

Autonomes Fahren zur Verbesserung der Angebotsqualität des ÖPNV im ländlichen Raum: Wo stehen wir in Deutschland?

Marie Borowski, Sebastian Seisenberger, Julia Kinigadner*

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Autonomes Fahren gilt als Hoffnungsträger für den ÖPNV im ländlichen Raum. Eine Analyse von 59 Pilotprojekten in Deutschland zur Erprobung autonomer Fahrzeuge zeigt jedoch: Technologische Einschränkungen, geringe Flottengrößen und fehlende Geschäftsmodelle verhindern bislang eine flächendeckende Umsetzung. Der Beitrag identifiziert zentrale Herausforderungen und zeigt eine Perspektive hin zu einer Skalierung und integrierten Nutzung von autonomen Fahrzeugen im ÖPNV auf.

Schlagwörter / Keywords:

On-demand, Autonomes Fahren, Öffentlicher Verkehr, Erreichbarkeit

1. Einführung

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) steht seit jeher vor großen Herausforderungen im ländlichen Raum. Geringe Bevölkerungsdichten und disperse Siedlungsstrukturen erschweren eine effiziente Bündelung der Verkehrsnachfrage. Zugleich sind die finanziellen und personellen Ressourcen der Aufgabenträger begrenzt. Eine hohe Angebotsqualität im ländlichen Raum lässt sich kaum wirtschaftlich effizient realisieren. Diese Rahmenbedingungen führen zu einer schlechten Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln, was wiederum die Möglichkeiten zur gesellschaftlichen Teilhabe ohne eigenen Pkw einschränkt.

Vor diesem Hintergrund werden große Hoffnungen in das autonome Fahren gesetzt. Selbstfahrtechnologien könnten kosteneffiziente Bedarfsverkehre in Randgebieten und Randzeiten ermöglichen. Auf der Schiene sind autonome Fahrzeuge in geschlossenen Systemen seit Jahren im Einsatz, beispielsweise die Nürnberger U-Bahn (seit 2008), der Orlyval in Paris (seit 1991) oder die Docklands Light Railway in London (seit 1987). Auch auf der Straße lässt sich autonomes Fahren bereits erleben: Die USA und China nehmen dabei mit Unternehmen wie Waymo, Pony.ai und WeRide eine Vorreiterrolle ein.

In der internationalen Forschung finden sich zahlreiche Beiträge zum autonomen Fahren im ÖPNV, unter anderem mit Fokus auf Betrieb (Imhof et al.,

2020), Wirkungen (Mouratidis & Peters, 2025) und soziale Akzeptanz (Kassens-Noor et al., 2020; Linke-Wittich et al., 2023). Während viele dieser Studien auf Befragungen oder Modellen basieren, gibt es weltweit zahlreiche Pilotprojekte, die im Realbetrieb Erkenntnisse zum autonomen Fahren im ÖPNV generieren (Mahmoodi Nesheli et al., 2021). Auch in Deutschland gab es bereits eine Vielzahl von Projekten zur Erprobung von autonomen Fahrzeugen (Braun, 2020; Becciu & Kamau, 2024). Aus industriellen und verkehrspolitischen Gründen rückt das autonome Fahren zunehmend in den Vordergrund. Bislang sind autonome Fahrzeuge jedoch noch nicht großflächig im Regelbetrieb im Einsatz.

Der vorliegende Beitrag analysiert den aktuellen Stand zum autonomen Fahren im öffentlichen Straßenpersonennahverkehr (ÖSPV) in Deutschland. Im Fokus steht dabei die Frage, wie weit Deutschland von der Vision einer verbesserten ÖPNV-Angebotsqualität durch die Integration von autonomen Fahrzeugen entfernt ist. Was fehlt, damit der Übergang von Pilotprojekten hin zum Regelbetrieb gelingen kann? Diese Frage wird aus technologischer, betrieblicher, gesellschaftlicher und förderpolitischer Sicht beleuchtet.

Die Untersuchung beinhaltet eine systematische Recherche bisheriger Projekte zum autonomen Fahren im ÖPNV auf der Straße. Mithilfe von Datenban-

ken und Steckbriefen wurden Pilotprojekte identifiziert, strukturiert erfasst und ausgewertet. Die Auswertung betrachtet unter anderem Projekteigenschaften wie die eingesetzte Fahrzeugtechnologie, das erprobte Betriebsmodell und den räumlichen Kontext. Von Interesse sind außerdem die dokumentierten Ergebnisse, beispielsweise in Bezug auf die Akzeptanz der Nutzenden. Durch vergleichende Auswertungen lassen sich Herausforderungen und Trends identifizieren. Insgesamt wurden 59 Projekte zum autonomen Fahren berücksichtigt, die zwischen 2016 und 2025 in Deutschland durchgeführt wurden oder zum Zeitpunkt der Datensammlung in Durchführung waren.

Die Studie trägt Erkenntnisse aus isoliert umgesetzten Pilotprojekten auf strukturierte Art und Weise zusammen. Auf dieser Grundlage wird deutlich, unter welchen Rahmenbedingungen autonome Fahrzeuge tatsächlich einen Beitrag zu einem inklusiven, effizienten und nachhaltigen Verkehrssystem leisten können - insbesondere in unterversorgten ländlichen Räumen.

2. Autonomes Fahren: Grundlagen und politische Ziele

Der Einsatz autonomer Fahrzeuge im ÖPNV verspricht wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile (Narayanan et al., 2020). Zu den derzeit größten Herausforderungen im ÖPNV-Betrieb zählen Finanzierungslücken und ein Mangel an Fahrpersonal. Durch autonome Fahrzeuge – so die Hoffnung – ließe sich zukünftig die Qualität des ÖPNV bei überschaubaren Kosten deutlich verbessern. Bestehende Linienverkehre könnten kostengünstiger und zuverlässiger betrieben werden. Autonome Bedarfsverkehre würden Angebotslücken in Zeiten oder Räumen mit geringer Nachfrage schließen, beispielsweise in Form von Zubringerverkehren in Randgebieten oder zu Nachtzeiten. Ein solches flächendeckendes und flexibles ÖPNV-Angebot käme einer Mobilitätsgarantie gleich (Agora Verkehrswende, 2023). Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) sieht daher die Zukunft des ÖPNV im autonomen Fahren (VDV, 2025).

Insbesondere der ländliche Raum würde von massiven Erreichbarkeitsgewinnen, einer erhöhten sozialen Teilhabe und einer insgesamt verbesserten Lebensqualität profitieren. Zugleich könnte der ÖPNV den Pkw als dominierendes Mobilitätssystem ablösen. Selbst in Räumen, die bisher mit dem ÖPNV nicht wirtschaftlich zu erschließen waren, wären Besitz und Nutzung eines Pkw nicht mehr notwendig. Mit der Verkehrsmittelverlagerung ist die Hoffnung weiterer positiver Wirkungen verknüpft, zum Beispiel Staureduzierung, Verkehrssicherheit, Umwelt- und Klimaschutz (Engelhardt et al., 2019; Golbabaei et al., 2021; Schröder & Kaspi, 2024).

Das autonome Fahren kann zu verkehrsplanerischen und sozialpolitischen Zielen beitragen, ist jedoch auch eng mit wirtschafts- und industriepolitischen Themen verknüpft. Der „Aktionsplan – Forschung für autonomes Fahren“ der Bundesregierung aus dem Jahr 2019 definiert Technologieführerschaft als Ziel, um somit die deutsche Automobilindustrie zu stärken (BMBF, BMWi & BMVI, 2019). Im Dezember 2024 erschien die Strategie der Bundesregierung „Die Zukunft fährt autonom“ (BMDV, 2024). Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung aus dem April 2025 sieht vor, Deutschland zum Leitmarkt für autonomes Fahren zu machen und plant die Entwicklung und Finanzierung von Modellregionen (CDU, CSU & SPD, 2025). Ein europaweites Ausrollen von autonomen Fahrzeugen würde den Herstellern große Absatzmengen garantieren und Arbeitsplätze in der Branche sichern. Mit Assistenzsystemen und Technologien für teilautomatisiertes Fahren haben sich deutsche Hersteller bereits auf dem Markt etabliert.

Die Society of Automotive Engineers (SAE) unterscheidet sechs Stufen der Automatisierung: Level 0–2 umfassen reine Fahrerassistenzsysteme, während ab Level 3 automatisierte Systeme unter bestimmten Bedingungen das Fahren übernehmen. Level 4 ermöglicht einen autonomen, fahrerlosen Betrieb innerhalb klar definierter Einsatzgebiete, während Level 5 unter allen Bedingungen autonom fahren kann (SAE International, 2021). In Deutschland schafft das Gesetz zum autonomen Fahren (2021) grundsätzlich den rechtlichen Rahmen für den Einsatz von Level-4-Fahrzeugen in festgelegten Betriebsbereichen.

Derzeit verkehren autonome Shuttles zwar technisch bereits auf Level 4, jedoch ausschließlich im Rahmen von Pilotprojekten und stets mit einem Sicherheitsfahrer an Bord. Ein flächendeckender Regelbetrieb ist bislang nicht zugelassen. Für einen wirtschaftlich tragfähigen straßengebundenen ÖPNV ist daher der Übergang zu einem fahrerlosen Regelbetrieb erforderlich, bei dem die Fahrzeugführung aus einer externen technischen Leitstelle erfolgt, anstatt durch Sicherheitspersonal im Fahrzeug.

Neben den technologischen Herausforderungen bringt das autonome Fahren viele Fragen in den Bereichen Systemgestaltung, Regulierung, Geschäftsmodelle, Wirkungen und Skalierungspfade mit sich (Bösch et al., 2018). Was den rechtlichen Rahmen anbelangt, ist Deutschland bereits fortgeschritten. Das Straßenverkehrsgesetz (StVG), das Gesetz zum autonomen Fahren (2021) sowie die Genehmigungs- und Betriebsverordnung für autonome Fahrzeuge (AF-GBV) aus dem Jahr 2022 bieten die Grundlage für den Einsatz von autonomen Fahrzeugen im Realbetrieb. In den vergangenen rund zehn Jahren wurden Förderprogramme zur Finanzierung von Pilotprojekten aufgesetzt, um autonome Fahrzeuge und Systeme zu erproben. Die folgende systematische Analyse dieser

Projekte zeigt den Status Quo der Entwicklung hin zu einer Integration von autonomen Fahrzeugen in den ÖPNV-Regelbetrieb.

3. Methodisches Vorgehen: Datensammlung und Auswertung

Die Bestandsaufnahme basiert auf einer breiten Recherche bisher durchgeführter Projekte zum autonomen Fahren im ÖSPV. Es wurde ausschließlich nach Projekten in Deutschland gesucht, die einen realen Betrieb erprobt haben oder einen Pilotbetrieb zumindest zum Ziel hatten oder haben. Zunächst wurde mithilfe verschiedener Datenbanken eine Liste an Pilotprojekten erstellt. Wichtige Informationsquellen waren die Liste Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland des VDV (o.J.) sowie die Übersicht bewilligter Projekte im automatisierten und vernetzten Fahren (AVF-Projekte) des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) (o.J.). Außerdem wurde die Sammlung mit Übersichtslisten anderer Analysen abgeglichen (Becciu & Kamau, 2024; Braun et al., 2020). Um die identifizierten Projekte systematisch erfassen zu können, wurden Kategorien entwickelt und im Zuge der Datenerfassung iterativ angepasst. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht aller Kategorien für die Sammlung von Informationen.

Tabelle 1: Analysekategorien

Hauptkategorie	Unterkategorien
Basisdaten	Projektname Status Fördermittelgeber Projekt- & Fördervolumen Projektlaufzeit Laufzeit des Shuttlebetriebs Projektziele
Räumliche Daten	Ort Einsatzgebiet Raumtyp (RegioStaR 5) Betreiber Verkehrsverbund
Fahrzeug und Flotte	Fahrzeuge Kapazität Kosten Flottengröße Sicherheitsfahrer Geschwindigkeit
Betrieb	Bedienform Streckenlänge Bedientage & -zeiten
Ergebnisse	Anzahl Fahrzeuge Gefahrene Kilometer Vorteile Herausforderungen Dauerhafter Betrieb Anschlussprojekt

Die Informationen wurden anhand von öffentlich verfügbaren Dokumenten ausgefüllt, zum Beispiel Abschlussberichte oder Steckbriefe. Sechs Projekte, zu denen nicht ausreichend Daten verfügbar waren, wurden aus der Liste entfernt. Insgesamt wurden 59 Projekte in der Auswertung berücksichtigt, deren Beginn im Zeitraum zwischen 2016 und 2025 liegt.

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung waren 47 Projekte beendet und 12 Projekte laufend. Im Rahmen der 47 abgeschlossenen Projekte sollte auf 66 Teststrecken getestet werden, wobei es auf sieben Strecken zu keinem Testbetrieb kam. Auf weiteren 13 Teststrecken läuft derzeit ein Testbetrieb oder ist in Planung. Da nicht für alle Projekte und Teststrecken sämtliche Informationen zugänglich waren, wird bei Abbildungen die jeweils zugrunde liegende Anzahl der Projekte bzw. Teststrecken angegeben.

Die Fördervolumina der Projekte reichen von ca. 80.000 Euro (EMMA, Gera) bis ca. 35,5 Millionen Euro (IMoGer), mit einer durchschnittlichen Förderung von rund 6 Millionen Euro. Die durchschnittliche Förderquote lag bei 66 %. Der Datensatz ist unter <https://doi.org/10.14459/2025mp1797209.001> verfügbar.

4. Erkenntnisse aus bisherigen Pilotprojekten zum autonomen Fahren im ÖPNV

Die folgenden Abschnitte fassen die Eigenschaften bisher durchgeführter Projekte zum autonomen Fahren im ÖSPV strukturiert zusammen. So entsteht ein Bild zum Stand der Dinge und zu den Entwicklungen im Zeitverlauf.

Räumliche Verteilung der Teststrecken

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Standorte der Teststrecken in Deutschland in Bezug zum kompakten regionalstatistischen Raumtyp (RegioStaR 5) des BMV (2021). Hierbei zeigt sich zum einen, dass die Projekte relativ gleichmäßig über die Bundesrepublik verteilt sind. In den neuen Bundesländern gibt es tendenziell weniger Teststrecken. Nur in Bremen ist bisher weder eine Testbetrieb durchgeführt worden noch in Planung. Bayern mit 15 durchgeführten und laufenden Teststrecken sowie Baden-Württemberg mit neun und Hessen mit acht durchgeführten und laufenden bzw. geplanten Teststrecken liegen an der Spitze.

Zum anderen wird ersichtlich, dass auch in den ländlichen Regionen, gemäß der Definition des RegioStaR 5, bereits eine Vielzahl an Testbetrieben durchgeführt wurden. 24 der abgeschlossenen Testbetriebe (38 %) fanden in Kommunen in ländlichen Regionen statt. Unter den derzeit laufenden Teststrecken befindet sich jedoch nur mehr eine in einer

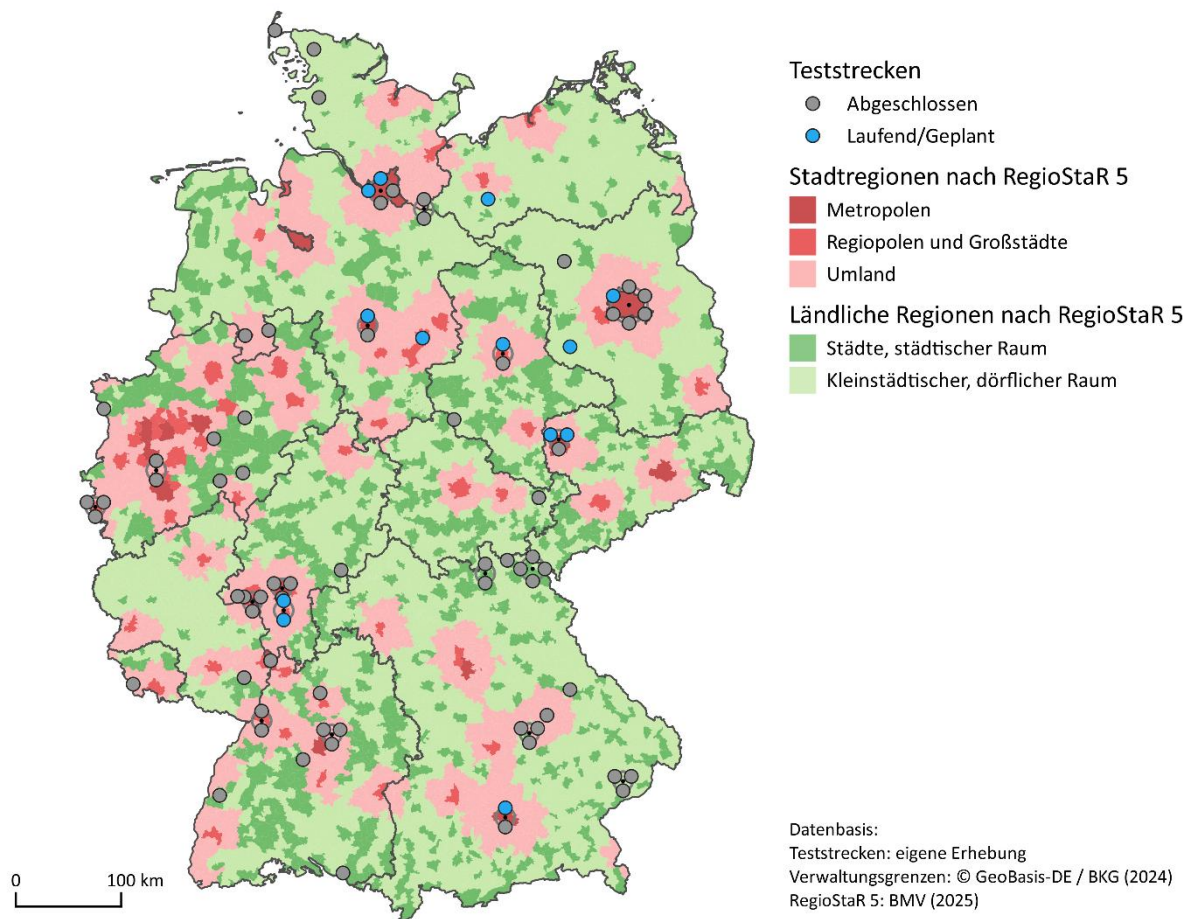


Abbildung 1: Karte der 79 Teststrecken für autonome Shuttlebetriebe in Deutschland mit Darstellung der Stadtregionen und ländlichen Regionen nach RegioStaR 5 (Eigene Darstellung)

ländlichen Region (LEAF, Bad Belzig). Insgesamt waren die Teststrecken gleichmäßig über die RegioStaR 5 Typen verteilt. Unter den laufenden und geplanten Teststrecken liegt allerdings fast die Hälfte in Metropolen.

Projektziele

Bei nahezu allen Projekten stand die Erprobung der Technologie im Vordergrund. Zum einen betrifft dies die Fahrzeugtechnologie, zum anderen aber auch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Fahrgästen, insbesondere für On-Demand-Buchungen. Auch die Zulassung von Fahrzeugen, gerade im Zuge des Gesetzes zum autonomen Fahren, ist ein häufig adressiertes Projektziel. Jedoch finden sich auch Nachhaltigkeitsziele infolge der erhofften verkehrlichen Wirkung häufig in den Projektunterlagen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Ziele auch tatsächlich erreicht oder umfassend evaluiert wurden.

Umsetzungserfolg

Von den 47 bisher abgeschlossenen Projekten konnten 42 einen autonomen Shuttlebetrieb auf 59

Teststrecken erfolgreich umsetzen. Die Laufzeiten der Shuttlebetriebe lagen zwischen 1 und 64 Monaten. Die durchschnittliche Laufzeit betrug 14,5 Monate. Bei den insgesamt 42 erfolgreich abgeschlossenen Projekten folgte in 21 % der Fälle ein Anschlussprojekt. Ein verstetigter Betrieb erfolgt derzeit mit der Linie A01 in Monheim und, dank Mitteln zur Infrastrukturförderung, mit dem FLASH-Bus in Rackwitz. Die Linien 7015 und 7016 in Bad Birnbach, die seit 2017 bzw. 2020 im Rahmen des Projektes HEAL in Betrieb waren, wurden Ende 2024 bzw. Anfang 2025 eingestellt.

Bisher existiert jedoch nirgends ein wirtschaftlich leistbarer Dauerbetrieb in größerem Maßstab. Die Gründe dafür liegen vor allem an Unklarheiten im rechtlichen Rahmen, in der fehlenden Verfügbarkeit von technologisch geeigneten autonomen Fahrzeugen sowie den hohen Kosten für Fahrzeuge und Betrieb bei gleichzeitig begrenzter öffentlicher Förderung.

Bei fünf Projekten kam es in Gänze und bei einem Projekt auf einer Teilstrecke nicht zum geplanten Shuttlebetrieb. Hauptursachen waren regulatorische Hürden, wirtschaftliche Schwierigkeiten der Industriepartner sowie externe Einflüsse. Häufig scheiterten die Vorhaben an verzögerten oder aufgrund von

Insolvenzen ausbleibenden Fahrzeuglieferungen, z. B. bei APEROL (Aachen), EasyRide (München) oder Marktliner (Aachen). Dies führte in der Folge zu fehlenden Genehmigungen, ausbleibenden Fördermitteln oder dem Ausstieg von Partnern. Hinzu kamen pandemiebedingte Einschränkungen, die sowohl Lieferketten als auch die Öffentlichkeitsbeteiligung erheblich beeinträchtigten. Die fehlende Verfügbarkeit geeigneter Level-4-Fahrzeuge für den fahrerlosen Betrieb führte im Falle von SAFESTREAM zum Ausbleiben öffentlicher Shuttlebetriebe.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass regulatorische Auflagen, die Abhängigkeit von wenigen Fahrzeugherstellern und der begrenzte technische Reifegrad zentrale Risiken für die Umsetzung autonomer Shuttleprojekte darstellen.

Einsatzgebiet und Betriebskonzept

Autonome Shuttles versprechen eine deutlich verbesserte Erreichbarkeit in Zeiten oder Räumen mit geringer Nachfrage. Es wurden sowohl On-Demand-Konzepte als auch Linienverkehre erprobt, wobei in neueren Projekten fast ausschließlich On-Demand-Systeme genutzt werden. Bei den On-Demand-Verkehren handelte es sich jedoch ausschließlich um Bedarfsverkehre, die einem Ruf-Bus mit festen Haltestellen ähneln. Eine Haustürbedienung wie durch Anruf-Sammel-Taxis wurde ebenso wenig erprobt wie echter On-Demand-Verkehr ohne feste Linienwege und zeitliche Bindung. Von den 24 Teststrecken in ländlichen Regionen wurde auf 14 ein Linienverkehr (58 %) und auf 8 ein Bedarfsverkehr (33 %) erprobt. Bei den 35 Strecken in Stadtregionen war die Verteilung mit 21 Teststrecken mit Linienverkehr zu 12 Strecken mit Bedarfsverkehr identisch (Abbildung 2).

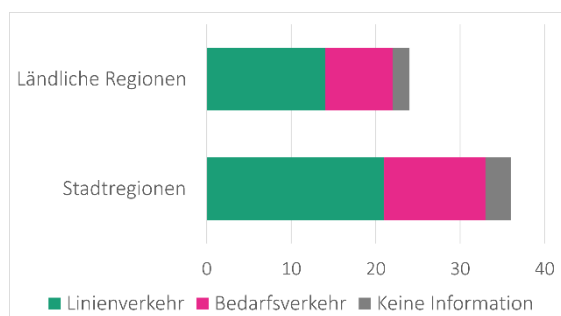


Abbildung 2: Anzahl der Teststrecken im Linien- und Bedarfsverkehr in ländlichen Regionen und Stadtregionen (N = 59) (Eigene Darstellung)

In früheren Projekten fanden Erprobungen häufiger ausschließlich auf Privatgelände statt, mittlerweile erfolgt der Testbetrieb – teils nach Tests auf Privatgeländen – jedoch meist im öffentlichen Straßenraum. Die Streckenlängen der Bedienggebiete waren

hierbei allerdings sehr gering, bei durchschnittlichen 3,7 km. Das größte Bedienggebiet befand sich mit einem Straßennetz von 30 km im Projekt KelRide in der Stadt Kelheim und dem nahegelegenen Saal an der Donau.

Üblicherweise wurden die Strecken täglich bedient, allerdings meist tagsüber zwischen Vormittag und spätem Nachmittag und nur selten abends und nachts (Abbildung 3). Ausnahmen bildeten hier das Projekt TERMINAL, in welchem von 05:00 bis 24:00 Uhr ein Werksverkehr für Berufspendler eingerichtet wurde, sowie das Projekt SHOW in Monheim, in welchem der Betrieb von Sonntag bis Donnerstag bis 21 Uhr und an Freitag und Samstagen bis 23 Uhr erfolgte.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
00:00-05:00	0	0	0	0	0	0	0
05:00-06:00	1	1	1	1	1	0	0
06:00-07:00	1	1	1	1	1	0	0
07:00-08:00	3	3	2	2	2	0	0
08:00-09:00	14	16	15	15	15	10	6
09:00-10:00	22	24	25	25	26	16	10
10:00-11:00	29	33	34	35	36	26	18
11:00-12:00	28	33	34	36	37	28	19
12:00-13:00	26	32	33	35	36	27	17
13:00-14:00	24	31	34	36	36	27	18
14:00-15:00	26	32	35	37	37	29	22
15:00-16:00	26	31	34	36	36	28	22
16:00-17:00	22	27	27	29	28	24	18
17:00-18:00	17	18	18	19	19	13	10
18:00-19:00	9	9	11	11	10	3	3
19:00-20:00	3	3	4	4	3	1	1
20:00-21:00	2	2	2	2	2	1	1
21:00-22:00	1	1	1	1	2	1	0
22:00-23:00	1	1	1	1	2	1	0
23:00-24:00	1	1	1	1	1	0	0

Abbildung 3: Absolute Häufigkeit der bedienten Zeiteinheiten je Wochentag (N = 40) (Eigene Darstellung)

Eingesetzte Fahrzeuge und Flottengrößen

Die Analyse zeigt eine geringe Vielfalt der eingesetzten Fahrzeuge. Am häufigsten wurden Fahrzeuge der Hersteller EasyMile und Navya eingesetzt, die Platz für rund 10 Fahrgäste bieten. Auf 32 von 59 Teststrecken (54 %) wurden Fahrzeuge von EasyMile und auf 12 Strecken Fahrzeuge von Navya (20 %) genutzt. Fahrpersonal oder Teleoperator waren in allen Fällen erforderlich. Die Kosten dieser Fahrzeuge variieren je nach Konfiguration, Ausstattung und spezifischen Anforderungen, liegen jedoch in der Größenordnung von 300.000 Euro (Zinckernagel, 2021), was im Bereich eines Standardbusses liegt.

Durch die Insolvenz von EasyMile und dem Rückzug aus dem ÖPNV-Sektor (Engelking, 2024) stellt sich die

Frage, welche Anbieter diese Lücke künftig füllen werden. Bei neueren Projekten werden bereits Fahrzeuge anderer Hersteller verwendet, z. B. Volkswagen in den Projekten FLASH und ABSOLUT II. Im Projekt ALBUS soll in Hannover auch erstmals ein klassischer Linienbus des Herstellers KARSAN autonom fahren. Als erstem klassischen Linienbus wurde diesem eine Erprobungsgenehmigung für den Level-4-Probetrieb erteilt (Region Hannover, 2025).

In Hinblick auf die Flottengrößen lässt sich festhalten, dass auf den meisten Teststrecken (59 %) lediglich ein einziges Fahrzeug zum Einsatz kam. In 25 % der Fälle wurden zwei Fahrzeuge eingesetzt, teilweise diente das zweite Fahrzeug jedoch lediglich als Ersatz-Fahrzeug bei Ausfällen oder Ladevorgängen. Die größten Flotten bestanden in den Projekten Kel-Ride und SHOW, im Testgebiet Monheim, mit jeweils fünf Fahrzeugen.

Die Erprobung größerer Flotten wäre aufgrund der geringen Technologiereife, den hohen Fahrzeugkosten und der mangelnden Wirtschaftlichkeit jedoch bisher auch nicht möglich gewesen. Teils waren Projekte, wie bereits erwähnt, auch von einer mangelnden Fahrzeugverfügbarkeit und Verzögerungen bei der Bereitstellung auf Herstellerseite betroffen.

Technologiereife

Die Pilotprojekte lieferten zahlreiche Erkenntnisse in Bezug auf das meistgenannte Ziel, der Technologieerprobung. Herausforderungen zeigten sich vor allem in Form von wetterbedingten Ausfällen, abrupten Bremsvorgängen und geringen Geschwindigkeiten. So lagen in den drei Testfeldern des Projektes SHOW die durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten unter 10 km/h (SHOW Dashboard, 2024).

Ein wichtiger Schritt in Hinblick auf die Technologiereife ist die Fahrt ohne Operator an Bord und die Steuerung über eine Leitstelle. Im Projekt SAFESTREAM sollte dies erstmals auf öffentlichen Straßen erprobt werden. Aufgrund fehlender Fahrzeuge, welche die technischen Anforderungen hierfür erfüllen, konnte ein solcher Testbetrieb jedoch nicht durchgeführt werden. Im Projekt KIRA kann dies mit drei NIO ES8 seit Ende Mai 2025 erstmals erprobt werden. Hierbei handelt es sich jedoch um Pkw und keine Busse. Zudem sitzt weiterhin stets ein Sicherheitsfahrer im Fahrzeug (Neumann, 2025).

In Hinblick auf die Verknüpfung von Fahrzeug und Fahrgästen konnten in vielen Projekten bereits erfolgreich Bedarfsverkehre und App-basierte Buchungssysteme erprobt werden.

Akzeptanz

Insgesamt lagen für 27 der 59 erfolgreich durchgeführten Testbetriebe Zahlen zu den Fahrgästen vor.

Über diese Projekte hinweg wurden über 400.000 Fahrgäste gezählt, die das autonome Fahren im Realbetrieb erprobt haben. Durchschnittlich fuhren somit rund 14.800 Fahrgäste auf den Teststrecken für die Zahlen vorlagen. In Relation zur Dauer dieser Testbetriebe entspricht das etwa 1.080 Fahrgästen pro Monat. Strecken in ländlichen Regionen konnten mit durchschnittlich 701 Fahrgästen pro Monat nur rund die Hälfte der 1.360 Fahrgäste pro Monat in Stadtregionen verbuchen.

Bei vielen Projekten lag ein Fokus auf der Akzeptanz der Technologie durch die Bevölkerung und durch die Fahrgäste. Untersuchungen zeigen eine hohe Akzeptanz und ein breites Nutzungsinteresse an autonomen Shuttles über alle Bevölkerungsgruppen hinweg. Anfangs bestehende Vorbehalte lassen sich durch Gespräche und direkte Fahrerlebnisse deutlich abbauen, wodurch Vertrauen und Bereitschaft zur Nutzung steigen. Autonome Shuttles werden mehrheitlich als Möglichkeit gesehen, die Mobilität für ältere und weniger mobile Menschen zu verbessern, den Umweltschutz zu fördern, die Flexibilität des ÖPNV zu steigern und einen barrierefreien Zugang für Personen mit eingeschränkter Mobilität zu gewährleisten (Mantel, 2021; Rauh et al., 2019).

Kritisch bewertet werden hingegen vor allem die geringen Geschwindigkeiten und Reichweiten. Im Rahmen von Akzeptanzanalysen zeigt sich meist, dass das Angebot bislang vor allem aus Neugier oder aufgrund des Technikinteresses ausprobiert wird, während für eine regelmäßige Nutzung alltagsrelevante Faktoren wie Streckenführung, Anbindung und Fahrgeschwindigkeit ausschlaggebend sind. Werden diese Rahmenbedingungen nicht erfüllt, bleibt das Nutzungspotenzial hinter der grundsätzlich hohen Akzeptanz zurück. Eine Steigerung der Nutzung lässt sich daher insbesondere durch den Ausbau des Streckennetzes, die Verbesserung der Integration in bestehende ÖPNV-Systeme sowie eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit erreichen (Barthelmes et al., 2024).

Verkehrliche Wirkung

Bei Betrachtung der Fahrzeugeigenschaften und der erprobten Betriebskonzepte wird deutlich, warum das visionäre Ziel einer drastischen Verbesserung des ÖPNV-Angebots im ländlichen Raum bisher nicht erreichbar war. In keinem der Pilotprojekte lässt sich eine entsprechende Wirkung nachweisen, auch wenn Nachhaltigkeitsziele in den Unterlagen häufig genannt wurden. Ein geringes zeitliches und räumliches Angebot, wenige Fahrzeuge und kurze Erprobungszeiträume sind im Hinblick auf die „großen“ Nachhaltigkeitsziele mit spürbaren verkehrlichen Wirkungen nicht ausreichend. Um eine deutliche

Verbesserung in Hinblick auf soziale Teilhabe, Sicherheit sowie Klima- und Umweltschutz zu erreichen, bedarf es einer großflächigen Umsetzung, die kleinteilige Piloten für den Regelbetrieb skaliert und in das Gesamtsystem ÖPNV integriert.

5. Diskussion

Die Daten aus den 59 Pilotprojekten zum autonomen Fahren im ÖSPV zeigen, wo Deutschland in den Bereichen Technologie, Betrieb, Gesellschaft und Förderpolitik derzeit steht. Daraus lassen sich Perspektiven für eine potenzielle Skalierung in den nächsten Jahren ableiten.

Wo stehen wir: Technologisch?

Auf dem deutschen Markt ist derzeit kein autonomes Level-4-Fahrzeug für den Einsatz im ÖPNV ohne Sicherheitsfahrer an Bord zugelassen. In den Pilotprojekten waren ausschließlich Testfahrzeuge weniger Hersteller mit geringen Kapazitäten im Einsatz. Die Betreiber werden perspektivisch nicht nur Shuttles benötigen, sondern auch größere Busse. Auf Seiten der deutschen Hersteller bedarf es folglich enormer Investitionen, um die Entwicklung voranzutreiben und perspektivisch Kapazitäten für die Serienproduktion aufzubauen.

Solche Investitionen sind nur dann lohnend, wenn die Hersteller von großen Bestellmengen ausgehen können. Dies setzt wiederum voraus, dass die Besteller von einem wirtschaftlichen Betrieb mit autonomen Fahrzeugen überzeugt sind und ihre Beschaffung entsprechend ausrichten. Bisher gibt es auf beiden Seiten kein sinnvolles Geschäftsmodell. Mit einer zunehmenden technologischen Weiterentwicklung ist von sinkenden Kosten auszugehen – zum einen durch Massenproduktion und zum anderen durch die Einsparung von Fahrpersonal.

Der VDV geht davon aus, dass die ersten Typengenehmigungen für 2027 zu erwarten sind. VW will gemeinsam mit Moia bis Ende 2027 1.000 autonome ID. Buzz Fahrzeuge durch Hamburg fahren lassen. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Typengenehmigungen eingereicht wurden, sind die Genehmigungsprozesse noch mit einigen Unsicherheiten verbunden.

Der aktuelle Rechtsrahmen über das AFGBV und das europäische Recht ermöglicht grundsätzlich ein großflächiges Ausrollen von autonomen Fahrzeugflotten. Der Koalitionsvertrag zeichnet die Vision, Deutschland zum Leitmarkt für autonomes Fahren zu machen. Dass Fahrzeughersteller und Verkehrsverbünde auf Selbstfahrttechnologien setzen, ist eine zentrale Voraussetzung für große Absatzzahlen.

Wo stehen wir: Betrieblich?

Die Vision eines autonomen Level-4-Regelbetriebs ist bislang nicht erreicht. Der Sprung von einzelnen Fahrzeugen in Pilotprojekten hin zum massenhaften Einsatz im Regelbetrieb ist groß. Der Bund sieht als nächsten Schritt den Aufbau von Modellregionen vor. Denkbar ist dabei eine Skalierung von bisher maximal 5 Fahrzeugen auf 1.000 bis 10.000 Fahrzeuge. So sollen wiederum positive Impulse für die technologische Entwicklung generiert werden.

In Hinblick auf die erhofften gesellschaftlichen Verbesserungen durch das autonome Fahren muss es Ziel sein, den ÖPNV als integriertes Gesamtsystem attraktiver zu machen. Isolierte Parallelverkehre mit autonomen Taxis, die mit dem klassischen ÖPNV konkurrieren, sind dabei nicht zielführend. Beispielsweise könnten gut nachgefragte Linien im städtischen Raum um autonome On-Demand-Shuttles im ländlichen Raum ergänzt werden, um das Verkehrsangebot des Gesamtsystems zu verbessern. Durch die Selbstfahrttechnologie ließen sich auch Bedarfsverkehre wirtschaftlich betreiben.

Zukünftige Betriebskonzepte werden nicht mit den bestehenden Konzepten identisch sein. Zentrale Fragestellungen beziehen sich auf die Anwendungsfälle, Angebote, Fahrzeuge und Flotten. Im ersten Schritt einer sukzessiven Umstellung müssen die Betreiber Linien, Bereiche oder Zeiträume identifizieren, die für autonome Fahrzeuge besonders geeignet sind. Auch die für die Erreichung bestimmter Qualitätsziele erforderliche Flottengröße muss bestimmt werden. Mit zunehmender Verfügbarkeit von unterschiedlichen Fahrzeugkategorien ist außerdem zu klären, welche Arten und Größen von Fahrzeugen in welchen Bereichen zum Einsatz kommen sollen. Neben dem Mobilitätsangebot sind auch neue Preis- und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Die Transformation erfordert in jedem Fall hohe personelle und finanzielle Aufwände durch Investitionen in Infrastruktur und Fahrzeuge, den Umbau von Prozessen, sowie die Umschulung von Personal.

Wo stehen wir: Gesellschaftlich?

Die analysierten Pilotprojekte lassen sich primär als Technologietests eingruppierten, die nicht Teil eines integrierten Gesamtverkehrsangebots sind. Eine deutliche Wirkung im Hinblick auf gesellschaftliche, verkehrliche und sozialpolitische Ziele wird sich aber nur durch einen großflächigen Einsatz von autonomen Fahrzeugen einstellen.

Pilotprojekte tragen immerhin dazu bei, Selbstfahrttechnologie erlebbar zu machen. Die autonomen Shuttles wurden weitestgehend positiv wahrgenommen. Akzeptanzmindernd ist allenfalls die derzeitige Nutzungsschwierigkeit und noch nicht ausgereifte

Fahrzeugtechnologie (Barthelmes et al., 2022), die den Fahrkomfort mindert und Erreichbarkeitsgewinne noch nicht realisierbar macht. Unter der Annahme einer weiteren Verbesserung der Fahrzeugtechnologie in Zukunft besteht kein Grund, von einer geringen Akzeptanz seitens der Fahrgäste auszugehen. Sobald ein attraktives Verkehrsangebot besteht, ist von einer wachsenden Nutzungsbereitschaft auszugehen. Eine zunehmende Präsenz von autonomen Fahrzeugen im Straßenbild wird wahrscheinlich mit einem Gewöhnungseffekt einhergehen. Diese Hypothese bestätigt sich bei einem Blick in die USA, wo autonome Fahrzeuge bereits im alltäglichen Einsatz sind. Waymo verzeichnete im Jahr 2024 bereits über vier Millionen Fahrten in vier Metropolregionen (The Waymo Team, 2024).

Wo stehen wir: Förderpolitisch?

Insgesamt wurden über das vergangene Jahrzehnt mehr als 275 Millionen Euro an Fördermitteln in die analysierten Pilotprojekte investiert. Die Summen, die insgesamt in das autonome Fahren investiert werden, dürften noch deutlich höher liegen. In Anbetracht der hohen Summe stellt sich die Frage, ob die in Deutschland eingesetzten Mittel sinnvoll investiert sind. Auch wenn die Analyse keine eindeutige Antwort zulässt, bleibt festzuhalten, dass viele ähnliche Einzelprojekte gefördert wurden. In Bezug auf Fahrzeugflotten und Bedienegebiete verbindet die analysierten Projekte eine gewisse Kleinteiligkeit. Inwiefern spätere Projekte auf den Erkenntnissen vorangegangener Projekte aufbauen, lässt sich nur schwer feststellen. Synergien und gebündeltes Wissen sind jedoch ein zentraler Erfolgsfaktor für eine effiziente Weiterentwicklung von autonomen Systemen. Positiv lässt sich bewerten, dass rund 20 % der Projekte, die einen Shuttle-Betrieb erfolgreich durchführten, eine Fortsetzung fanden, so dass das gewonnen Wissen weiter genutzt werden konnte.

Gleichzeitig ist der bisherige Förderbetrag in Anbetracht der Ausgaben US-amerikanischer Technologiekonzerne vergleichsweise gering. Allein Alphabet investiert in den nächsten Jahren etwa 5 Milliarden US-Dollar in die Entwicklung von Waymo (Elias, 2024). Auch in Zukunft werden daher große Fördersummen erforderlich sein, um das Ziel einer deutschen Technologieführerschaft auf diesem Gebiet nur annähernd erreichen zu können. Die Förderstrategie zukünftiger Bundes- und Landesregierungen sollte sich an diese Rahmenbedingungen anpassen. Projektfördermittel sollten in wenige Projekte fließen, die auf eine ganzheitliche Integration statt Kleinteiligkeit setzen. Längere Laufzeiten und eine bessere Koordination zwischen den Projekten könnten zu einem strukturierten Wissensaufbau beitragen. Ziel sollte eine Skalierung von autonomen Flotten sein. Dafür muss

gleichzeitig in den Aufbau von Produktionskapazitäten investiert werden. Die Hersteller brauchen gesicherte Absatzzahlen für eine Weiterentwicklung der Technologien und günstigere Produktion. Die Besteller brauchen auf der anderen Seite technologisch einwandfreie und bezahlbare Fahrzeuge, um autonome Betriebskonzepte wirtschaftlich gestalten zu können. Eine zielgerichtete finanzielle Unterstützung von Bund und Ländern kann dabei helfen, dieses Henne-Ei-Problem zu lösen. Die Initiative des Bundes zur Förderung von Modellregionen für autonomes Fahren kann eine Grundlage bilden, um eine Nachfrage nach großen Stückzahlen zu generieren und in Kooperation zwischen Bund, Ländern und Aufgabenträgern autonomes Fahren im ÖPNV großflächig zu realisieren.

6. Fazit

Autonomes Fahren wird in Deutschland als vielversprechende Lösung zur Verbesserung der ÖPNV-Angebotsqualität diskutiert, insbesondere im ländlichen Raum. Die Analyse verschiedener Pilotprojekte zeigt jedoch, dass der Fokus der Umsetzung bisher auf einer Erprobung der Technologie mit kleinen Fahrzeugflotten liegt. Ein flächendeckender Regelbetrieb ist derzeit nicht umsetzbar.

Die größten Herausforderungen liegen in der mangelnden Technologiereife, der geringen Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge, fehlenden Geschäftsmodellen sowie hohen Betriebskosten. Auch bei einer grundsätzlichen Akzeptanz autonomer Fahrzeuge seitens der Fahrgäste sind die verkehrlichen, gesellschaftlichen und sozialen Vorteile noch nicht realisierbar. Dies gilt insbesondere für den ländlichen Raum, in welchem höhere Geschwindigkeiten und flexiblere Angebotsformen notwendig sind, um mit dem privaten Pkw konkurrieren zu können.

Gleichzeitig zeigt die Untersuchung, dass ein großes Potenzial besteht – insbesondere dann, wenn autonome Fahrzeuge systematisch in bestehende ÖPNV-Strukturen integriert und nicht als isolierte Parallelangebote betrieben werden. Eine erfolgreiche Skalierung ist jedoch von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig: Die Industrie muss in die Entwicklung serienreifer Fahrzeuge investieren, die Politik muss geeignete Förderstrategien schaffen und die Aufgabenträger müssen passende Betriebs- und Geschäftsmodelle finden.

Integration, Skalierbarkeit und Wissenstransfer sind wichtige Elemente für zukünftige Projekte. Nur durch ein strategisch abgestimmtes Vorgehen kann autonomes Fahren zu einem echten Baustein für einen inklusiven, effizienten und nachhaltigen ÖPNV werden – insbesondere in Regionen, die heute noch unterversorgt sind.

Literatur

Agora Verkehrswende (2023): Mobilitätsgarantie für Deutschland – Teil I. Ausgangslage und Praxisbeispiele für eine bundesweit garantierte Grundversorgung mit Bus und Bahn. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/Mobilitaetsgarantie_Teil-1/102_Mobilitaetsgarantie.pdf.

Barthelmes, L.; Wilkes, G.; Kagerbauer, M.; Vortisch, P. (2022): Ein On-Demand- und Level 4-Kleinbus auf dem Testfeld Autonomes Fahren BW – Erkenntnisse aus der begleitenden Haushaltsbefragung zu EVA-Shuttle. In: Journal für Mobilität und Verkehr 12. <https://doi.org/10.34647/jmv.nr12.id83>.

Barthelmes, L., Wilkes, G., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2024): Exploring the determinants of autonomous minibus adoption: Empirical findings from a demand-based service in Germany. European Transport Research Review, 16(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00659-9>.

Braun, M.; Gudd, C.; Rohs, M.; Seyffert, J.; Teichmann, G. (2020): Autonome Busse im ÖPNV. Innovativ nachhaltig – aber auch finanzierbar? <https://www.pwc.de/de/im-fokus/autonome-busse-im-oepnv.pdf>.

Becciu, A.; Kamau, E. (2024): Challenges of Infrastructures for autonomous Buses in Cities: A review. In: Wahl, M.; Keller, M.; Schildbach, G. (Hrsg.): AmEC 2024 - Automotive meets Electronics & Control (S. 53-57). <https://nuraxys.com/wp-content/uploads/vde-ame2023-download-data.pdf>.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung); BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie); BMVi (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2019): Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren. Ein übergreifender Forschungsrahmen von BMBF, BMWi und BMVi. https://www.bmfr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/5/24688_Aktionsplan_Forschung_fuer_autonomes_Fahren.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

BMDV (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) (2024): Die Zukunft fährt autonom. Strategie der Bundesregierung für autonomes Fahren im Straßenverkehr. https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/die-zukunft-faehrt-autonom.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesministerium für Verkehr (BMV) (2021): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR). BMV.de. <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>.

Bundesministerium für Verkehr (BMV) (o.J.): AVF-Projekte. Auswahl der bewilligten Projekte. BMV.de. <https://www.bmv.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/AVF-Forschungsprogramm/Projekte/avf-projekte.html>.

Bösch, P.; Becker, F.; Becker, H.; Axhausen, K. (2018): Cost-based analysis of autonomous mobility services. In: Transport Policy 64, S. 76–91. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>.

CDU; CSU; SPD (2025): Verantwortung für Deutschland. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 21. Legislaturperiode. https://www.koalitionsvertrag2025.de/sites/www.koalitionsvertrag2025.de/files/koav_2025.pdf.

Elias, J. (2024, 23 Juli): Alphabet to invest \$5 billion in self-driving car unit Waymo. Cnbc.com. <https://www.cnbc.com/2024/07/23/alphabet-to-invest-5-billion-in-self-driving-car-unit-waymo.html>.

Engelhardt, R.; Dandl, F.; Bilali, A.; Bogenberger, K. (2019): Quantifying the Benefits of Autonomous On-Demand Ride-Pooling: A Simulation Study for Munich, Germany. In: IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), S. 2992–2997. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8916955>.

Engelking, N. J. (2024, 22. Dezember). Autonome Busse in Bad Birnbach rollen bald nicht mehr. heise online. <https://www.heise.de/news/Autonome-Busse-in-Bad-Birnbach-rollen-bald-nicht-mehr-10218661.html>.

Golbabaei, F.; Yigitcanlar, T.; Bunker, J. (2021): The role of shared autonomous vehicle systems in delivering smart urban mobility: A systematic review of the literature. In: International Journal of Sustainable Transportation 15(10), S. 731–748. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1798571>.

Imhof, S.; Frölicher, J.; Von Arx, W. (2020): Shared Autonomous Vehicles in rural public transportation systems. In: Research in Transportation Economics 83: 100925. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100925>.

Kassens-Noor, E.; Kotval-Karamchandani, Z.; Cai, M. (2020): Willingness to ride and perceptions of autonomous public transit. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 138, S. 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.010>.

Linke-Wittich, R.; Schäper, C.; Arndt, W.; Busch, J.; van der Wel, E.; Stelter, S. (2023): Akzeptanzuntersuchung von hochautomatisierten Shuttlebussen im Realbetrieb in Berlin-Tegel - Erkenntnisse zu Einstellung und Nutzung. In: Journal für Mobilität und Verkehr 17. <https://doi.org/10.34647/jmv.nr17.id107>.

Mahmoodi Nesheli, M.; Li, L.; Palm, M.; Shalabi, A. (2021): Driverless shuttle pilots: Lessons for automated transit technology deployment. In: Case Studies on Transport Policy 9(2), S. 723–742. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.03.010>.

Mantel, R. (2021): Akzeptanz eines automatisierten Shuttles in einer Kleinstadt Analyse anhand einer Trendstudie und Fahrgastbefragung. Journal für Mobilität und Verkehr, (8), 25-35. <https://doi.org/10.34647/jmv.nr8.id53>.

Mouratidis, K.; Peters, S. (2025): Autonomous Vehicles as Public Transport: Perceptions of Risks and Opportunities for Mobility, the Environment, and Society. In: Journal of Urban Technology, S. 1–22. <https://doi.org/10.1080/10630732.2025.2509532>.

Narayanan, S.; Chaniotakis, E.; Antoniou, C. (2020): Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 111, S. 255–293. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.008>.

Neumann, H. (2025, 26. Mai): Bahn stellt Projekt KIRA vor ÖPNV - on demand und autonom. Tagesschau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/bahn-kira-verkehr-100.html>.

Rauh, J.; Appel, A.; Graßl, M. (2019): Empirische Beobachtungen zur Akzeptanz des Pilotprojektes „Autonom fahrender Kleinbus“ unter den Bürger*innen von Bad Birnbach. In Autonome Shuttlebusse im ÖPNV: Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht (S. 159-176). Berlin, Heidelberg.

Region Hannover (2025, 29. August): Autonomer Bus startet in der Region Hannover in den Testbetrieb [Pressemitteilung]. Hannover.de. <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Verwaltungen-Kommunen/Die-Verwaltung-der-Region-Hannover/Region-Hannover/Autonomer-Bus-startet-in-der-Region-Hannover-in-den-Testbetrieb>.

SAE International (2021): Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

Schröder, D.; Kaspi, M. (2024): Quantifying the external costs of autonomous on-demand ride pooling services. In: Case Studies on Transport Policy 18: 101302. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101302>.

SHOW Dashboard (2024): <https://show-dashboard.iti.gr>.

The Waymo Team (2024, 18. Dezember): That’s a Wrap! Waymo’s 2024 Year in Review. Waymo.com. <https://waymo.com/blog/2024/12/year-in-review-2024>.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) (2025): Der ÖPNV der Zukunft fährt autonom. Strategie zur Förderung und Umsetzung des autonomen Fahrens im ÖPNV auf der Straße (Positionspapier). <https://www.vdv.de/vdv-positionspapier-autonomes-fahren-im-oepnv.pdf>.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) (o.J.): Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland. VDV.de. <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>.

Zinckernagel, C. (2021): Final Gap analysis and recommendations on autonomous vehicles for public service. AVENUE Deliverable D2.3. https://h2020-avenue.eu/wp-content/uploads/2023/03/H2020-AVENUE-Final-Gap-analysis-D2.3-v3.0-Final-report-April-2021.docx-1-non-approved.pdf?utm_source=chatgpt.com.

AutorInnenangaben

Marie Borowski

Masterstudentin
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
E-Mail: marie.borowski@tum.de

Sebastian Seisenberger

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
E-Mail: sebastian.seisenberger@tum.de

Dr.-Ing. Julia Kinigadner

Forschungsgruppenleiterin
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
E-Mail: julia.kinigadner@tum.de