TEXTE
133/2023

Kurzbericht

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

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 133/2023

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

Forschungskennzahl 3718 58 100 0

FB001063

Kurzbericht

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 7

Tabellenverzeichnis 7

Abkürzungsverzeichnis 8

1 Ableitung von Regulierungserfordernissen 9

1.1 Schritt 1: Prüfkriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität 9

1.2 Schritt 2: Entwicklungslinien und Anwendungsfälle 10

1.3 Schritt 3: Regulierungserfordernisse 11

1.4 Schritt 4 und 5: Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe und gesamthafte Auswertung der Regulierungserfordernisse 13

2 Regelungskonzepte und Rahmenbedingungen 14

2.1 Ziel: Ökologisch nachhaltiges, digitalisiertes Gesamtverkehrssystem 14

2.2 Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung 15

2.3 Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV 18

2.4 Gezielte Stärkung des Umweltverbunds 22

2.5 Personenbeförderung: In den ÖV integrierte fahrerlose Sammelfahrdienste 24

2.6 Güterverkehr: Stärkung Schiene, Begrenzung von Risiken durch den fahrerlosen Straßengüterverkehr 27

2.7 Zulassung von automatisierten Fahrzeugen mit Fokus auf Sicherheit und Nachhaltigkeit 29

2.8 Aufbau einer an ökologischer Nachhaltigkeit orientierten digitalen Infrastruktur für den Verkehr 32

2.8.1 Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren 32

2.8.2 Digitales Verkehrsmanagement 33

2.8.3 Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang und für Mobilitäts-Serviceleistungen 35

3 Fazit 38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen 9
Abbildung 2: Kriterien für ökologisch nachhaltige Mobilität.....10
Abbildung 3: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen 11

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs 16
Tabelle 2: Straßenverkehrsregeln 20
Tabelle 3: Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente 21
Tabelle 4: Ausbau des ÖV-Systems 23
Tabelle 5: Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr.....25
Tabelle 6: Verhältnis Güterverkehr Schiene und Straße.....28
Tabelle 7: Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr 31
Tabelle 8: Digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren.....33
Tabelle 9: Digitales Verkehrsmanagement 34
Tabelle 10: Digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung 36

Abkürzungsverzeichnis

AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
EG	Europäische Gemeinschaft
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
GG	Grundgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GV	Güterverkehr
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
i.d.R.	in der Regel
IT	Informationstechnik
KV	Kombinierter Verkehr
Lkw	Lastkraftwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Nr.	Nummer
o.ä.	oder ähnlich(e/es)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Personenverkehr
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
RegG	Regionalisierungsgesetz
sog.	sogenannt(e/er)
StVG	Straßenverkehrsgesetz
t	Tonne
Tkm	Tonnenkilometer
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe)
V2I	„Vehicle-to-Infrastructure“
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

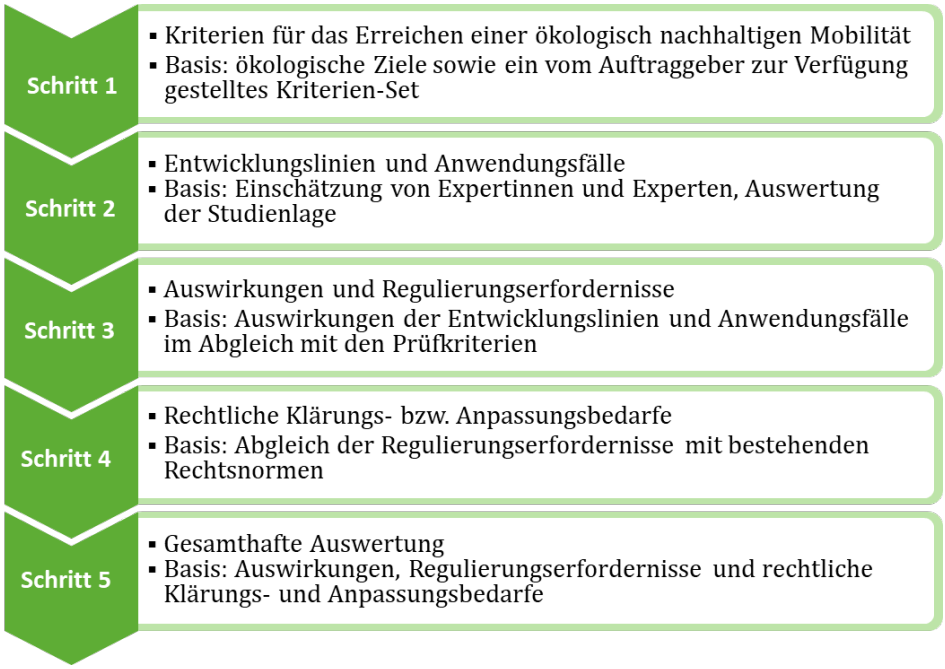
1 Ableitung von Regulierungserfordernissen

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 untersucht anhand identifizierter Entwicklungslinien und Anwendungsfälle der Digitalisierung und Automatisierung im Verkehr Regelungsansätze und -konzepte, die der Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität dienen. Im vollständigen Abschlussbericht sind die Untersuchung im Detail sowie die verwendete Quellenliteratur dargestellt. Dieser Kurzbericht legt den Fokus auf die wesentlichen Ergebnisse (vgl. Kapitel 2) und stellt skizzenhaft dar, auf welchem Weg die Ergebnisse gefunden wurden (vgl. die nachfolgenden Unterkapitel).

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

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen



Quelle: eigene Darstellung.

1.1 Schritt 1: Prüfkriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität

Im **ersten Schritt** wurden zehn Kriterien für das Erreichen einer ökologisch nachhaltigen Mobilität festgelegt, die dafür dienen, die Realisierung einer nachhaltigen Mobilität im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung zu bewerten.

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 in Abbildung 2 dargestellten Prüfkriterien für die Untersuchung der Digitalisierung des Verkehrs maßgeblich.

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.

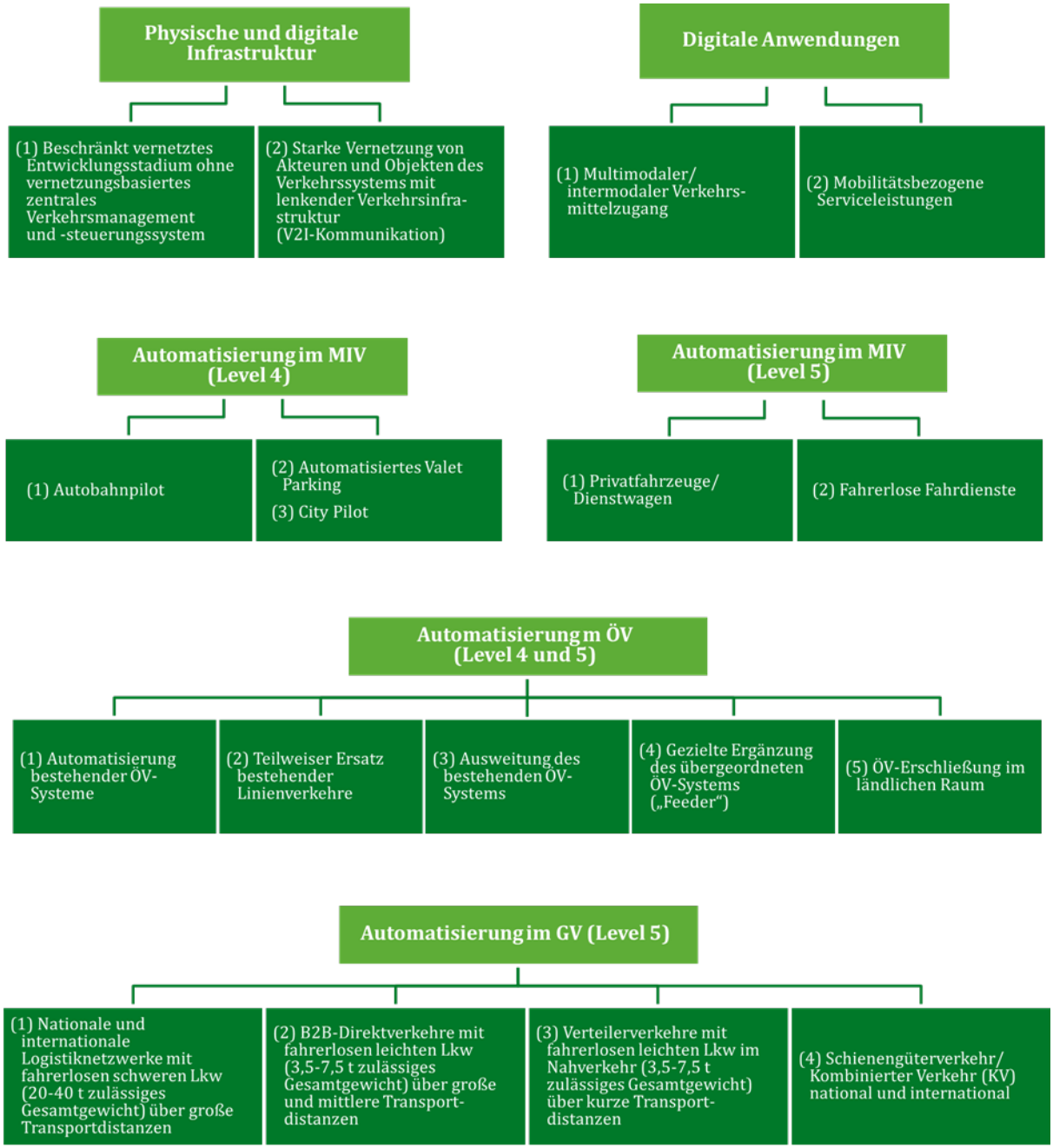
Neben ökologischen Aspekten wurden bei der Identifikation von Regulierungserfordernissen die folgenden Aspekte berücksichtigt:

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

1.2 Schritt 2: Entwicklungslinien und Anwendungsfälle

In **zweiten Schritt** 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.

Abbildung 3: Übersicht zu den untersuchten Anwendungsfällen



Quelle: eigene Darstellung.

1.3 Schritt 3: Regulierungserfordernisse

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

Digitalisierungstechnologie und die Anforderungen eines automatisierten Verkehrssystems realisieren sich in konkreten Fahrzeugkonzepten (Design, Abmessungen, Materialien, Energiemanagement, Motorisierung etc.), Informationserkennungs- und Verarbeitungssystemen im Fahrzeug und Kommunikationssysteme zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. **Übergeordnet zu den verschiedenen Teilsystemen** ist das Folgende zu bedenken:

- **Zusätzlicher Energieverbrauch durch neue IT-Systeme**: Mit Blick auf den Energieverbrauch ist die Digitalisierung im Verkehr nur dann ökologisch nachhaltig, wenn zusätzlichen Energiebedarfe neuer IT-Systeme durch (deutlich) übersteigende Effizienzgewinne und Vorteile an anderer Stelle kompensiert und überwogen werden.
- **Fahrweise automatisierter Fahrzeuge**: Geschwindigkeitsregelungen für automatisierte Fahrzeuge sollten die aus ökologischer Sicht optimale Geschwindigkeit und den optimalen Verkehrsfluss für eine energieeffiziente, emissions- und lärmreduzierte Fahrweise berücksichtigen.
- **Veränderung im Verkehrsfluss- bzw. im Verkehrsverhalten**: Ein effizienter, homogenisierter Verkehrsfluss kann Vorteile für die ökologische Nachhaltigkeit mit sich bringen. Wenn die Vorteile durch z.B. kooperative Fahrstreifenwechsel oder von aneinander gekoppelten Fahrzeugen genutzt werden sollen, dann muss die Kommunikationstechnik aller Fahrzeuge kompatibel und die physische Infrastruktur auf diese Fahrweise ausgerichtet sein.
- **Vernetzung und Routenwahl**: 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.
- **Auswirkungen auf Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs:** Die Auswirkungen auf die Sicherheit und Attraktivität des Rad- und Fußverkehrs sind nach aktueller Einschätzung unklar. Zwar kann menschliches Versagen als Sicherheitsrisiko ausgeschlossen werden, doch bestehen bei gemeinsamer/paralleler Nutzung des öffentlichen Straßenraums erhebliche Ansprüche an automatisierte Systeme und neue Unfallrisiken sind denkbar.

Für die **physische und digitale Infrastruktur für das automatisierte Fahren** ist festzuhalten, dass diese so ausgestaltet sein muss, dass die Sicherheit und Attraktivität auch im Rad- und Fußverkehr deutlich erhöht wird. Bezüglich der Infrastruktur sind mit Blick auf eine ökologisch nachhaltige Mobilität technische Mindestvoraussetzungen notwendig, Anforderungen an den öffentlichen Straßenraum festzulegen und neue digitale Regulierungsmöglichkeiten zu nutzen.

Digitale Anwendungen für den Verkehrsmittelzugang oder für zusätzliche Serviceleistungen können – zielgerichtet eingesetzt – die Attraktivität des Umweltverbundes[1] erhöhen und damit eine Verlagerung weg vom MIV bewirken. Für die Realisierung von Chancen und zur Reduktion von Risiken sind entsprechende Regulierungen erforderlich.

Für das **automatisierte Fahren im Motorisierter Individualverkehr (MIV)**[2] ist festzuhalten, dass ohne eine aktive politische Steuerung durch die Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen sowie durch fahrerlose Fahrdienste[3] eine Zunahme des MIV und eine Verlagerung

[1] 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 Vermietsystemen 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.

[2] 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. Übergänge zwischen MIV und ÖV sind abhängig von der (aktuellen und künftigen) gesetzlichen Definition des ÖV bzw. ÖPNV.

[3] Fahrdienst steht in dieser Studie als Oberbegriff für die Beförderung von Personen in Kraftfahrzeugen auf Abruf bzw. nach Bedarf. Herkömmliche und bekannteste Form des Fahrdienstes ist der Taxiverkehr.

vom Umweltverbund zum MIV durch die Automatisierung sehr wahrscheinlich sind. Die Risiken müssen durch eine starke Regulierung – insbesondere eine systematische Benachteiligung der MIV-Nutzung und den Ausbau des ÖV-Streckennetzes – so kanalisiert und begrenzt werden, dass automatisierte Fahrzeuge im Sinne eines zukünftigen nachhaltigen Verkehrssystems genutzt werden.

Für das **automatisierte Fahren im Öffentlichen Verkehr**[4] ist festzuhalten, dass es vor allem dann zu einer ökologisch nachhaltigen Mobilität beiträgt, wenn der Einsatz darauf ausgerichtet ist, ein attraktives und leistungsfähiges ÖV-Gesamtsystem zu gestalten. Grundsätzlich ist der klassische ÖPNV im Linienverkehr[5] als raumsparendes Transportmittel mit sinkenden Kosten und hoher Qualität bei großer Nachfrage alternativlos. Eine von Linien gelöste Bedienung mit kleineren, automatisierten Straßenfahrzeuge (fahrerlose Sammelfahrdienste) hat nur einen engen, sinnvollen Anwendungsbereich und sollte stets so konzipiert werden, dass das übergeordnete, klassische ÖV-System im Linienverkehr bestmöglich gestützt wird.

Für das **automatisierte Fahren im Güterverkehr**[6] ist festzuhalten, dass in allen Anwendungsfällen des automatisierten Fahrens im Straßengüterverkehr regulatorische Eingriffe der öffentlichen Hand geboten sind, um eine ökologisch nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Für den Schienengüterverkehr bzw. Kombinierten Verkehr (national und international) bietet das automatisierte Fahren hingegen das Potential, die Attraktivität des Schienenverkehrs zu erhöhen, somit Verkehr auf die Schiene zu verlagern und neue Märkte zu erschließen.

1.4 Schritt 4 und 5: Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe und gesamthafte Auswertung der Regulierungserfordernisse

Im **vierten Schritt** wurden die in Schritt 3 identifizierten Regulierungserfordernisse aus rechtlicher Perspektive thematisch geordnet und durch einen Abgleich mit bestehenden Rechtsnormen rechtliche Klärungs- bzw. Anpassungsbedarfe identifiziert. Im **fünften Schritt** erfolgte abschließend 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).

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind nachfolgend in Kapitel 2 dargestellt.

[4] In dieser Studie wird der Begriff Öffentlicher Verkehr (ÖV) für an die Allgemeinheit gerichtete und fortlaufend verfügbare Personenverkehrsdienste verwendet. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) ist ein Teilbereich des öffentlichen Verkehrs. Im Alltagsverständnis handelt es sich beim ÖPNV um die örtlichen Bus- und Bahnangebote. Der ÖPNV unterliegt besonderen Vorgaben der Aufgabenträger, die den ÖPNV mit öffentlichen Mitteln finanzieren.

[5] Der Begriff Linienverkehr wird in der Studie übergreifend verwendet für die schienen- bzw. leitungsgebundene Verkehrsarten Straßenbahnverkehr (inklusive U-Bahn) und Verkehr mit Obussen, den Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen sowie den Verkehr mit Eisenbahnen. Der Begriff wird häufig auch als Synonym für den öffentlichen Personennahverkehr verwendet – verkürzt gesprochen handelt es sich hier um Linienverkehr im Nahraum.

[6] 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.

2 Regelungskonzepte und Rahmenbedingungen

Für die Regulierung[7] der Digitalisierung im Verkehr und insbesondere des automatisierten und vernetzten Fahrens mit Zielrichtung auf die Realisierung einer ökologisch nachhaltigen Mobilität 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.

2.1 Ziel: Ökologisch nachhaltiges, digitalisiertes Gesamtverkehrssystem

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 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. 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 (Bündelungsfunktion), 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

[7] 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.

betriebliche Nachhaltigkeitsanforderungen (Bündelung soweit wie möglich, Zuführung zum Linienverkehr, Vermeidung von Leerfahrten u. ä.).

- 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-Linienverkehr – zusätzliche Fahrleistung bei geringer Beförderungseffizienz.

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 CO_2-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 City-Logistik-Konzepte mit autonomen Fahrzeugen stärkere Bündelungseffekte erreicht werden. Für die Ausgestaltung von City-Logistik-Konzepten 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 City-Logistik-Systemen bietet.

2.2 Integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung

Voraussetzung für ein konsistentes Zusammenwirken verschiedener Maßnahmen – diese werden in den nachfolgenden Abschnitten 2.3 bis 2.8 beschrieben – ist eine integrierte und zielgerichtete Verkehrsplanung von Mobilität und Verkehr mit (systematischer) Zielausrichtung auf ökologisch nachhaltige Ziele.

- Horizontal und verkehrsträgerübergreifend durch z.B. einen (rechtlich zu schaffenden) Bundesmobilitätsplan, Masterpläne für Gesamtkonzeptionen, Stadtentwicklungskonzepte, Stadt- und Stadtteilentwicklungspläne sowie Bebauungspläne mit Fokus auf integrierter Verkehrsplanung – also durch Planungen und Konzepte, die verkehrsträgerübergreifend die 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.

- 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) – 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 und sicherzustellen, dass ein bundesweit flächendeckendes bzw. (weitgehend) lückenloses ÖV-System für die Personenbeförderung umgesetzt wird.

Dieses allgemeine Erfordernis bekommt durch die zu erwartenden Veränderungen durch das automatisierte und vernetzte Fahren eine noch größere Relevanz.

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. 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 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 City-Logistik-Fahrzeuge, die straßenverkehrsrechtlich vorgegeben werden, 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 1 dargestellt.

Tabelle 1: 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

Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs

- 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
- 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

Planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs

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

2.3 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.

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 zweischneidiges 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) ausgesteuert 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 ortsnaher 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 2 und Tabelle 3 dargestellt. Auch das Verkehrsgewerberecht (vgl. Tabelle 5 in Kapitel 2.5) und das Fahrzeugzulassungsrecht (vgl. Tabelle 7 in Kapitel 2.7) haben für die Begrenzung negativer Effekte im automatisierten MIV eine Bedeutung. Die digitale Infrastruktur kann ebenfalls Anknüpfungspunkt für diese Zielrichtung sein (vgl. Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 in Kapitel 2.8).

Tabelle 2: Straßenverkehrsregeln

Straßenverkehrsregeln
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
► Verkehrsrechtliche Anordnung nach Straßenverkehrsrecht (StVG und auf dem StVG beruhende Verordnungen)
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

Straßenverkehrsregeln
▶ 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 3: Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente

Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte 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
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

Öffentliche-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente

- 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

2.4 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. Kapitel 2.1). 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. Kapitel 2.8) 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.

Hauptrouten 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 Hauptrouten 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 4 dargestellt. Auch die planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs (vgl. Tabelle 1 in 2.2), Straßenverkehrsregeln (vgl. Tabelle 2 in 2.3) und das Verkehrsgewerberecht (vgl. Tabelle 5 in Kapitel 2.5) haben für die Stärkung des Umweltverbunds eine hohe Bedeutung. Die digitale Infrastruktur kann ebenfalls Anknüpfungspunkt für diese Zielrichtung sein (vgl. Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 in Kapitel 2.8).

Tabelle 4: 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
► 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

Ausbau des ÖV-Systems
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

2.5 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. Kapitel 2.4).

Fahrerlose Fahrdienste im MIV hingegen können nur unter höchst eingeschränkten Bedingungen einen positiven Beitrag liefern. Chancen kommen im Sinne einer

gesteigerten/höchstmöglichen 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[8] 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. Kapitel 2.4). 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 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.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die Integration fahrerloser Sammelfahrdienste in den ÖV sind nachfolgend in Tabelle 5 dargestellt. Auch die planerische Entwicklung und Gestaltung des Verkehrs (vgl. Tabelle 1 in 2.2) und der Ausbau des ÖV (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 2.4) haben dafür eine Bedeutung.

Tabelle 5: Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr
Zielrichtungen

[8] 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 („Sharing“). Solche Angebote richten sich zwar an die Allgemeinheit, setzen aber bestimmte Voraussetzungen (Nutzung Smartphone, Registrierung, ggf. Kreditkarte, Mindestalter etc.), die faktische Zugangshürden darstellen können.

Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr

- 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

- 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

Verkehrsgewerberecht für den Personenverkehr
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

2.6 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 2.1).

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.

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 City-Logistik-Fahrzeuge.
- 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.

Vor allem in urbanen Gebieten ist aufgrund vielfältiger Nutzungskonkurrenzen im öffentlichen Raum ein hoher Regulierungsbedarf gegeben. Automatisierte City-Logistik-Systeme können einen Ansatzpunkt und eine Chance für eine ökologische Ausgestaltung bieten. Lieferpunkte, -gebiete, -strecken und ggf. -routen für City-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 (vgl. Kapitel 2.2). Eine verbindliche Vorgabe kann entweder straßenverkehrsrechtlich für alle Anbieter 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. 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 6 dargestellt. Auch das Straßenverkehrsregeln (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 2.3), öffentlich-rechtliche Abgaben und marktbasierte Instrumente (vgl. Tabelle 3 in Kapitel 2.3) und das Fahrzeugzulassungsrecht (vgl. Tabelle 7 in Kapitel 2.7) 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 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 in Kapitel 2.8).

Tabelle 6: 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

2.7 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. Kapitel 2.3 und 2.5) 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 7 dargestellt.

Tabelle 7: 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

Zulassung von automatisierten Fahrzeugen zum Straßenverkehr

- 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)
- 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

2.8 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.

2.8.1 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. Kapitel 2.1 und 2.3).

Die Anforderungen und Herausforderungen an die digitale Infrastruktur für das automatisierte und vernetzte Fahren sind nachfolgend in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: 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 ► 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

2.8.2 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.

- 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. 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. 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 9 dargestellt.

Tabelle 9: Digitales Verkehrsmanagement

Digitales Verkehrsmanagement
Zielrichtungen
► 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
Rechtliche Anknüpfungen
► 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
Rechtliche Klärungs- und Anpassungsbedarfe
► Rechtsgrundlagen für straßenverkehrsrechtliche Instrumente noch nicht vorhanden ► Neuausrichtung des Straßenverkehrsrechts und der Anordnungsbefugnisse an ökologischen Zielen erforderlich

Digitales Verkehrsmanagement

- Straßenmautgesetz: Erweiterung gegenüber aktueller Rechtslage (Bundesfernstraßenmautgesetz) erforderlich
- Kraftfahrzeugsteuergesetz: Rechtsgrundlage für Instrument noch nicht vorhanden
- Gewerberechtliche Rechtsgrundlagen für Instrumente noch nicht vorhanden

Instrumente

- 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

2.8.3 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 Wegeketten 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.

- 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 gewerberechtlicher 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“[9] zu berücksichtigen.

Die Anforderungen und Herausforderungen an die digitale Infrastruktur für die Mobilitätsvermittlung sind nachfolgend in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: 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:

[9] 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

Festlegung des Verhältnisses von Mobilitätsanbietern und Vermittlern

Verhinderung einer marktbeherrschenden Position eines oder weniger insbesondere privatwirtschaftlicher Mobilitätsvermittler, damit beispielweise 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

- 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

3 Fazit

Nur durch eine **größere Anzahl von verschiedenen Instrumenten** – im Sinne eines konsistenten regulativen Gesamtrahmens – kann eine ausreichende Befähigung der öffentlichen Hand zur Regulierung des automatisierten und vernetzten Fahrens mit Ausrichtung auf ökologisch nachhaltig Mobilität erreicht werden. 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 und 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 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.

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.

Automatisierung und Digitalisierung verstärken den bereits seit langem bestehenden Handlungs- und Anpassungsbedarf zur Erzielung einer ökologischen nachhaltigen Mobilität, weshalb hier für die erforderliche Anpassung des Rechtsrahmens hervorzuheben ist:

- 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.