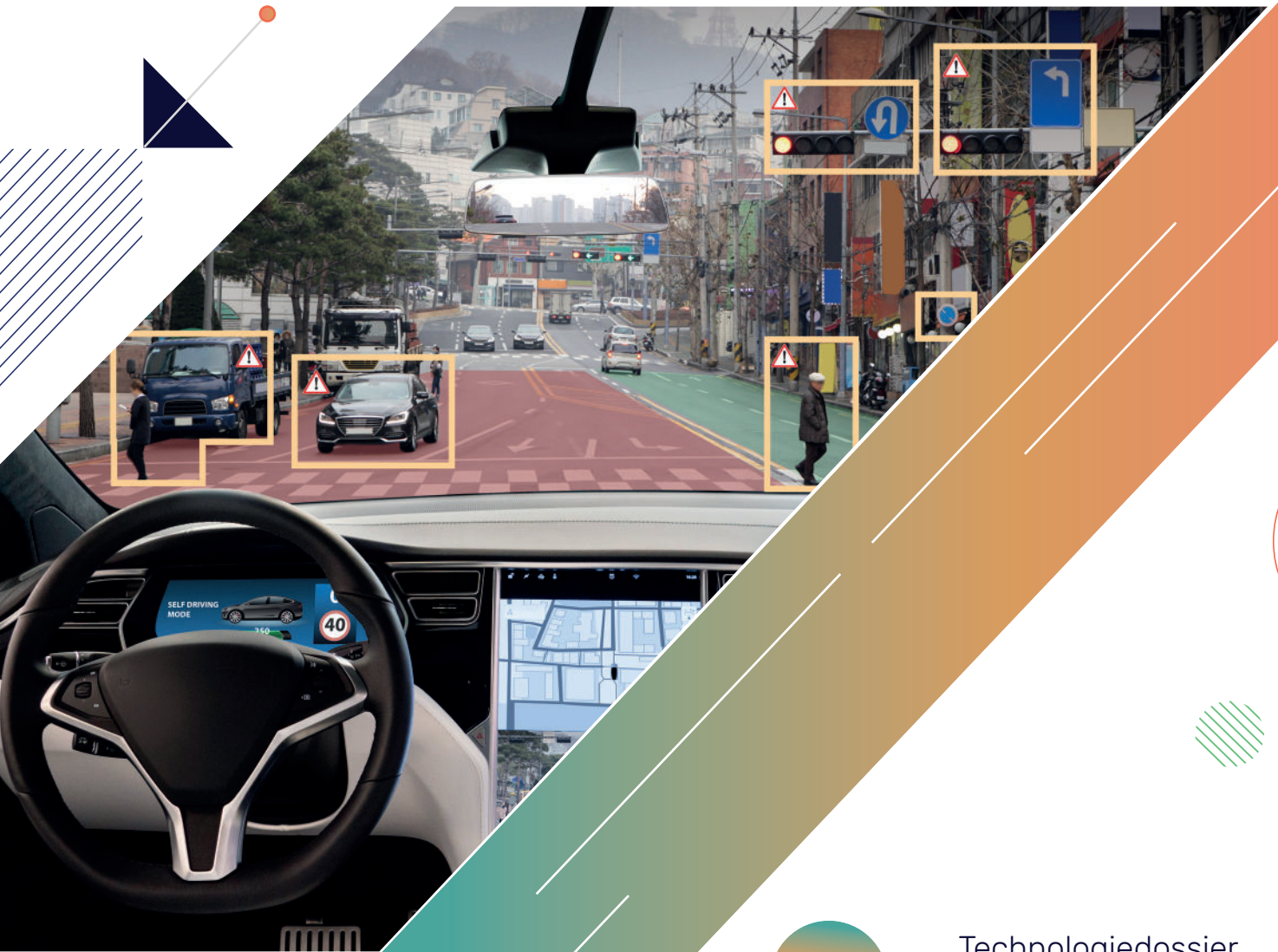


# Autonomes Fahren



Beispiel eines selbstfahrenden Autos mit Head-up-Display im Stadtverkehr.  
(Adobe Stock / scharfsinn86)

Technologiedossier

Nr.2 / Mai 2026

Laura Drechsel, Volkan Sayman

# Abbildungsverzeichnis

S.1, *Bild*: Beispiel eines selbstfahrenden Autos mit Head-up-Display im Stadtverkehr, (Adobe Stock / scharfsinn86)

S.7, *Abbildung 1*: Säulendiagramm zu den Erscheinungsjahren der Publikationen aus dem Scoping

S.8, *Abbildung 2*: Säulendiagramm zum Vorkommen der sozioökologischen Dimensionen in den Scoping-Ergebnissen

S.11, *Bild*: Testbetrieb eines autonomen Minibusses der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), (Adobe Stock / Mickis Fotowelt)

S.12/13, *Abbildung 3*: Kompetenzverteilung deutscher und internationaler Akteure in Wertschöpfungsfeldern des autonomen und vernetzten Fahrens aus (Block et al., 2024, S.16) - veränderte Darstellung

S.15, *Bild*: MOIA und die BVG testen seit Oktober 2025 autonome Shuttles (VW ID. Buzz AD) im Berliner Nordwesten im Rahmen des Projekts NoWeL4, (Fotorechte liegen bei "MOIA")

S.17, *Bild*: Ein autonomer VW Shuttle hält vor dem Zebrastreifen, während eine Fußgängerin die Straße überquert, (Fotorechte liegen bei "MOIA")

S.21, *Bild*: Simulation eines integrierten Steuerungssystems und autonomen Fahrens in einer Smart City, (Adobe Stock, Choi\_ Nikolai)

# Inhalt

**01**

**Einleitung in die  
Technologie**

S.6

**05**

**Akzeptanz und  
Konfliktpotenzial**

S.18

**02**

**Möglicher  
Klimaschutzbeitrag**

S.9

**06**

**Regulatorische  
Hebel und  
Steuerungsbedarfe**

S.22

**03**

**Wirtschaftliche  
Relevanz**

S.12

**07**

**Empfehlungen zur  
Forschungsagenda**

S.24

**04**

**Reifegrad und  
Skalierbarkeit**

S.16

**08**

**Referenzen**

S.28

# Abkürzungsverzeichnis

## Abkürzung Bedeutung

**AFGBV** Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebsverordnung (deutsche Verordnung zum Betrieb von Level-4-Fahrzeugen)

**AV** Autonomous Vehicle; im Text: automatisiertes bzw. autonomes Fahrzeug

**AVF** Automatisiertes und vernetztes Fahren (Oberbegriff für Systeme, die Fahrfunktionen teilweise oder vollständig übernehmen und vernetzt sind)

**CO<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub>** Kohlendioxid (im Text: Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors)

**E/E** Elektrik/Elektronik; im Text: E/E-Architektur als elektrisch-elektronische Fahrzeugarchitektur

**EU** Europäische Union

**HMI** Human-Machine Interface; im Text: Mensch-Maschine-Interaktion, Benutzerschnittstelle zwischen Fahrgästen und System

**IT** Informationstechnologie

**KI** Künstliche Intelligenz (im Text: KI-basierte Wahrnehmung und Entscheidungslogik)

**OEM** Original Equipment Manufacturer; im Text: Erstausrüster, vor allem Fahrzeughersteller

**ÖPNV** Öffentlicher Personennahverkehr

**Pkw / PKW** Personenkraftwagen

**SAE** SAE International (früher Society of Automotive Engineers); im Text: Organisation hinter der SAE-Automatisierungstaxonomie (Level 0 bis 5)

**SAV** Shared Autonomous Vehicle; im Text: geteiltes autonomes Fahrzeug (gemeinsam genutztes Robotaxi/Roboshuttle)

**TRL** Technology Readiness Level: Technologiereifegrad; Skala zur Bewertung des Entwicklungsstands von Technologien

**V2V** Vehicle to Vehicle; direkte Funkkommunikation zwischen Fahrzeugen

**V2X** Vehicle to Everything; Kommunikation zwischen Fahrzeug und Umgebung (zum Beispiel Infrastruktur, anderen Fahrzeugen, Verkehrsteilnehmenden)

**WLAN / pWLAN** Wireless Local Area Network; pWLAN im Text: spezielle, auf WLAN basierende Funktechnologie für Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation im Verkehrsbereich

## Kurzform Bedeutung

**Tier-1-Zulieferer** Zulieferer der ersten Ebene, die direkt Systeme und Komponenten an Fahrzeughersteller liefern

**Robotaxi(s)** Kommerzieller Fahrdienst mit voll oder hochautomatisierten Taxis

**Ride-Hailing** App-basierte Buchung individueller Fahrten (zum Beispiel Taxiähnlicher Dienst)

**Ride-Pooling** Geteilte Fahrt mehrerer Personen mit ähnlicher Route in einem Fahrzeug

**Use Case** Konkreter Anwendungsfall einer Technologie (zum Beispiel autonomes Shuttle im ländlichen Raum)

# Zusammenfassung

Die Entwicklung des autonomen und vernetzten Fahrens tritt in eine entscheidende Phase. Systeme ab SAE-Level 4 ermöglichen die vollständige Übernahme der Fahraufgabe innerhalb definierter Einsatzbereiche ohne menschliches Eingreifen. Damit verbunden sind substanzielle Potenziale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, zur Verbesserung der Mobilität für unterschiedliche Nutzergruppen, zur Entlastung struktureller Engpässe im Fahrpersonal sowie zur Steigerung der Effizienz von Verkehrssystemen und der Lebensqualität in urbanen Räumen.

Der gesellschaftliche und ökologische Nutzen der Technologie ist dabei jedoch stark pfadabhängig. Studien und Expert:Innen weisen darauf hin, dass die größten Mehrwerte insbesondere in Anwendungen der Daseinsvorsorge liegen, etwa in der Logistik, im öffentlichen Verkehr, in Ride-Pooling-Systemen, in Sharing-Diensten. Diese können sowohl die Erreichbarkeit im ländlichen Raum verbessern als auch die Teilhabe vulnerabler Gruppen stärken. Demgegenüber besteht im privatwirtschaftlich dominierten Einsatz, etwa durch Robotaxis oder den individuellen Besitz autonomer Fahrzeuge, das Risiko von Rebound-Effekten. Effizienzgewinne könnten zu steigenden Verkehrsleistungen führen und Verlagerungseffekte zulasten des ÖPNV auslösen, was die ökologische Bilanz deutlich verschlechtern kann.

Automatisiertes Fahren gilt zugleich als zentrales globales Innovations- und Wertschöpfungsfeld der zukünftigen Mobilität. Es zeigt sich allerdings eine strukturelle Spannung zwischen ökonomischen und gesellschaftlichen Zielsetzungen. Während privatwirtschaftliche Anwendungen aufgrund schneller Skalierbarkeit und hoher Marktvolumina besonders attraktiv sind, liegen die größten ökologischen und sozialen Potenziale im öffentlichen Verkehr, der jedoch wirtschaftlich schwerer zu erschließen und institutionell komplexer zu organisieren ist. Sollten politisch gewünschte, gemeinwohlorientierte Anwendungen realisiert werden, erfordert dies ge-

zielte staatliche Rahmenbedingungen und Anreize, da andernfalls ein Risiko besteht, dass sich vor allem die wirtschaftlich attraktiveren, jedoch klimapolitisch weniger vorteilhaften Nutzungspfade durchsetzen.

In Deutschland befindet sich autonomes Fahren in einer Übergangsphase. Mit dem Gesetz von 2021 und der AFGBV (2022) wurden zwar wichtige regulatorische Grundlagen für Level-4-Fahrzeuge geschaffen, doch eine breite Marktreife steht trotz vieler Pilotprojekte noch aus. Die zentralen Herausforderungen liegen weniger in der Technologie als in fehlenden Geschäftsmodellen, hohen Kosten, regulatorischen Unsicherheiten sowie Defiziten in Infrastruktur wie V2X-Kommunikation und Ladeinfrastruktur. Hinzu kommen Abhängigkeiten von globalen Lieferketten.

Ein weiterer Schlüsselfaktor ist die gesellschaftliche Akzeptanz. Sicherheitsbedenken, Zweifel an technischer Zuverlässigkeit und Sorgen um Kontrollverlust prägen die Wahrnehmung. Gleichzeitig kann Akzeptanz durch transparente Kommunikation und Testprojekte gesteigert werden, letztendlich entscheiden aber Vertrauen in die Technik, wahrgenommener individueller Nutzen und die allgemeine Bewertung, ob solche Fahrzeuge im Mobilitätssystem erwünscht sind. Wichtig ist daher eine sozial ausgewogene Gestaltung, um Ungleichheiten nicht zu verstärken.

Autonomes Fahren entfaltet damit sein Potenzial nur, wenn es in eine nachhaltige Mobilitätsstrategie integriert wird, die den öffentlichen Verkehr fördert. Daraus ergibt sich ein Handlungsbedarf in Forschung und Innovationspolitik. Notwendig sind vertiefte Analysen zu Klimawirkungen, der Einbettung in den ÖPNV und Pilotprojekte die strategisch auf übergreifende Zielsetzungen einzahlen. Für die Entwicklung zum Leitmarkt braucht es eine klare nationale Mobilitätsstrategie, die autonomes Fahren gezielt zur Erreichung ökologischer und sozialer Ziele einsetzt, insbesondere durch Integration in den öffentlichen Verkehr und koordinierte, standardisierte Betriebsmodelle.

# Einleitung in die Technologie

# 01

Das automatisierte und vernetzte Fahren (AVF) zählt zu den zentralen Zukunftstechnologien der Mobilität und wird in den kommenden Jahren die technische Entwicklung, die Mobilitätswirtschaft und den Verkehrsalltag deutlich prägen. Unter AVF werden Systeme verstanden, die Teile oder die Gesamtheit der dynamischen Fahraufgabe übernehmen können und je nach technischer Leistungsfähigkeit den Automatisierungsgraden der SAE-Taxonomie<sup>1</sup> zugeordnet werden. Diese reicht von Level 0 (keine Automatisierung) über Level 1 und 2 (Assistenz und Teilautomatisierung) bis hin zu Level 3 (bedingte Automatisierung) sowie Level 4 und 5 (hohe und vollständige Automatisierung). Während unter automatisiertem Fahren in der Regel Systeme der SAE-Level 1 bis 3 verstanden werden, bei denen der Mensch weiterhin als verantwortliche Instanz und Rückfallebene eingebunden bleibt, bezeichnet autonomes Fahren Systeme der Level 4 und 5. Diese können die Fahraufgabe innerhalb definierter Einsatzbereiche vollständig ohne menschliches Eingreifen übernehmen und benötigen keine Rückfallebene durch den Fahrer.

Technisch basieren AVF-Systeme auf dem Zusammenspiel von

- Sensorik (Kamera, Radar, Lidar zur Umfeldwahrnehmung),
- Aktuatorik (Lenkung, Bremsen, Beschleunigung als ausführende Komponenten),
- KI-basierter Wahrnehmung und Entscheidungslogik (Software, die Verkehrssituationen erkennt und Fahrschritte plant),
- Steuergeräte- und E/E-Architektur (elektrisch-elektronische Infrastruktur im Fahrzeug) sowie
- leistungsfähiger V2X-Kommunikation (Datenaustausch zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmenden) und Datenverarbeitung (Block et al., 2024).

In Deutschland wurden 2017 mit dem Gesetz zum automatisierten Fahren und 2021 mit dem Gesetz zum autonomen Fahren erstmals weltweit rechtliche Grundlagen für den Regelbetrieb von Fahrzeugen auf SAE-Level 3 und 4 geschaffen (Block et al., 2024). Mit der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebsverordnung (AFGBV) von 2022 schuf Deutschland als erstes Land weltweit einen rechtlich verankerten Rahmen, der die Zulassung von Level-4-Fahrzeugen in festgelegten Betriebsbereichen ermöglicht. Trotz dieser frühen regulatorischen Weichenstellung hat sich eine breite Anwendung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen jedoch noch nicht etabliert. Automatisiertes und vernetztes Fahren spielt im Alltag vieler Menschen bislang kaum eine Rolle, da weltweit nur ein kleiner Teil der Fahrzeuge über Assistenzsysteme bis Level 2 verfügt und weitergehende Automatisierungsfunktionen erst von wenigen Herstellern angeboten werden. Trotz technischer Fortschritte zeigt sich damit ein deutliches Entwicklungsplateau im Markt (Block et al., 2024).

Während in Deutschland derzeit vor allem Level-3-Funktionen in hochpreisigen Pkw serienmäßig verfügbar sind, werden Level-4-Fahrzeuge überwiegend in begrenzten Pilotumgebungen getestet (Block et al., 2024). Serienfähige Level-3-Funktionen erlauben in bestimmten Szenarien automatisiertes Fahren auf Autobahnen (Block et al., 2024). Neu ist die Fähigkeit, komplexe Fahrsituationen dauerhaft ohne menschliches Eingreifen zu bewältigen und Fahrzeuge mit ihrer Umgebung zu vernetzen. Dadurch entsteht ein tiefgreifender Wandel des Verkehrssystems, der über reine Fahrzeugtechnik hinausgeht. Dieses Dossier konzentriert sich vorrangig auf das autonome Fahren ab SAE-Level 4, da hier erstmals eine vollständige Übernahme der Fahraufgabe durch das System ohne menschliche Rückfallebene möglich wird. Die Technologie hat dadurch das Potential, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, Mobilität für Menschen mit unterschiedlichen Bedürfnissen zu erleichtern und städtische Räume lebenswerter zu gestalten. Zudem eröffnet sie neue wirtschaftliche Chancen, steigert die

1. [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Effizienz im Verkehrssystem und kann langfristig Engpässe im Fahrpersonal abmildern. Demgegenüber stehen Vorbehalte in der Bevölkerung, denn der breite Einsatz automatisierter und vernetzter Mobilität setzt gesellschaftliche Akzeptanz voraus. Viele Menschen äußern Unsicherheiten im Umgang mit solchen Systemen, sehen mögliche Risiken für das Verkehrs- und Logistiksystem und sind zudem von Fragen der eigenen Qualifikation oder veränderten Arbeitsbedingungen betroffen.

Teil des Dossiers ist daher nicht nur die Bewertung der Technologie selbst, sondern auch die Betrachtung verschiedener Nutzungsszenarien automatisierter Fahrzeuge. Dazu gehören unter anderem private Anwendungen wie automatisierte Pkw, kommerzielle Mobilitätsdienste wie Robotaxis und Ride-Hailing, geteilte Angebote im Rahmen von Ride-Pooling oder Carsharing, autonome Shuttles im ÖPNV, sowie logistische Anwendungen. Der Schwerpunkt dieses Dossiers liegt dabei auf For-

men der persönlichen Mobilität, während logistische Einsatzfelder nur am Rande betrachtet werden.

Die Scoping-Analyse mit Screening der Forschungsliteratur mit direktem Deutschlandbezug identifizierte 1049 Einträge, von denen 387 nach Sichtung von Titel und Abstract als relevant eingestuft wurden. 311 dieser Arbeiten waren als Volltexte verfügbar. Eine erste Analyse zeigt ein wachsendes Forschungsfeld mit großer Beteiligung von Universitäten, aber auch von außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Automobilherstellern.

Besonders aktiv sind einzelne Institutionen wie das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die Technische Universität München und das Karlsruhe Institut für Technologie (Teil der Helmholtz-Gemeinschaft). Auf Ebene der Autorinnen und Autoren zeigt sich eine Streuung mit über tausend Personen, die zum autonomen Fahren in Deutschland wissenschaftlich publiziert haben.

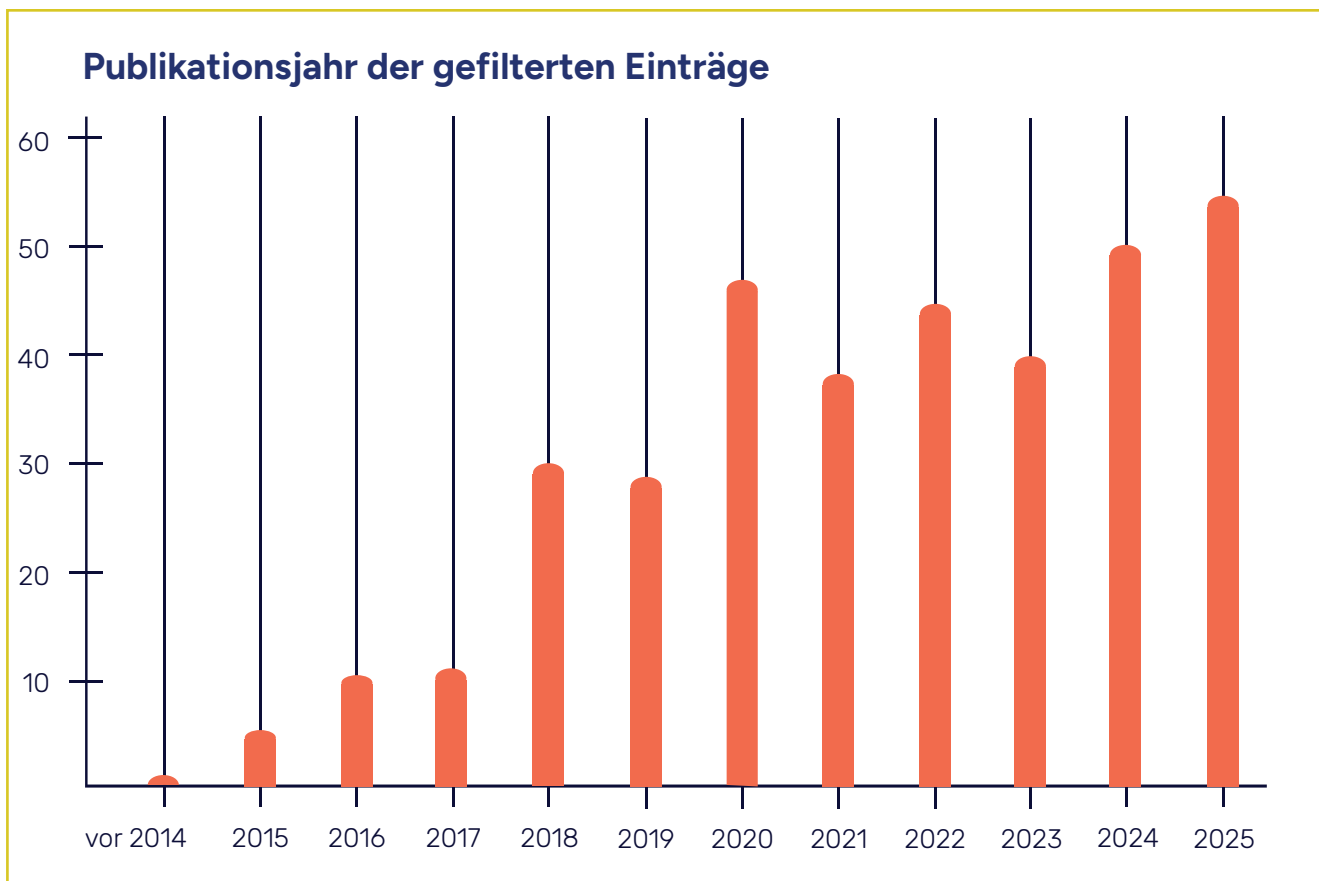


Abbildung 1: Säulendiagramm zu den Erscheinungsjahren der Publikationen aus dem Scoping

Die zeitliche Verteilung der Publikationen weist einen tendenziellen Anstieg auf, der mit wenigen Ausnahmen bis heute anhält. Erste thematische Auswertungen mittels einer Schlagwortanalyse deuten darauf hin, dass klima- und nachhaltigkeitsbezogene Themen besonders häufig we-

nigstens eine marginale Erwähnung finden, während Konflikt- und Gerechtigkeitsaspekte besonders häufig intensiv thematisiert werden. Andere Aspekte, wie der Reifegrad der Technologie, werden in akademischen Veröffentlichungen seltener intensiv behandelt.

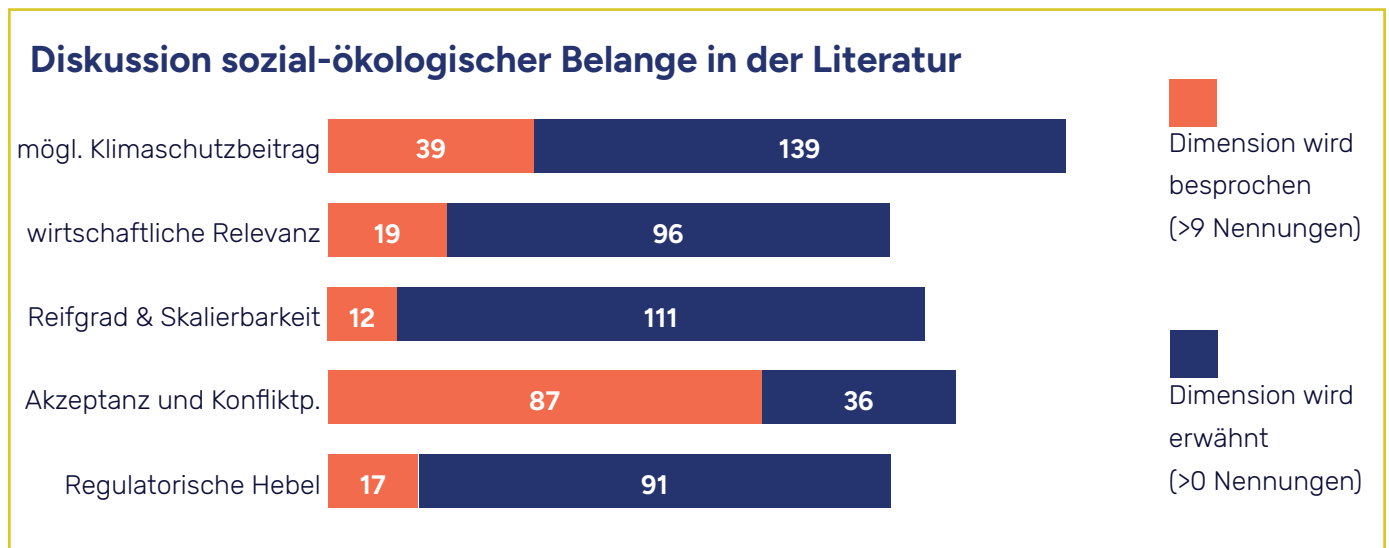


Abbildung 2: Säulendiagramm zum Vorkommen der sozioökologischen Dimensionen in den Scoping-Ergebnissen

Ergänzend zur Literaturanalyse wurden daher, insbesondere zu den Themen regulatorische Hebel, Standortfaktoren und Skalierbarkeit, auch Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie befragt. Dazu zählen die Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) im Verband der

Automobilindustrie e. V., das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAQ sowie das Karlsruhe Institute of Technology. Ihre Rückmeldungen, Einschätzungen und Ergänzungen sind in die Überarbeitung des Dossiers eingeflossen.

# Möglicher Klimaschutzbeitrag

# 02

In der Literatur wird der Klimaschutzbeitrag automatisierten Fahrens insgesamt ambivalent beschrieben. Einerseits werden ökonomische Effizienzgewinne, gesellschaftliche Mehrwerte und positive ökologische Folgen für den Fall der Nutzung des AVF im ÖPNV erwartet (DB Regio, 2026, 102-118), andererseits verweisen Szenariostudien auf zusätzliche Fahrzeugkilometer und Reboundeffekte für Anwendungsszenarien wie privat betriebene Robo-Taxis (Garus et al., 2024; Letmathe & Paegert, 2025; Onat et al., 2023; Roos & Siegmann, 2022). Ob automatisiertes Fahren zu einem insgesamt nachhaltigeren Verkehrssystem führt, bleibt eine offene Frage. Bisher hat sich für Deutschland noch kein Entwicklungspfad durchgesetzt. Aktuell sind also sowohl deutlich nachhaltigere als auch deutlich weniger nachhaltige Verläufe der Verbreitung und Implementierung der Technologie in gesellschaftliche Mobilitätsroutinen denkbar (Schippl, 2024).

Der potentielle Beitrag des autonomen Fahrens zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sowie des Flächen- und des Rohstoffbedarfs der Fahrzeugflotten im Verkehrssystem hängt von dem gelingenden Zusammenwirken einer Reihe interdependenter Faktoren ab. In Bezug auf den Nachhaltigkeitsbeitrag sind sowohl verkehrspolitisch intendierte als auch nicht-intendierte Effekte zu berücksichtigen (Pakusch et al., 2018). Besonders wichtige, weil für die Klimabilanz folgenreiche, Faktoren sind die Einbettung von AVF in bestehende Strukturen von Mobilitätssystemen (DB Regio 2026; z.B. Integration in Betriebsformen des ÖPNV/des Carsharings/etc., Harmonisierung von Standards, Kosten/Preise), die Nachhaltigkeitsbilanz im Verlauf des gesamten „Lebenszyklus“ autonomer Fahrzeuge und das bei einer Verfügbarkeit von AVF zu erwartende Nachfrageverhalten der Bevölkerung, insbesondere die Verlagerung von Modalentscheidungen (z.B. von nachhaltigeren Verkehrsmitteln wie dem ÖPNV) zu autonomen Car-Sharing-Angeboten (Pakusch et al., 2018, S. 18f)).

Die Herstellung autonomer und automatisierter, meist elektrisch betriebener Fahrzeuge, ist materialintensiv. Akkus, Halbleiter und Sensorik erfordern die Verfügbarkeit wertvoller Rohstoffe (wie Lithium, Nickel und Kobalt) deren Abbau mit hoher ökologischer Belastung einhergeht, die zugleich wirtschaftlich bedeutsam sind und ein hohes Versorgungsrisiko aufweisen (DB Regio AG, 2026). Gleichzeitig zeigen Szenarienstudien, dass eine konsequente Einbettung autonomer Shuttles in ein öffentliches Mobilitätssystem den Gesamtfahrzeugbestand senken kann. Szenarien der Einführung und Adoption autonomer Fahrzeuge im Realbetrieb, die Mobilität stärker gemeinwohlorientiert organisieren, kommen auf deutlich kleinere zu erwartende Gesamtflotten als stärker marktorientierte Ansätze. Auch die zu erwartende Zahl der jährlichen Neuzulassungen fällt in gemeinwohlorientierten Einführungsszenarien geringer aus, mit etwa 2,5 Millionen gegenüber rund 3 Millionen in privatwirtschaftlichen Wettbewerbsszenarien (DB Regio AG, 2026, S. 109). Die ressourcenbezogene Ökobilanz lässt sich also nicht für autonome Fahrzeuge „an sich“ beurteilen, sondern hängt maßgeblich davon ab, ob die Governance und Einbettung der alltäglichen Nutzung autonomer Fahrzeuge zur Bildung von Mobilitätsroutinen führen, die den Gesamtfahrzeugbestand bestehender Pkw reduzieren oder umgekehrt, weiter anwachsen lassen.

Ein breiter Einsatz autonomer Flotten erfordert zudem neue und angepasste Verkehrs- und Datenverarbeitungsinfrastrukturen. Dazu zählen Betriebshöfe, Werkstätten und Leitstellen, die mit entsprechender Hard- und Software auszustatten und teilweise baulich anzupassen sind (Schrömbges et al., 2025). Auch für den Straßenraum ergeben sich Anpassungsbedarfe. Mindestfahrstreifenbreiten, regelmäßig gepflegter Bewuchs sowie klar erkennbare Verkehrszeichen und Markierungen sind zentrale Voraussetzungen für den sicheren Betrieb (Becciu & Kamau, 2024). Diese Anpassungen gehen mit zusätzlichem Materialeinsatz und gegebenenfalls Flächeninanspruchnahme einher. Autonome Shuttles und PKW basieren zudem

überwiegend auf elektrischen Antrieben, was einen Ausbau der Ladeinfrastruktur voraussetzt.

Im Betrieb können automatisierte und autonome Fahrzeuge ihren Fahrstil möglichst energieeffizient gestalten und dadurch den Energieverbrauch senken (Fagnant & Kockelman, 2015). Grundsätzlich stellt sich aber die Frage, ob durch entsprechende Fahrstile erreichte Effizienzgewinne einzelner autonomer und automatisierter Fahrzeuge nicht durch eine ineffiziente Nutzung der Fahrzeugflotte auf einer aggregierten Ebene nivelliert werden. Ob sich diese Effizienzgewinne systemweit realisieren lassen und zu signifikanten Effizienzgewinnen auf der aggregierten Ebene des Verkehrssystems führen ist der Forschungsliteratur abhängig von der Qualität der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation für ein „kollaboratives bzw. vorausschauendes“ Fahren (Vahidi & Sciarretta, 2018), der Marktdurchdringung (Li et al 2023; Hua et al 2026), der Größe der Gesamtflotte (Silva et al., 2022) und der durch das neue Angebot induzierten, zusätzlichen Nachfrage (Rebound-Effekte). Szenarioanalysen zum AVF in Deutschland machen deutlich, dass sich die Effizienzgewinne je nach Ausgestaltung des geteilten autonomen Fahrens wie Ride-Hailing und/ oder Pooling in ländlichen oder urbanen Räumen, der Verbreitung privater automatisierter Pkw oder einer weitgehenden Automatisierung des Gesamtsystems deutlich unterscheiden (Schrömbges et al., 2025). Ähnlich differenziert fallen die Ergebnisse für den Einsatz von Flotten autonomer und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV-System aus. Privatwirtschaftlich geprägte Wettbewerbsszenarien stehen einem Modell öffentlich verantworteter Mobilität gegenüber, bei dem Verkehrsorganisation und -steuerung konsequent am Mobilitätsbedarf der Bevölkerung ausgerichtet werden (DB Regio AG, 2026, S. 58).

Einen großen Einfluss auf den mittel- und langfristigen zu erwartenden Klimaschutzbeitrag haben Verlagerungs- und Rebound-Effekte, die dabei kein Randphänomen darstellen, sondern als zentrales Risiko der Technologieentwicklung betrachtet werden können. Automatisierte und autonome Fahrzeuge können die Nutzung eines autonomen privaten Pkw attraktiver erscheinen lassen, sodass beispielsweise Wege, die zuvor mit dem ÖPNV, zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden, nun mit AVF bewältigt werden. Ihre flächendecken-

de Einführung und Verfügbarkeit als geteilte Robo-Taxis können wiederum die Auslastung der Fahrzeugflotte im Vergleich zu Szenarien mit nicht automatisierten Pkw erhöhen. Nicht zuletzt kann ihre Einführung als Bestandteil des ÖPNV die Leistungsfähigkeit des ÖPNV als zentraler Akteur der Daseinsvorsorge, insbesondere im ländlichen Raum, stärken (Lamberg, 2025). Sobald sich ein oder mehrere Entwicklungspfade verfestigen, können selbstverstärkende Dynamiken und Pfadabhängigkeiten entstehen (Schippl, 2024). Besonders problematisch wäre eine „Kannibalisierung“ des öffentlichen Verkehrs (Schneider et al. 2024, S. 30). Damit ist gemeint, dass individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge so attraktiv werden könnten, dass sie Fahrgäste aus dem traditionellen ÖPNV abziehen, dessen wirtschaftliche Basis schwächen und so dessen Attraktivität und Leistungsfähigkeit verringern (DB Regio AG, 2026; Schippl, 2024).

Auch bei Shared Autonomous Vehicles (SAV) zeigen Studien eine große Bandbreite: Während ein SAV je nach Modell 10 bis 12 private Fahrzeuge ersetzen könnte, beobachten andere Szenarien einen Zuwachs an Fahrzeugbesitz um bis zu 6 Prozent (Schrömbges et al., 2025). Für Deutschland werden nur geringe Rückgänge des Pkw-Bestands erwartet, dagegen aber zusätzliche Fahrzeugkilometer im System (Schrömbges et al., 2025). Ein Ländervergleich zwischen Deutschland und Japan kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass neue automatisierte Verkehrsmittel den Fahrzeugkilometerbestand um etwa fünf Prozent erhöhen können (Takashi et al., 2025). In einem Experteninterview mit einem Forschenden des *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation* wird ein weiteres Rebound-Risiko im Logistiksektor angesprochen. Werden automatisierte Lkw kostengünstiger und dauerhaft einsetzbar, könnte dies zusätzliche Verlagerungen von Güterverkehr von der Schiene auf die Straße begünstigen.

Da autonome Fahrzeuge typischerweise elektrisch betrieben werden, können sie im Zusammenspiel mit einem zunehmend erneuerbaren Stromsystem einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Entscheidend ist hierbei jedoch, ob zusätzliche Nachfrage zu mehr Strombedarf führt und ob dieser klimaneutral gedeckt wird. Manche Szenarien zeigen deutliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen, etwa im öffentlich verantworteten Mobilitätsszenario, mit dem bis zu 2,9 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden können (DB Regio AG, 2026, S. 111).

Neben Emissionen sind auch Flächenwirkungen von ruhendem Verkehr bedeutsam. In einem staatlich geregelten ÖPNV-Modell könnten bei reger Nutzung von AVF deutschlandweit rund 40 bis 45 Millionen Quadratmeter der heute vorhandenen Parkplatzflächen anderweitig genutzt werden (DB Regio AG, 2026, S. 118). Möglich würde dies durch die erhöhte Attraktivität einer Verlagerung von Autofahrten hin zu Fahrten mit autonomen oder automatisierten Angeboten des ÖPNV. Ein dadurch deutlich verringerter Pkw-Bestand und deutlich kürzere Standzeiten autonomer Shuttles aufgrund des verringerten Individualverkehrs würden den Bedarf an Parkflächen insgesamt reduzieren (DB Regio AG, 2026) und neue Freiflächen für mehr nachhaltige Mobilität oder andere Maßnahmen der nachhaltigen Stadtentwicklung schaffen.

Damit zeigt sich zusammenfassend, dass ein Beitrag zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Verkehrssektors nicht von der Technik des AVF „an sich“ erwartet werden kann. Eine grundlegende Weichenstellung, die über den Klimanutzen des AVF entscheidet, ist die mobilitätspolitische Strategie, mit der das AVF als neues Verkehrsmittel in bestehende verkehrliche Strukturen und Mobilitätsroutinen integriert wird. Eine an Nachhaltigkeitszielen orientierte Einbettung in bestehende Verkehrsstrukturen würde Anreize für einen möglichst hohen Besetzungsgrad der Fahrzeuge und ihre multimodale Nutzung setzen (Roos & Siegmann, 2022, S. 804ff) und klimaschädliche Substitution bzw. Verlagerung von Mobilitätsentscheidungen zu vermeiden versuchen. Übertragen auf die individuelle Autonutzung bedeutet dies, dass autonome und vernetzte Fahrzeuge den höchsten Klimabeitrag dort leisten können, wo sie sinnvollerweise (1) in Ergänzung zu und Vernetzung mit

anderen Verkehrsträgern, also multimodal, genutzt werden, (2) als geteilte Fahrzeuge öffentlich zur Verfügung stehen (Ride-Hailing) und (3) für gemeinsame Fahrten genutzt werden (Ride-Pooling). Zu erwartende und neu entstehende Nutzungsroutinen und dadurch bedingte Veränderungen des Modal Splits sowie die Gestaltung von Preis- und Regulierungsstrukturen sind weitere zentrale Faktoren mit großem Einfluss auf den Nachhaltigkeitsbeitrag des AVF im Verkehrssystem. Die genannten Faktoren sind interdependent und müssen daher systemisch betrachtet werden, um als Gegenstand politischer Gestaltung und wissenschaftlich-technischer Entwicklung und Evaluation sinnvoll einbezogen werden zu können. Der Klimanutzen einer rein individuellen Nutzung (z.B. privates AVF) von automatisiertem Verkehr wird wegen der zu erwartenden höheren (Individual-)Verkehrsaufkommens und geringen Besetzungsgrades der Fahrzeuge vorwiegend negativ bewertet (Roos & Siegmann, 2022, S. 805). Demgegenüber kann der Einsatz autonomer Shuttles und Busse im Rahmen des ÖPNV einen positiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Der Effekt geteilter autonomer Fahrzeuge und Ride-Sharing-Flotten hängt hingegen stark abhängig vom jeweiligen Nutzungs- und Betriebskonzept (privat/privatwirtschaftlich betrieben/im Rahmen des ÖPNV betrieben) ab. Während bestimmte Modelle ebenfalls positive Wirkungen entfalten können, besteht insbesondere bei preisgünstigen Ride-Hailing-Angeboten (wie Uber oder Lyft) die Gefahr steigender Nachfrage. Dies kann zu Rebound-Effekten führen, etwa durch zusätzliche Fahrten oder Leerfahrten (Henaar & Marshall, 2019), wodurch die gesamte Verkehrsleistung zunimmt. In solchen Fällen ist im Vergleich zu elektrisch betriebenen Shuttle- oder Busflotten sowie zu aktiven Mobilitätsformen wie Gehen oder Radfahren (Tirachini, 2020) auf denselben Strecken kein positiver Klimaeffekt zu erwarten.



Testbetrieb eines autonomen Minibusses der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), (Adobe Stock / Mickis Fotowelt)

# Wirtschaftliche Relevanz

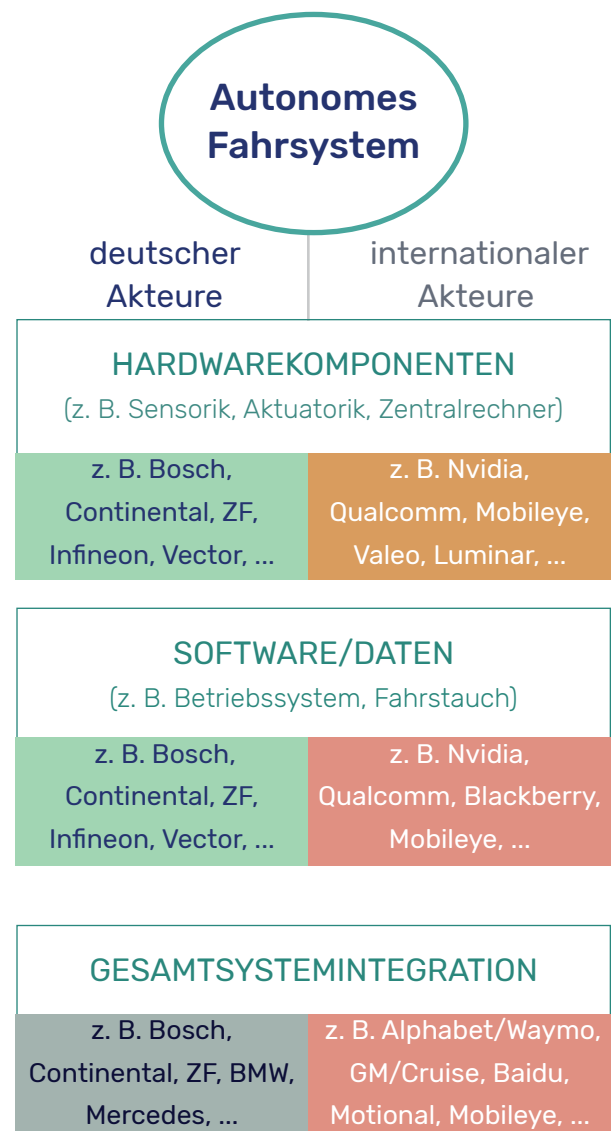
# 03

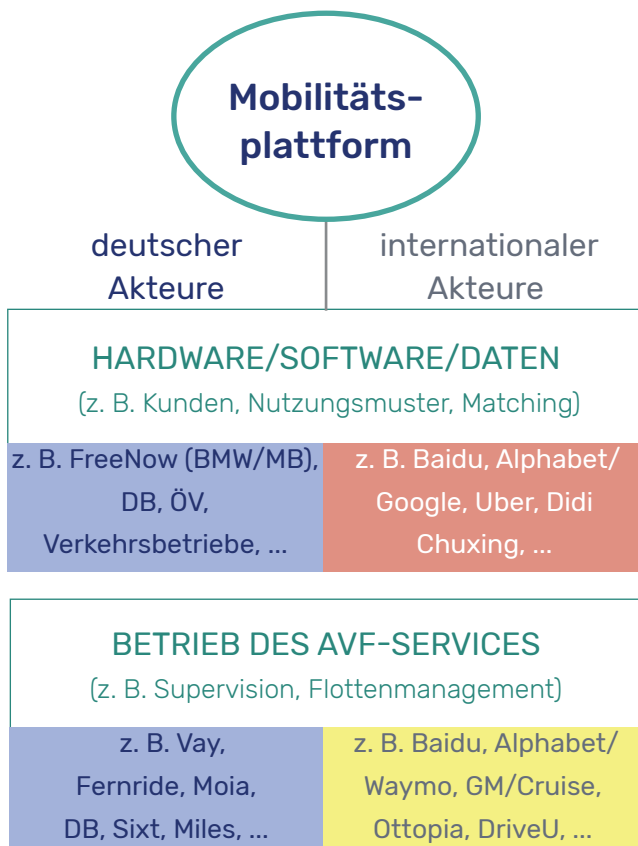
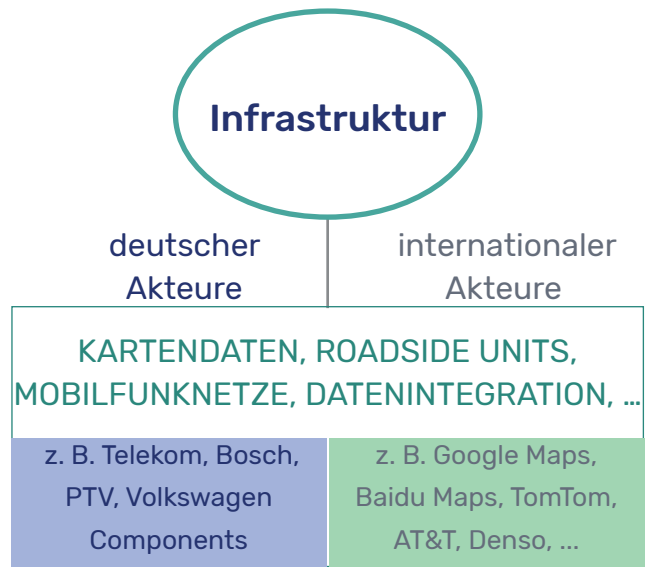
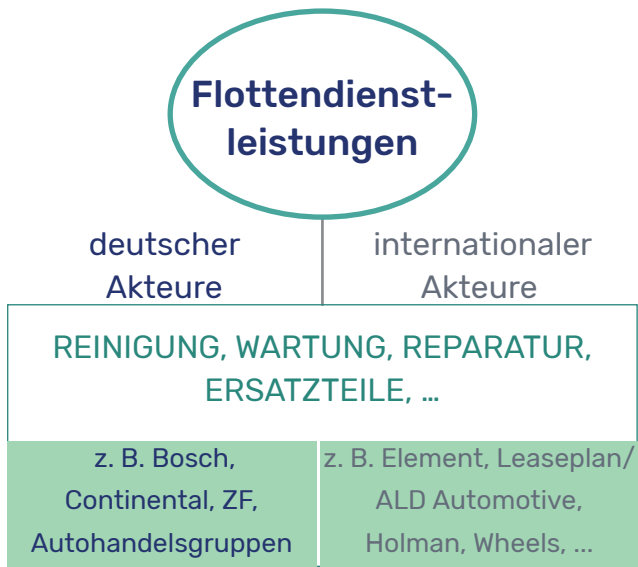
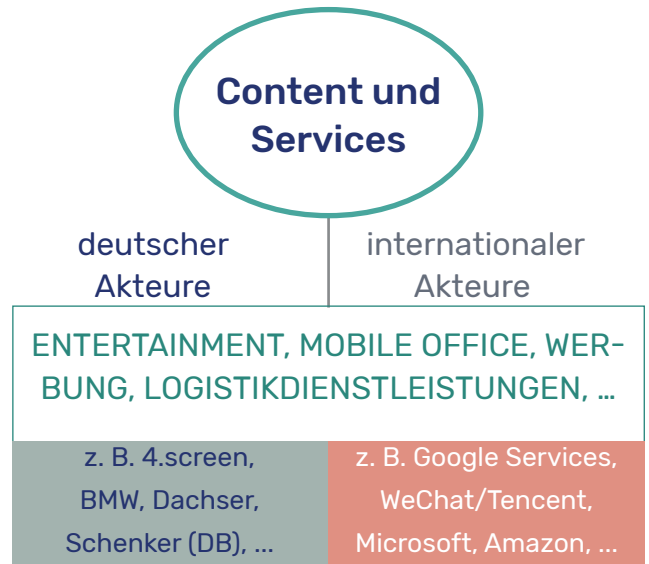
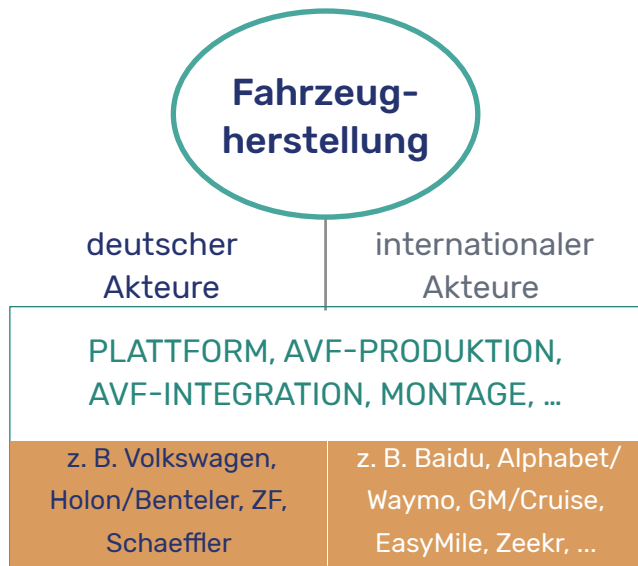
Die Standortrelevanz des autonomen Fahrens für Deutschland erschließt sich zunächst aus der besonderen historischen Rolle der Automobilindustrie. Die deutsche Autoindustrie ist seit ihren Anfängen ein zentraler Industriezweig und bedeutender Wirtschaftsfaktor und damit tief in der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes verankert (Kuhnimhof et al., 2025). Automatisiertes Fahren gilt als eines der wichtigsten globalen Innovations- und Wertschöpfungsfelder der Mobilität der Zukunft, dem sich kein großer Automobilstandort entziehen kann und der für die Zukunft des gesamten Mobilitätssektors von großer Bedeutung sein wird (Block et al., 2024; Schippl et al., 2025). Schon heute gibt es zudem internationale Pilotprojekte (Kaltenhäuser et al., 2020), was verdeutlicht, dass es sich um einen global relevanten Wachstumsmarkt handelt, in dem „early mover“ erhebliche Export- und Skalenvorteile erzielen können.

Deutschland besitzt dabei eine starke Ausgangsposition. Beim automatisierten Fahren bis einschließlich SAE-Level 3 wird der Standort als Innovationstreiber bewertet. Im vom Privatbesitz dominierten Ownership-Modell nehmen heimische OEMs und Zulieferer mit serienreifen Level-2/2+-Systemen und ersten zertifizierten Level-3- und -4-Systemen eine führende Rolle ein und liegen auf Augenhöhe mit Wettbewerbern aus den USA und China (Block et al., 2024). Deutschland gilt zudem als erstes Land, in dem ein Hersteller eine behördliche Genehmigung für den Betrieb eines Level-3-Systems im öffentlichen Straßenraum erhielt und nimmt der AFGVB eine weltweite Vorreiterrolle für einen Rechtsrahmen für Level-4-Fahrzeuge ein (Block et al., 2024).

Besondere Kompetenzvorsprünge werden für konkrete Assistenzsysteme attestiert, die von Akteuren wie Mercedes-Benz, Bosch und APCOA vorangetrieben werden. Gleichzeitig zeigen Analysen, dass die Stärken der deutschen Industrie eher auf Seiten der Hardware liegen, während Software-,

Daten- und Gesamtsystemkompetenzen schwächer ausgeprägt sind (Block et al., 2024). Zudem werden unzureichend entwickelte Geschäftsmodelle und fehlende Erfahrung im Betrieb autonomer Dienstleistungen kritisiert (Block et al., 2024; Borowski et al., 2025; Fraske et al., 2025). Im Bereich nutzungszentrierter Sharing-Modelle wie Robotaxis oder Roboshuttles befindet sich Deutschland nach wie vor im Testbetrieb, während Anbieter in den USA und China bereits kommerzielle Dienste betreiben (Block et al., 2024). Eine Übersicht deutscher Kompetenzen im internationalen Vergleich ist in Abbildung 3 zu finden.





**Kompetenz:**

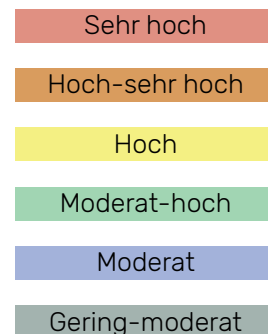


Abbildung 3: Kompetenzverteilung deutscher und internationaler Akteure in Wertschöpfungsfeldern des autonomen und vernetzten Fahrens aus (Block et al., 2024, S.16) - veränderte Darstellung

Die ökonomischen Potenziale des Marktes im autonomen Fahren sind erheblich. Schätzungen zufolge könnte der globale Hardwaremarkt für autonome Fahrfunktionen bis 2030 von heute 8 bis 12 auf 55 bis 80 Mrd. US-Dollar wachsen, während der entsprechende Softwaremarkt auf rund 50 Mrd. US-Dollar zulegt und jährlich etwa zehn Prozent wächst. Robotaxis bilden dabei einen eigenständigen Teilmarkt, wobei bis 2035 weltweite Umsätze von etwa 500 Mrd. US-Dollar und mehr als zwei Millionen verkaufte Fahrzeuge pro Jahr erwartet werden (Block et al., 2024). Flotten im vierstelligen Bereich und Millionen Testkilometer von Anbietern wie Waymo, Cruise und Apollo in Kalifornien und Peking (Block et al., 2024), wobei Waymo mittlerweile auch zahlende Fahrgäste befördert (Zeit Online, 2025), belegen den hohen Reifegrad in den USA und China. Demgegenüber ist der Markt für autonome Sharing- und ÖPNV-Dienste in Europa bislang weitgehend auf Pilotprojekte beschränkt (Borowski et al., 2025) und volumenmäßig kaum vorhanden, was vor allem an der hohen Kostenstruktur und einem fehlenden Markt für Level-4-Systeme liegt (Block et al., 2024). Um Skaleneffekte zu erreichen, sind harmonisierte Regelungen und Betriebsbedingungen auf europäischer Ebene erforderlich, da der deutsche Markt allein nicht ausreicht (Block et al., 2024).

Eine Perspektive einer Technologieführerschaft im autonomen Fahren ist damit zwar realistisch, aber das Zeitfenster für eine führende Rolle aufgrund der globalen Wettbewerbssituation klein, wobei zusätzliche koordinierte Anstrengungen auf politischer Ebene und evidenzbasierte nationale Förderstrategien nötig sind, um den Anspruch eines Innovationsstandorts glaubwürdig zu unterlegen (Berrada et al., 2025; Block et al., 2024; Borowski et al., 2025).

Zulieferökosysteme profitieren erheblich vom entstehenden Markt für automatisierte und autonome Fahrzeuge, da die Technologie eine tiefgreifende Transformationsdynamik besitzt und neue Produktionssegmente schafft (Schippl, 2024). Das Fahrsystem selbst wird als eines der wichtigsten Wertschöpfungsfelder des autonomen Fahrens beschrieben, seine Entwicklung erfordert ein breites

Spektrum an Hardware- und Softwarekompetenzen, Batterietechnologie (Schwindt et al., 2023) und ergänzt um Querschnittsfelder wie Cybersecurity und Cloud-Computing (Block et al., 2024). Deutsche Tier-1-Zulieferer wie Bosch, Continental oder ZF verfügen in zentralen Bereichen wie Sensorik, Aktuatorik und Software über hohe Kompetenzen und zählen zu gefragten Kooperationspartnern (Block et al., 2024, S. 16).

Auf der Systemebene haben deutsche Akteure insbesondere bei der Entwicklung autonomer Fahrzeugplattformen und der Industrialisierung von Gesamtsystemen Vorteile (Block et al., 2024; Schwindt et al., 2023). Allerdings bestehen Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen und Chipfertigungskapazitäten, die überwiegend außerhalb Europas liegen (Block et al., 2024; DB Regio AG, 2026). Positive Ansätze ergeben sich im Bereich der V2X-Infrastruktur, wo deutsche Daten- und Telekommunikationsunternehmen eine gute Ausgangsposition in Europa besitzen (Block et al., 2024). Abhängig vom Nutzungsszenario wirkt die Technologie zudem als Hebel zur Umgestaltung von Mobilitäts- und Verkehrsökonomie. Der Einsatz autonomer Fahrzeuge besitzt das Potenzial, Routinen der Mobilität zu verändern, neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen und nachgelagerte Branchen wie ÖPNV, Logistik, Tourismus oder urbanes Planungswesen neu zu strukturieren (Schippl et al., 2025). Gleichzeitig weist ein Experte des *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation* im Interview auf eine strukturelle Spannung zwischen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Zielsetzungen hin. Während der private Markt aufgrund größerer Volumina und schneller realisierbarer Geschäftsmodelle für Unternehmen besonders attraktiv ist, liegen die größten ökologischen und gesellschaftlichen Potenziale im Bereich des öffentlichen Verkehrs, der jedoch wirtschaftlich schwerer zu erschließen und institutionell komplexer zu organisieren ist. Entsprechend bewerten Industrieakteure Anwendungen im ÖPNV teilweise als ökonomisch wenig relevant und beteiligen sich primär aus technologischen Lerninteressen an entsprechenden Projekten. Daraus ergibt sich eine Divergenz zwischen öffentlicher Förderlogik und unternehmerischer Rationalität. Sollten politisch gewünschte, gemeinwohlorientierte Anwendungen realisiert werden, erfordert dies gezielte staatliche Rahmenbedingungen und An-

reize, da sich andernfalls vor allem die wirtschaftlich attraktiveren, jedoch klimapolitisch weniger vorteilhaften Nutzungspfade durchsetzen dürften.

Der arbeitsmarktbezogene Einfluss autonomer Mobilität ist stark vom jeweiligen Nutzungsszenario abhängig. Wird die Technologie systematisch in den ÖPNV integriert, entfallen zwar klassische Fahrerinnenstellen, jedoch entstehen laut Modellierungen nahezu in gleicher Größenordnung neue, höher qualifizierte und gut bezahlte Tätigkeiten in Leitstellen, Technik und IT (DB Regio AG, 2026, S. 105). Die Arbeitsinhalte verlagern sich dabei hin zu kognitiver Überwachung, Fehlerdiagnose und der Steuerung komplexer Systeme (Block et al., 2024; Schwindt et al., 2023). Wird autonome Mobilität hingegen überwiegend privat genutzt, sinkt der Beschäftigungseffekt im öffentlichen Verkehr. Stattdessen wächst die Nachfrage nach digitalen Services, KI-basierten Dienstleistungen und Plattformarbeit, die angesichts der Marktstruktur jedoch auch teilweise bei international agierenden, häufig ausländischen Technologieunternehmen entstehen dürften (DB Regio AG, 2026, S. 105). Gleichzeitig wird in den Interviews mit Vertreter:innen *des Verbands der Automobilindustrie e. V* sowie *dem Karlsruhe Institut für Technologie* darauf hingewiesen, dass Automatisierung nicht nur als Rationalisierungsprozess zu verstehen ist, sondern

auch als Reaktion auf einen bereits bestehenden und sich verschärfenden Fahrermangel. Insbesondere im öffentlichen Verkehr und im Gütertransport wird dieser zunehmend zu einem strukturellen Engpass, der die Sicherstellung von Mobilitäts- und Transportleistungen gefährdet. Im ÖPNV fehlten im Jahr 2025 bereits rund 20.000 Busfahrerinnen und Busfahrer sowie mindestens 3.000 Triebfahrzeugführerinnen und -führer (VDV, 2025). Gleichzeitig wird erwartet, dass der Personalbedarf bis 2030 um bis zu 21 % steigt und jährlich etwa 6.000 Beschäftigte altersbedingt ausscheiden. Dadurch verschärft sich die Fachkräftelücke weiter und gefährdet zunehmend die Zuverlässigkeit des Angebots (VDV, 2025). Auch in der Logistik ist die Situation angespannt, Prognosen zufolge werden bis 2028 mehr als 100.000 qualifizierte Fahrerinnen und Fahrer fehlen (Stölzle et al., 2023). Diese Entwicklung fällt mit einem erwarteten Wachstum der Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr von über 20 % bis 2030 zusammen, was die strukturellen Herausforderungen im gesamten Verkehrssystem zusätzlich verstärkt (BMVI, 2020). Automatisierte Systeme können hier dazu beitragen, bestehende Versorgungslücken zu schließen und die Funktionsfähigkeit zentraler Infrastrukturen aufrechtzuerhalten. Im Straßengüterverkehr wird der Fahrermangel zudem als gesamteuropäisches Problem beschrieben, das weit über einzelne Branchen hinausreicht und potenziell die Stabilität ganzer Wertschöpfungsketten betrifft.



MOIA und die BVG testen seit Oktober 2025 autonome Shuttles (VW ID. Buzz AD) im Berliner Nordwesten im Rahmen des Projekts NoWeL4, (Fotorechte liegen bei "MOIA")

Insgesamt befindet sich das autonome Fahren in Deutschland in einer frühen Übergangsphase zwischen intensiver Forschung und begrenzter praktischer Anwendung mit AVF als „emerging technology“ in einem frühen Transformationsstadium, deren Erprobung vor allem über räumlich und zeitlich begrenzte, häufig öffentlich geförderte Experimente erfolgt. Deren Beitrag zur systematischen Weiterentwicklung ist jedoch oft unklar (Fraske et al., 2025). Obwohl Deutschland zwar als erster Standort eine Betriebserlaubnis für ein Level-3-System im öffentlichen Raum vergeben hat (Block et al., 2024; Borowski et al., 2025) reicht der Entwicklungsstand für Level-4-Fahrzeuge noch nicht aus, um beliebige Strecken unter beliebigen Bedingungen selbstständig zu bewältigen. Zudem bleiben zahlreiche technische Einzelfragen wie Corner-Case-Erkennung, Robustheit der Hardware und Generalisierbarkeit der KI offen (Block et al., 2024). Damit liegt der TRL für Level-4-Anwendungen eher im Bereich 4 bis 6.

Parallel gibt es eine hohe Anzahl öffentlich geförderter Pilotprojekte in Deutschland. Borowski et al. zeigen zahlreiche Projekte, die einen realen autonomen Shuttlebetrieb getestet haben, wobei in 42 von 47 Projekten auf 59 Strecken ein Betrieb umgesetzt werden konnte (Borowski et al., 2025, S. 49). Dabei zielen die meisten Vorhaben vor allem auf Technologieerprobung, Fahrzeugtechnik und Kommunikation mit Fahrgästen, z. B. für On-Demand-Buchungen (Borowski et al., 2025, S. 49). Bundesweit existiert eine Vielzahl laufender oder kürzlich abgeschlossener Projekte im Bereich autonomer Shuttle- und On-Demand-Verkehre, die sowohl in urbanen Räumen als auch in ländlichen Regionen umgesetzt werden. Beispiele hierfür sind unter anderem NoWeL4 in Berlin, MINGA in München, KIRA in der Region Rhein-Main oder ALIKE in Hamburg. Diese Projekte verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen, etwa die Integration autonomer Systeme in den ÖPNV, die Erprobung neuer Betriebsmodelle oder die Weiterentwicklung von Leitstellen-

und Plattformlösungen (VDV, o.J.). Ein wirtschaftlich tragfähiger Dauerbetrieb in größerem Maßstab existiert jedoch nicht, vor allem wegen des teils im Detail unklaren Rechtsrahmens, hoher Kosten, des Fehlens tragfähiger Geschäftsmodelle und begrenzter Fahrzeugverfügbarkeit (Borowski et al., 2025, S. 50ff). Diese Ansicht wird auch in Interviews mit Experten geteilt, die angeben, dass Deutschland in vielen technologischen Fragen bereits relativ weit sei. Das Entscheidende sei vielmehr, dass Marktstrukturen, Finanzierungslogiken, Zuständigkeiten und regulatorische Rahmen nicht zusammenpassen. Daraus ergeben sich strukturelle Wettbewerbsnachteile für den Innovationsstandort Deutschland. Insbesondere bei höheren Automatisierungsstufen verliert Deutschland an Dynamik. Während es bei Level 2 bis 3 noch eine starke Position einnimmt (Block et al., 2024), dominieren internationale Akteure aus den USA und China bereits fortgeschrittene Anwendungen wie Robotaxi-Dienste (Zeit Online, 2025). Ursachen hierfür liegen vor allem in einem deutlichen Erfahrungsrückstand bei der Kommerzialisierung sowie im Fehlen tragfähiger und skalierbarer Geschäftsmodelle. Gleichzeitig wirken hohe Entwicklungs- und Integrationskosten sowie unzureichend koordinierte Ökosysteme hemmend auf die Marktdurchdringung (Block et al., 2024). Internationale Wettbewerber profitieren dagegen entweder von starker staatlicher Unterstützung, wie in China, oder von finanzstarken Konzernen mit hoher Risikobereitschaft, wie in den USA (Block et al., 2024, S. 44).

Hinzu kommt infrastruktureller Aufholbedarf wie etwa bei flächendeckender V2X-Infrastruktur, die die durch Funklücken, unzureichende kommunale Ressourcen und ungelöste Standardisierungsfragen beeinträchtigt wird (beispielsweise die Nutzung der Übertragungstechnologie über pWLAN vs. Mobilfunk), welche ebenfalls als Hindernisse für eine breite Skalierung wirken (Berrada et al., 2025; Block et al., 2024; Marsden et al., 2023). Ebenso werden für den Betrieb autonomer Shuttles Voraussetzungen wie Mindestfahrstreifenbreiten, eindeutige Markierungen und La-

deinfrastruktur hervorgehoben (Becciu & Kamau, 2024). Erst wenn serienreife Fahrzeuge, robuste Geschäftsmodelle und eine passende Infrastruktur zusammenkommen, sehen Borowski et al. ein hohes Skalierungspotenzial insbesondere bei der Integration von AV in den ÖPNV (Borowski et al., 2025, S. 53).

Die entwickelte Technik selbst ist grundsätzlich gut anpassbar. Anforderungen variieren je nach Operational Design Domain, Use Case und Betriebsmodell und können modular am effektivsten umgesetzt werden, um Fahrzeuge mit entsprechenden Ausstattungsmerkmalen bereitgestellt und infrastrukturelle Voraussetzungen für Use Cases im Bereich Sharing oder Logistik geschaffen werden (Block et al., 2024). Teleoperation wird als flexibles Backup für unbekannte Szenarien vorgesehen und ermöglicht eine Erweiterung der Einsatzbereiche trotz technischer Grenzen (Schwindt et al., 2023). Kulturvergleichende Studien deuten zudem darauf hin, dass Länderunterschiede im Fahrverhalten zwar existieren, aber klein genug sind, dass grenzüberschreitender Verkehr ohne grundlegende Anpassung des Fahrverhaltens funktioniert (Ehrhardt et al., 2024).

Die Liefer- und Wertschöpfungsketten sind in Teilen gut entwickelt, insgesamt aber noch nicht so stabil, dass eine großskalige Markteinführung jederzeit möglich wäre. Große Tier-1 Zulieferer in Deutschland (wie etwa Bosch oder Continental) verfügen über umfassendes Know-how in Fahrzeugbau und Industrialisierung und werden als wichtige Kooperationspartner für Sensorik, Aktuatorik und Recheneinheiten beschrieben (Block et al., 2024). Gleichzeitig nehmen neue internationale Akteure wie Nvidia, Qualcomm, Mobileye, Horizon Robotics oder Luminar in Schlüsselpositionen entlang der Wertschöpfungskette ein und sichern sich große Aufträge, was die Abhängigkeit von wenigen internationalen Technologieanbietern erhöht (Block et al., 2024). Kritische Rohstoffe und Chipfertigungskapazitäten liegen überwiegend außerhalb Europas und eine weitgehend vollständige, eigenständige Wertschöpfungskette existiert noch nicht, was als Standortrisiko für eine skalierte Produktion gewertet wird (Block et al., 2024; DB Regio AG, 2026).



Ein autonomer VW Shuttle hält vor dem Zebrastreifen, während eine Fußgängerin die Straße überquert. (Fotorechte liegen bei "MOIA")

# Akzeptanz und Konfliktpotenzial

# 05

Die Akzeptanzforschung zu automatisierten Fahrzeugen ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen, wobei seit 2014 ein rapides Wachstum stattfindet und allein 2021 mehr als 100 Artikel veröffentlicht wurden (Kacperski et al., 2025). Dies ist auch notwendig, da das Thema soziale Akzeptanz als zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung und Verbreitung automatisierter Mobilität in der Breite angesehen wird (Borowski et al., 2025; Fleischer et al., 2022; Weigl et al., 2022).

In diesen Studien wurden bereits eine Vielfalt an Faktoren identifiziert, die akzeptanzmindernd auf Menschen im Umgang mit automatisierten Fahrzeugen wirken. Zweifel und Vorbehalte bestehen vor allem bezüglich der Fähigkeit automatisierter Fahrzeuge, sichere Entscheidungen zu treffen. Harkin et al. (2024) berichten, dass AVs als „incompetent and unpredictable“ (S.10) wahrgenommen werden und Sorgen zu Sicherheit, Effizienz, Umweltwirkung, Privatsphäre und sozialer Gerechtigkeit bestehen. Zudem werden technische Ausfälle, Hacking und begrenztes situatives Verständnis als neue Risikoquellen gesehen (Schwindt et al., 2023).

Ein zentraler Aspekt ist die mangelnde Kommunikation und Informationsunsicherheit, die entsteht, wenn keine menschliche Ansprechperson vorhanden ist. Fahrgäste fühlen sich unsicher, wenn ihnen zuverlässige Informationen fehlen, und empfinden eine Sicherheitsbegleitung als beruhigend. Dieses Problem zeigt sich auch bei der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden, etwa wenn die Kommunikation (V2V, V2X) des Fahrzeugs unklar bleibt oder technisch gestört ist (Becciu & Kamau, 2024; Schwindt et al., 2023). Hinzu kommt ein verbreitetes Gefühl von Kontrollverlust, das durch technische Risiken und die Sorge vor einer Verschlechterung der Interaktion verstärkt wird (Har-

kin et al., 2024; Schwindt et al., 2023). Außerdem bestehen normative und kulturelle Vorbehalte, wie etwa die Befürchtung, dass durch eine stark automatisierte Umwelt Menschlichkeit verloren geht (Schippl et al., 2025). Da viele Menschen noch nie reale Erfahrungen mit AVs gemacht haben, beruhen ihre Bewertungen oft auf hypothetischen Vorstellungen, die tendenziell negativer ausfallen (Harkin et al., 2024). Auch ein fehlender persönlicher Nutzen kann die Akzeptanz mindern, selbst wenn die grundsätzliche Haltung zur Technologie positiv ist (Schippl et al., 2025). Weitere Akzeptanzhindernisse ergeben sich aus Sorgen vor sozialer Ungleichheit und Exklusion, etwa dem Risiko der Verstärkung bestehender Benachteiligungen oder unterschiedliche Zahlungsbereitschaften (Kacperski et al., 2025; Weigl et al., 2022) oder negativer gesellschaftlicher Auswirkungen, wie Arbeitsplatzverlusten oder einer Verschlechterung des Verkehrssystems (Harkin et al., 2024).

Dennoch bestehen weiterhin Wissenslücken, insbesondere hinsichtlich der Akzeptanz von nicht nutzenden Gruppen wie beispielsweise Fußgängern (Harkin et al., 2024). Die Forschung weist zudem eine Vielzahl heterogener Ansätze und Ergebnisse auf, sodass trotz breiter Untersuchungsbasis weiterhin offene Fragen bestehen (Schippl et al., 2025).

Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass erkannte Akzeptanzrisiken durchaus Lösungsansätze auf technischer und sozialer Ebene anregen, z.B. defensive Fahrstrategien, die das Vertrauen stärken können (Harkin et al., 2024). Gleichzeitig werden Informations- und Kommunikationsbedarfe (im Bereich HMI) adressiert, da fehlende Informationen für Passagiere ein Problem darstellen können (Becciu & Kamau, 2024). Testfahrten und reale Erfahrungen führen nachweislich zu höherer Sicherheit und Akzeptanz, weshalb sie zunehmend in Entwicklungsprozessen berücksichtigt

werden (Schippl et al., 2025). Dennoch kritisieren Fraske et al. (2025), dass Beteiligungsprozesse häufig zu kurz greifen und selten langfristige Anpassungen erzeugen, was die tatsächliche Umsetzung von Akzeptanzlösungen einschränkt.

Visionen und Tests mit der Technologie des AVF treffen auf bestehende gesellschaftliche Zielkonflikte und normative Unsicherheiten. Schippl (2024) beschreibt ein fehlendes Leitbild zukünftiger Mobilität als Konfliktquelle. Zudem birgt autonome Mobilität das Risiko, bestehende autozentrierte Strukturen zu stabilisieren oder sogar zu verstärken (Gauer et al., 2023), was wiederum dem öffentlichen Verkehr schaden kann (Schippl, 2024). Dabei erzeugen vor allem divergierende Visionen zwischen individueller Automobilität und geteilter nachhaltiger Mobilität Spannungen (Fraske et al., 2025). Ein zentrales Risiko besteht in der sozialen Selektivität. Marginalisierte Gruppen könnten ohne gerechte Strategien abgehängt werden (Kacperski et al., 2025) und räumliche wie soziale Ungleichheiten könnten sich ohne ein kritisches Hinterfragen bestehender autoabhängiger Systeme erhöhen. Daraus folgende Rebound-Effekte wie z. B. eine verstärkte Zersiedlung als Folge einer zunehmenden Nutzung privater AVF bergen ebenfalls Gerechtigkeitsrisiken (Gauer et al., 2023).

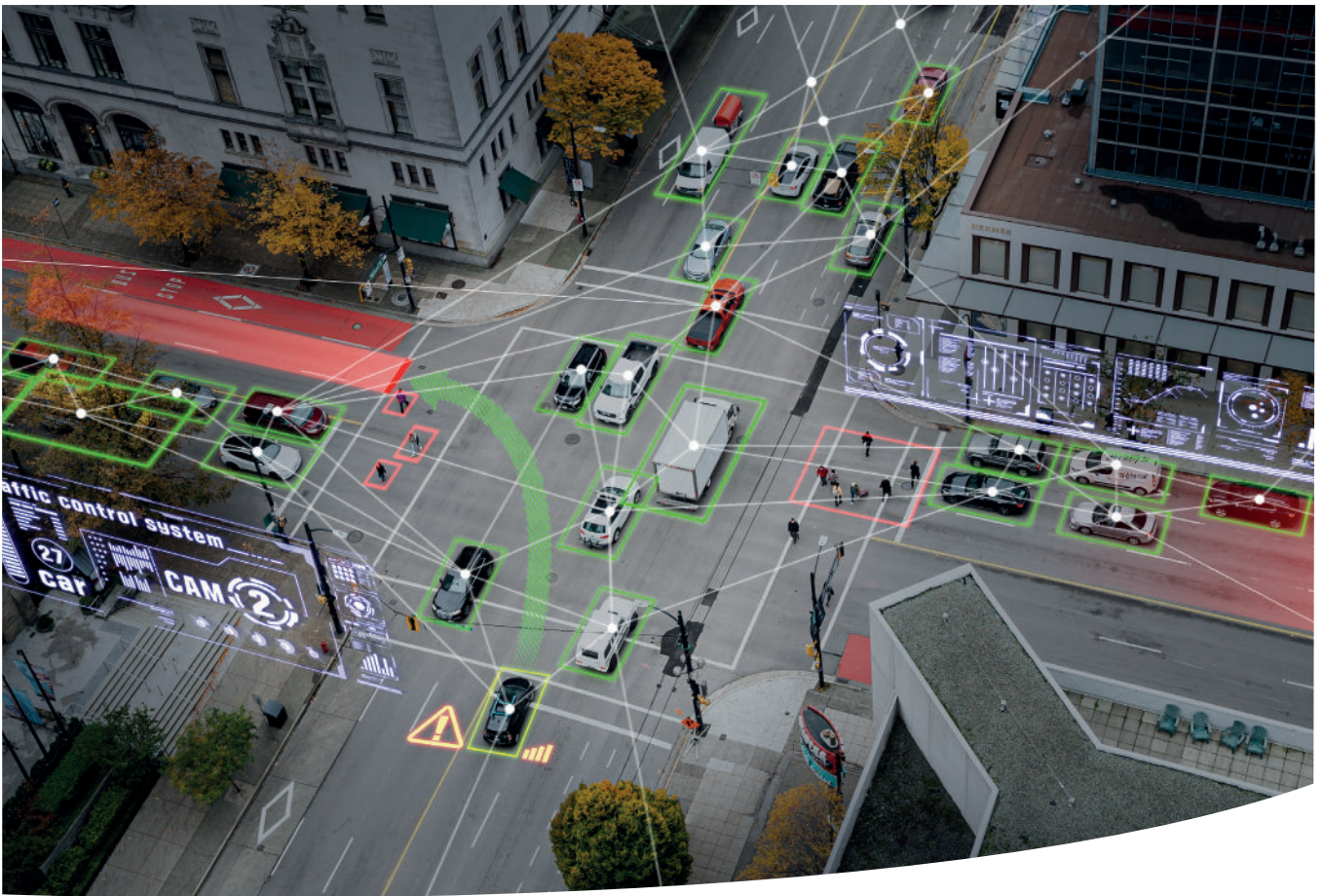
Akzeptanz lässt sich daher vor allem steigern, wenn Fragen der Gerechtigkeit und Inklusion systematisch mitgedacht und in eine kohärente mobilitätspolitische Strategie integriert werden. Gleichheit beim Zugang zu Mobilitätsdiensten, soziale Inklusion und Umweltaspekte sind demnach wichtige Faktoren für die Akzeptanz lokaler geteilter AVF-Dienste (Schippl et al., 2025). Soziodemografische und Nachhaltigkeitsaspekte sind entscheidend, um inklusive und gerechte Mobilitätslösungen zu fördern (Fraske et al., 2025).

Autonome Shuttles werden überwiegend als Chance gesehen, die Mobilität älterer oder weniger mobiler Menschen zu verbessern, was wiederum ihre gesellschaftliche Akzeptanz stärkt (Borowski et al., 2025; Schwarz & Faj, 2025). Gleichzeitig bestehen Barrieren wie fehlende Fahrerinformationen, die für Menschen mit geringer digitaler Kompetenz und Menschen, die allein unterwegs sind, problematisch werden können (Becciu & Kamau, 2024). Ein gerechter Zugang erfordert dabei nicht nur ein bestimmtes Fahrzeugdesign, sondern auch ortsspezifisch angepasste und inklusive Mobilitätsangebote, die insbesondere Menschen mit reduzierter Mobilität einbeziehen (Fraske et al., 2025). Wenn AV-Systeme ohne explizite Strategie zur Berücksichtigung von Aspekten der Mobilitätsgerechtigkeit eingeführt werden, laufen vor allem bereits benachteiligte Gruppen Gefahr, zurückgelassen zu werden (Kacperski et al., 2025). Vor allem autonome Fahrzeuge im Privatbesitz reproduzieren Effekte bereits bestehender autozentrierter Systeme, die wiederum räumliche und soziale Ungleichheiten verstärken können (Gauer et al., 2023). Zusätzlich kann eine preiswerte Verfügbarkeit autonomer Taxis bei entsprechender Attraktivität Fahrgäste vom öffentlichen Verkehr abziehen (Kaltenhäuser et al., 2020; Pakusch et al., 2018), was negative Verteilungseffekte und gesellschaftliche Folgen für den ÖPNV als solidarisch finanziertes System hat (DB Regio AG, 2026). Eine durch autonome Fahrzeuge induzierte Zersiedlung verstärkt zudem räumliche Ungleichheiten, weil Menschen ohne Auto oder ausreichendes Einkommen für lange Wege weiter benachteiligt wären (Gauer et al., 2023). Autonome Mobilität kann nur dann soziale Ungleichheiten abbauen, wenn sie richtig gestaltet wird. Besonders im ländlichen Raum können autonome Shuttles laut Borowski et al. (2025) Erreichbarkeit, Teilhabe und Lebensqualität verbessern und so soziale Ungleichheiten verringern (Borowski et al., 2025,

S. 47). Ein Daseinsvorsorge-Szenario mit autonomen Fahrzeugen als Teil des ÖPNV schneidet daher auch bei einer Studie der DB am besten ab (DB Regio AG, 2026)

In der Forschung wird deutlich hervorgehoben, dass automatisierte Fahrzeuge sicherheits- und ordnungsrelevante Risiken bergen können. Gauer et al. (2023) weisen darauf hin, dass vollautomatisierte Systeme anfällig für Missbrauch sind, insbesondere durch potenzielle Cyberangriffe oder technische Ausfälle, die schwerwiegende Folgen haben können. Zusätzlich zeigen Schwindt et al. (2023), dass neue Gefahren wie Hacking, technische Fehlfunktionen oder mangelndes situatives Verständnis der Systeme entstehen, die sowohl für Insassen als auch für andere Verkehrsbeteiligte sicherheitskritisch sein können. Ebenso wird im Interview mit einem Forschenden des *Karlsruher Institut für Technologie* auf ethische Fragestellungen hingewiesen, die, insbesondere im Falle realer Schadensereignisse, etwa bei Unfällen mit autonomen Fahrzeugen, schnell an Bedeutung gewinnen und grundlegende Fragen nach Verantwortung, Entscheidungslogiken und gesellschaftlicher Akzeptanz in den Vordergrund rücken können.

Die Literatur betont mehrfach, dass Partizipation ein zentraler Hebel zur Herstellung einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz automatisierter Mobilität ist. Laut Schippl (2024) ermöglichen partizipative Ansätze den Austausch zwischen unterschiedlichen Stakeholdern und helfen, gemeinsame Visionen sowie potenzielle Konflikte früh zu identifizieren. Duboz et al. (2022) nennen konkrete Formate wie Workshops, Trainings, öffentliche Konsultationen und Realversuche, die Bürgerinnen und Bürger aktiv, etwa in das Design der Use Cases, einbinden und so Akzeptanzbarrieren abbauen können. Gleichzeitig kritisieren Fraske et al. (2025), dass bisherige Beteiligungsprozesse oft auf kurzfristige Pilotphasen beschränkt bleiben und dadurch keinen nachhaltigen Einfluss auf die Ausgestaltung der Technologie haben. Sie fordern eine umfassendere Co-Design-Kultur, in der lokale Nutzerinnen und Nutzer kontinuierlich in Entscheidungs- und Designprozesse eingebunden werden, um realistische, inklusive und sozial eingebettete Mobilitätsszenarien zu entwickeln. Solche dauerhaften Beteiligungsformate, die nicht rein informativen Charakter haben (Arnstein, 1969), gelten als besonders wirksam, um Vertrauen aufzubauen und Akzeptanz langfristig zu fördern.



Simulation eines integrierten Steuerungssystems und autonomen Fahrens in einer Smart City, (Adobe Stock, Choi\_ Nikolai)

# Regulatorische Hebel und Steuerungsbedarfe **06**

Mit dem Gesetz zum autonomen Fahren von 2021, das Level-4-Fahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen erlaubt, und die *Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebs-Verordnung* (AFGBV, 2022) wurde Deutschland zum ersten Staat weltweit, der den Einsatz von Fahrzeugen ohne Fahrer:in im Mischverkehr auf eine rechtlich sichere Basis stellt (Block et al., 2024). Es zeigt sich, dass der deutsche Rechtsrahmen durchaus anpassungsfähig ist, die Forschung weist aber darauf hin, dass dieser laufend weiterentwickelt werden muss (Borowski et al., 2025; Yamasaki et al., 2025). Block et al. (2024) nennen fehlende einheitliche Validierungs-, Zulassungs- und Updateprozesse sowie unterschiedliche Zuständigkeiten in den Bundesländern, bürokratische Verfahren und unklare Anforderungen als Gründe, dass Akteure erhebliche Unsicherheiten sehen, was wiederum die Skalierung und den Markteintritt hemmt.

Der Rechtsrahmen hält zudem mit der technischen Entwicklung kaum Schritt (Kacperski et al. 2025) und auch für die EU und Deutschland werden die Regeln zu AVF noch immer als unvollständig und außergewöhnlich vage Richtlinien beschrieben, die wesentliche ethische und technische Fragen nicht adressieren (Sütfeld et al., 2025). Sütfeld et al. zeigen, dass sowohl EU-Vorgaben als auch deutsche Regelwerke z. B. essenzielle Anforderungen an algorithmische Entscheidungen ignorieren, insbesondere die Realität probabilistischer Wahrnehmung, die Notwendigkeit von Proportionalitätsabwägungen sowie die systemische Risikoverteilung zwischen unterschiedlichen Gruppen von Verkehrsteilnehmenden. Die Vorschriften adressieren weder klar, wie autonome Systeme Entscheidungen in Konfliktsituationen treffen sollen, noch legen sie fest, welche ethischen Faktoren (Verletzbarkeit, Verantwortungsanteile, Schutzpflichten) zwingend berücksichtigt werden müssen. Die Vagheit des Rechts entsteht unter anderem dadurch, dass traditionelle Verkehrsregeln auf menschliche

Urteilsfähigkeit zugeschnitten sind und selten exakt numerisch definiert geschweige denn exakt umgesetzt werden (Sütfeld et al., 2025). Für autonome Fahrzeuge müssten jedoch klare Vorgaben existieren, wann Regeln überschritten oder angepasst werden dürfen, wie Risiko-Nutzen-Abwägungen erfolgen sollen und wie fair verteilte Sicherheit gewährleistet wird. Da solche Konkretisierungen fehlen, haben Hersteller große Interpretationsfreiheit, die sich auf öffentliche Werte wie Sicherheit, Gerechtigkeit und Transparenz auswirken kann (Sütfeld et al., 2025). Sütfeld et al. (2025) plädieren daher für klare Grenzen und Leitlinien für die in den jeweiligen Algorithmen eingebetteten ethischen Werte. Kouroutakis beschreibt die Gesetzgebungsverfahren zudem als langsam und mit hohen Transaktionskosten verbunden, sodass in der Praxis häufig die Gerichte die Aufgabe übernehmen, das Recht an neue technologische Entwicklungen anzupassen (Kouroutakis, 2019).

Deutschland liegt zwar bei Gesetzesänderungen zum autonomen Fahren vorn, die Umsetzung sollte aber in einem verantwortungsvollen Multi-Level-Governance-Prozess erfolgen, der keine schnelle Realisierung verspricht, langfristig aber demokratische Legitimität sichern kann (Yamasaki et al., 2025). Zahlreiche Veröffentlichungen verweisen auf eine Vielzahl von Pilotprojekten in Deutschland (Becciu & Kamau, 2024; Berrada et al., 2025; Borowski et al., 2025; Fraske et al., 2025; Schwarz & Faj, 2025), darunter viele öffentlich geförderte Vorhaben in Kommunen, die autonome Fahrzeuge aus geschlossenen Testfeldern auf die Straßen bringen und Bürgerinnen und Bürgern direkte Erfahrungen ermöglichen (Schwarz & Faj, 2025). Fraske et al. betonen allerdings, dass diese Experimente häufig isolierte Trials bleiben, die von übergeordneten Fragen des Mobilitätssystems abgekoppelt sind und nur lose in die Transformations- und Transitionsliteratur eingebettet werden (Fraske et al., 2025). Die Förderbedingungen verbieten meist einen sich selbst tragenden kommerziellen Weiterbetrieb der Infrastruktur nach Projektende, weshalb Anlagen wieder stillgelegt

oder zurückgebaut werden. Eine systematische Skalierung aus diesen Reallaboren heraus findet daher kaum statt (Block et al., 2024). Im Vergleich zu China beispielsweise übernimmt der deutsche Staat keine stark orchestrierende Rolle mit großvolumigen Programmen und staatlichen Akteuren, sondern bleibt fragmentierter (Block et al., 2024). Borowski et al. (2025) empfehlen daher, Projektfördermittel gezielt Projekten zukommen zu lassen, die auf ganzheitliche Integration und längere Laufzeit statt auf Kleinteiligkeit setzen. Eine bessere Koordination zwischen der Vielzahl an Projekten soll ebenso zum Wissensaufbau beitragen (Borowski et al., 2025, S. 53). Block et al. (2024) empfehlen ebenso skalierungsfähige Anwendungsfälle „nahe Marktreife“ direkt im kommerziellen Realbetrieb zu fördern, um erfahrungsbasierte Unsicherheit abzubauen. So scheint es sinnvoll, einige skalierungsfähige Anwendungsfälle mit breitem gesellschaftlichem Nutzen vor allem im ÖPNV gezielt und auch über öffentliche Beschaffung zu fördern und die Förderung mit wachsender Skalierung wieder zurückzufahren (Block et al., 2024; Borowski et al., 2025). Die zentralen Herausforderungen liegen weniger in der Technologie als im fehlenden Zusammenspiel von Marktstrukturen, Förderlogiken und regulatorischen Rahmenbedingungen, um gesellschaftlich wünschenswerte Anwendungen wie im ÖPNV zu ermöglichen. In einem Interview mit einem Experten des *Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation* wird darauf hingewiesen, dass das bestehende ÖPNV-System hierfür grundlegend neu gedacht werden müsste, um autonomes Fahren sinnvoll zu integrieren. Insbesondere verhindern komplexe Zuständigkeiten und Finanzierungsstrukturen die Umsetzung entsprechender Anwendungen, sodass ohne gezielte politische Steuerung vor allem wirtschaftlich attraktive, jedoch weniger nachhaltige Nutzungspfade dominieren.

Eine übergreifende Strategie, die Forschung, Entwicklung, Produktion und Förderung von AVF-Systemen systematisch miteinander verbindet, fehlt bislang. Dadurch entstehen weder die Voraussetzungen für einen eigenständigen Markt noch für eine nachhaltige Senkung der Stückkosten (Block et al., 2024). Dies wird als zentrales Herausforderungsfeld, sowohl in der Literatur als auch in Inter-

views mit Experten benannt. Diese fehlende Agenda kritisiert auch Schippl (2024): automatisierte Fahrzeuge sollten nicht als Selbstzweck verstanden werden, sondern als Werkzeuge, um gesellschaftlich gewünschte Ziele zu erreichen. Entscheidend ist daher, dass wir zuerst klären, welche Zukunft wir anstreben und welche Technologien dafür notwendig sind. Politik und Gesellschaft müssen frühzeitig Leitbilder setzen, damit sich keine unerwünschten, nicht nachhaltigen Pfadabhängigkeiten verfestigen (Schippl, 2024). Dafür braucht es breit akzeptierte normative Orientierung, gesellschaftliche Debatten und partizipative Prozesse, in denen unterschiedliche Akteure gemeinsame Ziele und Visionen entwickeln.

Um diese strategische Lücke zu schließen, empfehlen Block et al. den Aufbau einer nationalen Koordinationsstelle für automatisiertes und vernetztes Fahren. Diese soll Anwendungsfälle systematisch unterstützen, Wissen über technische Grenzfälle und tragfähige Geschäftsmodelle bündeln und als zentrale Abstimmungsplattform zwischen Industrie, Wissenschaft, Verwaltung und Normungsinstitutionen dienen (Block et al., 2024). Zugleich wurden mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie 2024 agile Kooperations- und Vernetzungsstrukturen wie die Initiative Ecosystem Mobility 4.0<sup>1</sup> geschaffen. Diese verfolgt das Ziel, gemeinsam mit Akteuren aus Industrie, Wissenschaft und öffentlicher Hand eine offene digitale Basis insbesondere für autonome On-Demand-Shuttles im ÖPNV aufzubauen sowie deren Einführung und Skalierung zu unterstützen. Vor dem Hintergrund der hohen technologischen Dynamik im automatisierten und vernetzten Fahren erscheinen solche flexiblen Innovationsökosysteme derzeit besonders wertvoll. Auch auf gesellschaftlicher Ebene sehen sie erheblichen Handlungsbedarf. Gefordert wird ein strukturierter Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern, etwa über Bürgerdialoge, Online-Beteiligungsplattformen oder runde Tische zur Verkehrswende. In solchen Formaten sollen Fragen der Akzeptanz, des Sicherheitsniveaus und der gerechten Verteilung von Mobilitätschancen diskutiert werden (Block et al., 2024). Eine entsprechende öffentliche Kommunikation und mediale Begleitung kann dabei unterstützend wirken und die gesellschaftliche Akzeptanz weiter stärken (Schwarz & Faj, 2025).

---

1. <https://ecosystemmobility40.de>

# Empfehlungen zur Forschungsagenda

# 07

Diese Analyse zeigt, dass der gesellschaftliche und ökologische Nutzen des autonomen Fahrens nicht allein von der Technik abhängt, sondern vor allem von den Nutzungsszenarien, den Governance-Strukturen, den Preisstrukturen und der Einbettung in das Mobilitätssystem. Ebenso entscheiden Faktoren wie Akzeptanz, Gerechtigkeit, Sicherheit oder Stadtentwicklung darüber, ob AVF gesellschaftlich tragfähig wird. Daher kann transdisziplinäre Forschung entscheidende Weichen stellen.

Sie ermöglicht es, Szenarien und Reallabore zu testen und ganzheitlich zu bewerten, unterschiedliche Akteure in gemeinsame Zielbilder einzubinden und technische sowie regulatorische Fragen zusammenzuführen. So lassen sich klimawirksame Leitbilder empirisch untermauern, Governance-Optionen hinsichtlich ihrer ökologischen und sozialen Effekte prüfen und Zusammenhänge zwischen Technikdesign, Geschäftsmodellen und Nutzungsroutinen sichtbar machen.

## Transdisziplinäre Forschung zur Entwicklung und Vermarktung klimaneutraler Technologien und Nutzungskonzepte

### Strategische Marktpositionierung durch ökologische Glaubwürdigkeit und klimafreundliche Nachfrageeffekte

Ein wiederkehrendes Ergebnis der Forschung ist, dass der größte gesellschaftliche, ökologische und verkehrliche Nutzen des autonomen Fahrens im öffentlichen Verkehr und in geteilten Angeboten entsteht. Über verschiedene Studien hinweg schneiden gemeinschaftlich organisierte Modelle wie autonome Shuttles, Ride-Pooling im ÖPNV oder bedarfsorientierte Verkehre der Daseinsvorsorge deutlich besser ab als privatwirtschaftliche oder rein an individuellem Komfort orientierte Ownership-Modelle. Die Forschung zeigt, dass viele Risiken, etwa die Schwächung des ÖPNV, steigender Verkehr, exklusive Angebote oder soziale Ungleichheiten, vor allem in solchen Szenarien auftreten, in denen AVF primär privat oder rein marktorientiert eingeführt werden. Studien unterscheiden sich allerdings noch stark in der Bezifferung der jeweiligen Klimawirkungen, Rebound-Effekte und Effizienzgewinne. Hieraus ergeben sich Forschungsfragen, die in Zukunft noch genauer betrachtet werden sollten.

Notwendig ist eine klare, stringente Modellierung/Simulation von Klimawirkungen von Use Cases. Besonders aufschlussreich ist der Vergleich von Klimawirkungen in Abhängigkeit von variierenden Betriebsmodellen und Anwendungsszenarien. Besonders relevante Fragen für die sozial-ökologisch ausgerichtete Forschung sind:

- Wie verändert sich das Nachfrageverhalten von Nutzerinnen und Nutzern mittel- bis langfristig, wenn AVF Sharing-Angebote (Ride-Pooling/Ride-Hailing; privat betrieben/im Rahmen des ÖPNV betrieben) verfügbar sind?
- Wie können regulatorische Randbedingungen und Ausführungsbestimmungen so gestaltet werden, dass der Einsatz des AVF in der Tendenz positive Klimawirkungen im Verkehrssystem zeigt und weniger klimafreundliche Nutzungen vermieden werden?

Entwicklung vergleichender Klimasimulationen für unterschiedliche AVF-Betriebsmodelle und Ausgestaltung regulatorischer Rahmenbedingungen zur gezielten Steuerung klimafreundlicher Nachfrageeffekte.

### Strategische Marktpositionierung durch ökologische und nachhaltige Betriebs- und Infrastrukturbedingungen

Um die potentiellen Effizienzgewinne des AVFs tatsächlich auf der aggregierten Ebene des Verkehrssystems heben zu können, bedarf es Forschung dazu, wie verhaltensbezogene, betriebliche und infrastrukturelle Bedingungen des Einsatzes so gestaltet werden können, dass Rebound, Substitution und niedrige Besetzungsgrade autonomer Fahrzeuge vermieden werden können.

- Im Einzelnen ist hierbei eine entscheidende Frage, wie sich auf der individuellen Ebene der Nutzerinnen und Nutzern Anreizstrukturen und -gelegenheiten so gestalten lassen, dass die Einführung von Angeboten des AVF nicht zur Verschiebung von Modalentscheidungen zu Ungunsten des Umweltverbundes führt bzw. dass die Nutzung des AVF Wege mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes nicht substituiert.
- Wie können Anreiz- und Gelegenheitsstrukturen des AVF und die Organisation von (Zu-

bringer-)Fahrten im Verkehrssystem dauerhaft so organisiert werden, dass möglichst keine Leerfahrten entstehen und der Besetzungsgrad der Fahrzeuge möglichst hoch ist?

Forschung zu Anreiz-, Betriebs- und Infrastrukturbedingungen, die Rebound-Effekte vermeiden, den Umweltverbund stärken und dauerhaft hohe Besetzungsgrade sowie geringe Leerfahrten autonomer Fahrzeuge sichern.

Die positiven Klimawirkungen des AVF sind davon abhängig, dass Fahrzeuge mit klimafreundlich gewonnenem Strom betrieben werden. In diesem Kontext ist Forschung nötig, die für konkrete ortsbezogene Use Cases simuliert, welche Form der Ladeinfrastruktur und zu welchem Preis „grüner Strom“ vorhanden sein muss, um eine Versorgung der Fahrzeuge mit klimafreundlichem Strom zu gewährleisten und dadurch einen kostendeckenden Betrieb zu ermöglichen.

Entwicklung ortsbezogener Use Cases, die Anforderungen an Ladeinfrastruktur und Kostenstrukturen für den Einsatz klimafreundlich betriebenen AVF präzise bestimmen.

## Transdisziplinäre Forschung zum Aufbau einer klaren Mobilitätsagenda und Sicherung der Anschlussfähigkeit

### Deutschland als Referenzmarkt durch eine klare Mobilitätsagenda und Integration von AVF in den ÖPNV

Angesichts der stark unterschiedlichen Wirkungen verschiedener Szenarien gilt eine klare staatliche Agenda als zentrale Voraussetzung, um gesellschaftliche Ziele zu erreichen. Mehrere Autorinnen und Autoren kritisieren, dass automatisierte Fahrzeuge bislang oft als Selbstzweck (Schippl, 2024) entwickelt würden und nicht ausreichend als Instrumente zur Erreichung gesellschaftlicher Ziele begriffen werden. Notwendig sei deshalb eine offene politische Diskussion darüber, welche Zukunft des Verkehrs angestrebt wird, welche Rolle auto-

nome Mobilität darin spielt und wie Technikentwicklung, Regulierung, öffentliche Beschaffung und Stadtentwicklung dafür koordiniert werden können. Damit verbunden ist die Notwendigkeit, Forschung und Förderung stärker an konkreten Anwendungspfaden auszurichten. Die technologischen Anforderungen unterscheiden sich erheblich je nach Einsatzbereich: Systeme für den automatisierten ÖPNV folgen anderen Anforderungen als Anwendungen im privaten Premiumsegment. Eine differenzierte Förderung verschiedener Entwicklungspfade ist daher notwendig, um technologische Lösungen gezielt an gesellschaftlich gewünschten Einsatzfeldern auszurichten.

Aus regulatorischer Perspektive stellt sich die Frage, wie eine Governance-Struktur gestaltet sein müsste, um die Einführung des AVF in eine kohärente Mobilitätsstrategie zu integrieren, die das AVF als einen Hebel unter anderen begreift, um ökologisch und sozial positive Effekte im Verkehrssystem zu bewirken. Besonderer Fokus liegt darauf, dass das AVF bestehende verkehrliche Strukturen, Mobilitätsangebote und gesellschaftliche Mobilitätsroutinen klimafreundlich ergänzt. Insofern die Einbettung des autonomen Fahrens in den ÖPNV den größten Klimanutzen verspricht, sollte die Koordination und Einbettung des AVF in bestehende und neu zu schaffende Strukturen des ÖPNV im Zentrum der Governance-Strategie und der zu entwickelnden Maßnahmen stehen. Um die Potenziale autonomer Systeme im öffentlichen Verkehr zu nutzen, ist eine grundlegende Weiterentwicklung bestehender ÖPNV-Strukturen erforderlich. Insbesondere Zuständigkeiten, Finanzierungslogiken und Betriebsformen sollten hinterfragt und reformiert werden, um flexible und bedarfsgerechte Angebote schaffen zu können.

Ein grundsätzlicher Tenor, der sich in den Gesprächen mit Expert:innen widerspiegelt, ist, dass die Technologie weitgehend vorhanden ist, jedoch noch nicht ausreichend unter realen und gleichzeitig sicheren Rahmenbedingungen getestet wird. Als zentrales Problem werden dabei die langen Zeitläufe benannt, sodass von der Studie bis zur Genehmigung oft mehrere Jahre vergehen, sowie Ausschreibungen, die oft unflexibel sind, wenn sie früh zu viele Rahmenbedingungen festlegen und experimentelles Vorgehen erschweren. Expert:innen empfehlen daher den Aufbau einer nationalen Koordinationsstelle für automatisiertes und vernetztes Fahren, die als zentrale Schnittstelle zwischen Industrie, Wissenschaft, Verwaltung und Normungsinstitutionen fungiert. Es ist daher Forschung dazu nötig, wie eine strategisch sinnvolle Förderung und Koordinierung von Piloten so gestaltet wird, dass sie tatsächlich auf übergreifende mobilitätspolitische Ziele einzahlt.

Aufbau einer klaren staatlichen Mobilitätsagenda und einer kohärenten Governance-Struktur, die autonome Fahrzeuge gezielt als Instrument für ökologische und soziale Ziele einsetzt, ihre Einbettung in den ÖPNV priorisiert und Pilotprojekte strategisch auf übergreifende Zielsetzungen ausrichtet.

### Sicherung der Anschlussfähigkeit durch Akzeptanz und Co-Design

Neben diesen Bedarfen besteht außerdem ein dringender Forschungsbedarf zur Entwicklung von Beteiligungs- und Co-Design-Prozessen, die über punktuelle Informationsangebote hinausgehen und eine kontinuierliche Mitgestaltung durch unterschiedliche Nutzergruppen ermöglichen. Darauf aufbauend sollten konkrete Anforderungen an Mensch-Maschine-Interaktion, Informationsangebote, Tarifmodelle und Servicegestaltung systematisch aus Akzeptanz- und Gerechtigkeitsforschung abgeleitet werden. Zugleich gilt es, die besonderen Bedürfnisse marginalisierter Gruppen, älterer Menschen und Personen mit eingeschränkter Mobilität in technische Spezifikationen und betriebliche Konzepte zu übersetzen, damit autonome Mobilitätssysteme inklusiv gestaltet werden und einen gerechten Zugang zu Mobilität unterstützen.

Aufbau kontinuierlicher Beteiligungs- und Co-Design-Prozesse, die Anforderungen an Interaktion, Service und Tarifgestaltung aus Akzeptanz- und Gerechtigkeitsforschung ableiten und diese in inklusive technische und betriebliche Konzepte für autonome Mobilität übersetzen.

# Transdisziplinäre Forschung zur Entwicklung harmonisierter Regelungen und Betriebsbedingungen

## Vom Pilotprojekt zum Regelbetrieb: Unterstützung der Umsetzung und gezielte Steuerung hin zu gemeinwohlorientierten Anwendungen

Die Literatur zeigt, dass der Standort Deutschland sehr starke industrielle Kompetenzen im Bereich Hardware, Fahrzeugbau, Sensorik und Systemintegration besitzt, während Software, Daten- und Servicekompetenzen sowie skalierte Sharing-Modelle schwächer ausgeprägt sind. Gleichzeitig gibt es eine Vielzahl öffentlich geförderter Piloten, aber wenig Skalierung, eine fragmentierte Förderlandschaft und eine fehlende übergreifende Agenda. Transdisziplinäre Forschung ist hier nötig um den Übergang von Experiment zu Regelsystem zu erleichtern und erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Technik nicht an sozialen, rechtlichen oder organisatorischen Hürden scheitert.

Ein Thema der Interviews ist zudem die Diskrepanz zwischen öffentlichen Förderzielen und der wirtschaftlichen Rationalität von Unternehmen. Anwendungen des automatisierten Fahrens im ÖPNV gelten aus Industriesicht häufig als nur begrenzt wirtschaftlich attraktiv und werden daher primär aus technologischen Lerninteressen verfolgt. Daraus ergibt sich ein strukturelles Spannungsfeld: Während die größten gesellschaftlichen und ökologischen Potenziale im öffentlichen Verkehr liegen, entstehen marktwirtschaftliche Anreize eher in anderen Anwendungsfeldern. Gesellschaftlich gewünschte Anwendungen entstehen daher nicht allein durch Marktmechanismen, sondern erfordern gezielte regulatorische Rahmenbedingungen und Anreize, um ihre Entwicklung und Skalierung zu ermöglichen. Transdisziplinäre Forschung kann hier einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie diese Zielkonflikte sichtbar macht und evidenzbasierte Grundlagen für zielgerichtete Rahmenbedingungen schafft.

## Stärkung von Harmonisierung und Modularisierung zur besseren Integration autonomer Systeme

In Bezug auf die ökonomische Skalierung besteht Forschungsbedarf hinsichtlich harmonisierter Regelungen und Betriebsbedingungen auf der EU-Ebene. Ebenso besteht Forschungs- und Erprobungsbedarf hinsichtlich der Frage, wie die kostensparenden Potentiale des AVF (Einsparung von Arbeitskräften, energieeffiziente Fahrweise und Disposition, hohe Besetzungsgrade, etc.) im Realbetrieb auf aggregierter Ebene eines räumlich eingegrenzten Verkehrssystems gehoben werden können. Es besteht zudem Forschungsbedarf hinsichtlich standardisierter Fahrzeugkonzepte, etwa modularer AVFs für den ÖPNV. Die Modularisierung von AVFs kann ihre Integration in den ÖPNV erleichtern. Durch modulare Fahrzeugkonzepte lassen sich unterschiedliche infrastrukturelle und betriebliche Anforderungen in verschiedenen Einsatzgebieten sowie bei verschiedenen Verkehrsbetrieben flexibler berücksichtigen, etwa hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ladestationen, des benötigten Personals oder der Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Linienbetriebs. Nicht-standardisierte und nicht-modulare Konzepte bieten diese Anpassungsfähigkeit in geringerem Maße.

Stärkung von Software-, Daten- und Skalierungskompetenzen durch koordinierte Förderstrategien, EU-weit harmonisierte Rahmenbedingungen und die Entwicklung modularer, standardisierter Fahrzeugkonzepte, um den Übergang vom Pilotprojekt zum integrierten Regelsystem zu ermöglichen.

# Referenzen

- Arnstein, S. R. (1969). A Ladder Of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216–224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Becciu, Dr. A., & Kamau, Prof. Dr. E. N. (2024). *Challenges of Infrastructures for autonomous Buses in Cities: A review*. AmEC 2024 - Automotive meets Electronics & Control.
- Berrada, J., Hassan Mahdavi, S. M., Quaranta, R., Rodríguez, P., Ferran, V., & Weidenauer, J. (2025). Driving the Future: Unveiling Innovative Business Models for Shared Automated Mobility Services. In H. Cornet & M. Gkemou (Hrsg.), *Shared Mobility Revolution* (S. 199–214). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71793-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71793-2_12)
- Block, L., Hermann, F., Wizl, J., Bormann, D., Bratzel, S., & Böbber, F., (2024). *Deutschland zum Innovationsstandort für das automatisierte und vernetzte Fahren machen*. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Center of Automotive Management (CAM).
- Borowski, M., Seisenberger, S., & Kinigadner, J. (2025). *Projekte in Deutschland zum autonomen Fahren im ÖPNV auf der Straße* (Version 1.0) [Dataset]. Technical University of Munich. <https://doi.org/10.14459/2025MP1797209.001>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2020). *Fahrermangel im deutschen Straßengüterverkehr: Strukturelle Treiber und verkehrspolitischer Handlungsbedarf*. Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/fahrermangel-deutscher-strassengueterverkehr.pdf>
- DB Regio AG. (2026). *Autonomes Fahren—Schlüssel zur Mobilität von Morgen*. ioki GmbH, Karlsruher Institut für Technologie, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., & Prognos AG. [https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart\\_zentrales\\_uebersicht/Studie-Autonomie-Fahrzeuge-koennen-Qualitaet-im-OePNV-massiv-verbessern-13715222](https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Studie-Autonomie-Fahrzeuge-koennen-Qualitaet-im-OePNV-massiv-verbessern-13715222)
- Ehrhardt, S., Merat, N., Daly, M., Solernou Crusat, A., & Deml, B. (2024). Comparing implicit communication via longitudinal driving dynamics: A cross-cultural study in Germany and the UK. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 102, 278–293. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.03.008>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Fleischer, T., Puhe, M., Schippl, J., & Yamasaki, Y. (2022). Public Expectations Regarding the Longer-term Implications of and Regulatory Changes for Autonomous Driving: A Contribution to the Debate on its Social Acceptance. *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1268–1273. <https://doi.org/10.1109/IV51971.2022.9827210>
- Fraske, T., Weiser, A., Schrapel, M., Schippl, J., Lang, D. J., & Vinel, A. (2025). Driving change? Exploring the role of socio-technical experiments in shaping autonomous mobility transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 56, 100993. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2025.100993>
- Garus, A., Orena, B. A., & Raposo, M. A. (2024, August). *Estimation of Environmental Rebound Effect Induced by Shared Automated Passenger Transport Service in a Mid-Size European City via Microsimulation*. <https://doi.org/10.1177/03611981231223752>

Gauer, V. H., Axsen, J., Dütschke, E., Long, Z., & Kelber, A. (2023). Who is more attached to their car? Comparing automobility engagement and response to shared, automated and electric mobility in Canada and Germany. *Energy Research & Social Science*, 99, 103048. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103048>

Harkin, K. A., Harkin, A. M., Kummerer, K., Ringhand, M., & Petzoldt, T. (2024). *Acceptance Towards Automated Vehicles in Urban Traffic: A Survey of Pedestrian's Attitudes and Behavioral Intentions*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4856914>

Henao, A., & Marshall, W. E. (2019). The impact of ride-hailing on vehicle miles traveled. *Transportation*, 46(6), 2173–2194. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9923-2>

Kacperski, C., Ulloa, R., Wautelet, J., Vogel, T., & Kutzner, F. (2025). Enhancing autonomous vehicle acceptance with age and education sensitive simulation interventions: An experimental trial. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 194, 104415. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104415>

Kaltenhäuser, B., Werdich, K., Dandl, F., & Bogenberger, K. (2020). Market development of autonomous driving in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 882–910. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.001>

Kouroutakis, A. E. (2019). Autonomous Vehicles; Regulatory Challenges and the Response From UK and Germany. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3441264>

Kuhnimhof, T., Miyoshi, H., Taniguchi, A., Suzuki, S., Hasegawa, Y., Fleischer, T., & Eisenmann, C. (2025). Setting the Scene for Automated Mobility: A Comparative Introduction to the Mobility Systems

in Germany and Japan. In C. Eisenmann, D. Seibert, T. Fleischer, A. Taniguchi, & T. Oguchi (Hrsg.), *Acceptance and Diffusion of Connected and Automated Driving in Japan and Germany* (S. 7–55). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0_2)

Lamberg, J. (2025). *Beitragspotenziale eines autonomen ÖPNV zur Sicherung der Daseinsvorsorge*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-50160-0>

Letmathe, P., & Paegert, M. (2025). Automated vehicles and sustainability when considering rebound effects. *PLOS ONE*, 20(8), e0329193. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329193>

Marsden, N., Kocsis, M., Dierolf, N., Herling, C., Hujer, J., & Zöllner, R. (2023). Research for Responsible Innovation: A Living-Lab Approach for Last-Mile Logistics Using a Self-Developed Autonomous Transport System. In H. Krömker (Hrsg.), *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems* (Bd. 14048, S. 316–333). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_21)

Onat, N., Mandouri, J., & Sen, B. (2023, Oktober 6). *Rebound effects undermine carbon footprint reduction potential of autonomous electric vehicles | Nature Communications*. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-41992-2>

Pakusch, C., Stevens, G., Boden, A., & Bossauer, P. (2018). Unintended Effects of Autonomous Driving: A Study on Mobility Preferences in the Future. *Sustainability*, 10(7), 2404. <https://doi.org/10.3390/su10072404>

PricewaterhouseCoopers (PwC) Deutschland. (2025). Robo-Bus-Radar 2025: Autonomes Fahren im ÖPNV wird Realität. <https://www.pwc.de/de/branchen-und-markte/oeffentlicher-sektor/pwc- robo-bus-radar-2025.pdf>

- Roos, M., & Siegmann, M. (2022). Wie das autonome Fahren die Verkehrswende unterstützt oder gefährdet. In H. Proff (Hrsg.), *Transforming Mobility – What Next? Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte* (S. 797–812). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-36430-4\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-658-36430-4_47)
- Schippl, J. (2024). Technology assessment and the governance of automated vehicles: A Collingridge-dilemma or a lack in normative orientation? *Journal of Responsible Innovation*, 11(1), 2342594. <https://doi.org/10.1080/23299460.2024.2342594>
- Schippl, J., Fleischer, T., & Puhe, M. (2025). *Social Acceptance of Autonomous Vehicles: Conceptual Considerations and Empirical Insights from an Interview-Study*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5079508>
- Schrömbges, M., Seibert, D., & Thomsen, N. (2025). Transportation Effects of Connected and Automated Driving in Germany. In C. Eisenmann, D. Seibert, T. Fleischer, A. Taniguchi, & T. Oguchi (Hrsg.), *Acceptance and Diffusion of Connected and Automated Driving in Japan and Germany* (S. 163–193). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0_6)
- Schwarz, A., & Faj, T. (2025). *Public versus individual autonomous mobility and the reference to science in the news media: Frames of risks, benefits, and governance in Germany from 2018 to early 2023*. Open Science Framework. [https://doi.org/10.31219/osf.io/e5wgd\\_v1](https://doi.org/10.31219/osf.io/e5wgd_v1)
- Schwindt, S., Heller, A., Theobald, N., & Abendroth, B. (2023). *Who Will Drive Automated Vehicles? – Usability Context Analysis and Design Guidelines for Future Control Centers for Automated Vehicle Traffic*. 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2023). <https://doi.org/10.54941/ahfe1003796>
- Silva, Ó., Cordera, R., González-González, E., & Nogué, S. (2022). Environmental impacts of autonomous vehicles: A review of the scientific literature. *Science of The Total Environment*, 830, 154615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154615>
- Stölzle, W., Schmidt, T., Kille, C., & Rank, S. (2023). *Begegnung von Kapazitätsengpässen im Straßengüterverkehr – Fokus Personal: Quantifizierung, Ursachen, Wirkungen und Maßnahmen*. [http://logistik-digitalisierung.de/wp-content/uploads/2023/02/Studie\\_Begegnung-von-Kapazitätsengpaessen-im-Strassengüterverkehr-Fokus-Personal\\_2023.pdf](http://logistik-digitalisierung.de/wp-content/uploads/2023/02/Studie_Begegnung-von-Kapazitätsengpaessen-im-Strassengüterverkehr-Fokus-Personal_2023.pdf)
- Sütfeld, L. R., Bronson, J., & Kirchmair, L. (2025). Automated Vehicle Regulation Needs to Speak to Code, not to Humans: Keeping Safety and Ethics in the Public Domain. *Philosophy & Technology*, 38(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s13347-025-00846-z>
- Takashi, O., Shoichi, S., Eisenmann, C., & Fleischer, T. (2025). Overall Comparison Between Germany and Japan in Relation to Social Impact of Connected and Automated Driving. In C. Eisenmann, D. Seibert, T. Fleischer, A. Taniguchi, & T. Oguchi (Hrsg.), *Acceptance and Diffusion of Connected and Automated Driving in Japan and Germany* (S. 219–231). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0_8)
- Tirachini, A. (2020). Ride-hailing, travel behaviour and sustainable mobility: An international review. *Transportation*, 47(4), 2011–2047. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10070-2>
- Vahidi, A., & Sciarretta, A. (2018). Energy saving potentials of connected and automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 822–843. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.001>

**Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)** (o. J.): *Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland*. Verfügbar unter: HYPERLINK "[https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx?utm_source=chatgpt.com)"Liste der autonomen Shuttle-Bus-Projekte

**Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) & nexum AG.** (2025). Die große Deutschland-Umfrage Fahrpersonal Bus & Bahn 2025: Ergebnisbericht. <https://www.vdv.de/1405-vdv-nx-studie-digital-copy.pdf>

**Weigl, K., Eisele, D., & Riener, A.** (2022). Estimated years until the acceptance and adoption of automated vehicles and the willingness to pay for them in Germany: Focus on age and gender. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11(2), 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2022.03.006>

**Yamasaki, Y., Fleischer, T., & Schippl, J.** (2025). Governance, Policy and Regulation in the Field of Automated Driving: A Focus on Japan and Germany. In C. Eisenmann, D. Seibert, T. Fleischer, A. Taniguchi, & T. Oguchi (Hrsg.), *Acceptance and Diffusion of Connected and Automated Driving in Japan and Germany* (S. 57–95). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59876-0_3)

**Zeit Online** (2025): *Waymo-Robotaxis machen mehr als 250.000 Fahrten pro Woche*, 25.04.2025, online unter: <https://www.zeit.de/news/2025-04/25/waymo-robotaxis-machen-mehr-als-250-000-fahrten-pro-woche> (zuletzt abgerufen am 23.04.2026).

# Autonomes Fahren

## Impressum

Teil 2 der Reihe „Technologiedossiers: Hightech aus Deutschland für klimaneutrale Mobilität“

Entstanden im Projekt „BRIDGE-HTAD: Beteiligung, Regulierung, Innovation & Governance für sozial-ökologische Transformationspfade neuer Mobilitätstechnologien“

Projektleitung: Sabine Schröder, Dr. Filipe Mello Rose

Dossierautor: Laura Drechsel, Volkan Sayman

Veröffentlichung Mai 2026 durch das nexus Institut für Kooperationsmanagement und interdisziplinäre Forschung

Das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) fördert das Projekt „BRIDGE-HTAD: Beteiligung, Regulierung, Innovation & Governance für sozial-ökologische Transformationspfade neuer Mobilitätstechnologien“ im Rahmen der Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) [www.fona.de](http://www.fona.de) im Förderschwerpunkt sozial-ökologische Forschung unter dem Förderkennzeichen 01UV2501. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

**FONA**

Sozial-ökologische Forschung