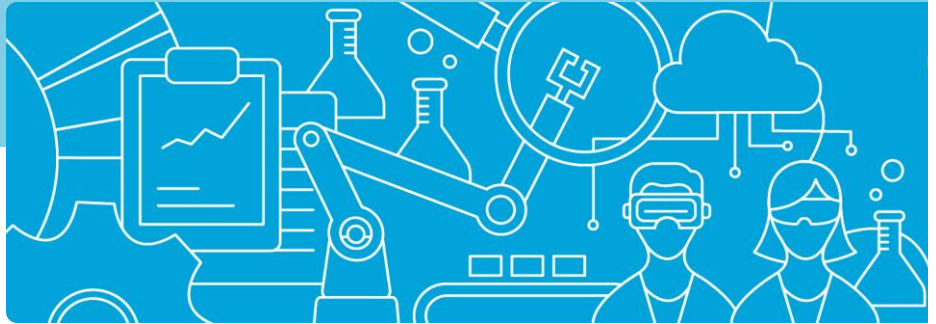


Studie zum deutschen Innovationssystem | Nr. 10-2022



Claus Doll, Konstantin Krauss

Nachhaltige Mobilität und innovative Geschäftsmodelle



Diese Studie wurde im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) erstellt. Die Ergebnisse und Interpretationen liegen in der alleinigen Verantwortung der durchführenden Institute. Die EFI hat auf die Abfassung des Berichts keinen Einfluss genommen.

Durchführendes Institut

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
www.isi.fraunhofer.de

Studien zum deutschen Innovationssystem

Nr. 10-2022
ISSN 1613-4338

Stand

Februar 2022

Herausgeberin

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Geschäftsstelle

Pariser Platz 6 | 10117 Berlin
www.e-fi.de

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie die Übersetzung. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen

Dr. Claus Doll
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
T + 49 (0) 721 6809 354
M claus.doll@isi.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

0	Kurzfassung	6
1	Einführung	9
1.1	Hintergrund und Ziele.....	9
1.2	Methodik und Aufbau.....	9
1.3	Definitionen und Abgrenzung	10
2	Angebotsformen und Geschäftsmodelle	11
2.1	Angebotsformen autobasierter Mobilitätskonzepte	11
2.1.1	Angebotsformen und Marktgeschehen im Carsharing.....	11
2.1.2	Angebotsformen und Marktgeschehen im Ridepooling.....	12
2.2	Geschäftsmodelle autobasierter geteilter Mobilitätsdienste.....	15
2.2.1	Überblick.....	15
2.2.2	Geschäftsmodelle im Carsharing.....	15
2.2.3	Geschäftsmodelle im Ridepooling	16
2.3	Mobilitätsplattformen.....	17
3	Nachfragestrukturen	21
3.1	Literaturübersicht	21
3.2	Situation in deutschen Städten	22
3.3	Bedeutung für den ländlichen Raum	24
4	Modellierung geteilter Mobilitätsangebote	26
4.1	Modellumgebung ASTRA-M	26
4.2	Modellierung des Carsharing und Ridepooling	27
4.3	Ergebniskategorien.....	30
5	Szenarien neuer Mobilitätssysteme	32
5.1	Allgemeines	32
5.2	Markthochlauf geteilter Mobilitätsangebote.....	32
5.2.1	Carsharing	33
5.2.2	Ridepooling	33
5.2.3	Markthochläufe im Überblick.....	34
5.3	Umfeldfaktoren.....	34
5.3.1	Referenzfall der Umfeldfaktoren.....	34
5.3.2	Narrative alternativer Entwicklungen.....	35
5.3.3	Elemente der Umfeldfaktoren.....	36
5.3.4	Parameter der Umfeldfaktoren.....	37
5.4	Szenarien für autobasierte Mobilitätsdienste.....	38

6	Ergebnisse	40
6.1	Entwicklung der Modalanteile an Wegen	40
6.1.1	Modal Split von Carsharing- und Ridepooling-Diensten	40
6.1.2	Modal Split im Personenverkehr insgesamt	44
6.2	Entwicklung der Personenkilometer	46
6.3	Entwicklung der Fahrzeugkilometer	48
6.4	Treibhausgaswirkungen automobiler Mobilitätsdienste	50
6.4.1	Klimawirkungen des Personenverkehrs für Deutschland	50
6.4.2	Sensitivitätsanalyse Besetzungsgrade und CO ₂ -Emissionen	52
6.5	Wirtschaftlichkeit automobiler Mobilitätsdienste	53
6.5.1	Carsharing	54
6.5.2	Ridepooling	56
6.5.3	Interpretation der Ergebnisse	58
7	Synthese und Handlungsempfehlungen	60
7.1	Aspekte der Modellierungsumgebung	60
7.2	Empfehlungen zur Förderung automobiler Sharing-Dienste	61
7.3	Rolle der automobilen Sharing-Dienste in einer nachhaltigen Verkehrs- und Klimapolitik	64
7.4	Rolle von Innovation und neuen Antriebssystemen	65
	Abbildungsverzeichnis	67
	Tabellenverzeichnis	68

Abkürzungsverzeichnis

B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastrukturen
BMW	Bayrische Motorenwerke
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -eq.	CO ₂ -Äquivalente
CS	Carsharing
DB / DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
EW	Einwohner:innen
Fz	Fahrzeuge
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HOV	High Occupancy Vehicle
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
MaaS	Mobility-as-a-Service
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MKS	Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (der Bundesregierung)
Mt	Megatonne(n)
NO _x	Stickoxid
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P2P	Peer-to-Peer
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PKM	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
RegioStaR	Regionalstatistische Raumtypologie (BMVI)
RP	Ridepooling
StVO	Straßenverkehrsordnung
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
THG	Treibhausgase
UBA	Umweltbundesamt
VDV	Verband deutscher Verkehrsbetriebe

0 Kurzfassung

Die vorliegende Untersuchung ist Teil der Studie "Nachhaltige Mobilität" der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) der Bundesregierung. Sie verfolgt das Ziel, das aktuelle Marktumfeld, Angebote und Erfahrungen autobasierter geteilter Mobilitätsdienste in Deutschland zu analysieren, sowie Szenarien und Prognosen bis zum Jahr 2030 zu entwickeln. Hieraus werden die fördernden und hemmenden Faktoren für die Mobilitätsdienste und deren Relevanz für Wirtschaftlichkeit und Treibhausgasemissionen abgeleitet. Der analytische Teil der Untersuchung fasst den aktuellen Stand des Wissens zu geteilten Mobilitätsdiensten zusammen. Der Modellierungsteil entwickelt anschließend ein bisher in dieser Form neues prognosefähiges Modul automobiler Mobilitätsdienste für das systemdynamische Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA-M des Fraunhofer ISI. Automobile oder autoorientierte Mobilitätsdienste im Sinne dieser Studie umfassen die Bereitstellung von Fahrzeugen und Fahrdiensten mit Pkw oder Kleinbussen für angemeldete Nutzerinnen und Nutzer.

Angebote: Für Carsharing-Dienste zeigt sich seit 2011 eine Verzehnfachung der registrierten Nutzer:innen und fast eine Verdreifachung der Nutzer:innen je Fahrzeug. In städtischen Räumen ist die Fahrzeugdichte weit höher als in ländlichen Regionen. Die ab 2009 von der Daimler AG und BMW angebotenen free-floating-Dienste beschleunigten das Wachstum des Carsharing-Marktes mit jährlichen Zuwachsraten über 20 % wesentlich. Im Ridepooling, also dem geteilten Nutzen von Fahrdiensten, waren in Deutschland 2021 zwischen 718 und 955 Fahrzeuge im Einsatz. Ziele der Geschäftsmodelle können ökologische und soziale Ziele, Kundenbindung, sowie Marketing und die Einhaltung von Flottengrenzwerten umfassen. Für das Ridepooling stellt der bestehende rechtliche Rahmen aus Tarifbindung und Versorgungsauftrag die ausschlaggebende Größe für den Erfolg von Geschäftsmodellen insbesondere im ländlichen Raum dar. Für Mobilitätsplattformen sind schließlich die bestmögliche Integration der Mobilitätsdienste, verantwortungsvolles Verhalten der Anbieter, Datensicherheit, Regelungen über den Zugang zu den Kund:innen, Zugang zu Echtzeitdaten aller Anbieter und die Verständigung über das geeignetste Geschäfts- und Tarifmodell wichtige Erfolgsfaktoren.

Nachfrage: Für die Modalwahl sind neben den angebotsseitigen Charakteristika die sozio-demografischen und mobilitäts-spezifischen Merkmale der potenziellen Nutzer:innen ausschlaggebend. Für beide Mobilitätsangebote sind jüngere Personen mit höherem Haushaltseinkommen besonders affin. Beim Carsharing sind der Komfort im Sinne des Nichtkümmerns um die Pflege und Wartung von Fahrzeugen oder finanzielle Gründe ausschlaggebend für die Nutzung. Ridepooling weist im Vergleich niedrigere Einstiegshürden wie die Unabhängigkeit von Führerscheinbesitz auf. Relevante Systemeigenschaften des Ridepoolings sind neben dem Preis vor allem die Entfernung zum Einstiegsort, die Vorausbuchbarkeit, die Möglichkeit zum Verschieben der Abfahrtszeit sowie die Reisezeit und dazugehörige Informationen. Personen mit einer Carsharing-Mitgliedschaft besitzen regelmäßig weniger private Pkw als Nicht-Mitglieder und nutzen den Umweltverbund häufiger. Nach einer repräsentativen Befragung des Fraunhofer ISI weist der ländliche Raum, vor allem in Zeiten, zu denen sich das Betreiben einer gesamten ÖPNV-Linie nicht rentiert, erhebliche Potenziale für Ridepooling und Carsharing auf.

Analysemethodik: Entscheidend für die Ermittlung der Verkehrsmittelwahl der etablierten wie auch der neuen Mobilitätsformen sind Investitions- und Betriebskosten, fixe und variable Fahrpreise, Fahrzeiten sowie Zu-, Abgangs- und Wartezeiten. Letztere hängen für Carsharing und Ridepooling von der angebotenen Fahrzeugdichte ab. Diese wird auf Basis realer Flottendaten prognostiziert. Hierzu hat das Fraunhofer ISI reale Flottendaten über die Anzahl der Fahrzeuge je Mobilitätsdienst in den entsprechenden Städten erhoben. Die Modellierung erfolgt in Jahresscheiben bis

2030 auf NUTS-2-Ebene. Die Ergebnisauswertung extrahiert hieraus Metropolregionen und kleinstädtisch-ländliche Räume.

Szenarien: Für die Anwendung des ASTRA-M-Modells werden drei Varianten möglicher Markthochläufe von Carsharing und Ridepooling mit preispolitischen, regulatorischen und investiven Umfeldfaktoren zu 10 Szenarien kombiniert. Der Referenz-Hochlauf für das Jahr 2030 geht von einer Verdreifachung der Carsharing-Fahrzeuge und einer Vervierfachung der Ridepooling-Fahrzeuge aus. Im Hochlauf Dynamisches Wachstum wird von einer Verdopplung der Fahrzeugdichten ausgegangen, während im Extremen Hochlauf die ansonsten konstanten Nutzertarife deutlich gesenkt werden. Diese werden mit den Umfeldfaktoren eines verdichteten ÖPNV-Angebots mit halbierten Tarifen, City-Maut und höheren Parkgebühren für Pkw, einer CO₂-Abgabe nach Vorschlägen des Umweltbundesamtes höheren Kraftstoffsteuern sowie Kaufprämien für emissionsarme Fahrzeuge kombiniert.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Simulation der Szenarien mittels des ASTRA-M-Modells und darauf aufbauender Analysen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Carsharing und Ridepooling haben zusammen unter den Annahmen des Referenz-Hochlaufs und ohne spezifische Umfeldfaktoren in ganz Deutschland bis 2030 das Potenzial, ein Prozent der Wege abzudecken. Zum Vergleich: 2020 betrug deren Anteil knapp 0,6 % im Carsharing und 0,1 % im Ridepooling. In Metropolen ist deren Potenzial um etwa 50 % höher; ländliche Räume können jedoch insbesondere über den Ausbau von Ridepooling aufholen. Unter extrem vorteilhaften Bedingungen mit deutlich dichteren Angeboten, stark abgesenkten Tarifen und hohen Preisen für die Nutzung von Pkw und Umweltgütern ist eine Steigerung des gemeinsamen Modal Split auf deutlich über zwei Prozent in Deutschland beziehungsweise 3,5 % in Metropolen möglich. Während für das Carsharing die Umfeldfaktoren die wichtigsten Treiber darstellen, ist die Angebotsdichte im Fall des Ridepooling, und hier besonders in ländlichen Räumen, die bestimmende Größe.
- 2) Die Umfeldfaktoren mit der größten Wirkung auf den Markterfolg von Sharing-Diensten, d. h. Pkw-Abgaben und Umweltpreise, unterstützen auch den Umweltverbund insgesamt am wirksamsten. Im Gegensatz zur Wirkung auf die automobilen Sharing-Dienste fördert hier jedoch ein zusätzlicher Ausbau des ÖPNV den Marktanteil des Umweltverbundes. Schließlich kann deutschlandweit bis 2030 der Pkw-Anteil an den täglichen Wegen um 16 Prozentpunkte von 58 % auf 42 % gesenkt werden, und die Modal Splits von MIV und Umweltverbund somit umgedreht werden. Demgegenüber haben die Annahmen zu den Markthochläufen der Sharing-Angebote aufgrund deren noch geringer verkehrlicher Bedeutung kaum einen Einfluss auf Pkw-Nutzung und Umweltverbund. In kleinstädtisch-ländlichen Räumen beträgt das Potenzial des Umweltverbunds hingegen nur etwa die Hälfte der Wege.
- 3) Beide Mobilitätsdienste zusammen erreichen bis 2030 eine Fahrleistung zwischen 2,8 Mrd. Fahrzeugkilometer im Referenzfall und 8,3 Mrd. Fahrzeugkilometer auf dem Pfad Extremer Hochlauf. Während die Mobilitätsdienste bzgl. dieser Größe wenig relevant sind, bieten sie jedoch die Möglichkeit zur Demonstration neuer Fahrzeug- und Antriebskonzepte im Fall des Carsharing, sowie zur effizienten Unterstützung von Bussen und Bahnen in Schwachlastzeiten durch Ridepooling.
- 4) Die Verbindung von Pkw-Abgaben, Umweltpreisen und einem verbesserten und günstigeren ÖPNV erreichen eine Treibhausgas-Emissionsminderung bis 2030 um 15,6 Mt pro Jahr oder 17,3 % gegenüber dem Referenzfall. Im Vergleich der Einzelmaßnahmen leistet die Verschärfung von Umweltpreisen die größte Wirkung, wobei alle Politikpakete nahe beieinanderliegen. Entsprechend stützt der Befund die These der Hebelwirkung kombinierter Push- und Pull-Maßnahmen. Der Einfluss der Markthochläufe für die Sharing-Dienste auf die Treibhausgas (THG)-

Emissionen des Personenverkehrs ist zwar marginal, jedoch lassen sich durch einfache regulative Instrumente wie der Festlegung minimaler Besetzungsgrade von Ridepooling-Diensten messbare Beiträge zur Treibhausgasvermeidung erreichen.

In einer erweiterten Betrachtung wird die Wirtschaftlichkeit der Dienste unter heutigen Marktbedingungen abgeschätzt. Das Verhältnis aus Umsatz zu Betriebskosten fällt im Carsharing mit maximal 0,94 nur geringfügig besser aus als im Ridepooling mit maximal 0,89, wobei die Ergebnisse im Carsharing aufgrund der variableren Auslastung der Fahrzeuge stärker variieren als im Ridepooling. Umweltpreise und Pkw-Abgaben können die Eigenwirtschaftlichkeit der Dienste stützen, während der ÖPNV-Ausbau eher als Risikofaktor erscheint. Für beide Mobilitätsdienste gilt: wenn ein beschleunigter Markthochlauf beispielsweise im ländlichen Raum über niedrige Nutzertarife politisch erwünscht ist, müssen diese ähnlich dem ÖPNV auch langfristig über öffentliche Beihilfen gestützt werden.

Fazit: Nach Auswertung der einschlägigen Fachliteratur bildet die vorliegende Studie den ersten Ansatz einer quantifizierten und integrierten volkswirtschaftlichen Bewertung geteilter automobiler Mobilitätsdienste in dieser Größenordnung und Detailtiefe für Deutschland. Auch bezüglich der hier vorgenommenen Analyse der Profitabilität von Carsharing- und Ridepooling-Diensten bildet diese Untersuchung den ersten bekannten Versuch auf nationaler Ebene. Mit Erweiterungen im Bereich der endogenen Simulation von Angebotsdichten und Besetzungsgraden der Dienste bieten sich noch Möglichkeiten zur Verfeinerung des Analyseinstrumentariums.

Für die politische Gestaltung können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- 1) Förderung geteilter automobiler Mobilitätsdienste: Ziele umfassen hierbei die Verbesserung der Mobilitätsversorgung insbesondere in kleinstädtisch-ländlichen Räumen nach Rückzug des liniengebundenen ÖPNV sowie die Innovationsförderung. Ökonomische Instrumente und höhere Angebotsdichten speziell im Ridepooling stellen hierfür den wirkungsvollsten Hebel dar. Optionen sind die Integration automobiler Mobilitätsdienste in das Angebot des ÖPNV oder deren direkte Förderung durch gleichwertige Beihilfen. In jedem Fall werden sich das Leistungsspektrum und die Innovationsgeschwindigkeit des ÖPNV anpassen müssen. Ebenso müssen innovationsfreundliche Rahmenbedingungen die Entwicklung nachhaltiger Mobilitätsdienste begleiten. Die verkehrliche Bedeutung automobiler Sharing-Dienste muss ökologische und ökonomische Überlegungen ergänzen, da Sharing-Dienste nicht per se die Treibhausgasemissionen des Verkehrs reduzieren. Städte haben eine große Gestaltungsmacht im Mobilitätssektor, brauchen für deren Umsetzung jedoch organisatorische Unterstützung.
- 2) Rolle der automobilen Sharing-Dienste in einer nachhaltigen Verkehrs- und Klimapolitik: Sharing-Dienste müssen im Rahmen der Nachhaltigkeitspolitik gestaltend reguliert werden. Neben deren Integration in den ÖPNV kann dies durch die Vorgabe minimaler Besetzungsgrade im Ridepooling und die Verpflichtung zu klimaneutralen Antriebssystemen geschehen. Ferner ist die Verlagerung von Rad, Fuß und Mikromobilität auf autobasierte Dienste etwa über entsprechende Stadt- und Infrastrukturkonzepte zu begrenzen.

Die starke Stellung Deutschlands in den Bereichen Energiewende, klimateffiziente Antriebe und autonome Fahrzeuge können helfen und müssen gezielt genutzt werden, um die Vorteile autobasierter Mobilitätsdienste für die Mobilitätsversorgung bei gleichzeitigem Klimaschutz zu nutzen.

1 Einführung

1.1 Hintergrund und Ziele

Das Themenfeld "Geschäftsmodelle nachhaltiger Mobilität" berührt zahlreiche Handlungsfelder verschiedenster Akteure wie Fahrzeughersteller, Infrastrukturunternehmen, Verkehrs- und Mobilitätsdienstleister, bis hin zu kommerziellen und privaten Verkehrsteilnehmenden. Dies gilt auch bei der Fokussierung auf automobilnahe Geschäftsmodelle. In den vergangenen Jahren ließen sich Aufstieg und Rückzug prominenter Geschäftsmodelle in den Bereichen Ridepooling, Carsharing, Bike-sharing und deren Varianten beobachten, was auf unsichere Wirtschaftlichkeitsperspektiven der Dienste hinweist. Andererseits haben sich Carsharing-Angebote einen festen Platz in vielen Städten erarbeitet und zeigen stabile Wachstumsraten. Einige dieser Angebote wurden und werden durch Evaluierungsstudien begleitet; eine systematische und gesamtheitliche Evaluierung und deren Auswirkungen auf Verkehrsaufkommen, Umweltverbund, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen bleibt jedoch aus.

Geschäftsmodelle nachhaltiger Mobilitätsdienste lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Einzelne verkehrsmittelspezifische unimodale Dienste wie Carsharing oder Ridepooling eines Anbieters, der entweder eigene Fahrzeuge bereitstellt oder Fahrzeuge Dritter an angemeldete Nutzerinnen und Nutzer vermittelt, sowie digitale Mobilitätsplattformen oder "Mobility-as-a-Service" (MaaS), welche Mobilitätsdienste mehrerer Anbieter in einem multi- und intermodalen Angebot bündeln. Grundsätzlich kann zwischen Business-to-Business (B2B), Business-to-Consumer (B2C) und privaten Peer-to-Peer (P2P) Geschäftsmodellen unterschieden werden.

Die vorliegende Untersuchung ist Teil der Studie "Nachhaltige Mobilität" der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) der Bundesregierung. Sie verfolgt das Ziel, das aktuelle Marktumfeld, Angebote und Erfahrungen autobasierter geteilter Mobilitätsdienste in Deutschland zu analysieren, sowie Szenarien und Prognosen bis zum Jahr 2030 zu entwickeln. Hieraus sollen die fördernden und hemmenden Faktoren für die Mobilitätsdienste und deren Relevanz für Wirtschaftlichkeit und Treibhausgasemissionen abgeleitet werden. Insbesondere werden mögliche Profiteure und Benachteiligte der Geschäftsmodelle identifiziert. Möglichkeiten, die Vor- und Nachteile der Geschäftsmodelle durch Regulierung und Anreize zu beeinflussen, sowie Hemmnisse für deren Einführung werden erörtert.

1.2 Methodik und Aufbau

Die vorliegende Untersuchung gliedert sich in einen analytischen Teil und einen Modellierungsteil. Der analytische Teil fasst in den Kapiteln 2 und 3 den aktuellen Stand des Wissens zu geteilten Mobilitätsdiensten zusammen. Der Modellierungsteil greift ab Kapitel 4 diese Ergebnisse auf und entwickelt ein bisher in dieser Form neues prognosefähiges Modul automobiler Mobilitätsdienste für das systemdynamische Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA-M des Fraunhofer ISI. Der Ansatz der Systemdynamik lehnt sich an die evolutionäre Wirtschaftstheorie an und ist in der Lage, die Interaktion zwischen Marktteilnehmenden über längere Zeiträume hinweg zu simulieren. Die Modellentwicklung und -anwendung, sowie die hierfür entwickelten Szenarien stellen den Kern dieser Untersuchung dar.

Die Untersuchung gliedert sich wie folgt:

- Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Angebote und Geschäftsmodelle automobiler Mobilitätsdienste und deren Integration in multimodale Mobilitätssysteme in Deutschland. Von

zentraler Bedeutung der Darstellung sind die Akteure hinter den Angeboten und deren mögliche Unternehmensziele.

- Kapitel 3 wendet sich der Nachfrageseite neuer Mobilitätsdienste zu und analysiert Motive, Anwendungsfälle und Bevölkerungsgruppen, für welche diese Dienste relevant sind und sein könnten. Die Darstellung stützt sich dabei auf neuere repräsentative Umfrageergebnisse des Fraunhofer ISI.
- Kapitel 4 stellt den Modellierungsansatz mit dem systemdynamischen Modell ASTRA-M und dessen Erweiterung für automobile Mobilitätsdienste im Rahmen dieser Studie vor.
- Kapitel 5 entwickelt mögliche Markthochläufe und Umfeldfaktoren, und hieraus zehn Szenarien für die Simulation mit dem ASTRA-M-Modell. Die Szenarien und die daraus entwickelten Modellparameter leiten sich aus qualitativen und quantitativen Annahmen für die Entwicklung von Märkten, politischem Umfeld sowie Werten und Einstellungen bis 2030 ab.
- Kapitel 6 stellt schließlich die Simulationsergebnisse mittels ASTRA-M für Carsharing und Ridepooling nach Regionstypen und den zehn Szenarien bis 2030 dar. Ausgewiesen werden deren Modalanteile an Wegen und Verkehrsleistung, die Entwicklung des Umweltverbundes allgemein, der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr sowie die Wirtschaftlichkeit der Mobilitätsdienste.
- Kapitel 7 diskutiert abschließend die erreichten Ziele sowie die offenen Fragen des in dieser Studie erarbeiteten Modellierungsansatzes und interpretiert die gewonnenen Ergebnisse im Licht aktueller Entwicklungen und Herausforderungen in der Mobilitäts- und Umweltpolitik. Hierbei wird auch der Querbezug zu den Losen 1 und 2 dieser Studie hergestellt.

1.3 Definitionen und Abgrenzung

Untersuchungsraum dieser Studie ist Deutschland. Regional werden die Mobilitätsdienste in und zwischen NUTS-2-Regionen errechnet und nach den funktionalen Regionstypen "Deutschland gesamt", "Metropolen" und "kleinstädtisch-ländliche Räume" dargestellt. Die Simulation der Marktentwicklung erfolgt in Jahresscheiben und wird für die Jahre 2020, 2025 und 2030 ausgewiesen. Das gewählte Referenzjahr 2020 abstrahiert von den signifikanten Effekten der COVID-19-Beschränkungen auf den Mobilitätssektor und stellt damit einen fiktiven Startzustand dar.

Automobile oder autoorientierte Mobilitätsdienste im Sinne dieser Studie umfassen die Bereitstellung von Fahrzeugen und Fahrdiensten mit Pkw oder Kleinbussen für angemeldete Nutzerinnen und Nutzer. Explizit sind dies alle Formen des stationsgebundenen und stationsungebundenen (free-floating) Carsharings und des Ridepoolings. Ridepooling-Dienste sind flexible Bedienformen, bei welchen Fahrgäste im Bediengebiet zwischen beliebigen Punkten gemeinsam mit anderen Personen befördert werden.

Vom Grundsatz her ähnliche Angebote wie Autovermietung als Pendant zum Carsharing oder Taxisdienste, bei welchen jeweils nur ein Fahrgast ohne vorherige Anmeldung befördert wird, werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet. Ebenso werden alle Formen der Mikromobilität wie geteilte E-Scooter oder Bikesharing hier nicht untersucht. Ebenfalls von der Betrachtung ausgeschlossen sind alle Formen des Güter- und Wirtschaftsverkehrs sowie Luft- und Schiffsverkehr.

2 Angebotsformen und Geschäftsmodelle

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den aktuellen Stand der Angebote von Carsharing, Ridepooling und multimodalen Mobilitätsplattformen in Deutschland. Die Ergebnisse der Datenanalysen fließen in die Entwicklung des ASTRA-M-Modells (Kapitel 4) und die Markthochlaufszszenarien für autobasierte geteilte Mobilitätsdienste (Kapitel 5.2) ein.

2.1 Angebotsformen autobasierter Mobilitätskonzepte

2.1.1 Angebotsformen und Marktgeschehen im Carsharing

Das Konzept geteilter Fahrzeuge ist nicht neu und geht in der Schweiz bereits auf das Jahr 1948 zurück. Stationsgebundene und free-floating Carsharing-Angebote haben sich seit dem Start des stationsgebundenen Carsharings in Deutschland in den 1990er Jahren bis zu 26 220 Fahrzeuge oder einer Dichte von etwa 33 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen zum 1. Januar 2021 entwickelt. Diesen stehen 2,78 Mio. registrierte Nutzer:innen oder 110 Nutzer:innen je Fahrzeug gegenüber. Seit 2011 zeigt sich eine Verzehnfachung der registrierten Nutzer:innen und fast eine Verdreifachung der Nutzer:innen je Fahrzeug (bcs 2021).

Dynamik, und Dichte der Angebote unterscheiden sich deutlich nach Regionen und Angebotskonzepten. In städtischen Räumen ist die Fahrzeugdichte weit höher als in ländlichen Regionen. Die am dichtesten ausgestatteten Städte sind Karlsruhe mit 323 Fahrzeugen, München mit 213 Fahrzeugen, sowie Hamburg, Berlin und Freiburg mit jeweils etwa 160 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen. Die ab 2009 von der Daimler AG und BMW in mehreren deutschen und internationalen Städten angebotenen Dienste Car2Go und DriveNow beschleunigten das Wachstum des Carsharing-Marktes mit jährlichen Zuwachsraten der Fahrzeuge über 20 % p. a. wesentlich. Der Stopp eines weiteren Ausdehnens der free-floating-Angebote und der Zusammenschluss der Anbieter Daimler und BMW weisen jedoch darauf hin, dass wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle in diesem Bereich allenfalls begrenzt möglich sind (vgl. Abschnitt 6.5).

Vermeehrt bieten Carsharing-Unternehmen beide Formen an. Free-floating Angebote zielen dabei auf spontane Fahrtwünsche innerhalb eines meist auf Stadtgebiete begrenzten Bediengebiets ab, während stationsgebundene Angebote für geplante und längere Fahrten zur Verfügung gestellt werden. Hybride Lösungen erlauben ferner, innerhalb des stationsgebundenen Carsharings Fahrzeuge an unterschiedlichen Stationen auszuleihen und wieder zurück zu geben. Entsprechend werden beide Konzepte in dieser Studie gemeinsam betrachtet. Tabelle 1 stellt die 20 Städte mit den höchsten Dichten an Carsharing-Fahrzeugen unter deutschen Kommunen über 250 000 Einwohner:innen zum 1.1.2021 dar (bcs 2021).

Tabelle 1: Carsharing-Fahrzeugdichte in Deutschland, Januar 2021

Stadt	Fahrzeugdichte je 100 000 EW.	Bevölkerungszahl (1 000)
Karlsruhe	323	312
München	213	1 484
Hamburg	161	1 845
Berlin	160	3 769
Freiburg	159	231
Köln	142	1 087
Stuttgart	140	636
Heidelberg	128	161
Darmstadt	127	160
Tübingen	121	92
Frankfurt am Main	119	763
Göttingen	114	119
Düsseldorf	111	622
Hannover	99	537
Leipzig	96	593
Mannheim	85	311
Mainz	77	219
Aachen	74	249
Münster	72	315
Halle an der Saale	70	239
Alle >250 000 EW.	148	13 744

Quelle: (bcs 2021); EW = Einwohner:innen

2.1.2 Angebotsformen und Marktgeschehen im Ridepooling

Ridepooling beschreibt eine Klasse von Mobilitätsangeboten, bei welcher sich fremde Personen eine Fahrgelegenheit teilen, deren Route und Fahrzeiten sich flexibel nach den Fahrwünschen der Fahrgäste richtet. Für Buchung und Bezahlung werden in der Regel mobile Endgeräte wie Smartphones benötigt. Die Fahrstrecke wird von einem Algorithmus so optimiert, dass Besetzungsgrade bei zumutbaren Wartezeiten und Umwegfahrten für alle Fahrgäste maximiert werden.

Derartige kommerziell oder öffentlich organisierte und allgemein zugängliche Fahrtmöglichkeiten für Gelegenheitsfahrten sind in dieser Form relativ neu. Deren bekannteste Anbieter sind Uber ab 2009 und dessen direkter Konkurrent Lyft mit Marktpräsenz ab 2012 aus den USA, sowie DiDi Chuxing Technology Co. aus China. Von diesen hat lediglich Uber unter anderem mit Beteiligungen von Google, Goldman Sax, Toyota und PayPal eine globale Marktpräsenz aufgebaut. In Deutschland ist

Uber (Stand Februar 2020) in acht Städten mit der Vermittlung von Fahrten an Taxi- und Mietwagenunternehmen aktiv. Eine weitere Expansion des Dienstes, ähnlich den Metropolen in Nord- und Südamerika und Asien, lassen die restriktiven Bedingungen des deutschen Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) nicht zu.

Die Anfänge flexibler Mitfahrgelegenheiten gehen unter anderem auf die Organisation gemeinsame Arbeitswege als Reaktion auf Kraftstoffengpässe oder Energiepreise zurück. So förderte der amerikanische Staat 1942 Fahrgemeinschaften, um Kraftstoff für den zweiten Weltkrieg zu sparen, und richtete in den 1970er-Jahren High Occupancy Vehicle (HOV)-Spuren als Reaktion auf die globale Ölkrise ein (Chan et al. 2012). Neben oft staatlich geförderten betrieblichen Initiativen bildeten sich in Deutschland Mitfahrzentralen heraus, welche dann Gelegenheitsfahrten unbekannter Personen in der Regel im Fernverkehr in Privatfahrzeugen organisierten. Moderne Angebote mit digitalen Zuordnungsalgorithmen wie BlaBlaCar entwickelten dieses Konzept unter anderem mit sozialen Auswahlverfahren der Fahrgemeinschaften weiter.

Anfangs ohne nennenswerte Regulierung zeigten sich insbesondere in US-amerikanischen Städten negative Auswirkungen auf den Verkehrsfluss, die ÖPNV-Nutzung und den Taximarkt. Eine starke Regulierung in Deutschland über das Personenbeförderungsgesetz (PBefG) hat ähnliche negative Folgen hierzulande verhindert, jedoch auch die Verbreitung dieser Dienste stark gebremst und unter die Kontrolle der Kommunen gestellt (Doll et al. 2019b; Schürmann et al. 2019).

In Deutschland sind Fahrdienste außerhalb des regulierten Taxi- und Mietwagenmarktes in der Regel nur in der geteilten Form als Ridepooling zulässig. Dies wird auch für die Entwicklung bis 2030 unterstellt. Nach Marktbeobachtungen des Verbandes deutscher Verkehrsbetriebe (VDV) sowie der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie des Bundes sind 2021 zwischen 718 und 955 Ridepooling-Fahrzeuge im Einsatz. Dies entspricht 0,9 bis 1,2 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen. Die größten Fahrzeugflotten finden sich dabei in Hamburg (200 Fahrzeuge der VW-Tochter Moya), Berlin (150 Fahrzeuge der Daimler-Tochter ViaTransportation im Betrieb für die Berliner Verkehrsbetriebe BVG) und Düsseldorf (100 Fahrzeuge von CleverShuttle der GHG Mobility GmbH). Die höchsten Fahrzeugdichten finden sich jedoch, bedingt durch die geringe Einwohnerzahl, in kleinen Gemeinden wie Rehau und Diezenbach oder in Mittelstädten wie Kiel.

Tabelle 2: Ridepooling-Fahrzeugdichte in Deutschland, Januar 2021

Stadt	Fz./100 000 EW	EW. (1 000)	Fahrzeuge	Anbieter
Rehau	21,28	9,4	2	door2door
Diezenbach	17,49	34,3	6	door2door
Kiel	16,19	247	40	GHT Mobility GmbH
Düsseldorf	16,08	622	100	GHT Mobility GmbH
Hannover	14,90	537	80	MOIA
Freyung	13,89	7,2	1	door2door
Paderborn	13,16	152	20	ioki
Hamburg	10,84	1 845	200	MOIA
Leipzig	10,79	593	64	GHT Mobility GmbH
Ettlingen	10,18	39,3	4	KVV
Ludwigshafen	4,65	172	8	ViaVan
Bonn	4,24	330	14	ioki
Berlin	3,98	3 769	150	ViaVan
Stuttgart	2,04	636	13	SSB
Aachen	1,61	249	4	ASEAG
Duisburg	1,20	499	6	door2door
Bremen	1,06	568	6	ViaVan
Alle Regionen	6,96	10 309,2	718	

Quelle: Verband deutscher Verkehrsbetriebe (VDV); EW = Einwohner:innen; Fz. = Fahrzeuge

Neben der unternehmerisch organisierten Form geteilter Fahrdienste existieren weitere Varianten von Fahrgelegenheiten. Diese werden hier zur Vervollständigung genannt, im weiteren Verlauf der Studie jedoch nicht vertieft. Die nicht geteilte Form des Ridesharing, das sogenannte Ridehailing, entspricht im Wesentlichen dem Modell der Taxidienste mit dem Unterschied, dass hier Fahrten per Smartphone-App gebucht und bezahlt werden können. Ohne vorheriges Abschließen einer Buchung sind Fahrten in der Regel in beiden Angebotsformen nicht möglich. Mit UberTaxi, FREE NOW (ehemals mytaxi) des Ride-Hailing Joint Ventures zwischen BMW und Daimler oder taxi.eu versuchen Mobilitätsanbieter teilweise unter Umgehung der Taxizentralen eine direkte Verbindung zwischen Kund:innen und Fahrer:innen aufzubauen. Das Konzept UberPop bewegt sich schließlich noch weiter vom rechtlich geschützten Taxi- und Mietwagenmarkt weg, indem per App Fahrten an private Fahrer:innen vermittelt werden. Fehlende Servicedienste der Taxizentralen und Gerichtsurteile gegen die Vermittlung von Fahrten an Privatpersonen erschweren diese Konzepte in Deutschland jedoch signifikant.

2.2 Geschäftsmodelle autobasierter geteilter Mobilitätsdienste

2.2.1 Überblick

Geschäftsmodelle sind allgemein Beschreibungen der Funktionsweise von Unternehmen bezüglich der Art und Weise der Wertschöpfung (Müller et al. 2016). Der Begriff durchlief eine Geschichte an verschiedenen Bedeutungen (Wirtz et al. 2016). Heute konvergiert die Sichtweise insofern, dass Geschäftsmodelle als strategisch und weniger als prozessorientiert verstanden werden (Wirtz et al. 2016). Zudem wird der Begriff im modernen Verständnis auf Ebene des Unternehmens genutzt (Wirtz et al. 2016). Grundsätzlich kann in drei Formen von Geschäftsmodellen unterschieden werden: Geschäftsmodelle können Attribute realer Firmen sein, ein kognitives oder linguistisches Schema (implizites Modell) oder als explizites Modell in Form einer konzeptionellen Repräsentation der Unternehmensfunktionen (Massa et al. 2017). Für diese Studie wird dem Verständnis eines expliziten Modells gefolgt. Dies geschieht, da die zu untersuchenden Geschäftsmodelle als konzeptionelle Repräsentation vorliegen und aufgrund der Überführung in Modellstrukturen auch explizit als formal-mathematisches Abbild. Diese formale Überführung ist notwendig, um die Ziele der Studie, die Schätzung der Wirkungen von politischen Maßnahmen auf Auto-basierte geteilte Geschäftsmodelle, quantitativ zu belegen. Somit sind die hier behandelten Geschäftsmodelle als Beschreibungen des Grundprinzips, wie ein Unternehmen Werte generiert, übermittelt und einnimmt zu verstehen (Osterwalder et al. 2013).

Dem beschriebenen Verständnis der Geschäftsmodelle folgend, kann Carsharing wie folgt definiert werden (Rube et al. 2020):

"Carsharing ist die organisierte, gemeinschaftliche Nutzung von Kraftfahrzeugen, die vom Anbieter gehalten werden. Die Fahrzeuge stehen einer unbestimmten Anzahl von Fahrern und Fahrerinnen nacheinander zur Nutzung zur Verfügung." (Rube et al. 2020)

Um die Kraftfahrzeuge nutzen zu können, müssen die Personen zunächst einen Rahmenvertrag mit dem Anbieter abschließen (Rube et al. 2020). Für die Nutzung entrichtet die Kundin in der Regel einen fixen monatlichen oder jährlichen Betrag sowie einen von der Nutzung abhängigen Preis. Dieser bezieht sich entweder auf die gefahrenen Kilometer oder die genutzte Zeit oder eine Kombination dieser beiden Größen.

Ridepooling wird definiert als (Rube et al. 2020):

"[...] ein gewerbliches Verkehrsangebot zum Zweck der Sammelbeförderung mehrerer, nicht zusammengehöriger Personen nach deren jeweiligen Fahrtwünschen. Diese umfassen Abholort, Zielort und Zeitrahmen der Fahrt (vollflexibel), jedoch nicht die Fahrstrecke." (Rube et al. 2020)

Die Fahrstrecke ist vom Kunden nicht im Voraus exakt definierbar, da während der Fahrt weitere Fahrgäste zusteigen können. Dies ist dann der Fall, wenn sich die Strecken der betreffenden Personen sinnvoll miteinander verbinden lassen. Da hierfür teilweise kleinere Umwege gefahren werden müssen, bleibt die zu fahrende Strecke dem Anbieter überlassen. Ridepooling untersteht dabei dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG).

2.2.2 Geschäftsmodelle im Carsharing

Die unternehmerischen Ziele oder Geschäftsmodelle im Carsharing stellen sich je nach Betreiber unterschiedlich dar. Betriebswirtschaftliche Ziele lassen sich zwar grundsätzlich allen Angeboten unterstellen, diese beschränken sich jedoch in der Regel auf eine einfache Kostendeckung. Darüber hinaus können drei wesentliche Motivationen zum Systemaufbau und -betrieb identifiziert werden:

- **Ökologische und soziale Ziele.** Nachhaltige Mobilität und weniger privater Autobesitz führte zu den ersten kommerziellen stationsgebundenen Carsharing-Angeboten der 1990er Jahre in Deutschland. In der Regel entstanden diese aus privaten Initiativen in einzelnen Städten in Form von Club-Modellen mit Anmeldegebühren, festen monatlichen Beiträgen und dadurch niedrigeren Nutzungsgebühren für die Fahrzeuge. Wesentlicher Gesichtspunkt ist hierbei die Bereitstellung verschiedener Fahrzeugtypen für unterschiedliche Fahrzwecke, um den Nutzer:innen möglichst viel Flexibilität in ihrem Mobilitätsverhalten zu ermöglichen. Typische Vertreter dieser Geschäftsmodelle sind Stadtmobil oder Cambio Carsharing.
- **Kundenbindung durch Mobilitätssicherung auf der ersten und letzten Meile.** Mit Flink Star verfolgt die Deutsche Bahn Connect GmbH das Ziel, Reisenden an großen Bahnhöfen eine flexible Möglichkeit zur Fortsetzung der Reise ohne die zeitlichen und räumlichen Beschränkungen des ÖPNV zu gewährleisten. Über Kooperationen mit Stadtmobil und Cambio erweitert Flinkster dabei seine eigene Flotte von derzeit etwa 750 Fahrzeugen und gewährt Rabattkonditionen bei Besitz einer Bahncard.
- **Marketing und Flottengrenzwerte.** Die free-floating Angebote unter dem Label SHARE NOW der Automobilhersteller Daimler und BMW (ehemals car2go und DriveNOW) verfolgten primär das Ziel der Kundenbindung und des Marketings über die Sichtbarkeit der Flotten im Straßenraum. Damit reagierten die Unternehmen auf die in den 2000er Jahren vermehrt sichtbare Zurückhaltung jüngerer Menschen bei Führerscheinerwerb und Autokauf insbesondere in Europa und Nordamerika. Senkung der THG-Flottenemissionen kann als weitere Motivation der Unternehmen zunächst zur Nutzung kleiner Fahrzeuge, und später zur Umstellung auf Elektrofahrzeuge vermutet werden. Aufgrund eines langsamen Ausbaus von Ladestationen, inadäquater Nutzung der Fahrzeuge und hoher Konkurrenz schloss SHARE NOW ab 2019 alle nordamerikanischen und einige europäische Standorte.

In der Verkehrswissenschaft wird die Frage, inwieweit Carsharing als Teil des Umweltverbundes gewertet werden kann, debattiert. Ein echter ökologischer Mehrwert entsteht nur dann, wenn Nutzer:innen durch die Carsharing-Mitgliedschaft ihre privaten Fahrzeuge abschaffen. In diesem Fall können städtische Umweltauflagen, welche in der Regel gegen den privaten Pkw gerichtet sind, als Teil der Geschäftsmodelle insbesondere des stationsgebundenen Carsharings betrachtet werden.

2.2.3 Geschäftsmodelle im Ridepooling

Ebenso wie beim Carsharing lassen sich beim öffentlich zugänglichen Ridepooling grundlegende Geschäftsmodelle nach den Interessen der jeweiligen Anbieter ordnen. Zusätzlich spielen hier die angesprochenen Kundengruppen eine wesentliche Rolle. Proprietäre Systeme zum Beispiel großer Arbeitgeber oder an Flughäfen werden hierbei nicht betrachtet. Ebenso wird die Wertschöpfungskette über Operator, Fahrdienst und IT-Back-End hier ausgeklammert. Betreiber sind demnach die für Struktur und Organisation verantwortlichen Akteure, während Kund:innen die potenziellen Fahrgäste umfassen (Handke et al. 2013).

- **Öffentliche Betreiber für Privatkunden.** Dies stellt das klassische Modell der in Deutschland aktiven Ridepooling-Dienste dar. In der Regel werden die Dienste wie BerlKönig (Berlin), ByBus (Duisburg) oder MyShuttle (Region Karlsruhe) von den örtlichen Verkehrsbetrieben als Ergänzung zum ÖPNV betrieben. Ziel ist in erster Linie, Randgebiete und Randzeiten durch günstiger darstellbare und gleichzeitig kundenfreundlichere flexible Dienste abzudecken. Kundenbindung für den ÖPNV steht hier im Vordergrund des Geschäftsmodells. In der Regel wird der Fahrbetrieb und die IT-Plattform an externe Unternehmen wie ViaTransportation (Daimler) oder Door2Door ausgelagert.

Eine interessante Option stellen die aktuell laufenden Feldtests mit hochautomatisierten elektrischen Shuttle-Fahrzeugen dar. Ohne die direkten Kosten und zeitlichen Beschränkungen des

Fahrpersonals können bei ausreichender Technologiereife Mobilitätsdienste auch jenseits der üblichen Bedienzeiten und -gebiete des klassischen ÖPNV realisiert werden. Ein inhärent sicherer Betrieb auch mittels unterstützender Infrastrukturen und die Klärung rechtlicher Fragen sind jedoch Grundvoraussetzungen für den Regelbetrieb mit hochautomatisierten Fahrzeugen. Hier könnte sich ein Spannungsfeld aus geforderter Technologiereife und Innovationsoffenheit ergeben (Niemann et al. 2021)

- Privatwirtschaftliche Angebote für Privatkunden. Dienste wie CleverShuttle (GHT Mobility GmbH) oder Moya (Volkswagen) unterliegen in den jeweiligen Städten der örtlichen Auslegung des PBefG und operieren zeitlich begrenzt unter dessen "Experimentierklausel". Die Motivation der Anbieter kann sich an der Nachhaltigkeit oder, insbesondere bei automobilnahen Konzepten, an Marketing und Flottengrenzwerten ähnlich des Carsharing ausrichten. Gewinnerzielungsziele sind mit Ridepooling-Diensten hingegen noch schwieriger zu realisieren als im Carsharing. Uber als weltweit größter Mobilitätsdienstleister verzeichnete 2018 beispielsweise trotz einem Umsatz von 11,3 Mrd. US-Dollar einen Verlust von 1,8 Mrd. US-Dollar.
- Insbesondere bei privaten Betreibern von Ridepooling-Diensten kann die Datensammlung zu Präferenzen und Verhalten der Kund:innen ein wesentlicher Eckpunkt der Geschäftsmodelle sein. Der Markteintritt von IT-Konzernen wie Google über dessen Tochter Waymo gibt Hinweise in diese Richtung. Bei öffentlichen Betreibern besteht dieses Risiko auch, sollte aber über Kooperationsverträge zum Wohl der Kund:innen minimiert vermieden werden (Niemann et al. 2021).

Eine Gegenüberstellung von Chancen und Risiken von Ridesourcing-Angeboten, also geteilten Ridepooling und nicht-geteilten Rideselling in Rodi et al. (2017), identifiziert den bestehenden rechtlichen Rahmen aus Tarifbindung und Versorgungsauftrag als ausschlaggebende Größen. Positive Effekte umfassen verbesserte Erwerbschancen insbesondere für Geringverdiener:innen, Kosten- und Wettbewerbsvorteile gegenüber Anbietern, Anreize für Qualitätsverbesserungen für die Kund:innen, weniger Fahrtenaufkommen durch Pooling sowie Ergänzung des ÖPNV und damit mehr Nachhaltigkeit durch die Substitution privater Pkw-Fahrten. Demgegenüber stehen Risiken durch die Umgehung sozialer Sicherungssysteme, Gefährdung der Wirtschaftlichkeit bestehender ÖPNV-Angebote und damit verbunden die Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen. Höhere Umwelt- und Klimabelastungen durch Kundensuchverkehre sind ebenfalls Risiken. Bei der Freigabe von Tarifbindung sowie der Konzessions- und Rückkehrpflicht von Mobilitätsdiensten außerhalb des Taxigewerbes stehen potenzielle Innovationsanreize für verbesserte Leistungen den Risiken adverser Selektion und Moral Hazard gegenüber. Dies kann schließlich zu einer Verschlechterung des Mobilitätsangebots insgesamt führen. Speziell für Ridepooling-Konzepte überwiegen dabei die sozialen und ökologischen Chancen.

2.3 Mobilitätsplattformen

Mobilitätsplattformen stellen die Verbindung zwischen mehreren Verkehrsmitteln her, und erleichtern so deren individuelle Auswahl je Fahrt (multimodale Optionen) und die Kombination einzelner Verkehrsmittel auf Teilstücken einer Fahrt (intermodale Option). Der Begriff "Plattform" im engeren Sinn besagt, dass das System unterschiedlichen Anbietern und Nachfragern von Mobilitätsdienstleistungen offensteht; in der Praxis bilden viele Mobilitätsplattformen jedoch eine feste Gruppe von Mobilitätsangeboten ab. Für multimodale Mobilitätsplattformen hat sich international die Bezeichnung MaaS (Mobility-as-a-Service) durchgesetzt. Dies drückt aus, dass die Nutzenden Zugriff auf die in der Plattform enthaltenen Mobilitätsdienste haben, ohne ein direktes Vertragsverhältnis mit den Anbietern schließen zu müssen. Auch hier herrschen in der Praxis jedoch einfachere Modelle in Form von Information und Vermittlung vor. Missverständnisse über die Definition von MaaS und

der Rolle von Staat und Kommunen behindert deren effizienten und nachhaltigen Aufbau (CUBIC 2018).

Mobilitätsplattformen lassen sich unter anderem nach deren Geschäftsmodellen und deren Integrationstiefe gliedern. Cohen (2021) schlägt fünf Kategorien für die Klassifizierung von Geschäftsmodellen für Mobilitätsplattformen vor:

- 3) Subscription. Über eine monatliche Gebühr wird den Nutzenden Zugang zu verschiedenen Mobilitätsangeboten gewährt. Ziel ist in der Regel die Verkehrsverlagerung weg vom MIV. Gewinne ergeben sich aus den Deckungsbeiträgen zusätzlicher Nutzer:innen. Herausforderung ist unter anderem die Vertragsgestaltung bezüglich Tarifmodellen und Datensouveränität. Typische Anbieter sind Startups wie Whim (MaaS Global)
- 4) Kommissionsmodell. Vornehmliche über Kommissionen im Bereich 4 % bis 15 % für jede einzelne Nutzung, in der Regel über Mikro-Transaktionen. Herausforderung: die Betreiber urbaner Mobilitätsdienste (Taxi, Ridepooling, ÖPNV) arbeiten oft unterhalb der Grenzkosten und sind deshalb zurückhaltend gegenüber Kommissionen an MaaS-Dienste.
- 5) Mehrwert für Kernservices. Dieses von ÖPNV, Bahn und teilweise im Luftverkehr eingesetzte Modell geht von einer Stärkung der Kerndienstleistungen durch die verbesserte Gestaltung von Zu- und Abgang aus. Die tatsächlichen Wirkungen sind jedoch, insbesondere beim Einsatz standardisierter MaaS-Plattformen, schwer zu ermitteln.
- 6) Premium MaaS. Bahn und Luftfahrt prüfen diese Modelle, in welchen Nutzer:innen Vorteile für die Buchung kompletter Reiseketten angeboten werden. Die Identifikation entsprechender Zahlungsbereitschaften und Interessen der Kund:innen ist jedoch schwierig.
- 7) MaaS Super-App. Angebote von Mehrwertdiensten wie Beherbergung, Gastronomie oder Shopping mit der Buchung auf einer MaaS-Plattform. Der Aufwand zum Betrieb dieser breiten Produktpalette durch Mobilitätsanbieter ist sehr hoch und bietet sich deshalb nur für sehr aufkommensstarke Mobilitätsdienstleister an.
- 8) Corporate MaaS: Dieses proprietäre Geschäftsmodell richtet sich an Unternehmen im Rahmen des Mobilitätsmanagements für Mitarbeiter und Kund:innen. Das Management eigener Flotten kann hier eingeschlossen werden.

Die Integrationstiefe der Mobilitätsplattformen lassen sich nach Rodi et al. (2017) und Sochor et al. (2018) in drei Stufen des betriebswirtschaftlichen Designs, sowie eine gesellschaftlich relevante Ebene einteilen:

- Level 0: keine Integration, reine verkehrsmittelspezifische Information und Vermittlung,
- Level 1: Informationelle Integration: Multimodale Wegesuchen entlang der Reisekette.
- Level 2: Buchung und Bezahlung einzelner Fahrten,
- Level 3: Zusammenführung von Angeboten mit Verträgen und Verantwortlichkeiten, und
- Level 4: Berücksichtigung gesellschaftlicher Ziele.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Ende Juli 2021 in Deutschland verfügbaren multimodalen Mobilitätsplattformen mit deren Geschäftsmodellen und Integrationstiefen. Mit REACH NOW verfolgen BMW und Daimler hierunter die tiefste Integration, beschränken sich dabei aber auf das proprietäre Corporate-MaaS-Geschäftsmodell. Die öffentlichen Plattformen zielen hingegen fast vollständig auf den Mehrwert für die jeweiligen ÖPNV-Kernservices ab.

Ein wesentlicher Akteur im Bereich der Mobilitätsplattformen ist die DB AG mit ihren Vertriebskanälen DB Navigator und Bahn.de. Die Monopolkommission (2021) stellt in ihrem 8. Sektorgutachten Bahn hier eine marktbeherrschende Stellung fest, welche sich insbesondere an der Weitergabe von Echtzeitdaten z.B. zu Auslastungen, Verspätungen und Anschlüssen festmacht. Da Regional- und

Fernverkehre von der DB und deren Wettbewerbern wichtiges Element vieler regionaler Mobilitätsplattformen sind, kann die Transparenz der Angebote für die Endkund:innen negativ betroffen sein. Mit der White-Label-Plattform "Mobility Inside" (Mobility Inside 2021) des VDV, der Initiative "Datenraum Mobilität" des BMVI (acatech 2021), dem Gesetz zur Modernisierung des PBefG (Bundesregierung 2021b), der EU Delegierte-Verordnung (EU-Kommission 2017) oder Bestrebungen zur Neuordnung von Passagierrechten laufen jedoch von mehreren Seiten Bemühungen zur Verbesserung von Transparenz und Wettbewerb zwischen den Mobilitätsanbietern.

Tabelle 3: Geschäftsmodelle und Integrationstiefe von Mobilitätsplattformen

Plattform	Geltungsbereich	Name Betreiber	Geschäftsmodell	Integrationstiefe
Privatwirtschaft				
Google Maps	International	Google	Kommission	1: Informationell
DB Navigator	Europea	Deutsche Bahn AG	Kernservice	1: Informationell
REACH NOW	Europa, 100 Städte	BMW-Daimler Ride-hailing GmbH	Corporate MaaS	3: Zusammenführung
Urbi	Deutschland, 9 Städte		Kernservice	1: Informationell
Öffentlich				
Bwegt	Baden-Württemberg	O-TON Call Center Services	Kernservice	1-2: teilw. Buchung & Bezahlung
Jelbi	Berlin	Berliner Verkehrs-betriebe	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung
LeipzigMOVE	Leipzig	Leipziger Verkehrs-betriebe	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung
Switchh	Hamburg	Hochbahn Hamburg	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung
myDVG	Duisburg	Duisburger Verkehrs-gesellschaft AG	Kernservice	1: Informationell
RegioMove	Nordbaden	Karlsruher Verkehrs-verbund	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung
MVGO	München	Münchner Verkehrs-gesellschaft	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung
Redy	Region Düsseldorf	Rheinbahn AG, Better Mobility GmbH	Kernservice	2: Buchung & Bezahlung

Quelle: Fraunhofer ISI

Die Erfolgsfaktoren von MaaS-Plattformen können wie folgt beschrieben werden: bestmögliche Integration der Mobilitätsdienste, verantwortungsvolles Verhalten, Datensicherheit, Regelungen über den Zugriff auf die Kund:innen und, letztendlich entscheidend, Verständigung über das geeignetste Geschäfts- und Tarifmodell. Zur erfolgreichen Umsetzung werden drei Kernplattformen benötigt: ein einziger Zugang für alle Mobilitätsbedürfnisse, Echtzeit-Reiseplanung sowie eine zentrale Plattform zum Stau- und Kapazitätsmanagement (CUBIC 2018; Dubois 2020). Mit der Bezeichnung "MaaS 2.0" erweitern Merkert et al. (2020) die Anforderungen von Mobility as a Service daher in die Domänen "Software as a Service" und "Collaboration as a Service". Diese werden benötigt um MaaS-Dienste durch Kommunen oder lokale ÖPNV-Betreiber nachhaltig, kundenfreundlich und mit

vertretbarem Aufwand aufzubauen. Neue Mobilitätsdienste mit oder ohne Integration in Mobilitätsplattformen sind nicht per se nachhaltig. Eine umwelt- und sozialgerechte Einführung erfordert deshalb eine vorausschauende Regulierung und Evaluierung, einen starken und leistungsfähigen ÖPNV sowie die dezidierte Förderung von Rad- und Fußverkehr (Christ 2021; Doll et al. 2019b). Um diese Kriterien erfüllen zu können, müssen unterschiedliche Akteure am Aufbau und Betrieb multi-modaler Mobilitätsplattformen beteiligt sein. Nach Ortgiese et al. (2019) umfassen diese Mobilitätsdienstleister, Verkehrsunternehmen und Infrastrukturbetreiber auf der vertikalen Ebene sowie Technologieprovider und die Betreiber von übergreifenden Basisdiensten wie Kommunikation, IT-Infrastruktur und Bezahlendienste auf der horizontalen Ebene.

3 Nachfragestrukturen

In diesem Kapitel werden die Nachfragestrukturen, also die für die Wahl der beiden hier im Fokus stehenden Mobilitätsdienste relevanten Faktoren sowie die Auswirkung deren Nutzung, beschrieben. Dies geschieht für das allgemeine Verständnis zum Ersten als Zusammenfassung der derzeitigen wissenschaftlichen Literatur ohne spezifischen Fokus auf Deutschland. Im zweiten Schritt wird der Fokus auf Untersuchungen explizit für deutsche Städte gelegt. Was dies für den ländlichen Raum bedeuten kann, wird zum Abschluss des Kapitels diskutiert.

3.1 Literaturübersicht

Carsharing und Ridepooling werden in der Literatur in zwei für die vorliegende Studie relevanten Teilen behandelt: Einerseits bezüglich der für die Modalwahl relevanten Faktoren und andererseits in den Auswirkungen dieser Wahl auf das generelle Mobilitätsverhalten der Personen.

Für die Modalwahl sind neben den in Kapitel 2 genannten angebotsseitigen Charakteristika die sozio-demografischen und mobilitäts-spezifischen Merkmale der Personen ausschlaggebend. Für Carsharing sind insbesondere jüngere Personen affin (Burghard et al. 2019; Lempert et al. 2019; Yoon et al. 2017). Auch zeichnen sich die Carsharing-Mitglieder durch höhere Haushaltseinkommen aus (Namazu et al. 2018b; Yoon et al. 2017). Dabei sind für Carsharing oftmals der Komfort im Sinne des Nichtkümmerns um die Pflege und Wartung von Fahrzeugen oder finanzielle Gründe ausschlaggebend (Lempert et al. 2019). Der Zugang zu den Carsharing-Fahrzeugen wie auch Geschlecht und die Häufigkeit von Wegen sind weitere wichtige Faktoren im Entscheidungsprozess für das Carsharing (Luca et al. 2015; Yoon et al. 2017).

Für Ridepooling zeigt sich ein etwas anderes Bild, da es im Vergleich zu Carsharing niedrigere Einstiegshürden wie die Unabhängigkeit von Führerscheinbesitz aufweist. Ein weiterer bedeutender Unterschied ist, dass es sich im Gegensatz zu Carsharing nicht um das sequenzielle Teilen eines Fahrzeugs, sondern um das simultane Teilen einer Fahrt handelt (Bösch et al. 2018). Ridepooling wird häufiger für Wochenendfahrten eingesetzt und häufiger von Haushalten mit höheren Einkommen und ohne privaten Pkw genutzt (Ghaffar et al. 2020; Xu et al. 2021). Dabei wird der Dienst weniger häufig von Frauen oder älteren Personen, dafür häufiger von Personen mit höherem Bildungsniveau genutzt (Kang et al. 2021; Xu et al. 2021). Relevante Systemeigenschaften des Ridepoolings sind neben dem Preis vor allem die Entfernung zum Einstiegsort, die Vorausbuchbarkeit, die Möglichkeit zum Verschieben der Abfahrtszeit sowie die Reisezeit und dazugehörige Informationen (König et al. 2020).

Für Konsequenzen der Entscheidungen für oder gegen Carsharing und Ridepooling lassen sich insbesondere die Auswirkungen auf die anderen Mobilitätswerkzeuge der Personen untersuchen.¹ So wird Carsharing zwar auch von Pkw-Halter:innen genutzt, vor allem aber ist es ein Mobilitätsdienst, der von Personen mit ÖPNV-Orientierung als Ergänzung verwendet wird (Becker et al. 2017; Luca et al. 2015). Mitglieder von Carsharing besitzen regelmäßig weniger private Pkw als Nicht-Mitglieder (Clewlow 2016; Mishra et al. 2015; Yoon et al. 2017). Einige Carsharing-Nutzer:innen entscheiden sich aufgrund dieser Mitgliedschaft dafür, ihren privaten Pkw abzuschaffen oder nutzen diesen weniger (Giesel et al. 2016; Jochem et al. 2020; Namazu et al. 2018a; Zhou et al. 2020). Auch nutzen sie den Umweltverbund häufiger (Göddeke et al. 2021; Mishra et al. 2015). Dies ist aber nicht unbedingt auf die Carsharing-Mitgliedschaft oder dessen Angebot zurückzuführen, sondern auf die

¹ Unter "Mobilitätswerkzeugen" versteht man alle im Besitz von Personen befindlichen Gegenstände und Berechtigungen für die Mobilität. Hierzu zählen neben Fahrzeugen auch Führerscheine, Monats- und Jahreskarten für den öffentlichen Verkehr oder Carsharing-Mitgliedschaften.

Ausstattung der Personen und dazugehörigen Haushalte mit Mobilitätswerkzeugen, insbesondere privaten Pkw (Göddecke et al. 2021).

Oftmals wird Ridepooling in seiner Funktion bzgl. der Abdeckung der first- oder last-mile diskutiert. Hierzu kommen Studien bisher zu gegenläufigen Ergebnissen. So ist einerseits denkbar, dass Ridepooling als Komplementär zum ÖPNV wirkt und diesen stärken könnte (Yan et al. 2019). Andererseits zeigt sich aber auch, dass die Ridepooling-Preise die Einsparung der Zeitkosten übersteigen, sodass sich eine entsprechende Nutzung nicht rentiert (Reck et al. 2020). Für Deutschland zeigen aktuelle Studien, dass das Ridepooling eine sinnvolle Ergänzung zum ÖPNV ist (Knie et al. 2020). Neben diesen Wirkungen muss beim Ridepooling auch berücksichtigt werden, dass aufgrund dessen Nutzung auch Fahrten ohne Passagiere, sogenannte Leerfahrten, entstehen (Shaheen et al. 2018), welche sich in Größenordnung und räumlichen Aufkommen nur schwer beziffern lassen. Diese Effekte sind unter anderem stark von der detaillierten Ausgestaltung des Dienstes, insbesondere der Fahrzeuggröße abhängig (Tirachini et al. 2020). Die mit den Leerfahrten verbundenen negativen Auswirkungen auf die Klimabilanz des Ridepooling kann durch den Einsatz elektrisch angetriebener Fahrzeuge abgemildert werden (Jenn 2020).

3.2 Situation in deutschen Städten

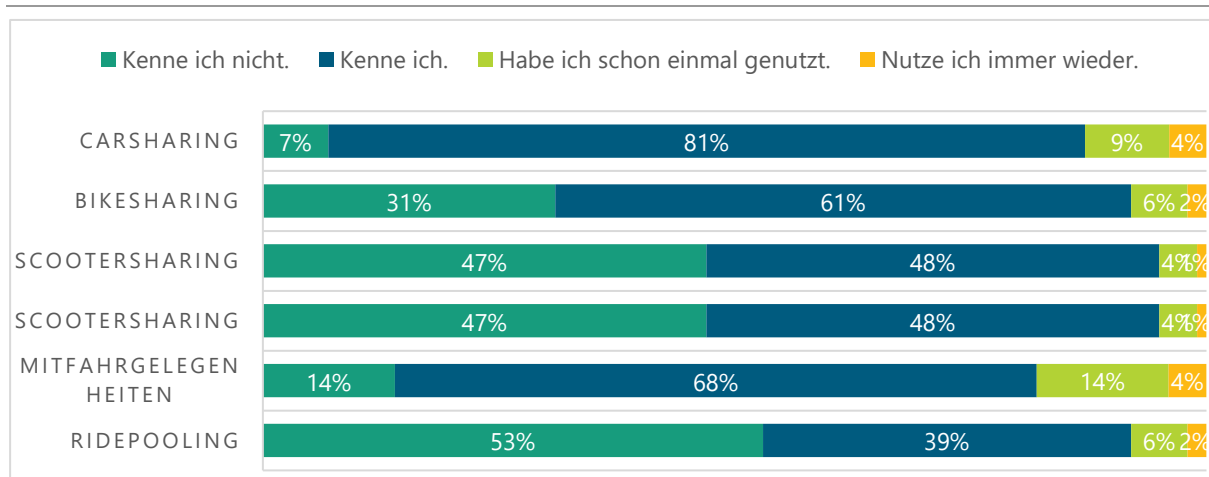
Um die potenzielle Nutzung geteilter Mobilitätsdienste besser zu verstehen, führte das Fraunhofer ISI 2019 und 2020 zwei aufeinander aufbauende repräsentative Erhebungen durch (Krauss et al. 2020b). Hierin wurden 3 061 Personen in Großstädten in Deutschland zu ihrer Kenntnis über und zur möglichen Nutzung von geteilten Mobilitätsdiensten befragt. Geteilte Mobilitätsdienste umfasste hier Carsharing, Bikeshaaring, E-Scootershaaring und Ridepooling. Die in der Erhebung erfassten Großstädte sind alle Metropolen (RegioStaR-Kategorie 71) sowie Regiopole² und Großstädte (RegioStaR-Kategorie 72) gemäß der RegioStaR-Kategorisierung (BMVI 2020a). Um ein möglichst ausgewogenes Bild zu erhalten, wurde die Erhebung repräsentativ anhand von fixen Quoten für Alter, Geschlecht und Bildungsstand gemäß der Verteilung dieser Größen in deutschen Städten durchgeführt. In der ersten Erhebung im Herbst 2019 wurden sozio-demografische Merkmale sowie die Ausstattung der Personen und Haushalte mit Mobilitätswerkzeugen wie Pkw-Führerschein und der Verfügbarkeit von Pkw sowie der Bekanntheit der geteilten Dienste erhoben. Die Nutzungshäufigkeit der Verkehrsmittel sowie die Einstellung der Probanden zu diesen wurden ebenso erfragt. Das Zentrum der Erhebung stellte die Bewertung der Mobilitätsdienste dar. Hierzu wurden die Probanden randomisiert in vier Teil-Stichproben eingeteilt, so dass sich jede Person mit einem der vier geteilten Mobilitätsdienste auseinandersetzen musste. Zu diesem Dienst wurde die bisherige Nutzung, die Einstellung, die allgemeine sowie Wegezweck-spezifische Nutzungsbereitschaft abgefragt. In der zweiten Erhebungswelle im Herbst 2020 wurden auf Basis der aus der ersten Erhebung gewonnenen Erkenntnisse spezifische Details zu für die Modalwahl entscheidenden Faktoren (Kosten, Zeit, Verfügbarkeit, etc.) erhoben, um das Bild zu den geteilten Mobilitätsdiensten in deutschen Städten zu verfeinern.

Die in der beschriebenen Studie befragten Probanden kennen Carsharing in nur 7 % aller Fälle nicht wie Abbildung 1 zeigt. Ridepooling ist 53 % der Befragten unbekannt. Dies ist einerseits auf das deutlich länger am Markt angebotene Carsharing zurückzuführen, welches bereits seit 1948 in der Schweiz besteht (Harms et al. 1998) und auch in Deutschland auf eine deutlich längere Tradition zurückblickt als das Ridepooling. Hinzu kommt, dass Carsharing in nahezu allen deutschen Großstädten verfügbar und über dessen Stationen sichtbar ist, während Ridepooling-Dienste bisher nur in ausgewählten Städten angeboten werden. Trotzdem zeigt sich, dass die beiden Angebotsformen zu ähnlichen Anteilen bereits genutzt wurden oder auch immer wieder genutzt werden.

² Regiopole sind Städte, die nicht zu Metropolregionen zählen, im Städte-Netzwerk aber bedeutende Knotenpunkte darstellen.

Aktuell ist jedoch das Carsharing in deutschen Städten in der Nutzung vermehrt vertreten: 4 % der Befragten nutzen Carsharing immer wieder, was auf nur 2 % für Ridepooling zutrifft.

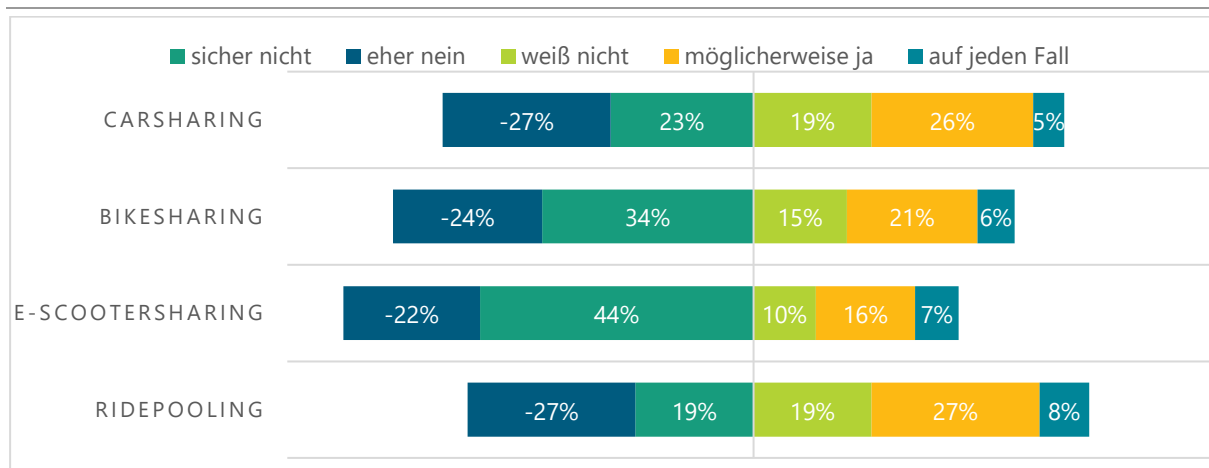
Abbildung 1: Bekanntheitsgrad geteilter Mobilitätsdienste in deutschen Städten



Quelle: Krauss et al. 2020b

Während die Bekanntheit des Mobilitätsdienstes eine notwendige Voraussetzung für dessen Nutzung ist, so ist dies noch keine hinreichende Bedingung. Abbildung 2 zeigt die Nutzungsbereitschaft der Probandinnen und Probanden für die vier untersuchten Mobilitätsdienste. Danach ergibt sich ein gegenteiliges Bild zu den oben beschriebenen Bekanntheitsgraden. Ridepooling erzielt eine höhere Nutzungsbereitschaft als Carsharing, insbesondere die Kategorie der höchsten Nutzungsbereitschaft unterscheidet sich bei den beiden Mobilitätsdiensten: 8 % Nutzungsintention für Ridepooling-Dienste gegenüber 5 % für Carsharing-Angebote.

Abbildung 2: Nutzungsbereitschaft geteilter Mobilitätsdienste in deutschen Städten



Quelle Daten: Fraunhofer ISI, 2020

Auch in deutschen Städten bestätigt sich der globale Trend, dass Carsharing- und Ridepooling-Nutzer:innen jünger und häufiger männlich sind als entsprechende Nicht-Nutzer:innen (Krauss et al. 2020b). Die Nutzer:innen sind auch häufiger in Vollzeit erwerbstätig und weisen höhere Bildungsniveaus auf. Bezüglich privater Pkw haben Nutzer:innen der beiden Mobilitätsdienste auch in der Tendenz weniger häufig ein Auto im Haushalt zur Verfügung als Nicht-Nutzer:innen.

Die Nutzungsabsicht ist dabei nur begrenzt von der Angebotsdichte der Mobilitätsdienste abhängig (Krauss et al. 2020a). Zwar ist die Nutzungsabsicht hinsichtlich des Carsharing in Städten mit

höherer Angebotsdichte ebenfalls höher, allerdings zeigt sich dieser Unterschied als statistisch nicht signifikant. Für Ridepooling zeigt sich ein ähnliches Bild mit einem Unterschied: Für Angebotsdichten größer oder gleich 0,05 Fahrzeuge / 1 000 Einwohner:innen ist die Nutzungsabsicht statistisch signifikant höher als bei Angebotsdichten darunter. Dieser Effekt ist bei einem Vergleich der Angebotsdichten von 0 zu größer als 0 ebenfalls zu beobachten, statistisch aber nicht statistisch signifikant. Dies kann als Indiz interpretiert werden, dass insbesondere bei on-demand Angeboten eine gewisse Verlässlichkeit des Mobilitätsdienstes aus Sicht der Nutzer:innen notwendig ist. Die Ausstattung der Proband:innen mit Mobilitätswerkzeugen und deren sozio-demografische Situation bilden gute Prädiktoren für die Nutzungsintention von Mobilitätsdiensten. So ist beispielsweise die Evaluation der Radverkehrsinfrastruktur am Wohnort entscheidend für die simulierte Wahrscheinlichkeit der Nutzung von Ridepooling: Je schlechter diese durch die Proband:innen bewertet wird, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für die Nutzung des Ridepooling. Hier kann also eine Verlagerung der Mobilitätspräferenzen festgestellt werden, wenn die Personen sich aus ihrer Sicht hinsichtlich ihrer Mobilität verbessern können (in diesem Fall mehr Komfort durch Ridepooling statt Fahrradfahren bei schlechter Infrastruktur). Die Wichtigkeit der Sozio-Demografie und Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen lässt sich auch hinsichtlich des Carsharing aufzeigen. Carsharing-Mitglieder nutzen ca. 1,4-1,5 Mal häufiger den Umweltverbund (ÖPNV, Rad, Fuß) als Nicht-Mitglieder (Göddeke et al. 2021). Dieser Effekt geht insbesondere auf Sozio-Demografie und die Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen zurück. Insofern besteht hier eine Wechselwirkung der Mobilitätswerkzeuge und der Angebotsformen.

3.3 Bedeutung für den ländlichen Raum

Ein multimodales Mobilitätsangebot ist auch für den ländlichen Raum unabdingbar, um die Abhängigkeit der dort lebenden Personen vom privaten Pkw zu reduzieren. Dies hat neben einer ökologischen Motivation vor allem ökonomische Hintergründe, da private Pkw kostenintensiv sind, aber nur den Bruchteil eines Tages genutzt werden. Hinzu kommt die oft unattraktive Bedienung des ländlichen Raums durch den ÖPNV. Mobilitätsdienste können hier eine attraktive Alternative sein, da sie ohne Führerschein für alle nutzbar sind und abgesehen von geringen Mitgliedsbeiträgen nur dann Kosten verursachen, wenn die Mobilität auch gebraucht wird. Die bisherige Forschung zu geteilten Mobilitätsdiensten bezieht sich aber in der überwiegenden Mehrheit auf den städtischen Raum. Dies liegt insbesondere an den dort regelmäßig besseren Startbedingungen für diese Dienste: Eine absolut höhere Zahl an potenziellen Nutzer:innen sowie eine höhere potenzielle Dichte erleichtern den Start neuer Dienste, da dies zu höheren Nutzungsquoten und damit höheren Einnahmequellen für das Geschäftsmodell verspricht.

Die bereits beschriebene Abhängigkeit vom privaten Pkw im ländlichen Raum ist insbesondere für all jene Personen, die nicht selbst fahren können, eine Herausforderung. Betroffen sind vor allem junge Menschen und insbesondere der überproportional wachsende Anteil von Senior:innen. Da der ÖPNV in diesen Räumen in puncto räumliche und zeitliche Abdeckung nicht zu vergleichen ist mit dem in urbanen Räumen, mangelt es vielerorts an guten Alternativen. Das schrittweise Ausdünnen von Fahrplänen, dadurch stark rückläufige Fahrgastzahlen und Einnahmeverluste der Verkehrsunternehmen setzten bereits in den 1970er Jahren eine Abwärtsspirale der ÖPNV-Anbindung ländlicher Räume in Gang. Durch das ab 2009 geplante Auslaufen des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG) wurde dieser Trend noch verstärkt (BMVI 2019b; Krauss et al. 2020b).

Insgesamt weist der ländliche Raum erhebliche Potenziale für Ridepooling und Carsharing auf. Vor allem in Zeiten, zu denen sich das Betreiben einer gesamten ÖPNV-Linie nicht rentiert, kann Ridepooling eine kostengünstige Alternative sein (Krauss et al. 2021). Somit kann Mobilität auch in dünner besiedelten Räumen sichergestellt werden, ohne aber erhebliche Zusatzkosten für den Anbieter

zu verursachen. Auch das Carsharing kann durch auf den ländlichen Raum angepasste Geschäftsmodelle dort angeboten werden: Neben dem vor allem im urbanen Raum genutzten free-floating und dem stationsbasierten Carsharing, kann eine hybride Variante die Probleme der Flotten-Umverteilung überwinden. Die hybride Variante verbindet free-floating und stationsbasiertes Carsharing zu einem neuen Modell, bei dem die Nutzer:innen das Fahrzeug zwar an Stationen des Anbieters abholen und auch abgeben müssen, dies aber nicht dieselbe Station sein muss. So werden Fahrzeuge zwischen ländlichen Zentren möglich, ohne dabei das Carsharing-Fahrzeug im Hintergrund gebucht haben zu müssen. Dies reduziert erheblich die Kosten dieses Angebots und steigert damit dessen Attraktivität.

Da die betriebswirtschaftlichen Entscheidungen bzgl. des Aufbaus eines Geschäftsmodells für Ridepooling und Carsharing zu Beginn die Abdeckung des ländlichen Raums unattraktiver machen, ist es von erheblicher Bedeutung, dass politisch einer Zentrierung des Ausbaus geteilter Mobilitätsdienste auf urbane Räume entgegengewirkt wird. Durch welche Instrumente dies gelingen kann, zeigen die folgenden Kapitel zu Kostenstrukturen und den Ergebnissen aus der Modellierung der Nutzung dieser Dienste.

4 Modellierung geteilter Mobilitätsangebote

4.1 Modellumgebung ASTRA-M

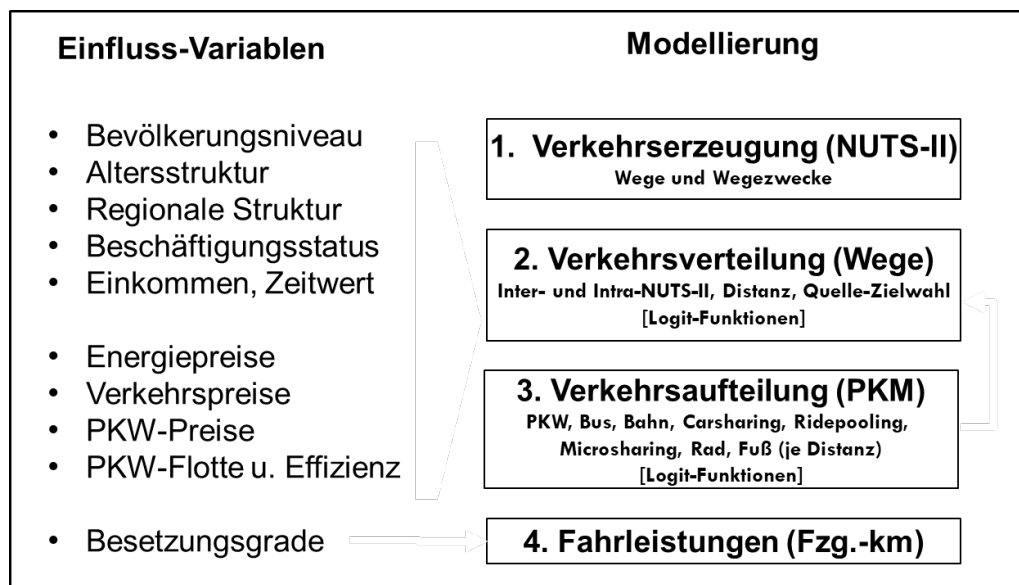
Für den Modellierungsansatz wird der Logik des Vier-Stufen-Modells gefolgt. Dies bedeutet, dass in der ersten Stufe die Verkehrserzeugung erfolgt. Die erzeugten Verkehre werden in der zweiten Stufe der Verkehrsverteilung oder Zielwahl verteilt. In der dritten Stufe erfolgt die Verkehrsaufteilung oder auch Verkehrsmittelwahl. Die vierte Stufe ist die Verkehrsumlegung.

Die Umsetzung dieses Ansatzes für ASTRA-M ist in Abbildung 3 zu sehen. Die erste Stufe der Verkehrserzeugung generiert die Verkehre unabhängig von der durch diese einhergehende Ortsveränderung. In der Verkehrsverteilung findet die räumliche Verteilung der in Stufe 1 erzeugten Verkehre statt. Dies erfolgt in ASTRA-M anhand von Start-Ziel-Matrizen, die den Start des Verkehrsstroms und das Ziel als Verflechtungsmatrix abbilden. Die räumliche Einteilung erfolgt anhand der Klassifizierung in NUTS-II Zonen. Die dritte Stufe teilt die generierten Verkehrsströme auf die verfügbaren Verkehrsmittel auf. Hierfür werden Logit-Funktionen verwendet, die die Wahlentscheidung in einem Intervall von 0 bis 1 berechnen. Hierfür werden Informationen der Mobilitätsnachfragenden herangezogen. Diese sind sozio-demografische Daten sowie Mobilitätsdaten wie bspw. Autobesitz. Spezifische Daten der verschiedenen Verkehrsmittel (bspw. Reisezeit und -kosten) fließen ebenso in die Berechnung ein. Für die letzte Stufe, die der Verkehrsumlegung, werden die in Stufe 2 generierten Verkehrsströme und den in Stufe 3 dafür ermittelten Verkehrsmittel auf Routen umgelegt. Dies ermöglicht Aussagen zu der Auslastung des Verkehrsnetzes und wo diese mit welchem Verkehrsmittel besonders auftreten. In ASTRA-M werden die ersten drei Stufen der Verkehrsmodellierung detailliert durchlaufen. Auf die Verkehrsumlegung, die vierte Stufe, wird in diesem Detailgrad verzichtet. Dies liegt an dem Fokus des systemdynamischen Ansatzes auf die Verkehrsleistung und die Verkehrsmittelwahl, die besonders entscheidend für die makroökonomischen und ökologischen Auswirkungen des Verkehrs sind. Dafür werden im Modell an vierter Stelle die Fahrleistungen der Fahrzeuge auf Basis der Verkehrsverteilung und der Verkehrsaufteilung berechnet. Dies ermöglicht Aussagen über die zurückgelegten Fahrzeugkilometer je Verkehrsmittel.

Der Modellierungsansatz von ASTRA-M basiert auf der System Dynamics Methode. System Dynamics ermöglicht die Analyse von Systemen und einer Reihe von Hypothesen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen in diesem System (Fermi et al. 2014). Diese Beziehungen werden anhand von Gleichungen beschrieben und durch mathematische Simulation von Differentialgleichungen gelöst. Die Variablen verändern ihre Werte dabei in Abhängigkeit ihrer Beziehungen zu anderen Variablen über die Zeit. Diese Änderungen sind somit Ergebnisse der Interaktionen der Variablen über positive oder auch negative Feedback-Schlaufen. Im Vergleich zu statischen Gleichgewichtsmodellen, die einen 'steady state' oder eine andere Form von Gleichgewicht erreichen, ist dies in systemdynamischen Modellierungsansätzen nicht vorgesehen. Das Ziel ist die Abbildung und daran anschließende Simulation der relevanten Variablen durch funktionale und dynamische Interaktionen. Dabei ist ein zentraler Vorteil dieser Methode, dass diese kausalen Beziehungen über eine lange Zeitspanne (1995 bis 2019) kalibriert werden können (Krail et al. 2014).

Bezüglich der verfügbaren Verkehrsmittel unterscheidet ASTRA in den privaten Pkw, ÖPNV (Bus und Bahn), Fahrrad, Fuß und durch die Erweiterung auf die geteilten Mobilitätsdienste im Rahmen dieser Studie auch in Carsharing, Ridepooling und Microsharing (geteilte Fahrräder und E-Scooter). Aufgrund des Fokus dieser Studie auf Carsharing und Ridepooling und um die Lesbarkeit zu erhöhen, werden die drei Modi ÖPNV, Fahrrad, Fuß und Microsharing für die Ergebnisdarstellung zur Kategorie des Umweltverbundes zusammengefasst. Die Modellierung erfolgt, wie hier beschrieben, jeweils pro einzeltem Verkehrsmittel.

Abbildung 3: Aufbau der Modellierung des Personenverkehrsmoduls in ASTRA



Quelle: Fraunhofer ISI

4.2 Modellierung des Carsharing und Ridepooling

Im Zentrum dieser Studie stehen die automobilbasierten Geschäftsmodelle des Carsharing und Ridepooling. Daher wird auf die Modellumgebung, die für diese beiden geteilten Mobilitätsdienste besonders entscheidend ist, vertieft eingegangen. Dies ist in der dritten Stufe der Verkehrsmodellierung, also der Verkehrsaufteilung, der Fall. Um zu verstehen, welche Verkehre wie aufgeteilt werden, folgt zuerst eine Zusammenfassung der ersten beiden Stufen der Modellierung, die die Basis für die dritte Stufe liefern.

In ASTRA-M wird die Verkehrserzeugung unter Verwendung von Daten des Mobilitätspanels (BMVI 2019a) und der Erhebung Mobilität in Deutschland (BMVI 2019b) vollzogen. Hierfür werden bzgl. der Mobilität verhaltenshomogene Bevölkerungsgruppen gebildet. Dies geschieht differenziert nach Alters- wie auch Einkommensgruppen und auf der räumlichen Ebene der NUTS-II-Zonen. Basis für die Erzeugung der Wege sind die Wegeraten aus der Mobilität in Deutschland (BMVI 2019b), die nach vier Wegezwecken aufgeteilt werden (Arbeits-, Dienst-, Privat- und Freizeitwege). Ergänzend werden induzierte Wege hinzugefügt, die auf Basis der makroökonomischen Entwicklungen entstehen. Im Ergebnis stellt Stufe 1 damit die Summe aller Wege in Deutschland dar.

In Stufe 2 werden Start-Ziel-Matrizen aus der Verflechtungsprognose verwendet, um die in Stufe 1 generierten Wege räumlich verteilt. Diese Verteilung unterscheidet zwei Basisfälle: Entweder liegt das Ziel des Wegs in derselben NUTS-II Zone wie der Start (intrazonal) oder in einer der anderen NUTS-II Zonen (interzonal). Intrazonale Wege werden weiter differenziert nach ihrer Wegelänge. Dabei wird zwischen lokalen (0-2 km), kurzen (2-10 km) und mittellangen (über 10 km) Wegen unterschieden. Zusätzlich werden die Wege nach ihrer Flächennutzung unterschieden, ob sie also in städtischem oder ländlichem Gebiet stattfinden. Auch wird die Einkommensverteilung der Verkehrsnachfragenden berücksichtigt. Die Verkehrsverteilung findet unter Verwendung von Logit-Funktionen statt, die Fahrzeiten wie auch Fahrtkosten berücksichtigt. Dies geschieht durch sogenannte durchschnittliche, generalisierte Kosten. Die Zeitkosten werden hierbei über für jeden Wegezweck spezifische Zeitwerte berücksichtigt und somit monetarisiert. Die Modellierung folgt der Logik, dass die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Quell-Ziel-Verbindung sinkt, je höher die durchschnittlichen generalisierten Kosten hierfür sind. Im Ergebnis liefert Stufe 2 die absolute Anzahl an Wegen nach Quelle, Ziel (inter- bzw. intrazonal sowie Flächennutzung) und Wegezweck.

In Stufe 3, der für die vorliegende Studie zentralen Stufe, werden die vorher generierten Matrizen genutzt, um die Verkehrsaufteilung, also die Verkehrsmittelwahl (auch Modalwahl genannt), zu modellieren. Auch hier werden Logit-Funktionen genutzt, die die Wahrscheinlichkeiten für die Verkehrsmittelwahl im Intervall [0,1] schätzen. Die Funktionen beziehen dabei eine Reihe an Einflussfaktoren und die in Stufe 2 ermittelten Wege ein, um die Verteilung der Verkehrsmittel auf diese Wege zu ermitteln. Die Logit-Funktion ist dabei wie folgt definiert:

$$\pi_i = \frac{e^{-\beta_{0ij} + \beta_{ij} * x_{ijk}}}{\sum_i e^{-\beta_{0ij} + \beta_{ij} * x_{ijk}'}}$$

wobei

π = Modalwahlwahrscheinlichkeit,

β_0 = Konstante,

β_{ij} = Koeffizient,

x = Generalisierte Kosten,

i = Modus [Auto; Bus; Zug; Rad; Fuß; Carsharing; Ridepooling; Microsharing],

j = Flächennutzung [städtisch; ländlich],

k = Wegezweck [Arbeit; Dienst; Privat; Freizeit]

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein spezifisches Verkehrsmittel gewählt wird (π_i) ergibt sich also aus dem Quotienten der Modus-spezifischen Merkmale (β_{0ij} und β_{ij}) und der Summe aller Modi-spezifischen Merkmale. Dies sichert eine Summe der Modalwahrscheinlichkeiten von 1 über alle Modi. Die generalisierten Kosten x_{ijk} sind spezifisch für Modus, Flächennutzung sowie Wegezweck. Diese generalisierten Kosten bilden monetäre und zeitliche Kosten ab. Die monetären Kosten teilen sich in Investitionskosten und Betriebskosten auf. Investitionskosten beziehen sich dabei auf bspw. den Kauf eines privaten Pkw. Die Betriebskosten sind bspw. Kosten für die Nutzung von Carsharing oder das Laden des privaten Pkw. Für Carsharing und Ridepooling beziehen sich die Kosten auf empirische Preisdaten von Anbietern in Deutschland, die das Fraunhofer ISI zu diesem Zweck primär erhoben hat. Wenn auch nicht auf dem Niveau des Kaufs eines privaten Pkw, fallen auch für die geteilten Mobilitätsdienste Investitions- und Betriebskosten an. Investitionskosten werden hier als monatliche oder jährliche Mitgliedsbeiträge beim jeweiligen Anbieter verstanden. Betriebskosten sind Kosten, die den Nutzer:innen durch die Nutzung der Dienste entstehen. Diese teilen sich meist in Entfernungs- und Zeittarife auf. Entfernungstarife fallen für jeden gefahrenen Kilometer an und gelten für Carsharing und Ridepooling gleichermaßen. Zeittarife fallen für jede Minute oder Stunde an, die das Carsharing-Fahrzeug reserviert ist. Aus diesen beiden Tarifen ergeben sich somit die Gesamtkosten des Dienstes für den entsprechenden Weg, was im Modell anschließend in Kosten je Personenkilometer (PKM) überführt wird. Wie oben beschrieben, ergeben sich die zeitlichen Kosten über die Multiplikation der Reisezeit mit den für jeden Modus spezifischen Zeitkosten ('value of time'). Diese entwickeln sich dynamisch mit den makroökonomischen und den damit verbundenen Einkommensentwicklungen Deutschlands. Neben der Reisezeit sind für Carsharing und Ridepooling wie auch für den ÖPNV auch die Zugangszeit zum Fahrzeug entscheidend. Da dies regelmäßig nicht wie das private Fahrzeug direkt zugänglich ist, erfolgt der Zugang meist über einen Fußweg zum Fahrzeug. Dieser Fußweg wird modellseitig durch die Fahrzeugdichte des entsprechenden Mobilitätsangebots in der jeweiligen Stadt abgebildet. Für private Pkw wird die Entwicklung der Flotte endogen errechnet. Dieser Ansatz ist für Carsharing und Ridepooling aufgrund des noch immer sehr jungen Marktes und fehlender Daten nicht möglich. Daher wird das Angebot dieser beiden Mobilitätsdienste auf Basis realer Flottendaten prognostiziert. Die realen Flottendaten sind primär vom Fraunhofer ISI erhobene Daten über die Anzahl der Fahrzeuge je Mobilitätsdienst in den entsprechenden Städten. Die Modellierung der Entwicklung der Angebotsdichte für Carsharing und Ridepooling ist Kapitel 5.2 zu entnehmen. Für die Modellierung ist wichtig, dass sich die Angebotsdichte im Zeitverlauf positiv entwickelt, aber eine sinkende Wachstumsrate zum Ende des

Betrachtungszeitraums hin aufweist, um Marktsättigungseffekte zu berücksichtigen. Diese Angebotsdichte für die beiden Mobilitätsdienste wird in Zu- und Abgangszeiten übersetzt und diese Zeiten werden gemeinsam mit der Reisezeit in die generalisierten Kosten übertragen.

Neben den spezifischen Parametern trägt auch die Konstante β_0 zur Entscheidung im Modell dabei. Diese berücksichtigt und integriert dabei all die Einflussgrößen, die modale Präferenzen ausdrücken, im Modell aus Komplexitätsgründen nicht aufgenommen oder auch aus Gründen der Nicht-Abbildbarkeit nicht implementiert werden können. Modale Präferenzen sind dabei Präferenzen der Personen für ein bestimmtes Verkehrsmittel nur aus dem Grund, dass es sich dabei um genau dieses Verkehrsmittel handelt. Personen würden sich also auch dann für dieses Verkehrsmittel entscheiden, wenn die rationale Entscheidung ein anderes Verkehrsmittel für diesen Weg empfehlen würde. Weitere Einflüsse in der Konstanten können latente Faktoren wie grundsätzlicher Lebensstil sein oder sonstige Präferenzen wie subjektiv empfundener Komfort.

Aus der Stufe 3 der Modellierung folgt damit eine Verteilung der generierten Wege auf alle Verkehrsmittel. Dies erfolgt auf Basis der Quelle-Ziel-Relationen, also intrazonal (lokal, kurz, mittellang) oder interzonal, je nach Flächennutzung, also städtisch oder ländlich, und je nach Wegezweck, also Arbeits-, Dienst-, Privat- und Freizeitwegen. Das Resultat ist damit einmal der Modal-Split, also der prozentuale Anteil der Verkehrsmittel am Wegeaufkommen, nach den beschriebenen Sub-Kategorien unterteilt. Zum anderen werden so die zurückgelegten Personenkilometer ermittelt. Personenkilometer sind die Kilometer, die eine Person in einem Verkehrsmittel zurücklegt. Wird in einem Ridepooling-Fahrzeug also nur eine Person transportiert, der Besetzungsgrad ist also 1, und diese legt 10 km zurück, so werden auch zehn Personenkilometer zurückgelegt. Fahren in demselben Fahrzeug auf derselben Strecke (10 km) zwei Personen (Besetzungsgrad ist also 2), so werden 20 Personenkilometer zurückgelegt. Die Fahrzeugkilometer, also die Kilometer die das Fahrzeug an sich zurücklegt, sind hiervon unberührt.

Um dem Ziel dieser Studie, der Auswirkungen der automobilbasierten Mobilitätsdienste auf Stadt und Land, Rechnung zu tragen, wird eine weitere räumliche Unterteilung im Modell vorgenommen. Diese Unterteilung differenziert nach Metropolregion und nach kleinstädtisch-ländlichem Raum. So können Aussagen über Auswirkungen der beiden Mobilitätsdienste und der in den zehn Szenarien unterschiedlichen Instrumentenbündeln für diese Regionen getrennt voneinander analysiert und evaluiert werden. Die Differenzierung erfolgt dabei anhand der RegioStaR7-Kategorisierung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2020b). Diese Kategorisierung wird auf die NUTS-II-Kategorien übertragen und im Modell implementiert (s. Tabelle 4).

Im Rahmen dieser Studie werden neben dem Angebot und den Preisen von Carsharing und Ridepooling drei weitere Instrumentenbündel im Modell implementiert, die in Kapitel 5.2 beschrieben werden. Dabei werden die Instrumente für einen besseren und günstigeren ÖPNV in prozentuale Änderungen der Tarife, der Wartezeiten sowie der Fahrzeiten überführt. Somit wird der ÖPNV im Verhältnis zu den anderen Verkehrsmitteln auf den Relationen entsprechend weniger zeitintensiv und weniger kostenintensiv. Diese prozentualen Änderungen werden dabei auf die oben beschriebenen Wegezwecke und Distanzen angewendet. Die Reduktion der Tarife wirkt dabei auf Ebene der Personenkilometer, während die Wartezeit pro Weg anfällt. Die Veränderung der Reisezeit wirkt auf die entsprechende Quelle-Ziel-Relation angewandt. Für die Pkw-Abgaben werden eine City-Maut und Parkgebühren als zusätzliche monetäre Kosten in die Verkehrsmittelwahl-Modellierung aufgenommen. Diese fallen pro Fahrt an. Die City-Maut wird dabei für die NUTS-II-Zonen der Großstädte implementiert, während die Parkgebühren überall gelten. Die Internalisierung der Umweltkosten bzgl. des CO₂-Preises und der Benzin- sowie Dieselsteuer erfolgt nominal. Die CO₂-Preise gelten dabei für jede ausgestoßene Tonne CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) während die Steuer auf Diesel und Benzin je Liter gelten. Die Steuern werden dabei auf den endogen im Modell ermittelten und

prognostizierten Literpreis des Treibstoffes addiert und im Anschluss die Mehrwertsteuer hinzuge-rechnet. Die Subventionen für emissionsfreie Pkw erfolgen im endogenen Flottenmodell. So werden die Subventionen für die verschiedenen Fahrzeugsegmente und Antriebe berücksichtigt und in die Investitionsentscheidung der Haushalte bzw. Personen eingeführt.

In der vierten und letzten Stufe der Verkehrsmodellierung mittels ASTRA-M werden die aus der vorangehenden Stufe 3 ermittelten Personenverkehre in Fahrzeugkilometer übersetzt. Dies wird über Besetzungsgrade errechnet. Für die Besetzungsgrade sind das Verkehrsmittel, die Distanz und der Wegezweck entscheidend. Die so entstehenden Fahrzeugkilometer fließen im nächsten Schritt in die Umweltbewertung ein, so dass eine ökologische Bewertung von politischen Maßnahmen erfolgen kann.

Die Umweltbewertung erfolgt in ASTRA-M über Emissionsfaktoren, die nach Antriebsform (Benzin, Diesel, Strom, Wasserstoff, Gas) unterschieden werden. Die Emissionsfaktoren werden dabei dem HBEFA (Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs) entnommen (HBEFA). Hierbei wird sowohl der technologische Fortschritt berücksichtigt als auch zwischen Kaltstartemissionen und in der Fahrt entstehenden Emissionen unterschieden.

4.3 Ergebniskategorien

Um der Komplexität der Modellierung wie auch der Ausprägung der zehn Szenarien in den beiden Raumkategorien Rechnung zu tragen, wird an dieser Stelle kurz auf die im nächsten Kapitel folgenden Ergebnisse und deren Strukturierung eingegangen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Ergebnisse für drei Jahre angegeben: Für 2020 wird nur die Referenz (S1) angegeben. Für 2025 und 2030 werden die Referenz (S1) und alle Szenarien (S2-S10) gezeigt. Des Weiteren wird je nach Ergebnis in die zwei zentralen Raumkategorien (Metropole und kleinstädtisch-ländlich) oder in die verschiedenen Modi unterteilt. Da in dem Betrachtungszeitraum von zehn Jahren in dieser Studie manche Änderungen auf den ersten Blick als klein interpretiert werden könnten, wird neben den absoluten Änderungen auch auf die relativen Veränderungen eingegangen.

Die Ergebnisse gliedern sich wie folgt:

- Zunächst wird in Kapitel 6.1 die Entwicklung der Modalanteile an Wegen gezeigt. Dies erfolgt einmal spezifisch für Carsharing und Ridepooling, getrennt nach den beiden Raumtypen, und einmal anhand des gesamten Modal-Splits, getrennt nach den hier betrachteten Modi. Letzteres wird für Deutschland, die Metropolen und die kleinstädtisch-ländlichen Regionen durchgeführt. Um die Änderungen besser sichtbar zu machen, werden die relativen Änderungen der Modalanteile für Carsharing und Ridepooling, getrennt nach den drei Raumtypen, gesondert ausgewiesen.
- In Kapitel 6.2 wird die Entwicklung der Personenkilometer aufgezeigt. Dies geschieht einmal in absoluten Größen und einmal in anteiligen Größen von Carsharing und Ridepooling an den gesamten Personenkilometern in den drei Raumtypen.
- Für die in Kapitel 6.3 diskutierten Entwicklungen der Fahrzeugkilometer gilt Entsprechendes zu den Personenkilometern in Kapitel 6.2.
- Um diese Entwicklungen in ihre Umweltwirkungen zu übersetzen, werden in Kapitel 6.4 die THG-Emissionen gezeigt. Dies erfolgt in Summe für Gesamt-Deutschland und wird einmal in absoluten Werten und einmal in relativen Änderungen zum Referenzfall in 2020 aufgezeigt. In diesem Rahmen wird auch auf die Sensitivitäten bzgl. der Besetzungsgrade beim Ridepooling und den entsprechenden THG-Emissionen eingegangen.

Tabelle 4: Kategorisierung Metropolen und kleinstädtisch-ländlicher Raum

NUTS-II Zone	Bezeichnung	Metropole	Kleinstädtisch-ländlich
de11	Stuttgart	x	
de12	Karlsruhe	x	
de13	Freiburg		x
de14	Tübingen		x
de21	Oberbayern	x	
de22	Niederbayern		x
de23	Oberpfalz		x
de24	Oberfranken		x
de25	Mittelfranken	x	
de26	Unterfranken		x
de27	Schwaben		x
de30	Berlin	x	
de40	Brandenburg		x
de50	Bremen	x	
de60	Hamburg	x	
de71	Darmstadt	x	
de72	Gießen		x
de73	Kassel		x
de80	Mecklenburg-Vorpommern		x
de91	Braunschweig		x
de92	Hannover	x	
de93	Lüneburg		x
de94	Weser-Ems		x
dea1	Düsseldorf	x	
dea2	Köln	x	
dea3	Münster		x
dea4	Detmold		x
dea5	Arnsberg	x	
deb1	Koblenz		x
deb2	Trier		x
deb3	Rheinhessen-Pfalz		x
dec0	Saarland		x
ded2	Dresden	x	
ded4	Chemnitz	x	
ded5	Leipzig	x	
dee0	Sachsen-Anhalt		x
def0	Schleswig-Holstein		x
deg0	Thüringen		x

Quelle: Fraunhofer ISI

5 Szenarien neuer Mobilitätssysteme

5.1 Allgemeines

Die Wirkungen autobasierter geteilter Mobilitätssysteme auf Anbieter, Industrie und Gesellschaft hängen von der Angebotsdichte, der Nachfrage und vom regulatorischen Umfeld ab. Die Angebotsdichte von Carsharing- und Ridepooling-Diensten ist dabei das Ergebnis betriebswirtschaftlicher Entscheidungen der Anbieter, welche sich aus einer Optimierung von Kosten, Nachfragepotenzialen und Rahmenbedingungen ableitet. Diese kann im Rahmen der hier entwickelten Erweiterung des ASTRA-M-Modellwerkzeugs nicht endogen prognostiziert werden (vgl. Kapitel 4). Dem entsprechend werden die Markthochläufe der hier untersuchten Mobilitätsdienste neben den sie bestimmenden Umfeldfaktoren explizit vorgegeben. Damit ist eine separate Betrachtung der Angebotsentwicklung neuer autobasierter Mobilitätsdienste und der sie beeinflussenden Faktoren notwendig. Aus diesen beiden Elementen setzen sich schließlich die im Folgenden modellierten und analysierten Szenarien zusammen. Entsprechend werden folgende drei Ebenen unterschieden:

- Markthochläufe: Diese unterscheiden sich entsprechend der angenommenen Fahrzeugdichte und der Nutzertarife für Carsharing- und Ridepooling-Dienste (Kap. 5.2).
- Umfeldfaktoren: Diese beschreiben die Entwicklung konkurrierender Verkehrsmittel sowie den regulatorischen und ökonomischen Rahmen des Personenverkehrs (Kap. 5.3)
- Die Gesamtszenarien S1 bis S10 bilden sich schließlich aus der Kombination von Markthochläufen und Umfeldfaktoren (Kap. 5.4).

Für Markthochläufe und Umfeldfaktoren und damit für die kombinierten Gesamtszenarien werden zunächst Referenzentwicklungen, und darauf aufbauend hypothetische alternative Szenarien, entwickelt. Zentrale Vergleichsgröße ist die Nachfrage nach Sharing-Diensten in Wegen oder Personenkilometern (Pkm). Aus dem hieraus abgeleiteten Mix der Verkehrsmittel (Modal Split) und der Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren je Verkehrsträger ergeben sich schließlich Klima- und Umweltwirkungen. Hierbei wird unterstellt, dass durch die höhere Laufleistung von Fahrzeugen in Sharing-Flotten deren Umweltstandard sowie der Anteil von Elektrofahrzeugen deutlich höher ist als bei Fahrzeugen im Privatbesitz.

Zeithorizont der Szenarienbetrachtung ist das Jahr 2030. Aufgrund des großen betriebswirtschaftlichen und regulatorischen Einflusses auf den Markterfolg der Sharing-Dienste wird eine längerfristige Betrachtung als zu unsicher angesehen. Ferner könnten Technologien wie das fahrerlose Fahren die generalisierten Preise zwischen den Verkehrsträgern soweit verschieben, dass die im Analysemodell ASTRA-M getroffenen Annahmen nicht mehr gelten.

5.2 Markthochlauf geteilter Mobilitätsangebote

Die Markthochläufe von Carsharing und Ridepooling werden in den Dimensionen Angebotsdichte und Nutzertarife bis zum Jahr 2030 beschrieben. Für die beiden autobasierten Mobilitätsdienste werden jeweils drei Varianten betrachtet:

- "Referenzfall" mit moderatem Wachstum und gegenüber 2021 konstanten Nutzertarifen,
- "Dynamisches Angebotswachstum" mit wesentlich stärker wachsenden Fahrzeugzahlen im Carsharing und Ridepooling gegenüber dem Referenzfall, sowie
- "Extremes Wachstum" mit gegenüber dem Fall "dynamisches Wachstum" bis 2030 deutlich sinkenden Nutzertarifen.

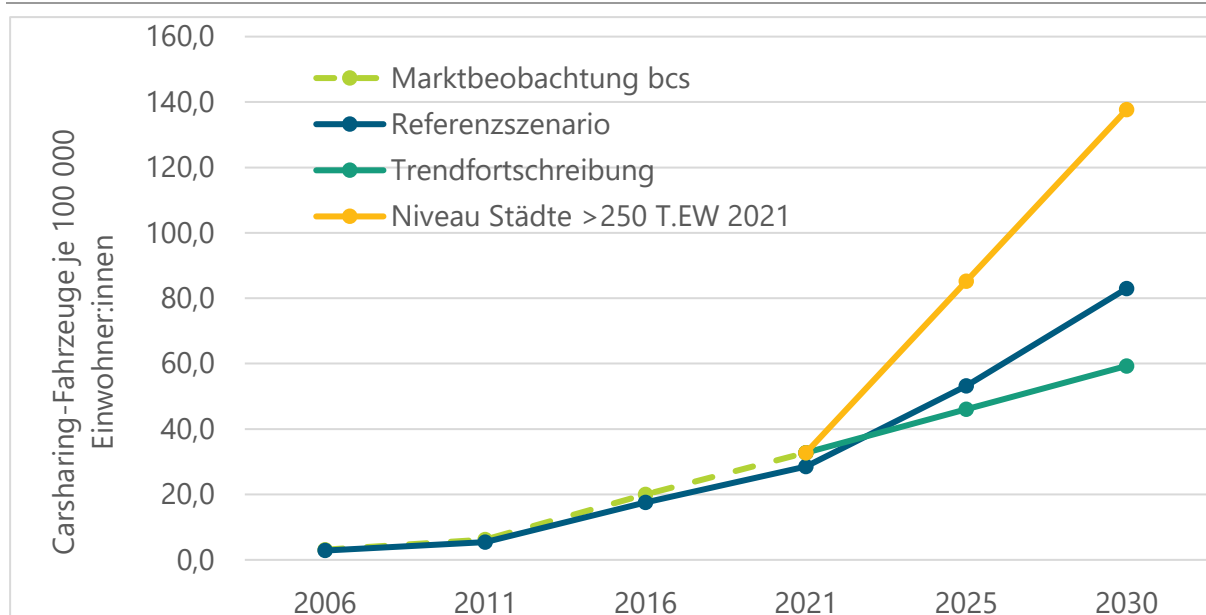
Carsharing und Ridepooling werden im Analysetool separat modelliert, jedoch aus Gründen der Interpretierbarkeit der Ergebnisse gemeinsam betrachtet.

5.2.1 Carsharing

Für die Prognose des zukünftig verfügbaren Angebots von Carsharing-Fahrzeugen in Deutschland bieten sich verschiedene Ansätze an. Eine Trendfortschreibung der Jahre 2010 bis 2021 ergäbe für das Jahr 2030 eine Dichte von 60 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen. Die Annahme, dass sich die heutige Dichte von Fahrzeugen in allen Städten über 250 000 Einwohner:innen mit Carsharing-Angeboten auf das gesamte Bundesgebiet überträgt, ergäbe eine Dichte von 138 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen. Das Referenzszenario geht schließlich für das Jahr 2030 von etwa 70 000 Fahrzeugen aus, was einer Dichte von 83 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen entspricht. Die beiden letztgenannten Prognosen definieren die erwartete Angebotsdichte in den Markthochläufen Referenz, Dynamisches Angebot und Extremes Wachstum. (vgl. Abbildung 4).

Neben den Fahrzeugdichten definieren sich die Angebote auch über die Nutzertarife. Im Carsharing bestehen diese in der Regel aus drei Komponenten: einem festen monatlichen oder jährlichen Grundpreis, einem Zeittarif und einem Entfernungstarif. Die Grundpreise werden in ASTRA-M auf die Zeit- und Entfernungstarife umgelegt. Über alle in Deutschland aktiven Anbieter ergeben sich für 2021 gewichtete durchschnittliche Zeittarife von 4,07 Euro je Stunde, sowie Entfernungstarife von 0,25 Euro je Kilometer. Diese werden für die Markthochläufe "Referenz" und "Dynamisches Wachstum" bis 2030 konstant gehalten. Für den Hochlauf "Extremes Wachstum" wird hingegen eine Subventionierung des Carsharing in Höhe der ÖPNV-Förderung angenommen. Diese lag 2018 mit allen Investitionsprogrammen und Ausgleichszahlungen von Bund und Ländern bei 48 % der Aufwendungen durch die Verkehrsunternehmen (VDV 2020). In ASTRA-M wird entsprechend eine kontinuierliche Tarifabsenkung bis 2030 auf 2,70 Euro je Stunde (-33 %) und 0,10 Euro je Kilometer (-60 %) unterstellt. Diese Werte leiten sich aus den aktuell günstigsten Carsharing- und Ridepooling-Angeboten in Deutschland ab.

Abbildung 4: Entwicklungsszenarien des Carsharing-Angebots



Quelle: Fraunhofer ISI

5.2.2 Ridepooling

Die durchschnittliche Dichte von Fahrzeugen für Ridepooling-Angebote liegt heute über alle Städte und Regionen bei 0,7 Fahrzeuge je 100 000 Einwohner:innen. Bis zum Jahr 2030 geht das Referenzszenario von einem Anstieg der Fahrzeugdichte auf 2 262 Einheiten oder 2,8 Fahrzeuge je

100 000 Einwohner:innen aus. Für die Fälle "Dynamischer" und "Extremer Hochlauf" kann von einer Dichte der Fahrzeuge ähnlich der Städte und Regionen, welche heute Ridepooling-Dienste anbieten, ausgegangen werden. Dies entspräche einer Fahrzeugdichte von 7,0 Fahrzeugen je 100 000 Einwohner:innen oder etwa 5 700 Fahrzeugen.

Tarife im Ridepooling bestehen in der Regel aus einem Mindesttarif je Fahrt und einem Entfernungstarif je Kilometer. Als Durchschnitt für 2021 ergeben sich je Fahrgast 3,50 Euro je Fahrt als Mindesttarif und 1,55 Euro je Kilometer als Entfernungstarif. Dieser wird in den Hochläufen "Referenz" und "Dynamisches Wachstum" bis 2030 konstant gehalten. Für den "Extremen Hochlauf" wird der Mindesttarif weiter konstant gehalten, der Entfernungstarif jedoch um 40 % auf 0,90 Euro je Kilometer und Person gesenkt. Diese Annahmen entsprechen den aktuell niedrigsten Preisen für Ridepooling-Dienste in Deutschland.

5.2.3 Markthochläufe im Überblick

Tabelle 5 fasst die Parameter der Markthochläufe Referenz, Dynamisches- und Extremes Wachstum für die Mobilitätsdienste Carsharing und Ridepooling zusammen. Gezeigt werden die Stützjahre 2020, 2025 und 2030. Für veränderliche Verläufe werden in ASTRA-M kontinuierliche Entwicklungen zwischen diesen Jahren unterstellt.

Tabelle 5: Parameter der Markthochläufe

Variable	Einheit	Referenz			Dynamisch		Extrem	
		2020	2025	2030	2025	2030	2025	2030
Carsharing								
Fahrzeugdichte	Fz/1 000 Einw.	0,28	0,47	0,83	0,66	1,38	0,66	1,38
Zeittarif	€/Fz-h	4,07	4,07	4,07	4,07	4,07	3,15	2,71
Entfernungstarif	€/Fz-km	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,18	0,10
Ridepooling								
Fahrzeugdichte	Fz/1 000 Einw.	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04	0,07
Mindesttarif	€/Fahrt	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Nutzertarife	€/Tarif-km	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,30	0,90

Quelle: Fraunhofer ISI

5.3 Umfeldfaktoren

In den Modellberechnungen mit ASTRA-M und der folgenden Beschreibung der Umfeldfaktoren der geteilten Mobilitätsdienste wird zwischen quantitativen und qualitativen Umfeldfaktoren unterschieden. Die Entwicklung der quantitativen Faktoren bis 2030 wird explizit in ASTRA-M modelliert. Demgegenüber erklären und stützen die qualitativen Umfeldfaktoren diese, ohne direkt in Modellparameter übersetzt zu werden.

5.3.1 Referenzfall der Umfeldfaktoren

Die Sensitivität automobiler Sharing-Dienste bezüglich des regulatorischen und ökonomischen Umfelds wird gegenüber einer Referenzentwicklung analysiert. Diese orientiert sich grundsätzlich

an aktuellen Trends in der Mobilität, lässt aber Faktoren mit unsicheren Entwicklungen konstant. Der Referenzfall der Umfeldfaktoren lehnt sich an Szenarien im Umfeld der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) der Bundesregierung an. Unterstellt werden hierin aktuell geplante und verabschiedete Maßnahmen, während zukünftig denkbare Fortführungen und Erweiterungen nicht Teil der Referenzbetrachtung sind. Es unterstellt ein deutliches Wachstum der Mikromobilität mit Fahrrädern und E-Scootern von 146 auf 674 Fahrzeuge je 100 000 Einwohner:innen, konstante ÖPNV-Versorgung und -Tarife, Parkgebühren, Kraftstoffsteuern sowie Subventionen für emissionsfreie Fahrzeuge. Der CO₂-Preis wächst wie aktuell geplant von 25 auf 65 Euro je Tonne. City-Maut-Projekte in deutschen Städten werden in dieser Referenzbetrachtung nicht unterstellt.

Hinter diesen angenommenen Entwicklungen steht das Narrativ einer eher konservativen Verkehrs-, Siedlungs- und Umweltpolitik. Umweltorientierte Steuern und Abgaben werden nur im Umfang heute verabschiedeter Gesetze angepasst. Angekündigte Novellierungen der Straßenverkehrsgesetze von Bund und Ländern und der Straßenverkehrsordnung sowie des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) erfolgen nur in kleinen Schritten. Damit stockt auch die Abkehr vom Konzept der autogerechten Stadt hin zu mehr Aufenthaltsqualität, Fuß- und Radverkehrsfreundlichkeit und Klimaresilienz. Die Werte und Einstellungen von Menschen und Unternehmen gegenüber einer nachhaltigen Entwicklung unserer Gesellschaft entwickelt sich damit nur zögernd weiter. Andererseits wird der technologische Pfad einer zunehmend dynamischen Elektrifizierung der Verkehrsmittel, der Ergänzung des ÖPNV durch flexible Angebote und Sharing-Dienste (vgl. den Referenz-Markthochlauf in Kapitel 5.2) und die Dekarbonisierung der Stromproduktion fortgesetzt. Insgesamt nimmt damit die CO₂-Intensität des Verkehrssektors ab; das vereinbarte Minderungsziel für den Sektor Verkehr von -45 % 2030 gegenüber 1990 (BMU 2016; Deutscher Bundestag 2019) wird jedoch deutlich verfehlt.

5.3.2 Narrative alternativer Entwicklungen

Gegenüber dem in weiten Teilen verhaltenen Referenzfall der Umfeldfaktoren zeichnen sich bereits heute Entwicklungen ab, die deutlich progressiver in eine nachhaltige Richtung weisen. Hieraus leitet sich ein Narrativ ab, welches alternative Entwicklungen auf einzelnen oder mehreren Gebieten von Preis- und Regulierungspolitik plausibel macht. Im Folgenden wird dieses Narrativ überblicksartig skizziert, bevor in Abschnitt 5.3.3 die relevanten Parameter für die Modellierung mit dem erweiterten ASTRA-M-Modell abgeleitet werden.

Verkehrs- und Siedlungspolitik. Die im Mai 2020 verabschiedete StVO-Novelle der Bundesregierung (BMVI 2020c) wird konsequent weitergeführt und durch Novellen der Straßenverkehrsgesetze von Bund und Ländern sowie des PBefG für einen leichteren Marktzugang privater Mobilitätsanbieter begleitet. Damit findet eine Abkehr von der Prämisse der Sicherheit und Leichtigkeit des Kfz-Verkehrs hin zur gleichberechtigten Verkehrsteilhabe aller und zur Nachhaltigkeit statt (Ringwald et al. 2019). Kommunen können hiernach flächendeckend Tempo 30 innerorts und Tempo 60 außerorts, sowie Verkehrsberuhigungsmaßnahmen ohne Nachweis von Erfordernissen der Verkehrssicherheit umsetzen, und nehmen dies im Sinne eines neuen Selbstverständnisses des städtischen Lebensraums auch in Anspruch (United Nations 2017). Ebenso wird der Rückbau von Fahrbahnen und Parkmöglichkeiten für den Kfz-Verkehr zugunsten von Aufenthaltsflächen erleichtert. Darüber hinaus werden die CO₂-Flottengrenzwerte weiter unter 80 Gramm pro Kilometer gesenkt, der Euro-7-Emissionsstandards für Pkw in Zuge des European Green Deal eingeführt und Umweltzonen in Städten deutlich ausgeweitet. Insgesamt erhöhen diese Maßnahmen den Aufwand für den Kfz-Verkehr in Städten und Gemeinden analog zur Anhebung von Gebühren für die Kfz-Nutzung. Der Umweltverbund aus ÖPNV, Sharing-Diensten, Rad- und Fußverkehr erhält hiermit einen komparativen Vorteil (SRU 2020; UBA 2019).

Mobilitätstechnologien. Neue Mobilitätsdienste entstehen häufig aus dem Umfeld von Startup-Unternehmen. Auskömmliche Forschungsmittel für Aufbau, Demonstration und Markteinführung der Konzepte sowie innovationsfreundliche gesetzliche Rahmenbedingungen sind für deren Erfolg entscheidend. Mit dem Ziel einer nachhaltigen Gestaltung von Mobilitätssystemen verdoppeln Bund und Länder in einem progressiven Umfeld die Mittel für die Entwicklung und Umsetzung von Konzepten entsprechend den Zielen des nationalen Radverkehrsplans 3.0 für die Radverkehrsförderung (BMVI 2021). Die Automobilindustrie zieht hier nach, um weitere Vertriebskanäle und After-Sales-Märkte für ihre Produkte zu erschließen. Neben Mobilitätsdiensten beschleunigen höhere Investitionsmittel auch die Entwicklung im vollautomatisierten Fahren. Während bis 2030 damit fahrerlose Shuttledienste im ÖPNV möglich werden, sind vollautomatisierte Pkw für Privatkunden noch nicht verfügbar (Krail 2020). Der ÖPNV erhält damit, zumindest übergangsweise, einen weiteren komparativen Vorteil gegenüber dem privaten Pkw. Die Rolle des vollautomatisierten Fahrens für autobasierter geteilter Mobilitätsdienste bleibt unklar; durch hochautomatisierte Fahrzeuge (Automatisierungsstufe 4) können die Fahrer:innen von Ridepooling-Fahrzeugen jedoch weitere Aufgaben wahrnehmen, was deren Kosteneffizienz etwas verbessern könnte. Grundlage für Mobilitätsdienste und das vollautomatisierte Fahren ist ein schneller und flächendeckender Ausbau leistungsfähiger Datennetze. Dies wird bis 2030 gelingen.

Gesellschaftliches Umfeld. Werte und Einstellungen von Menschen und Unternehmen sind ein wichtiger Treiber für eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft. In einem progressiven Umfeld begünstigen sich lebenswert gestaltete Städte und Siedlungen, eine stringente Umweltpolitik und die Marktfähigkeit nachhaltiger Technologien und Konzepte einerseits, sowie eine positive Einstellung von Verkehrsteilnehmer:innen, Firmen und Mobilitätsdienstleistern gegenüber Nachhaltigkeitsthemen andererseits. Neben Klima- und Umweltschutz spielen hier auch Barrierefreiheit und die Teilhabe aller eine bestimmende Rolle. Ausgehend vom ohnehin positiven Image des Umweltverbunds in Städten steigt auch in ländlicheren Regionen die Akzeptanz einer autoarmen Mobilität mit zunehmend besseren Angeboten geteilter Mobilität. Der ÖPNV und geteilte Mobilitätsdienste wie das Ridepooling sind gegenüber autobasierten Szenarien personalintensiv. Dem wachsenden Fachkräftemangel wird hier durch gezielte Schulungs- und Ausbildungsprogramme begegnet (Sievers et al. 2019).

5.3.3 Elemente der Umfeldfaktoren

Die quantitativen Faktoren beschreiben die Entwicklung der aus Sicht der autobasierten Mobilitätsdienste konkurrierenden Verkehrsmittel ÖPNV und Mikromobilität, sowie den Preisen für Klimaemissionen und Pkw-Nutzung.

Besserer und günstigerer ÖPNV. Dieser Umfeldfaktor besteht aus den Komponenten Tarif, Haltestellen- und Taktichte sowie Fahrzeit. Bei den ÖPNV-Tarifen wird eine durchschnittliche Absenkung um 50 % unterstellt. Durch dichtere Takte und die Einrichtung zusätzlicher Haltepunkte kann von einer möglichen Reduktion von Zugangs- und Wartezeiten um bis zu 25 % ausgegangen werden. Durch Maßnahmen der ÖPNV-Beschleunigung etwa durch die Priorisierung von Ampelschaltungen oder den Ausweis zusätzlicher Busspuren kann auch die Fahrzeit um durchschnittlich 25 % gesenkt werden.

Durch diese Kombination von Maßnahmen muss von einer wesentlichen Nachfrageverlagerung von allen Verkehrsträgern auf den ÖPNV ausgegangen werden. ÖPNV und Sharing-Dienste werden hier als konkurrierende Verkehrsträger betrachtet. In der Praxis agieren insbesondere Ridepooling-Dienste durch die starke Regulierung in Deutschland jedoch vielerorts als Element des ÖPNV. Die Abstimmung beider Verkehrsträger aufeinander ist in ASTRA-M jedoch nicht abbildbar.

Steigende Preise der Pkw-Nutzung. Dieser Baustein der Umfeldfaktoren beschreibt die unmittelbar von den Fahrern und Fahrerinnen zu entrichtenden Gebühren während der Pkw-Nutzung. Diese setzen sich aus Parkgebühren und Einfahrtgebühren in urbane Räume (City-Maut) zusammen. Parkgebühren werden je Fahrt unabhängig von deren Länge in allen Regionen mit 2,00 Euro im Basisjahr (2020) unterstellt. Bis 2030 werden diese mit 5,00 Euro je Fahrt angenommen. Zusätzlich wird in großen Ballungsräumen (s. Tabelle 4) eine City-Maut in ähnlicher Höhe unterstellt.

Diese rein kostenseitig modellierten Maßnahmen können in der Praxis durch regulatorische Maßnahmen wie den Rückbau von Parkplätzen oder Einfahrtsbeschränkungen für Pkw ergänzt oder ersetzt werden. Über die Annahme generalisierter Kosten im ASTRA-M-Modell zahlen regulatorische Maßnahmen auf die wahrgenommenen privaten Kosten der Nutzer:innen ein.

Internalisierung von Umweltkosten. Dieser Block der Umfeldfaktoren beschreibt die von den Verkehrsteilnehmer:innen indirekt wahrgenommenen Steuern und Abgaben. Komponenten sind die CO₂-Abgabe, die Diesel- und Benzinsteuern sowie Subventionen für emissionsfreie Fahrzeuge. Alternativ zur von der Bundesregierung vorgeschlagenen Progression der CO₂-Abgabe orientiert sich dieser Baustein für 2030 am Wertansatz der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes mit einem Wert von 200 Euro je Tonne CO₂-eq. (Bünger et al. 2020).³ Benzin- und Dieselsteuern steigen gleichzeitig von 0,57 beziehungsweise 0,41 Euro je Liter auf 1,30 beziehungsweise 1,35 Euro je Liter. Damit werden die Verbraucherpreise je Liter Diesel und Benzin einander angeglichen. Zudem werden basierend auf bisherigen politischen Entscheidungen Subventionen für den Kauf emissionsfreier Fahrzeuge je nach Segment zwischen 2 454 und 4 091 Euro je Fahrzeug gewährt. Aktuelle Erhöhungen der Prämie und der gewährten Innovationszulage bleiben dabei unberücksichtigt (Bundesregierung 2021a)

Während der CO₂-Preis für alle fossil angetriebenen Verkehrsmittel gleichermaßen gilt, zielen Kraftstoffsteuern und Kaufsubventionen direkt auf den Pkw-Markt ab. Durch die jüngere Flottenstruktur und den höheren Anteil elektrischer Fahrzeuge bei den Mobilitätsdiensten sind diese jedoch weniger stark betroffen als die private Pkw-Flotte.

5.3.4 Parameter der Umfeldfaktoren

Tabelle 6 fasst die Parameter der Umfeldfaktoren im Referenzfall und den möglichen Szenarien zusammen. Die drei thematischen Blöcke werden bei Zusammenstellung der Gesamtszenarien jeweils als Einheit behandelt.

³ Wert mit 1 % reiner Zeitpräferenzrate: für 2030: 215 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent. Bei 0 % reiner Zeitpräferenzrate ergeben sich für 2030 700 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent.

Tabelle 6: Parameter der Umfeldfaktoren

Variable	Einheit	Referenz			Szenarien	
		2020	2025	2030	2025	2030
Besserer und günstigerer ÖPNV						
Tarif	% - € / Pkm	0 %	0 %	0 %	-25 %	-50 %
Wartezeit	% - h / Fahrt	0 %	0 %	0 %	-12 %	-25 %
Fahrzeit	% - km/h	0 %	0 %	0 %	-12 %	-25 %
Steigende Preise der Pkw-Nutzung						
City-Maut (Großstädte)	€ / Fahrt	0,00	0,00	0,00	2,50	5,00
Parkgebühren (überall)	€ / Fahrt	2,00	2,00	2,00	3,50	5,00
Internalisierung von Umweltkosten						
CO ₂ -Preis (nominal)	€/t CO ₂ -eq.	25,00	45,00	65,00	101	200
Benzinsteuer (nominal ohne MwSt.)	€ / Liter	0,57	0,57	0,57	0,8	1,30
Dieselsteuer (nominal ohne MwSt.)	€ / Liter	0,41	0,41	0,41	0,81	1,35
Subventionen f. emissionsfreie Pkw (abhg. v. Fahrzeugsegment und Antrieb)	€ / Fz	0	0	0	2 454-4 091	2 454-4 091

Quelle: Fraunhofer ISI

5.4 Szenarien für autobasierte Mobilitätsdienste

Die mit dem ASTRA-M-Modell analysierten Gesamtszenarien setzen sich aus jeweils einer Variante der Markthochläufe von Carsharing- und Ridepooling-Diensten, sowie einer oder mehrerer Ausprägungen der Umfeldfaktoren zusammen. Insgesamt werden so zehn Szenarien (S1 bis S10) gebildet. Szenarien S1 bis S6 basieren dabei auf dem Referenz-Hochlauf der Mobilitätssysteme. Mit diesen kombinieren S1 bis S3 jeweils ein, S4 bis S6 zwei oder drei Elemente der Umfeldfaktoren. In entsprechender Weise kombinieren S7 und S8 eines, und S9 die drei Elemente der Umfeldfaktoren mit einem dynamischen Hochlauf der Mobilitätsdienste.

Das Szenario S10 bedient sich des Extremen Markthochlaufs aus einem dynamischen Fahrzeugangebot zusammen mit deutlich sinkenden Preisen für Carsharing und Ridepooling. Dieser werden mit dem aus den Szenarien S1 bis S9 identifizierten Umfeldfaktoren kombiniert. Dies sind die fiskalpolitischen Maßnahmen "Pkw-Abgaben" und "Umweltpreise". Tabelle 7 fasst die zehn Kombinationen der in dieser Studie analysierten Szenarien zusammen.

Tabelle 7: Zusammensetzung der Gesamtszenarien aus Markthochlauf und Umfeldfaktoren

Szenario	Varianten Markthochlauf	Elemente der Umfeldfaktoren
S1	Referenz	Referenz
S2	Referenz	Umweltpreise
S3	Referenz	Pkw-Abgaben
S4	Referenz	ÖPNV-Förderung
S5	Referenz	Umweltpreise + Pkw-Abgaben
S6	Referenz	Umweltpreise + Pkw-Abgaben + ÖPNV-Förderung
S7	Dynamischer Hochlauf	Umweltpreise
S8	Dynamischer Hochlauf	Pkw-Abgaben
S9	Dynamischer Hochlauf	Umweltpreise + Pkw-Abgaben + ÖPNV-Förderung
S10	Extremer Hochlauf	Umweltpreise + Pkw-Abgaben

Quelle: Fraunhofer ISI

6 Ergebnisse

Das vorliegende Kapitel zeigt in den Abschnitten 6.1 bis 6.4 die wesentlichen Ergebnisse des ASTRA-M-Modells für den Referenzfall 2020 und die Prognosejahre 2025 und 2030 für den Verkehrsträgemix und die THG-Emissionen des Personenverkehrs. Die Ergebnisse werden wahlweise in absoluten Werten oder als relative Veränderungen zu 2020 für die Szenarien S1 bis S10 sowie für die Raumtypen Deutschland gesamt, Metropolregionen (Berlin, Hamburg und Bremen), sowie für kleinstädtische und ländliche Räume ausgewiesen. Eine Übersicht über die verwendeten Raumtypen findet sich im Anhang zu diesem Bericht. Abschnitt 6.5 schätzt schließlich die Wirtschaftlichkeit der automobilen Mobilitätsdienste Carsharing und Ridepooling ab.

6.1 Entwicklung der Modalanteile an Wegen

Zur Beschreibung des Mobilitätsgeschehens stellt die Verteilung der täglichen Wege auf Verkehrsmittel (Modal Split) eine aussagekräftige Größe dar. Die Gesamtzahl der Wege pro Person und Tag liegt im statistischen Mittel über die letzten Jahrzehnte recht stabil bei 3,4 (BMVI 2019b). Durch kulturelle Entwicklungen, neue Angebote oder sich ändernde Raumstrukturen wie das Konzept der Stadt der kurzen Wege (United Nations 2017) können sich diese sogenannten Wegeraten mittelfristig jedoch durchaus ändern. Unter Vernachlässigung dieser Faktoren bedeutet der Markterfolg eines Verkehrsträgers einen Rückgang des Modal Split an anderer Stelle.

6.1.1 Modal Split von Carsharing- und Ridepooling-Diensten

Abbildung 5 zeigt die Modalanteile des Carsharing für 2020, 2025 und 2030 nach Raumtyp und die zehn Szenarien. Im *Referenzfall* (S1) zeigt sich ein gleichmäßiges Wachstum der Wegeanteile um 0,1 Prozentpunkte in fünf Jahren. Das Wachstum der Nachfrage nach Carsharing-Diensten fällt in Metropolregionen mit ihren vielfältigen Mobilitätsangeboten geringer aus als in ländlichen Räumen. Durch das ASTRA-M-Modell wird in letzteren eine Verdopplung der Nachfrage auf 0,36 % der Wege ermittelt, was auf einen Nachholeffekt bei der Angebotsdichte hinweist.

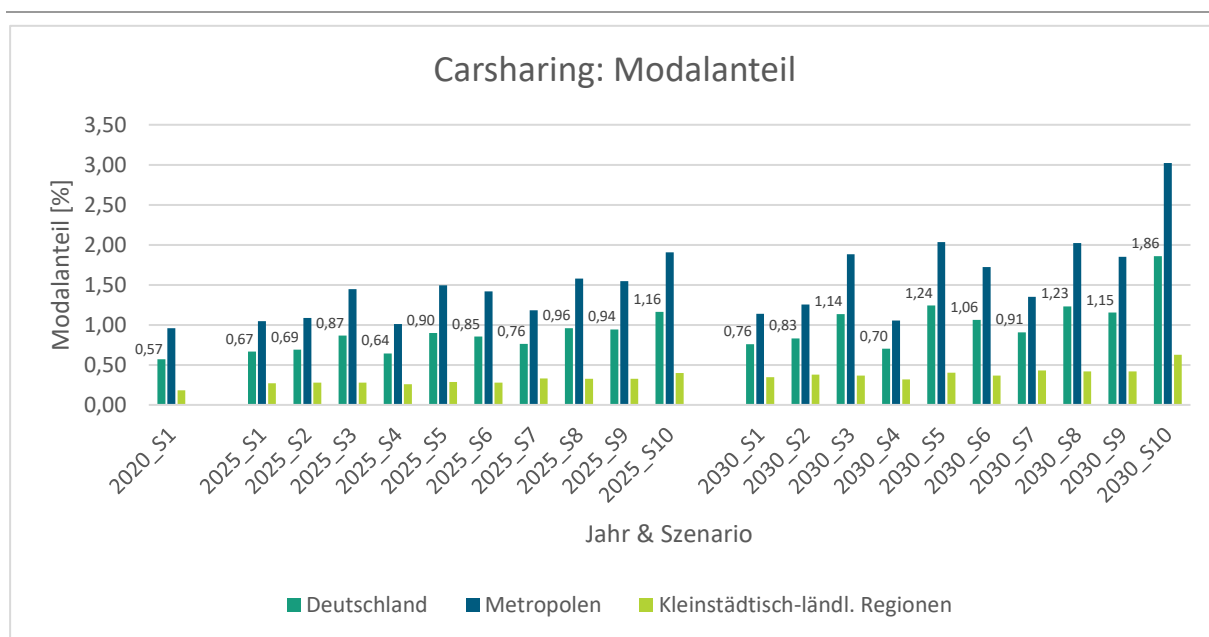
Im Referenzfall zeigt das Politikpaket Umweltpreise aus CO₂-Abgaben, Kraftstoffsteuern und Kaufanreizen (S3) weitaus größere Wirkung auf die Carsharing-Nachfrage als die Pakete Pkw-Abgaben aus Parkgebühren, City-Maut oder regulatorischen Maßnahmen (S2) und verbesserter ÖPNV (S4). Dies kann durch die Wirkung der Pkw-Abgaben auch auf Carsharing-Dienste und den komplementären Charakter von Carsharing und ÖPNV erklärt werden, wohingegen Umweltpreise systemisch die effiziente Nutzung aller verbrauchsarmer Fahrzeuge befördern. In ländlichen Räumen zeigt sich bei allen drei Paketen ein nur sehr verhaltener Effekt. Dies kann mit mangelnden Alternativen zu privaten oder geteilten Pkw selbst mit einem deutlich besseren ÖPNV erklärt werden. Insgesamt weisen die Modellrechnungen auch unter den kombinierten Szenarien Pkw-Abgaben und Umweltpreise (S5) gegenüber einem zusätzlich verbesserten ÖPNV (S6) auf eine große Konkurrenz von Carsharing und ÖPNV hin.

Unter den Annahmen der drei Szenarien auf Basis des Dynamischen Markthochlaufs des Carsharings zeigen sich erstaunlich geringe Nachfragezuwächse gegenüber vergleichbaren Fällen mit dem Referenzfall. Unter den Umfeldfaktoren Pkw-Abgaben (S7) ergibt sich gegenüber dem Fall S2 ein Wachstum von 0,88 % auf 0,91 % der Wege mit dem Carsharing. Ähnliche Steigerungen zeigen sich zwischen den entsprechenden Fällen S3 auf S8 (1,23 % auf 1,28 %) und S6 auf S9 (1,06 % auf 1,15 %). Der Angebotseffekt ist in Metropolen noch etwas stärker ausgeprägt als auf dem Land.

Auch im Dynamischen Angebotswachstum ergeben stringente Umweltpreise (S8) die höchste Carsharing-Nutzung, insbesondere in Metropolregionen. In ländlichen Räumen entfalten diese Instrumente kaum Wirkung auf den Modal Split des Carsharings.

Unter den Annahmen des *Extremen Hochlaufs* mit den Umfeldfaktoren *Pkw-Abgaben* und *Umweltpreise* (S10) kann 2030 in Deutschland gesamt ein Marktanteil des Carsharing an den zurückgelegten Wegen knapp zwei Prozent erreicht werden. In Metropolregionen kann dieser immerhin drei Prozent erreichen.

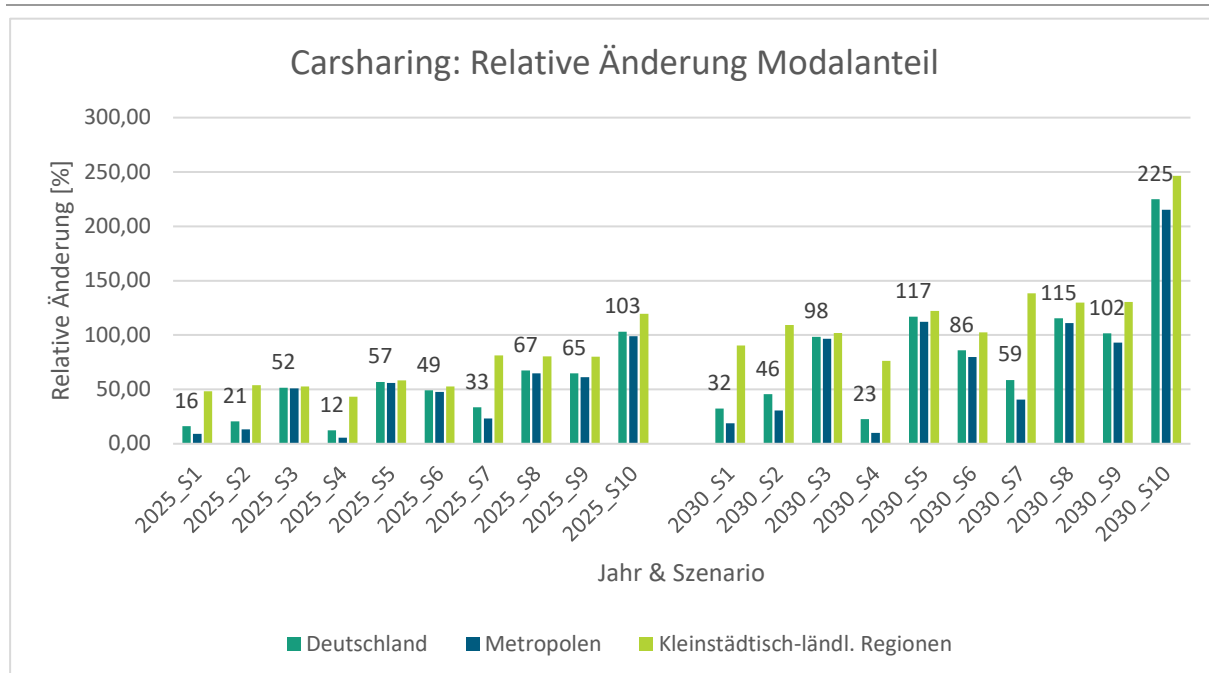
Abbildung 5: Modalanteile des Carsharing an Wegen bis 2025 und 2030 nach Raumtyp und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Beschriftungen an Datenreihen bezeichnen Deutschland gesamt

Abbildung 6 zeigt die relative Veränderung des Modal Split von Carsharing-Diensten an den täglichen Wegen gegenüber 2020. bei den noch sehr geringen Modalanteilen des Dienstes entspricht dies näherungsweise der relativen Veränderung des Fahrtenaufkommens. Bis 2030 ist danach ohne begleitende Maßnahmen (S1) von einem Wachstum um 32 % auszugehen. Mit Politikmaßnahmen (S2 bis S9) kann von einer Verdopplung des Aufkommens, und im Extremen Hochlauf (S10) mit mehr als einer Verdreifachung der Fahrten gerechnet werden.

Abbildung 6: Relative Änderung der Modalanteile des Carsharing an Wegen nach Raumtypen und Szenarien bis 2030 gegenüber 2020



Quelle: Fraunhofer ISI. Datenbeschriftungen: Deutschland

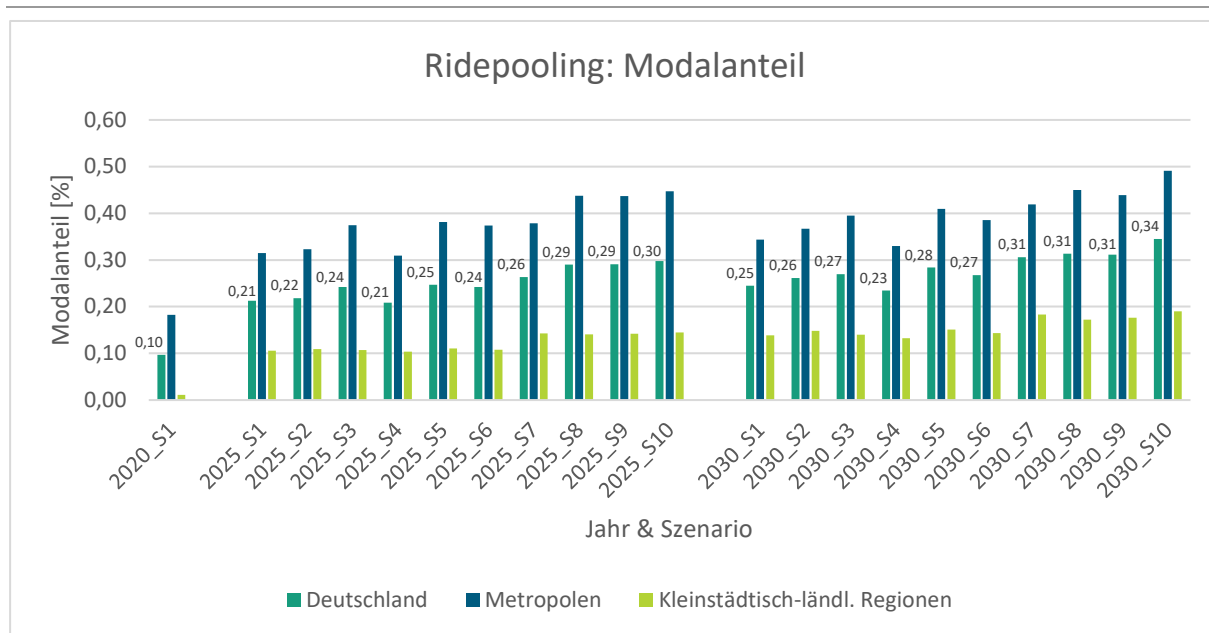
Abbildung 7 zeigt entsprechend die Modalanteile des Ridepooling für 2020, 2025 und 2030 nach Raumtyp und die zehn Szenarien. Im Referenzfall (S1) zeigt sich dabei eine Verdopplung der Nachfrage nach Fahrgelegenheiten bis 2025 und anschließend ein verlangsamtes Wachstum bis 2030 auf dann 0,25 % Modalanteil. Dies deutet auf das Annähern an eine Marktsättigung ab 2025 hin. Diese Interpretation wird durch den Blick auf die Raumtypen gestützt. Während in Metropolen mit einem heute in vielen Städten vertretenen Angebot von 0,18 % 2020 auf 0,31 % 2025 und dann nur noch auf 0,34 % 2030 wächst, fällt das Wachstum in den heute weitgehend nicht bedienten ländlichen Regionen von 0,01 % auf 0,11 % 2025 und dann auf 0,14 % wesentlich kräftiger aus.

Unter den Annahmen des Referenz-Hochlaufs entfalten die Politikpakete Pkw-Preise (S2) mit 0,26 % und Umweltpreise (S3) mit 0,27 % Marktanteil bis 2030 eine größere Wirkung auf das Ridepooling als die Förderung des mit ihnen konkurrierenden ÖPNV (S4) mit 0,23 % Marktanteil. Entsprechend stärkt auch eine Kombination aus Umwelt- und Pkw-Preisen (S5) die Ridepooling-Nachfrage mit 0,28 % Marktanteil deutlicher als eine Kombination mit verbessertem ÖPNV (S6). Unter der in Szenario S6 stark gegen den Pkw gerichteten Preispolitik verliert das Ridepooling schließlich an Attraktivität gegenüber einem stark verbesserten ÖPNV-Angebot. Während diese Wirkungen in Metropolregionen ähnlich wie im Bundesdurchschnitt verlaufen, fallen die Wirkungen der Politikpakete in ländlichen Räumen deutlich schwächer aus. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Angebotsverbesserung gegenüber der aktuell geringen Präsenz von Sharing-Diensten in kleinstädtischen und ländlichen Räumen weitaus relevanter für deren Modalanteil ist als der ökonomische und verkehrspolitische Rahmen. Ebenso zeigen die Ergebnisse die noch geringe Konkurrenz der Mobilitätsangebote auf dem Land, indem der Ausbau des ÖPNV den Markterfolg der Sharing-Dienste kaum belastet.

Die starke Wirkung des Angebots in Form der Dichte von Ridepooling-Fahrzeugen wird unter den Annahmen des Dynamischen Hochlaufs noch deutlicher. Für Deutschland insgesamt wächst der Marktanteil 2030 auf 0,31 %, die Wirkung der Umfeldfaktoren Pkw-Abgaben (S7), Umweltpreise (S8) und die Kombination beider mit verbessertem ÖPNV (S9) unterscheiden sich bundesweit und in ländlichen Räumen kaum. Lediglich in Metropolregionen zeigt sich eine größere Wirkung der Umweltpreise (S8) gegenüber den beiden anderen Szenarien.

Die Verknüpfung des Extremen Hochlaufs der Carsharing-Angebote durch stark subventionierte Preise in Kombination mit den Umfeldfaktoren Pkw-Abgaben und Umweltpreise (S10) führt bundesweit 2030 zu einem Modal Split des Ridepoolings von 0,34 %. In Metropolregionen werden hierdurch sogar nahezu 0,50 %, und in ländlichen Räumen ein Marktanteil von knapp 0,20 % erreicht.

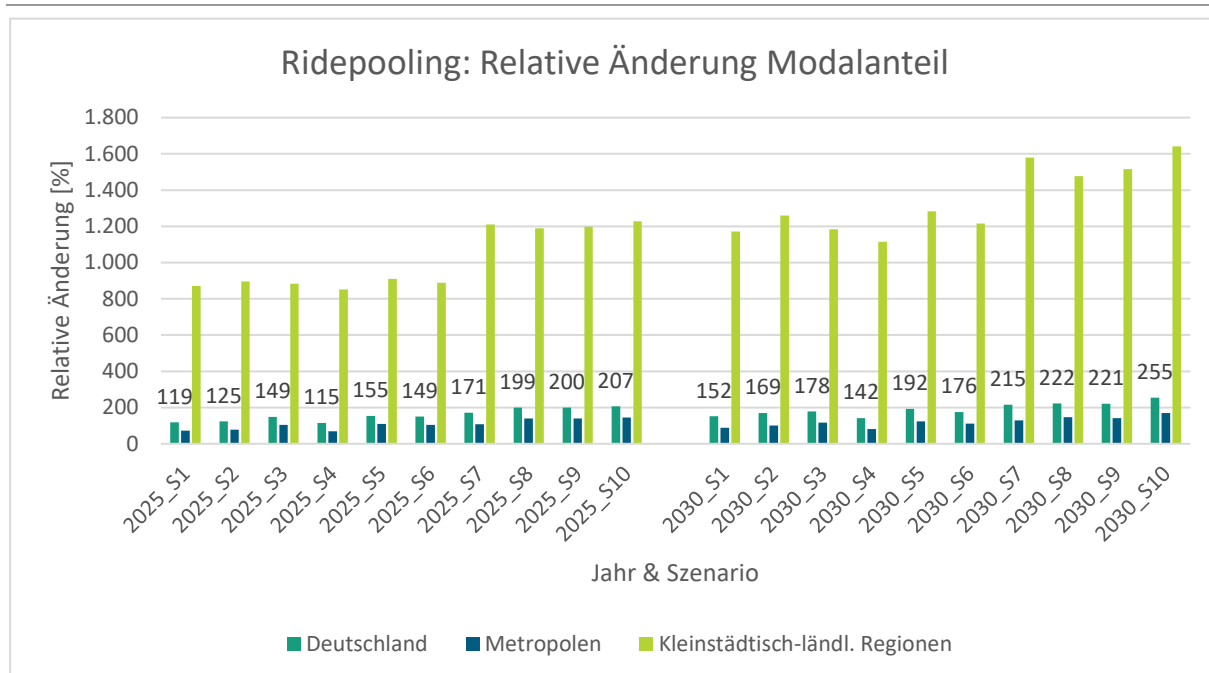
Abbildung 7: Modalanteile des Ridepoolings an Wegen bis 2025 und 2030 nach Raumtyp und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Beschriftungen an Datenreihen bezeichnen Deutschland gesamt

Abbildung 8 weist die relative Veränderung des Modal Split bzw. der Fahrten mit Ridepooling-Diensten für 2025 und 2030 gegenüber 2020 aus. Hier kann für Deutschland insgesamt und Metropolregionen kann hier analog zum Carsharing von einer Verdopplung bis hin zu einer Verdreifachung des Fahrtenaufkommens gerechnet werden. Entsprechend der obigen Analyse sind die starken Zuwächse bis 1 800 % in kleinstädtischen und ländlichen Räumen über alle Szenarien auffällig.

Abbildung 8: Relative Änderung der Modalanteile des Ridepooling an Wegen nach Raumtypen und Szenarien bis 2030 gegenüber 2020



Quelle: Fraunhofer ISI. Datenbeschriftungen: Deutschland

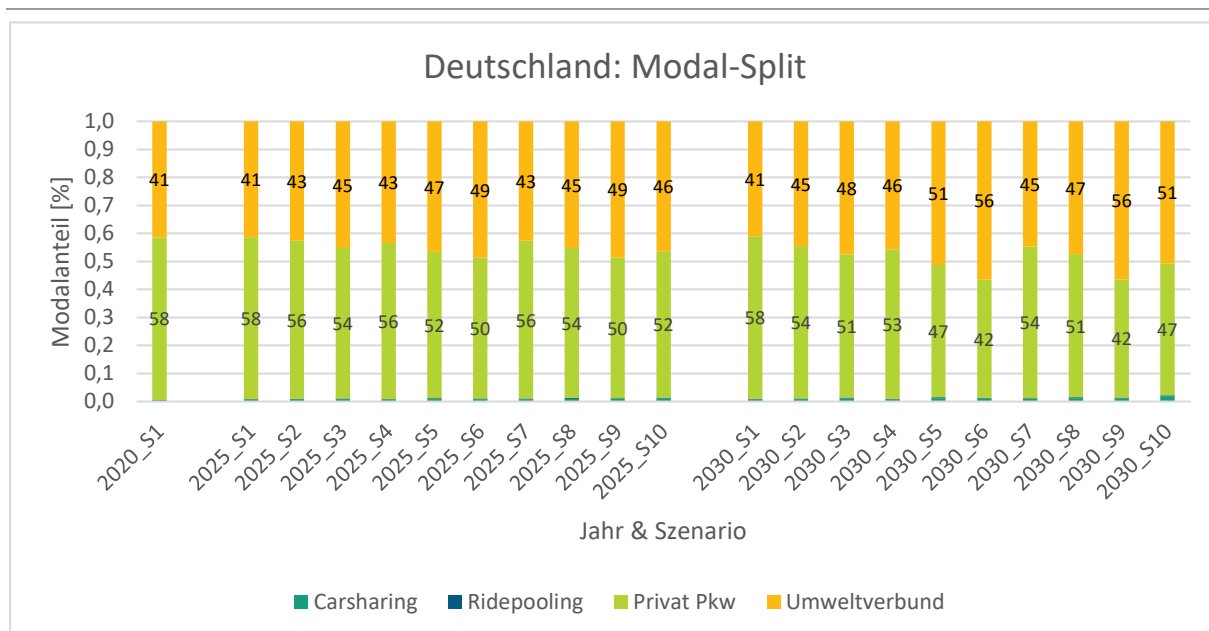
Carsharing und Ridepooling haben zusammen unter den Annahmen des Referenz-Hochlaufs und ohne spezifische Umfeldfaktoren in ganz Deutschland bis 2030 das Potenzial, ein Prozent der Wege abzudecken. In Metropolen ist deren Potenzial um etwa 50 % höher; ländliche Räume können jedoch insbesondere über den Ausbau von Ridepooling-Diensten aufholen. Unter extrem vorteilhaften Bedingungen mit deutlich dichteren Angeboten, stark abgesenkten Tarifen und hohen Preisen für die Nutzung von Pkw und Umweltgütern ist eine Steigerung des gemeinsamen Modal Split auf deutlich über zwei Prozent in Deutschland beziehungsweise 3,5 % in Metropolen möglich. Während für das Carsharing die Umfeldfaktoren die wichtigsten Treiber darstellen, ist die Angebotsdichte im Fall des Ridepooling, und hier besonders in ländlichen Räumen, die bestimmende Größe.

6.1.2 Modal Split im Personenverkehr insgesamt

Trotz aller fördernden Faktoren wird der Marktanteil von Carsharing- und Ridepooling-Diensten bis 2030 selbst in Metropolen noch gering sein. Jedoch beeinflussen die für die Dienste relevanten Umfeldfaktoren in erheblichem Maße auch die klassischen Verkehrsträger. Abbildung 9 zeigt die Modal Split-Werte zusammengefasster Verkehrsträger für die Jahre 2020, 2025 und 2030 nach allen Szenarien S1 bis S10. Für eine bessere Lesbarkeit wurden die Verkehrsträger ÖPNV, Fahrrad und Fußverkehr zum Umweltverbund zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Umfeldfaktoren mit der größten Wirkung auf den Markterfolg von Sharing-Diensten, d. h. Pkw-Abgaben und Umweltpreise, auch die Pkw-Nutzung gegenüber dem Umweltverbund am wirksamsten dämpfen. Im Gegensatz zur Wirkung auf die automobilen Sharing-Dienste fördert hier jedoch ein zusätzlicher Ausbau des ÖPNV den Marktanteil des Umweltverbundes. Damit fällt den Kombinationsszenarien S6 und S9 mit allen Umfeldfaktoren die größte Wirkung zu. Interessanterweise hilft aber nicht die direkte Förderung von ÖPNV-Angebot und Ticketpreisen dem Umweltverbund am meisten, sondern marktorientierte Preisinstrumente. Schließlich kann deutschlandweit bis 2030 der Pkw-Anteil an den täglichen Wegen um 16 % von 58 % auf 42 % gesenkt werden, und die Modal Splits von MIV und

Umweltverbund somit umgedreht werden. Demgegenüber haben die Annahmen zu den Markthochläufen der Sharing-Angebote aufgrund deren noch geringer verkehrlicher Bedeutung kaum einen Einfluss auf Pkw-Nutzung und Umweltverbund.

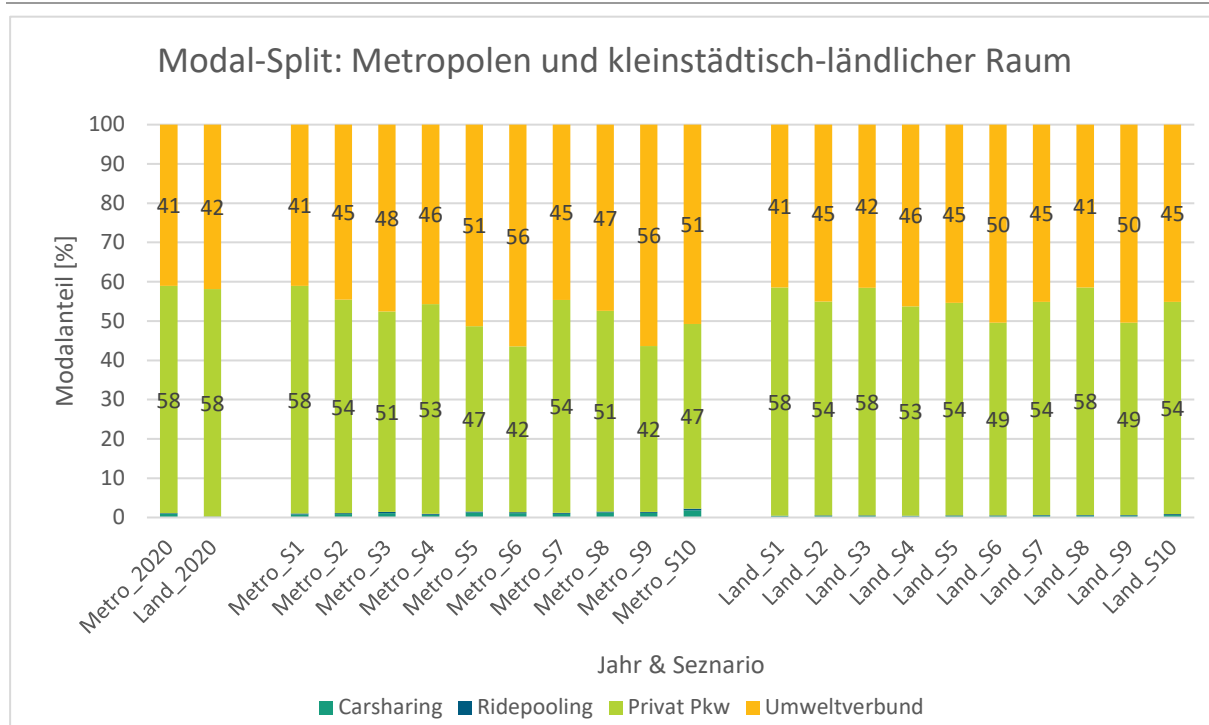
Abbildung 9: Entwicklung der Modalanteile an Wegen in Deutschland gesamt bis 2025 und 2030 nach Modus und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI

Der Einfluss der Umfeldfaktoren auf die Modalanteile von Pkw und Umweltverbund hängen sehr stark vom betrachteten Raumtyp ab. Durch mehr Mobilitätsoptionen und eine bessere Ausstattung dieser kann in Metropolregionen der Anteil des Umweltverbunds in den progressiven Szenarien S6 und S9 auf nahezu zwei Drittel an den täglichen Wegen ausgebaut werden. In kleinstädtischen und ländlichen Räumen gelingt dies nach den Analysen mit ASTRA-M nur zu etwa der Hälfte der Wege (vgl. Abbildung 10). Wie bereits bei der Wirkung auf die automobilen Mobilitätsdienste reagiert auch der Umweltverbund in kleinstädtischen und ländlichen Regionen weniger sensitiv auf preisliche und angebotsseitige Maßnahmen als in Metropolen.

Abbildung 10: Entwicklung der Modalanteile an Wegen in Metropolregionen bis 2025 und 2030 nach Modus und für alle Szenarien



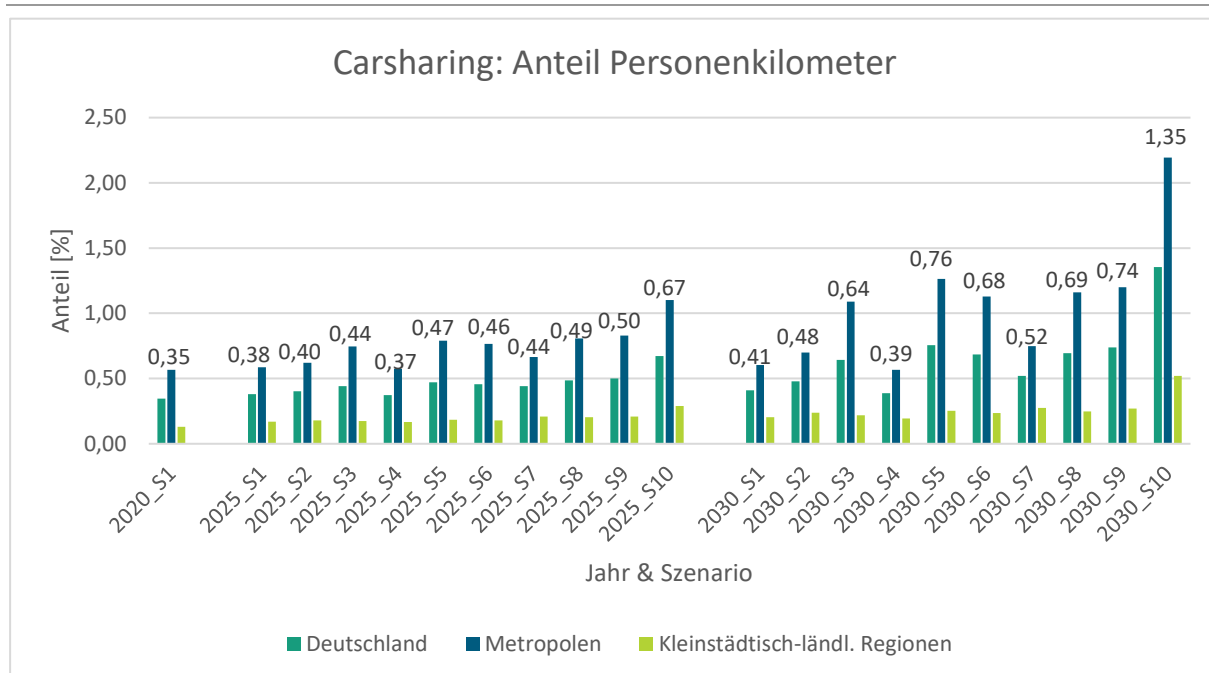
Quelle: Fraunhofer ISI

6.2 Entwicklung der Personenkilometer

Die Verkehrsleistung, gemessen in Personenkilometern (PKM), ist ein relevantes Maß für den Beitrag eines Verkehrsträgers zum Verkehrsgeschehen, zur Auslastung von Infrastrukturen oder für den zu erbringenden Energieaufwand. Hier werden Verkehrsmittel mit großen kilometrischen Reichweiten wie der Pkw und die Eisenbahn mit einem größeren Gewicht als Verkehrsmittel für den Nahbereich wie zu Fuß gehen oder Radfahren dargestellt. Unter den geteilten autobasierten Mobilitätsdiensten orientiert sich das Carsharing in Richtung größerer Distanzen pro Fahrt, während das Ridepooling eher kürzere Distanzen im Nah- und Regionalbereich bedient.

Im Referenz-Szenario (S1) 2030 steht ein Anteil des Carsharing an der Verkehrsleistung von 0,41 % einem Anteil an den Wegen von 0,46 % gegenüber. Dies bedeutet, dass die mit Carsharing-Fahrzeugen durchgeführten Wege 89 % der durchschnittlichen Wegelänge in Deutschland entsprechen. Im Fall des Extremen Hochlaufs mit allen Umfeldfaktoren (Szenario S10) stehen 1,35 % PKM 1,86 % der Wege gegenüber, womit hier die Carsharing-Fahrten 73 % der durchschnittlichen Wegelänge betragen. Unter der Annahme einer festen Verteilung von Wegelängen pro Person und Tag werden durch die Verkehrs- und Umweltpolitischen Interventionen tendenziell unterdurchschnittlich lange Wege auf das Carsharing verlagert. In Metropolregionen zeigt sich im Vergleich zur Bundesrepublik ein umgekehrter Trend. Während im Referenzfall 2030 die Wege mit Carsharing knapp 50 % der Durchschnittslänge entsprechen, sind dies im Extremen Wachstum (S10) 72 %.

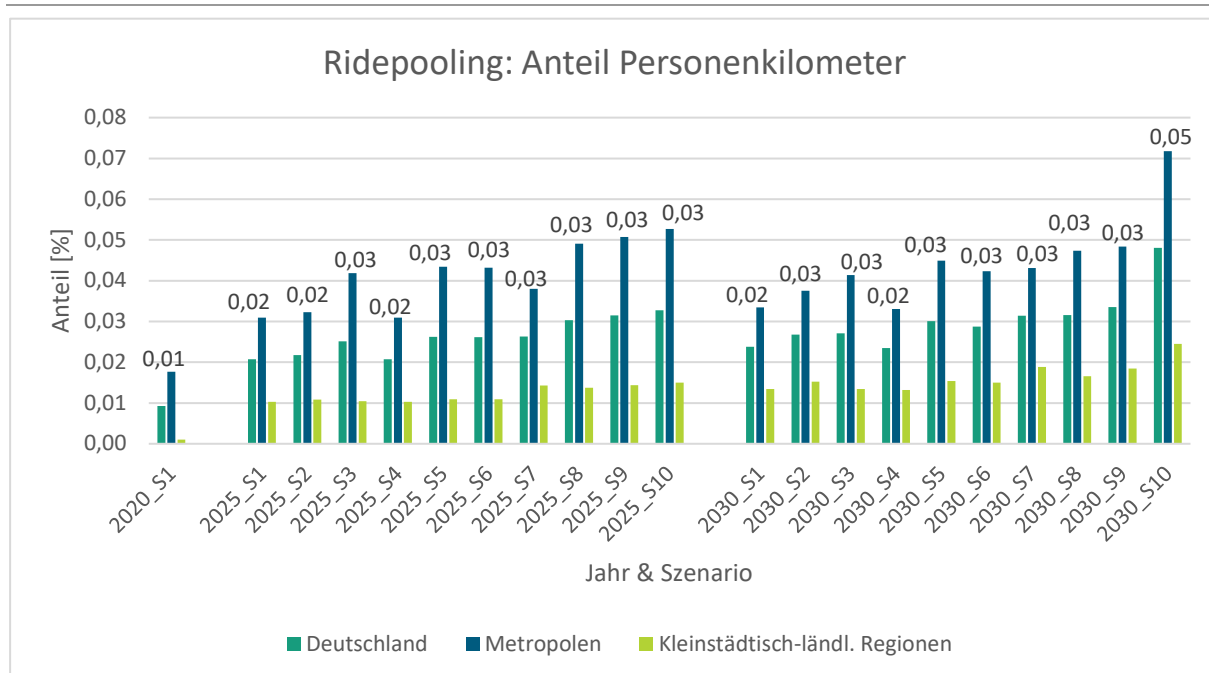
Abbildung 11: Entwicklung der Anteile des Carsharing an den Personenkilometern nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Beschriftungen an Datenreihen bezeichnen Deutschland gesamt

Mit einem Anteil an der Verkehrsleistung zwischen 0,02 % (Szenario S1) und 0,05 % (Szenario S10) stellt das Ridepooling auch 2030 noch eine Nische im Mix der Verkehrsmittel dar. Selbst unter den förderlichsten Rahmenbedingungen bleibt der Verkehrsleistungsanteil unter 0,1 %. In kleinstädtischen und ländlichen Kreisen bleiben die Prognosen des ASTRA-M-Modells unter 0,02 %. Der Modal Split-Anteil des Ridepooling an der Verkehrsleistung bleibt in allen Fällen weit hinter dessen Anteil an den Wegen zurück (vgl. Abbildung 7). Die Fahrtlänge mit Ridepooling-Diensten beträgt danach rund ein Zehntel der durchschnittlichen Länge über alle Verkehrsmittel.

Abbildung 12: Entwicklung der Anteile des Ridepooling an den Personenkilometern nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Beschriftungen an Datenreihen bezeichnen Deutschland gesamt

Über beide geteilten automobilen Mobilitätsdienste hinweg ist die Verkehrsleistung im Carsharing nach den Prognosen dieser Studie auch bis 2030 deutlich größer als die Fahrleistung mit Ridepooling-Fahrzeugen. Dies gilt auch für Metropolregionen, in denen Ridepooling-Dienste bereits heute zum Einsatz kommen. Aus Effizienz- und Umweltgründen stellen sich die kurzen Fahrdistanzen als problematisch heraus, da durch die Förderung von Carsharing und Ridepooling die Verlagerung vom Umweltverbund auf diese energieintensiven Mobilitätsformen provoziert werden könnte.

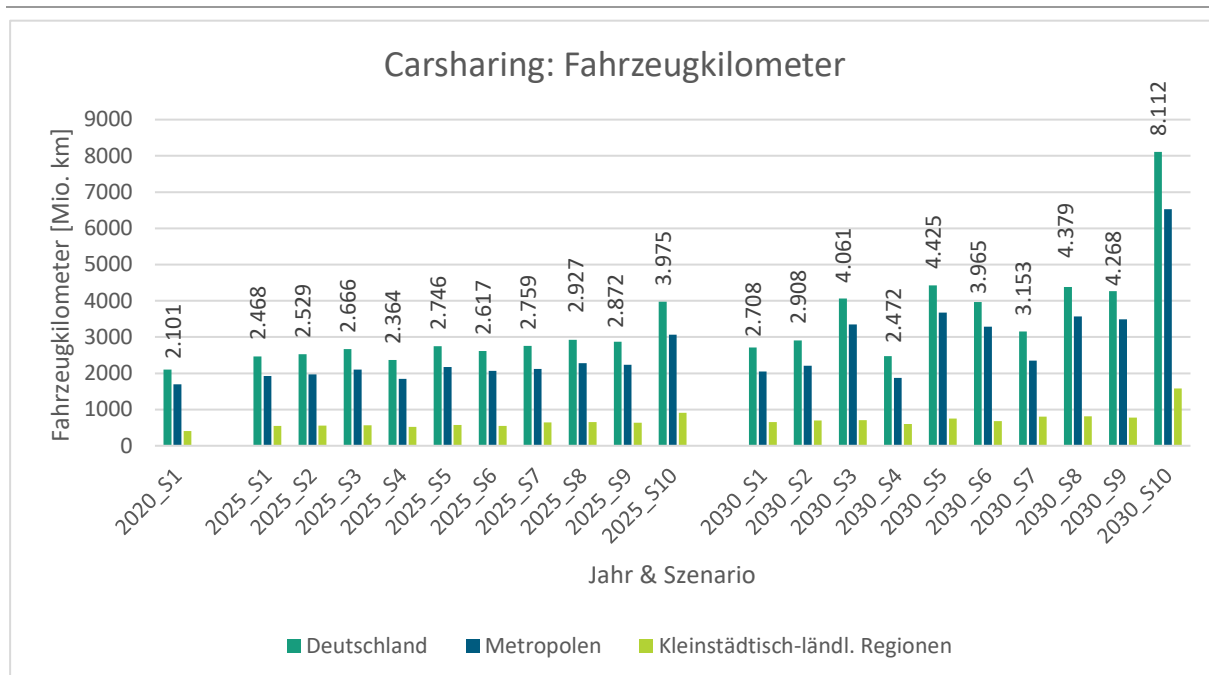
6.3 Entwicklung der Fahrzeugkilometer

Fahrzeugkilometer leiten sich aus den Personenkilometern und den mittleren Besetzungsgraden von Fahrzeugen ab. Zusammen mit Daten zur Flottenstruktur bilden Fahrleistungen die Grundlage zur Ermittlung von Energieverbrauch, externen Effekten oder der Belastung von Verkehrsnetzen. Die Analyse von Besetzungsgraden in kommerziellen Mobilitätsdiensten erlaubt schließlich Aussagen über den Aufwand pro beförderter Person und damit über die Marktfähigkeit von Geschäftsmodellen.

Die Absolute Zahl von Fahrzeugkilometern im Carsharing wächst im Referenzfall von 2,1 Mrd. Kilometer 2020 auf 2,45 Mrd. Kilometer 2025 und 2,7 Mrd. Kilometer 2030. Im Referenz-Hochlauf mit Anlastung von Umweltkosten (Szenario S5) kann die Fahrleistung auf 4,4 Mrd. Fahrzeugkilometer steigen. Im extremen Hochlauf mit Pkw- und Umweltpreisen (S10) ist sogar eine Fahrleistung von 8,1 Mrd. denkbar (Abbildung 13).

Der überwiegende Anteil der Fahrleistung im Carsharing entfällt auf die Metropolen: 76 % im Referenzfall, 83 % im Referenzhochlauf mit Pkw- und Umweltpreisen (S5), sowie 81 % im extremen Hochlauf mit allen Umfeldfaktoren (Szenario S10). Metropolen sind auch die Regionen, in denen einerseits die größten externen Effekte des motorisierten Verkehrs entstehen, und andererseits der Modal Split im Personenverkehr am sensibelsten auf Preise und Anreize reagiert.

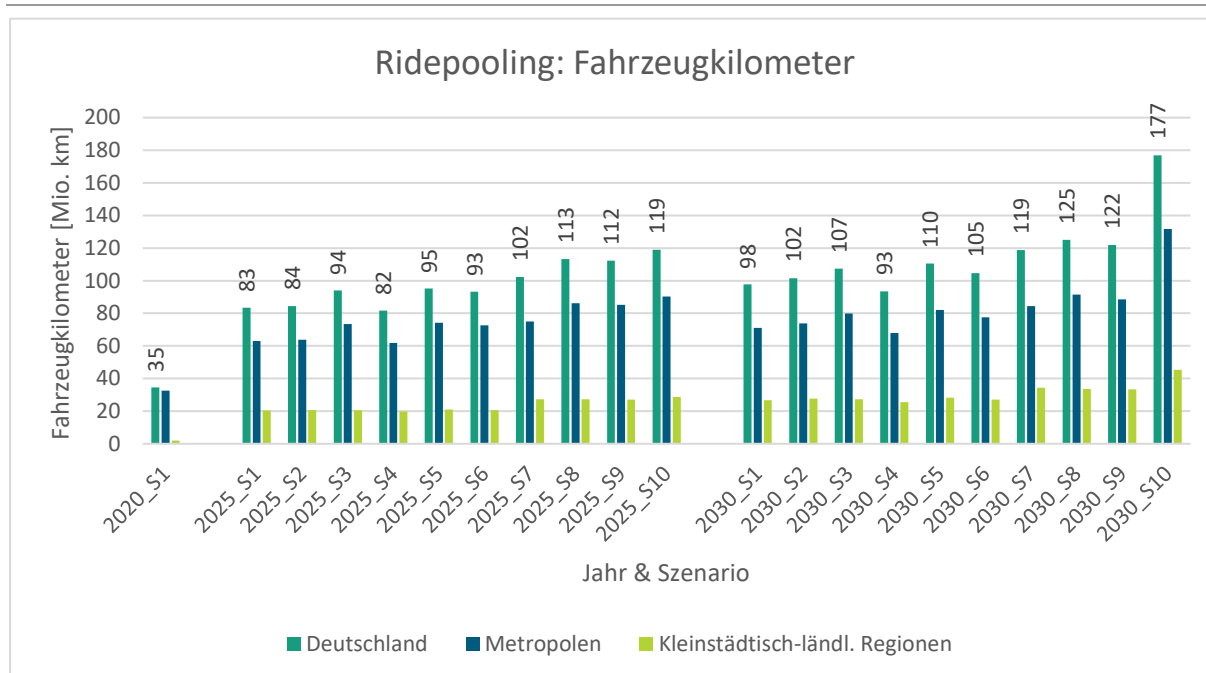
Abbildung 13: Entwicklung der Fahrzeugkilometer des Carsharing nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Datenbeschriftung in der Grafik: Deutschland gesamt

Ridepooling weist mit einem Besetzungsgrad von durchschnittlich drei Personen (ohne Fahrpersonal) je Fahrzeug eine höhere Effizienz als Privat-Pkw mit 1,4 Personen und Carsharing mit 1,9 Personen auf. In Kombination mit den auch bis 2030 noch überschaubaren Modalanteilen des Ridepooling leiten sich moderate Fahrleistungen von 98 Mio. Fahrzeugkilometer im Referenzfall (S1), 110 Mio. Fahrzeugkilometer im Referenz-Hochlauf mit Pkw-Preisen und Umwelteffekten (S5) bis maximal 177 Mio. Fahrzeugkilometer im Extremen Hochlauf mit allen Umfeldfaktoren ab. Zwischen 70 % und 75 % der Fahrleistung im Ridepooling findet 2030 in Metropolregionen statt. Durch den schnellen Anstieg des Ridepooling in kleinstädtischen und ländlichen Räumen zwischen 2020 und 2025 stellt sich diese Entwicklung nach den Prognosen des ASTRA-M-Modells bereits in den kommenden fünf Jahren ein.

Abbildung 14: Entwicklung der Fahrzeugkilometer des Ridepooling nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI; Datenbeschriftung in der Grafik: Deutschland gesamt

Beide Mobilitätsdienste zusammen erreichen bis 2030 eine Fahrleistung zwischen 2,8 Mrd. Fahrzeugkilometer im Referenzfall und 8,3 Mrd. Fahrzeugkilometer auf dem Pfad Extremer Hochlauf. Zum Vergleich: Die Fahrleistung von Pkw in Deutschland betrug 2020 rund 630 Mrd. Fahrzeugkilometer. Während die Mobilitätsdienste mengenmäßig wenig relevant sind, bieten sie jedoch die Möglichkeit zum Demonstrieren neuer Fahrzeug- und Antriebskonzepte im Fall des Carsharing, sowie zur effizienten Unterstützung von Bussen und Bahnen in Schwachlastzeiten durch Ridepooling.

6.4 Treibhausgaswirkungen automobiler Mobilitätsdienste

6.4.1 Klimawirkungen des Personenverkehrs für Deutschland

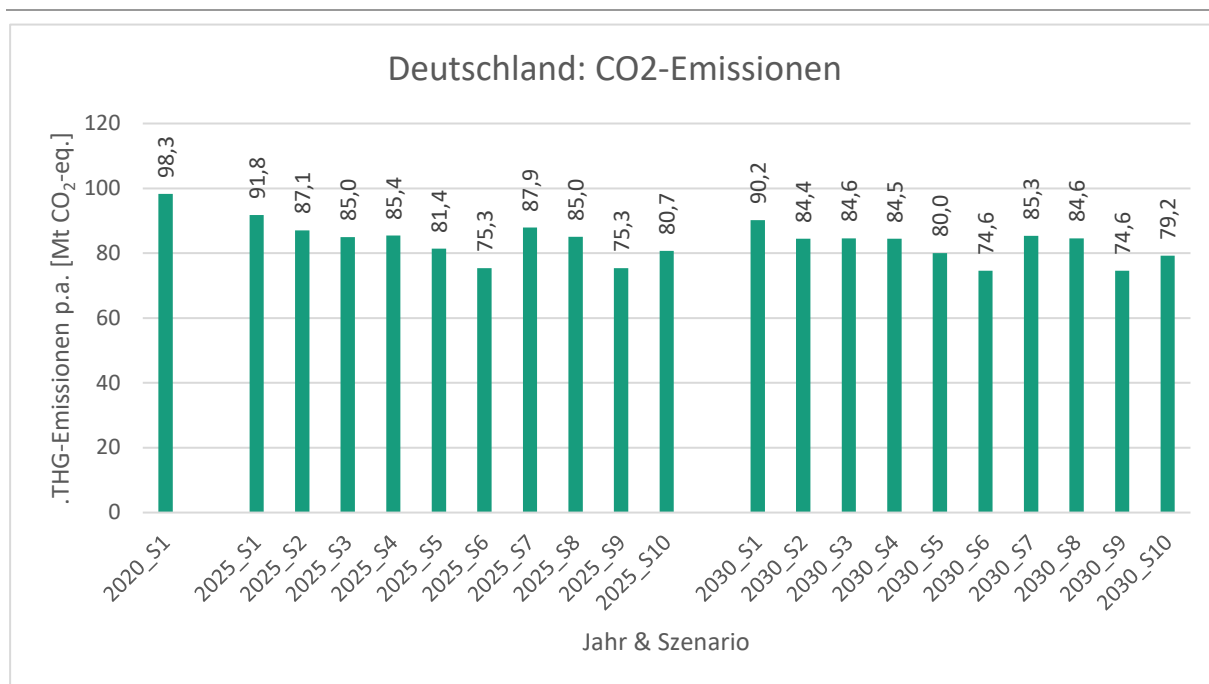
Die in Abbildung 15 für das Referenzszenario S1 dargestellte Entwicklung der THG-Emissionen im Personenverkehr lehnt sich an Prognosen der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) der Bundesregierung an. Berücksichtigt sind hierin heute beschlossene Maßnahmen mit deren wahrscheinlicher Laufzeit. Zwischen 2025 und 2030 endende Maßnahmen werden dabei nicht erneuert oder fortgeführt. Hierdurch überwiegt in dieser Zeitspanne der Effekt der allgemein steigenden Verkehrsleistung. Entsprechend zeigt die Referenzentwicklung (Szenario S1) einen sehr deutlichen Rückgang der THG-Emissionen von 6,5 Mt zwischen 2020 und 2025, und einen sehr moderaten Rückgang von nur 1,6 Mt bis 2030. Für die folgenden Betrachtungen ist die absolute Entwicklung der THG-Emissionen jedoch nicht von Belang.

Grundsätzlich tragen alle Maßnahmen, und besonders die Kombination von ökonomischen Instrumenten und investiven Maßnahmen zur Minderung des THG-Ausstoßes im Personenverkehr bei. Die Verbindung von Pkw-Abgaben, Umweltpreisen und einem verbesserten und günstigeren ÖPNV in den Szenarien S6 und S9 erreichen eine Emissionsminderung bis 2025 und 2030 um 15,6 Mt pro Jahr oder 17,3 % gegenüber dem Referenzfall S1. Im Vergleich der Szenarien S2, S3 und S4 leistet unter den Einzelmaßnahmen die Verschärfung von Umweltpreisen die größte Wirkung, wobei die

drei Politikpakete recht nahe beieinanderliegen. Entsprechend stützt der Befund des ASTRA-M-Modells die These der Hebelwirkung kombinierter Push- und Pull-Maßnahmen.

Der Einfluss der Markthochläufe für die Sharing-Dienste auf die THG-Emissionen des Personenverkehrs ist marginal. Zwar unterscheiden sich die hier vergleichbaren Szenarien S2 und S7, S3 und S8 sowie S5 und S10 gegen 2030 geringfügig, diese Abweichungen sind jedoch nicht systematisch und von der Gesamtmenge gering.

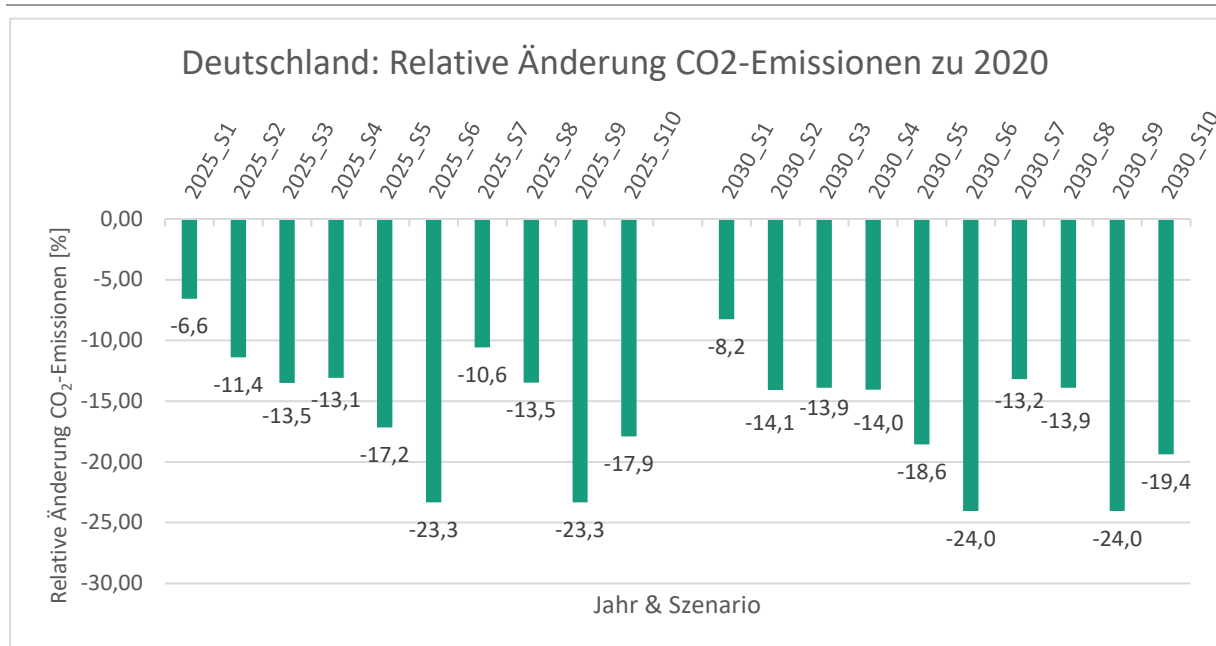
Abbildung 15: Entwicklung der jährlichen THG-Emissionen bis 2025 und 2030 und allen Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI

Abbildung 16 stellt die THG-Emissionen des Personenverkehrs in Deutschland alternativ als Vergleich der vermiedenen Emissionen gegenüber 2020 dar. Hiernach wird die maximal vermeidbare Menge in den Kombinationsszenarien S6 und S9 mit 24,0 Mt oder 24,5 % deutlich. Die Durchsetzung und Finanzierung der hierfür notwendigen Maßnahmen erfordert jedoch die zeitnahe und konsequente Implementierung aller in den Umfeldfaktoren definierter Politikpakete.

Abbildung 16: Entwicklung der relativen Änderungen der jährlichen THG-Emissionen gegenüber 2020 für 2025 und 2030 und allen Szenarien



Quelle: Fraunhofer ISI

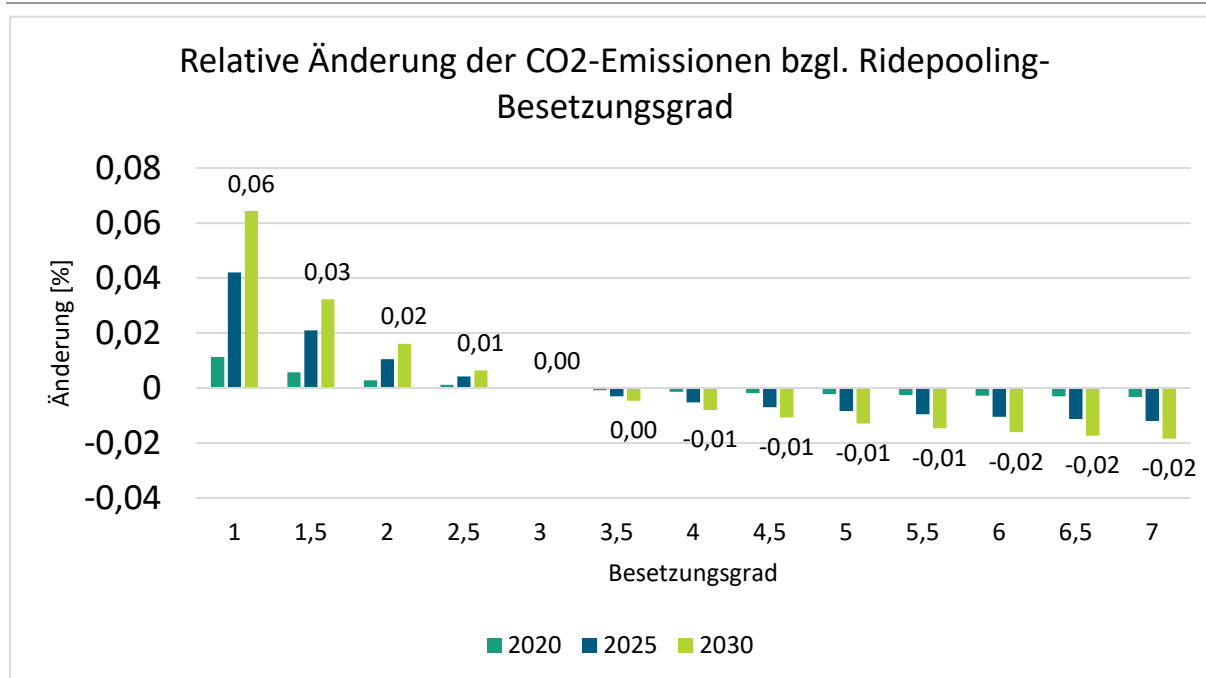
6.4.2 Sensitivitätsanalyse Besetzungsgrade und CO₂-Emissionen

Autobasierte Mobilitätsdienste erleichtern einerseits die Autonutzung und erhöhen damit grundsätzlich die Klimaemissionen. Andererseits sorgen Carsharing und Ridepooling für eine effizientere Fahrzeugnutzung, als dies im Durchschnitt mit einem Privat-Pkw möglich wäre. Insbesondere im Ridepooling entscheidet der Auslastungs- oder Besetzungsgrad über die ökonomische wie ökologische Effizienz des Dienstes. In ASTRA-M sind die Besetzungsgrade jedoch mit einem Wert von 3,0 konstant implementiert.

Im Rahmen einer Sensitivitätsrechnung wird im Folgenden der Beitrag unterschiedlicher Besetzungsgrade im Ridepooling auf die THG-Bilanz im Personenverkehr beleuchtet. Abbildung 17 zeigt, dass mit einem konstanten Besetzungsgrad von einer Person je Fahrzeug in der Form von Taxi- oder Ridehailing-Diensten bis 2030 trotz des geringen Verkehrsanteils der Ridepooling-Dienste mit 0,06 % höheren THG-Emissionen zu rechnen wäre. Andererseits würde eine Verbesserung des Besetzungsgrads auf sieben Personen je Fahrzeug, etwa durch den Einsatz von Kleinbussen, eine Reduktion der THG-Emissionen um 0,02 % bewirken.

Angesichts der gigantischen Aufgabe der Klimaneutralität bis 2045 spielen die erzielten Effekte auf nationaler Ebene eine eher kleine Rolle. Jedoch ist der Einfluss eines einfach umsetzbaren regulativen Instruments wie der Festlegung minimaler Besetzungsgrade von Ridepooling-Diensten in der Größenordnung von 0,08 % der Gesamtemissionen im Personenverkehr oder 0,08 Mt CO₂-eq. jährlich durchaus bemerkenswert. Bei städtischen Klimabilanzen könnte dieser Effekt noch stärker zum Tragen kommen, da hier die emissionsintensiven Langstreckenfahrten entfallen und Sharing-Dienste somit mehr Gewicht erhalten.

Abbildung 17: Relative Änderung der THG-Emissionen bzgl. Änderungen des Besetzungsgrads im Ridepooling für 2020, 2025 und 2030



Quelle: Fraunhofer ISI; Datenbeschriftungen zeigen 2030

Weitere Umweltwirkungen wie die Emission von Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub stellen durch die fortschreitende Erneuerung der Fahrzeugflotten über die Euro-Emissionsstandards zukünftig kein relevantes Problem dar, und werden hier nicht weiter analysiert. Verkehrslärm und Unfälle stellen die Mobilitätswende jedoch vor größere Herausforderungen, da diese nicht nur vom MIV, sondern auch von ÖPNV im Bereich Verkehrslärm und vom und Radverkehr im Bereich Verkehrssicherheit getrieben werden. Diese beiden Effekte spielen im Rahmen dieser Untersuchung jedoch eine nachgelagerte Rolle.

6.5 Wirtschaftlichkeit automobiler Mobilitätsdienste

In ASTRA-M wird ohne Anpassung der Nutzertarife aufgrund der als unveränderlich unterstellten mittleren Besetzungsgrade mit konstanten Erlösen je Fahrzeugkilometer im Carsharing und Ridepooling gerechnet. Dies ist in der durchschnittlichen Betrachtung aller Angebote in Deutschland und der Modellierungslogik in ASTRA-M begründet. Für das Ridepooling liegen diese Werte bei 3,19 Euro je PKM und aufgrund des fixierten durchschnittlichen Besetzungsgrades von drei Personen je Fahrt bei 9,56 Euro je Fahrzeugkilometer. Im Vergleich zwischen Raumtypen und insbesondere während der deutlichen Angebotsverdichtungen bis 2030 stellen sich im Ridepooling durch Skaleneffekte höhere Besetzungsgrade ein. Bezieht man die Entwicklungen der Fahrzeug- und Personenkilometer aus den vorangegangenen Kapiteln mit ein, so wird dennoch deutlich, dass die Angebote bisher primär in Städten zu finden sind. Die PKM sind in den Metropolen für die beiden hier betrachteten Mobilitätsdienste deutlich höher als im kleinstädtisch-ländlichen Raum, während die gesamten PKM über alle Modi in Deutschland ein eher ausgeglichenes Bild zeigen. Dies passt sich im Zeitverlauf zwar etwas an, erreicht aber dennoch nicht die Verteilung der gesamten PKM.

Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Mobilitätsdienste sind neben den Einnahmen und Fahrleistungen die Kostenstrukturen und Einnahmen jenseits der Fahrgeldeinnahmen von primärer Bedeutung. Dies sind jedoch vertrauliche Betriebsdaten und somit öffentlich nicht zugänglich. In der

Literatur und in Fachpublikationen finden sich vereinzelte Hinweise auf diese Kosten- und Erlös-komponenten. In einer laufenden internen Erhebung des Fraunhofer ISI in Kooperation mit ausgewählten Mobilitätsanbietern konnten die Kosten- und Erlösstrukturen grob erfasst und bewertet werden.

Zur Analyse der Kostenbasis der Mobilitätsdienste werden Kostenkategorien für den Aufbau und den Betrieb der beiden Dienste herangezogen und in fixe sowie variable Kosten aufgeteilt. Das hieraus entstehende betriebswirtschaftliche Ergebnis wird über die Verteilung von Fixkostenblöcken durch die Größe und die exakten Ausprägungen der einzelnen Unternehmen sowie den städtischen Voraussetzungen determiniert; Unternehmensstrukturen werden jedoch in ASTRA-M nicht abgebildet. Dementsprechend wird im Folgenden die Betrachtung der potenziellen Wirtschaftlichkeit von Carsharing- und Ridepooling-Diensten entlang der Szenarien und deren Einfluss auf Nachfrage und durchschnittliche Besetzungsgrade dargestellt.

6.5.1 Carsharing

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Carsharing-Diensten basiert auf den Ergebnissen der ASTRA-M-Modellierung und den dort berechneten Szenarien sowie einer Literatur- und Internet-recherche mit begleitenden Fachgesprächen zu den für diesen Dienst relevantesten Kostenfaktoren.

Das Ergebnis der Kostenbetrachtung zeigt, dass etwa 40-50 % der gesamten Kosten auf Fahrzeug-nahe Faktoren wie Leasing, Kraftstoffe und Energie zurückzuführen sind. Steuern bestimmen zu rund 20 % die Kostenstruktur, und für Marketing sowie Vertrieb fallen circa 10 % der Gesamtkosten an. Grob 5 % aller Kosten fallen für den Aufbau und Unterhalt der Informationsinfrastruktur wie Fahrzeugvernetzung und Software an. Die restlichen 15-25 % sind Gemeinkosten für Immobilien und Verwaltung. Der hohe Anteil fahrzeugbezogener Kosten legt nahe, dass Carsharing-Anbieter ein Interesse an möglichst wartungsarmen und im Betrieb kostengünstigen Fahrzeugen haben. Mögen die anderen Kostenbereiche auch so gut wie möglich optimiert werden, so entscheiden die Fahrzeuge schlussendlich über das operative Ergebnis der Carsharing-Anbieter. Dies zeigt auch, dass elektrische Pkw für Carsharing-Anbieter aufgrund der hohen Auslastungen der Fahrzeuge besonders relevant sind (Ensslen et al. 2018; Wietschel et al. 2022).

Für die nachfolgende Analyse werden aus den beschriebenen Kostenfaktoren über typische Flottengrößen und Kundenzahlen der führenden Anbieter in Deutschland durchschnittliche Kosten je Fahrzeugkilometer gebildet. Danach fallen pro Fahrzeugkilometer rund 0,43 Euro Betriebskosten an. Dieser Wert abstrahiert von Unternehmensgröße und -strukturen. Für kleinere Carsharing-Anbieter und für Free-floating-Angebote könnten die Durchschnittskosten deutlich höher liegen. Legt man die oben beschriebene Kostenverteilung zugrunde, so ergeben sich daraus ca. 0,22 Euro pro Fahrzeugkilometer für die Fahrzeugnahmen Kosten wie Leasing und Kraftstoff. 0,09 Euro pro Fahrzeugkilometer fallen für Steuern und 0,04 Euro für Marketing und Vertrieb an. Für die digitale Infrastruktur werden 0,02 Euro pro Fahrzeugkilometer angesetzt.

Mit diesen Durchschnittskosten und den Modellergebnissen aus ASTRA-M zu Nachfrage und Mobilitätsausgaben lassen sich Abschätzungen über die Wirtschaftlichkeit des Carsharing-Angebots anstellen (s. Tabelle 8). Vergleicht man die Durchschnittskosten von 0,43 Euro pro Fahrzeugkilometer mit den durchschnittlichen Einnahmen von 0,39 Euro pro Fahrzeugkilometer, so wird ein Verlust von 0,04 Euro pro Fahrzeugkilometer erzeugt. Dies führt zu einem Umsatz-Kosten-Verhältnis von 0,90. Die Anbieter machen demnach über alle Unternehmen und Formen des Carsharing keinen Gewinn.

Die Einnahmestruktur im Carsharing entwickelt sich entlang der Markthochläufe (vgl. Abschnitt 5.2.1). Diese unterscheiden sich in Zeit- und Entfernungstarife sowie in einmalige und monatliche Mitgliedsbeiträge. Der Zeittarif wird hier für das Referenzszenario (S1) bei 4,07 Euro pro Stunde und

der Entfernungstarif mit 0,25 Euro pro Fahrzeugkilometer angenommen. Für das Jahr 2020 ergeben sich im Referenzszenario durchschnittliche Einnahmen von 0,21 Euro je PKM oder 0,39 Euro pro Fahrzeugkilometer. Im Extremen Markthochlauf inkl. der Umfeldfaktoren Pkw-Abgaben und Umweltpreise, Szenario S10, werden die Nutzertarife deutlich abgesenkt. Hier beträgt der Zeittarif in 2030 lediglich 2,71 Euro pro Stunde und der Entfernungstarif nur 0,10 Euro pro Fahrzeugkilometer. Damit sinken die durchschnittlichen Einnahmen im Jahr 2030 in S10 auf 0,19 Euro je Fahrzeugkilometer (-50 %) über alle Carsharing-Angebotsformen.

Für den Vergleich über die definierten Szenarien hinweg, zeigt Tabelle 8 die unterschiedlichen Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit je Szenario mit Werten aus ASTRA-M. Da sich die Nachfrage und somit auch die verkehrlichen Parameter in den Szenarien dynamisch verändern, werden diese auch angegeben und für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verwendet. Die Kosten sind linear bzgl. der Entwicklung der Fahrzeuge und werden hier daher konstant gehalten. Es zeigt sich, dass insbesondere das Szenario S10, das einen Extremen Markthochlauf für Carsharing annimmt, bzgl. der Wirtschaftlichkeit deutlich am schlechtesten abschneidet. Das Erkaufen von mehr Nutzung, in den längeren Distanzen über sinkende Preise erscheint mit den hier unterstellten Parametern aus betriebswirtschaftlicher Sicht problematisch. Die für die Carsharing-Anbieter wirtschaftlich besten Ergebnisse werden in den Szenarien S4 (ÖPNV-Förderung) sowie S2 (Umweltpreise) und S7 (Dynamischer Markthochlauf und Umweltpreise) erzeugt. Der Carsharing-Markt kann entsprechend auch von der ÖPNV-Förderung profitieren, was der allgemeinen Empfehlung, die geteilten Dienste besser mit dem ÖPNV zu verbinden, Nachdruck verleiht. S2 unterstellt die Internalisierung der Umweltpreise, während S7 dasselbe Umfeldszenario jedoch mit einem Dynamischen Markthochlauf der geteilten Mobilitätsdienste annimmt. Die Internalisierung von Umweltkosten bietet demnach ebenfalls Chancen zur Produktivitätssteigerung der Carsharing-Anbieter.

Tabelle 8: Durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Carsharing-Dienste für mittlere Reisedistanzen

Szenario	Anbieterkosten/ Fzkm (€/km)	Nutzerkosten/ Fzkm (€/km)	Distanz/ Buchung (km/Fahrt)	Umsatz/ Fahrt (€/Fahrt)	Operatives Ergebnis pro Fzkm (€/km)	Operatives Ergebnis pro Fahrt (€/Fahrt)	Umsatz-Kosten-Verhältnis
S1 (2020)	0,43	0,39	14,77	5,73	-0,04	-0,62	0,90
S1 (2030)	0,43	0,40	14,77	5,94	-0,03	-0,42	0,93
S2 (2030)	0,43	0,40	14,77	5,90	-0,03	-0,45	0,93
S3 (2030)	0,43	0,38	14,77	5,66	-0,05	-0,69	0,89
S4 (2030)	0,43	0,41	14,77	5,98	-0,02	-0,37	0,94
S5 (2030)	0,43	0,38	14,77	5,59	-0,05	-0,76	0,88
S6 (2030)	0,43	0,38	14,77	5,57	-0,05	-0,78	0,88
S7 (2030)	0,43	0,40	14,77	5,90	-0,03	-0,45	0,93
S8 (2030)	0,43	0,38	14,77	5,66	-0,05	-0,69	0,89
S9 (2030)	0,43	0,38	14,77	5,58	-0,05	-0,77	0,88
S10 (2030)	0,43	0,19	14,77	2,86	-0,24	-3,50	0,45

Quelle: Fraunhofer ISI

Die Anbieterkosten wurden in Tabelle 8 mit 0,43 Euro je Fahrzeugkilometer als konstant unterstellt. Würden jedoch die Umweltpreise und Pkw-Abgaben uneingeschränkt auch für die Mobilitätsdienste gelten, müssten die Anbieterkosten angepasst werden. Die Umsatz-Kosten-Verhältnisse in den betreffenden Szenarien würden sich entsprechend verschlechtern. Die in Tabelle 8 hinterlegten Nutzertarife enthalten alle mit einer Fahrt direkt anfallenden Gebühren. Im speziellen Fall des stationsgebundenen Carsharing zählen hierzu auch die fixen Mitgliedsbeiträge der Kund:innen von durchschnittlich 7,70 Euro pro Monat. Über alle Anbieter lässt sich ferner schätzen, dass die durchschnittliche Buchungshäufigkeit je angemeldetem Mitglied unter 0,5 liegt. Damit leisten die fixen Mitgliedsbeiträge im stationsgebundenen Carsharing einen erheblichen Beitrag zur Deckung der Betriebskosten. Dieses Modell kann, im Gegensatz zum Durchschnitt der free-floating Carsharing-Angebote, entsprechend durchaus kostendeckend betrieben werden. Jedoch können die beitragsbasierten Geschäftsmodelle bei intensiverer Nutzung durch die angemeldeten Nutzer:innen durchaus unter wirtschaftlichen Druck geraten.

6.5.2 Ridepooling

In analoger Weise wie beim Carsharing wurden im Rahmen der internen Arbeiten des Fraunhofer ISI Daten zu den Kostenpositionen und deren Quantifizierung durch Literaturanalyse und Internetrecherche für das Ridepooling ermittelt und durch Expertengespräche soweit möglich validiert. Dies stellte sich jedoch aufgrund der geringeren Zahl von Anbietern, der relativen Neuheit der Angebote in vielen Orten und dem experimentellen Projektstatus der Angebote als wesentlich schwieriger als beim Carsharing heraus.

Wie auch schon beim Carsharing ergeben sich auch beim Ridepooling signifikante Kostenanteile für die Fahrzeug-nahen Kostenfaktoren. Diese übersteigen mit ca. 80-85 % der Gesamtkosten den Anteil im Vergleich zum Carsharing noch einmal erheblich. Dies liegt insbesondere auch an den Personalkosten für die Fahrer:innen des Ridepooling-Fahrzeugs. Marketing- und Vertriebskosten belaufen sich auf ca. 15 % der gesamten Kosten. Steuern und Kosten für die IT-Infrastruktur fallen mit jeweils ca. 2 % deutlich geringer aus. Noch deutlicher als beim Carsharing zeigt sich hier also die Signifikanz der Fahrzeug-nahen Kostenfaktoren und macht geringstmögliche Kosten für diese notwendig. Dies kann als ein Grund für die im Dienste-Vergleich auffällig hohe Zahl an Elektrofahrzeugen angenommen werden. Wie oben für das Carsharing bereits erwähnt, zahlen sich elektrische Pkw für gewerbliche Flotten schneller aus als im privaten Bereich (Ensslen et al. 2018). Für das Ridepooling gilt dies umso mehr, da die Fahrzeuge während der Betriebszeiten im Bestfall pausenlos im Dienst sind und so eine sehr hohe Auslastung dieser erreicht werden kann. Eine hohe Auslastung, insbesondere hohe Kilometerleistungen bergen enormes Kostensparpotenzial der elektrifizierten Fahrzeuge im Vergleich zu Verbrenner-Fahrzeugen. Eine hohe Kilometerleistung ist auch im Sinne der Klimabilanz der Fahrzeuge positiv, da diese somit den ökologischen Rucksack der Batterie-Produktion reduzieren und damit eine positivere Klimabilanz erreichen als Fahrzeuge mit weniger Fahrleistungen. Auch zeigt die Bedeutung der Fahrzeug-nahen Kostenfaktoren, warum sich Automobilhersteller am Geschäftsmodell des Ridepooling interessieren. Sie können die Fahrzeuge zu internen Verrechnungssätzen an den Ridepooling-Dienst weitergeben und sparen hierdurch im Vergleich zu regulären Flottenkunden an der Gewinnmarge des Herstellers. Die höheren Kosten für Marketing und Vertrieb bei Ridepooling im Vergleich zu Carsharing lässt sich unter anderem durch die erhöhte (soziale) Präsenz erklären und die notwendigen Abstimmungen des Vertriebs mit Kommunen und ÖPNV-Anbietern, die als Kunde gewonnen werden wollen.

Nach den beschriebenen Recherchen ergeben sich unter Verwendung der Modellergebnisse aus ASTRA-M für einen Ridepooling-Anbieter pro Fahrzeugkilometer Kosten von 5,25 Euro, die für die Szenarien konstant gehalten werden. Abgesehen von Variationen der Pooling-Quoten entwickeln sich diese weitgehend proportional zur Nachfrage. Die Einnahmen für den Ridepooling-Anbieter

belaufen sich in den betrachteten Szenarien S1 (Referenz) bis S9 (Dynamischer Hochlauf mit allen Umfeldfaktoren) auf 1,55 Euro pro Personenkilometer. Dies ist also der Preis, den Nutzer:innen pro Kilometer ihrer Fahrt zu entrichten haben. Im Szenario S10, das auf den Extremen Markthochlauf zurückgreift, liegen diese Einnahmen bei 0,90 Euro pro Personenkilometer.⁴

Für die Berechnung der Einnahmen und Kosten werden wie beim Carsharing die Modellergebnisse der oben berechneten Szenarien S1 bis S10 verwendet. Weiterhin wird den Fahrten ein Besetzungsgrad von drei Personen je Fahrzeug unterstellt. Die Ergebnisse für die durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in Tabelle 9 zu finden.

Tabelle 9: Durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Ridepooling-Dienste

Szenario	Anbieterkosten/ Fzkm (€/km)	Nutzerkosten/ Fzkm (€/km)	Distanz/ Buchung (km/Fahrt)	Umsatz/ Fahrt (€/Fahrt)	Operatives Ergebnis pro Fahrt (€/Fahrt)	Umsatz-Kosten-Verhältnis
S1 (2020)	5,25	1,55	5,49	25,54	-3,30	0,89
S1 (2030)	5,25	1,55	5,55	25,83	-3,33	0,89
S2 (2030)	5,25	1,55	6,06	28,16	-3,63	0,89
S3 (2030)	5,25	1,55	5,68	26,42	-3,41	0,89
S4 (2030)	5,25	1,55	5,57	25,91	-3,34	0,89
S5 (2030)	5,25	1,55	6,14	28,55	-3,68	0,89
S6 (2030)	5,25	1,55	6,13	28,52	-3,68	0,89
S7 (2030)	5,25	1,55	6,07	28,24	-3,64	0,89
S8 (2030)	5,25	1,55	5,68	26,41	-3,41	0,89
S9 (2030)	5,25	1,55	6,13	28,51	-3,68	0,89
S10 (2030)	5,25	0,90	6,12	16,53	-15,62	0,51

Quelle: Fraunhofer ISI

Die durchschnittlichen Distanzen pro Buchung pro Person liegen im Minimum bei 5,49 km im Fall von S1, dem Referenzszenario. Die längsten Distanzen sind mit 6,14 km bzw. 6,13 km in den Szenarien S5 (Umweltpreise und Pkw-Abgaben) bzw. S6 (Umweltpreise, Pkw-Abgaben und ÖPNV-Förderung) und S9 (Umweltpreise, Pkw-Abgaben und ÖPNV-Förderung mit Dynamischem Markthochlauf des Ridepooling) zu beobachten. Diese drei Szenarien sind daher auch bei den Umsätzen pro Fahrt führend. Diese belaufen sich bei S5 auf 28,55 Euro pro Fahrt, bei S6 auf 28,52 Euro pro Fahrt und bei S9 auf 28,51 Euro pro Fahrt. Dieser Effekt spiegelt sich auch im operativen Ergebnis pro Fahrt wider. Hier liegen alle drei Szenarien bei einem Verlust von 3,68 Euro pro Fahrt. Das Umsatz-Kosten-Verhältnis ist aufgrund der Linearität der unterstellten preislichen und kostenseitigen Berechnungen bei den Szenarien S1 bis S9 identisch (0,89). Im Falle des Extremen Markthochlaufs in

⁴ Der Mindesttarif pro Fahrt kommt hier nicht zum Tragen, da die Distanzen auf Niveaus liegen, die den Mindesttarif übersteigen und somit der Preis pro Kilometer, also der Entfernungstarif, zum Tragen kommt.

Szenario S10 verzeichnen die Ridepooling-Anbieter mit 15,62 Euro pro Fahrt ein deutlich negatives operatives Ergebnis. Die stark reduzierten Nutzerkosten, also Einnahmen der Anbieter pro Personenkilometer, schlagen hier deutlich zu Buche.

In Summe zeigt sich also ein negatives Bild der Wirtschaftlichkeit des Ridepooling und in keinem der Szenarien kann ein gewinnversprechendes Umsatz-Kosten-Verhältnis oder ein positives operatives Ergebnis erreicht werden. Dies verdeutlicht den am Markt zu beobachtenden Druck, der auf die Ridepooling-Anbieter wirkt und unterstreicht die medial regelmäßig aufgegriffenen Stimmen zur fehlenden Wirtschaftlichkeit von Ridepooling-Geschäftsmodellen.

Die Aufstellung in Tabelle 9 zeigt die Entwicklung von Umsatz, operativem Ergebnis und das Umsatz-Kosten-Verhältnis für die in den Szenarien unterstellten Annahmen. Innerhalb des Referenzszenarios S1 geringfügig um 0,06 Euro. Der Umsatz je Fahrt zeigt sich 2030 am höchsten bei stärkerer Bepreisung privater Pkw in den Szenarien S2 im Referenzhochlauf und S7 im Dynamischen Hochlauf. Dies gilt auch in Verbindung mit den anderen Instrumentenbündeln (S5, S6 und S9), sowie für den Dynamischen Hochlauf in Verbindung mit stringenten Umweltpreisen (S7). Hier werden pro Fahrt 28,16 Euro Erlöst, was etwa 10 % über dem Umsatz im Referenzszenario liegt. Höhere Umweltpreise und die Konkurrenz durch einen besseren und günstigeren ÖPNV belasten hingegen die Betriebskosten des Ridepooling und führen in den Szenarien S3, S4 und S8 zu nur geringfügig höheren Umsätzen im Vergleich zum Referenzszenario S1.

Die unterschiedlichen Umsätze kommen dadurch zustande, dass die Fahrtlängen aufgrund der je nach Szenario spezifischen Verkehrsverlagerungen variieren. Längere Fahrten verursachen zum einen entsprechend höhere Betriebskosten seitens der Anbieter. Zum anderen nimmt bei längeren Fahrten der Erlösbeitrag der Festtarife je Kilometer ab. Dies spiegelt sich in den operativen Ergebnissen dergestalt wieder, dass hohe Umweltpreise und insbesondere ein gut ausgebauter ÖPNV den Verlust je Fahrzeugkilometer reduzieren. Der alleinige Ausbau des ÖPNV in Szenario S4 reduziert danach den operativen Verlust um 9 % gegenüber dem vollen Einsatz aller Instrumentenbündel im Szenario S6. Dennoch liegt der operative Verlust in Szenario S4 geringfügig über dem im Referenzszenario S1. Ein signifikanter Einfluss des Dynamischen gegenüber dem Referenz-Hochlauf der Sharing-Angebote ist über die Szenarien S1 bis S9 nicht erkennbar. Allerdings ist der Einfluss der reduzierten Tarife für die Nutzer:innen in Szenario S10 auf Umsatz und operatives Ergebnis unmittelbar. Das sonst konstante Umsatz-Kosten-Verhältnis sinkt hier von 89 % auf 51 % ab.

6.5.3 Interpretation der Ergebnisse

Die hier ermittelten betriebswirtschaftlichen Ergebnisse von Carsharing- und Ridepooling-Angeboten spiegeln den Durchschnitt über Deutschland ohne Berücksichtigung spezifischer Unternehmensgrößen oder Angebotsformen wieder. Kleinere Unternehmen, Angebote in ländlichen Räumen oder free-floating-Angebote im Carsharing könnten hier deutlich schlechter abschneiden als große Anbieter in Metropolregionen. Dennoch lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die operativen Ergebnisse fallen im Ridepooling trotz stark abweichender Kosten- und Tarifstrukturen ähnlich negativ aus wie über die Gesamtheit aller Carsharing-Formen. Durch die direktere Verbindung zwischen Leistung und Einnahmen je Nutzendem im Ridepooling variiert hier das Verhältnis aus Umsatz und Betriebskosten jedoch weit weniger als beim Carsharing.
- Während das Carsharing am ehesten durch hohe Umweltpreise und damit von einem insgesamt starken Umweltverbund profitiert, helfen dem Ridepooling direkte Abgaben für die private Pkw-Nutzung wie Parkgebühren und City-Maut am meisten. Für beide Dienste wirkt sich jedoch die Kombination beider Preisinstrumente vorteilhaft aus.

- Der ÖPNV tritt hier auch stärker als Konkurrent auf. Eine nachhaltige Einbindung des Ride-pooling in den Umweltverbund bedarf entsprechend einer komplementären Planung beider Angebote oder einer vorausschauenden Regulierung, etwa von Bediengebieten und -zeiten, kombinierter Tarife, Umsteigemöglichkeiten oder mittleren Besetzungsgraden (Niemann et al. 2021).
- Ebenfalls für beide Mobilitätsdienste gilt, dass der ohnehin schwierige wirtschaftliche Betrieb durch einen über sinkende Preise stimulierten Markthochlauf vollends verhindert wird. Sollen die Mobilitätsdienste aus umwelt-, verkehrs- oder sozialpolitischen Erwägungen heraus gefördert werden, bedarf dies öffentlicher Unterstützung.

7 Synthese und Handlungsempfehlungen

7.1 Aspekte der Modellierungsumgebung

Die vorliegende Studie hat die Wirkung der geteilten autobasierten Mobilitätsdienste Carsharing und Ridepooling im Rahmen einer verkehrlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Betrachtung für Deutschland insgesamt und nach regionalen Clustern systemdynamisch abgebildet. Nach Auswertung der einschlägigen Fachliteratur bildet dies den ersten Ansatz einer quantifizierten und integrierten volkswirtschaftlichen Bewertung geteilter autobasierter Mobilitätsdienste in dieser Größenordnung und Detailtiefe.

Grundlage für die Modellentwicklung ist das seit 1997 von Fraunhofer ISI und Partnern entwickelte systemdynamische Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA (Assessment of Transport Strategies) und seiner aktuellen Ausprägung ASTRA-M. Die Mobilitätsdienste Carsharing und Ridepooling sowie Formen der Mikromobilität sind integral in diese bewährte, getestete und mittels langer statistischer Zeitreihen kalibrierte Modellumgebung eingebunden. Damit wird die Modalwahl zwischen diesen Diensten und allen anderen Verkehrsmitteln unter dem Einfluss der Politikinstrumente der Szenarien endogen ermittelt, und deren Wirkung auf Verkehrsaufkommen, Treibhausgasemissionen und die Volkswirtschaft sichtbar gemacht.

Umfeldfaktoren und Politikinstrumente sowie Markthochläufe der Mobilitätsdienste wurden in Abstimmung mit der Auftraggeberin dieser Untersuchung entwickelt und in Form der Szenarien S1 bis S10 in ASTRA-M implementiert. Damit ergibt sich ein konsistentes und vergleichbares Bild der Markt- und Nachhaltigkeitspotenziale der Mobilitätsdienste in einer analyse- und prognosefähigen Modellumgebung. Hierin kann die Auswahl politischer Instrumente und Rahmenbedingungen grundsätzlich beliebig erweitert und vertieft werden. Die vorliegende Untersuchung hat aus der Menge möglicher politischer Interventionen die Kernelemente einer umweltorientierten Verkehrspolitik gewählt: Regulierung und Abgaben auf die Pkw-Nutzung über Parkgebühren und City-Maut, Umweltpreise über CO₂-Abgaben, Kraftstoffsteuern und Kaufanreize, Emissionsstandards und die Stärkung des öffentlichen Verkehrs durch Angebotsdichte und Tarife. Dabei wurden für die Szenariodefinition in ASTRA-M Regulierungen und Standards in Kosten und Fahrzeiten übersetzt.

Im Ergebnis zeigt ASTRA-M einen direkten Zusammenhang der Verkehrsleistung nach Verkehrsmitteln zu den Treibhausgasemissionen des Verkehrs. Mit Unterstützung aller verkehrspolitischer Instrumente kann bis 2030 durch die Verlagerung auf ÖPNV, Sharing-Dienste, Rad und Fußverkehr mit einer jährlichen Einsparung von 24 Mt CO₂-eq. gegenüber 2020 gerechnet werden. Nach Wietschel et al. (2022) ergeben sich durch den Ersatz von 12 bis 14 Mio. konventionellen Pkw durch Elektrofahrzeuge vergleichbare Einsparpotenziale. Die zügige Dekarbonisierung der Stromerzeugung spielt hierbei jedoch eine zentrale Rolle. Sievers et al. (2022) identifizieren eine hohe und zunehmende Innovationstätigkeit Deutschlands im Bereich der alternativen Antriebsformen von Pkw. Die Klimaeffekte von Verkehrsverlagerung und Dekarbonisierung des MIV werden sich jedoch nicht gänzlich aufsummieren, da die Nutzung von Elektrofahrzeugen eine Alternative zum Umstieg auf den Umweltverbund darstellen kann.

Das im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte Teilmodell geteilter Mobilitätsdienste unterstellt konstante durchschnittliche Besetzungsgrade im Carsharing und Ridepooling (vgl. Kapitel 4). Besetzungsgrade spielen insbesondere im Ridepooling eine entscheidende Rolle, da sie die Einnahmen der Betreiber pro Fahrt direkt bestimmen. Diese können über Routingalgorithmen, Fahrzeug-

wahl sowie Bedienggebiete und -zeiten durch die Mobilitätsanbieter sowie durch politische Vorgaben beeinflusst werden. Eine endogene Modellierung dieser Entscheidungen in ASTRA-M ist derzeit nicht möglich, weshalb die Besetzungsgrade extern über Szenarien vorgegeben werden müssen.

Ohne betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle ist schließlich auch die endogene Abbildung von Fahrprofilen in ASTRA-M nicht möglich. Diese wäre aber für eine marktnahe Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, und deren Rückkopplung auf das Verkehrsgeschehen, speziell des Ridepoolings von entscheidender Bedeutung. Entsprechend basiert die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Mobilitätsdienste in Abschnitt 6.5 auf Durchschnittswerten für Deutschland. Auch hier bildet die Analyse der Profitabilität von Carsharing- und Ridepooling-Diensten den ersten bekannten Versuch auf nationaler Ebene.

7.2 Empfehlungen zur Förderung automobiler Sharing-Dienste

Ökonomische Instrumente stellen den wirkungsvollsten Hebel zur Förderung automobiler Mobilitätsdienste dar.

Der wirkungsvollste Hebel für die automobilen Sharing-Dienste unter den in dieser Studie untersuchten Politikpaketen ist eine stringente Setzung von Umweltpreisen. Hierzu zählt in erster Linie ein CO₂-Preis deutlich über dem aktuell diskutierten Zielwert von 65 Euro je Tonne CO₂-eq.. Anhaltspunkte für eine alternative Preissetzung gibt die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes zur Schätzung von Umweltkosten (Bünger et al. 2020)). Die Schätzung der Schadenskosten durch die Emission von Treibhausgasen liegt danach bei 195 Euro je Tonne CO₂-eq. 2020 und steigt auf 215 Euro je Tonne CO₂-eq. 2030 bei einer Zeitpräferenz von einem Prozent. Alleine durch dieses Instrument ließe sich der Anteil der Sharing-Dienste von 0,67 % der Wege 2020 auf 1,4 % 2030 heben. Die hauptsächliche Wirkung der CO₂-Preise besteht jedoch weniger in der Förderung einzelner Verkehrsmittel, als vielmehr in der systemischen Minderung der Treibhausgasemissionen aller Sektoren wie Stahlproduktion und Energieerzeugung. Somit können die Sharing-Dienste von einer nicht allein auf den Verkehrssektor zielenden Klimapolitik profitieren.

Die Kombination von Maßnahmen priorisieren

Die analysierten Szenarien zeigen zunächst unterschiedliche Summeneffekte kombinierter Instrumente. Die gemeinsame Implementierung der beiden ökonomischen Instrumente Pkw-Abgaben und Umweltpreise (S5) erzielen für das Jahr 2030 deutlich niedrigere Effekte auf die Modalanteile von Carsharing (Abbildung 6) und Ridepooling (Abbildung 8) wie die Summe der Einzelwirkungen (S2+S3). Im Fall des Carsharing sind +46 % Modalanteil bei stringenten Umweltpreisen (S2) und +98 % bei höheren Pkw-Abgaben (S3) gegenüber +117 % bei deren Kombination (S5) zu erwarten. Vor dem Ziel eines möglichst raschen Markthochlaufs der Mobilitätsdienste könnte demnach auf eine starke Erhöhung des CO₂-Preises zugunsten stringenter Gebühren für die Nutzung privater Pkw verzichtet werden. Dies könnte wichtig sein, da die Durchsetzung eines CO₂-Preises über 200 Euro je Tonne bis 2030 voraussichtlich auf großen politischen Widerstand stoßen wird. Hier bieten lokale Instrumente Gestaltungsfreiheit für die Kommunen und Regionen. Sharing-Dienste müssten in diesem Fall von lokalen Pkw-Abgaben wie Parkgebühren und City-Maut ausgenommen werden um deren Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder zu stärken. In jedem Fall sind jedoch die positiven systemischen Wirkungen einer stringenten CO₂-Bepreisung jenseits der Wirkungen auf die Sharing-Dienste zu berücksichtigen.

Die starke Reaktion der Modellergebnisse auf die zusätzlich zur Kombination der ökonomischen Push-Maßnahmen (S8) abgesenkten Sharing-Tarife (S10) als Beispiel einer Pull-Maßnahme weist darauf hin, dass eine Kombination beider Ansätze viel zur Steigerung des Modalanteils der Sharing-Dienste beitragen kann. In den betrachteten Szenarien wurden allerdings Pull-Maßnahmen nicht

separat gerechnet, womit ein direkter Vergleich der Wirkungsstärken nicht möglich ist. Den Anbietern und Kommunen stehen hier jedoch zusätzliche Instrumente zur Stärkung von Carsharing- und Ridepooling-Diensten zur Verfügung.

Reduzierte Tarife für automobile Mobilitätsdienste benötigen öffentliche Unterstützung.

Neben den ökonomischen Hebeln wie Umweltpreisen und Pkw-Abgaben bietet eine Tarifsenkung der Mobilitätsdienste ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Nutzungszahlen. Unter den untersuchten automobilen Mobilitätsdiensten kann lediglich das stationsgebundene Carsharing aufgrund fixer Mitgliedsbeiträge und geringer Buchungshäufigkeiten je angemeldetem Mitglied kostendeckend operieren. Auch dieses Geschäftsmodell kann schließlich durch Aktivierung der bislang wenig aktiven Nutzer:innen im Zuge der Mobilitätswende bei gleichzeitiger Senkung der buchungsabhängigen Tarife unter Druck geraten. Das operative Ergebnis aus variablen Nutzungsentgelten und Betriebskosten ist im Durchschnitt für alle untersuchten Dienste negativ, womit eine Ausweitung der Nutzungszahlen allein einen wirtschaftlichen Betrieb nicht sichert. Die Anhebung der Monatsbeiträge im stationsgebundenen Carsharing oder deren Einführung in free-floating oder Ridepooling-Diensten könnte die Wirtschaftlichkeit der Dienste unterstützen, wirkt aber auch dem Ziel eines schnellen Markthochlaufs entgegen. Entsprechend der Förderung des ÖPNV heute ließe sich eine öffentliche Unterstützung bis zu 50 % der Betriebskosten rechtfertigen.

Neben der ökologischen Wirkung sind Mobilitätssicherung, Teilhabe und Stauvermeidung wesentliche Gründe für die Förderung automobiler Mobilitätsdienste

Carsharing weist in allen untersuchten Szenarien bis 2030 einen wesentlich größeren Modalanteil an den Wegen auf als das Ridepooling. Zudem sind die mit Carsharing-Fahrzeugen zurückgelegten Wege etwa fünfmal länger als die Strecken im Ridepooling, womit sich die Verkehrsleistung der Dienste noch deutlicher als deren Wegeaufkommen unterscheiden. So beträgt im Referenzszenario 2030 der Anteil der Personenkilometer im Carsharing 0,41 % gegenüber 0,02 % im Ridepooling. Dennoch kann das Ridepooling eine wichtige Funktion insbesondere in dünn besiedelten Regionen und in Nebenverkehrszeiten als Alternative und Ergänzung zum dort oft dünn ausgebauten ÖPNV erfüllen. Modellprojekte in Deutschland und internationale Erfahrungen zeigen, dass an sozialen Kriterien ausgerichtete Ridepooling-Dienste die Mobilität der Menschen in ländlichen Räumen besser und effizienter abdecken können als der linien- und fahrplangebundene ÖPNV mit großen Fahrzeugen (Viergeutz et al. 2019). Ein Indiz hierfür ist die Bandbreite der Umsatz-Kosten-Verhältnisse im Ridepooling aus Tabelle 9 zwischen 0,50 und 0,90 gegenüber einem durchschnittlichen Kostendeckungsgrad im ÖPNV von knapp über 50 %. Die Förderung von Sharing-Diensten alleine über die zu erwartenden Modalanteile muss entsprechend durch verkehrs- und gesellschaftspolitische Überlegungen ergänzt werden.

Städte haben eine große Gestaltungsmacht im Mobilitätssektor, brauchen für deren Umsetzung jedoch organisatorische Unterstützung.

Der überwiegende Teil der Nachfrage nach Carsharing- und Ridepooling-Diensten findet in Städten und Metropolen statt. Zwar wachsen die Modalanteile insbesondere des Ridepooling in kleinstädtischen und ländlichen Räumen schneller als in Metropolen. Im Referenzszenario S1 liegt der Modal Split der Wege in Metropolen jedoch um den Faktor 3,3 für Carsharing und 2,5 für Ridepooling über den Modalanteilen in kleinstädtischen und ländlichen Räumen. Kommunen haben wesentliche Freiheitsgrade in der Auslegung und Ausgestaltung von Flächennutzung, Gewerbebetrieben und der Anwendung von Sonder- und Experimentierklauseln in StVO und PBefG. Mobilität spielt eine immer wichtigere Rolle für die mittelfristigen Entscheidungen der meisten Kommunen (Kühl et al.

2021). Automobile Mobilitätsdienste sind dabei ein verglichen mit ÖPNV-Maßnahmen schnell umsetzbares und flexibel anpassbares und relativ kostengünstiges Instrument zur Aufwertung des Mobilitätsangebots.

Über Unternehmenslizenzen, die Freigabe von Verkehrswegen und Parkplätzen, Infrastrukturinvestitionen sowie über Abgaben und Gebühren können sie die geteilten Mobilitätsdienste fördern oder behindern. Zur Nutzung dieser Gestaltungsmacht im Sinne einer nachhaltigen Verkehrspolitik und der Förderung neuer und innovativer Konzepte müssen insbesondere in kleineren Städten und ländlichen Kommunen lokale Verwaltungen auch durch zusätzlicher Planerstellen, Finanzmittel und einen ermöglichenden Rechtsrahmen gestärkt und unterstützt werden (BMVI 2021; Krauss et al. 2021). Die Kommunen selbst haben die Aufgabe, Für und Wider der Förderung automobiler Sharing-Dienste abzuwägen und gegebenenfalls entsprechende Konzepte umzusetzen.

Das Potenzial der Dienste in urbanen Räumen hängt unter anderem von gewachsenen Verkehrsinfrastrukturen und Angeboten, von Raumstrukturen und Verkehrsströmen, von der Ausrichtung der lokalen Politik, Verwaltung und Verkehrsunternehmen und nicht zuletzt von Werten und Einstellungen der Bürgerinnen und Bürger ab. Diese Details werden in ASTRA-M nicht für einzelne Metropolen und Regionen abgebildet, womit sich die Ergebnisse zwischen diesen unterschiedlich darstellen könnten.

Geteilte Mobilitätsdienste benötigen kontinuierliche Innovationen.

Die entscheidenden Innovationen, welche den geteilten Mobilitätsdiensten zum Durchbruch verholfen haben, waren leistungsfähige digitale Endgeräte und bezahlbares mobiles Internet ab den 2000er Jahren. Hieraus entwickelten sich bisher die verschiedenen Formen des Carsharings und Ridepoolings. Diese sind für die Nutzer:innen einfach buchbar; bezüglich der Alltagstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit bestehen jedoch noch erhebliche Fragezeichen.

Für die bessere Einsetzbarkeit des Carsharings im Alltag, bei dem auch Einwegfahrten eine Rolle spielen können, werden neben stationsgebundenem und free-floating-Carsharing auch hybride Buchungsformen angeboten. Hierin können Fahrzeuge an anderen als der Ausleihstation abgegeben werden (vgl. Abschnitt 2.1.1). Relevant sind diese vornehmlich im ländlichen Raum mit langen Fahrstrecken.

Bei den meisten Mobilitätsdiensten handelt es sich um lokale Lösungen, bei denen Zugänge nur für eine Region gewährt werden. Selbst bei Anbietern, welche in mehreren Städten vertreten sind, kann die Nutzung in mehreren Tarifgebieten verweigert werden oder aufwändig sein. Roaming-Konzepte ähnlich des Mobilfunks könnte die Mobilität von Menschen ohne eigenen Pkw erleichtern und damit die Akzeptanz der Dienste weiter erhöhen.

Das Konzept des Mobility-as-a-Service (MaaS) verspricht, über die tiefe Integration verschiedener Mobilitätsdienste den Zugang zu multimodalen Angeboten soweit zu vereinfachen, dass eine nahtlose Mobilität ähnlich dem Pkw möglich wird. "Tiefe Integration" bedeutet dabei gemeinsame Schnittstellen für Information und Bezahlung, sowie ggf. gemeinsame Infrastrukturen über alle Angebote hinweg. Beispiele für aktuelle MaaS-Plattformen sind Trafi (Vilnius), Whim (Helsinki). Beide stellen ihre Plattform-Architektur als "White Label"-Lösung auch anderen Städten zur Verfügung. So basieren die Mobilitätsplattformen Jelbi aus Berlin der MVG und aus München auf der Trafi-Technologie. Das Einbinden einzelner Verkehrsmittel und Angebote ist jedoch aufwändig, da gemeinsame Schnittstellen fehlen. Hier wären Standards und Innovationen hin zu einem einheitlichen Mobilitäts-Ökosystem für mehr Effizienz und Flexibilität der MaaS-Systeme wünschenswert.

Kernpunkt eines effizienten Mobilitäts-Ökosystems ist eine sichere und leistungsfähige Datenhaltung und -verarbeitung, sowie ein transparenter Datenaustausch. Mobility Data Space-Konzepte

erlauben beispielsweise den Austausch von Informationen zwischen Unternehmen sowie mit Nutzer:innen unter der Wahrung vereinbarter Niveaus von Privatheit und Sicherheit. BlockChain oder ähnliche Krypto-Technologien bieten hier die Möglichkeit vertragsrechtliche Aspekte vertraulich zu verarbeiten. Deutschland und deutsche Fahrzeughersteller befindet sich hier noch auf einem hohen Innovationsniveau, wird sich jedoch vermehrt der Konkurrenz aus China, Korea und anderen asiatischen Staaten stellen müssen (Sievers et al. 2022).

7.3 Rolle der automobilen Sharing-Dienste in einer nachhaltigen Verkehrs- und Klimapolitik

Förderung von Sharing-Diensten als politisches Ziel

Im Zentrum einer nachhaltigen Verkehrspolitik steht die schnelle Reduktion der Treibhausgasemissionen auf 55 % 2030 gegenüber 1990. Hierzu tragen die autobasierten geteilten Mobilitätsdienste selbst nichts oder nur vernachlässigbar wenig bei. Die Analyse der Szenarien in Abschnitt 6.4.1 zeigen jedoch, dass die für die Mobilitätsdienste förderlichen Bedingungen, insbesondere stringente Umweltpreise und Pkw-Abgaben, ebenso wirksam für die Reduktion der Treibhausgase insgesamt sind. Szenario S5 ermittelt eine Treibhausgasreduktion von 18,6 % bei gleichzeitigem Wachstum des Modalanteils des Carsharing um 117 % und des Ridepooling um 192 % gegenüber 2020. Mit gleichzeitiger Förderung des ÖPNV in Szenario S6 ist sogar eine Treibhausgasreduktion von 24 % 2030 gegenüber 2020 bei immer noch hohen Wachstumsraten der Sharing-Dienste möglich. Entsprechend kann eine wirksame Klimapolitik durchaus Hand in Hand mit der Förderung automobiler Mobilitätsdienste gehen.

Weitere Ziele einer nachhaltigen Verkehrspolitik liegt in der sozialen Integration und der Schaffung gleichwertiger Lebensverhältnisse. Ein wichtiger Bestandteil hiervon ist die Mobilitätsversorgung in ländlichen Räumen. Hier können Sharing-Dienste eine wertvolle Ergänzung des ÖPNV darstellen. Gute Lebensverhältnisse in Städten zielen auf die Abkehr von der autogerechten Stadt hin zu mehr qualitativ hochwertigen Flächen für Aufenthalt und aktive Mobilitätsformen wie den Rad- und Fußverkehr ab. Der Beitrag autobasierter Mobilitätsdiensten hierzu ist differenziert zu betrachten. Einerseits kann der Platzbedarf des ruhenden Kfz-Verkehrs durch verminderten privaten Autobesitz freigemacht werden, andererseits werden Teile des Rad- und Fußverkehrs auf autobasierte Dienste verlagert und somit das Verkehrsaufkommen gesteigert. Intelligente Flächennutzungskonzepte können den negativen Auswirkungen jedoch entgegengesetzt werden.

Die Verkehrssicherheit bildet eine weitere zentrale Säule einer umfassend nachhaltigen Verkehrssicherheit. Bis 2030 verfolgt die Bundesregierung mit dem Konzept "Vision Zero" das Ziel, die Zahl Schwerverletzter und Toter im Straßenverkehr gegenüber 2020 um 40 % zu reduzieren. Ridepooling-Dienste können dieses Ziel durch die Reduktion des MIV unterstützen. Dieser Vorteil ist jedoch gegen die Klima-, Umwelt- und Lärmwirkungen sowie den Verzicht auf die Gesundheitswirkungen aktiver Mobilität bei nennenswerten Verkehrsverlagerungen von diesen Verkehrsarten auf automobiler Mobilitätsdienste aufzuwiegen.

Carsharing und Ridepooling müssen in den ÖPNV integriert werden.

Durch eine Kombination von Push- und Pull-Maßnahmen, etwa in Szenario S6, ist eine Minderung der THG-Emissionen aller Verkehrsbereiche um 24 % gegenüber 2020 bei einem gleichzeitigen Wachstum des Carsharings um 86 % und des Ridepoolings um 176 % möglich. Gegenüber dem Szenario S5 ohne ÖPNV-Förderung ergibt sich damit ein Trade-Off zwischen einer konsequent klimaorientierten und einer auf geteilte autobasierte Mobilitätsdienste fokussierten Verkehrspolitik.

Dieser Trade-Off kann durch die enge Verzahnung der Mobilitätsdienste mit dem ÖPNV aufgelöst werden. Dazu müssen sich jedoch in vielen Regionen die Geschäftsmodelle und das Selbstverständnis des ÖPNV öffnen. Der traditionelle fahrplangebundene Linienverkehr mit großen Fahrzeugen, welcher durch geringeren Autobesitz noch bis in die 1980er-Jahre gut funktioniert hat, ist mittlerweile in den meisten ländlichen Regionen unrentabel und wird entsprechend immer weiter ausgedünnt. Nachfrageorientierte und flexible Angebotsformen können den ÖPNV hier gut ergänzen. Entsprechende Hinweise geben die Ergebnisse des ASTRA-M-Modells zum Wachstumspotenzial von Ridepooling-Diensten in kleinstädtischen und ländlichen Regionen. Hierfür sind Beihilfen für entsprechende Mobilitätsangebote rechtlich abzusichern und verbindlich zu benennen. Über Kooperationsvereinbarungen der lokalen Akteure sind ferner konkurrierende Angebote von ÖPNV und Sharing-Anbietern zu vermeiden sowie Informationen, Tarife und beiderseitige Anbindungen verlässlich bereitzustellen. Hierfür sollten kleinere Kommunen und Verkehrsunternehmen organisatorische und finanzielle Unterstützung etwa über die kommunalen Spitzenverbände erhalten.

Verlagerung von Rad, Fuß, Mikromobilität auf autobasierte Dienste begrenzen

Aus den Ergebnissen des ASTRA-M-Modells zu den Modalanteilen aller Verkehrsmittel ergibt sich auch eine Verlagerung von Rad- und Fußverkehr auf automobile Dienste. Dies gilt insbesondere für free-floating Carsharing- und Ridepooling-Dienste in Metropolen. Im Sinne einer insgesamt nachhaltigen Verkehrspolitik ist dieser Tendenz einerseits durch den weiteren Stadtumbau für mehr Rad- und Fußverkehrsfreundlichkeit, und andererseits durch die Regulierung von Bedienebenen und Preisstrukturen der Sharing-Angebote entgegenzuwirken. Die Ziele und Vorschläge des Nationalen Radverkehrsplans 3.0 der Bundesregierung sowie der Radverkehrspläne der Bundesländer weisen in eine gute Richtung. Die hierin angedachten Mittel für den Ausbau moderner Mobilitätssysteme stehen allerdings unter Haushaltsvorbehalt. Es besteht die Gefahr, diese Vorsätze durch eine Haushaltskonsolidierung aufgrund der COVID-19-bedingten Ausgaben signifikant abzuschwächen.

Weitere Instrumente - Die Regulierung von Besetzungsgraden im Ridepooling

Die Sensitivitätsrechnung zum Einfluss von Besetzungsgraden im Ridepooling ergibt einen kleinen, aber dennoch sichtbaren Effekt von bis zu +0,06 % der Emissionen im Personenverkehr insgesamt bei nur einem Fahrgast je Fahrt im Ridepooling. Über die Betriebserlaubnis der Anbieter kann ein durchschnittlicher Mindestbesetzungsgrad beispielsweise pro Monat oder Jahr bestimmt und eingefordert werden. Zur Wahrung einer Mobilitätsgarantie auch bei flexiblen Bedienformen durch Sharing-Dienste ist die Forderung von Mindestbesetzungsgraden jedoch nicht auf einzelne Fahrten oder kurze Berichtszeiträume anzuwenden.

Aufgrund der noch geringen verkehrlichen Bedeutung ist der klimapolitische Hebel dieser Maßnahme zwar gering, der organisatorische und finanzielle Aufwand jedoch ebenfalls. Entsprechend ist eine Berichtspflicht und eine an deren Ergebnis geknüpfte Lizenzierung und Unterstützung der Ridepooling-Angebote empfehlenswert.

7.4 Rolle von Innovation und neuen Antriebssystemen

Patent- und Marktanalysen bestätigen den nach wie vor hohen Innovationsgrad der deutschen Automobilindustrie in den Bereichen neuer Antriebe und des automatisierten Fahrens (vgl. Los 1 der Schwerpunktstudie Nachhaltige Mobilität). Mit zahlreichen Pilotanwendungen autonomer Shuttle-dienste im ÖPNV nimmt Deutschland ebenfalls eine international bedeutsame Rolle bei der Entwicklung und Erprobung neuer Mobilitätsdienste ein. Mit dem Gesetz zum Automatisierten Fahren hat die Bundesregierung diesen Prozess auch juristisch in einem frühen Stadium vorangetrieben (Sievers et al. 2022).

Mit Via Transportation, SHARE NOW und REACH NOW oder MOIA engagieren sich die deutschen Automobilhersteller direkt in der Entwicklung neuer Mobilitätsdienste. Neben deren Kerngeschäft bilden diese Vertriebs- und Marketing-Kanäle in der Zukunft einen wesentlichen Bereich der automobilen Wertschöpfung. Innovation in Digitalisierung und Automatisierung sind essentiell, um sich gegen neu in den Mobilitätsmarkt drängende Wettbewerber aus der Tech-Branche wie Google, Apple oder Tencent behaupten zu können. Gelingt dies nicht, werden möglicherweise einige der klassischen OEMs und Zulieferer nicht am Markt bestehen (Doll et al. 2019a).

Die laufenden Pilotprojekte mit autonomen Shuttles im ÖPNV können als Reallabor und Testfeld für digitale Technologien in geschützten Umgebungen betrachtet werden. Offen ist hierbei noch die Frage, inwieweit verbesserte digitale Netze und intelligente Infrastrukturen für deren sicheren Betrieb notwendig sind. In jedem Fall muss das Spannungsfeld aus Verkehrssicherheit versus Innovationsförderung politisch diskutiert und strategisch entschieden werden.

Klimaneutralität und Nachhaltigkeit werden in vielen nationalen, kommunalen und wirtschaftlichen Bereichen immer bedeutsamer. Geteilte autobasierte Mobilitätssysteme können hier einen Beitrag leisten, sind aber nicht per se nachhaltig. Neben Regulierungen der Systeme spielen klima- und umweltfreundliche Antriebe deshalb eine zentrale Rolle für deren Legitimation. Im Nahverkehr bietet sich die Elektrifizierung an. Mit hohen Laufleistungen und größeren Fahrzeugen bieten sich im ÖPNV auch Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antriebe an, und werden vielerorts seit längerem eingesetzt. Umweltvorteile ergeben sich dabei jedoch nur bei Einsatz von grünem Wasserstoff, welcher jedoch energieintensiv in der Erzeugung ist und in der Industrie beispielsweise zur Herstellung von grünem Stahl dringend benötigt wird (Wietschel et al. 2022).

Mit der Verpflichtung geteilter Dienste zu emissionsfreien Antrieben könnten autobasierte Mobilitätsdienste auch hier ein Testfeld für neue Technologien und Kraftstoffe darstellen. Jedoch muss parallel die Energiewende vorangetrieben werden. Betriebliche Nachteile, etwa durch die im Personenbeförderungsgesetz festgeschriebene Rückkehrpflicht privater Mobilitätsanbieter oder die begrenzte Laufzeit von Angeboten unter dessen Experimentierklausen müssen an die Anforderungen alternativer Antriebe angepasst werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bekanntheitsgrad geteilter Mobilitätsdienste in deutschen Städten.....	23
Abbildung 2:	Nutzungsbereitschaft geteilter Mobilitätsdienste in deutschen Städten.....	23
Abbildung 3:	Aufbau der Modellierung des Personenverkehrsmoduls in ASTRA.....	27
Abbildung 4:	Entwicklungsszenarien des Carsharing-Angebots.....	33
Abbildung 5:	Modalanteile des Carsharing an Wegen bis 2025 und 2030 nach Raumtyp und für alle Szenarien.....	41
Abbildung 6:	Relative Änderung der Modalanteile des Carsharing an Wegen nach Raumtypen und Szenarien bis 2030 gegenüber 2020.....	42
Abbildung 7:	Modalanteile des Ridepoolings an Wegen bis 2025 und 2030 nach Raumtyp und für alle Szenarien.....	43
Abbildung 8:	Relative Änderung der Modalanteile des Ridepooling an Wegen nach Raumtypen und Szenarien bis 2030 gegenüber 2020.....	44
Abbildung 9:	Entwicklung der Modalanteile an Wegen in Deutschland gesamt bis 2025 und 2030 nach Modus und für alle Szenarien.....	45
Abbildung 10:	Entwicklung der Modalanteile an Wegen in Metropolregionen bis 2025 und 2030 nach Modus und für alle Szenarien.....	46
Abbildung 11:	Entwicklung der Anteile des Carsharing an den Personenkilometern nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien.....	47
Abbildung 12:	Entwicklung der Anteile des Ridepooling an den Personenkilometern nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien.....	48
Abbildung 13:	Entwicklung der Fahrzeugkilometer des Carsharing nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien.....	49
Abbildung 14:	Entwicklung der Fahrzeugkilometer des Ridepooling nach Raumtyp bis 2025 und 2030 und für alle Szenarien.....	50
Abbildung 15:	Entwicklung der jährlichen THG-Emissionen bis 2025 und 2030 und allen Szenarien.....	51
Abbildung 16:	Entwicklung der relativen Änderungen der jährlichen THG-Emissionen gegenüber 2020 für 2025 und 2030 und allen Szenarien.....	52
Abbildung 17:	Relative Änderung der THG-Emissionen bzgl. Änderungen des Besetzungsgrads im Ridepooling für 2020, 2025 und 2030.....	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Carsharing-Fahrzeugdichte in Deutschland, Januar 2021	12
Tabelle 2:	Ridepooling-Fahrzeugdichte in Deutschland, Januar 2021	14
Tabelle 3:	Geschäftsmodelle und Integrationstiefe von Mobilitätsplattformen.....	19
Tabelle 4:	Kategorisierung Metropolen und kleinstädtisch-ländlicher Raum	31
Tabelle 5:	Parameter der Markthochläufe	34
Tabelle 6:	Parameter der Umfeldfaktoren	38
Tabelle 7:	Zusammensetzung der Gesamtszenarien aus Markthochlauf und Umfeldfaktoren	39
Tabelle 8:	Durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Carsharing-Dienste für mittlere Reisedistanzen	55
Tabelle 9:	Durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Ridepooling- Dienste.....	57

1 Literatur

- acatech (2021): Datenraum Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/projekt/datenraum-mobilitaet/>, zuletzt geprüft am 28.08.2021.
- bcs (2021): Carsharing-Statistik. Aktuelle Zahlen und Fakten zum CarSharing in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen>, zuletzt geprüft am 16.08.2021.
- Becker, H.; Loder, A.; Schmid, B.; Axhausen, K. W. (2017): Modeling car-sharing membership as a mobility tool: A multivariate Probit approach with latent variables. In: Travel Behaviour and Society, 8, S. 26–36.
- BMU (2016): Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.
- BMVI (2019a): Deutsches Mobilitätspanel. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/G/deutsches-mobilitaetspanel.html>, zuletzt geprüft am 02.12.2019.
- BMVI (2019b): Mobilität in Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/index.html>, zuletzt geprüft am 02.12.2019.
- BMVI (2020a): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR). Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>, zuletzt geprüft am 11.01.2020.
- BMVI (2020b): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR). Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>, zuletzt geprüft am 11.01.2020.
- BMVI (2020c): Wir machen den Straßenverkehr noch sicherer, klimafreundlicher und gerechter. Bundesminister Scheuer zur StVO-Novelle am 15.05.2020:. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/stvo-novelle-sachinformationen.html>.
- BMVI (2021): Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Fahrradland Deutschland 2030. Berlin: ifok GmbH; PTV AG, Fraunhofer ISI.
- Bösch, P. M.; Becker, F.; Becker, H.; Axhausen, K. W. (2018): Cost-based analysis of autonomous mobility services. In: Transport Policy, 64, S. 76–91.
- Bundesregierung (2021a): Kaufprämie für Elektroautos erhöht. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/kaufpraemie-fuer-elektroautos-erhoeht-369482>, zuletzt geprüft am 16.08.2021.
- Bundesregierung (Hrsg.) (2021b): Gesetz zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts. PBefRMoG.
- Bürger, B.; Matthey, A. (2020): Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Burghard, U.; Dütschke, E. (2019): Who wants shared mobility?: Lessons from early adopters and mainstream drivers on electric carsharing in Germany. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 71, S. 96–109.
- Chan, N. D.; Shaheen, S. A. (2012): Ridesharing in North America: Past, Present, and Future. In: Transport Reviews, 32 (1), S. 93–112.

- Christ, P. (2021): The Innovative Mobility Landscape. The Case of Mobility as a Service. Paris: World Business Council for Sustainable Development.
- Clewlöw, R. R. (2016): Carsharing and sustainable travel behavior: Results from the San Francisco Bay Area. In: Transport Policy, 51, S. 158–164.
- Cohen, B. (2021): The MaaS Monetization Matrix by Iomob. Online verfügbar unter <https://boydcohen.medium.com/the-maas-monetization-matrix-by-iomob-a8cc17be5aa>, zuletzt geprüft am 24.08.2021.
- CUBIC (2018): Mobility as a Service. Putting Transit Front and Center of the Conversation. San Diego: Cubic Transportation Systems inc.
- Deutscher Bundestag (Hrsg.) (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz. KSG.
- Doll, C.; Grimm, A.; Wietschel, M.; Funke, S. (2019a): Alternative Mobilität. Herausforderungen und Perspektiven für Umwelt und Automobilindustrie. Frankfurt: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Doll, C.; Krauss, K.; Luchmann, I.; Niemeier, E.; Quante, N.; Ritschny, J.; Scherf, C.; Schuler, J.; Schürmann, R. (2019b): Verlagerungswirkungen und Umwelteffekte veränderter Mobilitätskonzepte im Personenverkehr. Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Dubois, D. (2020): MaaS in Europe. Lessons from the Helsinki, Vienna and Hanover experiments. Synthesis 2019.
- Ensslen, A.; Gnann, T.; Jochem, P.; Plötz, P.; Dütschke, E.; Fichtner, W. (2018): Can product service systems support electric vehicle adoption? In: Transportation Research Part A: Policy and Practice.
- EU-Kommission (Hrsg.) (2017): Delegierte Verordnung (EU) 2017/1926 der Kommission - vom 31. Mai 2017 - zur Ergänzung der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationsdienste.
- Fermi, F.; Fiorello, D.; Krail, M.; Schade, W.; Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research -ISI- (Karlsruhe) (Ed.): (2014): Description of the ASTRA-EC model and of the user interface. Deliverable D4.2 of ASSIST (Assessing the Social and Economic Impacts of Past and Future Sustainable Transport Policy in Europe). Karlsruhe: Project co-founded by European Commission 7th RTD Programme.
- Ghaffar, A.; Mitra, S.; Hyland, M. (2020): Modeling determinants of ridesourcing usage: A census tract-level analysis of Chicago. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 119, S. 102769.
- Giesel, F.; Nobis, C. (2016): The Impact of Carsharing on Car Ownership in German Cities. In: Transportation Research Procedia, 19, S. 215–224.
- Göddeke, D.; Krauss, K.; Gnann, T. (2021): What is the role of carsharing toward a more sustainable transport behavior? Analysis of data from 80 major German cities. In: International Journal of Sustainable Transportation, S. 1–13.
- Handke, V.; Jonuschat, H. (2013): Flexible ridesharing. New opportunities and service concepts for sustainable mobility. Berlin: Springer.
- Harms, S.; Truffer, B. (1998): The Emergence of a Nation-wide Carsharing Co-operative in Switzerland. Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz.
- HBEFA: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Infras AG: Bern.

- Jenn, A. (2020): Emissions benefits of electric vehicles in Uber and Lyft ride-hailing services. In: *Nature Energy*, 5 (7), S. 520–525.
- Jochem, P.; Frankenhauser, D.; Ewald, L.; Ensslen, A.; Fromm, H. (2020): Does free-floating carsharing reduce private vehicle ownership? The case of SHARE NOW in European cities. In: *Transportation research. Part A, Policy and practice*, 141, S. 373–395.
- Kang, S.; Mondal, A.; Bhat, A. C.; Bhat, C. R. (2021): Pooled versus private ride-hailing: A joint revealed and stated preference analysis recognizing psycho-social factors. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, S. 102906.
- Knie, A.; Ruhrort, L. (2020): Ride-Pooling-Dienste und ihre Bedeutung für den Verkehr. Nachfragemuster und Nutzungsmotive am Beispiel von "CleverShuttle". - eine Untersuchung auf Grundlage von Buchungsdaten und Kundenbefragungen in vier deutschen Städten.
- König, A.; Gripenkoven, J. (2020): Modelling travelers' appraisal of ridepooling service characteristics with a discrete choice experiment. In: *European Transport Research Review*, 12 (1).
- Krail, M. (2020): Auto tankt Internet. Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur. Karlsruhe, Berlin.
- Krail, M.; Schade, W.; Fermi, F.; Fiorello, D.; Laparidou, K. (2014): Approach and Results of the Validation of the ASTRA-EC Model. Deliverable D5.1 of ASSIST (Assessing the Social and Economic Impacts of Past and Future Sustainable Transport Policy in Europe). Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Krauss, K.; Göddeke, D.; Gnann, T. (2020a): What drives the usage of shared transport services?: An impact analysis of supply and utilization of mobility services in German cities. In: 20th Swiss Transport Research Conference, Monte Verità / Ascona, May 13-15, 2020.
- Krauss, K.; Scherrer, A.; Burghard, U.; Doll, C.; Schuler, J.; Niessen, P. (2021): Shared Mobility Facts. Wie lassen sich (geteilte) Mobilitätsdienste erfolgreich in kommunale Mobilitätssysteme integrieren – und wer nutzt sie? Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Krauss, K.; Scherrer, A.; Burghard, U.; Schuler, J.; Burger, A.; Doll, C. (2020b): Sharing Economy in der Mobilität – Potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Kühl, C.; Hollbach-Grömig, B. (2021): OB-Barometer 2021. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Lempert, R.; Zhao, J.; Dowlatabadi, H. (2019): Convenience, savings, or lifestyle?: Distinct motivations and travel patterns of one-way and two-way carsharing members in Vancouver, Canada. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 71, S. 141–152.
- Luca, S. de; Di Pace, R. (2015): Modelling users' behaviour in inter-urban carsharing program: A stated preference approach. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 71, S. 59–76.
- Massa, L.; Tucci, C. L.; Afuah, A. (2017): A Critical Assessment of Business Model Research. In: *Academy of Management Annals*, 11 (1), S. 73–104.
- Merkert, R.; Bushell, J.; Beck, M. J. (2020): Collaboration as a service (CaaS) to fully integrate public transportation – Lessons from long distance travel to reimagine mobility as a service. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, S. 267–282.

- Mishra, G. S.; Clewlow, R. R.; Mokhtarian, P. L.; Widaman, K. F. (2015): The effect of carsharing on vehicle holdings and travel behavior: A propensity score and causal mediation analysis of the San Francisco Bay Area. In: *Research in Transportation Economics*, 52, S. 46–55.
- Mobility Inside (2021): Wir machen Mobilität digital. Aus der Branche für die Branche. Online verfügbar unter <https://www.mobility-inside.de/plattform-app>, zuletzt geprüft am 28.08.2021.
- Monopolkommission (2021): 8. Sektorgutachten Bahn. Wettbewerb in den Takt! Sektorgutachten der Monopolkommission gemäß § 78 ERegG.
- Müller, S. C.; Böhm, M.; Kremer, H.; Welp, I. M. (2016): Machbarkeitsstudie: Geschäftsmodelle in der digitalen Wirtschaft. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation.
- Namazu, M.; Dowlatabadi, H. (2018a): Vehicle ownership reduction: A comparison of one-way and two-way carsharing systems. In: *Transport Policy*, 64, S. 38–50.
- Namazu, M.; MacKenzie, D.; Zerriffi, H.; Dowlatabadi, H. (2018b): Is carsharing for everyone?: Understanding the diffusion of carsharing services. In: *Transport Policy*, 63, S. 189–199.
- Niemann, J.; Stegemann, T. (2021): Innovationspapier zur automatisierten und fahrelosen Personenbeförderung. Nürnberg: Rödl & Partner.
- Ortgiese, M.; Recknagel, C.; Huber, C.; Hilti, F. (2019): DG4MaaS. Daten-Governance Regeln für Mobility as a Service. Potsdam: Fachhochschule Potsdam.
- Osterwalder, A.; Pigneur, Y. (2013): Business model generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. New York: Wiley&Sons.
- Reck, D. J.; Axhausen, K. W. (2020): Subsidized ridesourcing for the first/last mile: how valuable for whom?,
- Ringwald, R.; Cagan, T.-P. (2019): Gute Straßen für Alle. Modernes Straßenverkehrsrecht für Fahrrad, Umweltverbund und MIV. Rechtsgutachten. Berlin: Becker Büttner Held.
- Rodi, M.; Schäfer-Stradowsky, S.; Doderer, H.; Burzlaff, C.; Sterniczuk, T. (2017): Digitale Mobilitätsplattformen. Studie zur rechtlichen Weiterentwicklung des Personenbeförderungsgesetzes unter besonderer Berücksichtigung digitaler Mobilitätsplattformen. Berlin: Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität.
- Rube, S.; Ackermann, T.; Kagerbauer, M.; Loose, W.; Nehre, G.; Wirtz, M.; Zappe, F. (2020): Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte. Teilpapier 3: Multi- und intermodale Mobilitätsdienstleistungen und intermodale Verknüpfungspunkte.
- Schürmann, R.; Ritschny, J. (2019): Auswirkungen eines liberalisierten Rideselling-Marktes auf Verkehr und Umwelt. Analyse auf Grundlage der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS). Karlsruhe: PTV Transport Consult GmbH.
- Shaheen, S.; Cohen, A. (2018): Shared ride services in North America: Definitions, impacts, and the future of pooling. In: *Transport Reviews*, S. 1–16.
- Sievers, L.; Grimm, A. (2022): Innovationstätigkeit des Automobilsektors - Analyse mit Fokus auf nachhaltigen Antriebstechnologien und Digitalisierung. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 8-2022. Berlin: EFI.
- Sievers, L.; Grimm, A.; Doll, C. (2019): Transformation der Mobilität - Bestimmung der Beschäftigungseffekte in 2035 mit einem Input-Output-Modell. Arbeitspapier 4 des Projektes im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung: Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

- Sochor, J.; Arby, H.; Karlsson, I. M.; Sarasini, S. (2018): A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. In: *Research in Transportation Business & Management*, 27, S. 3–14.
- SRU (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Umweltgutachten 2020. Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU).
- Tirachini, A.; Chaniotakis, E.; Aboulela, M.; Antoniou, C. (2020): The sustainability of shared mobility: Can a platform for shared rides reduce motorized traffic in cities? In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, S. 102707.
- UBA (2019): Kein Grund zur Lücke. So erreicht Deutschland seine Klimaschutzziele im Verkehrssektor für das Jahr 2030. Dessau-Roßlau.
- United Nations (Hrsg.) (2017): Neue Urbane Agenda.
- VDV (2020): VDV-Statistik 2019. Köln.
- Viergeutz, K.; Brinkmann, F. (2019): Ridepooling – ein Erfolgsmodell? Digitalisierung im Nahverkehr: Ride-pooling – a model for success? Digitisation in local public transport. In: *Signalling + Datacommunication*, 110 (7+8/2019), S. 13–18.
- Wietschel, M.; Biemann, K.; Link, S.; Helms, H. (2022): Langfristige Umweltbilanz und Zukunftspotenzial alternativer Antriebstechnologien. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 9-2022. Berlin: EFI.
- Wirtz, B. W.; Pistoia, A.; Ullrich, S.; Göttel, V. (2016): Business Models: Origin, Development and Future Research Perspectives. In: *Long Range Planning*, 49 (1), S. 36–54.
- Xu, Y.; Yan, X.; Liu, X.; Zhao, X. (2021): Identifying key factors associated with ridesplitting adoption rate and modeling their nonlinear relationships. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 144, S. 170–188.
- Yan, X.; Levine, J.; Zhao, X. (2019): Integrating ridesourcing services with public transit: An evaluation of traveler responses combining revealed and stated preference data. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, S. 683–696.
- Yoon, T.; Cherry, C. R.; Jones, L. R. (2017): One-way and round-trip carsharing: A stated preference experiment in Beijing. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, S. 102–114.
- Zhou, F.; Zheng, Z.; Whitehead, J.; Washington, S.; Perrons, R. K.; Page, L. (2020): Preference heterogeneity in mode choice for car-sharing and shared automated vehicles. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, S. 633–650.