhtes Verkehrsaufkommen beruhen, besonders gut durch eine Reduzierung des Verkehrsaufkommens abwehren. Soweit also auf Tatbestandsebene bereits die besondere Belastung festgestellt wurde, sind mildere Mittel regelmäßig nicht ersichtlich. Eine Ausnahme hiervon bildet eine Differenzierung zwischen dem Kraftwagen- und dem sonstigen Verkehr, da letzterer regelmäßig mit geringeren Belastungen einhergeht.

Für die Verhältnismäßigkeit spricht auch die Rechtsprechung des BVerwG zu Busspuren: In diesem Zusammenhang wurde entschieden, dass eine Beeinträchtigung des Individualverkehrs durch die Entziehung der Spur insbesondere dann verhältnismäßig sein soll, wenn „eine Beschleunigung und Verstetigung des umfangreichen Linienbusverkehrs bezweckt und auch

⁸¹ VGH Baden-Württemberg, Beschl. v. 24.06.2022 – 2 S 809/22 –, juris Rn. 173, m. w. N.

⁸² Vgl. BVerwG, Urt. v. 23.09.2010 – 3 C 37/09 –, juris Rn. 49.

⁸³ Vgl. zur Privilegierung des Radverkehrs auf Fahrradstraßen VG Karlsruhe, Urt. v. 24.05.2022 – 14 K 964/21 –, juris Rn. 29; zu Busspuren vgl. BVerwG, Urt. v. 27.01.1993 – 11 C 35/92 –, juris Rn. 19.

⁸⁴ BVerwG, Urt. v. 05.04.2001 – 3 C 23/00 –, juris Rn. 22.

tatsächlich erreicht worden [ist]“ und dies „zugleich dem Verkehrsfluß auf dem verbleibenden, von Linienomnibussen nicht mehr mitbenutzten Fahrstreifen zugute“ kommt.⁸⁵ Letzteres soll regelmäßig dadurch der Fall sein, dass „die diesem [dem Individualverkehr] verbleibende Verkehrsfläche vom Linienbusverkehr entlastet und somit vielfach eine Verstetigung des Gesamtverkehrs bewirkt“ wird.⁸⁶ Diese Argumentationslinie lässt sich auf den hier gegebenen Vorschlag übertragen: der Gesamtverkehrsfluss wird durch die Reduzierung des örtlichen Verkehrsaufkommens verbessert, was den Verkehrsteilnehmenden, die trotz der Reduzierungsmaßnahmen im betroffenen, nunmehr entlasteten Bereich unterwegs sind, zugutekommt.

7.2.3 Weitere Hinweise

Keine Unterscheidung zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen

Die oben beschriebene Maßnahme entspricht dem Regulierungsvorschlag aus Kapitel 6.3.3 des Abschlussberichts. Mit den dynamischen Zugangsbeschränkungen kann insbesondere auf ein durch automatisiertes Fahren gesteigertes Verkehrsaufkommen reagiert werden. Es spricht aber aus unserer Sicht einiges dafür, eine abstrakte Regelung wie hier vorgeschlagen zu formulieren, die auch nicht-automatisierten Verkehr umfasst:

- ▶ Dem allgemeinen Gleichheitssatz (Art. 3 Abs. 1 GG) folgend, müssten Ungleichbehandlungen zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen aufgrund sachlicher Gründe gerechtfertigt werden. Es ist jedoch nach unserer Einschätzung im Hinblick auf die Beeinträchtigung der Schutzzwecke der StVO (Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs sowie Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen, die von Fahrzeugen ausgehen) irrelevant, wer (oder was) ein Fahrzeug steuert. Automatisierte Fahrzeuge stellen nicht per se eine größere Beeinträchtigung der Allgemeinheit dar, sondern könnten sogar, bei entsprechend „programmierter“ schonender Fahrweise tendenziell eine Erleichterung darstellen. Erst die Häufung ihres Auftretens bzw. die Zunahme der Fahrleistung begründet besondere Gefahren. Insofern erscheint es zweckmäßig, bei Zugangsbeschränkungen nur nach dem Verkehrsaufkommen zu differenzieren, nicht nach der Art der Steuerung.
- ▶ Automatisiertes Fahren ist bisher kein Alltagsphänomen. Der praktische Nutzen der Anpassung erhöht sich deshalb, wenn sie abstrakt formuliert ist.
- ▶ Automatisiertes Fahren wird jedenfalls in Teilen der Allgemeinheit als „Science Fiction“ angesehen. Deshalb könnten allgemein formulierte Vorschriften eine größere Akzeptanz in der Bevölkerung haben, was ihre Umsetzungswahrscheinlichkeit steigern könnte.

Ob § 6 Abs. 4 Nr. 1 StVG tatsächlich mit zitiert werden muss, sollte noch einmal vertieft anhand der historischen Gesetzgebungsunterlagen geprüft werden. Das letzte Änderungsgesetz (BR-Drs. 257/21) gibt zur Auslegung dieser Zweckausdehnung keine Hinweise.

7.3 Straßenverkehrsrecht: Beschränkung des Parksuchverkehrs

Gegenstand der nachfolgenden Formulierungsvorschläge ist eine Reduzierung des Verkehrsaufkommens, das durch den Parksuchverkehr verursacht wird.

Die dargestellten Formulierungsvorschläge beinhalten nicht die oben in Kapitel 6.3 skizzierten weiteren rechtlichen Klärungs- und Anpassungsbedarfe. Denkbar wäre es, die nachfolgend vorgeschlagenen Vorschriften mit Lösungsansätzen zu verknüpfen, die sich spezifisch aus der

⁸⁵ BVerwG, Urt. v. 27.01.1993 – 11 C 35/92 –, juris Rn. 20.

⁸⁶ BVerwG, Urt. v. 27.01.1993 – 11 C 35/92 –, juris Rn. 19.

Digitalisierung ergeben. So könnte durch ein digitales Verkehrsmanagement die Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln unter Nutzung der Digitalisierung von Fahrzeugen verbessert werden, vor der rechtlichen Einführung wären allerdings zahlreiche Vorfragen zu klären (vgl. dazu Kapitel 6.3.3.2 sowie Kapitel 6.1.1, 6.1.3 und 8.8.2).

7.3.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen an Gesetzen, Verordnungen und sonstigen Normtexten

7.3.1.1 Formulierungsvorschläge für Änderungen der StVO

7.3.1.1.1 § 30 Umweltschutz, Sonn- und Feiertagsfahrverbot – Änderungen in Abs. 1

- (1) Bei der Benutzung von Fahrzeugen sind unnötiger Lärm und vermeidbare Abgasbelastungen verboten. Es ist insbesondere verboten, Fahrzeugmotoren unnötig laufen zu lassen und Fahrzeugschließens übermäßig laut zu schließen. Unnützes Hin- und Herfahren ist innerhalb geschlossener Ortschaften verboten, wenn Andere dadurch belästigt werden. Wenn ein Kraftfahrzeug bewegt wird, um eine Abstellmöglichkeit zu finden, darf ein Straßenabschnitt, der bereits nach freien Parkplätzen abgesucht wurde, nicht innerhalb eines Zeitraums von fünf Minuten erneut abgesucht werden. Innerhalb eines angemessenen Zeitraums, längstens jedoch nach zehn Minuten, ist eine voraussichtlich freie Abstellmöglichkeit, unabhängig davon, ob diese kostenlos oder kostenpflichtig nutzbar ist, direkt anzufahren. Die Sätze 4 und 5 gelten nicht, wenn Kinder unter drei Jahren im Fahrzeug sind und nicht für Personen, die Parkbevorrechtigungen im Sinne des § 45 Abs. 1b Nr. 2 in Anspruch nehmen dürfen.

7.3.1.1.2 § 46 Ausnahmegenehmigung und Erlaubnis – neue Nr. 7a in Abs. 1 Satz 1

- (1) Die Straßenverkehrsbehörden können in bestimmten Einzelfällen oder allgemein für bestimmte Antragsteller Ausnahmen genehmigen

[...]

7a. von den Vorgaben zum Parksuchverkehr über die bereits genannten Ausnahmen hinaus (§ 30 Abs. 1 Satz 4 und 5)

7.3.1.2 Formulierungsvorschläge für Änderungen der VwV-StVO

7.3.1.2.1 Zu § 30 Umweltschutz und Sonntagsfahrverbot – Einfügen der neuen Randnummer 6a

6a § 30 Abs. 1 Satz 4 verbietet das erneute Befahren eines Straßenabschnittes zum Zwecke der Stellplatzsuche auch dann, wenn hierdurch keine Belästigung im Sinne des § 30 Abs. 1 Satz 2 hervorgerufen wird. Die Angemessenheit des Zeitraums nach Satz 4 bestimmt sich nach den konkreten Verhältnissen vor Ort. Ein Zeitraum ist regelmäßig spätestens dann unangemessen, wenn eine Abstellmöglichkeit so nahe gelegen ist, dass der Suchverkehr doppelt so lange dauert, wie der Fußweg von der Parkmöglichkeit zum Ziel. Innerorts ist eine Zeitspanne von 10 Minuten regelmäßig als unangemessen zu bewerten. Unangemessen ist eine Zeitspanne auch dann, wenn in der Gesamtschau das Ziel der Fahrt nicht auf das Auffinden einer Abstellmöglichkeit gerichtet ist, sondern die Fahrbahn als „bewegter Stellplatz“ missbraucht wird.

7.3.1.2.2 Zu § 46 Ausnahmegenehmigung und Erlaubnis – Einfügen der neuen Randnummer 114a

114a Von den Vorgaben zum Parksuchverkehr dürfen Ausnahmen nur genehmigt werden, wenn und soweit Umstände vorliegen, aus denen sich ein über dem Durchschnitt liegendes Bedürfnis eines zielnahen Parkplatzes ergeben. Die Ausnahme ist in der Regel auf bestimmte, einzelne oder mehrere Straßenzüge oder Gebiete zu beschränken. Wird sie für bestimmte Straßenzüge oder Gebiete erteilt, ist der durchschnittliche

Bedarf an zielnahem Parken in Bezug auf den jeweiligen Straßenzug oder das jeweilige Gebiet heranzuziehen. Die Ausnahme ist in der Regel zeitlich zu befristen.

7.3.2 Begründungsansätze

7.3.2.1 Vereinbarkeit mit der Ermächtigungsgrundlage

Der Vorschlag zur Änderung der StVO kann gestützt werden auf § 6 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 und 8 StVG i. V. m. § 6 Abs. 4 Satz 1 Nr. 2 StVG. Sie dient der Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs, indem das Verkehrsaufkommen, das durch den Parksuchverkehr verursacht wird, reduziert wird.⁸⁷ Zudem soll sie schädliche Umwelteinwirkungen, die vom Parksuchverkehr ausgehen, reduzieren. Da übermäßiger Parksuchverkehr als „unnütze Fahrzeugbewegung“ aufgefasst werden kann, ist die Norm systematisch in § 30 Abs. 1 StVO gut aufgehoben.

7.3.2.2 Keine Erweiterung des Ordnungswidrigkeitenkatalogs erforderlich

Eine Erweiterung des Ordnungswidrigkeitenkatalogs nach § 49 StVO ist nicht erforderlich, da in § 49 Abs. 1 Nr. 25 StVO bereits Verstöße gegen die Pflichten aus § 30 Abs. 1 StVO als Ordnungswidrigkeit definiert sind.

7.3.2.3 Verhältnismäßigkeit

Die Beschränkung des Parksuchverkehrs reiht sich systematisch in das bestehende Verbot, unnötigen Lärm und Abgase zu erzeugen, ein. Es erfolgt insofern die Klarstellung, dass auch das wiederholte Durchfahren der gleichen Straßen auf der Suche nach einem kostenlosen oder subjektiv optimalen Parkplatz als unnötige Erzeugung von Lärm und Abgasen zählt. Erweitert wird dieses Verbot dahingehend, dass davon auch Fahrzeuge erfasst sind, die hinsichtlich Lärms und Abgasen emissionsfrei sind. Es wird insofern das Verbot aufgenommen, durch Parksuchverkehr unnötig Verkehr zu erzeugen. Hierdurch wird übermäßiger Parksuchverkehr unterbunden und die Verkehrsbelastung entsprechend reduziert. Dies dient insbesondere der Leichtigkeit des Verkehrs und wirkt der Gefahr eines übermäßigen Verkehrsaufkommens entgegen. Dies gilt umso mehr, wenn fahrerlos navigierende Fahrzeuge ohne menschliches Zutun Parkplätze suchen oder das Fahrzeug das Parken durch die Teilnahme am Verkehr substituiert.

Der Eingriff in die Rechte der betroffenen Autofahrerinnen und -fahrer ist indes marginal. Ein Anspruch auf einen subjektiv optimalen, kostenlosen Parkplatz besteht nicht. Vielmehr muss ein angemessenes Verhältnis zwischen der Freiheit der fahrenden Personen, einen Parkplatz zu suchen und den Interessen der Personen gefunden werden, die vom Parksuchverkehr negativ betroffen sind. Dies wird in der Regel bereits dadurch erreicht, dass Parksuchverkehr für eine ortsangemessene Zeit zulässig ist. Fälle, in denen darüberhinausgehend ein besonderes Bedürfnis an einem zielnahen Parkplatz besteht, werden wirksam kompensiert. Dies geschieht einerseits durch die Ausnahme in § 30 Abs. 1 Satz 5 StVO, der bereits die Fälle erfassen dürfte, in denen ein solches besonderes Bedürfnis besteht. In Fällen, in denen ein gleichwertig legitimes Interesse besteht, die von der generellen Ausnahme jedoch nicht erfasst sind, werden besondere Härten durch eine Ausnahmegenehmigung nach § 46 Abs. 1 Nr. 6a StVO vermieden.

Die Privilegierung von Personen, die Parkbevorrechtigungen im Sinne des § 45 Abs. 1b Nr. 2 StVO in Anspruch nehmen, dient der Abmilderung persönlicher Härten aufgrund besonderer Umstände (Gehbehinderung). Sie ist ebenso auf Familien mit Kindern unter drei Jahren auszuweiten. Die Teilnahme am Fußverkehr ist mit Kindern dieses Alters nicht selten mit dem Mitführen weiteren Gepäcks verbunden. Daneben stellt der Straßenverkehr für diese Kinder

⁸⁷ Zur Begründung, warum das Verkehrsaufkommen als solches eine Gefahr darstellt siehe oben 7.2.2.1.

eine besondere Gefahr dar. Einerseits können sie aufgrund ihrer geringen Größe Gefahren selbst schlecht wahrnehmen und werden zudem auch schlecht wahrgenommen. Andererseits fehlt ihnen regelmäßig das Gefahrenbewusstsein im Straßenverkehr. Der sich daraus ergebende besondere Schutzauftrag rechtfertigt die Ausnahme.

7.3.3 Weitere Hinweise

Es ist zu prüfen, ob § 6 Abs. 4 Satz 1 Nr. 2 StVG mit zitiert werden muss. Hierfür wären die historischen Gesetzgebungsmaterialien zu studieren, da sich der letzte Änderungsentwurf hierzu ausschweigt. Es erscheint auch vertretbar, dass die vorliegende Vorschrift gerade nicht auf solche Umwelteinwirkungen abzielt, die von Fahrzeugen ausgehen (im Sinne technisch bedingter Auswirkungen), sondern auf solche, die vom Verhalten (i. S. d. § 6 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 StVG) ausgehen.

Problematisch erscheint der Konnex zwischen der Norm und dem Regelungsziel des § 6 Abs. 1 Satz 1 Halbsatz 1 StVG. Denn nach dieser Norm dürfen Regelungen der StVO grundsätzlich nur der Abwehr von Gefahren für die Leichtigkeit und Sicherheit „des Verkehrs“ dienen. Da jedoch historischer auch der Schutzzweck des übrigen § 30 Abs. 1 nie infrage stand, gehen wir im Ergebnis davon aus, dass die Norm von der Ermächtigungsgrundlage erfasst ist.

Diese Vorschrift kann erhebliche Schwierigkeiten im Vollzug mit sich bringen. Es dürfte von außen nur schwerlich erkennbar sein, ob ein Fahrzeug sich im Parksuchverkehr befindet oder ein konkretes Ziel ansteuert. Denkbar wäre allerdings eine Kontrolle an bestimmten Punkten, um wiederkehrende Fahrzeuge zu entdecken, die dann zielgerichtet kontrolliert werden könnten. Die Vollzugsschwierigkeiten sind allerdings nicht größer als ohnehin in den Fällen des § 30 StVO. Hinzu kommt, dass ggf. gegen Autohersteller vorgegangen werden kann, wenn diese Fahrzeuge in den Verkehr bringen, die automatisierte Funktionen mit sich bringen, die auf eine Umgehung der Vorschrift ausgerichtet sind.

Die oben aufgezählte Verhältnismäßigkeitsprüfung könnte bei entsprechender Argumentation auch anders ausgehen. Insbesondere könnte man hier anführen, dass die Norm einem „Vertreiben“ der Verkehrsteilnehmenden aus dem öffentlichen Straßenraum gleichkommt. Man könnte argumentieren, dass der Zwang zum Aufsuchen eines kostenpflichtigen Parkplatzes eine erhebliche Einschränkung bedeutet. Gegen die Unverhältnismäßigkeit könnte auch sprechen, dass den Verkehrsteilnehmenden gerade in unbekannter Umgebung freie Parkplätze regelmäßig nicht bekannt sind. Zudem wird durch die Norm ein großer Vorteil des MIV relativiert.

Ein gewisses Spannungsverhältnis besteht zudem auch zum Grundsatz der Privilegienfeindlichkeit. Denn hier wird ein bestimmter Verkehrszweck gegenüber anderen Verkehrszwecken diskriminiert. Dem kann man aber auch wiederum die Existenz des § 30 Abs. 1 StVO aktueller Fassung entgegenhalten, der das „unnütze“ Fahren diskriminiert und somit exemplarisch dafür steht, dass die StVO Wertungen des Verkehrsverhaltens vornimmt und hieraus Konsequenzen bis hin zum Ausschluss von der Verkehrsteilnahme zieht.

8 Gesamthafte Auswertung

In diesem Kapitel erfolgt eine gesamthafte Darstellung der zur Regulierung⁸⁸ der Digitalisierung im Verkehr und insbesondere des automatisierten und vernetzten Fahrens erforderlichen Maßnahmen mit Fokus auf ihrer Zielrichtung und in ihrem Zusammenwirken (regulativer Gesamtrahmen).

Als Ziele einer auf ökologische Nachhaltigkeit ausgerichteten Regulierung der Digitalisierung im Verkehr sind hervorzuheben (vgl. Kapitel 3.1 bis 3.4):

- ▶ Klimaschutz, Treibhausgasreduktion und Reduktion des Energiebedarfs im Verkehr,
- ▶ Reduktion des Flächen- und Ressourcenverbrauchs,
- ▶ Sicherheit, insbesondere für den Fuß- und Radverkehr, und
- ▶ Luftreinhaltung und Lärmreduktion.

Auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte müssen berücksichtigt werden – insbesondere die Mobilitätssicherung der Bevölkerung als staatliche Gewährleistungsverantwortung im Rahmen der Daseinsvorsorge, die Mobilität von Gütern und die Umsetzbarkeit von Maßnahmen (organisatorisch und finanziell) für staatliche Akteure, insbesondere für Kommunen (vgl. Kapitel 3.5 am Ende) und.

Um diese Ziele zu erreichen, ist ein differenziertes und vielfältiges Instrumentarium erforderlich, das in der Anwendung ineinandergreift und durch das regional-spezifische Bedarfe durch die konkrete Anwendung vor Ort berücksichtigt werden können. Nur durch eine größere Anzahl von verschiedenen Instrumenten kann eine ausreichende Befähigung der öffentlichen Hand zur Regulierung des automatisierten und vernetzten Fahrens erreicht werden. Die Anknüpfungspunkte der Regulierung sind vielfältig und betreffen unterschiedliche Themen, Akteure und Rechtsgebiete im Kontext von Verkehr und Mobilität. Der Akteur der jeweils einzelnen Regulierung kann nur seinen Teilaspekt verantworten. In ihrem Zusammenspiel – im Sinne eines regulativen Gesamtrahmens – können die einzelnen Instrumente die im Sinne der Nachhaltigkeit erforderliche Regulierung ermöglichen. Dieses ist aber kein Selbstläufer, sondern bedarf zueinander konformer Ziele einer nachhaltigen Entwicklung im Verkehr und letztlich auch ein konzertiertes Vorgehen in der Festlegung und Umsetzung der konkreten Maßnahmen.

Neben den einzelnen Regulierungsinstrumenten bedarf es daher zwingend auf der Ebene der Ziele und Strategien einer Verständigung über alle Akteure der Verkehrsregulierung. Von Seiten der Gesetzgebung ist daher sowohl horizontal über die verschiedenen Rechtsgebiete als auch vertikal über die verschiedenen Gesetzgebungsebenen (EU, Bund und Länder) Zielkohärenz über die verschiedenen Rechtsgebiete der Regulierung zu schaffen, Zielkonflikte sind zu identifizieren und weitestgehend aufzulösen.

In den nachfolgenden Abschnitten erfolgt:

- ▶ Eine Beschreibung des Ziels, das es bei einer Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Mobilität (vgl. dazu Kapitel 3) zu erreichen gilt – ein ökologisch nachhaltiges, digitalisiertes Gesamtverkehrssystem (Kapitel 8.1) – und der für das Erreichen des Ziels erforderlichen integrierten und zielgerichteten Verkehrsplanung (Kapitel 8.2).

⁸⁸ In dieser Studie wird der Begriff „Regulierung“ – anders als im Kontext der Monopolregulierung von netzgebundenen Versorgungsindustrien – in einem weiten Sinn verwendet, der Begriff erfasst staatliche Handlungsansätze unterschiedlicher Art.

- Eine Darstellung der verschiedenen Instrumente mit Bewertung, ob und in welchen Gesetzen bzw. Rechtsmaterien für diese ein rechtlicher Anpassungsbedarf besteht (Kapitel 8.3 bis 8.8).

8.1 Ziel: Ökologisch nachhaltiges, digitalisiertes Gesamtverkehrssystem

Personenverkehr

Im Personenverkehr hat ein ökologisch nachhaltiges Gesamtverkehrssystem unter Einbezug von Automatisierung und Digitalisierung den Umweltverbund als starke Basis:

Rad- und Fußverkehr haben große Vorteile für eine ökologische nachhaltige Mobilität und damit eine hohe Priorität bei der Gestaltung des Verkehrs im Nahbereich. Eine für Klimaschutz, Gesundheitsschutz, Umweltschutz und Flächeneffizienz erforderliche hohe Beförderungseffizienz im motorisierten Verkehr (vgl. dazu Kapitel 3.5, Erläuterung zu Prüfkriterium 4) wird durch ein starkes und attraktives ÖV-System erreicht werden. Automatisierung und Vernetzung können die Funktionsfähigkeit des ÖV verbessern und attraktiver machen. Teil des beförderungseffizienten ÖV-Systems und des Umweltverbunds können – bei Beachtung bestimmter Anforderungen der Nachhaltigkeit – auch fahrerlose Sammelfahrdienste sein, die ÖPNV-Qualität haben und den kollektiven Verkehr im ÖV-System gezielt unterstützen.

Aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit ist eine gezielte Verlagerung vom MIV zum Umweltverbund erstrebenswert.⁸⁹ Regulierende Ansätze sollten dafür „Hand in Hand“ gehen, es sollte also zugleich der Erhalt bzw. der Ausbau eines leistungsfähigen und attraktiven ÖV-Systems vorangetrieben und Einschränkungen für wenig beförderungseffiziente motorisierte Verkehrsmittel (insbesondere im MIV) umgesetzt werden.

Ziel ist ein leistungsfähiges und attraktives Grundangebot für den öffentlichen Personenverkehr als Linienverkehr (Bündelfunktion), mit dem die Mobilitätssicherung für die Bevölkerung als staatliche Gewährleistungsverantwortung wahrgenommen wird.

Das ÖV-System kann sein Nachhaltigkeitspotenzial nur dann ausschöpfen, wenn sein Angebot insbesondere im ÖPNV unmittelbar in die Infrastruktur und damit in die Nutzungsmöglichkeiten des Rad- und Fußverkehrs eingebettet und mit dieser verzahnt ist. Insbesondere das organisierte Zusammenspiel von Radverkehr und ÖV ermöglicht eine Reichweitenverlängerung für beide Teilsysteme. Das Gesamtsystem des Umweltverbunds muss zudem in Abstimmung mit der Raum- und Siedlungsplanung entwickelt werden, um den standortbedingten Bedarf der Nutzung des MIV zu reduzieren.

Unterstützend für das ÖV-System kommen (fahrerlose) Sammelfahrdienste, taxiähnliche Fahrdienste und der privat genutzte Pkw zum Einsatz, wenn und insoweit als der Linienverkehr mit seinen spezifischen Vorteilen an seine Grenzen stößt:

- Soweit ein (fahrerloser) Sammelfahrdienst Lücken des ÖV-Systems schließt und zur Gewährleistung von Mobilität für alle erforderlich ist, sollte er in „ÖPNV-Qualität“ umgesetzt werden – dies gilt für den Zugang zum Angebot (z.B. keine exklusiv wirkenden Buchungsvoraussetzungen), für die Preisgestaltung („ÖPNV-Tarif“) für die Nutzung (Möglichkeit barrierefreier Beförderung, Mitnahme Kinderwagen, Fahrrad, Gepäck) und für betriebliche Nachhaltigkeitsanforderungen (Bündelung soweit wie möglich, Zuführung zum Linienverkehr, Vermeidung von Leerfahrten u. ä., vgl. dazu im Detail Kapitel 5.2.3.3 und Kapitel 6.6.1).

⁸⁹ Mit MIV ist hier sowohl die Nutzung privater (automatisierter) Pkw als auch die Nutzung von (fahrerlosen) Fahrdiensten gemeint, wenn diese außerhalb des systematisch auf kollektiven Verkehr ausgerichteten ÖV stattfindet.

- Taxiähnliche Fahrdienste und privat genutzte Pkw können ebenfalls eine ergänzende Funktion einnehmen. Die Verkehrsleistung im (fahrerlosen) MIV ist in einem ökologisch nachhaltigen Gesamtverkehrssystem allerdings möglichst gering zu halten. Jede Fahrt bedeutet hier – anders als im ÖV-Linienvverkehr – zusätzliche Fahrleistung bei geringer Beförderungseffizienz.

Güterverkehr

Im Güterverkehr basiert ein ökologisch nachhaltiges Gesamtverkehrssystem unter Einbezug von Automatisierung und Digitalisierung stärker als bisher auf dem Schienengüterverkehr. Für den Schienengüterverkehr bzw. Kombinierten Verkehr ergeben sich durch Automatisierung und Vernetzung Chancen für einen ökologisch nachhaltigen Gütertransport. Die Attraktivität des Schienenverkehrs kann so erhöht, Verkehr auf die Schiene verlagert und neue Märkte erschlossen werden. Auf die kapazitative Begrenztheit der Verlagerungspotentiale durch Automatisierung bleibt dennoch hinzuweisen.

Durch die Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens im Straßengüterverkehr bestehen allerdings Risiken für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung, denen mit einer wirksamen Regulierung begegnet werden muss. Zwar kann durch die Automatisierung grundsätzlich mit einer höheren Beförderungseffizienz gerechnet werden, allerdings sind im Nettoeffekt auch höhere Fahrleistungen zu erwarten, da sich Kostensenkungen und eine erhöhte Servicequalität in Mehrverkehr auf der Straße niederschlagen dürften. Dies korrespondiert mit einem erhöhten CO₂-Ausstoß und weiteren negativen Umweltwirkungen, welche die positiven Effekte ggf. geringerer Geschwindigkeiten überkompensieren dürften. Marktvorteile für den Straßengüterverkehr stehen zudem einer – aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit – wünschenswerten Expansion der Bahn in margenstarke Zukunftsmärkte der Logistik entgegen.

Im urbanen Raum bestehen einerseits vielfältige Nutzungskonkurrenzen im öffentlichen Raum, andererseits ist denkbar, dass durch neue Konzepte für die urbane Logistik mit autonomen Fahrzeugen stärkere Bündelungseffekte erreicht werden. Für die Ausgestaltung derartiger Konzepte ist zu beachten, dass durch Automatisierung bewirkter Mehrverkehr Nutzungskonflikte mit dem Rad- und Fußverkehr und dem ÖPNV erhöht und die Funktionsfähigkeit, Attraktivität und Sicherheit dieser Verkehrsmittel beeinträchtigen kann. Damit ist vor allem in urbanen Gebieten ein hoher Regulierungsbedarf gegeben, der zugleich die Chance auf eine besonders ökologische Ausgestaltung von automatisierten urbanen Logistik-Systemen bietet.

8.2 Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung

Voraussetzung für ein konsistentes Zusammenwirken verschiedener Maßnahmen – diese werden in den nachfolgenden Abschnitten 8.3 bis 8.8 beschrieben – ist eine integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung von Mobilität und Verkehr mit (systematischer) Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Ziele.⁹⁰

- Horizontal und verkehrsträgerübergreifend durch z.B. einen (rechtlich zu schaffenden) Bundesmobilitätsplan⁹¹, Masterpläne für Gesamtkonzeptionen, Stadtentwicklungskonzepte, Stadt- und Stadtteilentwicklungspläne sowie Bebauungspläne mit Fokus auf integrierter Verkehrsplanung – also durch Planungen und Konzepte, die verkehrsträgerübergreifend die

⁹⁰ Siehe zu den Herausforderungen für die planerische Gestaltung eines „menschen- und umweltgerechten Verkehrs“ und denkbaren Lösungsansätzen: Hermes et al. 2022, S. 57 ff.

⁹¹ Siehe dazu Hermes et al. 2022, S. 12 und S. 74 ff. Vorgeschlagen wird folgender § 13 Abs. 1 BuMoG-Entwurf: „Mobilität und Verkehr in der Bundesrepublik Deutschland sind durch den Bundesmobilitätsplan, der Personen- und Güterverkehr über alle Verkehrsträger integriert, orientiert an den Leitziele zu entwickeln, zu leiten und zu ordnen.“

Belange der Sicherheit, der Funktionsfähigkeit und der Nachhaltigkeit des Verkehrssystems fachgerecht berücksichtigen und damit insbesondere geeignet sind, den spezifischen Risiken des fahrerlosen Fahrens im Motorisierten Verkehr entgegen zu wirken (vgl. Kapitel 5.2.2).

- Vertikal durch eine geregelte Koordination der verschiedenen staatlichen Ebenen durch z.B. eine übergeordnete Koordination (Bundesebene), eine Ableitung des Planungsrahmens aus definierten Zielen, festgelegte Regelungen für systematische Abstimmungs- und Planungsprozesse über die verschiedenen Ebenen (Bund, Länder, Regionen, Kommunen)⁹² – also durch Planungen bzw. koordinierte Prozesse über verschiedene staatliche Ebenen, die insbesondere geeignet sind, den spezifischen Risiken des fahrerlosen Fahrens im Motorisierten Verkehr entgegen zu wirken (vgl. Kapitel 5.2.2) und sicherstellen, dass ein bundesweit flächendeckendes bzw. (weitgehend) lückenloses ÖV-System für die Personenbeförderung umgesetzt wird (vgl. Kapitel 5.2.3).

Dieses allgemeine Erfordernis bekommt durch die zu erwartenden Veränderungen durch das automatisierte und vernetzte Fahren – wie in Kapitel 5.2 aufgezeigt – eine noch größere Relevanz.

Mit Blick auf die (aktuell) hohe praktische Bedeutung der Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) für die Verkehrsplanung ist auch für diese eine Anpassung/Überarbeitung unter Berücksichtigung der zu erwartenden Veränderungen durch das automatisierte und vernetzte Fahren und mit einer systematischen Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Ziele erforderlich.⁹³ Mit den „Empfehlungen zur Anwendung von FGSV-Veröffentlichungen im Bereich Verkehr zur Erreichung von Klimaschutzziele – E Klima 22“ (FGSV, 2022) ist die FGSV bereits einen ersten Schritt für die Ausrichtung der Planung, des Entwurfs und des Betriebs von Verkehrsangeboten und Verkehrsanlagen auf Klimaschutzziele gegangen.

Im Personenverkehr ist damit zu rechnen, dass das automatisierte und vernetzte Fahren zu einer Zunahme individueller motorisierter Mobilitätsoptionen einhergehend mit einer zu erwartenden überproportionalen Steigerung der Fahrleistungen (insbesondere durch Leerfahrten) führt. Mit Blick auf den erforderlichen Klimaschutz und weitere Umweltaspekte ist motorisierte individuelle Mobilität allerdings nur begrenzt ökologisch nachhaltig zu bewältigen. Die Grenzen der verfügbaren Ressourcen sind zu beachten und erfordern eine zielgerichtete und koordinierte Regulierung des automatisierten und vernetzten Fahrens im MIV mit aufeinander abgestimmten und ineinandergreifenden Ansätzen in verschiedenen Bereichen. Zugleich muss der (automatisierte) ÖV über alle Ebenen hinweg planvoll, systematisch und eingebettet in den Umweltverbund entwickelt werden.

Die Verhinderung von Mehrverkehr durch automatisierten Straßengüterverkehr erfordert eine Stärkung des Schienengüterverkehrs. Für die Förderung des Schienengüterverkehrs in Kombination mit nachhaltigen Transportalternativen im Zu- und Nachlauf sowie der Feinverteilung ist eine zielgerichtete und integrierte Planung wesentlich.⁹⁴ Voraussetzung für eine wirksame Förderung des automatisierten Schienengüterverkehrs ist der physische Ausbau der Infrastruktur mit Fokus auf Engpassbeseitigung und Umsetzung der EU-rechtlichen technischen Spezifikationen für die Interoperabilität. Für städtische Belieferungskonzepte mit autonomen Fahrzeugen sollte im Rahmen der kommunalen Planung eine Konzentration des

⁹² Siehe zu einem denkbaren rechtlichen Lösungsansatz das in den §§ 18 ff. BuMoG-Entwurf beschriebene Verfahren bei Hermes et al. 2022, S. 16 ff. und S. 80 ff.

⁹³ Siehe zu aktueller Bedeutung der FGSV-Regelwerke und einer kritischen Einordnung der Organisation und der Gremienbesetzung der FGSV für die Ausrichtung auf das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung: Becker & Schwedes (2020).

⁹⁴ Siehe zu einem denkbaren rechtlichen Lösungsansatz das in den § 14 BuMoG-Entwurf beschriebene Abwägungsgebot unter Berücksichtigung des Personen- und des Güterverkehrs bei Hermes et al. 2022, S. 12 f. und S. 75 f.

Güterverkehrs auf Strecken mit möglichst geringen negativen Auswirkungen auf die Bevölkerung hergestellt werden, um durch die räumliche Bündelung lokale negative externe Effekte zu reduzieren. Lieferpunkte, -gebiete, -strecken und ggf. -routen für urbane Logistik-Fahrzeuge, die straßenverkehrsrechtlich vorgegeben werden (Kapitel 6.3.1), müssen zuvor im Wege der Planung definiert werden.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die planerische Entwicklung und Gestaltung des Personen- und Güterverkehrs sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs

Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs

Zielrichtungen

- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
- ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
- ▶ Stärkung des Güterverkehrs auf der Schiene
- ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfung

- ▶ Organisation der Kommune, integrierte Verkehrsplanung
- ▶ Straßengesetze des Bundes und der Länder
- ▶ „Leitlinien der Union für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes“ (Verordnung (EU) Nr. 1315/2013)
- ▶ Richtlinie 2008/96/EG in der Neufassung durch Richtlinie (EU) 2019/1936
- ▶ Nahverkehrsplanung und Ausgestaltung des ÖPNV durch die jeweiligen Aufgabenträger, Nahverkehrsgesetze der Länder
- ▶ Landesfinanzierung von Verkehrsaufgaben der Kommunen, Bundesfinanzierung von Verkehrsaufgaben der Länder und Kommunen nach Art. 106a GG und Art. 125c Abs. 2 GG (RegG und GVFG)
- ▶ Austausch und Kooperation, Richtlinien und Empfehlungen ohne Rechtsverbindlichkeit

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Entwicklung einheitlicher öffentlicher Interessen und staatlicher Zielstellungen zwecks Verbesserung der Mobilität von Personen und Gütern und zugleich Reduzierung von verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima
- ▶ Verfügbare und aufeinander abstimmbare Instrumente für die handelnden Akteure der öffentlichen Hand (Straßenbaulastträger, Genehmigungsbehörden, Aufsichtsbehörden)
- ▶ Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und der planerischen Vorgaben zur Infrastrukturentwicklung an öffentlichen Interessen und staatlichen Zielstellungen zwecks Verbesserung der Mobilität von Personen und zugleich Reduzierung von verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima
- ▶ Festlegung eines Kooperationsverfahren zwischen den verschiedenen Straßenbaulastträgern sowie stärkere Berücksichtigung ökologischer Belange in der Zielausrichtung der Straßengesetze des Bundes und der Länder

Instrumente

- ▶ Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung von Mobilität und Verkehr mit (systematischer) Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Ziele

Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs

- ▶ Ressortübergreifende Koordination in der Kommune – z. B. im Rahmen eines kommunalen Mobilitätsmanagements –, für eine verkehrliche Gestaltung, die die zielgerichtete Verlagerung vom MIV in den Umweltverbund befördert
 - ▶ Gestaltung des öffentlichen Straßenraum mit einer Zielausrichtung auf Mobilität, Klimaschutz, Energieeffizienz, Verkehrssicherheit, Gesundheitsschutz und die Reduktion verkehrsspezifischer Inanspruchnahme von Flächen
- Insbesondere:
- Umverteilung öffentlichen Straßenraums zugunsten des Umweltverbundes (Rad- und Fußverkehrs und ÖV) und zulasten des motorisierten Individualverkehrs
 - Bereitstellung von ausreichend öffentlichem Straßenraum für den Rad- und Fußverkehr, der die Attraktivität und Sicherheit dieser Verkehrsformen gewährleistet
 - Ausreichend Platz und bei Bedarf eine exklusive Nutzungsmöglichkeit für beförderungseffiziente ÖV-Linienverkehre
 - Auflösung von Raumkonflikte des ÖV insbesondere mit dem Rad- und Fußverkehr, z. B. durch eine Straßenraumgestaltung, die sicherstellt, dass Rad- und Fußverkehr sicher und barrierefrei möglich ist
 - Soweit – technisch bedingt – die Notwendigkeit einer Separierung von Fahrbahnen besteht: Umsetzung prioritär bzw. nur für beförderungseffiziente Verkehrsmittel im ÖV, nicht aber für den Verkehr in Pkw (privat oder gewerbliche Personenbeförderung), Wege für den Rad- und Fußverkehr dürfen dadurch nicht unattraktiv und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum nicht negativ beeinflusst werden
 - ▶ Physische Vernetzung des Umweltverbunds (z. B. durch Mobilitätsstationen, Haltestellen, Fahrradparkplätze)
 - ▶ Planerische Festlegung von Lieferpunkten, -gebieten, -Strecken und ggf. -routen für City-Logistik-Fahrzeuge

8.3 Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV

Durch das automatisierte Fahren im MIV ist mit einer erheblichen Steigerung der Fahrleistung im MIV zu rechnen, die negativen Effekte für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, Luftreinhaltung und Lärmschutz mit sich bringt (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1 und 8.1).

Die Befreiung von Fahraufgaben ermöglicht es, komfortabler zu reisen und die Reisezeit anderweitig zu nutzen. Durch den Wegfall der Parkplatzsuche und die Abholung und das Absetzen vor der Tür verkürzt sich die Reisezeit für die Insassinnen und Insassen fahrerloser Fahrzeuge. Automatisierung führt daher mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer höheren Bereitschaft, längere Strecken mit dem Auto zurückzulegen oder auch insgesamt mehr Wege im MIV zurückzulegen. Die individuelle Fahrzeugnutzung wird für Personengruppen zugänglich, die aktuell selbst nicht fahren können, dürfen oder wollen (z. B. Kinder und Jugendliche, körperlich eingeschränkte Personen, ältere Personen). Hinzu kommen Leerkilometer durch das selbstständige Parken des Fahrzeugs auf weiter entfernten (ggf. kostengünstigeren) Parkplätzen – oder sogar das Vermeiden des Parkens mittels Herumkreisen –, durch das Bedienen von aufeinander folgenden Fahrtwünschen der Personen eines Haushalts und durch zwischen den Fahrten entstehende Leerfahrten. Ohne aktive Gegensteuerung ist eine Verlagerung der Mobilität weg vom Umweltverbund hin zum MIV durch die Automatisierung sehr wahrscheinlich. Denkbar ist zwar auch, dass nicht alle Personen das automatisierte Fahren akzeptieren – z. B. bei einem generellen Misstrauen gegenüber der Technik oder weil bei

einzelnen Personen kein Interesse daran besteht, die Fahrzeugführung aus der Hand zu geben. Das Erfordernis einer Regulierung entfällt dadurch allerdings nicht.

In nachfragestarken bzw. überlasteten Räumen sollten daher Maßnahmen zu einer systematischen Benachteiligung der MIV-Nutzung (z. B. durch Anlastung von Kosten oder eingeschränkte Zulassung) der potenziellen Steigerung der Fahrleistung entgegenwirken. Hierbei stellen sich für eine wirksame Regulierung viele Herausforderungen.

Insbesondere durch Begrenzung und Bepreisung von Parkraum können Kommunen bereits jetzt die Autoerreichbarkeit beschränken oder weniger attraktiv gestalten und auf diese Weise Fahrleistungen des MIV verringern. Wirksam wird dies zur Verhinderung des Parksuchverkehrs insbesondere dann, wenn für bestimmte Bereiche gar keine öffentlich zugänglichen Parkplätze vorhanden sind oder die Information vermittelt wird, dass vorhandene Parkplätze vollständig belegt sind. Mit fahrerlosem MIV verliert der Parkraum allerdings seine Schlüsselfunktion zur Begrenzung oder Ermöglichung der Nutzung des MIV (selbständiges weiter entferntes Parken oder Herumkreisen der Fahrzeuge). Perspektivisch können die Kommunen Parkplätze abbauen und die Flächen anderweitig für verkehrliche oder andere Zwecke nutzen. Verlagert wird das Problem damit allerdings nur in andere Räume, wo nicht benötigte Fahrzeuge des MIV abgestellt werden können oder herumkreisen. Je weiter weg diese Räume von den Abhol- und Zielorten des automatisierten MIV entfernt sind, umso stärker werden die systembedingten Leerleistungen ansteigen und den fließenden Verkehr zusätzlich belasten. Werden die Flächen für Parkplätze gleichmäßig verteilt, dann werden die Leerleistungen des automatisierten Fahrens verringert. Die Steuerung über Kapazitäten an zielnahen Abstellplätzen für aktuell nicht benötigte Fahrzeuge des automatisierten MIV ist insoweit ein gewisses Regulativ für die Nutzung des automatisierten MIV – zugleich allerdings ein zweiseitiges Schwert. Diese Abstellplätze können kommerziell oder von der öffentlichen Hand in Form von Parkplätzen auf Flächen oder in Gebäuden vorgehalten werden. Eine Regulierung dieser Nutzungen könnte – bei entsprechender Änderung des Baurechts über die Bebauungsplanung (Flächennutzungsplan und Bebauungsplan) angesteuert werden. Der Bedarf ist dann unter angemessener Berücksichtigung der öffentlichen Interessen und speziell der betreffenden Umweltschutzgüter festzulegen. Dabei ist auch zu bedenken, dass bei fehlenden Abstellmöglichkeiten für den fahrerlosen MIV die Nutzenden als Ausweg in Betracht ziehen könnten, das Fahrzeug bei fehlender Verfügbarkeit ortsnahe Abstellmöglichkeiten in einem abholpunktnahen Bereich herumkreisen zu lassen und die Abholung erst dann zu aktivieren, wenn der Zeitpunkt für den Nutzenden ersichtlich ist. Derartige Lösungen müssen verhindert werden können, soweit ansonsten die betreffenden Umweltgüter oder die verkehrliche Kapazität der Straßenverkehrsinfrastruktur übermäßig belastet werden.

Für solche und ähnlich gelagerte Risiken hat die öffentliche Hand durch die im Wege der Bauleitplanung und der Bepreisung der Leerleistungen oder durch eine Zufahrtszahlbeschränkung für die Nutzung der Straßenverkehrsinfrastruktur eine Obergrenze der Zahl der Fahrzeuge festzulegen und auszusteuern, die in einem bestimmten Gebiet in Bezug auf die Schutzgüter der Umwelt und die Kapazität des Verkehrssystems verkraftbar sind. Bei der Auswahl der Zufahrtberechtigten im Überlastfall sind Prioritäten für den Zugang festzulegen. Dabei sind – neben zweckbezogenen Prioritäten z.B. für Ärzte oder für definierte Fälle des gewerblichen Individualverkehrs – vorrangig Fahrzeuge zuzulassen, für die nachgewiesen wird, dass für sie eine zulässige Abstellmöglichkeit im Gebiet zur Verfügung steht. Begleitend zu einer solchen Einschränkung ist – um Mobilität auch bei Einschränkung des MIV zu gewährleisten – ein alternatives ÖPNV-Angebot sowie eine Abstellmöglichkeit außerhalb des beschränkten Gebietes erforderlich.

Alle Ansätze einer Beanreizung des automatisierten MIV sind mit Blick auf die absehbar nachteiligen Wirkungen des automatisierten MIV für eine ökologisch nachhaltige Mobilität

kritisch zu sehen. Eine gezielte Förderung des fahrerlosen MIV mit elektrischen Fahrzeugen könnte z.B. dadurch negativ wirken, dass sie Anreize für den Kauf eines (privaten) Pkw setzt und damit der erforderlichen Verlagerung von Verkehrsleistung in den Umweltverbund entgegengewirkt. Gleiches gilt für digitale Anwendungen, die die Attraktivität einer privaten Pkw-Nutzung oder die Nutzung eines wenig beförderungseffizienten Mobilitätsangebotes (z.B. taxiähnliche Fahrdienste) stabilisieren oder erhöhen. Selbst eine – aktuell eher hypothetische – effizientere Flächennutzung durch Automatisierung des MIV (z.B. durch geringere Abstände im vernetzten Fahren) könnte dazu führen, dass mehr Platz für weitere Fahrzeuge frei wird und damit auch mehr MIV stattfindet. Bei einer entsprechenden Entwicklung müsste also zugleich die Fläche für den MIV begrenzt bzw. eine Nutzung nur eingeschränkt zugelassen werden.

Folgende weitere Risiken für eine ökologisch nachhaltige Mobilität durch den automatisierten und vernetzten MIV bestehen:

- ▶ Geringe Energieeffizienz durch Programmierung und Nutzung automatisierter Fahrzeuge, wenn für Hersteller und Nutzende der Fahrspaß oder eine hohe Geschwindigkeit der Umsetzung einer umwelt- und klimaschutzorientierter Fahrweise vorgeht.
- ▶ Sicherheitsrisiken für den Rad- und Fußverkehr durch die Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen: Raumnutzungskonflikte und Kommunikationsbedarfe (Signalisierung von Parkplatzsuchfahrten, Ein- und Ausstiege/Fahrgastwechsel usw.).
- ▶ Sicherheitsrisiken für Fahrgäste sowie Störungen für den Umweltverbund bei Ein- und Aussteigen aus fahrerlosen Pkw oder fahrerlosen Fahrdiensten.
- ▶ Störungen für den Umweltverbund durch hohe Anzahl von MIV-Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen.
- ▶ Fahrerlose Fahrdienste als Konkurrenzangebot zum ÖV-Linienverkehr, Verkehrsverlagerung zu weniger beförderungseffizienten Verkehrsmitteln, hoher Anteil an Leerfahrten, Störungen für den Umweltverbund beim Ein- und Aussteigen aus Fahrdienst-Fahrzeugen.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die erforderlichen Straßenverkehrsregeln und an öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente sind nachfolgend in Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellt. Auch das Verkehrsgewerberecht (vgl. Tabelle 9 in Kapitel 8.5) und das Fahrzeugzulassungsrecht (vgl. Tabelle 11 in Kapitel 8.7) haben für die Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV eine Bedeutung. Die digitale Infrastruktur kann ebenfalls Anknüpfungspunkt für diese Zielrichtung sein (vgl. Tabelle 12, Tabelle 13 und Tabelle 14 in Kapitel 8.8).

Tabelle 6: Straßenverkehrsregeln

Straßenverkehrsregeln	
Zielrichtungen	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds ▶ Stärkung des Güterverkehrs auf der Schiene ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr 	
Rechtliche Anknüpfung	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verkehrsrechtliche Anordnung nach Straßenverkehrsrecht (StVG und auf dem StVG beruhende Verordnungen) 	

Straßenverkehrsregeln

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Rechtsgrundlagen für Instrumente noch nicht vorhanden
- ▶ Neuausrichtung des Straßenverkehrsrechts und der Anordnungsbefugnisse an ökologischen Zielen erforderlich

Instrumente

- ▶ Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen für privat genutzte (automatisierte) Fahrzeuge in nachfragestarken bzw. überlasteten Gebieten bzw. zu bestimmten Zeiten, um einem übermäßigen Anstieg der MIV-Fahrleistung und des Flächenverbrauchs entgegenwirken und/oder die Funktionsfähigkeit des ÖV zu stärken
- ▶ Fahrverbote für den (automatisierten) motorisierten Verkehr in sensiblen Gebieten
- ▶ Regelungen für den maximalen Parkplatzsuchradius beim automatisierten Valet Parking, beim City Pilot und bei Level-5-Anwendungen
- ▶ Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) im Straßenverkehr gegenüber dem MIV
- ▶ Exklusive Nutzung des öffentlichen Straßenraums für (automatisierte bzw. vernetzte) Straßenfahrzeuge im ÖV – im Verhältnis zum motorisierten Individualverkehr – auf geeigneten Strecken bzw. zu geeigneten Zeiten
- ▶ Festlegung der Geschwindigkeit (Höchst-, Richt- und Mindestgeschwindigkeit bzw. Geschwindigkeit in homogenisiertem Verkehrsablauf) unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs und der Gewährleistung von Sicherheit für den Rad- und Fußverkehr
- ▶ Gebote/Verbote für Ein- und Ausstiege in nachfragestarken Räumen, um Verkehrsbehinderungen durch eine hohe Anzahl an anhaltenden Fahrzeugen an „Hotspots“ und Raumnutzungskonflikte mit dem Umweltverbund zu verhindern
- ▶ Positivnetz/Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge, Verbot des Parkens außerhalb des Netzes bzw. außerhalb von extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätzen
- ▶ Straßenverkehrsrechtliche Vorgaben für automatisierte City-Logistik-Fahrzeuge
- ▶ Räumlich und zeitlich differenzierte Zufahrtsbeschränkungen für City-Logistik-Systeme mit autonomen Fahrzeugen zur Verminderung lokaler Schadwirkungen (Lärm, lokale Schadstoffe) und unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten für den Rad- und Fußverkehr
- ▶ Vorgabe von zugelassenen Lieferpunkten, -gebieten, -strecken und ggf. -routen
- ▶ Eingeschränkte Nutzung des Parkraums

Tabelle 7: Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierende Instrumente

Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierende Instrumente

Zielrichtungen

- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
- ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfung

- ▶ Straßenmautgesetz
- ▶ Richtlinie 1999/62/EG in der Neufassung durch Richtlinie (EU) 2022/362, Richtlinie (EU) 2019/520 in der Neufassung durch Richtlinie (EU) 2022/362
- ▶ Stromsteuergesetz, Energiesteuergesetz
- ▶ Richtlinie 2003/96/EG
- ▶ Kraftfahrzeugsteuergesetz

Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Erweiterung gegenüber aktueller Rechtslage (Bundesfernstraßenmautgesetz) erforderlich
- ▶ Erhöhung Steuerbeträge erforderlich
- ▶ Rechtsgrundlage für Instrument im Kraftfahrzeugsteuergesetz noch nicht vorhanden

Instrumente

- ▶ Differenzierte Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung, die die externen Kosten des jeweiligen Verkehrs berücksichtigt, Ausrichtung der Steuerung auf eine Verminderung der Fahrleistung im motorisierten Straßenverkehr, z. B. durch CO₂- und luftschadstoffbasierte Gebühren- bzw. Entgeltsätze bzw. für den Güterverkehr eine Lkw-Maut nach CO₂-Ausstoß pro Nutzlast
- ▶ Ausnahmen/Erleichterungen für den Straßengüterverkehr im Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs
- ▶ Anhebung der Strom- und Energiesteuer
- ▶ Kraftfahrzeugsteuer für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge in Abhängigkeit von Gewicht und in Abhängigkeit vom Energieverbrauch pro Pkm/Tkm

8.4 Gezielte Stärkung des Umweltverbunds

Die Digitalisierung im Verkehr bietet die Chance, den Umweltverbund gezielt zu stärken und dadurch die Mobilität im motorisierten Verkehr zu reduzieren sowie eine hohe Beförderungseffizienz im motorisierten Gesamtverkehrssystem zu erreichen (vgl. dazu Kapitel 5.2.3.1 und 8.1). Dies hätte Vorteile für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, Luftreinhaltung und Lärmschutz.

Voraussetzung für eine Stärkung des Umweltverbunds ist ein bundesweit flächendeckendes bzw. (weitgehend) lückenloses ÖV-System für die Personenbeförderung im Fern- und Nahverkehr, das gezielt auf eine Kombination mit dem Rad- und Fußverkehr ausgerichtet ist. Vorrangig ist ein verlässlicher und regelmäßiger ÖV-Linienverkehr mit enger Taktung vorzusehen, der um ÖV-Angebote außerhalb des klassischen ÖV-Linienverkehrs (Sammelfahrdienste) ergänzt werden kann.

Die Frage, ob und ggf. wie fahrerlose Sammelfahrdienste im ÖV eingesetzt werden sollten, muss sorgfältig erwogen werden. Auch wenn das Fahrpersonal wegfällt, sind diese Angebote mit Kosten verbunden. Neben den Kosten für das technische System und die Fahrzeuge fallen im Betrieb Personalkosten für die Aufsicht und Wartung an, deren Höhe vom technischen Fortschritt sowie den Zulassungsbedingungen abhängen. Auch die Kosten für die Herstellung der Zulassungs- und Genehmigungsfähigkeit des Fahrzeugeinsatzes sowie des Verkehrsangebotes dürfen – insbesondere in frühen Pilotprojekten – nicht unterschätzt werden. Als Teil des ÖPNV muss das Angebot in „ÖPNV-Qualität“ umgesetzt werden – dies gilt für den Zugang zum Angebot (z.B. keine exklusiv wirkenden Buchungsvoraussetzungen), für die Preisgestaltung („ÖPNV-Tarif“), für die Nutzung (Möglichkeit barrierefreier Beförderung, Mitnahme Kinderwagen, Fahrrad, Gepäck) und die Regelmäßigkeit und Verlässlichkeit des Angebots. Dies stellt Herausforderungen sowohl an das Konzept als auch die Kosten.

Soweit für eine Automatisierung (technisch bedingt) die Notwendigkeit einer Separierung von Fahrbahnen besteht, bietet sich – gegenüber dem automatisierten Pkw-Verkehr – eine Umsetzung mit beförderungseffizienten Verkehrsmitteln im ÖV an. Allerdings dürfen Wege für den Rad- und Fußverkehr dadurch nicht unattraktiv und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum nicht negativ beeinflusst werden.

Digitale Anwendungen für Kunden (z.B. Smartphone-Apps) können den Zugang zu beförderungseffizienten Verkehrsmitteln fördern bzw. – durch eine zielgerichtete Vernetzung ökologisch nachhaltiger Verkehrsmittel in Information und Buchung – intermodale Wegeketten für den Fahrgast zugänglich machen.

Eine digitale Vernetzung kann erleichterte Möglichkeiten für straßenverkehrsrechtliche Regulierung zugunsten des ÖPNV bieten. Durch ein digitales Verkehrsmanagement (vgl. dazu Kapitel 8.8) könnte gewährleistet werden, dass der Verkehr vor einem ÖPNV-Fahrzeug möglichst flüssig gehalten und auch in Bereichen ohne eigene Spur und nicht nur an den Knoten für eine „virtuelle Trassenfreihaltung“ gesorgt wird. Funktionieren kann dieses nur dann, wenn die Fahrleistungen des MIV (analog und digital) im jeweiligen Verkehrsraum so begrenzt werden, dass die verkehrliche Tragfähigkeit noch gegeben ist, und es ausreichend Spielräume im System gibt, um durch passende Vorgaben für Ampeln den Verkehrsfluss gesamthaft zu optimieren.

Haupttrouten des ÖPNV sind darüber hinaus aktiv durch Straßenraumgestaltung, eigene Trassen und spezielle Bevorrechtigung an Ampeln freizuhalten und so im Verkehrsfluss zu priorisieren, dass der ÖPNV seinen Fahrplan störungsfrei einhalten kann (ab Taktdichte von 10 Minuten).

In gleicher Weise müssen Haupttrouten des Radverkehrs Vorrang vor dem MIV genießen. Dieses wird stärkere bauliche Trennungen erfordern, als es beim ÖPNV im Verhältnis zum MIV der Fall ist.

Bei der Gestaltung des öffentlichen Straßenraums und der Festlegung der straßenverkehrsrechtlichen Regeln sind – aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit – prioritär die Bedarfe des Umweltverbunds zu berücksichtigen. Lebendige Städte bieten Raum zu flanieren und sich aufzuhalten. Dies darf nicht durch die Verkehrsraumgestaltung verhindert werden. Die Planung und Gestaltung des öffentlichen Straßenraums erfolgt daher idealerweise gesamthaft unter Berücksichtigung aller Verkehrsmittel und ist mit Blick auf Kapazität und Verkehrsraumgestaltung (verbindlich) auf ein ökologisch nachhaltiges Gesamtverkehrssystem ausgerichtet. Die Straßenraumaufteilung (insbesondere eine Umverteilung zugunsten des Rad- und Fußverkehrs bzw. des Umweltverbundes) sollte anhand umwelt- und klimaschutzorientierter Kriterien erfolgen und zudem selbstverständlich daran ausgerichtet sein, dass die Gesamtmobilität – d.h. die Möglichkeit zur Ortsveränderung – auf einem planerisch zu ermittelnden Zielniveau gewährleistet wird.

Die Anforderungen und Herausforderungen an den Ausbau des ÖV-Systems sind nachfolgend in Tabelle 8 dargestellt. Auch die planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs (vgl. Tabelle 5 in 8.2), Straßenverkehrsregeln (vgl. Tabelle 6 in 8.3) und das Verkehrsgewerberecht (vgl. Tabelle 9 in Kapitel 8.5) haben für die Stärkung des Umweltverbunds eine hohe Bedeutung. Die digitale Infrastruktur kann ebenfalls Anknüpfungspunkt für diese Zielrichtung sein (vgl. Tabelle 12, Tabelle 13 und Tabelle 14 in Kapitel 8.8).

Tabelle 8: Ausbau des ÖV-Systems

Ausbau des ÖV-Systems	
Zielrichtungen	
▶	Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
▶	Integration von fahrerlosen Sammelfahrdiensten in den ÖV
▶	Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
Rechtliche Anknüpfung	

Ausbau des ÖV-Systems

- ▶ Nahverkehrsplanung und Ausgestaltung des ÖPNV durch die jeweiligen Aufgabenträger, Nahverkehrsgesetze der Länder
- ▶ Landesfinanzierung von Verkehrsaufgaben der Kommunen, Bundesfinanzierung von Verkehrsaufgaben der Länder und Kommunen nach Art. 106a GG und Art. 125c Abs. 2 GG (RegG und GVFG)
- ▶ Austausch und Kooperation, Richtlinien und Empfehlungen ohne Rechtsverbindlichkeit

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und der planerischen Vorgaben zum Ausbau des ÖV-Systems an öffentlichen Interessen und staatlichen Zielstellungen zwecks Verbesserung der Mobilität von Personen und zugleich Reduzierung von verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima

Instrumente

- ▶ Umsetzung eines bundesweit flächendeckenden bzw. (weitgehend) lückenlosen ÖV-Systems für die Personenbeförderung im Fern- und Nahverkehr (in Kombination mit Rad- und Fußverkehr), Ausrichtung der Standards in der Bedienqualität an Fahrgastbedürfnissen, vorrangig verlässlicher und regelmäßiger ÖV-Linienverkehr mit enger Taktung, nur ergänzend ÖV-Angebote außerhalb des klassischen ÖV-Linienverkehrs (Sammelfahrdienste), regionale Planung von ÖV-Verkehrsangeboten
- ▶ Verknüpfung öffentlicher Investitionen in den automatisierten und vernetzten ÖV mit ökologischen Nachhaltigkeitszielen
- ▶ Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Konzepten für den Einsatz von automatisiertem und vernetzten Fahren im ÖV sowie jeweils geeignete Kriterien für den Einsatz der verschiedenen Anwendungsfälle im ÖV und für einen sinnvollen Einsatz von fahrerlosen Fahrdiensten im MIV und deren Integration in das ÖV-Netz, Ableitung von Anforderungen an Mobilitätsanbietern von fahrerlosen Fahrdiensten, für die eine Subventionierungsmöglichkeit für z. B. nachfrageschwache Räume angezeigt ist
- ▶ Ausrichtung der Öffentlichkeitsansprache (Kommunikation und Information) auf erhöhte Akzeptanz des ÖV-Systems bei den Fahrgästen
- ▶ Für fahrerlose Sammelfahrdienste im ÖV:

Integration des Angebots in das klassische ÖV-System im Linienverkehr (mit Blick auf Angebot und Fahrentgelt), Vermeidung von Leerfahrten, Ausrichtung des Angebots auf hohe Bündelung von Fahrtwünschen

Umsetzung in „ÖPNV-Qualität“ – dies gilt für den Zugang zum Angebot (z.B. keine exklusiv wirkenden Buchungsvoraussetzungen), für die Preisgestaltung („ÖPNV-Tarif“) und für die Nutzung (Möglichkeit barrierefreier Beförderung, Mitnahme Kinderwagen, Fahrrad, Gepäck)

Herstellung des Zugangs für alle, inklusive erforderlicher Begleitmaßnahmen:

 1. Design der im ÖV eingesetzten Gefäße muss z. B. Mitnahme von Rollstühlen, Kinderwagen, Gepäck und Fahrrädern ermöglichen
 2. Soweit Geräte für Bestellung/Buchung erforderlich, aber bei (potentiellen) Fahrgästen nicht vorhanden sind, müssen diese in geeigneter Form bereitgestellt werden
 3. Zahlungswege für das Fahrentgelt müssen so gestaltet werden, dass alle Personen (in angemessener Weise) eine Buchung vornehmen können

Das Angebot muss als Teil des ÖPNV regelmäßig und verlässlich zur Verfügung stehen

Monitoring anhand geeigneter Messzahlen (z. B. Verhältnis Verkehrsleistung zu Betriebsleistung) zwecks Evaluation und Nachsteuerung des Konzepts

8.5 Personenbeförderung: In den ÖV integrierte fahrerlose Sammelfahrdienste

Der Einsatz fahrerloser Sammelfahrdienste kann – bei entsprechender Angebotsausgestaltung – einen relevanten Beitrag für ein lückenloses, leistungsfähiges und attraktives ÖV-System leisten (vgl. dazu Kapitel 5.2.3.1, 5.2.3.3 und 8.4).

Fahrerlose Fahrdienste im MIV hingegen können nur unter höchst eingeschränkten Bedingungen einen positiven Beitrag liefern (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1). Chancen kommen im Sinne einer gesteigerten/höchstöglichen Beförderungseffizienz nur zum Tragen, wenn Fahrten mit solchen Fahrzeugen in einem ausreichenden Maß „geteilt“ werden (durch Bündelung von Fahrtwünschen) und die Angebote in bestehende ÖV-Angebote (auf der ersten/letzten Meile bzw. zum Lückenschluss) integriert werden. Andernfalls bestehen hohe Risiken für einen Anstieg der Fahrleistung im motorisierten Verkehr (u. a. durch Leerfahrten). Für die ökologisch nachhaltige Gestaltung eines Sammelfahrdienstes können sich zudem nicht oder nur schwer auflösbare Zielkonflikte ergeben: Ein hoher Fahrgastkomfort (kurze Wartezeiten, wenige Umwege usw.) geht zwangsweise auf Kosten der Beförderungseffizienz und umgekehrt. Auch kann eine Minimierung von Leerkilometern zwar durch z. B. die Zuweisung von Stellplätzen unterstützt werden, hier entsteht dann aber ein entsprechender Flächenbedarf.

Für einen an kommerziellen Interessen ausgerichteten Fahrdienst ist zu erwarten, dass faktische Zugangshürden für Kundinnen und Kunden bestehen werden. Öffentlich zugängliche Verkehrsangebote richten sich zwar auch an die Allgemeinheit, setzen aber bestimmte Voraussetzungen (Nutzung Smartphone, Registrierung, ggf. Kreditkarte, Mindestalter etc.). Sie sind daher nicht (ohne weiteres) deckungsgleich mit ÖPNV-Angeboten. Die Umsetzung von „ÖPNV-Qualität“ hat einen Preis und wird vor allem dann entstehen, wenn der Staat im Rahmen der Daseinsvorsorge darauf hinwirkt (vgl. dazu in Kapitel 8.4). Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch die Digitalisierung ermöglichte öffentlich zugängliche Verkehrsangebote zukünftig auch als ÖPNV verstanden werden können, wenn die üblicherweise für den ÖPNV geltenden Anforderungen erfüllt werden (sozial ausgewogene Preisgestaltung, Zugang auch ohne Smartphone/App, Barrierefreiheit etc.).

Besondere Herausforderungen bestehen in nachfrageschwachen Gebieten und Zeiten. Hier stoßen sowohl eine Bündelung von Fahrten als auch eine angestrebte Vermeidung von Leerfahrten an Grenzen, so dass keine hohe Beförderungseffizienz erreicht werden kann. Auch ein wirtschaftlicher Betrieb könnte für kommerzielle Mobilitätsanbieter schwierig sein. Soweit kommerzielle Sammelfahrdienste in nachfrageschwachen Gebieten und Zeiten aus Sicht der ökologischen Nachhaltigkeit bzw. für eine ausreichende Mobilitätsversorgung sinnvoll und erforderlich sind, wären Anreize bzw. Vorgaben für kommerzielle Betreiber oder eine Finanzierung durch die öffentliche Hand als Angebot des ÖPNV notwendig. Eine optimierte Routen- und Einsatzplanung nach Möglichkeit der gesamten in einem Gebiet zur Verfügung stehenden Flotte (bspw. inklusive eines Firmenfahrzeugpools) kann hier einen entscheidenden Beitrag leisten. Dieses Potenzial kann allerdings nur dann genutzt werden, wenn die individuelle Nutzung automatisierter Fahrzeuge systematisch eingeschränkt wird und die zwangsläufig entstehenden Leerfahrten minimiert werden, da ansonsten die beschriebenen Risiken eines Fahrleistungsanstiegs deutlich überwiegen.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die Integration fahrerloser Sammelfahrdienste in den ÖV sind nachfolgend in Tabelle 9 dargestellt. Auch die planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs (vgl. Tabelle 5 in 8.2) und der Ausbau des ÖV (vgl. Tabelle 8 in Kapitel 8.4) haben dafür eine Bedeutung.

Tabelle 9: Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

Zielrichtungen

- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
- ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
- ▶ Integration von fahrerlosen Sammelfahrdiensten in den ÖV
- ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfung

- ▶ Verkehrsgewerberecht für den Personen- und für den Güterverkehr

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Rechtsgrundlagen für Instrumente noch nicht vorhanden

Instrumente

- ▶ Beschränkung/Verbot des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge für den Transport von Waren oder Personen als privat angebotene Dienstleistung
- ▶ Vorgaben für fahrerlose Sammelfahrdienste im ÖV:

Integration des Angebots in das klassische ÖV-System im Linienverkehr (mit Blick auf Angebot und Fahrentgelt), Vermeidung von Leerfahrten, Ausrichtung des Angebots auf hohe Bündelung von Fahrtwünschen

Herstellung des Zugangs für alle, inklusive erforderlicher Begleitmaßnahmen:

 1. Design der im ÖV eingesetzten Gefäße muss z. B. Mitnahme von Rollstühlen, Kinderwagen, Gepäck und Fahrrädern ermöglichen
 2. Soweit Geräte für Bestellung/Buchung erforderlich, aber bei (potentiellen) Fahrgästen nicht vorhanden sind, müssen diese in geeigneter Form bereitgestellt werden
 3. Zahlungswege für das Fahrentgelt müssen so gestaltet werden, dass alle Personen (in angemessener Weise) eine Buchung vornehmen können

Monitoring anhand geeigneter Messzahlen (z. B. Verhältnis Verkehrsleistung zu Betriebsleistung) zwecks Evaluation und Nachsteuerung des Konzepts
- ▶ Vorgaben für fahrerlose Fahrdienste im MIV:

Ausrichtung auf geteilte Fahrten (Sammelfahrdienst) sowie Einsatz ergänzend zum ÖV auf der ersten/letzten Meile und zum Lückenschluss sowie in nachfrageschwachen Zeiten und Gebieten

Ggf. Vorgabe einer (über den Genehmigungsantrag hinausgehenden) zusätzlichen Bedienung in nachfrageschwachen Gebieten und Zeiten

Beschränkung der zugelassenen Länge für Repositionierungsfahrten von fahrerlosen Fahrdiensten und von Leerfahrten pro Fahrzeug und Fahrt

Beschränkung der zugelassenen Anzahl an Anbietern fahrerloser Fahrdienste und Fahrzeugen in einem Gebiet, besonders in nachfragestarken Räumen

Regelung zum Fahrgastwechsel, z. B. Festlegung geeigneter Ein- und Ausstiegspunkte, Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmenden und Ankündigung eines Fahrgastwechsels

Monitoring anhand geeigneter Messzahlen zwecks Kontrolle der Vorgaben

Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

- Ausnahmen/Erleichterungen für fahrerlose Fahrdienste für spezifische Personengruppen z.B. in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen, für die automatisierte Mobilitätsdienste eine Verbesserung der Alltagsmobilität darstellen können

Genaue Abgrenzung der zugelassenen Personengruppen

Spezifische Ausrichtung des Angebots auf den Mobilitätsbedarf der Personengruppe (z.B. Assistenz bei barrierefreien Angeboten oder kürzere Wartezeiten)

- Beschränkungen für die Vermittlung von Mobilitäts- bzw. zusätzlichen Serviceleistungen, die nachteilige Effekte auf die ökologische Nachhaltigkeit haben können

Vermeidung einer Verlagerung vom Rad- und Fußverkehr in den Plattform-vermittelten motorisierten Verkehr (insbesondere taxiähnliche Fahrdienste) durch z.B. Vorgabe von Mindesttransportweiten

Verhinderung der Vermittlung privater Parkplätze

8.6 Güterverkehr: Stärkung Schiene, Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Für den Schienengüterverkehr bzw. Kombinierten Verkehr zeigen sich durch Automatisierung und Vernetzung Chancen für einen ökologisch nachhaltigen Gütertransport, für den Straßenverkehr sind hingegen durch angemessene Regulierung negative Effekte der Automatisierung und Vernetzung zu vermeiden (vgl. Kapitel 5.2.4.1 und 8.1).

Für den **Schienengüterverkehr bzw. den Kombinierten Verkehr auf Schiene und Straße** sind umfangreiche Fördermaßnahmen, eine technische Standardisierung bzw. Harmonisierung sowie regulatorische Vereinfachung bzw. Anreizsetzungen erforderlich (vgl. auch Kapitel 6.7).

Aufgrund der hohen Bedeutung des grenzüberschreitenden Verkehrs im Güterverkehr ist die Verwirklichung eines EU-weit harmonisierten und damit für den Schienengüterverkehr grenzüberschreitenden Eisenbahnsystems Grundvoraussetzung für eine ökologisch nachhaltige Gestaltung des automatisierten Güterverkehrs. Dafür müssen Infrastruktur und Fahrzeuge anhand der EU-rechtlichen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (Richtlinie [EU] 2016/797 und Durchführungsverordnungen der Kommission) ausgebaut, aufgerüstet bzw. erneuert werden.

Über zielgerichtete Investitionen in Infrastruktur und die Förderung von Bedienkonzepten und Betriebsmitteln kann der Staat entsprechend positiv Einfluss auf die Einführung und Weiterentwicklung von automatisiertem Schienenverkehr nehmen. Dazu zählen beispielsweise auch Möglichkeiten für kürzere Zugfolgezeiten durch Blockverdichtungen. Der Netzcharakter der Infrastruktur unterstützt eine möglichst zentrale Steuerung des Betriebs- und Verkehrsablaufes inkl. der damit verbundenen Automatisierungsmöglichkeiten. Erforderlich ist der physische Ausbau der Infrastruktur mit dem Fokus auf der Engpassbeseitigung sowie dem Einsatz von digitalen Systemkomponenten – (teil-)automatisiertes Fahren, leistungsfähige Zugbeeinflussungsanlagen (ETCS - European Train Control System) sowie automatische (digitale) Kupplungen –, die den Bahnbetrieb beschleunigen, flexibilisieren, die Zuverlässigkeit des Systems Schienengüterverkehr erhöhen und den spezifischen Personalbedarf verringern.

Neben dem automatisierten Schienenverkehr sollten auch neue Bedienkonzepte des Kombinierten Verkehr (KV) von Straße und Schiene gefördert bzw. durch regulatorische Erleichterungen beanreizt werden. Hierbei sollten auch innovative Einrichtungen für einen multimodalen Verkehr von Förderungen oder Anreizregelungen profitieren können.

Das **automatisierte Fahren im Straßengüterverkehr** hingegen bringt vor allem hohe Risiken und damit einen hohen Regulierungsbedarf mit sich. Im Straßengüterverkehr ist davon auszugehen, dass sich durch Automatisierung bedingte Kostensenkungen und eine erhöhte Servicequalität in Mehrverkehr auf der Straße niederschlagen. Da die Nutzung der Straße weniger nachhaltig ist als die Nutzung von Schiene (und Wasserstraße), braucht es sowohl mit Blick auf die Fahrleistung als auch auf die Flächeninanspruchnahme eine wirksame Regulierung. Ansatzpunkte für eine solche Regulierung sind:

- ▶ Positivnetz/Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge, Verbot des Parkens außerhalb des Netzes bzw. außerhalb von extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätzen, räumlich und zeitlich differenzierte Zufahrtsbeschränkungen sowie Geschwindigkeitsregulierung zur Gewährleistung von Sicherheit von Rad- und Fußverkehr sowie Reduktion negativer ökologische Effekte sowie straßenverkehrsrechtliche Vorgaben für urbane Logistik-Fahrzeuge (vgl. Kapitel 6.3.1).
- ▶ Differenzierte Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung, die die externen Kosten des jeweiligen Verkehrs berücksichtigt (mit denkbaren Ausnahmen für den Vor- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs auf der Straße) und Anhebung der Energiesteuer (vgl. Kapitel 6.5.1).

Vor allem in urbanen Gebieten ist aufgrund vielfältiger Nutzungskonkurrenzen im öffentlichen Raum ein hoher Regulierungsbedarf gegeben. Automatisierte Systeme der urbanen Logistik können einen Ansatzpunkt und eine Chance für eine ökologische Ausgestaltung bieten. Lieferpunkte, -gebiete, -strecken und ggf. -routen für urbane Logistik-Fahrzeuge sollten im Zuge der Planung so definiert werden, dass Nutzungskonflikte im urbanen Raum ausgeräumt werden und die Verkehrssicherheit durch die Auswahl geeigneter Strecken erhöht wird (Kapitel 8.2). Eine verbindliche Vorgabe kann entweder straßenverkehrsrechtlich für alle Anbieter (Kapitel 6.3.1) oder – soweit dies EU-rechtlich ermöglicht wird – im Rahmen einer Vergabe zeitlich befristeter Gebietskonzessionen an einzelne Anbieter erfolgen. Durch die Auswahl eines bzw. weniger Anbieter können stärkere Bündelungseffekte erreicht und Mehrverkehr durch das Nebeneinander mehrerer Anbieter vermieden werden.

Für automatisierte Lkw im Straßengüterverkehr bedarf es zudem erhöhter Sicherheitsauflagen und einer Fortentwicklung von Vorschriften zu sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen (vgl. Kapitel 6.2.1). Besonders Verteilverkehre in engmaschigen Gebieten mit Mischverkehren (Personen- und Güterverkehre, automatisiert und nicht automatisiert) stellen besonders hohe technische Anforderungen an die Verkehrssicherheit.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die zielgerichtete Steuerung des Verhältnisses des Güterverkehrs auf der Schiene und der Straße sind nachfolgend in Tabelle 10 dargestellt. Auch das Straßenverkehrsregeln (vgl. Tabelle 6 in Kapitel 8.3), öffentlich-rechtliche Abgaben und marktbasierende Instrumente (vgl. Tabelle 7 in Kapitel 8.3) und das Fahrzeugzulassungsrecht (vgl. Tabelle 11 in Kapitel 8.7) haben für die Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr eine hohe Bedeutung. Die digitale Infrastruktur kann ebenfalls Anknüpfungspunkt für diese Zielrichtung sein (vgl. Tabelle 12, Tabelle 13 und Tabelle 14 in Kapitel 8.8).

Tabelle 10: Verhältnis Güterverkehr Schiene und Straße

Verhältnis Güterverkehr Schiene und Straße	
Zielrichtungen	
▶	Stärkung des Güterverkehrs auf der Schiene

Verhältnis Güterverkehr Schiene und Straße

- Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfung

- Richtlinie (EU) 2016/797 und Durchführungsverordnungen der Kommission
- Gewährleistungspflicht des Bundes für die Schienenwegeinfrastruktur nach Art. 87e Abs. 4 GG
- Richtlinie zur Förderung von Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs nicht bundeseigener Unternehmen vom 04.01.2017 bzw. vom 19. 04.2022

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- Ausrichtung der fiskalischen Rahmenbedingungen und der planerischen Vorgaben zum Ausbau des Güterverkehrs auf der Schiene an öffentlichen Interessen und staatlichen Zielstellungen zwecks Verbesserung der Mobilität von Gütern und zugleich Reduzierung von verkehrsspezifischen Belastungen für Umwelt und Klima

Instrumente

- EU-weit harmonisiertes und damit für den Schienengüterverkehr grenzüberschreitendes Eisenbahnsystem
- Physischer Ausbau der Infrastruktur zwecks Engpassbeseitigung und Aufrüstung der Infrastruktur unter Berücksichtigung der EU-rechtlichen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität, Einsatz (teil-) automatisiertes Fahren, leistungsfähige Zugbeeinflussungsanlagen (ETCS - European Train Control System) sowie automatische Kupplungen
- Förderung und Beanreizung neuer Bedienkonzepte des Kombinierten Verkehrs (KV) von Straße und Schiene und innovativer Einrichtungen für einen multimodalen Verkehr

8.7 Zulassung von automatisierten Fahrzeugen mit Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit

Die Zulassung von automatisierten Fahrzeugen sollte für den Personenverkehr vorrangig auf den Fahrzeugeinsatz im ÖPNV und für Sammelfahrdienste, die den ÖV unterstützen, ausgerichtet sein. Im Güterverkehr sollten vorrangig die Entwicklungen im Schienengüterverkehr und Kombinierten Verkehr unterstützt werden.

Der Beitrag des öffentlichen Verkehrs für eine ökologisch nachhaltige Mobilität besteht darin, Mobilität in besonders beförderungseffizienter Weise anzubieten. Automatisierung und Vernetzung können dies unterstützen, sind allerdings nur ein und nicht der wesentliche Baustein. Für den ÖPNV als Linienverkehr lassen sich zudem Vorteile der Automatisierung (ggf. höhere Energieeffizienz) auf z.B. abgetrennten Fahrbahnen bzw. bereits bestehenden Schienen leichter nutzen als bei individuell verkehrenden Fahrzeugen auf der Straße.

Für das automatisierte Fahren im MIV hingegen ist vor allem mit negativen Effekten für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, Luftreinhaltung und Lärmschutz zu rechnen, so dass eine frühzeitige Zulassung automatisierter Fahrzeuge ohne bereits verfügbare Instrumente für eine wirksame Regulierung (vgl. dazu Kapitel 8.3 und 8.5) zu vermeiden ist.

Allgemein ist zu beachten, dass die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs nach heutiger Einschätzung ungeklärt sind. Das automatisierte und vernetzte Fahren muss allerdings mit Blick auf alle anderen am Verkehr teilnehmenden Personen und Fahrzeuge sowie alle denkbaren Hindernisse bzw.

Unfallgefahren (Tiere oder Objekte an/auf der Fahrbahn) sicher und zuverlässig funktionieren. Risiken von Hacking und Cyber-Attacken sowie Risiken aus dem Langzeiteinsatz von Technik – z.B. aus Verschleiß, unsachgemäßen Reparaturen oder Beschädigungen – müssen aufgelöst oder ausgeschlossen werden. Bis zu welchem Grad dies realistisch gelingen kann, ist derzeit nicht abschätzbar. Auch ist aktuell noch unklar, wie ein sicherer Betrieb mit Blick auf das Linksabbiegen bzw. allgemein das Verhalten an Kreuzungen sowie den Umgang mit Personen, Tieren oder Gegenständen auf der Straße bzw. am Straßenrand gewährleistet werden kann.

Voraussetzung für jeglichen Regeleinsatz des automatisierten Fahrens – außerhalb von Experimenten mit eng kontrolliertem Probecharakter – ist, dass die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden gewährleistet werden kann. Dies erfordert insbesondere, dass das technische System selbstständig oder in Interaktion mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur Personen und Objekte erkennen und Gefahrensituationen vermeiden kann.

Bei potenzieller Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmender sind angemessene, gefährdungsreduzierende Maßnahmen zu ergreifen. Im Mischverkehr könnten/sollten auch nichtautomatisierte Fahrzeuge auf geeignete Weise in die Vernetzung einbezogen werden (mittels Fahrzeugkomponenten zur Vernetzung sowie durch die Vermittlung visueller oder hörbarer Signale an die fahrende Person). Das Mitführen eines Gerätes (o. ä.) durch die anderen Verkehrsteilnehmenden im nicht motorisierten Verkehr darf allerdings keine zwingende Voraussetzung für das Funktionieren des Systems sein.

Darüber hinaus sollte die Energieeffizienz ein Kriterium für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge sein. Automatisiertes Fahren bedeutet keineswegs automatisch Energieeffizienz:

- Es entsteht ein zusätzlicher Energieverbrauch durch die IT-Systeme (im und außerhalb des Fahrzeugs), der zwingend bei der Berechnung und Bewertung der Energieeffizienz zu berücksichtigen ist.
- Ob/inwieweit durch eine veränderte Fahrweise eine höhere Energieeffizienz im Gesamtverkehrssystem erreicht werden kann, hängt u. a. maßgeblich davon ab, wie die Fahrprogramme entwickelt und eingesetzt werden und wie groß und schwer die eingesetzten Fahrzeuge sind. Ohne verbindliche Vorgaben wäre es denkbar, dass Hersteller/Betreiber sich mehr an „Fahrspaß“ der Nutzenden als an Energieeffizienz orientieren oder Daten der Nutzenden ohne funktionalen Zweck für die eigentliche Fahrfunktion umfassend sammeln und speichern.
- Die Herstellung eines energieeffizienten, homogenisierten Verkehrsflusses stellt hohe Ansprüche sowohl an die digitale als auch an die physische Infrastruktur. Ob und wann ggf. bestehende Vorteile ohne unerwünschte Nachteile für die Flächenverteilung des öffentlichen Straßenraum zulasten des Rad- und Fußverkehrs tatsächlich nutzbar gemacht werden können, ist aktuell nicht absehbar.

Der zusätzliche Energiebedarf – durch die Automatisierung sowie durch mögliche Leerfahrten (Parkplatzsuche, Leerfahrt zum nächsten Nutzenden etc.) – sollte z.B. durch Begrenzung des Fahrzeuggewichts kompensiert werden. Sowohl die für die Automatisierung erforderlichen Komponenten (wie Sensorik, Aktorik oder Bildverarbeitung), die Erhebung und Verarbeitung von Informationen (Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten) als auch die Programmierung der Fahrweise (gleichmäßig und vorausschauend) muss auf Energieeffizienz ausgerichtet sein.

Auch könnte die Zulassung automatisierter Fahrzeuge mit Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Antriebe verknüpft werden, so dass alternative Antriebe in allen Anwendungsfällen des automatisierten Fahrens im MIV, ÖV und Güterverkehr zum Einsatz kommen.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr sind nachfolgend in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr

Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr

Zielrichtungen

- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
- ▶ Zulassung von automatisierten Fahrzeugen mit Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit
- ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
- ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfung

- ▶ Fahrzeugzulassungsrecht und Straßenverkehrsrecht (StVG und auf dem StVG beruhenden Verordnungen)
- ▶ Rechtsakte der EU und der UNECE
- ▶ Richtlinie 2010/40/EU (sog. Intelligente-Verkehrssysteme-Richtlinie) und auf dieser beruhende delegierte Verordnungen der Europäischen Kommission

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Rechtsgrundlagen für die Maßnahmen/Instrument sind noch nicht vorhanden

Instrumente

- ▶ Vorgabe umwelt- und klimaschutzorientierter Fahrweisen
 - ▶ Standardisierung von Kommunikationstechnik und von Nachrichtenprotokollen sowie von verbindlichen „Absprachen“ zwischen automatisierten Fahrzeugen (Interoperabilität)
 - ▶ Verbindliche Standards für Schnittstellen (Datenaustauschformate und -protokolle) und Frequenzbänder (Standardisierung für die Software, Typenzulassung für fahrzeugseitige Hardware)
 - ▶ Bei Mischverkehr auch für nichtautomatisierte Fahrzeuge in geeigneter Weise
 - ▶ Zulassung nur vollständig funktionierender digitale Systeme, die die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden (inkl. Rad- und Fußverkehr) gewährleisten
- Das technische System muss selbstständig oder in Interaktion mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur Personen und Objekte erkennen und Gefahrensituationen vermeiden
- Das Mitführen eines Gerätes (o. ä.) durch die anderen Verkehrsteilnehmenden im Rad- und Fußverkehr darf keine zwingende Voraussetzung für das Funktionieren des Systems sein
- Im Mischverkehr könnten/sollten auch nichtautomatisierte Fahrzeuge auf geeignete Weise in die Vernetzung einbezogen werden (mittels Fahrzeugkomponenten zur Vernetzung sowie durch die Vermittlung visueller oder hörbarer Signale an die fahrende Person)
- Erhöhte Sicherheitsauflagen für automatisierte Lkw und eine Fortentwicklung von Vorschriften zu sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen
- ▶ Festlegung geeigneter Standards für z. B. für das sichere Linksabbiegen von automatisierten Fahrzeugen
 - ▶ Vorgaben für (technische) Standards zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden (insb. Rad- und Fußverkehr), z.B. Vorfahrt gewähren, Signalisierung von Parkplatzsuchfahrten, Ein- und Ausstiege/Fahrgastwechsel usw.
 - ▶ Vorgaben bzw. Anreize zur Energieeffizienz für die Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen und von für die Automatisierung erforderlichen Komponenten (wie Sensorik, Aktorik oder Bildverarbeitung)

Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr

- ▶ Vorgaben für eine effiziente Erhebung und Verarbeitung von Informationen, z. B. Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten
- ▶ Vorgabe der Programmierung und Umsetzung umwelt- und Klimaschutzorientierter Fahrweisen, die durch Automatisierung und Vernetzung möglich werden
- ▶ Vorgaben zur Definition der Zielfunktion beim vernetzten Fahren und bei einem zentral mitgesteuerten System auch unter ökologischen Gesichtspunkten
- ▶ Ggf. Vorgabe von Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Antriebe

8.8 Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr

Für die öffentliche Finanzierung und Förderung der Infrastruktur für die Digitalisierung im Verkehr gilt es allgemein zu beachten: Ob Maßnahmen der Digitalisierung des Verkehrs ökologische Nachhaltigkeit bewirken, bedarf der Bewertung der spezifischen Maßnahmen im Detail.

Der Aufbau einer digitalen Infrastruktur durch die öffentliche Hand sollte stets auf die Energieeffizienz digitaler technischer Systeme ausgerichtet sein – dies betrifft sowohl Grundsätze für die Erhebung und Verarbeitung von Informationen (Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten) wie auch technische Vorschriften. Neu geschaffene digitale Systeme sollten sich auf ihre Hauptfunktion fokussieren (z.B. Lenkung des Verkehrs), auf Nebenfunktionen wie bspw. das umfassende Sammeln und Speichern von Daten der Nutzenden, sollte hingegen möglichst verzichtet werden (vgl. dazu Kapitel 5.1.1.1 und 5.2.1.1.1).

8.8.1 Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren

Die Förderung einer (überwiegend oder zum großen Teil) dem MIV dienenden digitalen Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren ist mit nachhaltiger Mobilität nicht vereinbar. Der Aufbau einer digitalen Infrastruktur in öffentlicher Hand bzw. eine öffentliche Finanzierung des Infrastrukturaufbaus sollten daher nur erfolgen, wenn und soweit mit der digitalen Infrastruktur eine Verbesserung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden im Straßenverkehr und eine nachhaltigere Gestaltung des Verkehrsmanagements erreicht werden kann. Jede öffentliche Investition in die Weiterentwicklung des Systems muss auf eine Verbesserung der Nachhaltigkeit im Verkehrssystem in seiner Gesamtheit ausgerichtet sein. Für das automatisierte Fahren im MIV ist allerdings vor allem mit negativen Effekten für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, die Luftreinhaltung und den Lärmschutz zu rechnen (vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1, 8.1 und 8.3).

Die Anforderungen und Herausforderungen an die digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren sind nachfolgend in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren

Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren

Zielrichtungen

- ▶ Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr
- ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV

Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren

- ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
- ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr

Rechtliche Anknüpfungen

- ▶ Bau, Erweiterung und Verbesserung von Straßen durch den jeweiligen Straßenbaulastträger nach den Straßengesetzen des Bundes und der Länder

Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe

- ▶ Straßengesetze des Bundes und der Länder:
 Aufbau eines einheitlichen Systems für das automatisierte und vernetzte Fahren über alle Straßenbaulastträger erfordert gesetzliche Anpassungen/Klärungen
 Zielausrichtung auf ökologische Belange und Ermöglichung einer lenkenden Verkehrsverlagerung noch nicht ausreichend rechtlich verankert

Instrumente

Bei Aufbau einer öffentlichen digitalen Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren:

- ▶ Öffentliche Investitionen in digitale und physische Infrastruktur nur zur Verbesserung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden im Straßenverkehr und/oder zu einer nachhaltigeren Gestaltung des Verkehrsmanagements
- ▶ Keine Investition, die vor allem oder ausschließlich dem Motorisierten Individualverkehr zu Gute kommt
- ▶ Auch für den automatisierten und vernetzten ÖV Verknüpfung öffentlicher Investitionen mit ökologischen Nachhaltigkeitszielen
- ▶ Investition nur in vollständig funktionierende digitale Systeme, die die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden (inkl. Rad- und Fußverkehr) gewährleisten
- ▶ Beachtung von verbindlichen Standards für Schnittstellen (Datenaustauschformate und -protokolle) und Frequenzbänder (Standardisierung für die Software, Typenzulassung für fahrzeugseitige Hardware)
- ▶ Effiziente Erhebung und Verarbeitung von Informationen, z. B. Datensparsamkeit, prioritär/ausschließlich Sammlung und Nutzung von sicherheits- und verkehrsrelevanten Daten
- ▶ Programmierung und Umsetzung umwelt- und klimaschutzorientierter Fahrweisen, die durch Automatisierung und Vernetzung möglich werden
- ▶ Definition der Zielfunktion beim vernetzten Fahren und bei einem zentral mitgesteuerten System auch unter ökologischen Gesichtspunkten

8.8.2 Digitales Verkehrsmanagement

Darüber hinaus kann es für die Erreichung gemeinwohlorientierter Ziele sinnvoll sein, ein digitales Verkehrsmanagement (für Personen- und Güterverkehr) einzuführen für:

- ▶ Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln, Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung (vgl. dazu in den Kapiteln 6.3, 6.4 und 6.5).
- ▶ Verkehrssteuerung und -lenkung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale, z.B. um eine ökologisch nachhaltige Fahrweise zu etablieren oder durch eine Steuerung der Routen gezielt bestimmte Straßen und Gebiete zu entlasten (vgl. dazu oben Kapitel 5.1.1.2, 5.1.1.3, 5.1.1.4 und 5.2.1.1.1.). Voraussetzung dafür wäre eine hohe Vernetzung der Fahrzeuge und der Infrastruktur und es sollte bestenfalls nur ein Infrastrukturbetreiber für Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen tätig werden.

Vor der Einführung eines digitalen Verkehrsmanagements ist die sachliche und örtliche Zuständigkeit für die mit dem Aufbau und Betrieb der erforderlichen digitalen Infrastruktur verknüpften Aufgaben und deren Finanzierung zu klären und festzulegen (vgl. dazu Kapitel 6.1.3). Der Aspekt einer nachhaltigen Wirksamkeit bei der Zuordnung der Aufgaben- und Finanzierungsverantwortung spricht für die Einrichtung einer übergeordneten zentralen Stelle. Insbesondere für eine eventuelle digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren – z.B. zwecks Fernsteuerung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale – sind Fragen zur Aufgaben- und Finanzierungsverantwortung nicht einfach zu beantworten, da enge Verbindungen zur physischen Infrastruktur und damit zu Straßen verschiedener Kategorien und Zuständigkeiten bestehen.

Zusätzlich zur Aufgabenabgrenzung innerhalb der öffentlichen Hand ist der genaue Aufgabenbereich im Verhältnis zu den Betreibern automatisierter Fahrzeuge festzulegen. Es bedarf einer genauen Abgrenzung zwischen der „Technischen Aufsicht“ bzw. Betriebszentrale des Betreibers, die operativ ins Fahrzeug hereinreicht und der übergeordneten öffentlichen digitalen Infrastruktur.

Die Anforderungen und Herausforderungen an ein digitales Verkehrsmanagement sind nachfolgend in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Digitales Verkehrsmanagement

Digitales Verkehrsmanagement
<p>Zielrichtungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr ▶ Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV ▶ Gezielte Stärkung des Umweltverbunds ▶ Integration von fahrerlosen Sammelfahrdiensten in den ÖV ▶ Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr
<p>Rechtliche Anknüpfungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Verkehrsrechtliche Anordnungen nach Straßenverkehrsrecht (StVG und auf dem StVG beruhenden Verordnungen) ▶ Straßenmautgesetz ▶ Richtlinie 1999/62/EG in der Neufassung durch Richtlinie (EU) 2022/362, Richtlinie (EU) 2019/520 in der Neufassung durch Richtlinie (EU) 2022/362 ▶ Kraftfahrzeugsteuergesetz ▶ Nahverkehrsplanung und Ausgestaltung des Nahverkehrs durch die jeweiligen Aufgabenträger ▶ Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr
<p>Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Rechtsgrundlagen für straßenverkehrsrechtliche Instrumente noch nicht vorhanden ▶ Neuausrichtung des Straßenverkehrsrechts und der Anordnungsbefugnisse an ökologischen Zielen erforderlich ▶ Straßenmautgesetz: Erweiterung gegenüber aktueller Rechtslage (Bundesfernstraßenmautgesetz) erforderlich ▶ Kraftfahrzeugsteuergesetz: Rechtsgrundlage für Instrument noch nicht vorhanden ▶ Gewerberechtliche Rechtsgrundlagen für Instrumente noch nicht vorhanden
<p>Instrumente</p>

Digitales Verkehrsmanagement

- ▶ Digitales Verkehrsmanagement zur Kontrolle und Durchsetzung von Straßenverkehrsregeln:
 - Geschwindigkeitsbegrenzungen
 - Nutzungs- und Zufahrtsbeschränkungen
 - Fahrverbote für den (automatisierten) motorisierten Verkehr in sensiblen Gebieten
 - Positivnetz/Vorrangnetz für schwere automatisierte Nutzfahrzeuge, Verbot des Parkens außerhalb des Netzes bzw. außerhalb von extra für diese Lkw ausgewiesenen Stellplätzen
 - Regelungen für den maximalen Parkplatzsuchradius
 - Gebote/Verbote für Ein- und Ausstiege in nachfragestarken Räumen
 - Bevorzugung des Umweltverbunds (Fußverkehr, Radverkehr, ÖV) im Straßenverkehr gegenüber dem MIV, insbesondere exklusive Nutzung des öffentlichen Straßenraums für (automatisierte bzw. vernetzte) Straßenfahrzeuge im ÖV – im Verhältnis zum motorisierten Individualverkehr – auf geeigneten Strecken bzw. zu geeigneten Zeiten
- ▶ Digitales Verkehrsmanagement zur Verkehrssteuerung und -lenkung automatisierter Fahrzeuge durch eine Betriebszentrale, z. B. um eine ökologisch nachhaltige Fahrweise zu etablieren oder durch eine Steuerung der Routen gezielt bestimmte Straßen und Gebiete zu entlasten
- ▶ Digitales Verkehrsmanagement zur Erhebung öffentlich-rechtlicher Abgaben:
 - Erhebung von Nutzungsgebühren bzw. Nutzungsentgelten für die Straßennutzung
 - Kraftfahrzeugsteuer für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge in Abhängigkeit vom Energieverbrauch pro Pkm/Tkm
- ▶ Digitales Verkehrsmanagement zur Kontrolle und Durchsetzung von gewerberechtlichen Vorgaben:
 - Beschränkung/Verbot des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge für den Transport von Waren oder Personen als privat angebotene Dienstleistung
 - Vorgaben für fahrerlose Fahrdienste, z. B. zur Angebotsausrichtung (geteilte Fahrten, ergänzend zu ÖV), Länge Repositionierungsfahrten, Leerfahrten, Anzahl eingesetzter Fahrzeuge, Regelungen zum Fahrgastwechsel
 - Beschränkungen für die Vermittlung von Mobilitäts- bzw. zusätzlichen Serviceleistungen, die nachteilige Effekte auf die ökologische Nachhaltigkeit haben können
 - Vorgaben zum Verhältnis von Mobilitätsanbietern und Vermittlern und zum gleichberechtigten Zugang für Kundinnen und Kunden zur Mobilitätsvermittlung

8.8.3 Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang und für Mobilitäts-Serviceleistungen

Für digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Mobilitäts-Serviceleistungen ist folgendes zu beachten:

- ▶ Sie bieten die Chance eine Verlagerung vom MIV auf Wegekette zu fördern, die überwiegend aus Verkehrsmitteln des Umweltverbundes bestehen, und können damit zu einer Verbesserung für den Klimaschutz, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Verkehrssicherheit, Luftreinhaltung und Lärmschutz beitragen (vgl. dazu Kapitel 5.2.1.2.1).
- ▶ Wenn sie die Attraktivität einer privaten Pkw-Nutzung oder die Nutzung eines wenig beförderungseffizienten Mobilitätsangebotes (z.B. taxiähnliche Fahrdienste) erhöhen, wirken sie der erforderlichen Verkehrsverlagerung in den Umweltverbund allerdings entgegen und sind daher für die ökologische Nachhaltigkeit im Verkehr grundsätzlich nicht oder nur bei Erfüllung einschlägiger Kriterien zielführend.

- ▶ Auch digitale Anwendungen bieten Ansätze für ein regulierendes Handeln. Allerdings muss für den öffentlichen Aufbau einer diesbezüglichen Infrastruktur die Frage der Nützlichkeit für regulierendes Handeln und der Hauptzweck der jeweiligen Infrastruktur stets für den Einzelfall kritisch abgewogen werden. Denkbar wäre eine Nutzung der digitalen Ausgestaltung der Mobilitätsservices in folgenden Fällen:
 - Bei Apps für Sammelfahrdienste, taxiähnliche Fahrdienste oder andere gewerblich angebotene Verkehrsmittel (z.B. E-Leichtkrafträder, E-Tretroller, Fahrräder): Für die Erhebung von Entgelten/Gebühren für die Straßennutzung durch gewerbliche Anbieter und die Evaluation und Kontrolle im Rahmen gewerblicher Vorgaben (derzeit in begrenztem Umfang ausgeprägt für Sammelfahrdienste und taxiähnliche Fahrdienste des Personenbeförderungsgewerbes nach PBefG).
 - Bei Apps für die Parkplatzvermittlung: Für die kommunale Parkraumbewirtschaftung, insbesondere für die Messung der Parkraum-Nutzung, die Bepreisung, die Kontrolle und Sanktion für zu langes Parken.
- ▶ Darüber hinaus sind für ein staatlich lenkendes Handeln im Kontext digitaler Anwendungen die EU-rechtliche Dienstleistungsfreiheit (Art. 56 AEUV) und die EU-Regeln für „Dienste der Informationsgesellschaft“⁹⁵ zu berücksichtigen.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung sind nachfolgend in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung

Digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung	
Zielrichtungen	
▶	Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr
▶	Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV
▶	Gezielte Stärkung des Umweltverbunds
Rechtliche Anknüpfungen	
▶	Nahverkehrsplanung und Ausgestaltung des Nahverkehrs durch die jeweiligen Aufgabenträger
▶	Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr
Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe	
▶	Gewerberechtliche Rechtsgrundlagen für Instrumente noch nicht vorhanden
Instrumente	
▶	Für Vermittlungsplattformen: Festlegung des Verhältnisses von Mobilitätsanbietern und Vermittlern Verhinderung einer marktbeherrschenden Position eines oder weniger insbesondere privatwirtschaftlicher Mobilitätsvermittler, damit beispielsweise den Mobilitätsanbietern keine Transportpreise oder Angebotsvorgaben diktiert werden können Gleichberechtigter Zugang: Die Mobilitätsvermittlung muss so ausgestaltet sein, dass sie auch in der analogen Welt für die Kunden verfügbar ist

⁹⁵ Richtlinie 2000/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2000 über bestimmte rechtliche Aspekte der Dienste der Informationsgesellschaft, insbesondere des elektronischen Geschäftsverkehrs, im Binnenmarkt ("Richtlinie über den elektronischen Geschäftsverkehr").

Digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung

- ▶ Ggf. Vergabe von Lizenzen/Konzessionen oder öffentliche Bestellung von Mobilitätsplattformen
- ▶ Datenbereitstellung durch Mobilitätsanbieter im Umweltverbund – hierzu gehören ÖV-Unternehmen sowie Unternehmen, die Fahrräder und Tretroller verleihen – sowie durch Vermietdienste von Pkw

9 Quellenverzeichnis

Anthopoulos, L.; Attour, A. (2018): Smart transportation applications' business models: A comparison, in: WWW '18 Companion, 927–928.

Agora Verkehrswende (2020a): Auto tankt Internet: Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur.

Agora Verkehrswende (2020b): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität.

Allianz pro Schiene e. V. (2017): Fahrerloses Fahren - Die Schiene hat mehr als 30 Jahre Vorsprung, <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/fahrerloses-fahren-schiene-hat-30-jahre-vorsprung/> [26.09.2022]

Anderson, J. M.; Nidhi, K.; Stanley, K. D.; Sorensen, P.; Samaras, C. & Oluwatola, O. A. (2014): Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers [Online], Santa Monica, Rand Corporation, <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1603024>.

AustriaTech – Gesellschaft des Bundes für technologiepolitische Maßnahmen GmbH (2021): Mobilität findet Stadt - Fokus: Automatisierte Mobilität.

Bayrische Eisenbahngesellschaft (2022): Mobilitätsplattform Bayern: Datendrehscheibe für den gesamten öffentlichen Verkehr, <https://beg.bahnland-bayern.de/de/pressemitteilungen/mobilit%C3%A4tsplattform-bayern-datendrehscheibe-fur-den-gesamten-%C3%B6ffentlichen-verkehr-im-freistaat-geht-in-die-weiterentwicklung> [19.05.2022].

Becker, H.; Becker, F.; Abe, R.; Bekhor, S.; Belgiawan, P. F.; Compostella, J.; Frazzoli, E.; Fulton, L. M.; Guggisberg Bicudo, D.; Murthy Gurumurthy, K.; Hensher, D. A.; Joubert, J. W.; Kockelman, K. M.; Kröger, L.; Le Vine, S.; Malik, J.; Marczuk, K.; Ashari Nasution, R.; Rich, J.; Papu Carrone, A.; Shen, D.; Shiftan, Y.; Tirachini, A.; Wong, Y. Z.; Zhang, M.; Bösch, P. M.; Axhausen, K. W. (2020): Impact of vehicle automation and electric propulsion on production costs for mobility services worldwide, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 138, S. 105–126.

Becker, U.; Schwedes, O. (2020): Zur Reformbedürftigkeit der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Plädoyer für ein repräsentatives Verfahren bei der Festlegung von Richtlinien im Straßenverkehr, in: Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung (Hrsg.), IVP-Discussion Paper Nr. 16, TU Berlin, https://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/Discussion_Paper/DP16_BeckerSchwedes.pdf [26.08.2022].

Bendel, O. (2016): Digitalisierung. In: Springer (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon Wiesbaden, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitalisierung-54195/version-384620> [26.08.2022].

Bengler, K.; Schmauder, M. (2016): Digitalisierung, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 70, 75–76.

Beratungsstelle für Unfallverhütung (2020): Automatisiertes Fahren - Mischverkehr, Bern.

Bizgan, Lore; Hollings, Polly; Reynolds, Matt (2020): Mobility as a Service – Acceptability Research, Department for Transport, April 2020.

Bodungen/Hoffmann (2021), Digitale Vermittlung, Pooling, autonomes Fahren, RDi 2021, 93, 100.

BMDV (2021): „Mobilithek – Deutschlands Plattform für Daten, die etwas bewegen, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mobilithek.html> [19.05.2022].

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2021): Klimaschutz in Zahlen, Ausgabe 2021, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2021_bf.pdf [16.05.2022].

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren – Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten, Berlin.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/bundesverkehrswegeplan-2030-gesamtplan.pdf?__blob=publicationFile [30.11.2022].

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Masterplan Schienengüterverkehr, https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/E/masterplan-schienengueterverkehr.pdf?__blob=publicationFile [31.08.2022].

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017a), 2. Fortschrittsbericht zum IVS-Aktionsplan „Straße“ für Deutschland.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021): Perspektiven für den Stadtverkehr der Zukunft, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/perspektiven-stadtverkehr-zukunft.pdf> [30.08.2022].

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2017): Den digitalen Wandel gestalten. <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/digitalisierung.html> [30.11.2022].

Bundesrechnungshof (2022): Bericht nach § 99 BHO zur Steuerung des Klimaschutzes in Deutschland, Bonn, 24. März 2022.

Bundesregierung (2020): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/7c0614aff0f2c847f51c4d8e9646e610/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1> [30.11.2022].

C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium) (k.A.): Glossary, <https://www.car-2-car.org/about-c-its/c-its-glossary> [26.08.2022].

C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium) (2020): 2020 C-ITS Roadmap, https://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/PDFs/roadmap/Roadmap_2020_figure.pdf [26.08.2022]

Chen, T. D.; Kockelman, K. M. (2016): „Management of a Shared Autonomous Electric Vehicle Fleet: Implications of Pricing Schemes“, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2572, No. 1, S. 37–46.

Childress, S.; Nichols, B.; Charlton, B.; Coe, S. (2015): „Using an Activity-Based Model to Explore the Potential Impacts of Automated Vehicles“, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2493, No. 1, S. 99–106.

Clausen, J.; Niebel, T.; Hintemann, R.; Schramm, S.; Axenbeck, J.; Iffländer, S. (2022): Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? - CliDiTrans Endbericht, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin und Mannheim, <https://www.zew.de/publikationen/klimaschutz-durch-digitale-transformation-realistische-perspektive-oder-mythos-cliditrans-endbericht> [05.02.2022]

Cole, T. (2017): Digitale Transformation: warum die deutsche Wirtschaft gerade die digitale Zukunft verschläft und was jetzt getan werden muss! 2. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München.

Cruz, C. O.; Sarmiento, J. M. (2020): "Mobility as a service" platforms: A critical path towards increasing the sustainability of transportation systems. Sustainability 12 (16), 6368.

Dang, L.; von Arx, W.; Frölicher, J. (2021): The Impact of On-Demand Collective Transport Services on Sustainability: A Comparison of Various Service Options in a Rural and an Urban Area of Switzerland.

Das, S.; Sekar, A.; Chen, R.; Kim, H.; Wallington, T.; Williams, E. (2017): Impacts of Autonomous Vehicles on Consumers Time-Use Patterns, Challenges, Vol. 8, No. 2, S. 32.

Dasanayaka, N.; Fida Hasan, K.; Wang, C.; Feng, Y. (2020): Improving vulnerable road user safety: Existing practices and consideration for using mobile devices for V2X connections, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2010/2010.15502.pdf> [26.08.2022].

Deutsche Bahn AG (2021): Automatisierte Zugbildung: Güterzüge starten künftig deutlich schneller, Pressemitteilung vom 07.06.2021, https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Automatisierte-Zugbildung-Gueterzuege-starten-kuenftig-deutlich-schneller-6868340 [31.08.2022].

DLR; KIT; ifeu (im Erscheinen): Digitalisierung im Verkehr. Potentiale und Risiken für Umwelt und Klima: Abschlussbericht, UBA-Texte 04/2021, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau.

Dokic, J.; Müller, B.; Meyer, G. (2015): European roadmap smart systems for automated driving, European Technology Platform on Smart Systems Integration.

EIA (2018): Autonomous vehicles: Uncertainties and Energy Implications: Issue in Focus from the Annual Energy Outlook 2018, EIA - U.S. Energy Information Administration.

Enzweiler, K.; Kind, S.; Jetzke, T. (2018): Autonomer Güterverkehr auf Straßen, Schienen und Wasserwegen, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Themenkurzprofil Nr. 19, September 2018, <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000133903> [31.08.2022].

ERTRAC (2019): Automated Driving Roadmap, Status: final for publication. ERTRAC Task Force "Connectivity and Automated Driving".

Esser, K./Kurte, J. (2018): Autonomes Fahren – Aktueller Stand, Potentiale und Auswirkungsanalyse, Studie für den Deutschen Industrie- und Handelskammertag e. V., Köln.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (2019): ETSI Technical Report 103 300-1, Intelligent Transport Systems (ITS), Vulnerable road users (VRU) awareness, Part 1, Use cases definition, https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103300_103399/10330001/02.01.01_60/tr_10330001v020101p.pdf [26.08.2022].

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (2022): Automotive Intelligent Transport Systems (ITS), <https://www.etsi.org/technologies/automotive-intelligent-transport> [26.08.2022].

Europäische Kommission (2011): Weißbuch „Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, vom 28.03.2011, COM(2011) 144 final.

Europäische Kommission (2017): Improving the safety and mobility of vulnerable road users through ITS applications. Schritte in die richtige Richtung für den Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer, <https://cordis.europa.eu/article/id/198035-moving-in-the-right-direction-for-the-protection-of-vulnerable-road-users/de> [26.08.2022].

Europäische Kommission (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Der europäische Grüne Deal, vom 11.12.2019, COM(2019) 640 final, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF [30.11.2022].

Europäische Kommission (2019a): DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) .../... DER KOMMISSION vom 13.3.2019 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Einführung und den Betrieb kooperativer intelligenter Verkehrssysteme, vom 13.3.2019, C(2019) 1789 final, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9a2fe08f-4580-11e9-a8ed-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF [30.11.2022].

Europäische Kommission (2020): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen -

Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität: Den Verkehr in Europa auf Zukunftskurs bringen, vom 09.12.2020, COM(2020) 789 final, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-de> [30.11.2022].

Europäische Kommission (2021a): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Auf dem Weg zu einem gesunden Planeten für alle EU-Aktionsplan: Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden. COM(2021) 400 final.

Europäische Kommission (2021b): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030“ vom 14.07.2021, COM(2021) 550 final.

Europäische Kommission (2021c): Fragen und Antworten – Emissionshandel – CO₂-Bepreisung*, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_3542 [30.11.2022]

Europäische Kommission (2021d): Revision of the Combined Transport Directive, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13010-Nachhaltiger-Verkehr-Uberarbeitung-der-Richtlinie-uber-den-kombinierten-Verkehr_de [26.08.2022].

European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport; Levin, S.; Skinner, I.; Nokes, T. et al. (2019): Support study for impact assessment of cooperative intelligent transport systems: final report, Publications Office.

European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport; Essen, H.; Andrew, E.; Sutter, D. et al. (2019a): Sustainable transport infrastructure charging and internalisation of transport externalities: main findings, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2832/004905> [30.11.2022].

Fagnant, D. J.; Kockelman, K. (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 77, S. 167–181.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2021): Hinweise zu Maßnahmen für eine Verkehrswende im Güterverkehr.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2022): Empfehlungen zur Anwendung von FGSV-Veröffentlichungen im Bereich Verkehr zur Erreichung von Klimaschutzzielen, E Klima 22.

Fraedrich, E.; Beiker, S.; Lenz, B. (2015): Transition pathways to fully automated driving and its implications for the sociotechnical system of automobility, European Journal of Futures Research, Vol. 3, No. 1.

Fraedrich, E.; Kröger, L.; Bahamonde-Birke, F.; Frenzel, I.; Liedtke, G.; Trommer, S.; Lenz, B.; Heinrichs, D. (2017): Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr: Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen [Online], Stuttgart.

Fraunhofer IAO (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO) (2019): Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von morgen [AFKOS].

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS); Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services (SCS) (2019): Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent), UBA TEXTE 21/2019, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-11_texte_21-2019_abschlussbericht_rekongent_final_bf_1.pdf [30.11.2022]

Friedrich, M.; Hartl, M. (2016): MEGAFON - Modellergebnisse geteilter autonomes Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs: Schlussbericht.

Gawron, J. H.; Keoleian, G. A.; Kleine, R. D. de; Wallington, T. J.; Kim, H. C. (2018): Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects, *Environmental science & technology*, Vol. 52, No. 5, S. 3249–3256.

Gerike, R.; Koszowski, C.; Hubrich, S.; et al. (2020): *Aktive Mobilität: Mehr Lebensqualität in Ballungsräumen im Auftrag des UBA* (2020), UBA-Texte 226/2020, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_03_texte_226-2020_aktive_mobilitaet.pdf [30.11.2022].

Gucwa, M. (2014): *Mobility and Energy Impact of Automated Cars: Analysis using MTC Travel Model One*.

Haefeli, U.; Bruns, F.; Arnold, T.; Straumann, R. (2020): *Potenzialanalyse multimodale Mobilität. Verlagerungswirkungen, Erhöhung des Fahrzeugbesetzungsgrades sowie Reduktion Organisationsaufwand für Reisende im ÖV bis 2030, Bericht zuhanden des Bundesamts für Verkehr (BAV), Luzern/Zürich*.

Haefeli, U., Arnold, T. (2020): *Umweltwirkungen vernetzter (multimodaler) Mobilität*.

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

Hensher, D.A.; Ho, C.Q.; Reck, D.J. (2021): *Mobility as a Service and private car use: evidence from the Sydney MaaS trial*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 145: 17-33.

Hermes, G.; Kramer, U.; Weiß, H. (2022): *Entwurf eines Bundesmobilitätsgesetzes im Auftrag des VCD e.V. Bundesverband*, Februar 2022, <https://www.vcd.org/artikel/unser-gesetzesentwurf-fuer-ein-bundesmobilitaetsgesetz> [16.05.2022].

Hermes, G.; Kramer, U.; Weiß, H. (2022a): *Verfassungsrechtlicher Rahmen für ein Bundesmobilitätsgesetz, Rechtsgutachten im Auftrag des VCD e.V. Bundesverband*, Februar 2022, <https://www.vcd.org/artikel/unser-gesetzesentwurf-fuer-ein-bundesmobilitaetsgesetz> [16.05.2022]

Hochschule Fresenius (2020): *The future of autonomous vehicles*.

Hörl, S.; Becker, F.; Dubernet, T.; Axhausen, K. (2019): *Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung*.

ITF (2019): *What is the Value of Saving Travel Time?*, ITF Roundtable Reports, No. 176.

Jing, P.; Wei, H.; Long, C. (2017): *Car-to-pedestrian communication safety system based on the vehicular ad-hoc network environment: A systematic review*. *Information*, 8 (4), 127.

Kagho, G. O.; Balać, M. Axhausen, K. W. (2021): *Potential impacts of integrating an on-demand transport service with public transit system*, Working Paper, ETH Zürich.

Karl, A.; Werner, J. (2020): *„Mehr Mobilität mit weniger Verkehr“ – Tücken der Regulierung von App-Fahrdiensten im Spannungsfeld zwischen Sammelfahrdiensten und App-vermittelten Mietwagen*, in: *Verkehr und Technik*, Heft 12/2020, S. 449-456.

KCW (2020): *Grundlagen für ein umweltorientiertes Recht der Personenbeförderung*, UBA-Texte 213/2020, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_19_texte_213_2020_personenbefoerderung_tb_2_0.pdf [15.05.2022].

KCW (2022): *Personenbeförderungsgesetz-Novelle 2021 – Kurzbewertung der Ergebnisse aus Umweltsicht*, UBA-Texte 83/2022, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_83-2022_personenbefoerderungsgesetz-novelle_2021.pdf [30.11.2022].

Knie, A.; Canzler, W.; Ruhrort, L. (2019): Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr - Chancen, Risiken und politischer Handlungsbedarf.

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

Kröger, L.; Kuhnimhof, T.; Trommer, S. (2016): Modelling the Impact of Automated Driving. Private AV Scenarios for Germany and the US. European Transport Conference 2016, Barcelona, Spanien.

Lee, J.; Kockelman, K. M. (2019): Energy implications of self-driving vehicles, 98th Annual Meeting of the Transportation Research Board in Washington, DC. 2019.

Leister, H. (2017): ETCS und digitale Technologie für Stellwerke, in: Eisenbahn-Revue International, 8-9/2017.

Lenz, B.; Fraedrich, E. (2015): Neue Mobilitätskonzepte und autonomes Fahren: Potenziale der Veränderung, in: Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Springer.

Lichtblau, K.; Kempermann, H.; Bähr, C.; Ewald, J.; Fritsch, M.; Kohlsch, E.; Zink, B.; Albert, F.; Herrmann, F.; Stegmüller, S.; Bickenbach, D.; Lämmer-Gamp, T.; Vogelskamp, S. A. (2021): Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Status quo, Trends, Szenarien, im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Litman, T. (2021): Autonomous Vehicle Implementation Predictions- Implications for Transport Planning.

Lozano Dominguez, J.M.; Sanguino, T.J.M. (2019): Review on V2X, I2X, and P2X communications and their applications: A comprehensive analysis over time, Sensors, 19(12), 2756.

OECD; ITF (2016): Shared Mobility: Innovation for Livable Cities.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2021): Autonomes Fahren im Liefer- und Güterverkehr, Empfehlungspapier der Arbeitsgruppe B im Themenfeld 5, https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/210505_ANHANG_Empfehlungspapier_AG_B_autonomes_Fahren_im_LGV.pdf [31.08.2022].

Mobility inside (2022): Visionäres Vernetzungsprojekt startet mit vier Tarifen in einem: Mobility inside launcht erste App-Version, <https://www.mobility-inside.de/aktuelles/news/visionaeres-vernetzungsprojekt-startet-mit-vier-tarifen-in-einem-mobility-inside-launcht-erste-app-version/> [10.04.2022].

NPM – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021): Mobilitätsbudget und digitalisiertes Parkraummanagement als Befähiger für inter- und multimodale Mobilität. AG 3 „Digitalisierung für den Mobilitätssektor“ – Sechster Zwischenbericht. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

Öko-Institut; Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin (HWR) (2019): Rechtliche Hemmnisse und Innovationen für eine nachhaltige Mobilität – untersucht an Beispielen des Straßenverkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs in Räumen schwacher Nachfrage. UBA-Texte 94/2019, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau.

Perret, F.; Arnold, T.; Fischer, R.; de Haan, P.; Haefeli, U. (2020): Automatisiertes Fahren in der Schweiz: Das Steuer aus der Hand geben?

PTV AG, PTV TC GmbH, KIT IfV + FAST, Rödl & Partner (2019): Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-) Bus.

PWC (2015) Connected Car Study 2015: Racing ahead with autonomous cars and digital innovation.

Reck, D. J.; Axhausen, K. W.; Hensher, D. A.; Ho, C. Q. (2021): Multimodal transportation plans - Empirical evidence on uptake, usage and behavioral implications from the Augsburg MaaS trial, Presented at the 100th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2021.

Remane, G.; Hanelt, A.; Nickerson, R. C.; Kolbe, L. M. (2017): Discovering digital business models in traditional industries. Journal of Business Strategy 38 (2): 41–51.

SAE International (2018): International. Surface vehicle recommended practice – Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. USA; J3016_201806. <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic> [30.11.2022].

Schoettle, B.; Sivak, M. (2015): Motorists' preferences for different levels of vehicle automation. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.

Scholliers, J; Van Sambeek, M.; Moerman K. (2017): Integration of vulnerable road users in cooperative ITS systems. European Transport Research Review 9: 15.

Sonderegger, R.; Frölicher, J.; Imhof, S.; von Arx, W.; Sträuli, C.; Stadler, J.; Maibach, M. & Schaaffkamp, C. (2018): Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr - Neue Geschäftsmodelle für die SBB im ländlichen Raum? Luzern: Hochschule Luzern.

Sonderegger, R.; Imhof, S.; von Arx, W.; Frölicher, J. (2019): Selbstfahrende Fahrzeuge im ländlichen Raum.

Soteropoulos, A.; Bruck, E.; Berger, M.; Egoldt, A.; Holst, A.; Richter, T.; László Z. (2021): Automatisierung, öffentlicher Verkehr und Mobility as a Service: Erfahrungen aus Tests mit automatisierten Shuttlebussen.

SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021): Koalitionsvertrag 20. Legislaturperiode, vom 24.11.2021.

Stocker, A.; Shaheen, S. (2017): Shared automated vehicles: Review of business models. , International Transport Forum Discussion Paper No. 2017-09. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), International Transport Forum, Paris, <https://www.econstor.eu/handle/10419/194044> [26.08.2022].

Stogios, C.; Kasraian, D.; Roorda, M. J.; Hatzopoulou, M. (2019): Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 76, S. 176–192.

Strömberg, H.; Karlsson, I. C. M.; Sochor, J. (2018): Inviting travelers to the smorgasbord of 13 sustainable urban transport: evidence from a MaaS field trial. Transportation, 2018. 45 (6):1655- 14 1670.

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. ifmo – research institute of BMW.

TÜV Rheinland (2021): Fahrassistenzsysteme im Langzeitbetrieb nicht immer verlässlich, Pressemeldung vom 08.07.2021. <https://presse.tuv.com/fahrassistenzsysteme-im-langzeitbetrieb-nicht-immer-verlaesslich/> [30.11.2022].

UBA – Umweltbundesamt (2020):Verkehrswende für ALLE – So erreichen wir eine sozial gerechtere und umweltverträglichere Mobilität, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verkehrswende-fuer-alle> [30.11.2022].

UBA – Umweltbundesamt (2022): Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Klimaschutzgesetzes, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx [25.03.2022].

UITP (2019): World Report on Metro Automation 2018, https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Statistics-Brief-Metro-automation_final_web03.pdf [30.11.2022].

UITP (2020): Policy Brief - Autonomous vehicles: A potential game changer for urban mobility.

UNECE Inland Transport Committee / World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (2020): Framework document on automated/autonomous vehicles. https://unece.org/sites/default/files/2022-02/FDAV_Brochure%20-%20Update%20Clean%20Version.pdf [30.11.2022].

UNECE (2021) UN-Regelung Nr. 157 — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des automatischen Spurhalteassistentensystems (ALKS) [2021/389] (ECE/TRANS/WP.29/2020/81).

United Nations Global Assembly (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. UN-Resolution A/RES/70/1 vom 25.09.2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda> [30.11.2022].

VDA (2015): Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. VDA Magazin. VDA - Verband der Automobilindustrie e.V.

Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH (2021): maas . Mobilität digital und vernetzt, https://www.vm.nrw.de/presse/pressemitteilungen/Archiv-des-VM-2021/2021_10_13_Klare-Kante-fuer-bessere-sichere-und-saubere-Mobilitaet-Nordrhein-Westfalen-praesentiert-sich-mit-dem-Cube-of-Mobility-als-Heimat-der-Mobilitaet-4_0/MaaS-Broschuere-VM-NRW-2021.pdf [19.05.2022].

Vermesan, O.; Bahr, R.; Falcitelli, M.; Brevi, D.; Bosi, I.; Dekusar, A. ; Velizhev, A. ; Alaya, M.B. ; Firmani, C. ; Simeon, J.F.; Tcheumadjeu, L.T.; Solmaz, G.; Bisconti, F.; Di Mauro, L.; Noto, S.; Pagano, P.; Ferrera, E.; Gavilanes Castillo, G.A.; Bonetto, E.; Di Massa, V.; Legaspi, X.; Cabeza, M.; Bernardez, D.; Sanchez, F.; Kaul, R.; Van den Ende, B.; Schmeitz, A.; Scholliers, J.; Karagiannis, G.; den Ouden, J.; Jansen, S.; Marcasuzaa, H.; Schreiner, F. (2020): IoT technologies for connected and automated driving applications, in: Internet of Things-The Call of the Edge: Everything Intelligent Everywhere, S. 306-332. River Publishers.

Verwaltungsgericht Berlin (2022): Carsharing im Land Berlin vorerst keine Sondernutzung (Nr. 30/2022), Pressemitteilung vom 02.08.2022, <https://www.berlin.de/gerichte/verwaltungsgericht/presse/pressemitteilungen/2022/pressemitteilung.1232125.php> [30.11.2022].

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Schaffung zukunftsfähiger Grundlagen für einen effizienten Schienengüterverkehr, Gutachten Nr.3/2020. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/wissenschaftlicher-beirat-effizienten-schienengueterverkehr.pdf?__blob=publicationFile [31.08.2022].

Wadud, Z.; MacKenzie, D.; Leiby, P. (2016): Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 86, S. 1–18.

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

Zmud, J.; Green, L.; Kuhnimhof, T.; Le Vine, S.; Polak, J.; Phleps, P. (2017): Still going... and going: the emerging travel patterns of older adults. Ifmo – research institute of BMW.

A Anhang: Zielbild und Prüfkriterien zum Refoplan Projekt “Digitalisierung im Verkehr – Regulativer Rahmen” (Input des UBA, April 2020)

Erläuterung: Vom Auftraggeber wurde speziell für die vorliegende Studie ein Kriterien-Set zur Verfügung gestellt. Dieses bildete zusammen mit übergeordneten, rechtlich verbindlichen Zielen die Grundlage für die Identifikation der zehn in Kap. 3.5 darstellten Kriterien, die dieser Studie für die Bewertung, ob Digitalisierung zum Erreichen einer nachhaltig ökologischen Mobilität beiträgt oder diese gefährdet, zugrunde liegen. Das Kriterien-Set des Auftraggebers umfasst in Summe 23 Kriterien, die im Folgenden dargestellt werden. Das Kriterien-Set enthält auch soziale und wirtschaftliche Kriterien, die in der vorliegenden Studie jedoch nicht im Fokus standen.

Das laufende FE-Projekt soll ermitteln, welche regulativen Maßnahmen ggf. erforderlich und möglich sind, damit eine Digitalisierung im Verkehr zur Einhaltung oder Erreichung von (rechtlich verbindlichen oder anderweitig durch die Bundesregierung beschlossenen) Zielen im Umwelt- und Klimaschutz beiträgt (im Folgenden „Zielbild“ genannt). Zu berücksichtigen sind dabei im Wesentlichen Ziele aus folgenden Umweltbereichen:

- ▶ Lärm
- ▶ Luft
- ▶ Klima
- ▶ Ressourcen
- ▶ Flächenverbrauch

Die ausgewählten Maßnahmen aus dem Bereich Digitalisierung sollen zum einen anhand des Beitrages zur Erreichung dieser Ziele bewertet werden. Zum anderen sollen sonstige relevante Wirkungen der ausgewählten Maßnahmen an Hand von Prüfkriterien bewertet werden. Im Projektverlauf können die Prüfkriterien in Abstimmung mit den Auftraggebern ergänzt, entfernt oder angepasst werden. Die Prüfkriterien und die Prüfergebnisse zur Erreichung der Ziele aus dem Zielbild („harte Ziele“) sollen in Arbeitspaket 8 in einem Beteiligungsformat (z.B. Fachworkshop) zur Diskussion gestellt und anschließend finalisiert werden.

Das Zielbild und die Prüfkriterien sollen einerseits der Maßstab für die Einhaltung der Ziele aus dem Umweltschutz (z.B. Sektorziel für den Verkehr im Klimaschutzgesetz) sein. Zusätzlich sollen aber auch bisher unbekannte Potenziale und Risiken erkannt werden, die im Sinne einer Frühwarnfunktion bisher in den Diskursen zum Umwelt- und Klimaschutz der Digitalisierung nicht ausreichend zum Tragen gekommen sind.

Alle Prüfkriterien haben einen qualitativen Charakter. Prüfkriterien, die einen Anstieg oder Abfall eines bestimmten Indikators (z.B. Verkehrsleistung) erwarten lassen, weisen aufgrund der binären Wirkrichtung in dem Prüfkatalog Effekte aus. Maßnahmen, die verschiedene Konzepte unterstützen können, werden auf ihre Eignung hin geprüft. Bei den übrigen Prüfkriterien sollen die (qualitativen) Auswirkungen grundsätzlich geprüft werden, da hier mehrere Wirkrichtungen denkbar sind.

Die im Folgenden dargestellten Prüfkriterien zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilität bilden einen Ansatz ab, der möglichst alle heute absehbaren Einflüsse einer Digitalisierung im Verkehr auf die Realisierung einer nachhaltigen Mobilität abdeckt. Dies führt in einigen Prüfkriterien möglicherweise zu Redundanzen, die jedoch durch die jeweiligen Erläuterungen der Kriterien aufgefangen werden sollen. Der Ansatz einer Aufstellung möglichst konkreter und gleichzeitig

umfassender Prüfkriterien soll die Bewertung relevanter Regelungsbereiche und Gestaltungserfordernisse vor allem im Hinblick auf die Zielerreichung unterstützen.

Effekte auf die Verkehrsleistung im MIV

Die Verkehrsleistung ist ein wichtiger Indikator, sie zeigt Wirkungen verschiedener Maßnahmen besonders deutlich auf, da sowohl Distanzen als auch das Aufkommen (Personenfahrten/Tonnen) in diesem Indikator enthalten sind. Eine geringere Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr (MIV) ist aus Umwelt- und Klimasicht erstrebenswert und notwendig. Gleichzeitig können hier Verkehrsmengen klar dargestellt werden, die gegenüber Modal-Split-Abbildungen (bzw. Anteilszielen) die Wachstumsdynamiken einzelner Verkehrsangebote deutlicher aufgreifen.

Effekte auf die Anzahl der Fahrten im MIV

Maßnahmen im Nahbereich wirken aufgrund der geringen Distanzen in einigen Fällen weniger stark auf die Verkehrsleistung, verfügen dennoch über wichtige Entlastungsfunktionen, insbesondere in verdichteten Räumen. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, Maßnahmen aufzugreifen, die zwar zunächst geringere Wirkungen auf THG-Emissionen haben, aber im Nahbereich die Belastungen durch Lärm und negative Wirkungen auf die Luftqualität mindern. Zentrales Kriterium ist hier die Anzahl der Fahrten im MIV.

Effekte auf die Verkehrsleistung im ÖPNV

Für den Umwelt- und Klimaschutz im Verkehr ist ein leistungsfähiger und stark nachgefragter ÖPNV eine zentrale Säule, ohne die eine Minderung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung im MIV nicht umsetzbar ist. Dies gilt insbesondere in verdichteten Räumen mit höherer Verkehrsnachfrage. Daher sollten in diesen Räumen Maßnahmen zur Stärkung des (absoluten) Wachstums der Verkehrsleistung für einen auskömmlichen ÖPNV aufgegriffen werden. Für geringer verdichtete Räume mit schwacher Verkehrsnachfrage sollte die Frage der Rentabilität des klassischen ÖPNV Berücksichtigung finden.

Auswirkungen auf den Rad- und Fußverkehr

Zur Stärkung des Rad- und Fußverkehrs bzw. zur Entlastung von verdichteten Räumen sollten auch Maßnahmen ergriffen werden, die den nicht-motorisierten Individualverkehr stärken. Dabei können möglicherweise Lösungen aus dem MIV-Bereich auch zur Förderung des „langsamen Verkehrs“ übertragen werden.

Effekte auf den Flächenverbrauch durch Verkehr

Kollektivisierte Angebote (z.B. Robotaxis, Ridesharing) können zu einer Verkleinerung der gesamten Fahrzeugflotte führen und dadurch ggf. neue Spielräume in der Gestaltung des öffentlichen Straßenraums eröffnen. Offen bleibt dabei zunächst die Frage, ob sich dies auch auf die Klassifizierung der Straßen auswirkt bzw. eine Rückstufung einer Straßenkategorie auf einzelnen Streckenabschnitten in Frage kommen kann oder eine Höherstufung vermieden wird. Wenn es zu einer Marktdurchdringung des fahrerlosen Fahrens käme, könnten Stellflächen für den MIV anderen Flächennutzungen zugeordnet werden (z.B. entsiegelte Freiräume wie Parks).

Effekte auf die Verkehrsleistung im Schienenpersonenfernverkehr

Der öffentliche Fernverkehr ist eine tragende Säule einer nachhaltigen Mobilität; im Wettbewerb zum MIV und luftgebundenen Verkehr sollte daher seine Konkurrenzfähigkeit gestärkt werden. Sich abzeichnende digitale Lösungen für den Schienenpersonenfernverkehr sollten daher gefördert und umgesetzt werden, um die Bahn attraktiver zu machen. Digitale Lösungen, von der Buchung bis zum unbemannten Zugbetrieb, könnten dabei unterstützen, Flexibilität,

Zuverlässigkeit und Kapazität der Bahnen zu erhöhen, um dadurch neue Marktsegmente im Personenverkehr zu erschließen und die Verkehrsleistung insgesamt zu steigern.

Eignung für die Umsetzung im kommunalen und betrieblichen Mobilitätsmanagement

Kommunales und betriebliches Mobilitätsmanagement ist oft noch nicht in der erforderlichen Breite organisatorisch verankert. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Der Nutzen scheint unklar oder nicht groß genug, um den Aufwand zur Implementierung zu rechtfertigen. Oder die Verantwortung zur Umsetzung wird an anderen Stellen verortet, z.B. in der politischen und planerischen Gestaltungsebene, aber nicht das einzelne Unternehmen, die Verwaltung oder Kommune. Digitale (Plattform-)Lösungen könnten die Einführung eines Mobilitätsmanagements erleichtern und damit die breite Umsetzung von Maßnahmen einer nachhaltigen Mobilität. Die unterschiedlichen Voraussetzungen von kleinen und z.T. mittleren Unternehmen gegenüber großen Arbeitgebern sollten dabei Berücksichtigung finden (externe Mobilitätsangebote, unternehmensinterne Verankerung).

Auswirkungen auf den Personenwirtschaftsverkehr

Der Personenwirtschaftsverkehr entzieht sich vielen Gestaltungszugriffen, also einer Steuerung über Kosten/Steuern, Angebote zur Verkehrsverlagerung und aufgrund spezifischer Fahrtenprofile oft auch Überlegungen zum Einsatz alternativer Antriebe. Zudem sind im Personenwirtschaftsverkehr eingesetzte Fahrzeuge oft auch ein Bestandteil des Lohns bzw. der Vergütung und sind dadurch schwer zu ersetzen. Hier könnte neben neuen Mobilitätsangeboten und Lösungen einer intelligenten geteilten Fahrzeugnutzung, möglicherweise ein intelligentes Lademanagement den spezifischen Fahrtenprofilen Rechnung tragen und die Vergütungsproblematik abschwächen.

Auswirkungen auf den Verkehrsfluss

Die Verkehrszustände im Straßenverkehr sind ein zentraler Treiber für die Auswirkungen des Personen- und Güterverkehrs auf Umwelt und Klima. So steigen die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen im be- und überlasteten Netz deutlich an. Hier könnten beispielsweise intelligente Verkehrsbeeinflussungsanlagen – ggf. auch Verkehrsmittel übergreifend – einen wichtigen Beitrag leisten, um kurzfristig die Verkehrsmengen im Gesamtnetz zu verteilen und die Anzahl der Anfahrvorgänge bei Pkw und Lkw zu mindern. Die Verkehrsflussoptimierung durch die umfangreiche Ausrüstung mit Telematik-Lösungen in den Verkehrsnetzen sollte dabei jedoch nicht Auslöser für Rebound-Effekte werden. Daher sollten die Auswirkungen auf die Verkehrsströme Verkehrsmittel übergreifend betrachtet werden. Auch andere Maßnahmen außerhalb der Infrastruktur können Einfluss auf den Verkehrsfluss haben (z.B. Car2Car-Kommunikation) und sollen daher an dieser Stelle ebenfalls berücksichtigt werden.

Auswirkungen auf die Kosten des öffentlichen Verkehrs

Die Kosten für fahrzeugseitige (MIV) oder angebotsseitige (ÖV) Optimierungen sollten auch zukünftig für alle Verkehrsteilnehmenden bzw. Kundengruppen erschwinglich sein, andernfalls können Potenziale einer Digitalisierung im Verkehr nicht gehoben werden. Daher sollte dafür Sorge getragen werden, dass vielversprechende Maßnahmen einer Digitalisierung im Verkehr gefördert werden, um die Kosten für Besteller im öffentlichen Verkehr möglichst gering zu halten. Dies gilt auch für den Pkw-Markt im Bereich des Flottenmanagements kollektiver Mobilitätsangebote, v.a. im Rahmen einer (funktionalen) Ergänzung zum öffentlichen Verkehr.

Eignung für die Umsetzung nachhaltiger Betreiberkonzepte von geteilten Angeboten

Das Flottenmanagement bzw. die Flottenerneuerung von Mobilitätsdiensten sollte sich an einem ressourcenarmen, klimaschonenden und umweltverträglichen Fahrzeugeinsatz orientieren.

Dieser Ansatz reicht von der Fahrzeugbeschaffung über die Repositionierung der Fahrzeuge im Betrieb bis hin zur Entsorgung bzw. dem Verkauf von Fahrzeugen. Die Beschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben könnte durch ein intelligentes Lademanagement in Kombination mit der Repositionierung von Fahrzeugen attraktiver werden, sofern beispielsweise digitale Lösungen dazu beitragen, Befürchtungen bezüglich zu geringer Reichweiten abzubauen.

Auswirkungen auf den Einsatz alternativer Antriebe

Die Kaufentscheidung für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben könnte durch ein leicht zugängliches und jederzeit verfügbares System der Energiebereitstellung erleichtert werden. Dafür ist nicht nur die Versorgungsinfrastruktur entscheidend, sondern auch digitale Lösungen zur Optimierung und Koordinierung von Ort und Zeit der Betankung oder des Ladevorgangs. Entsprechende Anwendungen sollten daher idealerweise eine umfassende Versorgungssicherheit gewährleisten, um v.a. Reichweitenängsten entgegenzutreten zu können und den Markthochlauf v.a. batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge zu befördern.

Auswirkung auf die betriebliche Leistungsfähigkeit des Schienengüterverkehrs

Der Schienengüterverkehr ist eine tragende Säule einer nachhaltigen Verkehrswende im Güterverkehr und stützt die Energiewende im Verkehr. Neben den klassischen Marktsegmenten (z.B. Massengut) ist es notwendig, neue Marktsegmente für den Schienengüterverkehr zu erschließen. Dies kann jedoch nur dann gelingen, wenn in den Betriebsabläufen im Schienengüterverkehr die Zuverlässigkeit erhöht wird und die logistischen Dienstleistungen trotzdem flexibel gebucht werden können, um mit dem straßengebundenen Güterverkehr konkurrieren bzw. verstärkt Ergänzungsfunktionen übernehmen zu können. Dafür könnten digitale Lösungen einen Beitrag leisten, von der automatischen Kupplung über Buchungssysteme bis hin zu einer Blockverdichtung.

Eignung für die Umsetzung von Konzepten einer nachhaltigen urbanen Logistik

Bisher existiert eine Vielzahl lokal angepasster (kleinerer) Maßnahmen einer nachhaltigen urbanen Logistik. Diese Maßnahmen haben häufig einen Pilot- und Demonstrationscharakter und sind noch nicht im Mainstream der Logistikdienstleistungen etabliert. Um die nachhaltige urbane Logistik in der Breite zu etablieren, müssten verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden, beispielsweise „white label“-Lösungen für Mikrodepot-Konzepte, Systeme zur alternativen Adresszustellung oder Lösungen für konsolidierte Lieferungen („langsame Logistik“). Hier könnten digitale Lösungen wichtige Beiträge liefern.

Auswirkungen digitaler Lösungen im Verkehr auf alle Raumtypen

Digitale Lösungen im Verkehr bieten auf verschiedenen Ebenen Möglichkeiten, auch in nachfrageschwachen Räumen, Verkehrsangebote zu etablieren. So könnten Konzessionsmodelle für Betreiber von Mobilitätsdiensten bei der Vergabe besonders attraktiver Gebiete gleichzeitig zu einer Anbindung von nachfrageschwachen Räumen verpflichtend werden, z.B. in Form von Zubringern zum Netz des öffentlichen Verkehrs. Auch hier könnte die Digitalisierung neue Möglichkeiten bieten. Darüber hinaus könnte das fahrerlose Fahren die Perspektive ermöglichen, wirtschaftlich tragfähige Angebote, analog zu Anruflinientaxis, in ländlichen bzw. gering verdichteten Räumen bereit zu stellen.

Auswirkungen auf die soziale Teilhabe bei digitalen Lösungen im Verkehr

Öffentliche Investitionen sollten auch im Rahmen einer Digitalisierung im Verkehr das Prinzip der Gemeinwohlorientierung verfolgen. Der Aspekt der Teilhabe gilt insbesondere bei öffentlichen Investitionen in die digitale Ausrüstung der Verkehrsnetze, die für alle

Verkehrsteilnehmenden nutzbar sein sollten, und z.B. nicht exklusiv dem MIV zur Verfügung stehen.

Effekte auf den öffentlichen Verkehr

Neue Konzepte für Mobilitätsdienstleistungen und – soweit zukünftig verfügbar – des fahrerlosen Fahrens sollten möglichst nicht in Konkurrenz zum öffentlichen Verkehr treten, da der öffentliche Verkehr eine höhere Verkehrsnachfrage besonders umweltverträglich abwickeln kann – dies gilt insbesondere in verdichteten Räumen. Daher sollte einer Verkehrsverlagerung vom öffentlichen Verkehr zum motorisierten Individualverkehr zumindest in diese räumen entgegengewirkt und die Vorteile neuer Mobilitätskonzepte und Technologien für den öffentlichen Verkehr nutzbar gemacht werden (Kohärenz statt Konkurrenz). Dabei sollte einer Konkurrenz zwischen dem öffentlichen Verkehr und Angeboten des Car- und Ridesharings von vornherein entgegengewirkt werden, da eine umwelt- und klimaschutzorientierte Regulierung innerhalb der Verkehrsmärkte nicht vielversprechend erscheint.

Auswirkung auf den langsamen Verkehr

Der Rad- und Fußverkehr sollte auch zukünftig sicher und attraktiv bleiben. Eine Automatisierung von Fahrzeugen der SAE-Level 4 und 5 ist abhängig von Sensorik und Detektion in Bezug auf die Fahrzeugumgebung. Es könnte die Gefahr bestehen, dass z.B. Radfahrende oder Zufußgehende vom Auto nicht erkannt werden bzw. dass der Langsamverkehr das fahrerlos fahrende Fahrzeug ausbremst. Dadurch ergeben sich Regelungserfordernisse, wie Verkehrsteilnehmende ohne digitale Komponenten im Verkehrsablauf geschützt werden können. Gleichzeitig können digitale Technologien auch für mehr Verkehrssicherheit sorgen.

Auswirkung auf kommunale Kosten

Die Investitionen für eine digitale Ausrüstung der Verkehrsnetze, insbesondere diejenigen unter kommunaler Trägerschaft, müssen die Interessen aller Verkehrsteilnehmenden berücksichtigen. Da bisher nicht absehbar ist, aus welchen Quellen eine Digitalisierung der Netze finanziert werden wird, besteht hier potentiell die Gefahr, dass der motorisierte Individualverkehr für entsprechende Investitionen nicht selbst aufkommt, sondern Mittel aus Steuergeldern aufgewendet werden. Diese Mittel könnten dann für andere Investitionen fehlen und die kommunalen Haushalte belasten. Im Rahmen einer Digitalisierung im Verkehr sollte die finanzielle Manövrierfähigkeit von Kommunen geschützt bzw. gewährleistet werden und einen gesamtgesellschaftlichen Mehrwert aufweisen.

Auswirkung auf die Aufteilung des Straßenraumes

Um die Sicherheit von Verkehrsteilnehmenden ohne digitale Ausrüstung zu gewährleisten, könnte eine verstärkte bauliche Trennung der Verkehrswege oder exklusive Fahrstreifen für das fahrerlose Fahren in Betracht kommen. Da die Spurbreiten bzw. die Straßenkategorien für den motorisierten Individualverkehr i.d.R. Ausgangspunkt der Aufteilung des Straßenquerschnitts sind, könnte insbesondere der Rad- und Fußverkehr an Straßenraum und v.a. Querungsmöglichkeiten verlieren. Bei entsprechenden Überlegungen zur Aufteilung des Straßenraumes sollte dafür Sorge getragen werden, dass der Rad- und Fußverkehr sicher und barrierefrei gestaltet werden kann.

Auswirkung durch einen Wegfall konventioneller Verkehrstechnik

Unabhängig von der Frage, wann und wie viele Fahrzeuge zukünftig fahrerlos Fahren können und auf konventionelle Verkehrstechnik (Verkehrszeichen, Ampeln) verzichten könnten, könnte es auch sinnvoll sein, die bestehende analoge Verkehrstechnik auch zukünftig zu erhalten und i.S. einer nachhaltigen Mobilität weiterzuentwickeln. Dies könnte zum einen eine wichtige

Rückfalloption bei einem Ausfall digitaler Systeme im Verkehrsablauf sein. Zum anderen könnten so Verkehrsteilnehmende ohne digitale Ausrüstung weiterhin die Möglichkeit erhalten, das Verkehrsverhalten anderer Verkehrsteilnehmenden nachzuvollziehen bzw. zu antizipieren und gleichberechtigt am Verkehr teilzunehmen. Dies betrifft insbesondere auf Verkehrsteilnehmende des Langsamverkehrs zu, die sich auf die konventionelle Verkehrstechnik verlassen können müssen.

Auswirkung auf sensible Gebiete

Bei der Festlegung von Straßenkategorien kommen verschiedene Aspekte zum Tragen, u.a. auch die Bündelung von Verkehr auf Hauptstraßen, um die Verkehrsmengen im nachgeordneten Netz, z.B. in Wohngebieten (Tempo-30-Zonen), gering zu halten. Bei der regulativen Gestaltung des fahrerlosen Fahrens sollten die Funktionen der Straßenkategorien in der Routenwahl berücksichtigt werden. Daher sollte auch zukünftig beachtet werden, dass mögliche Zeitersparnisse durch die Nutzung des nachgeordneten Netzes nicht zu unverhältnismäßig hohen Belastungen in Wohngebieten führen.

Sensible Gebiete (z.B. Wohngebiete, Grünanlagen und Parks) müssen zudem weiterhin als eine besonders schützenswerte Flächennutzung berücksichtigt werden und vor Umweltauswirkungen wie Lärm und Luftschadstoffen geschützt werden. Zukünftige Verkehrssysteme sollten daher ihre Potenziale nicht zu Lasten von Störungen und Beeinträchtigung von sensiblen Gebieten entfalten – auch wenn dadurch Zielkonflikte entstehen könnten (z.B. durch Umwege). Dies sollte nicht nur für den landgebundenen Verkehr gelten, sondern auch für die konventionelle Nutzung von unbemannten Luftfahrtsystemen („Drohnen“, „Lufttaxis“ etc.).

Auswirkung auf die Konsolidierung in logistischen Netzwerken

Sollte ein automatisierter Umschlag in Kombination mit dem fahrerlosen Fahren im Straßengüterverkehr technologisch möglich und ökonomisch sinnvoll werden, könnten sich radikale Veränderungen in den logistischen Netzwerken bzw. der Konsolidierung von Güterströmen ergeben. In diesem Szenario wäre es denkbar, dass sehr kleine Losgrößen (Losgröße 1) im Direktverkehr zugestellt werden könnten und damit deutlich mehr Fahrzeuge zum Einsatz kommen könnten als bisher. Zwar könnte ein automatisierter Umschlag Verkehrssystem übergreifend Potenziale im Umwelt- und Klimaschutz entfalten, in Verbindung mit Konzepten des fahrerlosen Fahrens im Lkw-Verkehr jedoch beträchtliche Marktvorteile für den Straßengüterverkehr hervorbringen. Daher sollten trotz Digitalisierung möglichst die bisherigen Anstrengungen zur Konsolidierung in logistischen Prozessen geschützt und gestärkt werden.

Auswirkungen auf die Kosten für Mobilität

Digitale Lösungen im Verkehr können in der Phase der Marktdurchdringung aufgrund hoher Kosten möglicherweise nur für einkommensstarke Nachfragegruppen erschwinglich sein („Elitenprojekte“). Die Mengenziele im Verkehr können jedoch nur dann umgesetzt werden, wenn alle Nachfragegruppen an Effizienzsteigerungen im Verkehr teilhaben können. Ein wichtiges Prüfkriterium für Regelungserfordernisse sind daher auch die Preis- bzw. Kostenstrukturen von digitalen Optimierungslösungen alle Nachfrageprofile.