KIRA

KI-basierter Regelbetrieb autonomer On-Demand-Verkehre im Rhein-Main-Gebiet

BERICHT DER BEGLEITFORSCHUNG

Dr. Viktoriya Kolarova, Dr. Andrea Hauslbauer, Dr. Kerstin Stark, Laura Wernik

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Institut für Verkehrsforschung

Dr. Tim Wörle, Ann-Sophie Voss, Pia Tulodetzki, Prof. Martin Kagerbauer

Karlsruher Institut für Verkehrswesen (KIT), Institut für Verkehrswesen

Dr. Michael Oehl, Dr. Andreas Schrank

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

KIT Karlsruher Institut für Technologie

Gefördert durch:

Bundesministerium für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

INHALT

Executive Summary

1 Über das Projekt

2 Forschungsfragen der Begleitforschung

3 Methodik

3.1 Studiendesign
3.2 Stichproben
3.3 Verkehrsmodell

4 Mobilität und Angebot vor Ort

4.1 Mobilität
4.2 Bestehende Ridepooling-Nutzung

5 CUG: Nutzung und Anforderungen

5.1 Nutzung der Forschungsfahrzeuge innerhalb der CUG
5.2 Anforderungen
5.3 Nutzungsbereitschaft und Präferenzen
5.4 Potenziale und Risiken

6 Wirkungen

6.1 Erreichbarkeit
6.2 Verkehrliche Wirkungen

7 Technische Aufsicht und Mensch-Maschine-Interaktion

8 Fazit und Ausblick

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Executive Summary

Über das Projekt

KIRA erprobt autonome On-Demand-Fahrzeuge der Automatisierungsstufe Level 4 im realen öffentlichen Verkehr (ÖV) und untersucht, unter welchen Bedingungen sie langfristig in bestehende öffentliche Verkehrssysteme integriert werden können.

Forschungsfragen und Methodik

Die Begleitforschung zu Nutzendenanforderungen verbindet Befragungen, reale Nutzungsdaten, bestehende Mobilitätsdaten (u. a. Mobilität in Deutschland) und Verkehrsnachfragemodellierung, um den Status quo der Mobilität, Anforderungen und Akzeptanz der Nutzenden sowie mögliche Auswirkungen autonomer On-Demand-Angebote auf Mobilitätsverhalten und Verkehr zu untersuchen. Ergänzend wurden die Fahrgastkommunikation, die Mensch-Technik-Interaktion und Anforderungen an die Technische Aufsicht mithilfe experimenteller Studien und Fokusgruppen untersucht.

Mobilität und Angebot vor Ort

Die Mobilität in Hessen ist stark vom Pkw geprägt, zeigt gegenüber 2017 jedoch eine Verschiebung hin zum Umweltverbund. On-Demand ergänzt den ÖV dabei vor allem auf kurzen, spontanen und freizeitbezogenen Wegen und stärkt die erste bzw. letzte Meile.

Closed User Group (CUG): Nutzung und Anforderungen

Die bisherige Nutzung der KIRA-Forschungsfahrzeuge ist noch stark vom Erprobungscharakter geprägt; für eine regelmäßige Alltagsnutzung sind insbesondere größere Bediengebiete, passende Betriebszeiten, kurze Wartezeiten, eine attraktive Preisgestaltung nach Abschluss der derzeit kostenlosen Testphase sowie eine zuverlässige Fahrgastbetreuung entscheidend.

Verkehrliche Wirkungen

Die Modellierung zeigt, dass On-Demand-Verkehre Erreichbarkeit und Reisezeiten verbessern und durch eine gezielte Ausgestaltung von Bediengebieten, Flottengröße und ÖV-Verknüpfungen stärker als integrierter Bestandteil des öffentlichen Verkehrs wirken können.

Technische Aufsicht und Mensch-Maschine-Interaktion

Die Untersuchungen zeigen, dass eine verständliche automatisierte Fahrgastkommunikation über Text und Audio das Nutzererleben bei sicherheitsbedingten Fahrtunterbrechungen verbessert und damit die Technische Aufsicht entlasten kann. Zugleich besteht weiterer Forschungsbedarf zur Übertragbarkeit der Aufgaben des aktuellen Sicherheitsfahrpersonals auf eine Fernunterstützung im fahrerlosen Betrieb.

Fazit und Ausblick

Autonome On-Demand-Verkehre wirken vor allem als Ergänzung des bestehenden ÖV; entscheidend für ihre zukünftige Wirkung sind eine konsequente Integration in das Gesamtsystem und eine zuverlässige, bedarfsgerechte und wirtschaftlich attraktive Angebotsgestaltung.

1 Über das Projekt

Das Projekt KIRA (KI-basierter Regelbetrieb autonomer On-Demand-Verkehre) erprobt den Einsatz autonomer Fahrzeuge der Automatisierungsstufe Level 4 im öffentlichen Verkehr (ÖV). Im Rhein-Main-Gebiet werden elektrisch betriebene, per App buchbare On-Demand-Fahrzeuge unter realen Verkehrsbedingungen getestet. Ziel des Projekts ist es, Erkenntnisse über die technische und betriebliche Umsetzung sowie die langfristige Integration autonomer Mobilitätsangebote in den bestehenden ÖV zu gewinnen. Damit leistet KIRA einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung eines zukunftsfähigen und bedarfsgerechten öffentlichen Verkehrs.

2 Forschungsfragen der Begleitforschung

Im Rahmen der Begleitforschung des Projekts KIRA wurden verschiedene Aspekte des Einsatzes autonomer On-Demand-Verkehre untersucht. Dazu zählen insbesondere die technischen und betrieblichen Anforderungen, die Gestaltung der technischen Aufsicht, die Akzeptanz und Anforderungen der Nutzenden sowie die potenziellen Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten und das Verkehrssystem. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere folgende Forschungsfragen:

a) Welche Anforderungen und Erwartungen haben Nutzerinnen und Nutzer an autonome On-Demand-Angebote und wie können deren Akzeptanz und Nutzung gefördert werden?

b) Welche möglichen Auswirkungen haben autonome On-Demand-Angebote auf das Mobilitätsverhalten und den Verkehr in unterschiedlichen Raumtypen?

c) Wie ergänzt das On-Demand-Angebot das bestehende öffentliche Verkehrsangebot und verbessert es die Erreichbarkeit in der Region?

d) Welche Anforderungen ergeben sich an die Gestaltung der Technischen Aufsicht und der Mensch-Technik-Interaktion für einen sicheren und effizienten fahrerlosen Betrieb autonomer On-Demand-Verkehre?

3 Methodik

3.1 Studiendesign

Zur Analyse des Mobilitätsverhaltens und der Mobilitätsbedarfe im Untersuchungsraum Darmstadt und Offenbach wurden Daten der Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 und 2023 herangezogen. Ergänzend wurden Einstellungen, Erwartungen und Erfahrungen mit autonomen On-Demand-Angeboten empirisch untersucht. Hierzu wurden sowohl Personen aus der Bevölkerung als auch Teilnehmende der Closed User Group (CUG)[1] befragt. Ergänzend wurden Nutzungsdaten der bestehenden On-Demand-Angebote „Hopper“ und „HeinerLiner“ zur Analyse des bisherigen Nutzungsverhaltens herangezogen. Die Kombination dieser Daten und Erhebungen ermöglicht es,

[1] Die *Closed User Group* (CUG) bezeichnet eine geschlossene Gruppe ausgewählter und registrierter Testnutzender, die im Rahmen des KIRA-Erprobungsbetriebs Zugang zu den autonomen Forschungsfahrzeugen erhalten und diese unter realen Verkehrsbedingungen testen können.

allgemeine Einschätzungen mit konkreten Nutzungserfahrungen und regionalen Mobilitätsbedarfen in Beziehung zu setzen.

Der Schwerpunkt der Erhebung bildet die Befragung der CUG zu unterschiedlichen Zeitpunkten vor und während des Erprobungsbetriebs. Nur die Teilnehmenden der CUG konnten die KIRA-Forschungsfahrzeuge erproben und wurden über interne Kommunikationswege zur Teilnahme an den Erhebungen aufgefordert. Die Befragungen umfassten eine Einstiegsbefragung zum Mobilitätsverhalten und eine Hauptbefragung zu Nutzungserfahrungen und Einstellungen, sowie ein zweistufiges Stated-Choice-Experiment zur Verkehrsmittelwahl. Anhand hypothetischer Alltagssituationen wählten die Teilnehmenden für unterschiedliche Wegezwecke und Distanzen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln (Öffentlicher Verkehr, Pkw, Fahrrad und On-Demand). In einigen Fällen standen auch intermodale Kombinationen zur Auswahl. Die visuell dargestellten Entscheidungssituationen variierten hinsichtlich Reisezeit, Kosten, Wartezeit, Komfort und Automatisierungsgrad (siehe Abbildung 1).

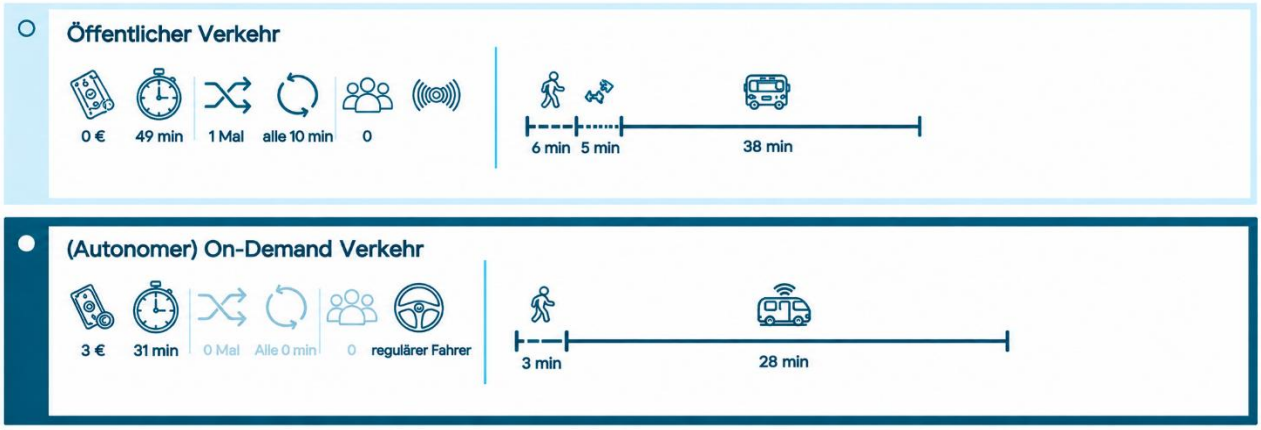


Abbildung 1 ·Beispielhafte Auswahlsituation im Stated-Choice-Experiment: ÖV im Vergleich zu (autonomem) On-Demand

Ergänzend wurden mit einem Teil der CUG sogenannte Drive-Alongs durchgeführt, um unmittelbare Nutzungserfahrungen zu erfassen. Dabei begleiteten eine Person aus dem Forschungsteam an mehreren Tagen gebuchte Fahrten und führte leitfadengestützte Interviews mit den Fahrgästen. Als Referenz für den Vergleich mit den CUG-Teilnehmenden wurde während des Erprobungsbetriebs zudem eine repräsentativ zusammengesetzte Stichprobe der Bevölkerung vor Ort[2] online zu ihren Einstellungen gegenüber autonomen On-Demand-Angeboten und ihrer Nutzungsbereitschaft befragt.

3.2 Stichproben

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Stichproben der durchgeführten Befragungen und ermöglicht einen Vergleich mit den Daten der Mobilität in Deutschland 2023 (MiD). Die Teilnehmenden der CUG weisen dabei folgende Merkmale auf:

- Jünger und überwiegend männlich: Die Teilnehmenden der CUG sind im Durchschnitt jünger als die hessische Bevölkerung; rund 75 % sind männlich.
- Vor allem erwerbstätig: Rund 67 % der Nutzenden sind berufstätig, während Rentnerinnen und Rentner deutlich seltener vertreten sind.

[2] Die Stichprobe wurde so zusammengestellt, dass sie hinsichtlich der Merkmale Alter und Geschlecht die Bevölkerungsstruktur vor Ort im Alter von 18 bis 65 Jahren widerspiegelt.

- Multimodal unterwegs: Besonders Personen, die bereits verschiedene Verkehrsmittel kombinieren (Auto, Fahrrad und ÖV), zeigen Interesse an autonom fahrenden On-Demand-Angeboten.
- Technikaffin und neugierig: Die Teilnahme wird vor allem durch Neugier auf autonomes Fahren und das Interesse, zur Weiterentwicklung der Technologie beizutragen, motiviert.

Tabelle 1 · Übersicht der Stichproben

Variable	Ausprägung	MiD[1] Hessen	MiD[1] Stadt Darmstadt / Lkr. Offenbach	Referenz-befragung	Einstiegs-befragung CUG[2]	Haupt-befragung CUG[2]	SP-Befragung CUG[2]
		%	%	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Stichprobe gesamt		37.605	3.722	1.001	1517	267	793
Alter	18–39 Jahre	30 %	36 %	34 %	804 (53 %)	117 (44 %)	384 (48 %)
	40–59 Jahre	31 %	30 %	34 %	477 (31 %)	88 (33 %)	273 (34 %)
	60+	39 %	34 %	31 %	236 (16 %)	58 (22 %)	125 (16 %)
Geschlecht	weiblich	51 %	50 %	50 %	388 (26 %)	70 (27 %)	197 (25 %)
	männlich	49 %	50 %	49 %	1124 (74 %)	190 (73 %)	585 (74 %)
	divers	0,2 %	0,2 %	0,1 %	5 (0,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Tätigkeit	erwerbstätig	53 %	56 %	63 %	1017 (67 %)	173 (67 %)	561 (71 %)
	Schüler/in, Student/in, Auszub.	10 %	12 %	6 %	279 (18 %)	40 (16 %)	100 (13 %)
	Hausfrau/Hausmann	3 %	3 %	2 %	9 (0,6 %)	0 (0 %)	4 (1 %)
	Rentner/in	29 %	24 %	22 %	140 (9,2 %)	31 (12 %)	77 (10 %)
	Sonstiges	5 %	4 %	7 %	72 (4,7 %)	14 (5 %)	32 (4 %)
Auto im Haushalt	ja	90 %	86 %	88 %	1163 (77 %)	209 (79 %)	635 (80 %)
	nein	10 %	14 %	12 %	354 (23 %)	54 (21 %)	158 (20 %)
Mobilitäts-typ	monomodal Auto	49 %	31 %	42 %	290 (18%)	52 (20 %)	174 (22 %)
	monomodal ÖV	8 %	9 %	8 %	219 (14 %)	33 (12 %)	78 (10 %)
	monomodal Fahrrad	6 %	12 %	3 %	83 (5 %)	7 (3 %)	35 (4 %)
	multimodal + Auto	32 %	38 %	39 %	698 (44 %)	122 (46 %)	371 (47 %)
	multimodal – Auto	5 %	10 %	4 %	283 (18 %)	51 (19 %)	127 (16 %)
	(fehlend, nicht berücksichtigt)	(15 %)	(15 %)	(5 %)	14 (0,9 %)	2 (0,7 %)	8 (1 %)

[1] MiD 2023 B2-Datensatz, Fälle gewichtet nach Personengewicht; nur Gesamtanzahl-Angabe ungewichtet. Fehlende Daten werden ausgeschlossen; [2] Nicht alle CUG nahmen an sämtlichen Befragungen teil. Die Einstiegsbefragung erreichte den Großteil der CUG, die Hauptbefragung ausschließlich Personen mit mindestens einer Fahrt und das SP-Experiment eine Teilgruppe der Einstiegsbefragten.

3.3 Verkehrsmodell

Das erstellte Verkehrsnachfragemodell hilft dabei, neue Verkehrskonzepte oder Änderungen (wie etwa die Einführung von On-Demand-Diensten) vorab zu testen, bevor sie tatsächlich umgesetzt werden. Dafür nutzt es verschiedene Datenquellen: statistische Informationen über die Bevölkerung und die

Region, Daten zum aktuellen Verkehrsangebot (z. B. Linienpläne, Taktungen) und beobachtetes Mobilitätsverhalten aus Befragungen. Eine Neuerung ist der Einsatz von regionalen Mobilfunkdaten. Damit lässt sich detailliert nachvollziehen, von wo nach wo sich Menschen bewegen. Für das Modell wurde so eine realitätsnahe Datengrundlage für die räumliche Verteilung der Wege geschaffen. Das Modell wurde für die Stadt- und Landkreise Darmstadt, Offenbach und Dieburg als Planungsraum zum Stand 2023 aufgebaut.

Für die Simulationen verwendet das Modell „mobiTopp“, einen aktivitätenbasierten Ansatz, der detailliert eine Vielzahl von mobilitätsbezogenen Entscheidungen nachbildet. Dabei werden synthetische Personen (Agenten) erstellt, die sich wie echte Menschen verhalten: Sie entscheiden sich für ein Verkehrsmittel, wechseln vielleicht auf On-Demand oder kombinieren verschiedene Optionen. So lässt sich ganz konkret durchspielen, wie sich der Verkehr im Tagesverlauf verändert und welche Auswirkungen neue Angebote auf das Mobilitätsverhalten haben. Das Modell nutzt die Verkehrsmittelpräferenzen der CUG, die im Projekt mit dem Stated-Choice-Experiment erhoben wurden, um realistisches Verhalten prognostizieren zu können. Mit dem Modell können Szenarien mit z. B. unterschiedlichen Angebotskonfigurationen untersucht werden. Die Modellierung ergänzt die Befragungen und die praktische Erprobung, indem sie deren Erkenntnisse auf unterschiedliche Angebotskonfigurationen überträgt und so die Untersuchung verkehrlicher Wirkungen ermöglicht, die im Rahmen des begrenzten Realbetriebs nicht unmittelbar beobachtet werden konnten.

4 Mobilität und Angebot vor Ort

KERNERGEBNIS

Die Mobilität in Hessen ist stark vom Pkw geprägt, zeigt gegenüber 2017 jedoch eine Verschiebung hin zum Umweltverbund. On-Demand ergänzt den Öffentlichen Verkehr dabei vor allem auf kurzen, spontanen und freizeitbezogenen Wegen und stärkt die erste bzw. letzte Meile.

4.1 Mobilität

Zur Einordnung des Mobilitätsverhaltens der CUG wird zunächst die allgemeine Mobilitätsentwicklung in Hessen betrachtet. Zwischen 2017 und 2023 sind sowohl die täglich zurückgelegte Strecke (von 40 auf 35 km) als auch die Zahl der Wege pro Person (von 3,2 auf 2,9 Wege pro Tag) zurückgegangen. Gleichzeitig sank der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) von 57 % auf 52 % der Wege, während der Umweltverbund (Fuß, Rad und ÖV) entsprechend an Bedeutung gewann (von 43 % auf 48 %). Dennoch entfallen weiterhin 74 % der Personenkilometer auf den MIV. Freizeitwege haben leicht an Bedeutung gewonnen (29 % der Wege), während Einkaufs- und Erledigungswege anteilig zurückgegangen sind. Auch der hohe Pkw-Besitz (82 % der Haushalte) verdeutlicht die weiterhin zentrale Rolle des Autos im Alltag (siehe auch Follmer, Heider & Ruppenthal, 2025).

4.2 Bestehende Ridepooling-Nutzung

Die Ridepooling[3]-Dienste „HeinerLiner“ (Darmstadt) und „Hopper“ (Offenbach) sind seit Jahren im Regelbetrieb und liefern damit echte Einblicke in die Mobilitätsentscheidungen der Menschen vor Ort. Ihre Nutzungsdaten aus dem Jahr 2023 zeigen interessante Muster: Die Nachfrage folgt einem klaren

[3] Ridepooling ist eine Form des On-Demand-Verkehrs, bei der Fahrgäste mit ähnlichen Fahrtzielen gebündelt werden und sich ein Fahrzeug auf gemeinsamen Streckenabschnitten teilen.

Wochentags-Rhythmus, bei dem mehr Fahrten werden gebucht werden, je näher das Wochenende rückt (siehe Abbildung 2). Dabei besteht eine deutliche Spitze in den Nachmittags- und Abendstunden. Damit unterscheidet sich Ridepooling stark vom klassischen ÖV, der morgens und nachmittags am stärksten nachgefragt ist, also zu den Rush Hour-Zeiten, wenn Menschen ihre Arbeitswege zurücklegen. Anhand von diesem Unterschied lässt sich ableiten, dass On-Demand-Verkehre eher für die Freizeitmobilität bzw. nicht für die Arbeitswege genutzt werden. Neben der zeitlichen Verteilung ist auch die Gruppengröße aufschlussreich: Drei Viertel der Buchungen erfolgen für jeweils nur einen Fahrgast. Dies deutet auf ein Potenzial hin, mehrere dieser Fahrten zu bündeln.

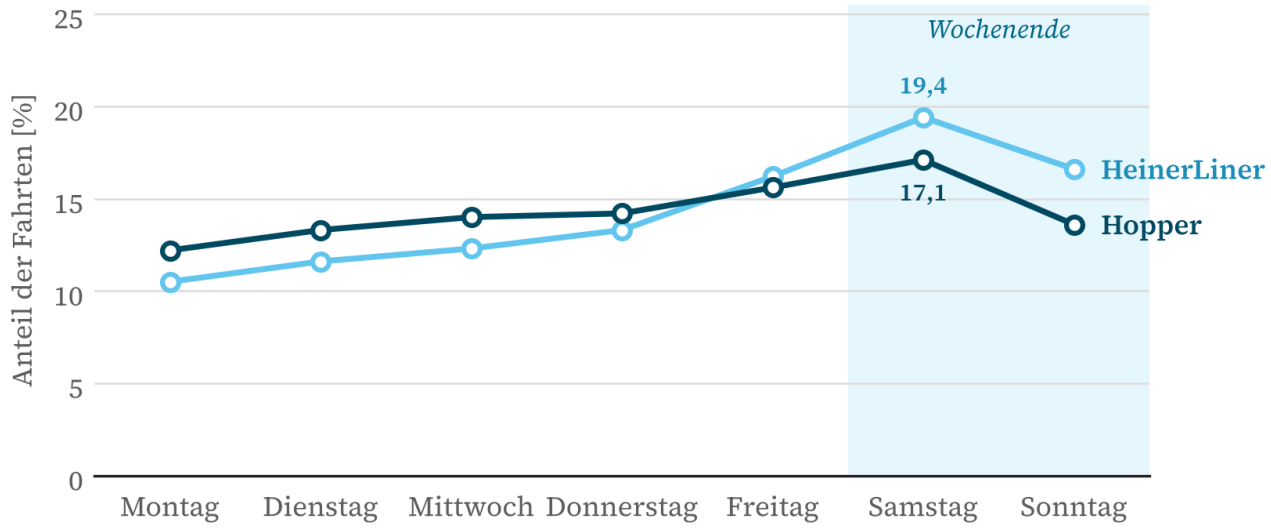


Abbildung 2: Verteilung der Fahrten auf die Wochentage, „HeinerLiner“ und „Hopper“;
Quelle: Nutzungsdaten HeinerLiner und Hopper, 2023

Die meisten Fahrten entfallen zudem auf kurze Strecken. Beim „Hopper“ liegt der Median bei 3,1 km, beim „HeinerLiner“ bei 4,3 km. Fast alle Fahrten sind kürzer als 20 km. Die Angebote werden somit eher für lokale Ziele als für längere Fahrten genutzt. Die Buchung erfolgt dabei überwiegend spontan: Beim „Hopper“ werden die meisten Fahrten mit sehr kurzer Vorlaufzeit gebucht (Abb. 3). Das stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität der Flotte, da die Fahrzeuge kurzfristig verfügbar sein müssen. Im Mittel können etwa 4 von 5 Fahrtanfragen bedient werden.

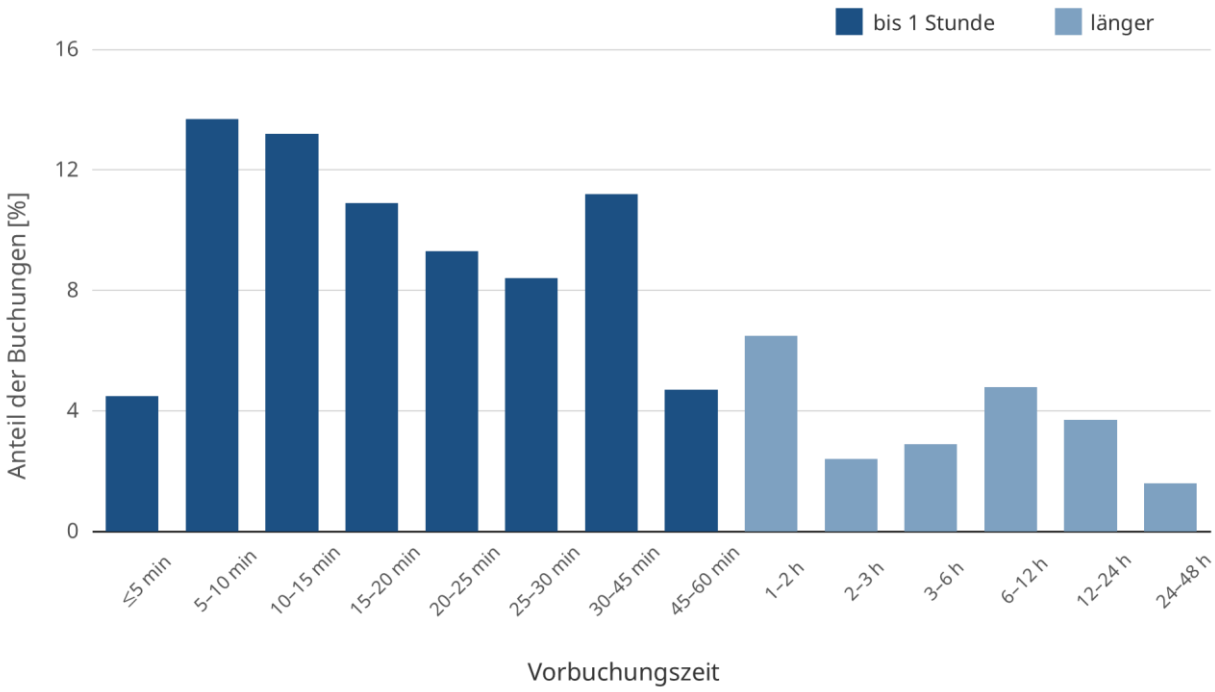


Abbildung 3: Vorbuchungszeit der Fahrten beim „Hopper“; Quelle: Nutzungsdaten Hopper, 2023

Hervorzuheben ist die Bedeutung der beiden On-Demand-Angebote für die Verknüpfung mit dem regulären ÖV: Ein erkennbarer Anteil von 20 % der Fahrten startet oder endet in der Nähe von ÖV-Haltestellen. Das bestätigt die Zubringerfunktion, die On-Demand-Verkehre für den Linienverkehr übernehmen können.

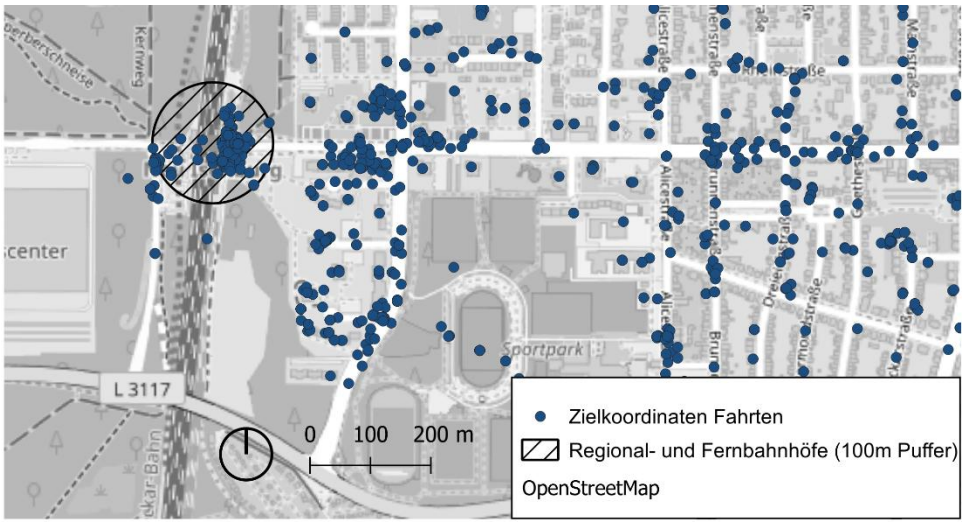


Abbildung 4: Zielkoordinaten der Fahrten im Umfeld eines Regional- und Fernbahnhofs (100-m-Puffer); Quelle: Nutzungsdaten 2023; Kartengrundlage © OpenStreetMap

5 CUG: Nutzung und Anforderungen

Der Erprobungsbetrieb bietet der CUG die Möglichkeit, das autonome On-Demand-Angebot in einem räumlich und zeitlich abgegrenzten Rahmen zu nutzen. Im Rahmen dieses Reallabors wurden die Customer Journey, die Nutzung des Angebots im Alltag sowie Anforderungen und Nutzungshindernisse untersucht. Die Buchung erfolgt digital über eine eigene App, die dem Fahrgast eine eine virtuelle Haltestelle in der Nähe für den Zustieg zuweist. Bei allen Fahrten im Erprobungsbetrieb mit Fahrgästen

befinden sich ein Sicherheitsfahrer zur Überwachung des Fahrbetriebs und ein Begleitfahrer oder eine Begleitfahrerin zur Unterstützung der Fahrgäste im Fahrzeug, da das Sicherheitsfahrpersonal während der Fahrt nicht angesprochen werden darf.

Die Einbindung einer technischen Aufsicht ist gesetzlich vorgeschrieben. Im künftigen fahrerlosen Betrieb übernimmt diese die Überwachung des Fahrbetriebs aus der Leitstelle, von der aus auch die digitale Fahrgastbetreuung sichergestellt werden muss.

Das begrenzte Bediengebiet, die festgelegten Betriebszeiten und die persönliche Begleitung im Fahrzeug prägen die Nutzungserfahrungen der CUG und sind bei der Interpretation der Befragungsergebnisse zu berücksichtigen.

5.1 Nutzung der Forschungsfahrzeuge innerhalb der CUG

KERNERGEBNIS

Die Forschungsfahrzeuge stoßen auf großes Interesse und werden insbesondere zum Kennenlernen der autonomen Technologie genutzt. Darüber hinaus zeigen sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Freizeit- und Alltagswege.

Im Rahmen des Erprobungsbetriebes gab es bestimmte Tage und Zeitfenster, in denen Fahrten von der CUG gebucht werden konnten. Das Betriebsgebiet umfasste Langen, Egelsbach und ausgewählten Stadtteilen Darmstadts auf festgelegten Strecken und an ausgewählten Haltepunkten. Zunächst beschränkte sich das Angebot auf drei Tage die Woche, mittwochs bis freitags, zwischen 09:30 und 15:30 Uhr, Anfang März 2026 wurden die Betriebszeiten auf mittwochs bis freitags von 08:30 bis 18:00 Uhr ausgeweitet, um die Nutzung z. B. auch Erwerbstätigen zu ermöglichen. Parallel erfolgte eine Erweiterung des Bediengebiets, der Anzahl virtueller Haltestellen sowie der eingesetzten Fahrzeuge (von sechs auf acht).

Der aktuelle Einsatz der Forschungsfahrzeuge ist noch stark vom Test- und Erlebnischarakter geprägt. Aufgrund des räumlich und zeitlich begrenzten Erprobungsbetriebs überwiegt bislang eine gelegentliche Nutzung. 69 % der befragten Teilnehmenden haben die Forschungsfahrzeuge ein- bis zweimal genutzt, weitere 22 % drei- bis fünfmal. Damit entfallen insgesamt 91 % auf Personen mit höchstens fünf Fahrten im betrachteten Erhebungszeitraum (vgl. Abbildung 5).



Abbildung 5: Häufigkeit der bisherigen Nutzung der KIRA-Forschungsfahrzeuge; die Abbildung wurde KI-generiert

Rund zwei Drittel der befragten CUG-Mitglieder geben an, die Forschungsfahrzeuge zum Ausprobieren der autonomen Fahrtechnologie genutzt zu haben (siehe Abbildung 6). Darüber hinaus wurde das Angebot auch für alltägliche Wege genutzt. Am häufigsten wurden Einkaufs- und Besorgungswege (rund 25 %) sowie Freizeitaktivitäten und Heimfahrten (jeweils rund 20 %) genannt. Fahrten zur Arbeit oder Ausbildung waren deutlich seltener.

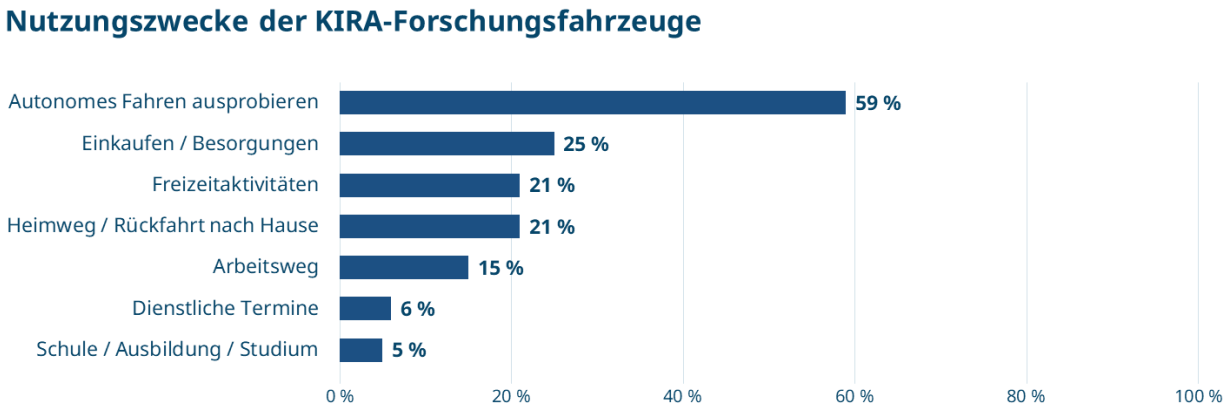


Abbildung 6: Nutzungszwecke der KIRA-Forschungsfahrzeuge innerhalb der Closed User Group (CUG), Mehrfachnennungen möglich, Angaben in Prozent der Befragten

Die Drive-Alongs bestätigen und vertiefen dieses Bild: Die Teilnehmende der CUG sind interessiert an der Technik und am Erlebnis, mit einem hochautomatisierten Fahrzeug zu fahren. Sie wollen sich selbst ein Bild vom Entwicklungsstand der Technik in Deutschland machen, auch im Vergleich zu dem, was laut Medienberichten bereits in China oder den USA möglich ist.

5.2 Anforderungen und Hindernisse

KERNERGEBNIS

Für eine hohe Akzeptanz und regelmäßige Alltagsnutzung sind ein bedarfsgerechtes Angebot mit erweiterten Betriebszeiten, einem größeren Bediengebiet sowie einer jederzeit erreichbaren Ansprechperson bei Fragen oder Problemen entscheidend.

Welche Anforderungen an das KIRA-Angebot bestehen und was einer häufigeren Nutzung entgegensteht, wurde sowohl bei den Mitgliedern der CUG als auch bei der Bevölkerung vor Ort als potenziellen Nutzenden untersucht.

Bevorzugte Nutzungszeiten: Bei den Befragten, die sich eine Nutzung autonomer On-Demand-Angebote wie KIRA im Alltag vorstellen können, zeigen sich in der CUG und der Referenzbefragung ähnliche zeitliche Präferenzen. Die Nutzungsbereitschaft verteilt sich relativ gleichmäßig über die Wochentage, wobei insbesondere der Freitag höhere Werte aufweist (siehe Abbildungen 7 und 8). Auch für die Nachmittags- und Abendstunden zeigt sich eine erhöhte Nutzungsbereitschaft. Insgesamt lässt sich somit kein eindeutig bevorzugter Nutzungstag identifizieren. Die Ergebnisse deuten vielmehr auf einen zeitlich breit verteilten potenziellen Nutzungsbedarf hin.

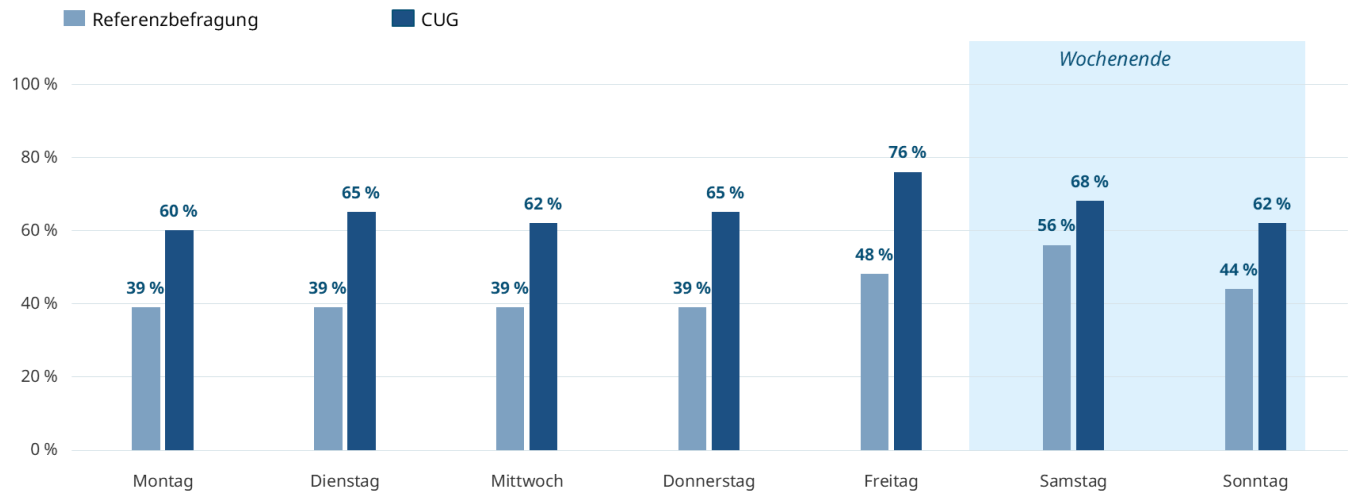


Abbildung 7: Bevorzugte Wochentage für die Nutzung des KIRA-Angebots, Vergleich zwischen Referenzbefragung und CUG; Mehrfachnennungen möglich, Angaben in Prozent der Befragten

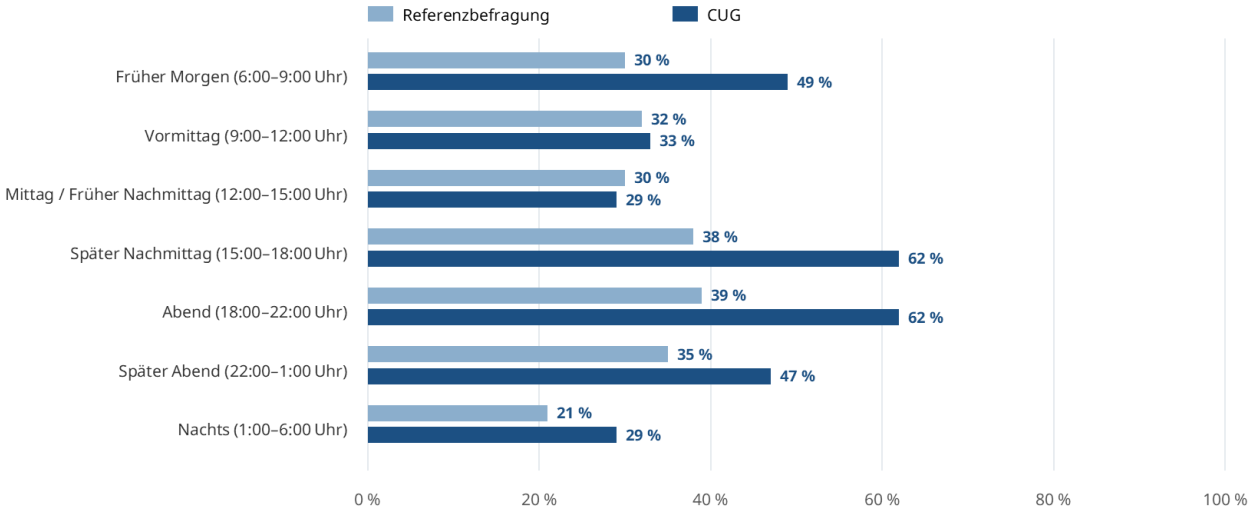


Abbildung 8: Bevorzugte Tageszeiten für die Nutzung des KIRA-Angebots, Vergleich zwischen Referenzbefragung und CUG; Mehrfachnennungen möglich, Angaben in Prozent der Befragten

Hemmnisse für häufigere Nutzung: Als wesentliche Einschränkungen für eine häufigere Nutzung im Erprobungsbetrieb werden die begrenzten Betriebszeiten und das verfügbare Bediengebiet genannt. Weitere Hindernisse betreffen die Eignung für typische Wegezwecke, Mitnahmemöglichkeiten sowie die notwendige Vorbuchung (siehe Abbildung 9). Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass das Angebot während des Erhebungszeitraums erweitert wurde und diese Veränderungen in den Ergebnissen noch nicht vollständig abgebildet sind[4].

[4] Anfang März 2026 wurden die Betriebszeiten von mittwochs bis freitags 09:30–15:30 Uhr auf 08:30–18:00 Uhr ausgeweitet, die Zahl der virtuellen Haltestellen verdreifacht, das Bediengebiet erweitert und die Fahrzeugflotte von sechs auf acht Fahrzeuge erhöht.

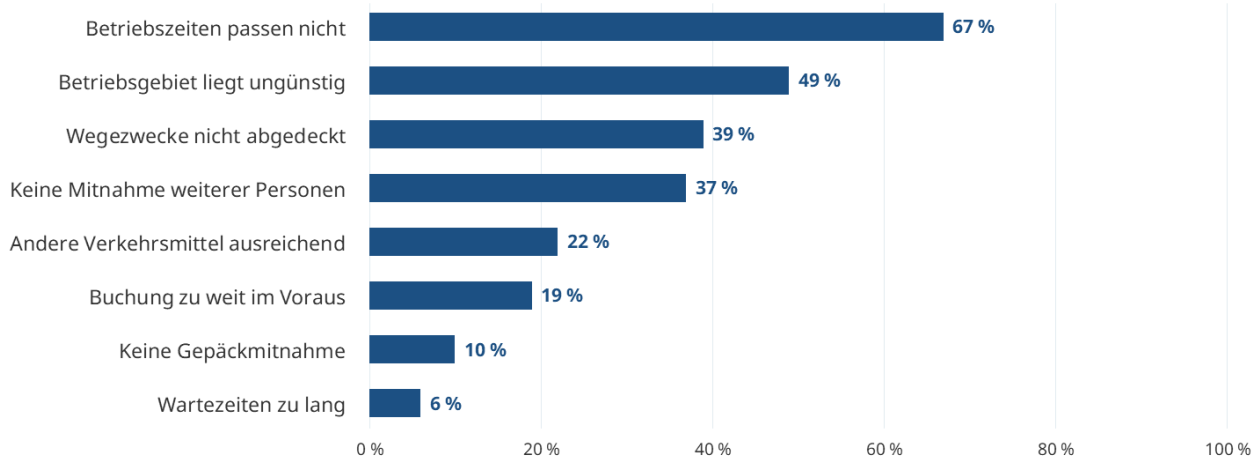


Abbildung 9: Gründe für die eingeschränkte Nutzung des KIRA-Angebots innerhalb der Closed User Group, Mehrfachnennungen möglich, Angaben in Prozent der Befragten

Auch die Drive-Alongs zeigen: Wegen der beschränkten Nutzungsmöglichkeiten (keine Mitnahme von Gepäck oder von Personen) und Betriebszeiten wird das KIRA-Angebot noch kaum wie ein reguläres Verkehrsangebot im Alltagskontext eingesetzt.

Voraussetzungen für eine künftige Nutzung: Für die künftige Nutzung autonomer On-Demand-Angebote sind aus Sicht der Befragten insbesondere kurze Wartezeiten, bezahlbare Preise, eine hohe Zuverlässigkeit und technische Reife sowie ein gut funktionierendes Servicemodell entscheidend. Eine Minderheit äußert zudem Zweifel an der Umsetzbarkeit im europäischen Straßenraum und bevorzugt weiterhin das private Auto.

Unzuverlässige Technik als mögliche Akzeptanzbarriere für ein künftiges autonomes Angebot: In den Drive-Alongs wird deutlich, dass Technik, die in Deutschland zugelassen wird, ein hohes Vertrauen genießt. Bei den Testfahrten waren die Mitglieder der CUG fasziniert, wie gut das Fahrzeug fahren und manövrieren konnte und ihnen verschaffte die für sie einsehbare Darstellung der erkannten anderen Verkehrsteilnehmenden Sicherheit. Es wurden aber auch Herausforderungen benannt, etwa die Interaktion zwischen autonomen und manuell betriebenen Fahrzeugen im Verkehr oder das zuverlässige Funktionieren der Technik in allen verkehrlichen Situationen. Einzelne Mitglieder der CUG berichteten von Situationen, in denen ein manueller Eingriff des Sicherheitsfahrpersonals erforderlich war. Dies führte teilweise zu Bedenken hinsichtlich eines künftigen fahrerlosen Betriebs:

> *„Also ich habe ja bei der ersten Fahrt auch gesehen, dass dieses System schon noch ein bisschen Probleme hatte. Da ging es einmal ums Abbiegen, und da musste der Fahrer damals auch manuell eingreifen und noch mal kurz zurücksetzen. Also ich muss sagen, wenn jetzt gar keiner im autonomen Auto wäre, hätte ich schon gedacht: Mhm … keine Ahnung, hätte ich ein bisschen Bedenken.“ (CUG-befragte Person im Rahmen der Drive-Alongs, sprachlich geglättet)*

Weitere Anforderungen an die künftige Nutzung: Die Befragungen und Drive-Alongs zeigen, dass für die zukünftige Nutzung autonomer On-Demand-Angebote insbesondere eine gute Erreichbarkeit, ein zuverlässiger Betrieb sowie eine transparente Preisgestaltung und Fahrgastbetreuung wichtig sind. Eine aus dem Fahrzeug heraus erreichbare Ansprechperson wird dabei als unverzichtbare Anforderung angesehen. Zusätzliche Attraktivität schaffen die Nutzbarkeit des Angebots im Rahmen des regulären ÖV-Tarifs sowie Informationen zur Fahrtroute und Fahrzeugwahrnehmung über ein Display. Aus den Drive-Alongs lassen sich darüber hinaus folgende konkrete Anforderungen ableiten:

- Verfügbarkeit und Erreichbarkeit: Ein möglichst großes Bediengebiet und ein dichtes Netz an Haltepunkten erleichtern die Nutzung für alltägliche Wege, etwa zum Einkaufen oder für Arztbesuche. Auch eine Abholung direkt an der Wohnungstür wird insbesondere bei schlechtem Wetter oder mit Gepäck als Mehrwert angesehen.

- Fahrtzeiten und Ridepooling: Die gemeinsame Beförderung mit anderen Fahrgästen wird akzeptiert, sofern Umwege und zusätzliche Stopps keine größeren Zeitverluste verursachen. Fahrtzeiten sollten vorab transparent und verlässlich sein.
- Sicherheit und Unterstützung: Eine direkte Kommunikation mit der Leitstelle bei Problemen oder Notfällen sowie Informationen zur Fahrtroute und Objekterkennung stärken das Sicherheitsgefühl. Auch klare Haftungsregelungen werden als wichtig erachtet.
- Komfort und Barrierefreiheit: Ausreichende Gepäckkapazitäten, eine einfache Handhabung und barrierefreie Fahrzeuge sind wichtige Voraussetzungen. Unterhaltungssysteme werden als mögliche Ergänzung für längere Fahrten genannt.
- Preisgestaltung: Die Kosten sollten transparent und gegenüber anderen Verkehrsmitteln, insbesondere dem privaten Pkw oder Taxi, attraktiv sein.

  „Dann (im Fall einer Verstetigung des autonomen Angebots, Anm. Verfassende) ist es letztlich eine Preisfrage. Ich meine, du kannst dir ein Taxi rufen, dann weißt du ungefähr, was es kostet. Und hier? Es gibt ja auch Dienste, Uber, da weißt du ja im Vorfeld genau, was du bezahlst oder hast schon bezahlt, wenn du einsteigst. Und wenn man das hier auch wüsste und vergleicht das dann mit was anderem, dann könnte es interessant werden." (CUG-Befragte Person im Rahmen der Drive-Alongs)

5.3 Nutzungsbereitschaft und Präferenzen

Aufbauend auf den zuvor dargestellten Anforderungen und Voraussetzungen wird im Folgenden dargelegt, wie ausgeprägt die Bereitschaft zur Nutzung autonomer On-Demand-Angebote ist und welche Faktoren die Verkehrsmittelwahl beeinflussen.

Mithilfe eines Stated-Choice-Experiments wurde untersucht, unter welchen Bedingungen sich Menschen für autonome On-Demand-Angebote im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln entscheiden würden. Die Ergebnisse zeigen Unterschiede in den Mobilitätspräferenzen und im Verkehrsverhalten der Befragten, die auch bei der Verkehrsmodellierung berücksichtigt wurden (siehe Kapitel 6).

Nutzungsbereitschaft: Die Befragungsergebnisse zeigen, dass sich viele Befragte vorstellen können, autonome On-Demand-Verkehre ergänzend zu ihren bisherigen Verkehrsmitteln zu nutzen. Ein Teil würde dafür sogar bestehende Verkehrsmittel ersetzen. Besonders ausgeprägt ist die Nutzungsbereitschaft innerhalb der CUG (siehe Abbildung 10). Die Bereitschaft, das bisher bevorzugte Verkehrsmittel durch KIRA zu ersetzen, ist bei multimodalen Personen und Nutzenden des Umweltverbunds höher als bei monomodalen Autofahrenden. Dennoch zeigt sich auch unter den monomodalen Autofahrenden eine grundsätzliche Wechselbereitschaft.

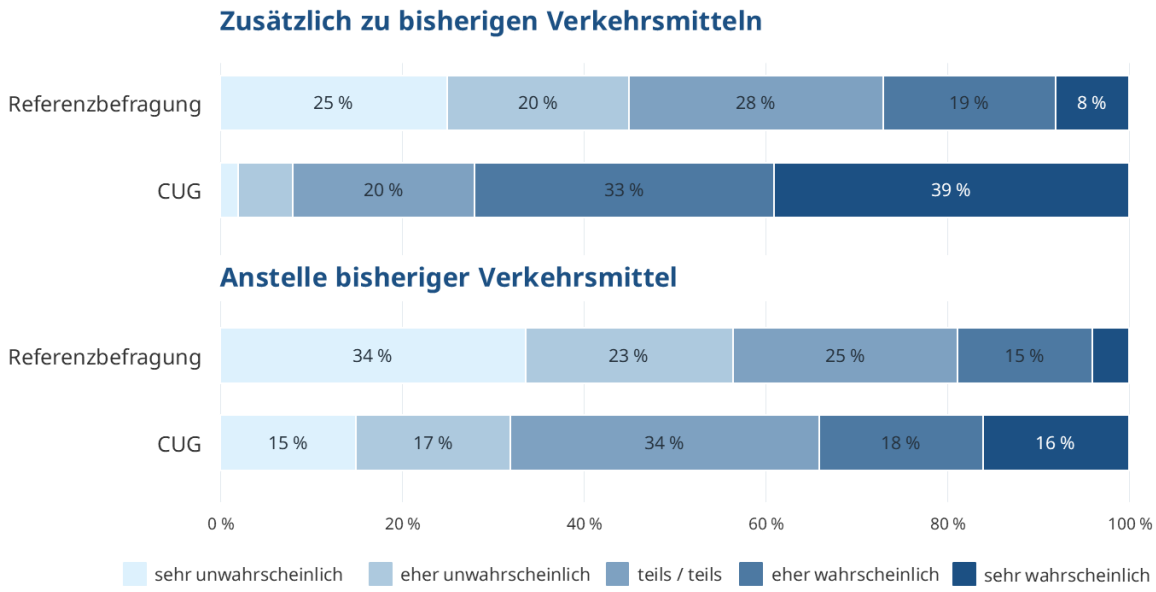


Abbildung 10: Bereitschaft zur zusätzlichen und ersetzenden Nutzung autonomer On-Demand-Verkehre im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent.

5.4 Potenziale für den öffentlichen Verkehr

KERNERGEBNIS

Autonome On-Demand-Verkehre werden überwiegend als Ergänzung und nicht als Ersatz des bestehenden ÖV gesehen. Ihr Potenzial kann dann am besten ausgeschöpft werden, wenn das Angebot in das ÖV-System integriert wird und für die Verbindungen und zu den Zeiten eingesetzt wird, wo der reguläre ÖV bisher zu wenig bedarfsgerecht verfügbar ist.

Sowohl die Mitglieder der CUG als auch die Befragten der Referenzbefragung wurden gebeten einzuschätzen, welche weitergehenden Potenziale und Wirkungen sie von autonomen On-Demand-Angeboten wie KIRA für die künftige Mobilität erwarten.

Potenziale: Die Mehrheit der Befragten sieht autonome On-Demand-Verkehre als sinnvolle Ergänzung des bestehenden ÖV, insbesondere für die erste und letzte Meile, Randzeiten sowie schwach nachgefragte Strecken. Insbesondere für Fahrten in die ländlichen Gebiete oder nachts wird ein autonomes Angebot als Mehrwert gesehen, um nicht auf Bus angewiesen zu sein, der nur selten fährt.

> *„... dass man nicht auf den Bus angewiesen ist, weil nachts dann gar keine Busse mehr fahren. Jetzt nicht unbedingt nach Frankfurt, aber halt so wie eine Art Taxi-Shuttle-Service zu ÖPNV-Preisen, fände ich es eigentlich gar nicht so schlecht." (CUG-Befragte Person im Rahmen der Drive-Alongs, geglättet/gekürzt)*

Verbesserte Erreichbarkeit und soziale Teilhabe für Menschen ohne Auto: Ein autonomes Angebot kann als potenzielle Mobilitätslösung für ältere Menschen oder Personen mit eingeschränkter Mobilität dienen, die nicht mehr gut zu Fuß sind und über keinen Zugang zu einem privaten Auto verfügen. Dafür müssten zumindest einzelne Fahrzeuge barrierefrei gestaltet werden. Fahrzeugseitig besteht eine technische Herausforderung darin, auch Personen mit Unterstützungsbedarf eine sichere Nutzung ohne Fahrpersonal zu ermöglichen.

Erwartete Wirkungen: Die Befragten erwarten durch autonome On-Demand-Angebote insbesondere eine bessere zeitliche Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs, auch abends, nachts und am Wochenende, sowie zusätzliche Bus- und Bahnverbindungen. Darüber hinaus werden eine

Verringerung der individuellen Autonutzung und eine Entlastung beim Personalmangel im ÖV erwartet. Diese Erwartungen sind innerhalb der CUG deutlich stärker ausgeprägt als in der Referenzbefragung (siehe Abbildung 11).

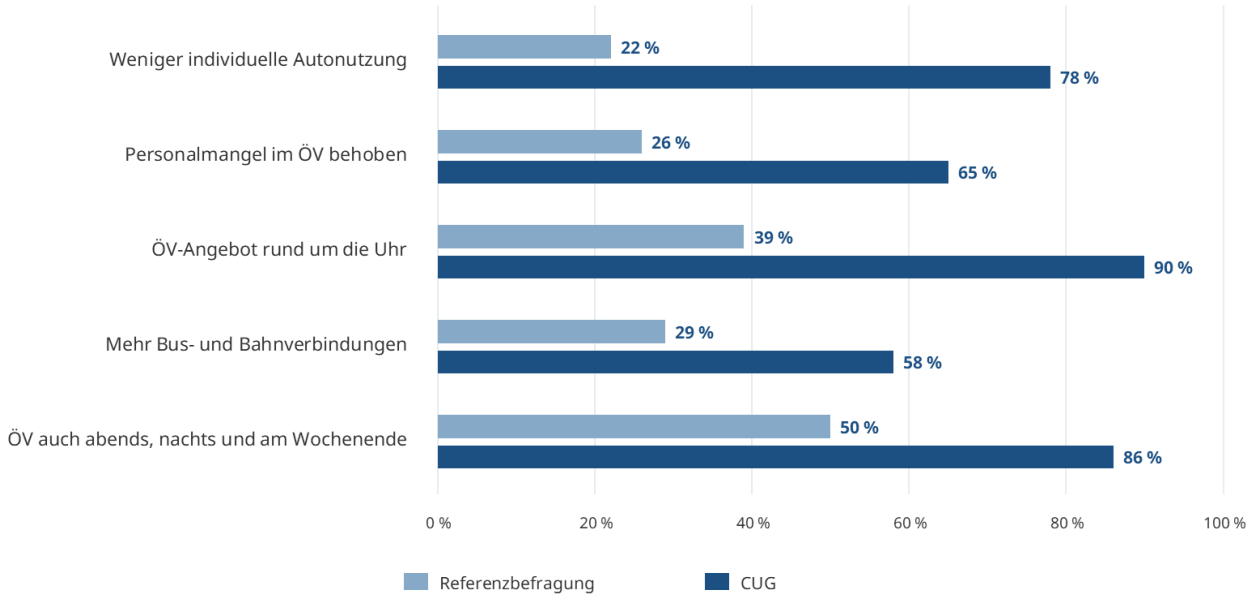


Abbildung 11: Erwartungen an die Auswirkungen autonomer On-Demand-Verkehre im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Dargestellt ist der Anteil der Befragten, der die jeweilige Auswirkung als „ziemlich wahrscheinlich“ oder „ganz sicher“ einschätzt.

Ergänzend zu diesen Einschätzungen aus Nutzendensicht wurden im Rahmen der Begleitforschung auch die verkehrlichen Wirkungen autonomer On-Demand-Angebote modellbasiert untersucht. Aufbauend auf den Erkenntnissen zu den Nutzungspräferenzen werden die Ergebnisse dieser Untersuchung im folgenden Kapitel dargestellt.

6 Wirkungen

6.1 Erreichbarkeit

KERNERGEBNIS

On-Demand-Verkehre ergänzen den Linienverkehr nicht nur dort, wo er fehlt, sondern können ihn auch attraktiver machen. Sie sind ein Werkzeug, um mehr Menschen eine räumlich und zeitlich flexible Mobilität zu bieten.

On-Demand-Angebote wie „Hopper“ (Offenbach) oder „HeinerLiner“ (Darmstadt) können den ÖV sinnvoll ergänzen. Sie setzen genau dort an, wo der klassische Linienverkehr Lücken lässt, zum Beispiel in abgelegenen Gebieten oder zu Zeiten mit geringem Fahrplanangebot. In Darmstadt deckt der ÖV bereits relativ viel ab. Hier fehlt es vor allem an abendlichen oder nächtlichen Verbindungen, die durch On-Demand-Dienste geschlossen werden können. Im Landkreis Offenbach gibt es dagegen deutlich mehr Lücken: Besonders am Wochenende und nachts sind viele Fahrten mit dem Linienverkehr überhaupt nicht möglich.

Doch selbst in Gebieten mit guter ÖV-Abdeckung bringt der On-Demand-Verkehr einen klaren Vorteil: In über 90 % aller Fahrten ist das On-Demand-Angebot schneller als der konventionelle Linienverkehr. Das bedeutet: Nicht nur in schlecht angebundenen Regionen, sondern überall profitieren Fahrgäste von kürzeren Reisezeiten. Aufgrund der deutlich geringeren Kapazitäten des On-Demand-Angebotes bleibt

der klassische Linienverkehr zu den stärker nachgefragten Zeiten aber unverzichtbar. Abbildung 12 zeigt, wie sich die Erreichbarkeit mit dem ÖV durch den Einsatz von On-Demand-Verkehren verbessert. Besonders in der Zeitspanne zwischen 30 und 45 Minuten steigt die Zahl der erreichbaren Ziele deutlich an – innerhalb dieses Zeitrahmens können mit On-Demand mehr Orte angesteuert werden als zuvor allein mit dem Linienverkehr.

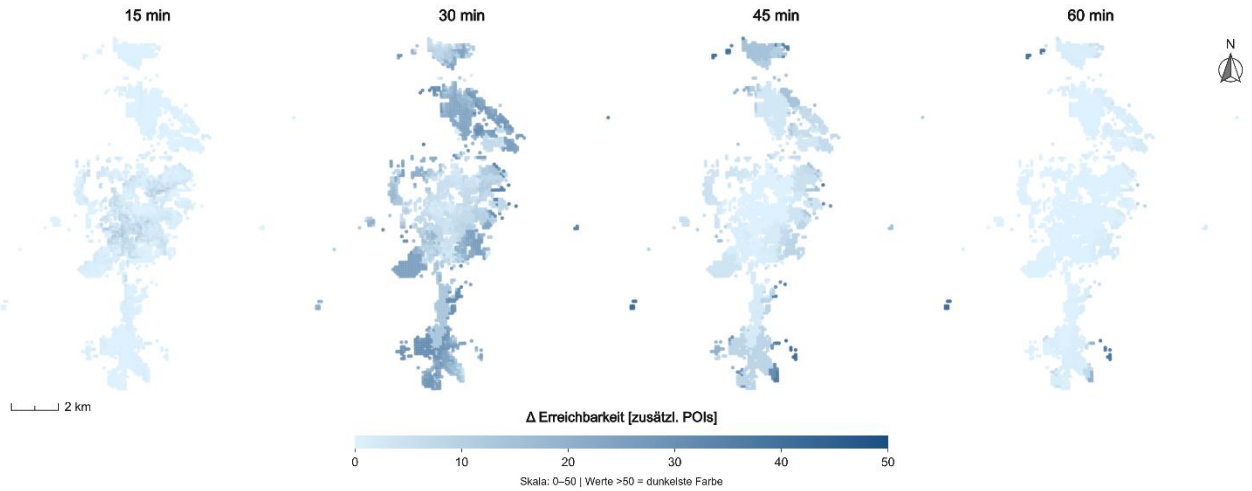


Abbildung 12: Erreichbarkeitsverbesserung von Supermärkten durch On-Demand-Verkehre nach Reisezeitbudget (15, 30, 45 und 60 Minuten), Wochenende 19 Uhr, in zusätzlich erreichten POIs — je dunkler, desto größer die Verbesserung; Quelle: KIT-Modellierung

6.2 Verkehrliche Wirkungen

KERNERGEBNIS

On-Demand-Verkehre ergänzen den Umweltverbund. Eine wachsende Nachfrage bei einem weiteren Ausbau des Angebotes führt zu (leicht) positiven verkehrlichen Wirkungen. Die Gestaltung des Angebotes hat einen großen Einfluss darauf, wie Personen es nutzen.

Die Einführung eines neuen Verkehrsangebots kann die Verkehrsmittelwahl der Bevölkerung und damit die Nutzung bestehender Angebote verändern. Um mögliche Auswirkungen autonomer On-Demand-Verkehre abzuschätzen, wurden verschiedene Zukunftsszenarien entwickelt. Ziel ist es, zu untersuchen, welche Rolle diese Angebote künftig im Verkehrssystem einnehmen können. Als Vergleichsgrundlage dienen die heutige Bevölkerung und das derzeitige Verkehrsangebot. Darin sind auch die bereits bestehenden, fahrerbasierten On-Demand-Verkehre enthalten. Diese umfassen derzeit rund 80 Fahrzeuge und sind in der Nutzung etwas teurer als der klassische öffentliche Personennahverkehr. Die bestehenden und simulierten On-Demand-Verkehre erlauben die gleichzeitige Nutzung des Fahrzeugs durch unterschiedliche Personen(-gruppen), weshalb im Weiteren von Ridepooling gesprochen wird.

Für die Zukunft wird davon ausgegangen, dass die Zahl der eingesetzten Fahrzeuge steigt, der Betrieb zunehmend automatisiert wird und die Angebote stärker mit dem übrigen öffentlichen Verkehr verknüpft werden. Darüber hinaus werden unterschiedliche Zuschnitte der Bediengebiete betrachtet. In einigen Szenarien ist das Angebot nur in kleineren Teilgebieten verfügbar, während es in anderen Szenarien im gesamten Kreisgebiet genutzt werden kann.

Das Mobilitätsverhalten wird häufig mithilfe des Modal Splits beschrieben. Dieser zeigt, welchen Anteil die einzelnen Verkehrsmittel am Verkehrsaufkommen beziehungsweise an der gesamten Verkehrsleistung haben. Abbildung 13 stellt den Modal Split des Verkehrsaufkommens im heutigen Zustand des Planungsraums dar. Dabei wird deutlich, dass Ridepooling bislang nur einen sehr geringen

Anteil am gesamten Verkehr erreicht. Seine gesamtverkehrliche Bedeutung ist daher derzeit noch begrenzt. Die bestehende Wirkung des Ridepooling liegt vor allem darin, das öffentliche Verkehrsangebot zu ergänzen und die Erreichbarkeit bestimmter Gebiete oder Ziele zu verbessern. Die geringen Nutzungsanteile müssen jedoch auch im Verhältnis zur Größe des Angebots betrachtet werden. Im Planungsraum stehen lediglich 83 On-Demand-Fahrzeuge zur Verfügung. Demgegenüber sind dort rund 290.000 private Pkw zugelassen (Kraftfahrt-Bundesamt, 2023).

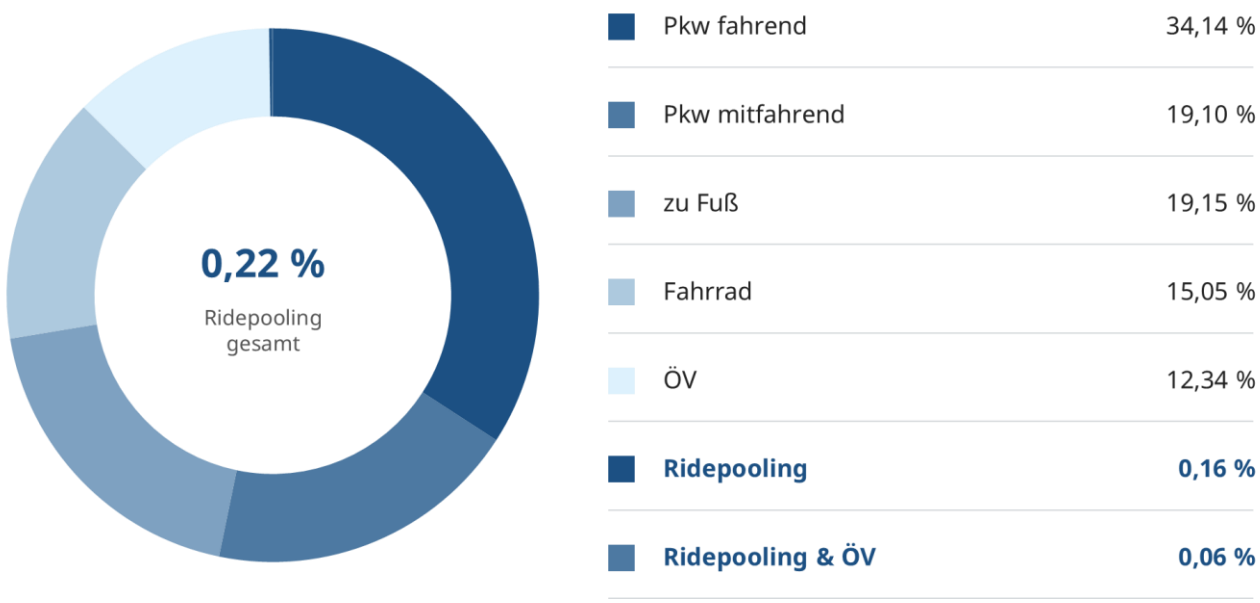


Abbildung 13: Modal Split des Verkehrsaufkommens im heutigen Zustand des Planungsraums, in %; Quelle: KIT-Modellierung

Um unterschiedliche Nutzungs- und Verhaltensmuster genauer zu untersuchen, werden verschiedene Kennwerte nach Personengruppen und Wegezwecken ausgewertet. Auf diese Weise können wichtige Zielgruppen für On-Demand-Angebote untersucht werden. Die Ergebnisse können anschließend dazu genutzt werden, die Planung und Ausgestaltung der Angebote stärker an den Bedürfnissen dieser Gruppen auszurichten. Abbildung 14 zeigt die Anteile der beiden betrachteten On-Demand-Nutzungsformen am Modal Split für verschiedene Bevölkerungs- und Nutzungsgruppen. Ein höherer Anteil weist auf eine stärkere Nutzung im Vergleich zu anderen Gruppen hin. Dabei wird deutlich, dass Personen jüngeren und mittleren Alters sowie Personen aus Haushalten ohne Pkw On-Demand-Angebote überdurchschnittlich häufig nutzen. Bei jüngeren und mittelalten Personen zeigt sich außerdem, dass On-Demand vergleichsweise häufig mit dem öffentlichen Verkehr kombiniert wird, beispielsweise als Zubringer zu einer Haltestelle oder einem Bahnhof. Für ältere Menschen ist hingegen näher zu untersuchen, inwieweit die geringere Nutzung auf bestehende Nutzungshemmnisse zurückzuführen ist und wie die Angebote ausgestaltet werden können, um ihre Mobilität und gesellschaftliche Teilhabe zu unterstützen.

Darüber hinaus lassen sich typische Anwendungsfälle für On-Demand erkennen. Die Nutzung hängt unter anderem vom Zweck und Zeitpunkt einer Fahrt sowie von der Qualität der verfügbaren Verkehrsmittelalternativen ab. Besonders deutlich ist die Bedeutung von Freizeitwegen. On-Demand wird für diesen Zweck vergleichsweise häufig genutzt. Dies passt zu der ebenfalls erhöhten Nutzung in den Abendstunden, in denen das reguläre öffentliche Verkehrsangebot häufig eingeschränkter ist.

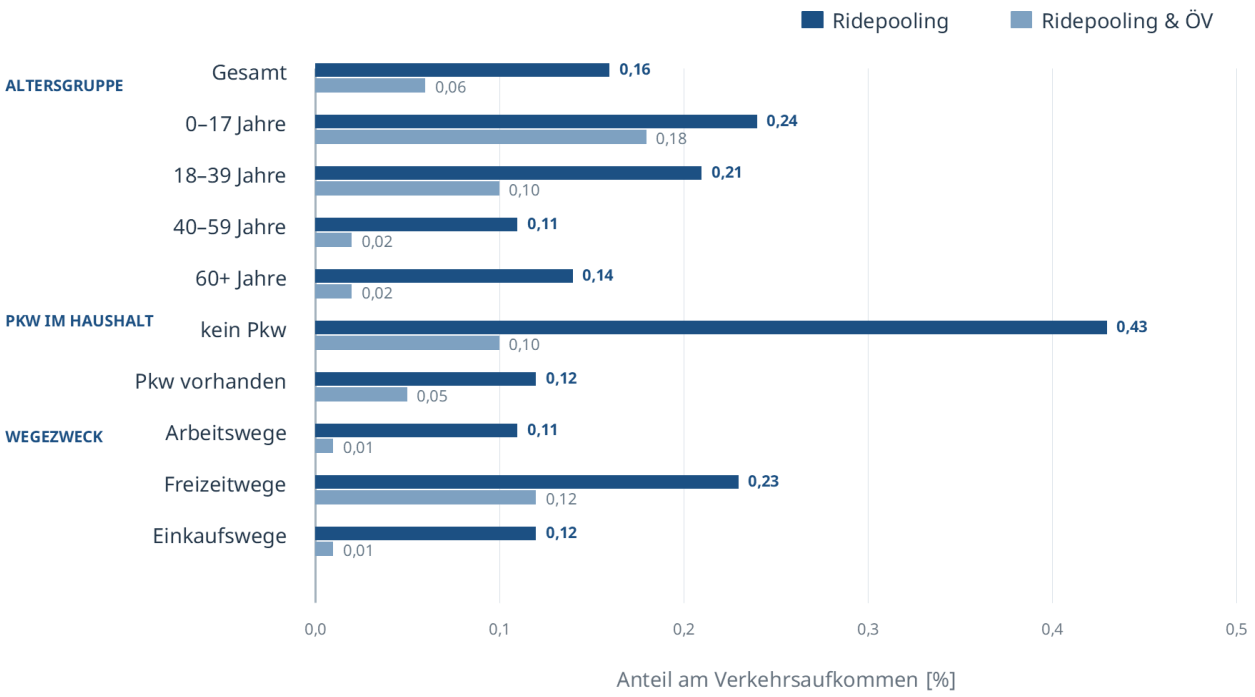


Abbildung 14: Anteil von Ridepooling und Ridepooling & ÖV am Verkehrsaufkommen nach Bevölkerungs- und Nutzungsgruppen, in %; Quelle: KIT-Modellierung

Um die verkehrlichen Wirkungen verschiedener Maßnahmen zu untersuchen, wird die Nutzung in den jeweiligen Szenarien mit dem heutigen Zustand verglichen. Auf diese Weise lässt sich bestimmen, in welchem Umfang sich die Verkehrsmittelwahl durch die Maßnahmen verändert. Dieser sogenannte Modal Shift zeigt, von welchen Verkehrsmitteln Fahrten auf das Ridepooling-Angebot verlagert werden. Das betrachtete Szenario umfasst eine Ausweitung der Bediengebiete sowie eine Verfünffachung der verfügbaren Fahrzeugzahl. Die Fahrten, die im Szenario mit Ridepooling durchgeführt werden, wurden zuvor überwiegend als mitfahrende Person im Pkw zurückgelegt. Danach folgen Fahrten, für die zuvor das Fahrrad oder der öffentliche Verkehr genutzt wurde (siehe Abbildung 15).

Die Wirkungen werden noch deutlicher, wenn neben der Zahl der Wege auch die zurückgelegten Distanzen betrachtet werden. Der Anteil der neu entstandenen Ridepooling-Nutzung an der Verkehrsleistung beträgt 0,90 %. Bezogen auf das Verkehrsaufkommen liegt der Anteil dagegen bei 0,71 %. Der höhere Wert bei der Verkehrsleistung ist darauf zurückzuführen, dass durch die größeren Bediengebiete im Durchschnitt längere Fahrten mit Ridepooling zurückgelegt werden. Die mit dem Pkw zurückgelegten Kilometer werden durch die Maßnahmen im Szenario um ca. 270 km je eingesetztes On-Demand-Fahrzeug reduziert. Da in der aktuellen Implementierung möglichst alle Fahrzeuge eingesetzt werden, kann dieser Wert mit einem effizienteren Pooling sogar noch verbessert werden. Mittel- bis langfristig kann sich die Verlagerung zugunsten von On-Demand-Angeboten weiter verstärken, wenn die Bevölkerung das Angebot zunehmend in ihre Alltagsmobilität integriert, positive Nutzungserfahrungen sammelt und gegebenenfalls den Pkw-Besitz reduziert.

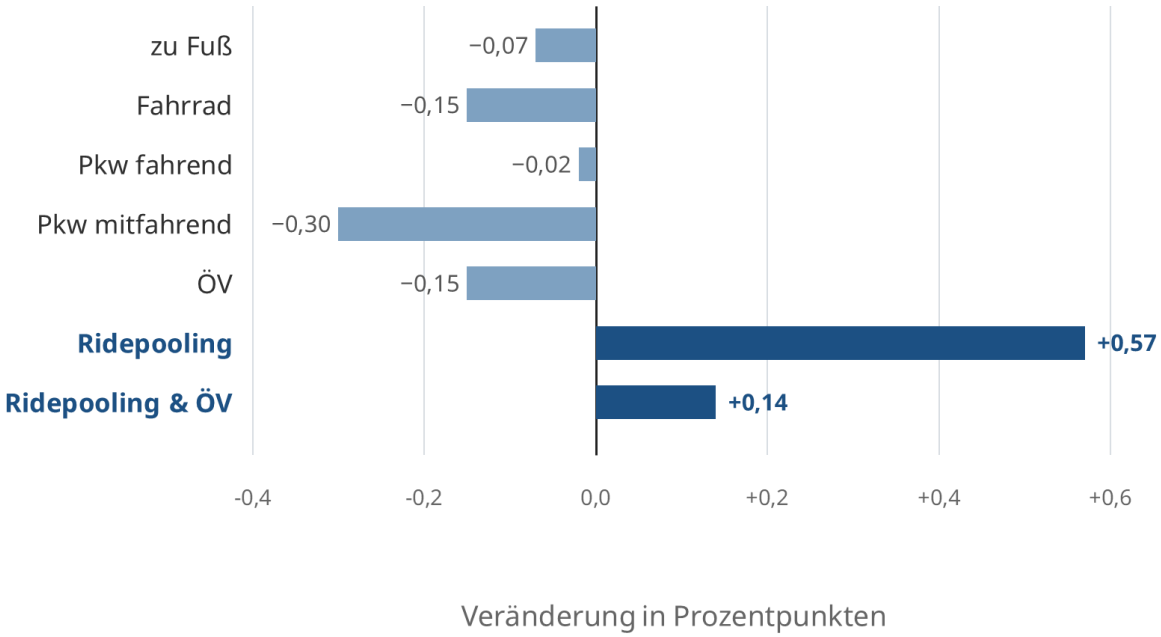


Abbildung 15: Modal Shift: Veränderung des Verkehrsaufkommens gegenüber dem heutigen Zustand (ausgeweitete Bediengebiete, fünffache Fahrzeugzahl), in Prozentpunkten; Quelle: KIT-Modellierung

Eine wichtige Rolle spielt außerdem die Art der Ridepooling-Nutzung. Dabei wird unterschieden, ob On-Demand-Angebote für den gesamten Weg genutzt oder mit dem öffentlichen Verkehr kombiniert werden. Dieser Anteil zeigt, wie eng das On-Demand-Angebot mit dem übrigen öffentlichen Personennahverkehr verknüpft ist. Im betrachteten Beispielgebiet sind rund 14 % der On-Demand-Fahrten Teil einer intermodalen Wegekette. Durch Anpassungen des Angebots und der Tarife kann dieser Anteil je nach Szenario auf etwa 30 % gesteigert werden. Für die einzelnen Szenarien wurden zudem wichtige Umsteigehaltestellen identifiziert. Abbildung 9 zeigt diese beispielhaft für eines der untersuchten Szenarien.

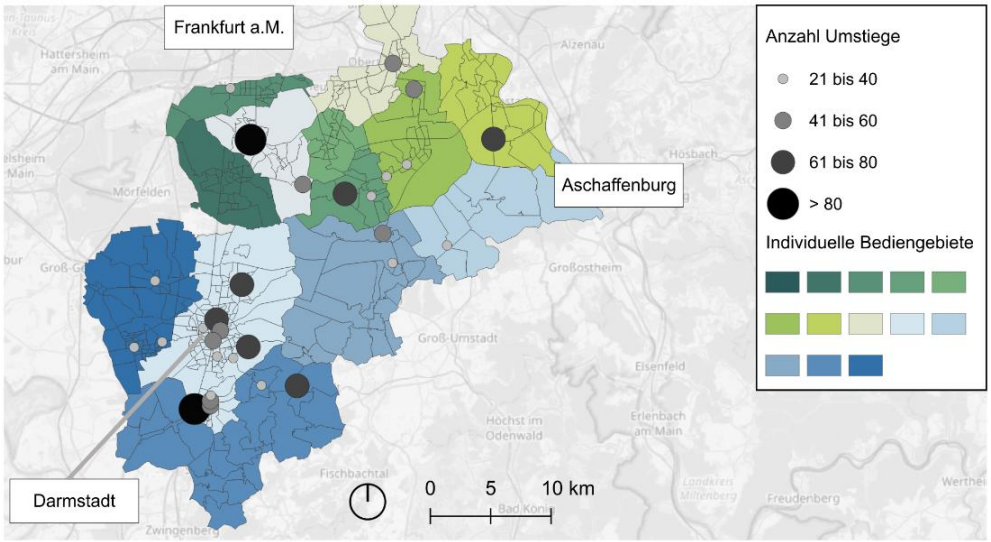


Abbildung 16: Individuelle Bediengebiete und Anzahl der Umstiege an wichtigen Umsteigehaltestellen in einem beispielhaften Szenario; Quelle: KIT-Modellierung; Kartengrundlage © OpenStreetMap

Aus Sicht der Betreiber ist neben der Nachfrage auch die betriebliche Effizienz der Angebote von Bedeutung. In Tabelle 2 werden dazu verschiedene Nachfrage- und Betriebskennwerte dargestellt. Dazu zählen die tägliche Gesamtzahl der On-Demand-Fahrten, die durchschnittliche Entfernung eines bedienten Fahrtwunsches, die betriebliche Systemeffizienz, der mittlere Besetzungsgrad der Fahrzeuge

sowie der distanzbezogene Umwegfaktor. Lehnert et al. (2026) erläutern verschiedene Effizienzkriterien für On-Demand-Verkehre, die berechnet wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Zusammenfassung der Bediengebiete von Szenario S1 bis Szenario S4 die durchschnittlichen Fahrtweiten steigen. Gleichzeitig verringern sich die Umwege für die Fahrgäste. Darüber hinaus verbessert sich die betriebliche Systemeffizienz. Besonders in Szenario S4 wird außerdem ein höherer mittlerer Besetzungsgrad der Fahrzeuge erreicht.

Tabelle 2: Nachfrage- und Betriebskennwerte der Szenarien

Szenario	S1-A	S1-B	S2	S3	S4
Anzahl Fahrzeuge	110	220	280	350	440
Anzahl Gebiete	13	13	8	4	1
Fahrten pro Tag	10.700	17.700	21.900	25.400	27.300
Mittl. Fahrtdistanz	3,03 km	3,07 km	3,44 km	4,23 km	8,35 km
Betriebliche Systemeffizienz[1]	0,90	0,95	1,00	1,11	1,28
Mittl. Besetzungsgrad[2]	1,87	1,77	1,74	1,75	1,85
Umwegfaktor	1,43	1,29	1,20	1,10	1,00
Anteil intermodaler Nutzung	31,8 %	30,1 %	28,4 %	27,3 %	22,8 %

[1] Summe der gebuchten Personenkilometer im Verhältnis zu den gesamten Fahrzeugkilometern. [2] Summe der gefahrenen Personenkilometer in den Fahrzeugen im Verhältnis zu den gesamten Fahrzeugkilometern ohne Leerfahrten.

Auch die zeitliche Auslastung der Fahrzeugflotte liefert Hinweise darauf, ob das Angebot angemessen dimensioniert ist. Abbildung 10 vergleicht zwei Varianten von Szenario 1 und macht die Unterschiede bei den Besetzungsgraden deutlich. Die Variante mit der doppelten Anzahl an Fahrzeugen erreicht zwar eine höhere Nachfrage, weist jedoch eine geringere Bündelungswirkung auf. Das bedeutet, dass insgesamt mehr Fahrten bedient werden können, sich aber im Durchschnitt weniger Fahrgäste ein Fahrzeug teilen.

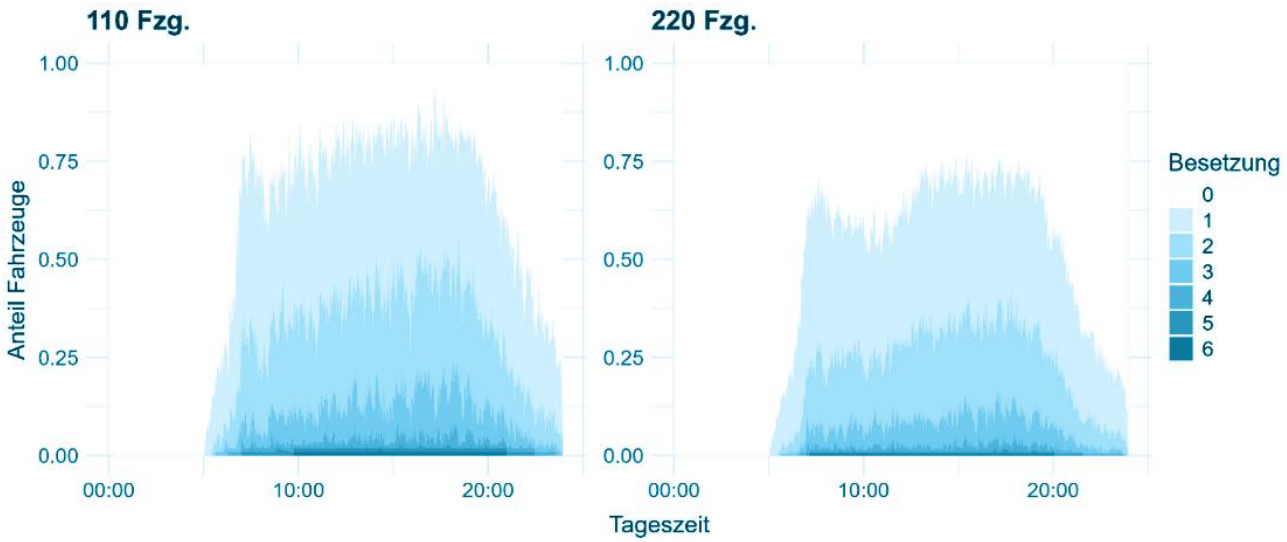


Abbildung 17: Anteil der Fahrzeuge nach Besetzung im Tagesverlauf, Szenario S1-A (110 Fahrzeuge) und S1-B (220 Fahrzeuge); Quelle: KIT-Modellierung

7 Technische Aufsicht und Mensch-Maschine-Interaktion

KERNERGEBNIS

Eine verständliche, automatisierte Fahrgastkommunikation kann das Nutzererleben bei sicherheitsbedingten Fahrtunterbrechungen verbessern und damit die Technische Aufsicht konzeptionell entlasten. Für die Übertragung von Aufgaben des Sicherheitsfahrpersonals auf die Teleassistenz besteht weiterer Forschungsbedarf sowie für die Skalierbarkeit hin zu einem Flottenbetrieb.

Neben den Untersuchungen zu Nutzendenanforderungen und verkehrlichen Wirkungen wurden im Rahmen von KIRA auch Anforderungen an die Technische Aufsicht und die Mensch-Technik-Interaktion untersucht. Im Mittelpunkt standen die Kommunikation mit Fahrgästen, die Gestaltung des Arbeitsplatzes der Technischen Aufsicht sowie die Möglichkeiten einer künftigen Fernunterstützung im fahrerlosen Betrieb.

Fahrgastkommunikation: Eine experimentelle Laborstudie zeigte, dass Informationen über Text und Audio das Nutzererleben bei sicherheitsbedingten Fahrtunterbrechungen (Minimum-Risk-Manövern) verbessern. Eine automatisierte Fahrgastinformation kann die Technische Aufsicht insbesondere in Standardsituationen entlasten. Zusätzliche Darstellungsformen wie Avatare bieten hingegen nur einen geringen Mehrwert (Brandt et al., 2026).

Gestaltung des Arbeitsplatzes: Eine weitere Studie untersuchte, ob unterschiedliche Visualisierungen der KI-basierten Objekterkennung das Verständnis und Situationsbewusstsein der Technischen Aufsicht in einfachen Unterstützungssituationen verbessern. Dabei konnten keine entsprechenden Effekte nachgewiesen werden (Brandt et al., 2025).

Anforderungen an die Teleassistenz: In Fokusgruppen mit Sicherheitsfahrenden wurden insgesamt 52 Eingriffsszenarien identifiziert, aus denen sich Anforderungen an eine künftige Fernunterstützung ableiten lassen. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass sich die Aufgaben des Sicherheitsfahrpersonals nicht unmittelbar auf die Technische Aufsicht übertragen lassen. Da eine Untersuchung der Teleassistenz im Realbetrieb technisch nicht möglich war, besteht weiterer Forschungsbedarf zur praktischen Umsetzung und Skalierbarkeit (Schrank et al., eingereicht).

8 Fazit und Ausblick

Autonome On-Demand-Verkehre sind vor allem als Ergänzung des bestehenden öffentlichen Verkehrs zu verstehen. Entscheidend für ihre zukünftige Wirkung sind eine konsequente Integration in das Gesamtsystem sowie eine zuverlässige, bedarfsgerechte und wirtschaftlich attraktive Angebotsgestaltung.

Die Ergebnisse der Begleitforschung zeigen, dass grundsätzlich Interesse an autonomen On-Demand-Verkehren besteht. Viele Menschen können sich vorstellen, solche Angebote in ihren Mobilitätsalltag einzubinden. Ob sie dies tatsächlich tun, hängt jedoch wesentlich davon ab, wie gut das Angebot zu ihren täglichen Wegen und Bedürfnissen passt.

Für die weitere Entwicklung unterstreicht dies die Wichtigkeit der Angebotsgestaltung. Insbesondere Betriebszeiten, Bediengebiet, Verfügbarkeit und die Verknüpfung mit bestehenden Verkehrsmitteln entscheiden darüber, ob autonome On-Demand-Verkehre einen praktischen Mehrwert bieten. Die Ergebnisse sprechen dafür, solche Angebote gezielt dort einzusetzen, wo der bestehende ÖV zeitliche oder räumliche Lücken aufweist. Gleichzeitig muss vermieden werden, dass sie vor allem bereits gut funktionierende öffentliche Verkehrsangebote ersetzen.

Die bisherigen Erfahrungen aus KIRA sind vor dem Hintergrund des Forschungsbetriebs einzuordnen. Das Angebot ist zeitlich und räumlich begrenzt und wird von einer ausgewählten Nutzendengruppe erprobt. Aussagen über eine langfristige, alltägliche Nutzung sind daher bislang nur eingeschränkt möglich. Dennoch liefern die Ergebnisse wichtige Hinweise darauf, welche Anforderungen bei einer zukünftigen Ausweitung des Betriebs berücksichtigt werden sollten.

Für die weitere Forschung ist insbesondere entscheidend, wie sich die Nutzung unter realitätsnahen Betriebsbedingungen entwickelt. Mit längeren Betriebszeiten, größeren Bediengebieten und einer stärkeren Integration in den ÖV könnte sich auch die Rolle des Angebots verändern: vom zunächst häufig aus Interesse genutzten Forschungsfahrzeug hin zu einer echten Mobilitätsoption. Dabei gilt es zu untersuchen, welche Nutzergruppen besonders profitieren, welche Wege tatsächlich ersetzt oder zusätzlich zurückgelegt werden und unter welchen Bedingungen ein wirtschaftlich tragfähiger Betrieb möglich ist. Die Untersuchungen zur Technischen Aufsicht zeigen zudem, dass eine verständliche automatisierte Fahrgastkommunikation das Nutzererleben verbessern und die Technische Aufsicht dadurch entlasten kann. Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Übertragbarkeit von Aufgaben des Sicherheitsfahrpersonals auf die Teleassistenz im fahrerlosen Realbetrieb sowie der Skalierbarkeit hin zu einem Flottenbetrieb.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispielhafte Auswahlsituation im Stated-Choice-Experiment: ÖV im Vergleich zu (autonomem) On-Demand

Abbildung 2 Verteilung der Fahrten auf die Wochentage, „HeinerLiner“ und „Hopper“

Abbildung 3 Vorbuchungszeit der Fahrten beim „Hopper“

Abbildung 4 Zielkoordinaten der Fahrten im Umfeld eines Regional- und Fernbahnhofs (100-m-Puffer)

Abbildung 5 Nutzungszwecke der KIRA-Forschungsfahrzeuge innerhalb der Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent der Befragten; Mehrfachnennungen möglich.

Abbildung 6 Häufigkeit der bisherigen Nutzung der KIRA-Forschungsfahrzeuge

Abbildung 7 Bevorzugte Wochentage für die Nutzung des KIRA-Angebots im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent der Befragten; Mehrfachnennungen möglich.

Abbildung 8 Bevorzugte Tageszeiten für die Nutzung des KIRA-Angebots im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent der Befragten; Mehrfachnennungen möglich.

Abbildung 9 Gründe für die eingeschränkte Nutzung des KIRA-Angebots innerhalb der Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent der Befragten; Mehrfachnennungen möglich.

Abbildung 10 Bereitschaft zur zusätzlichen und ersetzenden Nutzung autonomer On-Demand-Verkehre im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Angaben in Prozent.

Abbildung 11 Erwartungen an die Auswirkungen autonomer On-Demand-Verkehre im Vergleich zwischen Referenzbefragung und Closed User Group (CUG). Dargestellt ist der Anteil der Befragten, der die jeweilige Auswirkung als „ziemlich wahrscheinlich“ oder „ganz sicher“ einschätzt.

Abbildung 12 Erreichbarkeitsverbesserung durch On-Demand-Verkehre nach Reisezeitbudget (15, 30, 45 und 60 Minuten), in Tsd. erreichbaren Einwohnern — je dunkler, desto größer die Verbesserung

Abbildung 13 Modal Split des Verkehrsaufkommens im heutigen Zustand des Planungsraums, in %

Abbildung 14 Anteil von Ridepooling und Ridepooling & ÖV am Verkehrsaufkommen nach Bevölkerungs- und Nutzungsgruppen, in %

Abbildung 15 Modal Shift: Veränderung des Verkehrsaufkommens gegenüber dem heutigen Zustand (ausgeweitete Bediengebiete, fünffache Fahrzeugzahl), in Prozentpunkten

Abbildung 16 Individuelle Bediengebiete und Anzahl der Umstiege an wichtigen Umsteigehaltestellen in einem beispielhaften Szenario

Abbildung 17 Anteil der Fahrzeuge nach Besetzung im Tagesverlauf, Szenario S1-A (110 Fahrzeuge) und S1-B (220 Fahrzeuge)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Stichproben

Tabelle 2 Nachfrage- und Betriebskennwerte der Szenarien

Literaturverzeichnis

Brandt, T., Brandenburg, S., Wilbrink, M., & Oehl, M. (2025). Visualizing Detection Algorithms of Highly Automated Vehicles: Creating Transparency to Support Remote Assistant's Understanding and Predictability? In Proceedings of the 9th Humanist Conference, Chemnitz, Germany, 27-29 August 2025. https://elib.dlr.de/218523/

Brandt, T., Wilbrink, M., & Oehl, M. (2026). Communicating minimal risk maneuvers to passengers in highly automated vehicles: Ensuring hedonic user experience with media rich in-vehicle HMIs. Applied Ergonomics, 132. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2025.104697

Follmer, R.; Heider, S.; Ruppenthal, M. (2025): *Mobilität in Deutschland – Kurzbericht Hessen.* Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und des Landes Hessen (FE-Nr. VB600001). Bonn, Berlin.

Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2023 (FZ 1). Kraftfahrt-Bundesamt.

Lehnert, M., Liebchen, C., Schiefelbusch, M., Bruder, P., & Harmann, D. (2026). Insights into ridepooling efficiency: A case study analysis using a novel operational performance measure framework. Journal of Urban Mobility, 9, 100173.

Schrank, A., Petersen, M., Brandt, T., & Oehl, M. (submitted). On Board Today – Remote Tomorrow? Analysing Safety Driver Intervention Scenarios in Highly Automated Shuttle Operations. Submitted to IEEE Access.