

März 2023

bitkom



Die Zukunft fährt selbst

Anwendungsfälle, Chancen,
Herausforderungen und
Handlungsempfehlungen für die
autonome Mobilität der Zukunft

Herausgeber

Bitkom e. V.
Albrechtstraße 10
10117 Berlin
T 030 27576-0
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org

Ansprechpartner

Nils Heller | Bereichsleiter Mobility
T 030 27576-251 | n.heller@bitkom.org

Verantwortliches Bitkom-Gremium

AK automatisiertes, vernetztes & autonomes Fahren

Autorinnen und Autoren

Stéphane du Boispéan | Intel
Volker Hartmann | Vay Technologies
Marc Kiebel | ZF Friedrichshafen
Andrea Miller | Stadtwerke München
Rüdiger Pape | BMW
Maximilian Schellert, Holger Schulz | Fraunhofer IML
Nathalie Teer | Bitkom
Jonas Wigger | MOIA
Michael Wolfert | Volkswagen
Jens Ziehn | Fraunhofer IOSB

Layout

Katrin Krause

Titelbild

© Li Ding – stock.adobe.com

Copyright

Bitkom 2023

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom.

1	Einleitung	5
	Begriffsdefinitionen	6
	Technische Rahmenbedingungen	7
2	Chancen – automatisiertes Fahren als Treiber der Mobilitätswende	9
	Autonome Mobilitätsdienste als Wegbereiter zukunftsfähiger Mobilität	9
	Verkehrssicherheit durch Automatisierung	10
	Begegnung des Fahrermangels im Personen- und Güterverkehr	10
	Gleichberechtigte Mobilität	11
	Sicherung der digitalen Technologieführerschaft	12
3	Herausforderungen – Hemmnisse auf dem Weg zu autonomer Mobilität	13
	Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens	13
	Gesellschaftliche Akzeptanz	13
	Technologische Herausforderungen steigender Komplexität	14
4	Use Cases – Anwendungs-szenarien für automatisiertes, vernetztes und autonomes Fahren	17
	Autonomes Ridepooling	17
	Robotaxi	18
	People Mover im ÖPNV	19
	City-Platooning	20
	Highway Assistant	21
	Automated-Valet-Parking (AVP)	21
	Transport-as-a-Service	22
	Automatisierte Werkslogistik	22

5	Handlungsempfehlungen	24
	Praxisorientierten Rechtsrahmen fördern	24
	Internationale Harmonisierung der Gesetzgebung voranbringen	25
	Bundesländerübergreifende Regelung sichern	26
	Strukturelle und flächendeckende Förderung für autonome Mobilitätsangebote schaffen	26
	Kommerziellen Erprobungsbetrieb ermöglichen	27
	BO-Kraft anpassen	27
	Chancengetriebenen gesellschaftlichen Dialog fördern, Akzeptanz für neue Technologien sicherstellen	27
	Verkehrsinfrastruktur digitalisieren	28
	Verhaltensrecht anpassen	29
	Ausbildung anpassen, Fachkräftemangel begegnen	30

6	Fazit	31
----------	--------------	----

1 Einleitung

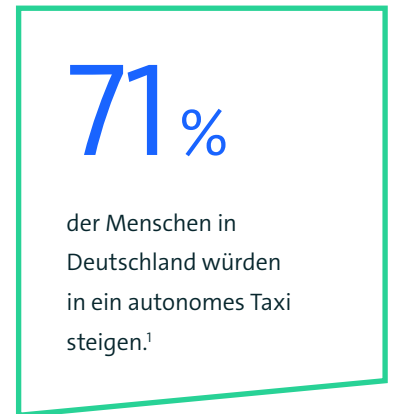
Die Technologie des automatisierten und vernetzten Fahrens entwickelt sich rasant. Einerseits eröffnet sie Lösungen und Anwendungsfälle für die Mobilitätswende, die vor wenigen Jahren noch in weit entfernter Zukunft schienen. Andererseits haben die Technologie und deren rasante Entwicklung massive Auswirkungen auf die Industrie und stellen diese vor dem Hintergrund ihrer digitalen Transformation vor große Herausforderungen: Die Automobilindustrie trifft auf neue, technologiegetriebene Player, die auf den Markt drängen und sie insbesondere im internationalen Kontext unter Druck setzen.

Doch nicht nur die Industrie und die Technologie selbst erfahren eine rasante Entwicklung, auch die rechtlichen Rahmenbedingungen wurden in den letzten Jahren entschlossen und in hoher Geschwindigkeit vorangebracht: Deutschland und die Europäische Union haben mit ihren Rechtsrahmen zum autonomen Fahren eine sehr gute Basis geschaffen, die autonome Mobilität auf die Straße zu bringen – der regulatorische Rahmen ist ein starker Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Ländern der Welt. Allerdings geht es nun darum, diesen zügig und konsequent umzusetzen, um die Technologie schnellstmöglich auszurollen.

Dieses Whitepaper greift diese vielseitigen Chancen und Herausforderungen auf und stellt diese anhand konkreter Anwendungsfälle aus der Wirtschaft dar. Ziel ist es, einerseits einen Überblick über verschiedene Lösungen und Anwendungen zu geben und diese damit greifbarer zu machen. Andererseits werden auf Basis der Anwendungsfälle jedoch insbesondere Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft abgeleitet. Dabei beantwortet das Papier die folgenden Fragen:

- Welche Möglichkeiten ergeben sich durch das autonome und vernetzte Fahren für den Personen- und Gütertransport?
- Wie kann das autonome Fahren zur Mobilitätswende beitragen?
- Vor welchen Herausforderungen stehen einzelne Akteure sowie auch die Branche insgesamt?
- Was kann die Politik tun, um den Roll-out der Technologie voranzutreiben und die Anwendungsfälle auf die Straße zu bringen? Und was könnten Stakeholder selbst tun, um den Prozess sicher und effizient zu gestalten?

Schlussendlich möchte dieses Papier auch zu einem Dialog und zu einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Politik, Verwaltung, Wissenschaft, Technologie- und Mobilitätsunternehmen anregen.



1 Quelle: Bitkom Studie 2022

1.1 Begriffsdefinitionen

Disclaimer: Die Begriffe »vollautomatisiert« und »autonom« werden in diesem Dokument synonym benutzt, bezeichnen jedoch beide das SAE-Level 4 (siehe Stufen der Automatisierung im nächsten Absatz). Grund hierfür ist der allgemeine Sprachgebrauch im gesellschaftlichen und politischen Kontext, in denen diese Begriffe sowohl gebräuchlich und bekannt sind als auch synonym verwendet werden. Die in den technischen Standards definierten Begriffe werden nachstehend erläutert.

Verschiedene Stufen und Arten der Automatisierung

Trotz bisher eingeführter und teilweise etablierter Definitionen verschiedener Grade von Automatisierung besteht in der Diskussion um automatisiertes, autonomes und vernetztes Fahren oftmals die Tendenz zur Vermischung verschiedener Themen- und Technologiebereiche. Es ist daher wichtig, die Anwendungen und Anforderungen verschiedener technologischer Entwicklungsstufen sowie die hierfür verwendeten Begrifflichkeiten deutlich herauszuarbeiten. Dies macht nicht zuletzt deutlich, mit welchen Stufen der Automatisierung das vorliegende Paper sich vorrangig befasst.

Um ein homogenes Verständnis unabhängig von nationalen oder regionalen Regulierungsschwerpunkten zu gewährleisten, werden die anerkannten Begriffsdefinitionen der Society of Automotive Engineers (SAE) verwendet werden. Wir verweisen diesbezüglich auf die **SAE Surface Vehicle Recommended Practice J3016 revised 2021-04 (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles**.

Die hieraus allgemein abgeleiteten und anerkannten **SAE Level or Categories of Driving Automation** legen detaillierte Gegebenheiten fest, unter denen von einem Fahren ohne Automatisierung (Level 0), assistierten (Level 1), teil- (Level 2), hoch- (Level 3), vollautomatisierten (Level 4) oder autonomen Fahren (Level 5) gesprochen werden kann (vgl. Level 0–5).²

Der Grad der Automatisierung bis hin zu voller Autonomie richtet sich dabei hauptsächlich an der Rollenverteilung zwischen einem menschlichen Fahrer oder einer menschlichen Fahrerin und dem **automated driving system** bzw. anderen Fahrzeugsystemen und Komponenten aus. Während die dynamische Fahraufgabe mit wachsendem Automatisierungsgrad vom Fahrer bzw. der Fahrerin auf das Fahrzeugsystem übertragen wird, sind andererseits weiterhin Gegebenheiten anerkannt, bei denen ein Mensch die dynamische Fahraufgabe – als fahrender Insasse bzw.

² Hinweis: Bei den hier verwendeten Begrifflichkeiten handelt es sich um eine freie, nicht offizielle Übersetzung der im SAE-Standard J3016 verwendeten Begrifflichkeiten »driver assistance«, »partial automation«, »conditional automation«, »high automation« und »full automation«. Eine offizielle deutsche Übersetzung existiert hierzu nicht.

fahrende Insassin innerhalb des Fahrzeugs oder ferngesteuert von außerhalb – übernehmen muss oder kann (sog. **remote operation oder remote assistance**, vgl. Normierung SAE J3016). Das teleoperierte Fahren außerhalb des Kontexts des autonomen Fahrens birgt eigenständige Use Cases mit spezifischen Chancen und Herausforderungen. Mit diesen hat sich der Bitkom in einem separaten Kurzpapier zum teleoperierten Fahren befasst, welches Sie [hier](#) abrufen können.

Das vorliegende Papier befasst sich vorrangig mit der Automatisierungsstufe SAE Level-4, bei dem das System die komplette Fahraufgabe in einem spezifischen Anwendungsfall und einer definierten Umgebung übernimmt.

Neben dem SAE-Standard J3016 gibt es auch den ISO PAS 22736-Standard, der ebenfalls internationale Gültigkeit besitzt und der, harmonisiert mit dem SAE-Standard, die verschiedenen Stufen der Automatisierung beschreibt.

1.2 Technische Rahmenbedingungen

Damit sich ein autonomes Fahrzeug möglichst sicher und zuverlässig in den regulären Straßenverkehr einfügen kann, sind ein optimales Zusammenspiel verschiedener Technologien auf Hard- und Softwareebene sowie die Erfassung und Auswertung von Daten unabdingbar. Autonome Fahrzeuge benötigen genaue und verlässliche Umgebungsdaten, um sich selbstständig im Straßenverkehr bewegen zu können. Dabei spielen Faktoren wie die Fahrbahnumgebung, andere Verkehrsteilnehmende oder besondere Straßenverhältnisse eine wesentliche Rolle. Um diese Informationen für einen reibungslosen Betrieb autonomer Fahrzeuge nutzbar zu machen, müssen die jeweiligen Daten nicht nur in Echtzeit erfasst, sondern unmittelbar verarbeitet werden. Zudem benötigt das System nachvollziehbare Regeln mit universellen Standards, die Sicherheit bei autonomen Fahrzeugen definieren. Autonomes Fahren mit hohem Anspruch an Sicherheit basiert demnach auf drei wesentlichen Säulen:

Säule 1: Umgebungserfassung

Die Erfassung der Umgebungsdaten erfolgt über das Zusammenspiel von unterschiedlichen Sensoren wie Kameras, LiDAR- und/oder Radarsensoren, die um das autonome Fahrzeug herum oder ergänzend in der Infrastruktur angebracht sind und so eine 360-Grad-Rundumsicht sicherstellen. Wichtig ist dabei, dass sich die Systeme ergänzen und Redundanzen schaffen – das erhöht die Sicherheit, sollte die Erkennung nicht wie gewünscht funktionieren. Die Wahrnehmungsfähigkeiten sind gesichert, sollte auch eines der Subsysteme ausfallen. Dann kann das andere noch immer die Straßenbedingungen und den Verkehr erfassen.

Säule 2: HD-Karten

Hinzu kommt die Möglichkeit, umfassendes Kartenmaterial zu nutzen, um spezifische Umgebungsdaten während der Fahrt in das Self-Driving-System einfließen zu lassen. In diesem Fall wird das digitale Abbild des globalen Straßennetzes kontinuierlich und automatisch anhand der Daten, die von modernen Fahrassistenzsystemen für den Massenmarkt generiert werden, aktualisiert. Diese Schwarmintelligenz in Kombination mit Deep-Learning-Algorithmen und Künstlicher Intelligenz erstellt umfassende Kartenebenen mit Informationen zur Fahrbahnumgebung, aber auch zu den Fahrgeohnheiten – etwa, auf welchen Spuren die meisten Fahrzeuge fahren oder wo Fahrzeuge an einer Ampel für gewöhnlich bei Rot halten. Die Daten werden in kleinsten Datenpaketen anonymisiert und verschlüsselt in eine Cloud übertragen. Die Erstellung der hochauflösenden Karten und deren Aktualisierung und Validierung erfolgt automatisiert. Diese Karten ermöglichen es, dass autonome Fahrzeuge zu jeder Zeit voraussehen können, was sich auf ihrer Strecke befindet.

Neben der Verwendung von HD-Karten wird bzw. kann es künftig auch weitere Herangehensweisen geben, Umgebungsdaten zu verwenden, insbesondere in der Kombination aus verschiedenen Ansätzen.

Säule 3: Fahrrihtlinien

Als dritter Baustein legt ein offenes, technologieneutrales Rahmenwerk den Standard für die Bewertung und Verifizierung sicheren Fahrens autonomer Fahrzeuge fest. Darin wird definiert, was es für ein autonomes Fahrzeug bedeutet, sicher zu fahren. Mithilfe von verschiedenen Methoden wird menschliches Verhalten formalisiert, u.a. in mathematischen Formeln und Situationsdatenbanken, die transparent und überprüfbar sind. Auf Basis dieser Methoden kann das Fahrzeug auch schwierige Situationen zuverlässig meistern. Diese Methoden sind so ausgelegt, dass die Fahrzeuge regelkonformes und höchstmögliches sicheres Verhalten gegenüber konventionellen Fahrzeugen erreichen sollen.

Nachdem nun die wichtigsten Begrifflichkeiten und technischen Rahmenbedingungen für das vollautomatisierte bzw. autonome Fahren dargelegt wurden, widmen wir uns im nachfolgenden Kapitel den Chancen, die sich durch die Verbreitung autonomer Fahrzeuge für die Mobilitätswende ergeben.

2 Chancen – automatisiertes Fahren als Treiber der Mobilitätswende

Die Zukunft der Mobilität ist sicher, effizient und individualisiert, sie reduziert die Auswirkungen auf Menschen, Umwelt und Klima und schafft bezahlbare und inklusive Mobilitätsoptionen für alle. Bei effizientem Einsatz können autonome Fahrzeuge Enabler eines solchen nachhaltigen Gesamtverkehrssystems sein. Sie können zur Optimierung des Systems beitragen, indem sie die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit und Individualisierung des Verkehrs verbessern. Zudem können sie einen Beitrag zur Wiedergewinnung von Park- und Straßenflächen leisten und dadurch zu einer gerechteren Verteilung des öffentlichen Raums zugunsten der Umwelt führen.

Dieses Kapitel beleuchtet diese Chancen vor dem Hintergrund einer digitalbasierten, nachhaltigen und zukunftsfähigen Mobilität der Zukunft etwas näher.

2.1 Autonome Mobilitätsdienste als Wegbereiter zukunftsfähiger Mobilität

Das autonome Fahren hat das Potenzial, mithilfe von Angeboten wie z. B. elektrischen Robotaxis und Roboshuttles, das öffentliche Mobilitätsangebot klimafreundlicher, günstiger, sicherer und inklusiv zu gestalten. Robotaxis und Roboshuttles können weiterhin zur Verringerung des motorisierten Individualverkehrs beitragen und zu sich ändernden Mobilitätsbedürfnissen im Bereich des Personenverkehrs (»Mobility as a Service« (MaaS)) und der Logistik (»Transport as a Service« (TaaS)) einen wesentlichen Beitrag leisten.

Durch die Automatisierung werden neue nachhaltige Mobilitätskonzepte in der Fläche technologisch und wirtschaftlich möglich und können so einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Mobilitätswende leisten.

Um dieses Ziel zu erreichen, gilt der Grundsatz, dass autonome Mobilitätsdienste als Teil einer grundlegenden Transformation der Mobilität sowohl in urbanen als auch suburbanen und ländlichen Räumen gesehen werden müssen. Autonome Mobilitätsdienste sind ein zentrales Instrument, um CO₂ und Schadstoffe durch die Bündelung der Verkehre zu reduzieren, den Verkehrslärm für Anwohnerinnen und Anwohner in Ballungsgebieten deutlich zu reduzieren und als Ergänzung und/oder Bestandteil des ÖPNV zur Umsetzung der Mobilitätswende beizutragen.

2.2 Verkehrssicherheit durch Automatisierung

Neben einem effizienten Mobilitätsökosystem kann autonome Mobilität auch zu einem insgesamt sichereren Verkehrssystem beitragen. Heutige Unfälle im Straßenverkehr gehen zu 90 Prozent auf menschliche Fehler³ zurück. Dennoch sollte nicht der Umkehrschluss getroffen werden, dass 90 Prozent weniger Unfälle durch autonomes Fahren geschehen. Autonome Fahrsysteme sind im Vergleich zu Menschen besser in der Lage, festgelegte Regeln einzuhalten sowie komplexe Informationen gleichzeitig und sofort zu verarbeiten. Zudem entfallen bei diesen Systemen die durch menschliche Ermüdung hervorgerufenen Sicherheitsrisiken. Verkehrssensoren in den Fahrzeugen, z. B. im Zusammenspiel mit Verkehrsinformationen und Infrastruktursensoren, ermöglichen eine 360°-Sicht und können so ihre Umgebung viel besser beobachten als menschliche Fahrerinnen und Fahrer. Dieser Effekt kann künftig auch durch häufigere Interaktion autonomer Fahrzeuge untereinander sowie mit der Straßeninfrastruktur gesteigert werden.

2.3 Begegnung des Fahrermangels im Personen- und Güterverkehr

Der Mangel an Fahrerinnen und Fahrern nimmt seit Jahren sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr stark zu und belastet nicht nur das Mobilitätssystem, sondern auch die vorhandenen Fachkräfte, die den Mangel kompensieren, zunehmend. Einige Anwendungsfälle des autonomen Fahrens können hier für eine Verbesserung der Lage sorgen.

In der Logistik kann die Automatisierung von Fahrvorgängen einerseits die Effizienz und Produktivität von Fahrzeugen erhöhen, was den Bedarf an Fahrerinnen und Fahrern reduzieren kann. Andererseits bietet das autonome Fahren die Möglichkeit, den Betrieb von Fahrzeugen – und somit die Lieferung von Waren – auch in Zeiten zu gewährleisten, in denen keine Fahrerinnen und Fahrer verfügbar sind.

Darüber hinaus kann das autonome Fahren dazu beitragen, den Fahrermangel durch die Automatisierung von Lastkraftwagen im Einsatz bei LKW-Terminals, auf innerbetrieblichen Transporten oder definierten Streckenabschnitten zu kompensieren. So wird es möglich, die Belastung der Fahrerinnen und Fahrer durch lange Fahrtstrecken zu reduzieren sowie den Transport von Gütern unabhängig von der Verfügbarkeit des Fahrpersonals sicherzustellen. Dies trägt unter anderem zur Stabilisierung von Lieferketten sowie zur Versorgungssicherheit bei.

³ Quelle: Initiative »Runter vom Gas« des Bundesministerium für Digitales und Verkehr und des Deutschen Verkehrssicherheitsrats: >BMDV & DVR | Runter vom Gas (abgerufen am 03.01.2023).

Autonome Mobilitätsdienste können durch die Automatisierung von Bussen, Straßenbahnen oder U-Bahnen zudem den steigenden Fahrermangel in der Personenbeförderung kompensieren. Dies kann dazu beitragen, insbesondere den öffentlichen Verkehr zu unterstützen und unabhängig von der Verfügbarkeit von Fahrerinnen und Fahrern sicherzustellen.

Damit das Potenzial in dieser Hinsicht gehoben werden kann, ist es jedoch notwendig, die Anforderungen an Arbeitsplätze in der Branche sukzessive anzupassen sowie die Aus- und Weiterbildung von Arbeitnehmenden rechtzeitig voranzubringen.

2.4 Gleichberechtigte Mobilität

Autonomes Fahren bietet die Möglichkeit, ein zusätzliches Mobilitätsangebot für Verkehrsteilnehmende zu schaffen, die sonst keinen oder nur einen eingeschränkten Zugang zu Mobilitätsdiensten haben. Dies kann insbesondere für Menschen von Nutzen sein, die aufgrund von Alter, Behinderung oder sozioökonomischen Faktoren von Einschränkungen betroffen sind.

Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von autonomen Fahrzeugen als Shuttle-Service für Seniorinnen und Senioren oder Menschen mit Behinderungen. Dies kann ihnen ermöglichen, unabhängig und sicher zu ihren Zielen zu gelangen, ohne auf die Hilfe von Angehörigen oder Pflegepersonal angewiesen zu sein.

Autonomes Fahren kann ebenso dazu beitragen, den Zugang zu Mobilitätsdiensten in ländlichen Gebieten zu verbessern, in denen der öffentliche Nahverkehr oftmals unzureichend ist. Durch die Verwendung von autonomen Fahrzeugen als »First- und Last-Mile«-Transportlösungen in Verbindung mit dem öffentlichen Nahverkehr kann die Verbindung zwischen Wohngebieten und Bahnhöfen oder Busbahnhöfen verbessert werden.

Insgesamt kann Autonomes Fahren eine wichtige Rolle bei der Schaffung von gleichberechtigten Mobilitätsoptionen für alle Verkehrsteilnehmenden spielen. Es kann dazu beitragen, die Barrieren für einen sicheren und zugänglichen Transport abzubauen und so die Lebensqualität und die soziale Inklusion verbessern.

2.5 Sicherung der digitalen Technologieführerschaft

Die Mobilitäts- und insbesondere die Automobilwirtschaft befinden sich inmitten einer wichtigen digitalen Transformation. Dabei ergeben sich neben großen Herausforderungen vor allem auch erhebliche Chancen: Durch die über Jahrzehnte um die Automobilindustrie herum entstandenen Strukturen ergeben sich in Deutschland große Chancen, Wettbewerbsvorteile im internationalen Vergleich auszubauen. Insbesondere im Hinblick auf **eingespielte Qualitätsprozesse** und die **Beherrschung der industriellen Massenfertigung** verfügt der Industriestandort bereits über große Stärken. Speziell im Hinblick auf das hochautomatisierte bzw. autonome Fahren bestehen Kompetenzen bzgl. der **Integration von hochautomatisierten Systemen und vernetzten Fahrfunktionen in die Gesamtfahrzeug-Architektur**. Dies gilt besonders für die Schnittstelle von Hardware und Software. Auch beherrscht die deutsche Industrie die Architekturebenen des Gesamtfahrzeugs und ist in den Bereichen **Fahrwerk, Lenkung und Bremse (Aktuatorik)** sehr leistungsfähig und wettbewerbsstark. Durch eine gezielte Förderung der Technologie und die Erschließung des Weltmarktes werden weitere Innovationen vorangetrieben. So bietet sich eine große Chance für Deutschland, sich die Technologieführerschaft zu sichern.

Allerdings ist zu beachten, dass das autonome Fahren nicht nur Chancen, sondern auch Herausforderungen mit sich bringt, die im nachfolgenden Kapitel näher beleuchtet werden.

3 Herausforderungen – Hemmnisse auf dem Weg zu autonomer Mobilität

3.1 Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens

In Deutschland wird derzeit mit Hochdruck an der Fahrzeug- und Softwareentwicklung für fahrerlose Personenbeförderung gearbeitet. Mit dem Gesetz zum autonomen Fahren sowie der dazugehörigen Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV) wurde dafür der notwendige Rahmen gesetzt, der wichtige Pionierarbeit im Bereich der autonomen Mobilität in Deutschland ermöglicht.

Die Ampel-Regierung hat sich laut ihrem Koalitionsvertrag vorgenommen, die Regelungen im Gesetz zum autonomen Fahren zu verbessern (S. 52, Koalitionsvertrag »Mehr Fortschritt wagen«). Dieses Vorhaben ist grundsätzlich zu begrüßen, lässt jedoch auch Interpretationsspielraum. Wichtig ist, die gesetzlichen Rahmenbedingungen so weiterzuentwickeln, dass die kommerzielle Skalierung autonomer Flotten in der Personenbeförderung möglich wird. Nur so hat Deutschland die Chance, als erstes Land den Übergang von der Erprobung zum Regelbetrieb zu schaffen. Denn die richtigen Rahmenbedingungen für autonome Mobilität sind von zentraler Bedeutung für den Wirtschafts- und Technologiestandort Deutschland.

Insbesondere die AFGBV enthält derzeit einige Punkte, die in ihrer jetzigen Form den wirtschaftlichen Einsatz autonomer Fahrzeuge im Regelbetrieb erschweren oder sogar gefährden (siehe Kapitel 5 Handlungsempfehlungen). Dadurch können die Potenziale des autonomen Fahrens für eine sichere und umweltfreundliche Mobilität nicht vollständig ausgeschöpft werden. Die Weiterentwicklungen und Evaluierungen des neuen Rechtsrahmens zum autonomen Fahren müssen deswegen die Praxiserfahrungen von Unternehmen eng einbeziehen. Nur so kann der notwendige Anpassungsbedarf frühzeitig identifiziert werden.

3.2 Gesellschaftliche Akzeptanz

Autonome Mobilitätsdienste sind derzeit lediglich im Rahmen von Erprobungsbetrieben und nicht großflächig bzw. im Regelbetrieb verfügbar. Somit sind sie für die breite Bevölkerung noch nicht erlebbar. Hinzu kommt, dass die öffentliche Berichterstattung oftmals von Negativschlagzeilen, insbesondere im Hinblick auf das Thema Sicherheit, geprägt ist.

Gleichwohl zeigen repräsentative Bevölkerungsumfragen, dass es eine große und stetig steigende Bereitschaft in der Bevölkerung gibt, autonom fahrende Verkehrsmittel zu nutzen. So würden laut einer aktuellen Bitkom-Umfrage (Oktober 2022) 71 Prozent in

ein autonomes Taxi steigen (2019: 48 Prozent), 68 Prozent in eine fahrerlose U- oder S-Bahn (2019: 63 Prozent) sowie 67 Prozent in einen autonomen Bus (2019: 38 Prozent) und 66 Prozent in einen autonomen Mini- oder Shuttle-Bus. Die Bereitschaft, autonome Transportmittel zu nutzen, ist in der Bevölkerung also grundsätzlich und überwiegend vorhanden.

Eine der größten Herausforderungen für die Hersteller und Anbieter autonomer Mobilitätsdienste besteht dennoch darin, in einem offenen und konstruktiven Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern sowohl über die Vorteile als auch über mögliche Risiken autonomer Fahrzeuge aufzuklären. Essenziell dabei ist, insbesondere über die Funktionsweise der Technologie aufzuklären und Bürgerinnen und Bürgern zum Beispiel zu erläutern, welche Sensoren zu welchem Zweck zum Einsatz kommen, wo Redundanzen bestehen, welche Daten wie verarbeitet und geschützt werden oder auf welcher Grundlage das Fahrzeug Entscheidungen trifft. Auch das Thema Verhaltensrecht sollte auf der Agenda stehen: Wie verhalten sich Fahrgäste beispielsweise im Falle einer Panne?

Ein solcher Dialog muss gleichermaßen von Herstellern wie auch von Anbietern (öffentlich und privat) autonomer Mobilitätsdienste angeboten werden. So können letztendlich nicht nur Bedenken ausgeräumt, sondern ggf. auch Bedürfnisse von Nutzenden besser in die Services integriert werden.

3.3 Technologische Herausforderungen steigender Komplexität

Zu den prominentesten Treibern der technologischen Entwicklungen im autonomen Fahren zählt das maschinelle Lernen (ML) als Teilgebiet der künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere die Entwicklung tiefer künstlicher neuronaler Netze (KNN). Aber auch im Bereich relevanter Sensortechnologien nimmt die Geschwindigkeit an Innovationen stetig zu. Laserscanner (LiDAR-Sensoren) etwa haben seit ihrer Ersteinführung als Automotive-Seriensysteme 2017 nicht nur an Relevanz und Leistungsfähigkeit, sondern auch an technischer Breite gewonnen und sind heute in hoch unterschiedlichen Realisierungen (etwa in Bezug auf Strahlführungsprinzipien wie Spiegel- und Prismenrotation sowie Messprinzipien wie Echolaufzeit oder Frequenzmodulation) für Automotive-Anwendungen verfügbar.

Damit sind die jüngsten technologischen Entwicklungen zunächst wesentliche Enabler der automatisierten und vernetzten Mobilität. Gleichwohl steigt damit die Komplexität der Herausforderungen in mehreren Dimensionen: Dank des technologischen Fortschritts rücken Anwendungsfälle in greifbare Nähe, die die bisher mögliche Komplexität wesentlich überschreiten –

etwa im Übergang von der strukturierten Autobahn hin zum Betrieb in extrem variantenreichen urbanen Umgebungen. Gleichzeitig wächst der Umfang der Verantwortlichkeiten, die das Fahrzeug mit steigendem Automatisierungsgrad in diesen Umgebungen übernehmen muss. Damit wachsen zudem der Umfang der benötigten Fähigkeiten und das dabei zu erreichende Sicherheitsniveau, wenn der menschliche Fahrer bzw. die Fahrerin als Rückfallebene entfällt. Dabei müssen die Systeme scharfe Begrenzungen im Einsatzbereich überwinden und unter den meisten aller Witterungen, Jahreszeiten und im grenzüberschreitenden Verkehr einsatzfähig sein, um den menschlichen Fahrer bzw. die Fahrerin hinreichend zu ersetzen. Auch die Abhängigkeit von hochpräzisen und hochaktuellen Kartendaten und Satellitennavigation (GNSS) wird perspektivisch schon aus wirtschaftlichen Gründen vermutlich einer größeren »Autonomie« weichen müssen, um große Reichweiten abzudecken. Und schließlich entspricht der Zunahme dieser Anforderungen in Bezug auf Einsatzumgebung und Leistungsfähigkeit unmittelbar eine Zunahme an technologischer Komplexität im System, um diese zu erfüllen.

Diese vielfache Komplexitätssteigerung schlägt sich insbesondere in den Aufwänden zur Erprobung und Absicherung der Systeme nieder: Je umfangreicher die Systemverantwortlichkeiten, umso komplexer ist ihre Funktion, umso höher ist ihr zu erzielendes Sicherheitsniveau und umso weiter und mithin schwerer greifbar sind ihre Grenzen, jenseits derer ein sicherer Betrieb nicht mehr gewährleistet ist.

Auch das Normungs- und Regelungsumfeld nimmt die Herausforderungen gesteigerter Komplexität in den Fokus. So wurde etwa die Sicherheitsnorm ISO 26262 (»Funktionale Sicherheit für Straßenfahrzeuge«) grundlegend neu positioniert. Dem Blickwinkel von Sicherheitsrisiken, die lediglich durch den stochastischen »Ausfall« von Komponenten entstehen, wurde mit der ISO 21448 (»Sicherheit der Sollfunktion«) ein völlig neuer Blickwinkel gegenübergestellt – nämlich jener, dass auch Risiken in der komplexen Gesamtsituation entstehen können, obwohl alle Systemkomponenten gemäß Spezifikation arbeiten. Der in Arbeit befindliche Standard ISO 8800 wiederum ergänzt die Betrachtung auf KI-spezifische Risiken. Auf europäischer Ebene stellt der AI-Act der Europäischen Kommission Regelungen insbesondere für den Einsatz von KI in Hochrisikobereichen auf.⁴ Mit Blick hierauf ist es wichtig zu beachten, dass grundsätzliche Vorstöße zur Regulierung von künstlicher Intelligenz komplexe und flächendeckende sektorale Rechtsvorschriften wie die AFGBV oder die Typgenehmigungsverordnung (EU) 2022/1426 nicht aushöhlen.

Damit ergibt sich das Bild, dass bei der Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen die technologische Herausforderung nicht (nur) bei der Entwicklung hinreichend sicherer Fahrfunktionen liegt – sondern insbesondere darin, solche sicheren Fahrfunktionen rechtzeitig

4 Die KI-Normungsroadmap von DIN und DKE greift Mobilität und Logistik auch in der 2022 erschienenen zweiten Auflage wieder als Schwerpunktthema auf. Zudem sollen offene Standards wie OpenSCENARIO und OpenODD des ASAM e.V. in der Branche dazu beitragen, die Beschreibung von Szenarien für die Absicherung, sowie die Beschreibung von Annahmen an zulässige Einsatzumgebungen automatisierter Fahrfunktionen zu vereinheitlichen.

von unsicheren unterscheiden zu können. Für Deutschland und Europa liegt dort nicht zuletzt die wirtschaftliche Herausforderung, die hier vergleichsweise hohen Erwartungen an Sicherheit und Datenschutz umzusetzen und gleichzeitig international wettbewerbsfähig zu bleiben. Das unter anderem vom AI-Act angestrebte Gütesiegel »AI made in Europe« könnte entsprechend auch für sichere automatisierte Fahrfunktionen werben – vorausgesetzt, dass nicht nur deren Entwicklung, sondern auch deren Nachweis gelingt.

4 Use Cases – Anwendungsszenarien für automatisiertes, vernetztes und autonomes Fahren

4.1 Autonomes Ridepooling

Städte auf der ganzen Welt wollen ihren Verkehr effizienter und klimafreundlicher gestalten. Wie in Kapitel 2 erläutert, können autonome Mobilitätsdienste wie autonomes Ridepooling ein elementarer Bestandteil sein, um den CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors zu verringern, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und damit die Städte zu lebenswerteren Orten zu machen.

Bei Ridepooling handelt es sich um einen Service, bei dem Personen sich mit ähnlichen Start- und Zielpunkten ein Fahrzeug teilen. Per App sendet die Kundin oder der Kunde eine Fahrtanfrage. Ein dynamischer Pooling-Algorithmus ordnet die Person in wenigen Sekunden einer (idealerweise) bereits bestehenden Fahrt zu. Die Kundin oder der Kunde wird abgeholt und gemeinsam mit anderen Personen befördert – aufgrund der dynamischen Route besteht während der gesamten Fahrt die Möglichkeit, dass weitere Personen zu- und aussteigen.

Der Fahrpreis liegt zwischen dem des öffentlichen Nahverkehrs und dem eines Taxis und richtet sich nach vielzähligen Faktoren, wie bspw. der Entfernung, dem Wochentag oder der Uhrzeit. Er kann in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage variieren. Um Transparenz für Kundinnen und Kunden zu gewährleisten, wird der Fahrpreis immer vor Abschluss der Buchung in der App angezeigt. Die Kundinnen oder Kunden können dadurch vor Fahrtantritt überlegen, ob sie die Fahrt zum angezeigten Preis buchen möchten oder nicht. Der angezeigte Fahrpreis verändert sich nach Fahrtantritt nicht mehr.

Autonomes Ridepooling für die Umsetzung der Mobilitätswende

Wichtig ist: Ridepooling sollte als ein wichtiges Puzzleteil für die Umsetzung der Mobilitätswende betrachtet werden. Denn die Transformation des Verkehrssektors kann nur gemeinsam mit anderen Mobilitätsanbietern gelingen. Ein gut ausgebauter ÖPNV ist dabei stets das Rückgrat der städtischen Mobilität, das sinnvoll durch neue Mobilitätsdienste wie Ridepooling ergänzt wird.

Doch damit Ridepooling großflächig ausgebaut werden kann, ist die Entwicklung des automatisierten und autonomen Fahrens zentral. Denn im automatisierten Ridepooling in großen Flotten liegt das große Potenzial, aktuelle verkehrliche Probleme – wie Stau, Lärm und Abgase – zu lösen. Darüber hinaus können mit automatisierten Technologien auch suburbane und ländliche Räume mit einem eng getakteten On-Demand-Nahverkehr versorgt werden. So kann die Mobilitätswende perspektivisch auch in die breite Fläche getragen werden.

Das Self-Driving-System (SDS) ist dabei das Herzstück eines automatisierten Fahrzeugs, bestehend aus Hardware und Software, das eine 360-Grad-Sicht um das Fahrzeug herum ermöglicht. Ein Mobilitätsdienstleister verwandelt dann im direkten Kontakt zu den Kundinnen und Kunden diese fahrerlosen Fahrzeuge in Werkzeuge für die Mobilität von Menschen. Intelligente Fahrzeuge werden so zu einem Chauffeur für die Kundinnen und Kunden – komfortabel und sicher. Nur durch dieses Zusammenspiel werden autonome und automatisierte Technologien den Durchbruch schaffen – mit einem einzigartigen Service und mit dem Ziel, verkehrliche Probleme zu lösen.

4.2 Robotaxi

Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall autonomer Mobilitätsdienste sind Robotaxi-Services, die in Städten wie San Francisco oder Phoenix bereits im kommerziellen Betrieb unterwegs sind⁵ – und auch in Deutschland stehen die ersten Projekte in den Startlöchern.

Als Robotaxis werden selbstfahrende Fahrzeuge bezeichnet, die im Rahmen eines Ridehailing-Services, also Angebote von Fahrdiensten, die vom Passagier angefordert werden, als Taxi eingesetzt werden und Menschen flexibel an einen gewünschten Ort transportieren. Auf dem Spektrum der Automatisierungslevel nach SAE (siehe Kapitel 1.1) ist das Robotaxi in der Regel auf Level 4 einzuordnen.

Erste Robotaxi-Pilotprojekte stehen bereits fest: In München ist ein Robotaxi-Service geplant, der in der ganzen Stadt genutzt werden kann und Nutzende schon bald durch die Isar-Metropole bringen soll. Ein weiteres Einsatzszenario wurde im Rhein-Main-Gebiet vorgestellt: Autonome Shuttles sollen dort als Ergänzung zum regulären ÖPNV-Angebot eingesetzt werden und Randgebiete sowie besonders den ländlichen Raum besser erschließen. Der Anspruch an Robotaxis ist daher nicht nur, die Sicherheit auf den Straßen zu erhöhen, sondern auch anhand langfristig sinnvoller Services Menschen in unterschiedlichsten Situationen den Zugang zu Mobilität zu ermöglichen.

⁵ Diese Fahrzeuge haben jedoch keine allgemeine Straßenzulassung in den USA, sondern fahren auf Grundlage von Ausnahmegenehmigung der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

4.3 People Mover im ÖPNV

Der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) steht sowohl in den Städten als auch auf dem Land vor großen Herausforderungen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf ein attraktives und finanzierbares Angebot, die Kompensierung des Fahrermangels und die Erschließung suburbaner Räume. Um sich den Herausforderungen zukünftig stellen zu können, gilt es eine flexible und innovative Angebotsstrategie zu entwickeln, um den ÖPNV langfristig attraktiv zu gestalten.

Autonome Shuttle-Busse, sogenannte People Mover, sind hervorragend geeignet, Teil eines modernen, flexiblen und vor allem in der Breite verfügbaren ÖPNV zu sein. Auf der Grundlage des SAE-Level 4 lassen sich bereits heute autonome Fahrzeuge in sogenannten Betriebsbereichen bzw. auf festgelegten Strecken im Regelbetrieb einsetzen. Autonome Shuttles sollten dafür Geschwindigkeiten erreichen, die ihnen das flüssige Mitschwimmen in dem jeweiligen verkehrlichen Umfeld erlauben, um kein Hindernis darzustellen und realistische Transportkapazitäten zu ermöglichen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind mindestens 40 km/h Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs notwendig. People Mover tragen dabei ganz konkret auch zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs bei. Mit ihrem vollelektrischen Antrieb und verhältnismäßig kleinen Batterien (30 bis 200 kWh) sind sie nicht nur lokal emissionsfrei, sondern haben auch eine attraktive Klimabilanz.

Darüber hinaus werden People Mover die Straßenverkehrssicherheit im ÖPNV weiter verbessern. Ausgestattet mit hochsensiblen und fortschrittlichen Kameras sowie Radar- und LiDAR-Systemen können die Fahrzeuge gefährliche Hindernisse unmittelbar erkennen und darauf wesentlich schneller reagieren als Menschen. Da People Mover von einem sogenannten »Virtual Driver«, also dem AD-System, gesteuert werden, fahren sie außerdem konsistenter und vorhersehbarer als von Menschen gesteuerte Fahrzeuge, was die Sicherheit ebenfalls erhöhen kann.

Es existieren verschiedene Anwendungsfälle, um diese vielfältigen Potenziale im Regelbetrieb zu heben. Im Vordergrund stehen dabei der Einsatz auf einer gesonderten Fahrspur oder im Mischverkehr. Durch eine baulich getrennte »Segregated Lane« ist ähnlich wie bei eigenen Bahnkörpern von Straßenbahnen eine hohe Transportkapazität pro Stunde sicher gewährleistet. Die Kosten für den Infrastrukturaufbau fallen jedoch wesentlich geringer aus als bei der Verlegung von Bahnschienen. Gleichzeitig lassen sich dort kostengünstigere Autonome Transportsysteme einsetzen, weil die Anforderungen an AD-System und Sensoren niedriger ausfallen. Autonome People Mover im Mischverkehr einzusetzen, ist die Königsdisziplin der Technologie, weil sie die Flexibilität bei einem On-Demand-Verkehr vollends ausreizen können und den bestehenden ÖPNV dort ergänzen, wo akute Lücken bestehen.

Um People Mover im Markt zu etablieren, ist neben der technologischen Reife auch die Integration in das bestehende ÖPNV-Regime von Bedeutung. Um die oben genannten Vorteile nutzbar zu machen, braucht es einen Ausbau der ÖPNV-Finanzierung. Erforderlich sind eine spezifische Flottenförderungen für innovative Betriebskonzepte im ÖPNV und die adäquate Unterstützung für Kommunen, die People Mover aus dem Einsatz in Reallaboren in den Regelbetrieb überführen wollen.

4.4 City-Platooning

Ein weiterer Anwendungsfall ist das City-Platooning respektive die Automatisierung von Bussen in der Kolonne sowie die Digitalisierung der Kommunikation zwischen Bus und Ampel. Beim Platooning fahren mehrere Fahrzeuge virtuell aneinander gekoppelt in engem Abstand hintereinander. Dabei muss nur das vorderste Fahrzeug durch einen Fahrer oder eine Fahrerin gesteuert werden, alle nachfolgenden Fahrzeuge werden automatisiert betrieben. Perspektivisch könnte diese Technologie die u. a. in Städten eingesetzten Buszüge ablösen.

Beim automatisierten Platooning von E-Fahrzeugen im ÖPNV geht es unter anderem um die Kommunikation der beiden Fahrzeuge miteinander sowie der Fahrgäste im hinteren Fahrzeug mit der Fahrerin oder dem Fahrer. Untersucht wird auch, welche Ansprüche an die Sensorik zu stellen sind, um die entsprechende Sicherheit bezüglich des Zwischenraums zwischen den gekoppelten Fahrzeugen zu gewährleisten.

Busse im Stadtverkehr eignen sich besonders für die Automatisierung. Durch einfache Kopplung und Entkopplung der Busse lässt sich die Fahrzeuggröße beim Platooning bedarfsgerecht anpassen. Außerdem trägt diese Technologie zur Elektrifizierung von Fahrzeugen mit hoher Fahrgastkapazität bei. Mit der Optimierung der Beschleunigung an Lichtsignalanlagen können Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit im ÖPNV verbessert werden. Automatisierte Fahrzeuge sind damit integrativer Bestandteil eines nachhaltigen und effizienten Stadtverkehrs von morgen und tragen zur Optimierung des ÖPNV-Systems bei.

4.5 Highway Assistant

Assistenzsysteme und Chauffeur-Funktionen sind ein Anwendungsfall im Bereich bedingter automatisierter Fahrfunktionen, die teilweise bereits heute in einigen Fahrzeugen im Einsatz sind. Diese Anwendungen im Personen- oder Gütertransport bei Geschwindigkeiten bis zu 130 km/h auf Autobahnen oder autobahnähnlichen Straßen, umfassen Funktionen wie Lenk- und Spurführungsassistenten auf allen Spuren, teilweise inklusive von Überholvorgängen und Spurwechseln. Dabei entscheidet der Fahrer oder die Fahrerin, zu welchem Zeitpunkt das System eingeschaltet wird. Bereits ein Level 2-System bietet die Möglichkeit, bei Geschwindigkeiten von bis zu 130 km/h dauerhaft die Hände vom Lenkrad zu nehmen. Der Fahrer oder die Fahrerin muss dabei jederzeit in der Lage sein, die Verantwortung für die Lenkaufgabe wieder zu übernehmen und muss die Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen richten. Dies wird z. B. durch ein kamerabasiertes Fahrerüberwachungssystem gewährleistet. Das System überwacht die Blickrichtung des Fahrers bzw. der Fahrerin und stellt damit sicher, dass er oder sie die Fahraufgabe wahrnimmt.

Bei einem Level 3-System muss der Fahrer oder die Fahrerin das Fahrgeschehen jedoch nicht kontinuierlich überwachen, sofern gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sind, und darf sich zeitweise vom Fahrgeschehen abwenden. Jedoch muss der Fahrer oder die Fahrerin auch hier stets in der Lage sein, die Kontrolle des Fahrzeugs innerhalb weniger Sekunden wieder gänzlich zu übernehmen. Beim Erreichen von erwarteten und unerwarteten Funktionsgrenzen und im Falle der Nicht-Übernahme durch den Fahrer oder die Fahrerin beherrscht das Fahrzeug die Fähigkeit, einen risikominimalen Zustand herzustellen.

4.6 Automated-Valet-Parking (AVP)

Automated-Valet-Parking-Systeme (AVP-Systeme), die als Level 4-System einzuordnen sind, sind in der Lage, den vollständigen Parkvorgang von Fahrzeugen innerhalb vordefinierter Parkinfrastruktur zu übernehmen und einen automatisierten Vorfahr- und Einparkservice zu bieten. Die vom System angepeilte Parklücke wird entsprechend der Fahrzeuggröße ausgewählt.

Das AVP-System kann dabei unabhängig agieren oder externe Infrastruktur (z. B. über eine entsprechende Sensorik im Parkhaus und eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Parkhausumgebung) nutzen. Die Systeme erkennen nicht nur freie Stellplätze im Parkhaus, sondern überwachen auch den Fahrkorridor und die Umgebung und erkennen unerwartete Hindernisse oder Personen im Fahrweg, damit das Fahrzeug sofort reagieren kann. Das Fahrzeug kann auch wieder zurückgebracht werden: Die Abholung wird z. B. über eine App aktiviert und das Auto fährt eigenständig zurück zur Ausfahrt. AVP-Systeme werden bereits in Serie produziert.

4.7 Transport-as-a-Service

Transport-as-a-Service (TaaS) umfasst Mobilitätsdienstleistungen, bei denen Unternehmen und Privatkunden sich Waren bspw. über eine Bestellung per App liefern lassen können. Hierzu gehören z. B. der Gütertransport von einem Logistikdepot zu einem bestimmten Abholpunkt oder einer Paketstation, Lebensmittellieferung vom Supermarkt zum Kunden oder zur Kundin, Essenslieferungen oder die Zustellung von Waren an Unternehmen.

Autonome Fahrzeuge eröffnen hierbei in Zukunft völlig neue Potenziale: So kann die Technologie des autonomen Fahrens Lieferungen auf der letzten Meile effizienter und flexibler gestalten, da sie beim Fahrermangel helfen kann und keine Lenk- oder Ruhezeiten einhalten muss. Auch eine Verschiebung von Lieferungen außerhalb von Stoßzeiten wird möglich, wodurch auch bei steigenden Warenströmen der innerstädtische Verkehr entlastet werden kann.

Das vollautomatisierte und vernetzte Nutzfahrzeug hat damit das Potenzial, für die drängenden Herausforderungen im Straßengüterverkehr der Zukunft Lösungen zu bieten. Werden die Fahrzeuge und die Software darüber hinaus in Deutschland entwickelt, tragen sie zum Erhalt der industriellen sowie digitalen Wertschöpfung in Deutschland bei.

4.8 Automatisierte Werkslogistik

Repetitive Logistikprozesse auf Werksgeländen bieten das ideale Umfeld für die Automatisierung von Fahrprozessen. Die wiederkehrenden Verkehre, beispielsweise zwischen Hallenabschnitten, Ladezonen und -rampen zur Be- und Entladung des Fahrzeugs, Parkflächen oder bei Rangierfahrten, finden auf festgelegten Fahrwegen und in einem definierten Umfeld statt. Werksgelände verschiedener Branchen, wie beispielsweise produzierendes Gewerbe, Handel, Logistikdienstleister oder auch Seehäfen und Containerterminals, haben grundsätzlich unterschiedliche Ausprägungen. Betriebliche Schwerpunkte und Anforderungen bezüglich der Ausgestaltung ihres Werksgeländes besitzen allerdings oftmals auch Gemeinsamkeiten, vergleichbare Strukturen und Prozessabläufe oder weisen ähnliche Potenziale auf. Zudem ist die Übertragbarkeit bzw. Vergleichbarkeit eines Werksgeländelayouts innerhalb einzelner Branchen oftmals hoch bis sehr hoch, z. B. bei Systemlogistikern wie Kurier-, Express- und Paketdienstleistern, dem Handel oder bei Umschlagterminals. Gemeinsamkeiten bei diesen Werksgeländen sind hierbei u. a. die einheitlichen oder ähnlichen Prozesse, standardisierte Abläufe, Einbahnstraßenregelungen und vorgegebene Fahrwege auf dem Betriebsgelände, Planbarkeit der ein- und ausgehenden Verkehre, wenige unterschiedliche Akteure auf dem Gelände und/oder nur durch unterwiesenes Personal betret- und befahrbar.

All diese Voraussetzungen ermöglichen eine kurz-/mittelfristige und flexible Einführung und Umsetzung des automatisierten Fahrens. Aktuell werden beispielsweise in verschiedenen Erprobungsprojekten, wie z. B. SAFE³LY und SAFE20, Erfahrungen im Mischbetrieb auf dem Werksgelände sowie in der Integration innerhalb von logistischen Abläufen getestet. Hierbei ist erkennbar, dass automatisierte Fahrzeuge erfolgreich und effektiv in bestehende sowie auch in neue Logistikstrukturen und Prozessabläufe eingebunden werden können. Dies trifft insbesondere bei gleichbleibenden Ladeeinheiten, wie z. B. beim Transport von Sattelauflegern, von Containern oder von Wechselbrücken zu.

Aktuell liegen die Herausforderungen u. a. darin, die technische Umsetzung bzw. Reife einzelner Komponenten, welche zur Bewältigung spezifischer Prozesse benötigt werden, wie beispielsweise der automatischen Sattelkupplung, zu verbessern. Für eine zügige Skalierung der Automatisierung bedarf es darüber hinaus an einigen Stellen ebenfalls prozessualer und/oder technischer Alternativen für etablierte Aufgaben und Tätigkeiten, wie z. B. dem Öffnen und Schließen der Hecktüren, von Seitenplanen oder von Verriegelungssystemen (wie bspw. Twistlocks).

Weitere Optimierungsmöglichkeiten und Entwicklungsschritte wären beispielsweise die Integration automatisierter Fahrzeuge in die Abfertigung (Gate In/Gate Out) oder die Anbindung an Yard-Managementsysteme zur effizienteren Logistiksteuerung. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Ausstattung von Werksgeländen mit der notwendigen technischen Infrastruktur wie beispielsweise Sensorknoten zur Informationsgenerierung und -gewinnung, Schnittstellen zur sicheren Datenübertragung und Kommunikation, Technologien und Strukturen hinsichtlich Sicherheitszuwachs und Unfallvermeidung, oder auch weitere branchen- sowie herstellerübergreifende Normen und Standardisierungen bzgl. des automatisierten Fahrens.

Eine Vision dieses Anwendungsszenarios ist der zukünftige Ausbau der automatisierten Fahrprozesse über das eigentliche Betriebsgelände hinaus, hin zu einer Automatisierung der einzelnen Fahrten und Verkehre zwischen spezifischen Werksgeländen.

5 Handlungsempfehlungen

In a Nutshell: Ambitionierte Ziele für die autonome Mobilitätswende

- **Bis Ende 2023:** Verabschiedung der BMDV-Strategie zum autonomen & vernetzten Fahren mit konkreten & messbaren Zielen.
- **Bis Ende 2024:** Genehmigung von 10 Betriebsbereichen für Level 4 Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen und Schaffung der gesetzlichen Grundlage für Typgenehmigung von Großserien auf EU-Ebene.
- **Bis Ende 2025:** Zulassung von 1000 Level 4-Fahrzeugen und Einsatz im Regelbetrieb auf öffentlichen Straßen.
- **Bis Ende 2026:** harmonisierte internationale Gesetzgebung zum autonomen Fahren und harmonisierte Straßenverkehrsordnungen in der EU

5.1 Praxisorientierten Rechtsrahmen fördern

Deutschland hat mit dem Gesetz zum autonomen Fahren eine sehr gute Basis geschaffen, die autonome Mobilität auf die Straße zu bringen – **der regulatorische Rahmen ist ein starker Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Ländern**. Wichtig ist nun, dass dieser Rechtsrahmen **schnell und praxisnah** in Zusammenarbeit von Wirtschaft und Behörden **umgesetzt** wird. Dazu brauchen wir vor allem gebündelte Zuständigkeiten in der Verwaltung (aktuell stark verteilt in Bundesländern bzw. Behörden) und eine innovationsfreundliche Rechtsauslegung durch die Verwaltung.

Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung ist außerdem eine Evaluierung sowie Überarbeitung des Gesetzes zum autonomen Fahren verankert: Hierbei muss an oberster Stelle stehen, das Gesetz **technologieoffen, innovationsfreundlich und ohne weitere bürokratische Hürden** weiterzuentwickeln.

Begleitend hierzu bedarf es einer **fortschritts- und innovationsorientierten Verwaltung**. Denn oftmals dauern Genehmigungsverfahren zu lang, Zuständigkeiten sind stark verteilt und die Verwaltungspraxis orientiert sich an einer konservativen Rechtsauslegung, die Innovations-schritte verzögert.

Nicht zuletzt muss die Diskussion geführt werden, welche Voraussetzungen zu schaffen sind, damit eine sichere Koexistenz unterschiedlicher Automatisierungslevel auf der Straße möglich ist. Um den Hochlauf der Automatisierung in Deutschland zu fördern, ist zu beachten, die Anforderungen an Sicherheitskonzepte auch technisch und wirtschaftlich darstellbar zu gestalten.

5.2 Internationale Harmonisierung der Gesetzgebung voranbringen

Fortschritt darf nicht auf einzelne EU-Mitgliedsstaaten beschränkt sein. Sowohl die nationale als auch die EU-Gesetzgebung sollten grundsätzlich mit der aktuellen technischen Entwicklung einher gehen, um die Grundlage für die zentralen Innovationen beim autonomen Fahren weiter auszubauen.

Um die Skalierung perspektivisch auch auf internationaler Ebene zu ermöglichen, sollte die Bundesregierung deshalb auf eine Harmonisierung der Regulierung zum autonomen Fahren im Rahmen der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) hinwirken sowie eine Harmonisierung relevanter Inhalte für die Use Cases des autonomen Fahrens der Straßenverkehrsordnungen aller EU-Staaten vorantreiben. Eine mögliche Harmonisierung des Verhaltensrechts (z. B. in Bezug auf die Anforderungen an die Technische Aufsicht) sollte ebenfalls international vorangetrieben werden, um gleiche Wettbewerbsbedingungen für Anbieter autonomer Mobilität herzustellen.

Der deutsche und EU-Rechtsrahmen sind hier gute Vorbilder – die Erfahrungswerte, die bei der Erarbeitung der Rechtsrahmen gewonnen wurden, sollten deshalb für die europäische Diskussion und UN-Gremien mit dem Ziel der Harmonisierung genutzt werden.

Auch die **Zulassungsvoraussetzungen** müssen möglichst schnell international harmonisiert werden, denn unterschiedliche Voraussetzungen erhöhen den Aufwand für Zulassung und Validierung entscheidend. Auch die internen Prozesse zur Beherrschung unterschiedlicher rechtlicher Anforderungen sind sehr aufwändig. Dies wirkt sich einerseits auf die Produktausgestaltung aus (verschiedene Versionen beziehungsweise die Anforderung, die Produktausgestaltung je nach Einsatzort anzupassen) und beeinflusst andererseits operative Prozesse und Geschäftsmodelle.

Schließlich können derzeit autonome Fahrzeuge durch die EU-Regulierung zur Typgenehmigung lediglich als Kleinserien zugelassen werden. Die Bundesregierung sollte sich auf EU-Ebene für die **Zulassung von Großserien** ohne Begrenzung der Stückzahlen einsetzen. Weiterhin sollte keine Einschränkung der Use Cases vorgenommen werden, um möglichst innovationsoffen zu bleiben. Das ist entscheidend für den Innovationsstandort Deutschland. Darüber hinaus sollte die Harmonisierung der Regulierung zum autonomen Fahren auf globaler Ebene und die Harmonisierung von Straßenverkehrsordnungen in EU-Mitgliedsstaaten zügig vorangetrieben werden (möglichst **bis 2027**), v. a. um skalierbare Geschäftsmodelle zu ermöglichen.

Schlussendlich wäre eine Harmonisierung zur Eindämmung der gegebenen Komplexität also wünschenswert. Frühzeitige Rechtssicherheit ist für die Technologieentwicklung von großer Bedeutung. Denn nur so lassen sich die Wirtschafts- und Technologiestandorte Deutschland und Europa sowie die Zukunft der Mobilitätsindustrie nachhaltig stärken.

5.3 Bundesländerübergreifende Regelung sichern

Die Einsatzradien von autonomen Fahrzeugen, insbesondere im Bereich der großen Nutzfahrzeuge, orientieren sich nicht an den Grenzverläufen von Kommunen oder Bundesländern. Wenn autonome (Nutz-)Fahrzeuge einen signifikanten Beitrag in der Güter- und Personenbeförderung leisten sollen, sind eindeutige Standards und effiziente Abläufe für eine bundesländerübergreifende Genehmigung der Betriebsbereiche erforderlich. Das reduziert nicht nur den organisatorischen Aufwand für Hersteller und Anwender, sondern maßgeblich auch für die öffentliche Verwaltung.

Die Bundesregierung bzw. das BMDV könnte beispielsweise kompakte Handreichungen für Länder und Kommunen zur Genehmigung von Betriebsbereichen für autonome Fahrzeuge formulieren.

5.4 Strukturelle und flächendeckende Förderung für autonome Mobilitätsangebote schaffen

Sowohl das BMWK als auch das BMDV fördern bereits Projekte für das autonome Fahren – das begrüßen wir sehr. Jedoch werden derzeit eben nur Einzelprojekte mit zeitlicher Begrenzung gefördert, nicht jedoch Projekte im Regelbetrieb, die eine Erprobung von Geschäftsmodellen, geschweige denn eine Skalierung der Angebote ermöglichen, wozu neben Automatisierungstechnologien auch Enabler wie Angebote zur Bereitstellung von Trainings- und Testdaten sowie Entwicklungs- und Erprobungswerkzeugen zählen. Für den zügigen Roll-out der Technologie sollte es jedoch strukturelle und flächendeckende **Anschubfinanzierungen** (bspw. zur Beschaffung von autonomen Fahrzeugen für den ÖPNV oder Förderung von Mobility-as-a-Service) geben.

5.5 Kommerziellen Erprobungsbetrieb ermöglichen

Da die Fahrzeuge und Anwendungen noch in der Entwicklung sind, ist eine umfassende Erprobung erforderlich. Neben der Simulation unterschiedlicher Einsatz- und Verkehrsszenarien sind dafür wertvolle Daten aus dem realen Verkehrsgeschehen zu generieren. Die Vielzahl an Testkilometern bringt auch einen entsprechendem Energieverbrauch und Emissionen mit sich. Es ist daher sowohl in wirtschaftlicher als auch in ökologischer Hinsicht sinnvoll, von Beginn an einen kommerziellen Erprobungsbetrieb mit realem Transport zu ermöglichen.

5.6 BO-Kraft anpassen

Weiterhin müsste die Verordnung über den **Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) wie folgt angepasst** werden:

Die Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) knüpft an den Geltungsbereich des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) an. Konkret gilt sie gemäß § 1 Abs. 1 BOKraft »für Unternehmen, die Fahrgäste mit Kraftfahrzeugen (...) befördern, soweit sie den Vorschriften des Personenbeförderungsgesetzes unterliegen«. Die Verordnung geht derzeit noch von Betriebspersonal im Fahrdienst aus. Deren Pflichten würden im automatisierten Fahrbetrieb der im Gesetz zum Autonomen Fahren neu geschaffenen Rechtsfigur der Technischen Aufsicht zukommen. Jedoch befindet sich diese Technische Aufsicht während der Fahrt nicht im Fahrzeug.

Die zuständigen Behörden stehen also vor der Aufgabe, die BOKraft so schnell wie möglich an den automatisierten Fahrbetrieb anzupassen. Die neu geschaffene Rechtsfigur »Technische Aufsicht« kann dabei natürlich in die bestehende BOKraft integriert werden. Als Alternative könnte auch eine alleinstehende BOKraft für Fahrzeuge mit automatisierter Fahrfunktion geschaffen werden.

5.7 Chancengetriebenen gesellschaftlichen Dialog fördern, Akzeptanz für neue Technologien sicherstellen

Wie bereits in Kapitel 3 geschildert, stellt ein chancengetriebener, gesellschaftlicher Dialog trotz großer Bereitschaft zur Nutzung autonomer Mobilitätsdienste derzeit noch eine Herausforderung für die Branche dar. Dies liegt einerseits im Narrativ, andererseits aber auch in der Organisation des Dialogs begründet.

Um die gesellschaftliche Akzeptanz für autonomes Fahren in Deutschland voranzutreiben, sollte der grundsätzliche kommunikative Fokus weniger auf Probleme und Rückschläge, sondern mehr auf die erreichten Erfolge und Chancen dieser neuen Technologie gerichtet sein, um Mut für eine nachhaltige Transformation des Mobilitätssektors zu erzeugen. Begeisterung wird entfacht, indem niedrighschwellige Angebote geschaffen werden, um die Vorteile und Möglichkeiten von autonomer Personenbeförderung auszuprobieren und erlebbar zu machen.

Die Akzeptanz in der Gesellschaft ist eine zentrale Voraussetzung für den Durchbruch des autonomen Fahrens. Viele praktische, soziale und auch ethische Fragen können Unternehmen nicht allein beantworten. Stattdessen sollten diese Punkte in einem breiten gesellschaftlichen Diskurs adressiert werden.

Um die Akzeptanz für die Technologie zu steigern, bedarf es einer **Dialog- und Beteiligungsstrategie auf Seiten der Bundesregierung**. Die Arbeitsgruppe 3 der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität hat dazu bereits einen überzeugenden Vorschlag erarbeitet: Dieser nationale Dialog- und Beteiligungsprozess sollte mehrjährig angelegt sein und sich dem breiten Spektrum der Themen (z. B. technologische Fragen, Datenschutz oder Potenziale für den Klimaschutz) um die Technologie widmen. Die Dialogaktivitäten sollten sowohl auf kommunaler als auch auf Bundesebene stattfinden. Die Mobilitätsindustrie würde sowohl innerhalb als auch außerhalb dieses Prozesses kontinuierlich den Austausch mit weiteren Wirtschaftsvertreterinnen und -vertretern, NGOs sowie Vertreterinnen und Vertretern aus Politik und Wissenschaft suchen.

5.8 Verkehrsinfrastruktur digitalisieren

Autonome Fahrzeuge werden perspektivisch als Teil eines Mobilitätsökosystems nicht nur vollautomatisiert, sondern auch vernetzt sein. Aus diesem Grund muss die digitale Verkehrsinfrastruktur bereits heute mitgedacht und entsprechend ausgestattet werden: Lichtsignalanlagen, Wechselverkehrszeichen, Parkleitsysteme und Bahnübergänge müssen ertüchtigt werden, ihre **dynamischen Daten digital zur Verkehrssteuerung bereitzustellen**. Die Datenbereitstellung kann über Backends (etwa von Verkehrszentralen) und lokale Kommunikation (zum Beispiel direkte und netzwerkbasierte Datenübertragung) erfolgen. Da die möglichst flächendeckende Verfügbarkeit dieser Informationen von großer Bedeutung ist, sind hier feste Zielgrößen zu definieren, die pro Jahr an digitaler Abbildung erreicht werden sollen. Diese Zielgrößen, wie auch die Zielgrößen für die Abbildung der Elemente der Verkehrsinfrastruktur, sollten in einem Monitoring-Instrument allgemein verfügbar gemacht werden, um bspw. die Definition von Betriebsbereichen für autonome Fahrzeuge zu erleichtern. Ein Beispiel für eine

87%

der Bundesbürger wünschen sich, dass Kommunen, Länder und Bund deutlich mehr Geld in digitale Verkehrsinfrastruktur wie intelligente Ampeln oder Verkehrszeichen investieren.⁶

6 Quelle: Bitkom-Umfrage, Oktober 2022

erfolgreiche nationale Initiative zur digitalen Bereitstellung von dynamischen Daten von Wechselverkehrszeichen und Lichtsignalanlagen zur backend-basierten Nutzung ist die Talking-Traffic-Initiative in den Niederlanden⁷. Der laufende Fortschritt der landesweiten Umstellung auf vernetzte Verkehrsinfrastruktur wird in einem »Dashboard« als Monitoring-Instrument bereitgestellt.

Darüber hinaus bedarf es im Bereich der digitalen Verkehrsinfrastruktur rechtlicher Anpassungen: Die Anstrengungen zur Digitalisierung von Verkehrsinfrastrukturen (digitale Zwillinge) und die Bereitstellung dynamischer Daten von Lichtsignalanlagen oder Wechselverkehrszeichen durch Verkehrsleitzentralen, schafft die technische Voraussetzung, dass hochautonome Level-4-Fahrzeuge diese Informationen auch auf digitalem Weg erhalten (siehe oben). Eine optische Erfassung der für Menschen entworfenen Schilder-Kommunikation kann somit unabhängig von Wetter- oder vegetativer Bedingung gleichermaßen zuverlässig erfolgen.

Eine flächendeckende und herstellerübergreifende Datenlieferung kann durch geeignete Backend-Strukturen und moderne Mobilfunkkommunikation, mit Priorisierung dieser Datenkommunikation, erfolgen. Eine digitale Schilder-Information kann dadurch von Verkehrsleitzentralen zielgerichtet an autonome Fahrzeuge in dem Zuständigkeitsbereich erfolgen (in-vehicle signage).

Für diesen anstehenden Schritt im Digitalisierungsprozess sind geeignete rechtliche Rahmenbedingungen und technische Ausführungsrichtlinien zu entwickeln und länderübergreifend umzusetzen. Neben informativen Hinweisen (z. B. Warnungen vor Verkehrsstörungen) sollen auch verkehrsrechtliche Anweisungen, wie Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Überholverbote, digital kommunizierbar sein. Gesicherte und ggf. empfangsbestätigte digitale Signalisierungen sollten den analogen optischen Kommunikationen über klassische Schilder rechtlich gleichgestellt werden.

5.9 Verhaltensrecht anpassen

Grundsätzlich sollten Regulierungen hinsichtlich des Verhaltensrechts und der Fahrerlaubnisprüfungen auf spezifische Berufsbilder im Kontext der neuen Technologien erweitert werden. Sowohl das **Verhaltensrecht im Straßenverkehrsgesetz (StVG)** als auch in der **Straßenverkehrsordnung (StVO)** sollten z. B. dringend im Hinblick auf die Reaktion von autonomen Fahrzeugen auf Einsatzfahrzeuge sowie die Notwendigkeit ein Warndreieck aufstellen zu müssen, angepasst werden.

7 Talking Traffic Initiative: ⁷Talking Traffic (talking-traffic.com)

5.10 Ausbildung anpassen, Fachkräftemangel begegnen

Außerdem sollten bei der Definition rechtlicher Rollen Qualifikation und Kompetenz immer der Aufgabe angepasst werden. Dies gilt bspw. **für Expertinnen und Experten für Embedded Hardware, Software oder KI sowie Simulationen oder Validierung, aber auch für die Anforderungen an die Technische Aufsicht und die entsprechende Ausbildung des Personals.**

Für die **Technische Aufsicht** wurden sehr gute Erfahrungen damit gemacht die Betreiber, welche die Fahrzeuge innerhalb der Technischen Aufsicht überwachen, spezifisch zu schulen. Hier wäre perspektivisch eine **staatlich anerkannte Zusatzqualifikation** denkbar. Grundsätzlich gilt hier aber, dass das Qualifikationsniveau eher auf der Grundlage von umzuschulenden Busfahrern und Busfahrerinnen liegt und nicht auf Universitätsniveau. Denn die **Qualifikationsanforderungen für die Personen, die für die Durchführung der technischen und organisatorischen Maßnahmen** (z. B. die Durchführung der erweiterten Abfahrkontrolle) **verantwortlich sind**, sind weiterhin verbesserungsbedürftig. Eine analoge Regelung zum Qualifikationsniveau der neuen Rechtsfigur der Technischen Aufsicht, die auch arbeitsteiliges Arbeiten ermöglicht, wäre hier wünschenswert. Auch für das Wartungspersonal wären ähnliche Qualifikationsanforderungen wünschenswert.

6 Fazit

Autonomes Fahren ist eine Technologie mit großem Potenzial, die die Mobilität revolutionieren kann. Es bietet viele Chancen, wie zum Beispiel die Verbesserung der Verkehrssicherheit, die Unterstützung von Menschen mit eingeschränkter Mobilität und die Verbesserung des Zugangs zu Mobilitätsdiensten in ländlichen Gebieten.

Allerdings gibt es auch Herausforderungen, die es gemeinsam zu meistern gilt: Beispiele sind hier eine praxis- und innovationsorientierte Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens, ein gesellschaftlicher Dialog auf Augenhöhe sowie die steigende Komplexität der Technologie.

Schlussendlich leitet dieses Papier wichtige politische Handlungsempfehlungen aus vielfältigen Anwendungsfällen ab. Damit bietet es eine Grundlage für die Zusammenarbeit zwischen Regulierungsbehörden, Mobilitätsindustrie und Gesellschaft. Ziel ist es, die benannten Herausforderungen zu meistern und die Vorteile des autonomen Fahrens für alle zugänglich zu machen.

Bitkom vertritt mehr als 2.000 Mitgliedsunternehmen aus der digitalen Wirtschaft. Sie erzielen allein mit IT- und Telekommunikationsleistungen jährlich Umsätze von 190 Milliarden Euro, darunter Exporte in Höhe von 50 Milliarden Euro. Die Bitkom-Mitglieder beschäftigen in Deutschland mehr als 2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 80 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, jeweils 8 Prozent kommen aus Europa und den USA, 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Digitalstandort zu machen.

Bitkom e.V.

Albrechtstraße 10
10117 Berlin
T 030 27576-0
bitkom@bitkom.org

[bitkom.org](https://www.bitkom.org)

bitkom