

Auto FipS

AUTOMATISIERTES FAHREN IN
PERIPHEREN SIEDLUNGSSTRUKTUREN

Kontakt

IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH
Hofer Straße 2-4
09353 Oberlungwitz

Autoren

Stefan Richter, M.Sc.
Dipl.-Kfm. Dipl.-Vw. Marco Rehme

Studie in Auftrag gegeben und finanziert vom
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)



Auto FipS

AUTOMATISIERTES FAHREN IN PERIPHEREN SIEDLUNGSSTRUKTUREN

Potentiale zur Bewältigung demographieinduzierter Immobilität

Förderkennzeichen: 16AVF2002A

IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH



August 2018



I.	Management Summary	6 – 8
II.	Ziele, Inhalte und Hintergrund der Studie	9 – 11
III.	Mobilitätskonzepte und Use Cases	12 – 37
IV.	Standortanalyse zur Testfelderschließung	38 – 51
V.	Testfelder für AMoD-Konzepte	52 – 69
VI.	Betreibermodelle und Lebenszykluskosten	70 – 100
VII.	Barrieren und Realisierungshemmnisse	101 – 109
VIII.	Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse	110 – 117
IX.	Anhang	118 – 131
X.	Literaturverzeichnis	132 – 139



I.	Management Summary	6
	Facts and Figures	7
	Handlungsempfehlungen	8
II.	Ziele, Inhalte und Hintergrund der Studie	9
	Vorwort und Studienhintergrund	10
III.	Mobilitätskonzepte und Use Cases	12
	Konventionelle Mobilität in peripheren Siedlungsstrukturen	13
	Mobilitätskonzepte mit Flexibilisierungsoptionen	18
	Mobilitätskonzepte für autonome Fahrzeuge (AMoD)	24
	Mobilitätseingeschränkte Personen	30
	Use Cases: AMoD-Konzepte für Mobilitätseingeschränkte	33
IV.	Standortanalyse zur Testfelderschließung	38
	Multikriterielles Evaluierungskonzept	39
	Konzept für das Standort-Screening zur Testfelderschließung	41
	Screening-Kriterien und Scoring-Modell	43
	Ergebnisse des Standort-Screening	47
V.	Testfelder zur Erprobung von AMoD-Konzepten im ländlichen Raum	52
	Technologieträger und Ausbaustufen zur Versuchsdurchführung	53
	Digitales Testfeld Dresden	60
	Beschreibung potentieller peripherer Testfeldkorridore	62

VI.	Betreibermodelle und Lebenszykluskosten-betrachtung	70
	Stakeholder und Systemkomponenten für AMoD-Konzepte	71
	Marktdesign und Betreiberkonzepte für AMoD-Konzepte	76
	Potentiale von AMoD-Konzepten	83
	Vergleichende Kostenbetrachtung für AMoD-Konzepte	87
	Kosteneinschätzung zum Testfeldaufbau und Testfeldbetrieb	99
VII.	Barrieren und Realisierungshemmnisse	101
	Barrieren und Realisierungshemmnisse	102
VIII.	Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse	110
	Möglichkeiten der Ergebnisverwertung	111
	Erweiterung des bestehenden digitalen Testfelds in Dresden	113
	Realisierung von Testfeldern in anderen peripheren Räumen	115
	Verwertung in Verkehrskonzepten und Verkehrsentwicklungsplänen peripherer Räume	116
IX.	Anhang	118
X.	Literaturverzeichnis	132

3GPP	3rd Generation Partnership Project
5G PPP	5G Public Private Partnership
AfA	Absetzung für Abnutzung
AMoD	Autonomous-Mobility-on-Demand
API	Application Programming Interface
B2B	Business-to-Business
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
C2CCC	Car-to-Car Communication Consortium
CAM	Cooperative Awareness Message
CAPEX	Capital Expenditures (Investitionsausgaben)
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EW	Einwohner
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
GPS	Global Positioning System
HH	Haushalte
ITS	Intelligent Transportation System
LSA	Lichtsignalanlage
LTE	Long Term Evolution
MAP	Road Topology Message
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MoD	Mobility-on-Demand
OCIT	Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEX	Operational Expenditures (Betriebsausgaben)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
P2P	Peer-to-Peer
PBefG	Personenbeförderungsgesetz

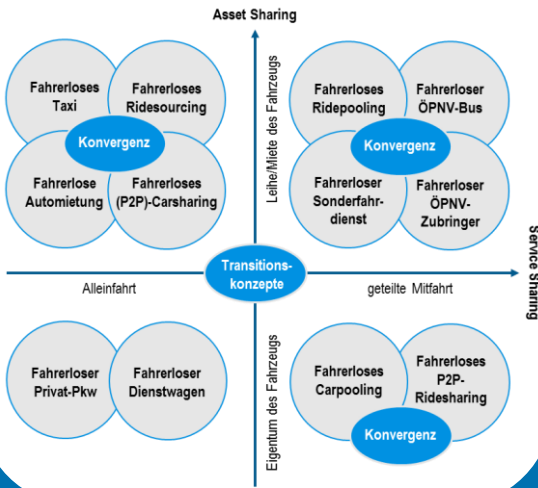


PPP	Public-Private-Partnership
RegG	Regionalisierungsgesetz
RSE	Roadside Equipment
RSU	Roadside Unit
RTL	Real-Time-Locating-System
SAE	Society of Automotive Engineers
SPaT	Signal Phase and Timing Message
SPV	Schienenpersonenverkehr
StVG	Straßenverkehrsgesetz
THG	Treibhausgas
USP	Unique Selling Proposition
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
VOL	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen
VMZ	Verkehrsmanagementzentrale
WfbM	Werkstatt für behinderte Menschen

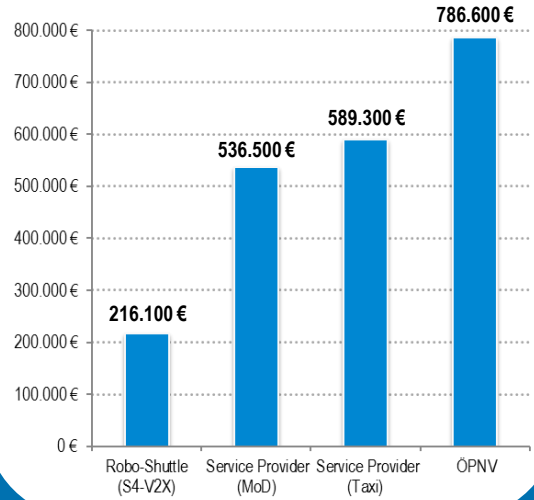
I.

MANAGEMENT SUMMARY

AMoD-Konzepte (Autonomous Mobility on Demand) führen zur Konvergenz von Mobilitätsangeboten

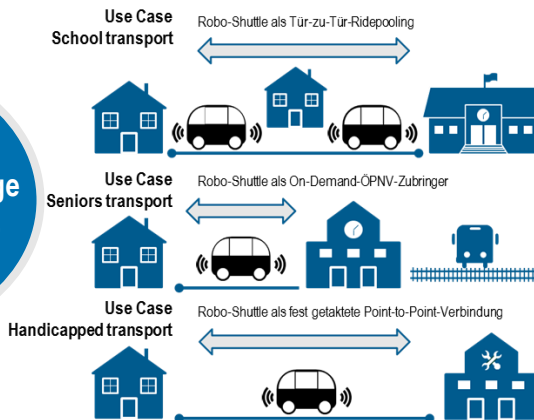


AMoD-Konzepte reduzieren die **Total Mobility Cost** um ein Vielfaches

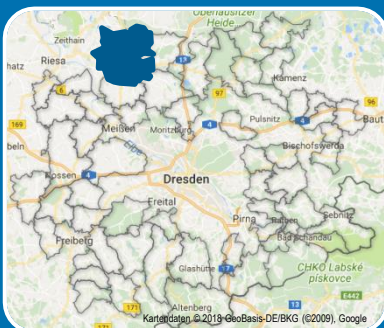


Use Cases für mobilitätseingeschränkte Personen

4
entwickelte Vorschläge
zur Erweiterung des
Testfeld Dresden



30
Technologieträger für
AMoD-Konzepte
identifiziert



**Großenhain und
Dippoldiswalde**
als geeignete Testfeld-
erweiterungen für das digitale
Testfeld Dresden





Testfelder im ländlichen Raum initiieren und umsetzen!

Dort ist die Erfordernis für mobilitätseingeschränkte Personen besonders groß. Mobilität wird heute primär durch den eigenen Pkw bestimmt. Sofern dieser nicht vorhanden ist, muss auf Mitnahme- und Schülerverkehre zurückgegriffen werden. AMoD-Konzepte können hier zu einem optimierten Mobilitätsangebot beitragen.

Mobilitätseingeschränkte Personen als Zielgruppe adressieren!

Behinderte Menschen, Kinder und Senioren sind Personengruppen, die nicht nur temporär von Immobilität betroffen sind. AMoD-Konzepte können in kostengünstiger Form bedarfsflexible Mobilitätsangebote bereitstellen und dabei Rehabilitationsträger oder Fahrdienstleister finanziell und im Aufgabengebiet entlasten.



Integrative F&E mit realen Business Cases forcieren!

Testfelder sollten nicht nur die Erprobung der technischen Realisierbarkeit unterstützen, sondern zielgerichtet reale und zeitnah umsetzbare Use Cases (z. B. ÖPNV-Zubringerkonzepte) evaluieren. Dazu erfordert es die öffentlichkeitswirksame Testfelderschließung und integrative Begleitforschung mit realen Nutzern.



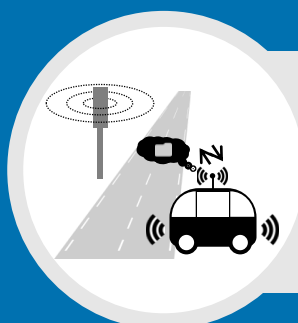
Liberalisierung des PBefG zugunsten von AMoD-Konzepten!

Die gegenwärtige gesetzliche Lage gestattet MoD-/AMoD-Konzepte im Rahmen einer max. 4-jährigen Experimentierphase. Es sollte eine Novellierung des PBefG angestrebt werden, um gesellschaftlich nutzbringende bedarfsflexible Mobilitätsangebote zeitlich unbeschränkt einführen und dauerhaft anbieten zu können.



V2X-Kommunikation als verifizierende Instanz etablieren!

Kommunikation mit und über Roadside-Equipment sollte als zusätzliche Verifizierungsebene fungieren, um an neuralgischen Verkehrsknoten oder in Situationen mit widrigen Witterungsbedingungen die fahrzeugseitige Sensorik mit weiteren Sensordaten und Cloud-Funktionalität zielgerichtet zu unterstützen.



II.

**ZIELE, INHALTE UND
HINTERGRUND DER STUDIE**

Vorwort und Studienhintergrund

Die Themen automatisiertes und vernetztes Fahren prägen seit einigen Jahren als Megatrends bzw. als technologische und wirtschaftliche Zukunftsfelder die hiesige und internationale Forschungs- und Innovationslandschaft. Wissenschaft, Wirtschaft und Politik haben die beachtlichen Chancen intelligenter Verkehrssysteme, u. a. zur Verbesserung von Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit und Komfort, erkannt und arbeiten gemeinsam daran, Erfolg versprechende Lösungen zeitnah umzusetzen und dabei neue Wertschöpfungspotentiale auszuschöpfen. Das BMVI-Förderprogramm, welches die vorliegende Studie finanzierte, ist – neben anderen wichtigen Facetten, wie der zügigen Modernisierung des Straßenverkehrsrechts und der Begleitung durch den Runden Tisch und die Ethik-Kommission zum automatisierten und vernetzten Fahren – ein wichtiger Beitrag der Bundesregierung auf dem Weg zu diesem Ziel.

Mit Blick auf konkrete F&E-Aktivitäten laufender Projekte und sich etablierende neue Geschäftsmodelle, wird schnell die Vielfalt der Thematik erkennbar. Diese vom Institut für Vernetzte Mobilität bearbeitete

Studie rückt die bisher noch wenig untersuchten Einsatzmöglichkeiten von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen für die Personenbeförderung in peripheren Randlagen, mit besonderem Fokus auf Mobilitätseingeschränkte Personen, in den Mittelpunkt der Betrachtung. Abb. 1 veranschaulicht die Einordnung dieses Untersuchungsschwerpunktes in derzeit stattfindende und themenrelevante Entwicklungen.

Zum einen gibt es (vor allem in Städten) einen grundlegenden Trend zu Mobility-on-Demand-Angeboten, mit denen weitgehend ohne Flexibilitätsverluste auf den Besitz eines eigenen Pkw verzichtet werden kann. Weiterentwicklungen in Richtung Autonomous Mobility-on-Demand machen solche Angebote noch attraktiver und vereinfachen eine Ausweitung auch in ländliche Siedlungsgebiete. Auf Städte und ihre Probleme konzentrieren sich derzeit auch die digitalen Testfelder des BMVI, weshalb es sinnvoll erscheint, existierende Testfelder um Korridore in der Peripherie zu erweitern. Konkret betrachtet diese Studie mögliche Ergänzungen des Testfeldes Dresden.

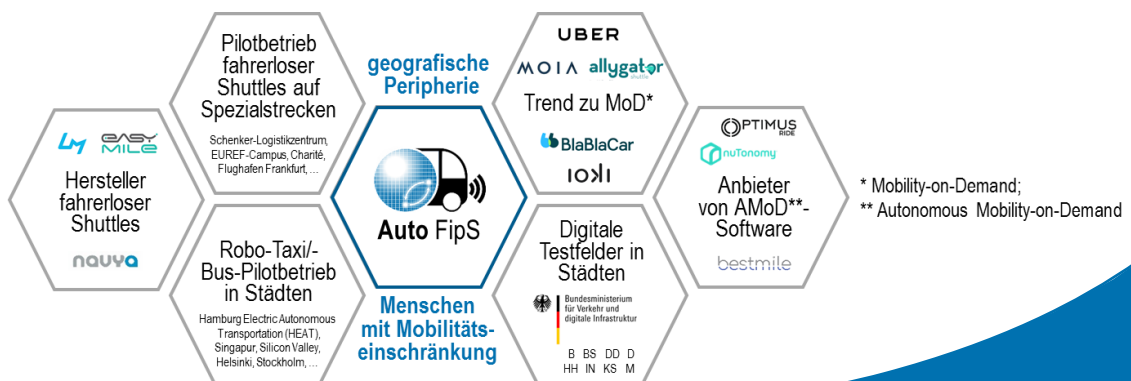


Abb. 1: Thematische Einordnung

Als Technologie- und Versuchsträger einer automatisierten Personenbeförderung kommen neben Eigenentwicklungen von Testfeldpartnern auch bereits kommerzielle verfügbare Lösungen in Frage. Vor allem fahrerlose Shuttles der Hersteller Navya, Easy-mile und Local Motors sind weltweit auf diversen Strecken im Pilotbetrieb unterwegs. Im Gegensatz zu den in dieser Studie betrachteten Räumen und Anwendungsfeldern sind dies bisher aber meist städtische Einsatzszenarien oder eher abgegrenzte Spezialstrecken. Der Kern solcher Automatisierungslösungen steckt letztlich nicht in der Fahrzeugplattform, sondern in den Algorithmen, welche automatisierte Shuttles steuern und für eine Abstimmung mit den Mobilitätsbedarfen sorgen. Daher sind die Anbieter entsprechender Software – derzeit geprägt von einer Vielzahl von Startups – von zentraler Bedeutung.

Die Relevanz und Brisanz des Untersuchungsschwerpunktes der Studie ergibt sich aus der öffentlichen Verantwortung für eine ausreichende Bedienung der Bevölkerung mit ÖPNV-Leistungen als Aufgabe der Daseinsvorsorge (§1 RegG) und dem zunehmenden Handlungsdruck, den der demographische Wandel diesbezüglich auf periphere Räume ausübt (v. a. in Ostdeutschland, im Saarland und Teilen NRW). Steigende Lebenserwartung, niedrige Geburtenraten und die sogenannte „Schwarmwanderung“ von der sich schleichend entleerenden Peripherie in Wachstumsstädte und absolut ebenfalls schrumpfende Oberzentren führen zu Finanzierungsproblemen und einer Ausdünnung von klassischen

Nahversorgungs- und ÖV-Angeboten auf dem Land.

Sachsen ist hierfür ein Musterbeispiel. Bis 2030 weisen die Bevölkerungsprognosen für alle sächsischen Gemeinden bis auf Leipzig und Dresden einen negativen Bevölkerungssaldo auf.

Vor allem in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen sind besonders von den Negativwirkungen betroffen und würden daher von alternativen vollautomatisierten Mobilitätskonzepten profitieren. Für die Mobilitäts-sicherung in ländlichen Räumen, in denen immerhin ein Fünftel der deutschen Bevölkerung lebt, wird es also zunehmend darauf ankommen, Freiräume für automatisierte Personenbeförderungskonzepte zu schaffen und entsprechende Aktivitäten zu fördern, zu evaluieren und zu kommunizieren.

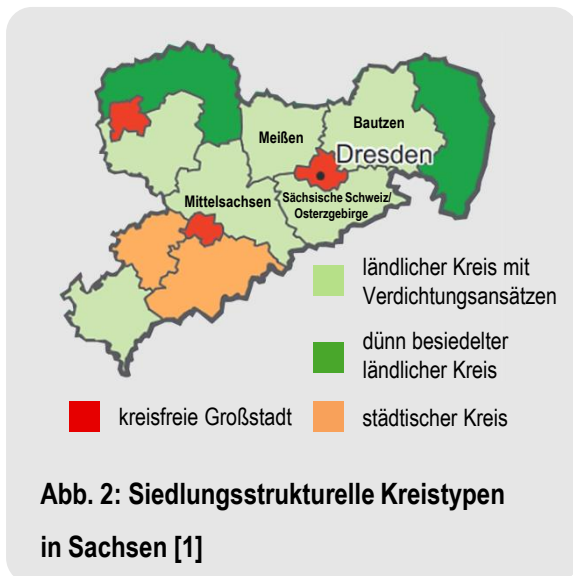
Die vorliegende Grundlagenstudie möchte hierzu einen ersten Beitrag leisten und regt an, nicht nur technische Lösungen, sondern auch deren Funktionieren in nachhaltigen Geschäftsmodellen zu erproben und überdies ihren gesamtgesellschaftlichen Mehrwert zu bemessen. Sie kann als Machbarkeitsanalyse und als erster Schritt einer Testfeldrealisierung (mit nachgelagerten Vorbereitungs- und Aufbauaktivitäten und der realen Use-Case-Erprobung) aufgefasst werden. In diesem Sinne leistet sie konzeptionelle Vorarbeiten, identifiziert geeignete Testfeldstandorte, spezifiziert sinnvolle Use Cases, evaluiert modellhaft grundlegende Verwertungskonzepte und nimmt Kostenprognosen für ein Testfeld und einen Regelbetrieb vor.

III.

MOBILITÄTSKONZEPTE UND USE CASES

Konventionelle Mobilität in peripheren Siedlungsstrukturen

Für die Betrachtung der ländlich und peripher geprägten Mobilität sind nicht nur die gemäß OECD definierten ländlichen Räume, d. h. diejenigen, die weniger als 150 Einwohner je km² Fläche aufweisen einzubeziehen, sondern auch Gemeinden, die einer Landstadt (> 2.000 bis < 5.000 Einwohner) oder Kleinstadt (> 5.000 bis < 20.000 Einwohner) zuzuordnen sind. Der Schwerpunkt ist somit auf die räumliche Mobilität in ruralen siedlungsstrukturellen Kreistypen gerichtet. Hierunter sind insbesondere „ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen“ und „dünn besiedelte ländliche Kreise“ von Interesse für den Untersuchungsgegenstand der Studie (Abb. 2)¹.



Ländlich angebotene und nachgefragte Mobilität unterscheidet sich in vielen Ausprägungen signifi-

kant von urbaner oder suburbaner Mobilität. Um graduelle Unterschiede kenntlich zu machen, wurden ausgewählte strukturelle und mobilitätsrelevante Kennziffern für verschiedene Stadt- und Gemeindetypen aus statistischen Erhebungen (insbesondere Mobilität in Städten SrV 2013) zusammengetragen bzw. berechnet. Aus den in Tab. 1 gegenübergestellten Kennzahlen gehen als zentrale Unterscheidungsmerkmale zwischen ländlich peripher geprägter Mobilität und (großstädtisch) urbaner Mobilität folgende Erkenntnisse hervor:

(1) Mobilitätskosten: Für die zugrundeliegenden repräsentativen Städte und Gemeinden des SrV 2013 zeigt sich, dass die relativen monatlichen Ausgaben für Mobilität in Mittelzentren am geringsten (ca. 17 % des verfügbaren Einkommens) und in Großstädten mit bis zu 500.000 Einwohnern am größten (ca. 20 %) sind. Entgegen den Feststellungen in anderen Untersuchungen [2] kann eine Verallgemeinerung der These, dass auf dem Land höhere relative Belastungen durch Mobilitätskosten bestehen, somit nicht bestätigt werden. Zwar verursachen längere Distanzen zwischen Start- und Zielort höhere Kraftstoffkosten und geringere Wiederverkaufswerte des eigenen Pkw bzw. höhere ÖV-Kosten, da oft mehrere Tarifzonen tangiert werden. Jedoch stehen den Einwohnern ländlicher Räume

¹ Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen sind Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten von mind. 50 %, aber einer Einwohnerdichte unter 150 EW / km², sowie Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten unter 50% mit einer Einwohnerdichte ohne Groß- und Mittelstädte von mind. 100 EW / km². Dünn besiedelte ländliche Kreise sind Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten unter 50 % und Einwohnerdichte ohne Groß- und Mittelstädte unter 100 EW / km² [1].

		Ländlich periphere Mobilität			Großstädtisch urbane Mobilität		
		Unter-, Grund-, Kleinzentren	Mittelzentren bis 35 T-EW (flach)	Mittelzentren bis 35 T-EW (hügelig)	Oberzentren bis 500 T-EW (flach)	Oberzentren bis 500 T-EW (hügelig)	Oberzentren mit mehr als 500 T-EW
Strukturell	Mtl. verfügbares HH-Einkommen ¹	1.693 €	1.850 €	1.812 €	1.597 €	1.670 €	1.725 €
	Geschätzte mtl. Ausgaben für Verkehr ²	305 €	316 €	315 €	328 €	337 €	302 €
	Altersdurchschnitt in Jahren ³	44,7	44,5	44,9	43,4	43,8	42,6
Allgemein	Hauptverkehrsmittel nach Weegeanteil ⁴	Pkw (45,4 %)	Pkw (41,4 %)	Pkw (41,6 %)	Pkw (29,7 %)	Pkw (35,2 %)	Fuß (27,9 %)
	Zeit im Verkehr in Minuten / Person, d ⁴	66,5	69,0	69,1	69,3	68,5	72,2
	Mittlere Entfernung pro Weg in km ⁴	9,8	7,8	7,1	6,1	6,4	6,1
(M)IV	Jahresfahrleistung je HH-Pkw in km ⁴	15.700	14.100	14.100	13.600	13.600	13.800
	Personen mit Pkw-Fahrerlaubnis ⁵	90,7 %	89,7 %	86,7 %	84,9 %	86,3 %	86,9 %
	Personen ohne Pkw-Zugang ⁴	15,5 %	19,9 %	21,5 %	31,6 %	29,0 %	34,6 %
ÖPNV	Personen mit Fahrradbesitz ⁴	95,3 %	93,9 %	76,4 %	90,3 %	74,8 %	87,4 %
	Personen mit Zugang zu ÖV-Zeitkarte ⁴	13,2 %	19,5 %	18,5 %	29,7 %	27,9 %	35,3 %
	ÖPNV-Nutzung letzte 12 Monate ⁴	56,7 %	71,0 %	70,1 %	83,8 %	82,0 %	90,0 %
Kollaborativ	Kürzeste Gehzeit zu ÖV-Haltestelle ⁴	Bus: < 5 min (55,4 %)	Bus: < 5 min (70,4 %)	Bus: < 5 min (76,2 %)	Bus: < 5 min (66,6 %)	Bus: < 5 min (71,6 %)	Bus: < 5 min (68,6 %)
	Anteil der Carsharing-Nutzer ⁴	0,5 %	0,7 %	1,0 %	2,4 %	3,3 %	6,0 %
	Anteil der Bikesharing-Nutzer ⁴	1,2 %	2,0 %	1,4 %	1,6 %	3,2 %	3,3 %
	Weegeanteil der Taxinutzung ⁴	0,2 %	0,2 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %	0,3 %

Tab. 1: Kennzahlengestützte Unterscheidung von Land- vs. Stadtmobilität in Deutschland

aus der SrV 2013-Erhebung neben höheren Ausgaben teilweise auch höhere Einkommen gegenüber, die überkompensierend wirken. In Mittelzentren mit flacher Topographie ist diese Überkompensation am stärksten ausgeprägt.

(2) Altersstruktur: Erwartungsgemäß zeigt sich, dass gemessen an dem Durchschnittsalter in ländlichen Regionen ein höherer Altersdurchschnitt vorherrscht. Jüngere Menschen sind somit verstärkt in urbanen Räumen vorzufinden. Die Gruppe der 25 bis 45-jäh-

rigen nimmt hier die größten Anteile ein (31 % der Bevölkerung in Städten mit > 500 Einwohnern).

(3) Mobilitätswege und –dauer: Mobilitätswege auf dem Land sind durchschnittlich weiter, weshalb die Verkehrsleistung (+1/3) und die Jahresfahrleistung des Pkw (+14 %) hier am größten ist und mit zunehmender Stadtgröße tendenziell abnimmt. Ursächlich können Pendelbewegungen zum Arbeitsplatz und zu Versorgungseinrichtungen sein. Diese stellen zwar bei allen Stadt- und

¹ Eigene Berechnung auf Basis von [3]; ² Eigene Berechnung auf Basis von [4]; ³ Eigene Berechnung auf Basis von [5]; ⁴ [6]; ⁵ Eigene Berechnung auf Basis von [6].

Gemeindetypen die wichtigsten Mobilitätszwecke dar, sind jedoch in ländlicheren Räumen häufig nur über die Gemeindegrenzen des eigenen Wohnortes hinweg erreichbar. Gleichzeitig nimmt die Zeit im Verkehr ab (-7,9 %), da trotz kürzerer Wege in urbanen Räumen insgesamt ein höheres Verkehrsaufkommen mit größeren Stauzeiten (insbesondere zu Stoßzeiten) und auch mehr Umstiegsmöglichkeiten für intermodale Verkehre (die Wartezeiten bedingen) bestehen.

(4) Pkw-Nutzung: Der Pkw ist das wichtigste Verkehrsmittel, was sich sowohl auf dem Land, als auch in mittleren bis größeren Städten zeigt. Jedoch nimmt dessen Bedeutung mit zunehmender Stadtgröße ab (-18,4 %), was mit einer abnehmenden Quote von Personen mit Fahrerlaubnisbesitz (-5,8 %) und einer zunehmenden Quote von Personen ohne Zugang zu einem Pkw (+19,1 %) korrespondiert, wodurch andere Mobilitätsformen und Verkehrsmittel in ihrer Nutzung begünstigt werden. In Städten mit mehr als 500.000 Einwohnern sind kurze Wege häufig zu Fuß (27,9 % aller Wege) zu bewältigen, weshalb der Pkw – neben der intensiveren Nutzung des ÖPNV – nur das am zweithäufigsten genutzte Verkehrsmittel (27,1 %) darstellt.

(5) ÖPNV-Nutzung: Mehr als jede dritte Person in der Stadt aber nur jede Zehnte auf dem Land verfügt über eine ÖV-Zeitkarte. Zwar erreicht immerhin gut jede zweite Person eine Bus-Haltestelle innerhalb von fünf Minuten (Großstadt: ca. 70%), jedoch hat gerademal jeder Zweite in den vergangenen 12 Mo-

naten überhaupt auf ein ÖV-Angebot zurückgegriffen (Großstadt: 90%). Neben zusätzlichen Bedienformen in Großstädten (Zugang zu Straßenbahnen, S-Bahnen, U-Bahnen) und engeren Taktzeiten sind Haltestellenetze mit zunehmender Stadtgröße deutlich dichter strukturiert. In ländlichen Gebieten orientiert sich das ÖV-Angebot hingegen stark am Schülerverkehr, mit der Konsequenz, dass Linienbusverkehre in schulfreien Zeiten teilweise ersatzlos entfallen. Ein bedarfsorientiertes ÖV-Angebot kann somit für die ländlich geprägten Siedlungsstrukturen nicht festgestellt werden. Davon betroffen sind insbesondere Personen, die in Klein-, Grund-, Unterzentren oder ländlichen Gemeinden leben.

(6) Nutzung von Mischformen öffentlicher und individueller Mobilität (kollaborative Mobilität): Hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit von (teil-)öffentlichen Taxiangeboten, können keine signifikanten Unterschiede zwischen ländlich-peripherer und städtisch-urbaner Mobilität festgestellt werden. In allen Untersuchungsräumen befinden sich die Nutzungsanteile – gemessen an den zurückgelegten Wegen – auf einem sehr niedrigen Niveau (0,1 % bis 0,3 %). Neuere Mobilitätsangebote, wie Carsharing und Bike-sharing werden im (groß)städtischen Umfeld zwar auch nur durch einen kleinen Nutzerkreis aufgesucht (6,0 % bzw. 3,3 %). Auf dem Land nehmen diese Angebote – da sie häufig nicht vorhanden sind – eine untergeordnete Bedeutung ein (0,5 % bzw. 1,2 %).

Weiterhin sieht sich die ländlich periphere Mobilität mit folgenden Herausforderungen konfrontiert:

(7) Informelle Mitnahmeverkehre für periodische oder aperiodische Fahrgemeinschaften in Form von Nachbarschaftshilfe oder Vertrauensnetzwerken (Verwandte etc.) stellen in der ländlichen Mobilität eine häufig genutzte Mobilitätsoption derjenigen dar, die nicht Zugriff auf ein eigenes Fahrzeug haben – mithin zählen Senioren und Schüler zu einer relevanten Mitfahrerguppe [7].

(8) Schlechte Erreichbarkeit zwischen Wohnorten, Arbeitsstätten und zentralen Infrastruktureinrichtungen der Daseinsvorsorge (Nahversorgung, medizinische Versorgung, Bildung) resultieren aus geringen und dispersen Nachfragepotentialen, die durch Abwanderung bedingt werden. Dies kollidiert zusätzlich mit der Aufrechterhaltung eines wirtschaftlichen Betriebs für die Anbieter von Dienstleistungen und Gütern des täglichen Bedarfs, z. B. von Einzelhändlern, Restaurants, Friseuren etc. Infolgedessen ziehen sich Versorgungseinrichtungen sukzessive aus nachfrageschwachen Gebieten zurück, woraus sich zunehmend entleerte Regionen manifestieren [8].

(9) In Folge von (8) reichen die noch vorhandenen Nachfragepotentiale in den betroffenen Gebieten nicht aus, um privatwirtschaftliche Mobilitätsdienste mit Gewinnerzielungsabsicht zu betreiben, weshalb häufig korrespondierende Angebote ausbleiben. Tendenziell konzentrieren sich individualisierte Sharingformate derzeit auf urbane Zentren mit hoher Ein-

wohnerdichte. In dünn besiedelten Randbereichen von Großstädten kann derzeit sogar ein Rückzug dieser Angebote beobachtet werden [9, 10].

(10) Als weitere Folge von (8) ist eine Abhängigkeit des ÖPNV vom Schülerverkehr zu konstatieren. Teilweise umfassen Schüler in ländlichen Räumen bereits 70 % der Gesamtnachfrage [11]. Neben Linienausfällen während der Schulferien kann zudem an Sonn- und Feiertagen zum Teil überhaupt nicht auf ein ÖV-Angebot zurückgegriffen werden [12]. Personen ohne Zugriff auf eine andere Mobilitätsalternative sind in diesen Fällen abgekoppelt bzw. von der Mobilitätsteilnahme ausgeschlossen. Diesen fragmentierten und starr linienorientierten ÖPNV-Angebotsformen stehen jedoch flexibler gewordene Arbeits- und Lebensformen auf dem Land gegenüber. Es zeichnet sich eine interdependente Wirkungsverstärkung ab. Ausnahmen von den aufgezeigten Herausforderungen bilden touristisch attraktive Landregionen mit natur- und kulturräumlichen Potentialen, wie sie vereinzelt bspw. in Sachsen im Elbsandsteingebirge, im Erzgebirge, im Sächsischen Elbland, im Zittauer Gebirge oder in der Sächsischen Schweiz existieren. Hier kann an touristisch- und freizeitorientierten Wegen häufig auf ein besser ausgebautes ÖPNV-Angebot zurückgegriffen werden.

(11) Korrespondierend mit den zuvor skizzierten Herausforderungen sehen sich die Anbieter öffentlicher Verkehrsangebote mit einer geringen Kostendeckung konfrontiert, die

maßgeblich aus der zu geringen Fahrgastnutzung in Verbindung mit zumeist überdimensionierten Großbussen resultiert. Aus der nicht ausgelasteten Infrastrukturnutzung folgen wiederum sinkende kommunale Einnahmen, die auf der Ebene öffentlicher Leistungen eine Verringerung der Investitionen und auf der Ebene der privaten Leistungen Einschränkungen der Daseinsvorsorge nach sich ziehen [13], da ein wirtschaftlicher Betrieb auf Dauer nicht aufrechterhalten werden kann. Häufig praktizierte Maßnahmen zum Gegensteuern sind neben Anpassungen des Tarifs oder Erhöhungen des Eigenanteils zur Finanzierung des Schüler-/ Ausbildungsverkehrs insbesondere die Fokussierung des Linienbetriebs, die Einstellung von Linien, die Reduzierung der Taktung und der Rückzug aus der Fläche, womit insgesamt eine Verschlechterung der Angebotsituation einhergeht.

Eine Verpflichtung zur flächendeckenden ÖPNV-Erschließung existiert zwar nicht [13], jedoch ist gemäß § 1 RegG eine ausreichende Bereitstellung öffentlicher Verkehrsangebote Aufgabe der Daseinsvorsorge und muss von den durch Landesrecht bestimmten Aufgabenträgern (i.d.R. Verkehrsbetriebe) sichergestellt werden. Dies betrifft i) die Beförderung im Linienverkehr (§ 2 RegG, § 8 PBefG Abs. 1), worunter „[...] eine zwischen bestimmten Ausgangs- und Endpunkten eingerichtete regelmäßige Verkehrsverbindung [zu subsumieren ist], auf der Fahrgäste an bestimmten Haltestellen ein- und aussteigen können“ (§ 42 PBefG), ii) den Sonderlinienverkehr,

wie z. B. Berufsverkehr sowie Schüler- / Marktfahrten, und iii) den Gelegenheitsverkehr mit Taxen und Mietwagen / -omnibussen, der den Linienverkehr ersetzt, ergänzt oder verdichtet (§ 8 PBefG Abs. 2, §§ 46-49 PBefG). Das PBefG sieht somit auch Flexibilisierungsoptionen des klassischen ÖPNV-Angebotes vor, beschränkt diese jedoch derzeit auf wenige, konkrete Ausnahmen.

Wie dargelegt, stellt der klassische ÖPNV-Linienverkehr – obwohl auf dem Land fast ausnahmslos praktiziert – kein zeitgemäßes Instrument bereit, um die veränderten (vielfältigeren und dynamischeren) Mobilitätsbedarfe der Personen bedarfsgerecht bedienen zu können. Es erfordert vielmehr Mobilitätsangebote, die sich hinsichtlich Verfügbarkeit, Komfort und Flexibilität mit einem selbst genutzten Pkw messen können [8] – bei gleichzeitig zumindest kostendeckender Betriebsführung.

Flexible Mobilitätsformen sind derzeit ein zentraler Gegenstand der urbanen und ländlichen Mobilitätsforschung. Neue Ideen für eine Angebotsflexibilisierung öffentlicher Mobilität und integrierte Konzepte zur Einbindung verschiedener auch kollektiver und individueller Mobilitätsformen wurden entwickelt, die bisher jedoch keine breite Anwendung in der Fläche finden. Der folgende Abschnitt erarbeitet einen Überblick zu relevanten Mobilitätskonzepten.

Mobilitätskonzepte mit Flexibilisierungsoptionen

Etablierte Mobilitätsangebote erzielen bislang nicht die gewünschten Verlagerungseffekte (z. B. Reduktion MIV und Stärkung ÖPNV), Kostendeckungsprobleme öffentlicher Verkehrsbetriebe erweisen sich zudem als omnipräsent und die Erfordernis einer Modernisierung des PBefG ist im öffentlichen Diskurs zu beobachten bzw. dessen partielle Novellierung ist bereits mit der Wirkung eingetreten, dass neue Marktakteure Zugang zum Personenbeförderungsmarkt erhalten haben (z. B. Liberalisierung Fernverkehr). Infolge dieser Umstände verbreiten sich zunehmend neue, flexible Mobilitätsangebote, die die skizzierten Problematiken lindern oder beseitigen. Auch Einflüsse des Megatrends Digitalisierung (z. B. durch dynamische und integrierte Zugangs-/Abrechnungssysteme) wirken unterstützend und beschleunigend auf die steigende Angebotsvielfalt. Deren Diffusion fokussiert sich derzeit oft nur auf urbane Räume.

Bereits heute zeichnet sich ab, dass zur Bewältigung der skizzierten Herausforderungen in ländlichen Räumen umfassendere Maßnahmen erforderlich sind, wie z. B. die Zusammenführung von regionalplanerischen mit verkehrsplanerischen Ansätzen. Beispielsweise hat man im Rahmen des BMVI-Modellvorhabens „Langfristige Sicherung von Versorgung und Mobilität in ländlichen Räumen“ in der Region Nordfriesland zusammen mit regionalen Akteuren ein sogenanntes Kooperationsraumkonzept entwickelt, worauf das Mobilitätskonzept abgestimmt ist. Das Kooperationsraumkonzept sieht eine Bündelung von

Angeboten der Daseinsvorsorge an zentralen Standorten vor. Dadurch soll deren wirtschaftliche Tragfähigkeit und zugleich Erreichbarkeit langfristig gesichert oder sogar verbessert werden. Das Mobilitätskonzept setzt hierauf auf, erhält im Kern das ÖPNV-Angebot und optimiert dieses durch ergänzende flexible Bedienformen und einen Angebotsmix um Lücken im öffentlichen Mobilitätsangebot zu schließen – im vorliegenden Fall z. B. mittels Anrufsammeltaxi, Rufbus, privat organisiertem Ridesharing oder bürgerschaftlichem Engagement [14]. Ein solches Vorgehen setzt die freiwillige Zusammenarbeit von Gebietskörperschaften z. B. bezüglich der Abstimmung von Infrastrukturen für Versorgungseinrichtungen und die Integration von individuell organisierten und kooperativen Mobilitätsangeboten in den ÖPNV voraus, die über das heute praktizierte Maß hinaus gehen und auf Seiten der betreffenden Akteure Offenheit, Anpassungswille und Innovationsfreudigkeit erfordern.

Messbare Erfolge für Modernisierungsmaßnahmen im ÖPNV bringt beispielsweise der Abschlussbericht der ÖPNV-Kommission im Freistaat Sachsen auf den Punkt. Den vorgenommenen Untersuchungen zufolge ist feststellbar, dass positive Nachfrageeffekte resultieren, wenn ein modernes oder besseres ÖPNV-System eingeführt wird. Demgegenüber stagnieren (veraltete) Regiobahn-Verkehre oder erleiden Verluste an Fahrgastzahlen [15].

III. Mobilitätskonzepte und Use Cases

Den bisherigen Ausführungen folgend sollten somit auch Mobilitätsoptionen in die Betrachtung einbezogen werden, die von den im PBefG genannten konstituierenden Merkmalen des ÖPNV, Linienverkehr und Fahrplanpflicht, abweichen (vgl. §§ 8 Abs. 1; 40 PBefG) und z. B. neue Akteure (Mobility Service Provider u. a.) vorsehen.

grundsätzlich durch private oder privatwirtschaftliche Akteure erbracht werden können und dabei dynamisch oder flexibel auf Nachfrageschwankungen reagieren. Das heißt, dass Fahrten nach Möglichkeit nur dann erfolgen, wenn explizite Fahrtwünsche vorliegen und so Leerfahrten vermeidbar sind. In diesem Verständnis sollen diese Konzepte zugleich

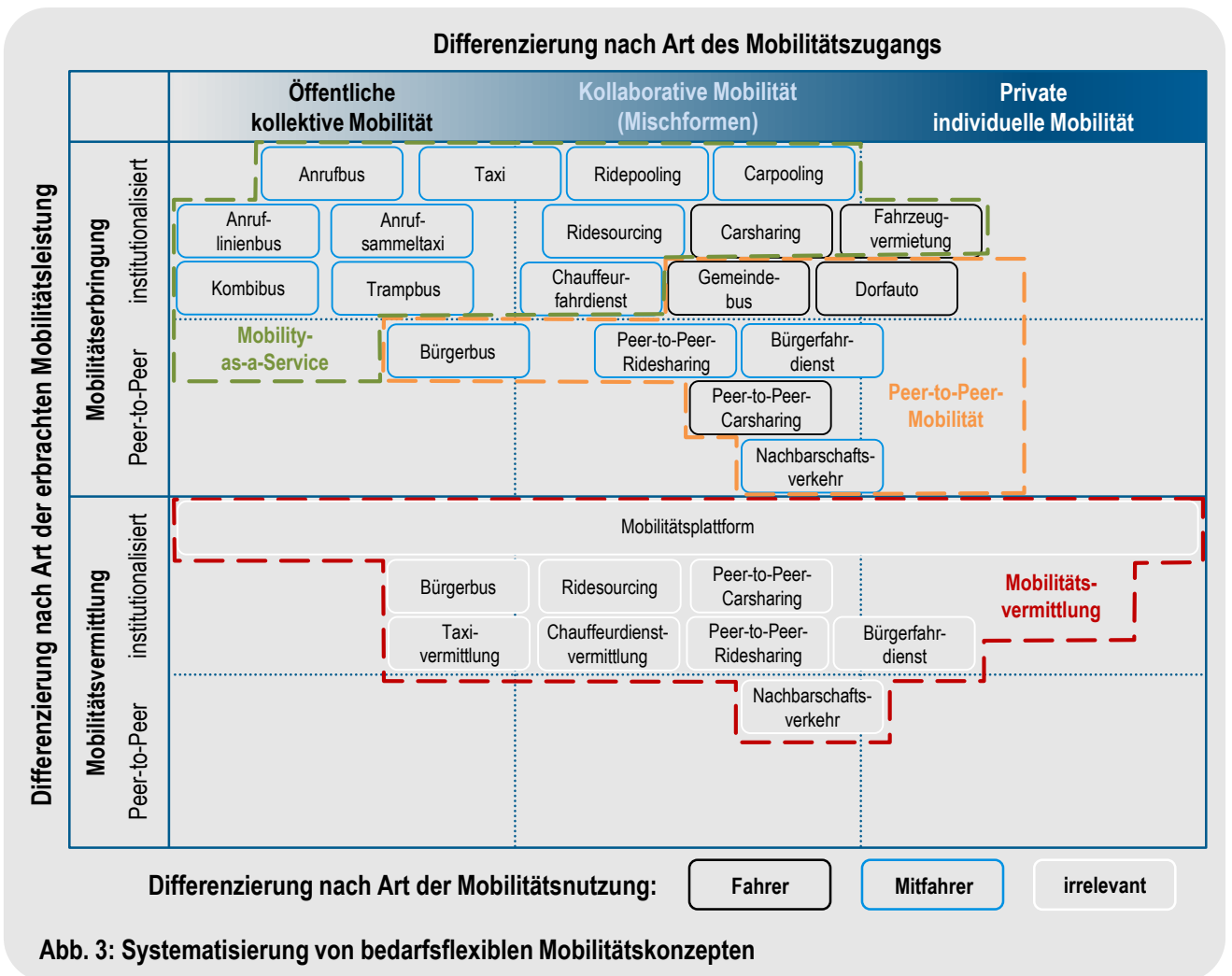


Abb. 3: Systematisierung von bedarfsflexiblen Mobilitätskonzepten

Unter Flexibilisierungsoptionen sind im Rahmen dieser Studie daher nicht nur die bedarfsgesteuerten Bedienformen des ÖPNV zu subsumieren, sondern auch die Mobilitätskonzepte für den Nahverkehr, die

auf einen kosteneffizienten und nachfragefokussierten Personentransport ausgerichtet sein und dabei den ÖPNV an

seinen neuralgischen Punkten optimieren, d. h. ihn neu strukturieren, ergänzen oder an gewissen Stellen ersetzen.

Werden entsprechende Flexibilisierungsoptionen nach den drei Kriterien Mobilitätsleistung, Mobilitätszugang und Mobilitätsnutzung geordnet und gruppiert, so ergibt sich das in Abb. 3 visualisierte Systematisierungskonzept.

- *Mobilitätsleistung*: Die Art der angebotenen Mobilitätsleistung kann in einer erbringenden oder vermittelnden Funktion bestehen. Anbieter dieser Leistungen sind in der einfachsten Ausprägung Privatpersonen (Peer-to-Peer bzw. Consumer-to-Consumer), denen neben dem eigenen Mehrwert auch altruistische Motive unterstellt werden können und die ohne Gewinnerzielungsabsicht handeln oder die Anbieter sind gewerblich organisiert (institutionalisiert bzw. Business-to-Consumer) und agieren mit Gewinnerzielungsabsicht.
- *Mobilitätszugang*: Die Art, wie der Nutzer Zugang zur räumlichen Mobilität erlangt bzw. an ihr teilnimmt kann rein individuell (d. h. unter Ausschluss weiterer Nutzer), öffentlich (d. h. ohne Ausschluss von Nutzern und Angeboten von öffentlich konzessionierten Betreibern) oder in Mischformen beider Ausprägungen im Rahmen der kollaborativen Mobilität erfolgen. Kollaborative Mischformen können dabei die zeitgleiche Fortbewegung im selben Verkehrsmittel (z. B. Ridesharing), d. h. die gemeinsame Nutzung eines Services, oder

auch die Fortbewegung im selben Verkehrsmittel zu unterschiedlichen Zeitpunkten (z. B. Car-sharing), d. h. die gemeinsame Nutzung eines Assets, implizieren.

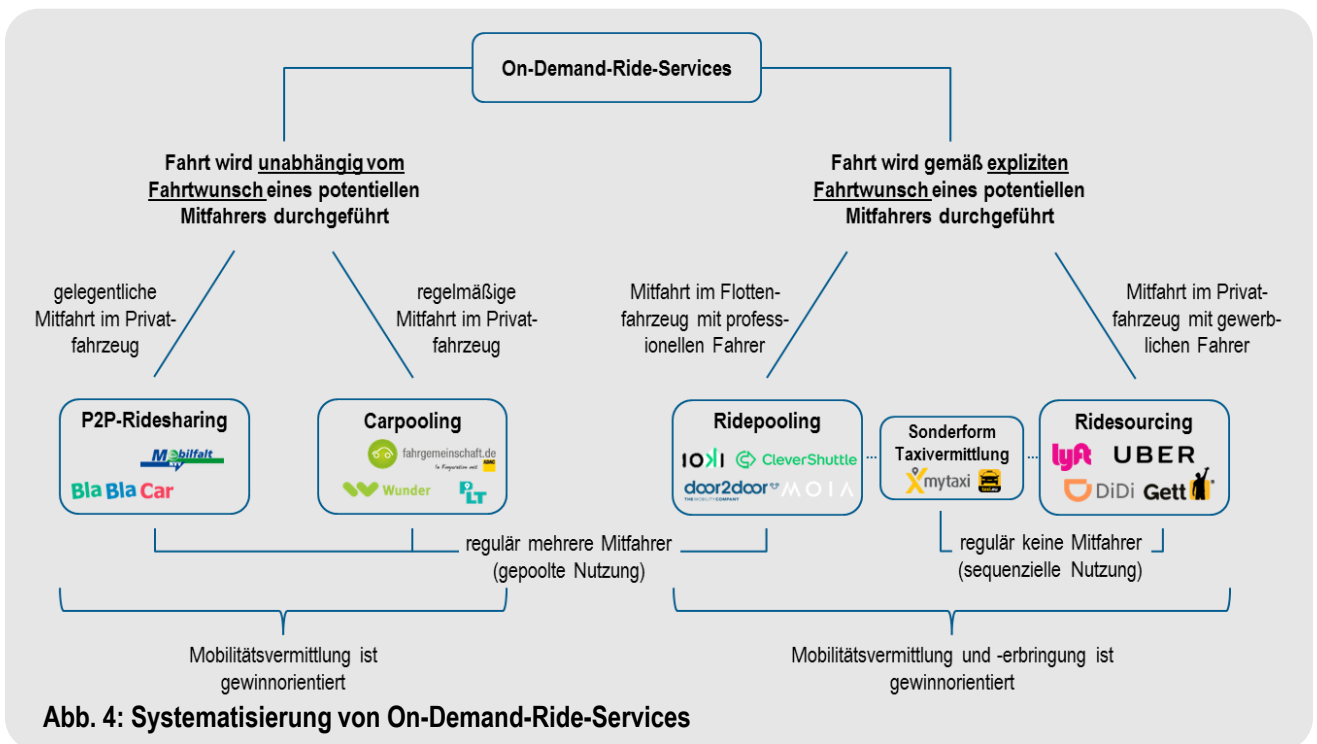
- *Mobilitätsnutzung*: Die Art der Mobilitätsnutzung unterscheidet zwischen der selbstfahrenden oder mitfahrenden Eigenschaft des Nutzers. Weiterhin wird die Ausprägung „irrelevant“ für Mobilitätskonzepte aufgeführt, bei denen es bspw. Mischformen gibt oder die vermittelnde Funktionen als Gegenstand der Leistungserbringung aufweisen.

Ohne auf jede Mobilitätsoption im Einzelnen einzugehen – eine ausführliche Unterscheidung ist dem Anhang I beigelegt – sind in einer übergeordneten Betrachtung drei Hauptgruppen flexibler Mobilitätskonzepte differenzierbar:

1. *Mobility-as-a-Service*: Hierunter zu subsumierende Dienstleistungen fokussieren auf eine stark an den Wünschen potentieller Fahrgäste orientierte Erbringung der Mobilitätsleistung. Hierunter sind einerseits die bedarfsgesteuerten Mobilitätsformen des ÖPNV einzuordnen, die im Kern eine Auflockerung des Linienbetriebs in bedarfsliniengesteuerte Bedienformen bis hin zum Flächenbetrieb, eine Flexibilisierung der zu bedienenden Haltepunkte oder einen Ersatz von Fahrplänen durch Voranmeldung des Beförderungswunsches (z. B. Anrufbus) beinhalten. Andererseits sind gerade neuere Formate einzu beziehen, sogenannte Mobility-on-Demand-Dienste (MOD),

die eine stringenter Bedarfs- bzw. Nachfragesteuerung umfassen und den Anspruch erheben, Mobilität kurzfristig bereitzustellen, wenn der Fahrtwunsch auftaucht und den Fahrgast bis zum gewünschten Zielort zu begleiten (vgl. Abb. 4). Durch internetbasierte mobile Applikationen, Echtzeitortung bis hin zu intelligentem Routing soll so die Beförderungsleistung (z. B. Ridepooling) oder das Verkehrsmittel (z. B. Carsharing) ohne lange Wartezeit und Umwege dem potentiellen Fahrgast bereitgestellt werden. Erbringer dieser Dienstleistungen sind privatwirtschaftliche Unternehmen oder Trägervereine.

Verkehrsmittel) gebündelt und den Nachfragern über eine Plattform bereitgestellt werden. Für einen gewünschten Anfangs- und Zielort kann sich der Nutzer so alle über die Plattform verfügbaren Fahrtangebote für verschiedene Zeitpunkte anzeigen lassen und diese buchen und teilweise bezahlen. Neben der kostenfreien Bereitstellung der Routeninformation erhebt der Plattforminhaber in der Regel eine Vermittlungsgebühr für die Buchung der jeweiligen Mobilitätsangebote. Zu unterscheiden sind monomodale Plattformen mit Vermittlungsleistungen die sich auf einzelne Mobilitätsangebote (z. B. Uber,



2. *Verknüpfung von Mobility-Assets und -Services (Mobilitätsvermittlung):* Die institutionalisierte Kernleistung der Mobilitätsvermittlung ist die Zusammenführung von Angebot und Nachfrage am Mobilitätsmarkt, indem die verschiedenen Angebote (Fahrten,

mytaxi, GoEuro oder Chauffeurdienst für Schüler) beziehen und multimodale Plattformen, die verschiedene Einzelangebote zu komplementären Angebotsbündeln zusammen-

führen, ein Haustür-zu-Haustür-Routing integrieren und deren Buchung und Bezahlung vermitteln (z. B. Mobilitätsplattformen: Qixxit, Moovel). Über eigene Ressourcen zur Erbringung von Transportleistungen verfügt der Plattforminhaber in beiden Ausprägungen nicht.

3. *Peer-to-Peer-basierte Mobilitätsdienste*: Hierin zu verortende Mobilitätskonzepte integrieren bürgerschaftliches Engagement in die Leistungserbringung, um so u. a. Bedarfslücken des ÖPNV zu decken oder um Mobilität kosteneffizient zu realisieren. Ausprägungen von Peer-to-Peer-basierten Mobilitätsdiensten beziehen sich nahezu ausschließlich auf die Erbringung der Mobilitätsleistung, in Kombination mit einer ergänzenden institutionalisierten Leistung für die Vermittlung¹. Beispielsweise werden Fahrtangebote von Bürgerbus oder Dorfauto durch einen ehrenamtlichen Fahrer erbracht und die Bereitstellung sowie Wartung des Fahrzeugs wird hingegen institutionalisiert durch einen Verkehrsbetrieb oder die Gemeinde organisiert. Ähnliches gilt bei den Konzepten Carpooling und Peer-to-Peer-Ride-sharing, -Carsharing bei denen die Fahrt durch Privatpersonen erbracht wird, und die Vermittlung zwischen Fahrern und Mitfahrern institutionalisiert durch ein privatwirtschaftliches Unternehmen erfolgt.

Flexibilisierungsoptionen von Mobilitätskonzepten können zeitlich oder räumlich optimierend wirken

[34]. Dabei beziehen sich räumliche Optimierungen auf Flexibilisierungen der Fahrtroute zwischen dem gewünschten Anfangs- und Endpunkt (von Konzepten mit starren richtungsgebundenen Linienbetrieb, über Korridor- oder Sektor-umfassenden Richtungsbandbetrieb, bis hin zum dynamischen richtungsungebundenen Flächenbetrieb) und auf die Flexibilisierung von Zu- und Ausstieg des Fahrgastes entlang der Fahrtroute (von starrer Haltestellenbindung, über (virtuelle) Bedarfshaltepunkte, bis hin zu dynamischer Haustür-zu-Haustür-Mobilität).

Zeitliche Flexibilisierungen unterscheiden entsprechende Mobilitätskonzepte hingegen in den Betrieb mit Fahrplanbindung (d. h. starre Taktung mit festen Fahrplanzeiten für alle Haltepunkte oder mit fester Startzeit) bzw. ohne Fahrplanbindung (d. h. On-Demand) und der Notwendigkeit einer Voranmeldung eines Fahrtwunsches durch telefonische Mitteilung, Anrufsäulen oder Fahrtbuchung auf onlinebasierten Plattformen bzw. mittels Smartphone-App.

Werden Mobilitätskonzepte auf dieser Grundlage hinsichtlich eines einfachen ordinalskalierten Punktbewertungsschemas bewertet, so zeigt sich gemäß Abb. 5, dass die größten Flexibilisierungspotentiale die Mobilitätsoptionen aufzeigen, die bisher nicht oder nur in vereinzelter Anwendung in ländlich-peripheren Räumen vorzufinden sind, wie z. B. die

¹ Eine Ausnahme, bei der Mobilitätsleistungserbringung und -vermittlung, die allein unter Privatpersonen abgewickelt wird, stellen Mitnahmeverkehre von Freunden/Bekanntem – sogenannte Nachbarschaftsverkehre – dar, die jedoch nur einem eingegrenzten Nutzerkreis angeboten werden.

III. Mobilitätskonzepte und Use Cases

On-Demand-Dienste Ridepooling und Ridesourcing¹ oder Chauffeur-Fahrdienste.

Auch die klassischeren öffentlichen Konzepte Anrufbus und Taxibeförderung weisen ein hohes Maß an zeitlicher und räumlicher Flexibilisierung auf.

Gleichzeitig werden diese Mobilitätsoptionen durch das PBefG derzeit nicht vollumfänglich unterstützt (Ridesourcing) oder sie sind mit hohen Bereitstellungskosten verbunden (Anrufbus), weshalb eine

großflächige Verbreitung seitens der öffentlichen Betreiber aufgrund ausbleibender und stetig sinkender Kostendeckung [16] unwahrscheinlich erscheint.

Größere Gestaltungsspielräume könnten künftig Mobilitätskonzepte auf Basis von Automatisierungslösungen zulassen, da mit deren Einsatz eine signifikante Reduktion der Betriebskosten verbunden sein kann [17]. Ein Überblick zu existierenden Konzepten wird im Rahmen des folgenden Kapitels erarbeitet.

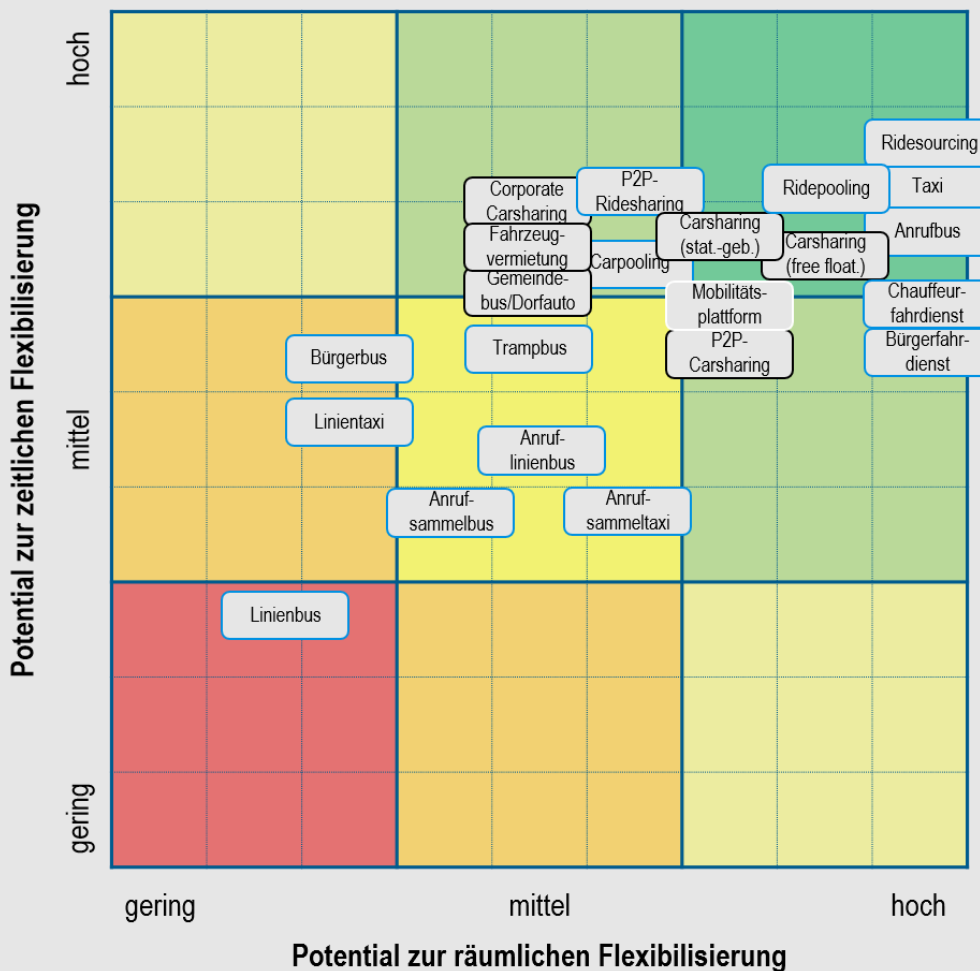


Abb. 5: Bewertung der Flexibilisierungspotentiale von Mobilitätskonzepten

¹ Für Ridesourcing werden häufig synonyme Termini verwendet, die jeweils verschiedene Perspektiven beschreiben, wie z. B. Ridehailing (Nutzerperspektive) oder Rideselling (Betreiberperspektive).

Mobilitätskonzepte für autonome Fahrzeuge (AMoD)

Transportbezogene Automatisierungslösungen oder automatisierte Fahrzeuge sind grundsätzlich keine neuzeitigen Erscheinungen¹. Der technologische Fortschritt erlaubt es jedoch, dass in naher Zukunft Fahrzeuge mit hoher Automatisierungsfunktion bis hin zu vollständig fahrerlosen Fahrzeugen auch eine sichere Personenbeförderung in breiter Anwendung im öffentlichen Verkehrsraum gewährleisten können. Erst die Optimierung dieser Systeme durch neue optische Sensortechnologien (z. B. LIDAR-Sensoren), leistungsfähigere Prozessoren, die eine komplexere Verarbeitung und Fusion von verschiedensten Sensordaten ermöglichen (z. B. für die Eigenlokalisierung und zur Erstellung hochauflösender Karten für Fahrzeugumfeldmodelle), durch neue Datenmanagementkonzepte (z. B. Auslagerung von Daten und Datenverarbeitung in ITS-Clouds oder Mobile Edge Clouds), Datenverarbeitungsmethoden (z. B. Maschinelles Lernen und Neuronale Netze zur Bilderkennung oder Verhaltensprädiktion durch Deep Learning) und neuen Kommunikationstechnologien (ETSI ITS-G5, Cellular-V2X/LTE-V) befindet sich die Automatisierung von Fahrzeugen derzeit im Übergang zu marktreifen Anwendungen. Derzeit zeichnen sich zwei Entwicklungs- und Markteinführungspfade ab:

1. Evolutionärer Ansatz von etablierten Fahrzeugherstellern: Die Fahrzeugautomatisierung hält hierbei

schrittweise Einzug in ein komplexes Verkehrssystem, indem aktive Fahrerassistenz- und Sicherheitssysteme für eine zunehmend größere Anzahl von Anwendungsfällen entwickelt und optimiert werden. Der Einsatz der Systeme erfolgt dabei bereits in einem hochkomplexen Umfeld (z. B. urbaner Verkehr) und mit keiner oder nur geringer Limitierung der Fahrtgeschwindigkeit, sodass keine Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer folgt. Der Entwicklungspfad führt über verschiedene Automatisierungsgrade, die definitionsgemäß (vgl. z. B. SAE J3016) keine Unterstützung des Fahrers (Level 0) bis hin zum fahrerlosen Fahren (Level 5) vorsehen. Derzeit sind erste Serienfahrzeuge mit SAE Level 3-Funktionalitäten für den Autobahnverkehr bzw. baulich getrennte Kraftfahrstraßen erhältlich (vgl. Abb. 6) [18]. Hierbei übernimmt das Fahrzeug in einer spezifischen Anwendung die Längs- und Querführung. Der Fahrer muss das System nicht dauerhaft überwachen und wird bei Erfordernis zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert. Fahrzeuge mit SAE Level 5-Funktionalität werden ab den frühen 2020er Jahren erwartet [19]. Der evolutionäre Ansatz zielt im Zeitverlauf somit auf eine sukzessive Erhöhung des Automatisierungsgrades in einem komplexen Verkehrssystem ab. Erstanwendungen fokussieren dabei auf den MIV, motiviert durch das Kerngeschäfts-

¹ Erste Konzepte automatisierter Fahrzeuge existierten bereits 1925 durch Funkfernsteuerung mit Hilfe eines Radio-Transmitters (Experimenteller Versuch von Francis Houdina) oder 1958 durch automatische Spurführung mittels Induktivschleifen mit dem General Motors Firebird III. Fahrerlose (spurgeführte) Transportsysteme für den Transport von Waren (FTF/FTS) oder Personen (PRT/AGT) sind heute bereits State of the Art.

modell von den OEMs – der Fahrzeugproduktion und dem Fahrzeugverkauf.

II. Revolutionärer Ansatz von neuen Marktakteuren: Fahrzeuge mit einem hohen Automatisierungsgrad (SAE Level 4 und 5) werden in einem begrenzten Verkehrsumfeld mit geringer Komplexität und bei niedrigen Fahrtgeschwindigkeiten eingesetzt. Der Entwicklungspfad führt hierbei über verschiedene Umfeldszenarien und Einschränkungen des Regelbetriebs. Das heißt, im Gegensatz zum evolutionären Ansatz wird der Komplexitätsgrad des Verkehrsumfeldes sukzessive erhöht (abgegrenzter Werksverkehr/öffentlicher Raum, ohne/mit Querverkehr, ohne/mit Mischverkehr, Punkt-zu-Punkt-Verbindung/On-Demand-Flächenbetrieb). Zudem erfolgt der Einsatz mit limitierter Fahrtgeschwindigkeit (häufig begrenzt auf 25-45 km/h). Weiterhin ist professionelles Fahrpersonal als Rückfallebene an Bord, das im Bedarfsfall die automatisierte Fahrzeugsteuerung übersteuern kann. In einer weiteren Erprobungsstufe

entfällt der Fahrer physisch im Fahrzeug und wird durch ein Remote-System ersetzt (teleoperiertes Fahren), mit Hilfe dessen das fahrerlose Fahrzeug durch eine natürliche Person fernüberwacht und mit Fahrzeuginsassen kommuniziert werden kann [20].

Erstanwendungen des revolutionären Ansatzes fokussieren auf Fahrzeugkonzepte im Pkw- oder Kleinbusformat, motiviert durch neue Transportdienstleistungen oder die Automatisierung von Mobility-as-a-Service-Angeboten. Als Anbieter treten neue Marktakteure auf, deren Kernkompetenz weniger die Produktion von Serienfahrzeugen betrifft, als vielmehr die Entwicklung von Programmcode und die Automatisierung der Fahraufgabe. Im öffentlichen Verkehrsraum werden derzeit bspw. die Fahrzeugkonzepte Arma DL4 von Navya Technology, EZ 10 von EasyMile oder OLLI von Local Motors mit Fahrtgeschwindigkeiten < 45 km/h getestet¹.

Einen kooperativen Ansatz verfolgt hingegen das IT-Unternehmen Waymo mit den OEMs Fiat-Chrysler

Evolutionärer Ansatz

Revolutionärer Ansatz

Audi – A8 D5



© Audi AG

Chrysler Pacifica Hybrid – „Waymo Edition“



© Fiat Chrysler Automotive Group

Navya – Arma DL4



© Navya Technology

Abb. 6: Automatisierte Fahrzeugkonzepte und Technologieträger

¹ Eine Übersicht zu Technologieträgern für das fahrerlose Fahren ist dem Anhang II zu entnehmen.

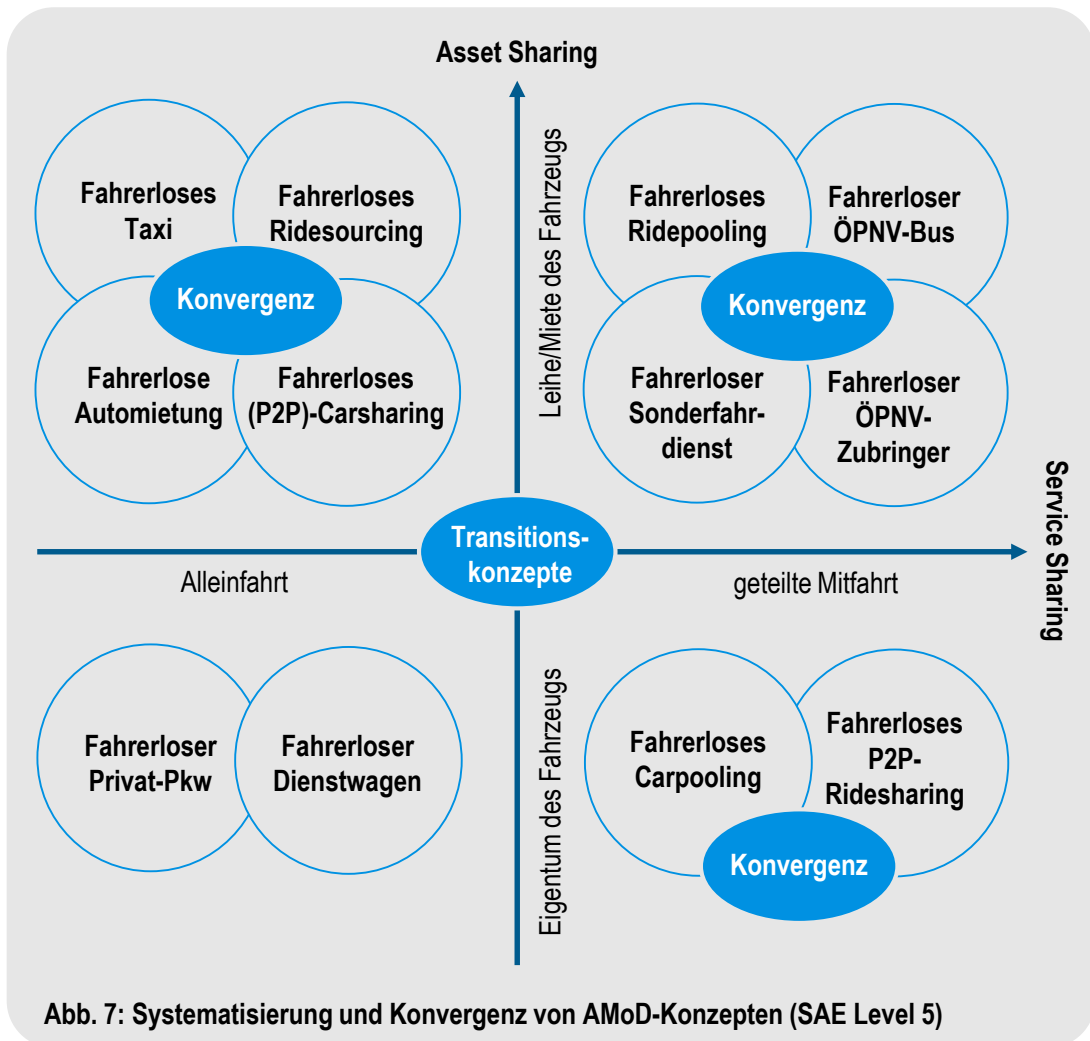
und Jaguar. Derzeit erprobt Waymo ihre Automatisierungssoftware mit einer Flotte von 600 Chrysler Pacifica (SAE Level 4/5) u. a. im US-Bundesstaat Kalifornien [21], [22] – künftig teleoperiert unterstützend [23]. Perspektivisch will Waymo Ridesourcing- und Ridepooling-Dienste offerieren, die durch eine Flotte von mehr als 62.000 fahrerlosen Fahrzeugen erbracht werden [22]. Fiat-Chrysler und Jaguar fungieren dabei als Hardwareplattformlieferanten. Auch das Startup nuTonomy hat mit der Groupe PSA eine strategische Entwicklungspartnerschaft geschlossen, sowie zusätzlich mit dem Startup Lyft, um perspektivisch einen Robo-Taxi-basierten Fahrdienst anzubieten. Darüber hinaus werden durch die Initiativen comma.ai und Apollo Auto Open-Source-Ansätze verfolgt, bei der die Entwicklung und Nutzung von Programmcode für automatisiertes Fahren öffentlich zugänglich ist.

Beide Entwicklungsansätze ermöglichen in naher Zukunft aus verschiedenen Entwicklungsrichtungen das vollautomatisierte und fahrerlose Fahren im öffentlichen Verkehrsraum. Unter dem Terminus *AMoD (Autonomous Mobility-on-Demand)* sind somit weitere Mobilitätskonzepte aufzuführen, die als vierte Hauptgruppe bedarfsflexibler Mobilitätskonzepte zu subsumieren sind (vgl. Abb. 3) und die bisher in zahlreichen F&E-Projekten technologisch erprobt und mit Einsatzszenarien und Business Cases verknüpft werden. Erste Umsetzungskonzepte mit Regelbetrieb werden bereits bis zum Jahr 2020 erwartet [24].

AMoD-Konzepte entstehen aus der Kombination von

MoD-Services und der Beförderung durch fahrerlose Fahrzeuge (vgl. z. B. [25]). Sie sind mit Teilausprägungen der bereits vorgestellten flexiblen Mobilitätskonzepte (insbesondere Ridepooling, Ridesourcing oder Carsharing und P2P-Ridesharing, aber auch multimodale Mobilitätsplattform und Taxi-Dienste) kombinierbar und sie werden perspektivisch die Grenzen zwischen MIV und ÖV weiter miteinander verschmelzen (vgl. Abb. 7), da bei großer Verfügbarkeit autonomer Fahrzeugflotten ohne Einschränkungen im Flächenbetrieb der Mehrwert eines privaten Pkw signifikant sinkt [26]. Die Fahrzeugautomatisierung trägt hierbei zur Konvergenz aber auch zur weiteren Flexibilisierung dieser Angebote bei: Nutzer müssen nicht mehr die Fahrzeuge bzw. entfernt liegende Zugangspunkte aufsuchen, sondern das Fahrzeug sucht die Nutzer auf und auch immobile Personen erhalten ohne Unterstützung Zugang zur Mobilität. Vorteile für Nutzer liegen auf der Hand: Zeit- und ggf. Kostenersparnis sowie Komfortgewinn bei einer sicheren Fortbewegung. Auch für Betreiber äußern sich Vorteile im günstigeren Flottenbetrieb und einer höheren Fahrzeugauslastung [27]. Für potentielle Betreiber sollen so neue Märkte oder Geschäftsfelder betreten (Betreiber z. B. Transportation Network Company) oder aber neue Verkehrsräume erschlossen und somit bestehende Geschäftsfelder erweitert werden (Betreiber z. B. Öffentlicher Verkehrsbetrieb).

Grundsätzlich haben AMoD-Konzepte die Indivi-



dualisierung des öffentlichen Personentransports zum Gegenstand und zielen auf die Transformation des innerstädtischen Verkehrs ab [24], um zentrale Verkehrsprobleme (wie z. B. Flächennutzung, Stauzeiten, THG-Emissionen, Verkehrsunfälle etc.) zu reduzieren [24]. AMoD-Konzepte können neben den innerstädtischen Kernzonen aber insbesondere auch die sogenannte „erste bzw. letzte Transportmeile“ im suburbanen oder auch ländlich-peripher geprägten Raum adressieren, indem die automatisierten Fahrzeuge bspw. als intermodale Shuttle-Busse oder

Robo-Taxis (auch bezeichnet als: Peoplemover oder Schwarmtaxi) andere Verkehrsmittel komplementär ergänzen. AMoD-Konzepte stehen damit in direktem Wettbewerb mit Taxi-Diensten und existierenden MoD-Angeboten, da deren Geschäftsmodelle lohnkostenintensive Komponenten aufweisen. Der durch AMoD-Konzepte verbundene geringere Personaleinsatz könnte hingegen mit einer höheren Profitabilität verbunden sein (vgl. Kapitel *Betreibermodelle und Lebenszykluskostenbetrachtung*).

Weitere Perspektiven von AMoD-Konzepten beziehen sich auf das (P2P)-Carsharing als Tür-zu-Tür-Service [28]: Das Fahrzeug fährt dabei fahrerlos zum und vom Carsharing-Nutzer. Der Nutzer übernimmt die Fahrt allerdings selbst. So werden Zu- und Abgang für den Nutzer komfortabler und effizienter gestaltet (derzeit erfordert der Zugang im Mittel bis zu 16 Minuten), da hierfür keine zusätzlichen Zeiten aufgewendet werden müssen. Folglich könnten so die geringen Nutzungsanteile von Carsharing im ländlichen Raum gesteigert werden (vgl. Tab. 1). Darüber hinaus können AMoD-Konzepte im Einklang mit den bestehenden ÖV-Angeboten komplementäre intermodale Angebote erzeugen (Mobilitätspakete) oder unwirtschaftliche ÖV-Angebote ersetzen. Denkbare Einsatzszenarien könnten daher sein (vgl. [17], [24], [29], [30]):

1. *ÖPNV-Zubringer/Abholer*: Automatisierte Shuttles fungieren als Bediener der ersten/letzten Transportmeile in abgelegenen bzw. nicht durch den ÖPNV erschlossenen Gebieten als Teilelement einer intermodalen Wegekette. Sie verkehren hierbei zwischen der Haustür und dem Zustiegspunkt des übergeordneten Verkehrsnetzes (Bus- oder Schienennetz). Die zeitliche Taktung der Shuttles ist abgestimmt auf den ÖPNV-Fahrplan bzw. berücksichtigt im Falle der Echtzeitortbarkeit auch Verspätungen des ÖPNV und orientiert sich dabei am Bedarf des Fahrgastes. Der ÖPNV bleibt im vorliegenden Szenario Hauptverkehrsmittel, da es bspw. über das vorhandene Schienennetz eine direkte und zeiteffiziente Verbin-

dung zum nächsten Oberzentrum bereitstellt. Die eingesetzten Shuttles ergänzen den ÖPNV hingegen durch eine kostengünstige feinräumige Erschließung. Es sind zwei Ausprägungen zu unterscheiden:

- Shuttle-Verbindungen zwischen Wohnort und Bus-/Zug-Bahnhof im gleichen/nächsten Ort;
- Shuttle-Verbindungen zwischen Wohnort und ÖPNV-Zugang im Oberzentrum/Großstadt zum Ersatz von Park&Ride und Kiss&Ride.

2. *Automatisiertes Ridesourcing-Shuttle und Ridepooling-Shuttle bzw. -Taxi*: Angedacht als on-demand-Dienst für die Bedienung disperser Quell- und Zielverkehre mit 24/7-Verfügbarkeit sollen automatisierte Shuttles auf einer Direktverbindung den bestehenden aber unwirtschaftlich betriebenen ÖPNV ersetzen. Dabei erfolgt der Shuttle-Einsatz ohne feste Taktung und in feinräumiger Erschließung (Flächenbetrieb) z. B. durch einen Mobility Service Provider oder einen öffentlichen Verkehrsbetrieb selbst (das Angebot wird in diesem Fall Bestandteil des ÖPNV und ersetzt fahrplan- und liniengebundene Angebotsformen).

3. *Nachfrageregulierer*: Automatisiert fahrende Einheiten sind kurzfristig in Spitzenlastzeiten zur Kompensation von Kapazitätsschwankungen existierender ÖPNV-Angebote (z. B. Buslinien) einsetzbar, um so eine weitere Angebotsflexibilisierung zu erzielen und kosteneffizient auf Nachfrageänderungen zu reagieren. Dies kann sich z. B. auf

tageszeitliche (ÖPNV-Berufspendler) oder jahreszeitliche (Schulferien) Saisonalitäten beziehen. Die Bereitstellung dieser automatisierten Nachfrageregulierer könnte ein Mobility Service Provider übernehmen.

4. *Automatisierte Sonderfahrdienste:* Mobilitätseingeschränkte Personengruppen (vgl. folgendes Teilkapitel) könnten durch die Automatisierung von Sonderfahrdiensten (Freigestellter Schülerverkehr, Behindertenfahrdienst etc.) mobilisiert und kostengünstig befördert werden. Zur Erhöhung der Fahrzeugauslastung bietet sich für den Betreiber eine Kombination mit komplementären Nachfragegruppen oder Angebotsformen (z. B. automatisiertes Ridesourcing/Ridepooling) an.

5. *Übergangsformen:* Da anzunehmen ist, dass eine vollständig feinräumige Erschließung nur mit höchstem Automatisierungsgrad und umfassender Kommunikationsinfrastruktur realisierbar sein wird, sind zeitlich befristete Übergangsformen für den automatisierten ÖPNV-Zubringer/Abholer und das automatisierte Ridepooling/Ridesourcing erforderlich. Dies würde den Einsatz in der Fläche zunächst auf Strecken mit geringer Komplexität limitieren, wie z. B. den Shuttle-Betrieb zwischen zwei festen Haltepunkten – bspw. Bahnhof und wohnortnaher Haltestelle – ohne/mit dynamischer Routenführung und fester Taktung nach Fahrplan (dynamisch-automatisierte Ruflinie).

Die Realisierung der vorgestellten Einsatzszenarien wird gegenwärtig durch das PBefG unterstützt. So ist

es bspw. im Rahmen der Experimentierklausel (§2 Abs. 7 PBefG) gestattet, neue Verkehrsarten oder Verkehrsmittel für eine Dauer von bis zu 4 Jahren zu erproben und Abweichungen von den geltenden Vorschriften (Linien- und Fahrplanbindung) hinsichtlich ihrer Nutzenbeiträge und Vorteile zu evaluieren. Öffentliche Verkehrsunternehmen können somit allein oder in Kooperation mit einem Mobility Service Provider korrespondierende AMoD-Konzepte kreieren und erproben, um perspektivisch kollaborative Angebote auf Basis automatisierter Fahrzeuge in den Mobilitätsverbund aufzunehmen.

Grundsätzlich ist die Art des automatisierten Fahrzeugkonzeptes in den vorgestellten Einsatzszenarien auf die jeweilige Nachfragesituation adaptierbar und auf Pkw, Klein-/Midibus oder Niederflurbus übertragbar. Aufgrund von – im Vergleich zu Pkw's – höheren Sicherheitsanforderungen, die an Busse gestellt werden, könnten Einführungspfade zunächst Pkw und Pkw-ähnliche Shuttle-Konzepte umfassen. Die Übertragung von Automatisierungstechnologien auf Großraumbusse wird daher erst später, bei hinreichender Erprobung im öffentlichen Straßenverkehr erwartet.







Gleichzeitig sind die differenzierten Mobilitätsbedürfnisse unterschiedlicher Zielgruppen im Verkehr zu berücksichtigen. Einen Überblick hierzu stellt das folgende Kapitel vor.

Mobilitätseingeschränkte Personen

Der Untersuchungsschwerpunkt für die zu betrachtenden Use Cases (Anwendungsfälle) ist auf immobile Personengruppen gerichtet. Dies umfasst im allgemeinen Verständnis Menschen, die nicht als Selbstfahrer am Verkehr teilnehmen können, wollen oder dürfen. In diesem Kontext definiert der Verkehrsclub Deutschland den Begriff *Mobilitätsbehinderung* mit einem weitläufigen Verständnis und subsumiert hierunter Personen, „die aus einem bestimmten Grund nicht über die Beweglichkeit und Leistungsfähigkeit einer gesunden erwachsenen Person ohne Gepäck verfügen“ [31]. Da hierbei situative Faktoren – wie z. B. Gepäckmitnahme oder Ortskenntnis etc. – nicht ausgeschlossen werden, erscheint eine Abgrenzung von Personengruppen auf dieser Grundlage für diese Studie als ungeeignet.

Daher soll dieser Studie das enger gefasste Begriffsverständnis der *Mobilitätseinschränkung* zu Grunde gelegt werden, wie es die EG-Verordnung Nr. 1107/2006 für Flugreisende benennt: „[...] Person mit eingeschränkter Mobilität ist eine Person, deren Mobilität bei der Benutzung von Beförderungsmitteln wegen einer körperlichen (sensorischen oder motorischen, dauerhaften oder zeitweiligen) Behinderung, einer geistigen Behinderung oder Beeinträchtigung, wegen anderer Behinderungen oder aufgrund des Alters eingeschränkt ist und deren Zustand angemessene Unterstützung und eine Anpassung der [...] bereitgestellten Dienstleistungen an die besonderen Bedürfnisse dieser Person erfordert.“

Neben geistigen oder körperlichen Behinderungen

	Temporär Fahruntaugliche/ -beeinträchtigte	Mitfahr- orientierte	Altersbeeinträch- tigte - Senioren	Altersbeeinträch- tigte - Kinder/ Jugendliche	Motorisch Behinderte	Verstehens/ Orientierungs- Behinderte
						
Körperlich und geistige Fahrtauglichkeit	Körperlich – Nein; Geistig – Ja	Körperlich – Ja; Geistig – Ja/Nein*	Teilweise	Nein	Teilweise	Nein
Fahrerlaubnisbesitz	Ja	Teilweise	Teilweise	Nein	Teilweise	Nein
Dauer der Mobilitäts- einschränkung	Temporär	Dauerhaft	Dauerhaft	Dauerhaft	Dauerhaft	Dauerhaft
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> - Vorübergehend körperlich erkrankte Personen - Schwangere Personen - Fahruntüchtige Personen (z. B. Alkoholeinfluss, Müdigkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> - Freiwillig & unfreiwillig fahrerlaubnislose Personen - Mitfahrer mit Fahrerlaubnis * Personen denen die Fahrerlaubnis entzogen wurde 	<ul style="list-style-type: none"> - Personen mit eingeschränkter Muskelkraft/ Beweglichkeit - Personen mit altersbedingten Einschränkungen (visuell, auditiv, reaktiv) 	<ul style="list-style-type: none"> - Personen die das gesetzlich fixierte Mindestalter zum Fahrerlaubniswerb noch nicht erreicht haben (Schüler, Kleinkinder) 	<ul style="list-style-type: none"> - Personen mit Seh-, Hör-, Gehbehinderung - Personen mit Anfallsleiden - Personen mit Gleichgewichtsstörungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Geistigbehinderte Personen - Psychisch/see-lisch Behinderte - Lernbehinderte - Mehrfachbehinderte

Tab. 2: Charakterisierung von Personengruppen mit Mobilitätseinschränkung

werden u. a. auch altersbedingte Ursachen als Unterscheidungsmerkmale benannt. Hieran soll die in dieser Studie verwendete eigene Differenzierung (Tab. 2) anknüpfen, innerhalb der zusätzlich die Dauerhaftigkeit der Mobilitätseinschränkung einbezogen wird. Zudem sollen die körperliche/geistige Fahrtauglichkeit und der Fahrerlaubnisbesitz (gemäß § 2 Abs. 4 StVG) zur Abgrenzung herangezogen werden, um festzustellen, ob die jeweilige Personengruppe die Voraussetzungen zum selbstständigen Führen eines Kraftfahrzeugs besitzt.

Ohne Berücksichtigung von Personen mit fehlenden

Ortskenntnissen oder Personen mit schwerem Reisegepäck sind insgesamt *sechs Typen von mobilitätseingeschränkten Personengruppen* zu differenzieren. Von primären Interesse für die Bearbeitung der Studie sind Personengruppen mit einer dauerhaften Mobilitätseinschränkung und ohne Führerscheinbesitz – insbesondere Personen mit motorischen oder seelisch-geistigen Behinderungen und Personen mit Altersbeeinträchtigungen (Kinder und Jugendliche sowie Senioren). Im Folgenden sollen diese anhand charakteristischer Besonderheiten und ihres typischen Mobilitätsverhaltens skizziert werden.



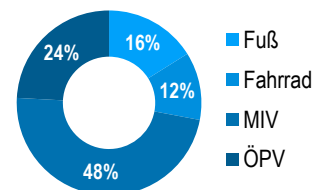
1. Gruppe mobilitätseingeschränkter Personen: Kinder und Jugendliche



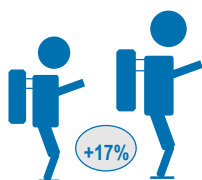
Als wesentliches Charakteristikum dieser Personengruppe zeigt sich, dass Kinder und Jugendliche nicht über das Mindestalter verfügen, um ein Kraftfahrzeug selbständig führen zu dürfen¹, weshalb sie vom Kleinkindalter an, über das Schulalter hinweg bis hin zur beruflichen Ausbildung zum Erreichen wichtiger Versorgungseinrichtungen, wie z.B. Kinderbetreuungsstätten, allgemeinbildende und berufsbildende Schulen oder Ausbildungsbetriebe, auf andere Verkehrsmodi als das eigene Fahrzeug zurückgreifen müssen oder auf die Unterstützung durch erwachsene Personen angewiesen sind.

Diese Einschränkung und Abhängigkeit ihrer Mobilität erfährt insbesondere im ländlichen Raum große Bedeutung, wo bedingt durch Schulschließungen in Folge von Schrumpfungprozessen das Erreichen von Schule und Ausbildungsstätte häufig nur über Gemeindegrenzen hinweg und somit über längere Distanzen realisierbar ist. Daher scheiden Fahrrad oder Zufußgehen als Verkehrsmodi aus, wodurch gegenwärtig Beförderungen mit dem Auto durch die Eltern oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln die einzigen bzw. dominierenden Optionen sind und vergleichsweise höhere Beförderungskosten verursachen.

Modal Split für Mobilitätswerk Kita/Schule/Ausbildung [32]



2015/16 2030/31



453.300 531.400

Schüler

im Freistaat Sachsen [35]

Abseits vom Linienverkehr ist der freigestellte Schülerverkehr in ländlichen Räumen ein zentrales Element der Daseinsvorsorge. Hierbei verursachte Kosten übersteigen die Kosten der Beförderung mit dem ÖPNV im Einzelfall um das Achtfache [33]. Auf das Jahr betrachtet entstehen so Kosten von mehr als 30 Mio. Euro [34] bzw. ca. 2.610 Euro je beförderten Schüler, die der Freistaat Sachsen den ausführenden Unternehmen vollständig erstattet. Vor dem Hintergrund steigender Schülerzahlen (+17 % bis 2030) und dezimierter Schulnetze ist bis 2030 von weiteren Kostensteigerungen auszugehen.

¹ Fahrerlaubnis für Pkw ab 18 Jahren bzw. begleitet ab 17 J. und für Mofa ab 15 J. (im Freistaat Sachsen).

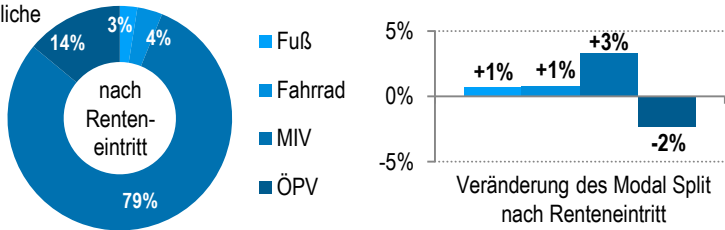


2. Gruppe mobilitätseingeschränkter Personen: Senioren



Im Vergleich zu den Erwerbstätigen verändern sich, in Folge des Renteneintritts, die Aktivitäten im Alltag von älteren Personen, woraus ein sich verändertes Mobilitätsverhalten resultiert [36]. So entfallen Pendelwege zum Arbeitsplatz und Mobilitätsw Zwecke wie z. B. Freizeit, Einkauf und Arztbesuche gewinnen an Bedeutung. Die Verkehrsleistung sinkt signifikant (Werktags: -13 % bei Männern, Wochenende: -26 % bei Frauen). Zudem legen weibliche Senioren weniger Wege am Tag zurück (von 3,12 auf 3,08) und die Mobilitätszeit reduziert sich. Somit sind Senioren nach der Verrentung weniger mobil als vorher – insbesondere ab dem 75. Lebensjahr [37].

Modal Split der Verkehrsleistung von Senioren [36]



Der Blick auf die Verkehrsmittelnutzung verdeutlicht eine Verschiebung zugunsten des MIV, wohingegen der ÖPNV weniger Nutzung erfährt. Das Auto ist somit wichtigstes Fortbewegungsmittel der selbst- oder mitfahrenden Senioren. Gleichzeitig kann in Sachsen – korrespondierend mit dem zunehmenden Anteil an der Gesamtbevölkerung – eine stetige Zunahme von Verkehrsunfällen mit Personenschäden unter Beteiligung Älterer festgestellt werden (ab 65 Jahre: +126 % ggü. 1995; Berechnung auf Grundlage von [38]). Auch Unfälle mit Schwer- (+61 %) und mit Leichtverletzten (+196 %) zeigen signifikante Wachstumsraten auf – bei gleichbleibenden oder rückläufigen Tendenzen in den anderen Alterskohorten. Es ist anzunehmen, dass sich diese Entwicklungen bis 2030 tendenziell fortschreiben werden.

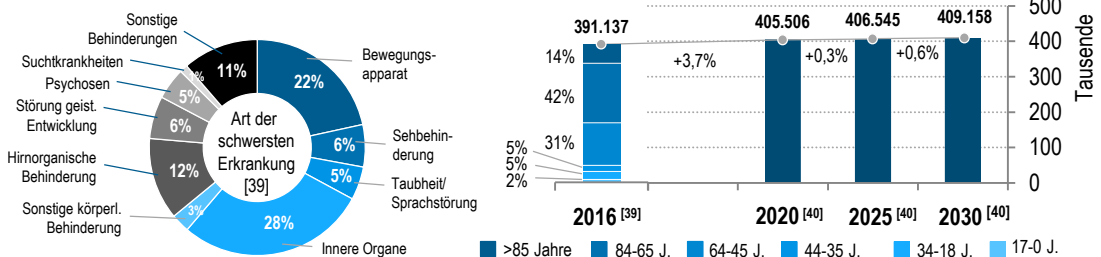


3. Gruppe mobilitätseingeschränkter Personen: Körperlich und geistig behinderte Menschen



Personen, die eine dauerhafte körperliche oder geistige/seelische Behinderung erleiden sind unter diese Gruppe von mobilitätseingeschränkten Personen zu subsumieren. Im engeren Sinne (§ 1 SchwBG) impliziert dies schwerbehinderte Menschen mit einem Grad der Behinderung von ≥ 50 , im weiteren Sinne aber auch diejenigen, die gemäß Art. 1 der UN-Behindertenrechtskonvention an einer gleichberechtigten Teilhabe in der Gesellschaft gehindert sind. Die Heterogenität dieser Gruppe kann somit anhand von drei mobilitätsrelevanten Segmenten beschrieben werden: Erstens, Personen, die im Besitz einer Fahrerlaubnis sind und selbst ein Fahrzeug führen dürfen (z.B. Rollstuhlfahrer). Zweitens, Personen, die keine Fahrerlaubnis besitzen, jedoch selbstständig als Verkehrsteilnehmer interagieren (z.B. Blinde). Sowie als drittes Segment,

Art der Erkrankung und Anzahl von schwerbehinderten Menschen in Sachsen



Personen, die aufgrund der Art oder Schwere ihrer Behinderung vollständig auf externe Mobilitätshilfe angewiesen sind. Für dieses Segment werden individuelle Fahrdienste organisiert, deren verursachte Kosten aus Mitteln der Eingliederungshilfe (z. B. § 53 SGB IX) von dem jeweiligen Rehabilitationsträger (z. B. Krankenkassen) erstattet werden.

Use Cases: AMoD-Konzepte für Mobilitätseingeschränkte

Anknüpfend an das kurz skizzierte Mobilitätsverhalten spezifischer Gruppen von mobilitätseingeschränkten Personen ist es Ziel des vorliegenden Teilkapitels, auf dieser Grundlage Use Cases mit geeigneten Bedienformen für automatisierte Fahrzeuge darzustellen, die für die experimentelle Erprobung eines AMoD-Konzeptes in Kombination mit einem erfolgversprechenden Geschäftsmodell auf einem Testfeldkorridor in Frage kommen. Als Use Cases werden im Verständnis dieser Studie Einsatzszenarien für automatisierte Fahrzeuge bezeichnet, die Einsatzzweck, -art und -häufigkeit der einzusetzenden Fahrzeuge (SAE Level 4/5) beschreiben und somit den Rahmen für ein Mobilitätskonzept und Geschäftsmodell bilden.

Zunächst können als Erkenntnis aus dem vorangegangenen Teilkapitel die folgenden Hauptwege als für die jeweilige Personengruppe besonders relevant hervorgehoben werden. Diese Hauptwege sollen fundamentale Mobilitätsbedarfe der jeweiligen Gruppen repräsentieren:











- Schüler: Werk tägliche Pendelwege mit Ausnahme des Samstag zu festen Zeiten z. B. Schulbeginn und -ende erfolgen zwischen (dispers) verteilten Wohnorten und ebenfalls im Stadtgebiet verteilten Schulen. Wobei für staatliche Grundschulen und Berufsschulen das festgelegte Einzugsgebiet zu beachten ist. Sporadische Wege betreffen zudem die Verbindungen von Wohnort <-> Freizeiteinrichtungen/Sportstätten oder Schule <-> Freizeit/Sport. Die Einbindung automatisierter Fahrzeuge auf diesen Wegen könnte Entlastungen des MIV und des (freigestellten) Schülerverkehrs erzielen.
- Senioren: Für weitere Untersuchungen wird vereinfachend angenommen, dass Personen dieser Zielgruppe an zentralen Orten (z. B. Seniorenheim) leben. Wege dieser Personengruppen erfolgen weniger zu regelmäßigen Routinen und erfordern somit keine feste Taktung, sondern kennzeichnen vielmehr spontane Ereignisse mit sporadischen Abständen, weshalb bedarfsorientierte Konzepte von großer Bedeutung sind. Relevante Hauptwege könnten sich daher beziehen auf die Verbindung von Seniorenheimen <-> Pflegeeinrichtungen; Seniorenheimen <-> Einkaufseinrichtungen und Seniorenheimen <-> Freizeit-/Kultureinrichtungen. Automatisierte Fahrzeuge könnten somit in sehr differenzierter Form eingebunden werden und insbesondere den MIV entlasten, seniorenbeteiligte Unfallzahlen reduzieren aber auch zu einer Erhöhung der Personenverkehrsleistung führen.
- Behinderte Personen: Analog zur Gruppe der Schüler ist für junge behinderte Menschen die werktägliche Erreichbarkeit von Schuleinrichtungen von großer Bedeutung. Im Unterschied wird jedoch ein zentraler Wohnort wie z. B. Wohn-

stätten oder Außenwohngruppen angenommen (zumindest zutreffend für ältere schulpflichtige Personen). Auch berufstätige behinderte Menschen verkehren werktäglich zu Arbeitsersatzstätten. Deshalb sind wichtige Hauptwege insbesondere die Verbindung von: Wohnstätte <-> Werkstatt für behinderte Menschen (WfbM) und Wohnstätte <-> Lernförderschule. Zudem können sich sporadische Wege bspw. auf die Verbindung von Wohnstätte <-> Pflegeeinrichtung beziehen. Der Einsatz automatisierter Fahrzeuge für behinderte Menschen könnte so z. B. zu einer Entlastung von Spezialfahrdiensten führen.

Ausgehend von diesen relevanten Hauptwegen lassen sich die Bedarfe für zeitliche und räumliche Flexibilisierungserfordernisse ableiten (vgl. Tab. 3). So erfolgen die jeweiligen Wege teilweise nach festen Routinen und kennzeichnen regelmäßige Pendelbewegungen, die keine Ad-hoc-Planung von Fahrten

bedürfen und somit niedrige zeitliche Flexibilisierungserfordernisse aufzeigen – bspw. das Erreichen von Schulen oder Arbeitsorten. Andere Fahrten sind hingegen stärker durch Spontaneität geprägt (Gelegenheitsverkehre) mit hohem Grad an zeitlicher Flexibilisierung, wodurch die Erfordernis von On-Demand-Angeboten gegeben ist – bspw. beim Aufsuchen von Einkaufsinfrastrukturen und Freizeiteinrichtungen.

Auch hinsichtlich des räumlichen Flexibilisierungsbedarfs sind Ausprägungen mit geringen Bedarfen, wie z. B. die Beförderung von behinderten Menschen zu Lernförderschulen oder Arbeitsersatzstätten, die durch einfache Linienangebote oder Ringlinien adressiert werden können, von Ausprägungen unterscheidbar, die mit hohen Flexibilisierungsbedarfen verbunden sind, wie z. B. die Schülerbeförderung von und zu dispers verteilten Wohnorten auf der letzten Meile und bspw. eine Flächenerschließung erfordern.

	Räumlicher Flexibilisierungsbedarf	Zeitlicher Flexibilisierungsbedarf
Schüler (Transfer Wohnort <-> Schule)	 Hoch – da dispers verteilte Wohnorte	 Niedrig – da geregelte Schulzeiten
Behinderte (Transfer Wohnstätte <-> Schule/Arbeitsersatzstätte)	 Niedrig – da zentralisierte Arbeitsstätten	 Niedrig – da geregelte Zeitfolgen
Behinderte (Transfer Wohnstätte <-> Pflegeeinrichtung)	 Niedrig – da zentralisierte Wohnstätten	 Mittel – da gut planbare Terminierung
Senioren (Transfer Seniorenwohnheim <-> Einkaufseinrichtung/Freizeit)	 Hoch/Mittel ¹ – da dezentral verteilte Standorte	 Hoch – da spontane Nutzung
Senioren (Transfer Seniorenwohnheim <-> Pflegeeinrichtung)	 Niedrig – da zentralisierte Wohnstätten	 Mittel – da gut planbare Terminierung

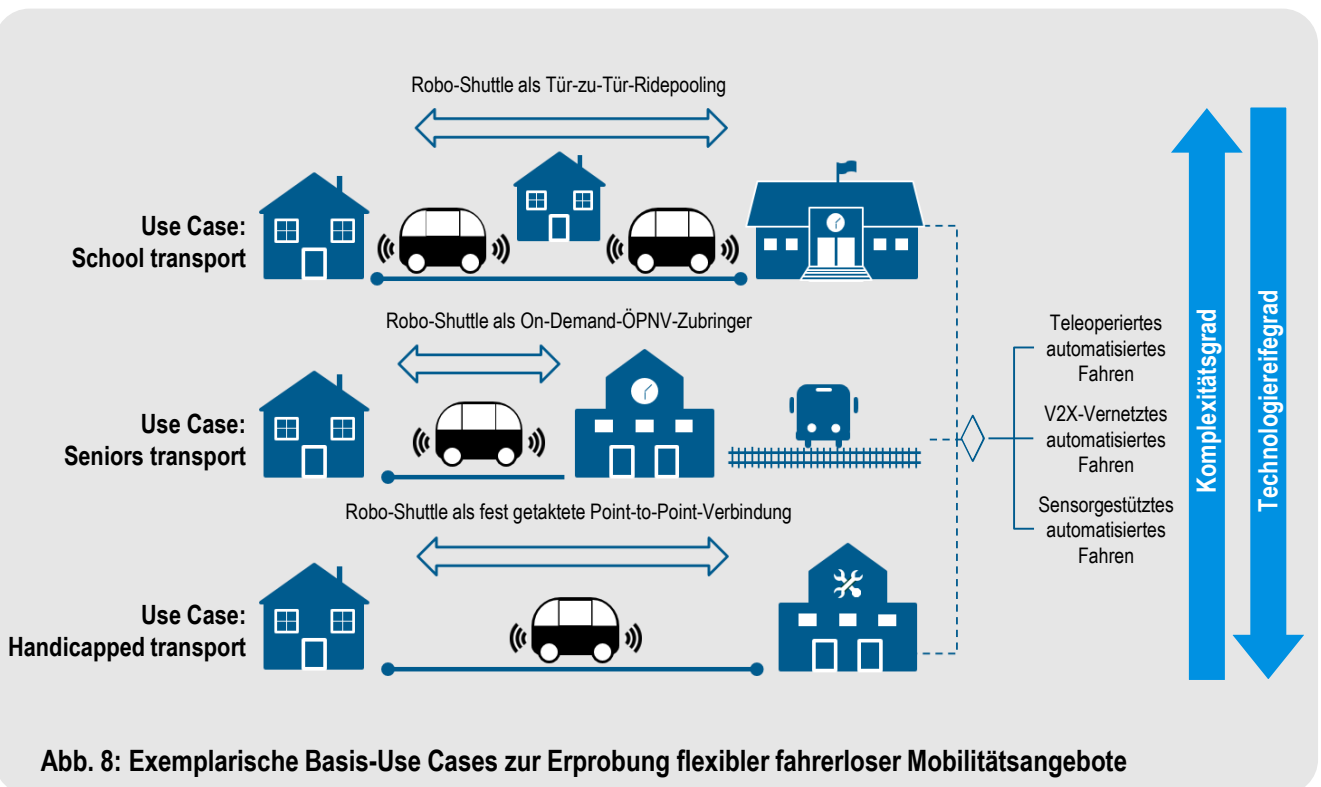
¹ Im Fall eines ÖPNV-Zulieferkonzeptes für den Schienen(fern)verkehr reduziert sich der räumliche Flexibilisierungsbedarf

Tab. 3: Einschätzung von Flexibilisierungsbedarfen je Personengruppe

Die identifizierten Flexibilisierungserfordernisse stellen nun die Grundlage für die Beschreibung der Use Cases dar, die durch den vorgesehenen Einsatzzweck, den Grad der räumlichen Bedienung und der Beförderungshäufigkeit differenzierbar sind. Neben den grundlegenden Basis-Use Cases (vgl. Abb. 8) soll zudem ein erweitertes Set Berücksichtigung finden, das Basis-Use Cases kombiniert (vgl. Abb. 9).

kehrt zeitlich getaktet mit Beginn und Beendigung von Schule bzw. Arbeit – morgens, mittags und nachmittags als werktäglicher Pendelverkehr.

Use Case 2 – Seniors transport beschreibt die Beförderung von immobilen älteren Menschen zwischen Seniorenwohnheim und einem ortsgebundenen Busbahnhof oder Bahnhof mit Zugang zum Schienen-



Basis-Use Cases:

Use Case 1 – Handicapped transport kennzeichnet die Personenbeförderung von Menschen mit Behinderungen zwischen ihrer zentralisierten Wohnstätte (Wohnheim oder Außenwohngruppe) und deren Arbeitsstätte oder Schule als eine direkte Point-to-Point-Verbindung ohne Zwischenhalte. Der auf einer Linie oder Ringlinie eingesetzte Robo-Shuttle ver-

verkehr, um Einkaufsinfrastrukturen oder Freizeiteinrichtungen auch außerhalb der Gemeinde erreichen zu können. Der fahrerlose Shuttle fungiert somit als liniengebundener ÖPNV-Zubringer, bei dem auch flexible Zwischenhalte entlang der Fahrtstrecke getätigt werden können. Da der Use Case insbesondere spontane Gelegenheitsverkehre

adressiert, verkehrt der Shuttle nach keiner vorgegebenen Taktung, sondern im Vollzeitbetrieb (24/7) nach Bedarf – On-Demand, indem potentielle Nutzer ihren Fahrtwunsch mit geringer Vorlaufzeit über eine webgestützte Plattform anmelden. Ein Abgleich mit der zeitlichen Verfügbarkeit der Anschlussverbindung am anzufahrenden Bahnhof soll zudem einen nahtlosen Übergang zum nächsten Verkehrsmittel (Bus/Zug) schaffen. Im Vergleich zu Use Case 1 wird somit die Beförderungsleistung zeitlich und aufgrund von Zwischenhalten auch räumlich flexibilisiert. Aus dem nicht regelmäßig verkehrenden Bedienungskonzept können so unausgelastete Fahrten vermieden und Wirtschaftlichkeitsvorteile erzielt werden.

Use Case 3 – School transport realisiert die Schülerbeförderung zwischen individuellen Wohnorten und Schulen in der Fläche – als fahrerloses Pendant zum freigestellten Schülerverkehr. Ähnlich wie Use Case 1 verkehrt der Robo-Shuttle werktäglich abgestimmt auf die Schulzeiten insbesondere morgens, mittags und abends mit einer festen Taktung. Aufgrund der großflächigen räumlichen Flexibilisierung stellt dieser Use Case im Gegensatz zu den liniengebundenen Bedienungskonzepten jedoch große Anforderungen an die Automatisierungstechnologie (vgl. Kapitel *Technologieträger und Ausbaustufen*), da dispers verteilte Wohnorte in der Fläche erschlossen werden müssen, um so im Ergebnis eine Tür-zu-Tür-Mobilität sicherzustellen, die ohne Automatisierung nur mit hohem Kostenaufwand betrieben werden könnte.

Somit werden die Mobilitätsangebote fahrerloser Linienbus (Use Case 1), fahrerloser ÖPNV-Zubringer (Use Case 2) und fahrerloser Sonderfahrdienst (Use Case 3) über die beschriebenen Basis-Use Cases abgebildet.

Synergien und Wirtschaftlichkeitsvorteile könnten sich darüber hinaus im Besonderen aus der Kombination von komplementären Use Cases ergeben, mit dem Ziel, die Auslastung der Robo-Shuttles zu erhöhen. Sinnvolle Kombinationen stellen beispielsweise dar:

Kombinierte Use Cases:

1. *Zeitliche Staffelung von (liniengebundenen) Bedienkonzepten:* durch die zeitlich gestaffelte Aufteilung des Shuttle-Einsatzes können mehrere Einsatzszenarien abgedeckt und die Shuttle-Betriebszeiten ausgeweitet werden. Z. B. bietet sich eine Kombination der Use Cases *school transport* oder *handicapped transport* mit dem Use Case *seniors transport* im Tagesverlauf zwischen Schulbeginn und –ende oder eine Ausweitung des Shuttle-Betriebs auf Zeiten außerhalb des Schulbetriebs (z. B. nach Schulende und an Wochenenden/Feiertagen) an. Hierbei kann das neue geschaffene Bedienkonzept in einfachster Ausprägung um ebenfalls feste Pendelzeiten auf einer neuen Route ergänzt oder durch weitergehende zeitliche Flexibilisierung um gebündelte On-Demand Fahrtangebote aufgewertet werden.

III. Mobilitätskonzepte und Use Cases

2. *Ausweitung der Bedienung auf weitere Einsatzszenarien:* Neben den bereits adressierten Hauptwegen kann ein weiterer Schwerpunkt, den Transport von Senioren oder behinderten Personen zu stationären Pflegeeinrichtungen umfassen. Der Shuttle frequentiert dabei nach Bedarf (unter Voranmeldung und Pooling von Fahrtwünschen) zwischen den zentralen Wohn-einrichtungen und den Pflegeeinrichtungen Point-to-Point ohne Zwischenhaltepunkte. Neben der ganztägigen Beförderung wäre auch in diesen Einsatzszenarien eine Kombination mit den Basis-Use Cases denkbar – insbesondere in

zeitlicher Ergänzung mit den Use Cases *school transport* und *handicapped transport* (z. B. vormittags und nachmittags).

3. *Ausweitung der Bedienung auf Nicht-Zielgruppen:* Use Case-übergreifend kann das Shuttle-Angebot in das reguläre ÖPNV-Angebot integriert werden und dabei als (teil)öffentliches Verkehrsmittel von Jedermann (z. B. für touristische Zwecke) gegen Entgelt genutzt werden. Im Ergebnis könnten so die Auslastung von Fahrten erhöht und Leerfahrten vermieden werden. Gleichzeitig konvergieren die Basis Use Cases zu einem übergreifenden Angebot.

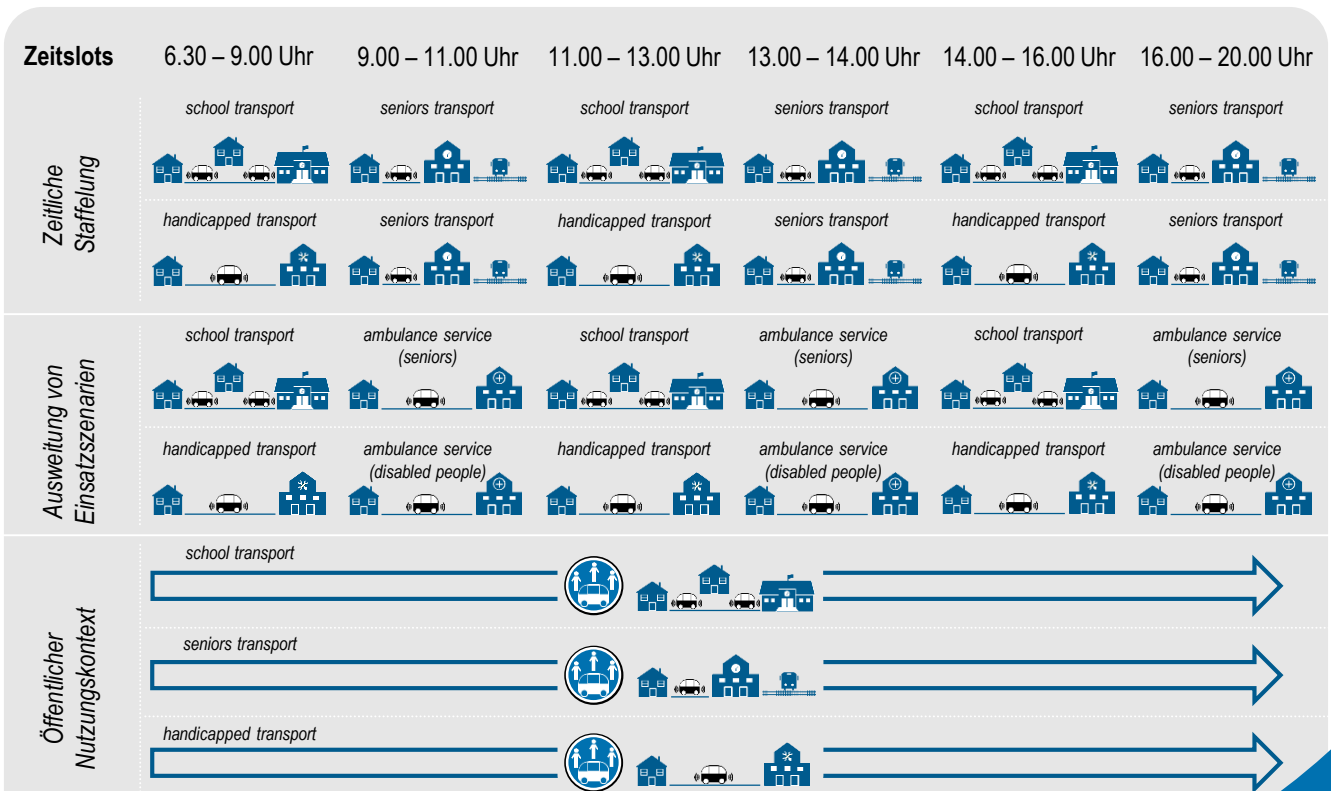


Abb. 9: Erweiterte Use Case-Kombinationen für komplementäre, fahrerlose Mobilitätsangebote

IV.

STANDORTANALYSE ZUR TESTFELDERSCHLIEßUNG

Multikriterielles Evaluierungskonzept

Einen ersten Ausgangspunkt für die Standortanalyse sollen die grundsätzlich zu erwartenden Potentiale von AMoD-Konzepten bilden, die z. T. bereits im vorangegangenen Abschnitt thematisiert wurden. AMoD-Dienste können Verbesserungen in prinzipiell sehr unterschiedlichen Einflussdomänen bewirken. Ein Strukturierungsvorschlag für entsprechende Ziel-

dimensionen findet sich in Abb. 10. Dabei bestehen oft Interdependenzen zwischen den jeweils adressierten Zielen, z. B. zwischen Verkehrseffizienz und ökologischer Nachhaltigkeit oder zwischen der Verbesserung von Wirtschaftlichkeit und Attraktivität von Mobilitätsangeboten und ihrer Sozialverträglichkeit sowie der Lebensqualität geographischer Räume.



Abb. 10: Generelle Zieldimensionen für die zu erwartenden Potentiale von AMoD

IV. Standortanalyse zur Testfelderschließung

Daher sind die Dimensionen oft nicht trennscharf voneinander abzugrenzen. Bei der Beurteilung von AMoD-Konzepten sind nach Möglichkeit alle jeweils relevanten Zieldimensionen einzubeziehen. Das kann je nach Entscheidungssituation eine andere Auswahl bzw. eine unterschiedliche Priorisierung von Zielgrößen bedeuten.

Wird speziell der Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie – Lösungen zur Befriedigung der Bedürfnisse mobilitätseingeschränkter Personen in peripheren Räumen – betrachtet, so sind besonders die in Abb. 10 **fett** hervorgehobenen Aspekte von Bedeutung. Gleichzeitig werden aber auch Verbesserungen in nicht primär adressierten Wirkungsfeldern möglich. Ein anderer Anwendungskontext wie hochurbane Mobilität würde z. B. ein stärkeres Gewicht auf Verkehrseffizienz und ökologische Zielgrößen legen.

Die für die einzelnen Aufgabenstellungen der Studie relevanten Zielgrößen werden in den entsprechenden Abschnitten thematisiert. Insbesondere für die ökonomische Dimension sei explizit auf den Kapitel *Betreibermodelle und Lebenszykluskostenbetrachtung* hingewiesen. Weiterhin wird im selben Kapitel eine grundlegende Operationalisierung möglicher Potentialfaktoren vorgenommen.

Für die Aufgabe der Standortanalyse zur Vorbereitung einer möglichen Erweiterung des digitalen Testfelds Dresden war jedoch ein spezifisches multikriterielles Zielsystem zu entwickeln, welches sich

speziell für diese Standortbestimmung eignet.

Die Aufgabe, geeignete Standorte für eine Testfeld-erweiterung zu finden und zu bewerten, unterscheidet sich von der Aufgabe, die Potentiale von AMoD-Konzepten zu bemessen. Die Standortbestimmung kann (und soll) daher nicht alle in Abb. 10 angesprochenen Zieldimensionen berücksichtigen. Stattdessen sind, wie im nachfolgenden Konzept für das Standort-Screening ausgeführt, zusätzliche Aspekte, wie die periphere Lage im Großraum Dresden, die vor Ort vorhandene demografische Problemlage und die Eignung hinsichtlich bereits vorhandener Infrastrukturen, einzubeziehen.

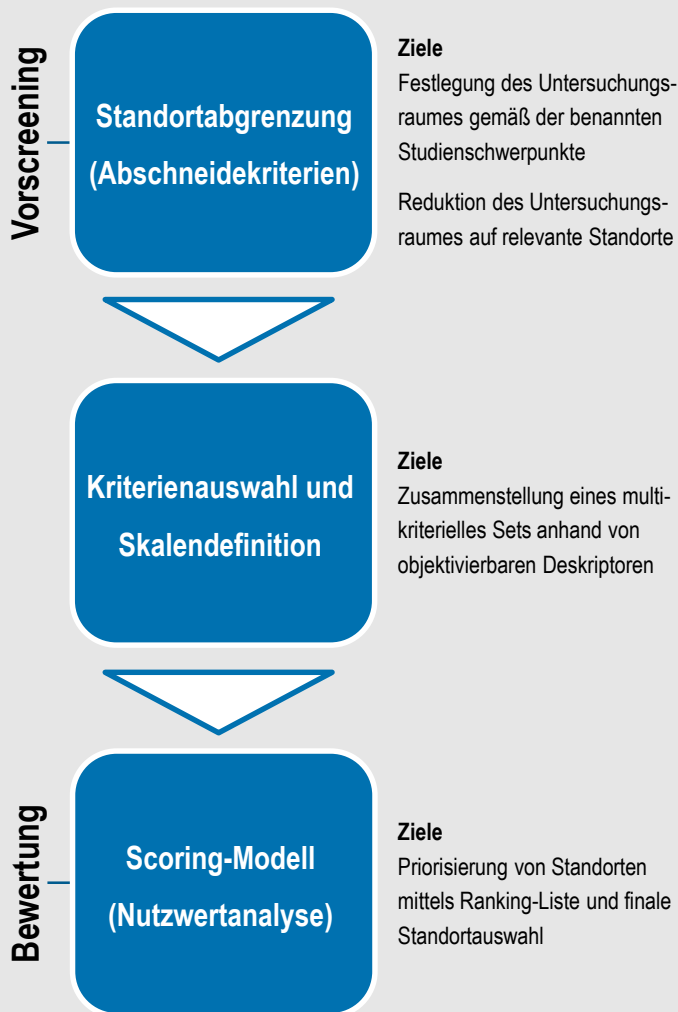
Auf Basis der Ergebnisse eines solchen Standort-Screenings sind anschließend in Abstimmung mit Vertretern der als besonders geeignet identifizierten Standorte im Einzelfall die aus Sicht der kommunalen Verwaltung im Mittelpunkt stehenden Ziele (unter Rückgriff auf die in Abb. 10 angesprochenen Zieldimensionen) und die erwartbaren Potentiale zur Erreichung dieser Ziele zu diskutieren und einzuschätzen sowie schließlich die tatsächliche Sinnhaftigkeit einer Testfelderweiterung bzw. darüber hinausgehender Aktivitäten vor Ort zu prüfen.

Dazu sind zusätzliche Anbahnungs- und Vorbereitungsgespräche mit den kommunal verantwortlichen Stellen notwendig, die im Rahmen dieser Grundlagenstudie nicht umsetzbar waren.

Konzept für das Standort-Screening zur Testfelderschließung

Maßgeblich für die Identifikation eines geeigneten Standortes zum Aufbau eines Testfeldes für die Erprobung von Anwendungsfällen des automatisierten Fahrens sind die dem Studienkonzept zugrunde

liegende Schwerpunkte, die sich auf *Städte und Gemeinden* in den *peripheren Siedlungsstrukturen* des *Großraumes Dresden* konzentrieren. Für die Analyse der Standorte wurde ein dreistufiges Vorgehen entwickelt (vgl. Abb. 11). Im Rahmen dessen ist der eigentlichen Standortbewertung ein Vorscreening vorangestellt. Zweck des Vorscreenings ist eine Fokussierung, um den Untersuchungsraum auf die – für die Studienschwerpunkte – relevanten Standortalternativen einzugrenzen. Hierzu erfolgte zunächst die Definition von vier Abschneidekriterien, anhand derer diejenigen Standorte aus dem Untersuchungsraum zu entfernen sind, die das jeweilige Kriterium nicht erfüllen. Als Kriterien wurden in der genannten Reihenfolge definiert:



1. *Großraum Dresden*: Für den Großraum Dresden existiert keine konsistente Definition¹, weshalb zunächst alle Gemeinden mit einer maximalen Entfernung von 50 km zwischen den geographischen Ortsmittelpunkten einbezogen wurden. Die Anzahl der Gemeinden, aus den an Dresden angrenzenden Landkreisen (Bautzen, Meißen, Mittelsachsen, Sächsische Schweiz), konnte so von 178 auf 106 Gemeinden reduziert werden.

2. *Verdichtete Siedlungsstrukturen*: Etwa die Hälfte der sächsischen und ca. 1/3 der gesamtdeutschen Bevölkerung lebt in ländlich geprägten Kreisen (Eigene Berechnung auf Grundlage von [42]). Insbe-

Abb. 11: Dreistufiges Vorgehen zur Analyse von Standorten für ein Testfeld für automatisiertes Fahren

¹ Der Ballungsraum Dresden ist der Verdichtungsraum des Oberzentrums Dresden und insbesondere durch Orte mit hoher Einwohnerdichte gekennzeichnet [41]. Nicht enthalten sind die peripheren Räume, die jedoch einen wesentlichen Schwerpunkt dieser Studie adressieren.

liegenden Schwerpunkte, die sich auf *Städte und Gemeinden* in den *peripheren Siedlungsstrukturen* des *Großraumes Dresden* konzentrieren. Für die

sondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels gewinnen kleinstädtisch und landstädtisch geprägte Siedlungsstrukturen für die Mobilitätsforschung an Bedeutung. Einhergehend mit der siedlungsstrukturellen Abgrenzung von Stadt- und Gemeindetypen der amtlichen Statistik und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) wurden Gemeinden mit einer Population zwischen > 2.000 und < 20.000 Einwohnern (EW) berücksichtigt [43, 44]. Dies umfasst die Stadttypen

- Landstadt (≥ 2.000 bis < 5.000 EW),
- Kleine Kleinstadt (≥ 5.000 bis < 10.000 EW),
- Große Kleinstadt (≥ 10.000 bis < 20.000 EW).

3. *Peripherer Raum*: Als Ergänzung zum zweiten Kriterium ist zusätzlich der Untersuchungsraum auf die Gemeinden einzugrenzen, die von eher geringer Besiedlung gekennzeichnet sind und so dem peripheren Raum zuordenbar sind. Zwar existiert keine klare Definition für den ländlichen Raum. Als unterscheidende Kenngröße ist jedoch allgemein die Einwohnerdichte anerkannt [45]. So werden Gemeinden zum ländlichen bzw. peripheren Raum gezählt, wenn deren Einwohnerdichte weniger als 150 Einwohner je km^2 beträgt [42, 46].

Durch die Berücksichtigung des zweiten und dritten Kriteriums soll bezweckt werden, dass der Untersuchungsraum auf *ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen* eingegrenzt wird – d. h. nur die Gemeinden inkludiert, die zwar eine periphere Komponente aufweisen, jedoch über eine minimale

Infrastruktur an Versorgungseinrichtungen verfügen. So gelang es den Untersuchungsraum um weitere Standorte auf 54 Gemeinden zu verdichten.

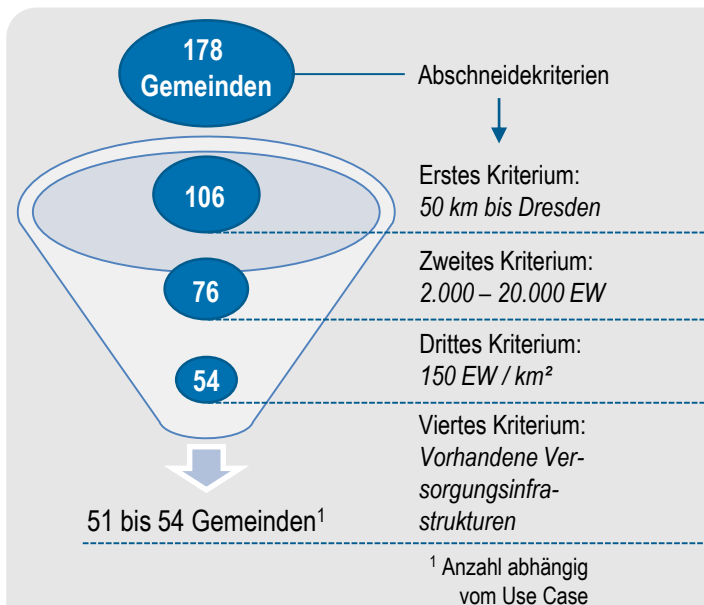


Abb. 12: Eingrenzung des Untersuchungsraumes

4. *Vorhandene Versorgungsinfrastrukturen*: Für die Realisierung eines Testfeldes könnte ein Korridor zwischen den Wohnorten der Anwendergruppen und den häufig aufgesuchten Versorgungseinrichtungen angedacht werden. Daher ist die Existenz von anwendergruppenspezifischen lokalen (innerhalb der Gemeinde) oder nahegelegenen (Nachbargemeinde) Versorgungseinrichtungen unabdingbar. Dies führte bei den Use Cases seniors transport und handi-capped transport zu einer weiteren Reduzierung auf schließlich 51 bzw. 53 Standorte. Somit gelang es im Rahmen des Vorscreenings die Komplexität des Untersuchungsraumes auf eine praktikable Anzahl an Standorten zu verdichten (vgl. Abb. 12).

Screening-Kriterien und Scoring-Modell

Anknüpfend an das Evaluierungskonzept wurden alle standortrelevanten und zugleich auf Gemeindeebene standortdifferenzierbaren Kriterien in ein Scoring-Modell überführt. Mit Hilfe des Scoring-Modells soll schließlich ein kriterienoptimaler Standort für die Realisierung eines Testfeldes systematisch identifiziert werden.

Die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre stellt mit der Nutzwertanalyse ein methodisches Instrument bereit, welches sich aufgrund des multikriteriellen Bewertungsansatzes und der Implikation von quantitativen und qualitativen Zielgrößen für die vorliegende Problemstellung besonders eignet. Allgemeines Ziel einer Nutzwertanalyse ist es, eine beliebig große Menge an komplexen Handlungsalternativen, durch die Zuordnung gewichteter Zielgrößen eines mehrdimensionalen Zielsystems zu analysieren, um als Entscheidungsgrundlage eine optimale Handlungsalternative systematisch auswählen zu können [47]. Hierbei werden auf Grundlage von gewichteten Zielfaktoren Teilnutzwerte gebildet, deren additive Verknüpfung wiederum Nutzwerte bzw. Präferenzwerte für jede Handlungsalternative ermittelt. Im Ergebnis entsteht so eine Rangordnung aller Handlungsalternativen, die die Präferenzen des Entscheidungsträgers bestmöglich widerspiegeln. Für die vorliegende Studie werden Handlungsalternativen in Form von Standorten repräsentiert. Die durchgeführten Verfahrensschritte orientieren sich an dem von GÖTZE [47] vorgeschlagenen

Vorgehen. Mit Bezug zu den zugänglichen Datenquellen, wird das Vorgehen im Folgenden kurz skizziert, um so eine höchstmögliche Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen sowie deren Replizierbarkeit für andere Testfeldplanungen zur ermöglichen.

Bei der *Zielkriterienbestimmung* (Screening-Kriterien) gilt es zunächst, die durch die Untersuchungsziele tangierten relevanten Kriterien möglichst umfassend abzubilden. Neben nachfragerrelevanten Kriterien – wie z. B. demographische Faktoren des Status quo sowie deren Entwicklungen bis 2030 – umfasst dies angebotsrelevante Kriterien – wie z. B. die Bewertungen des infrastrukturellen Anpassungsbedarfs. Besondere Herausforderungen ergeben sich hierbei bezüglich der Operationalisierbarkeit von Kriterien auf der Ebene von Gemeindestandorten.

Ohne den Anspruch auf ein hinsichtlich der Kriterienrelevanz „vollständiges“ Scoring-Modell zu erheben, konnten insgesamt 14 Zielkriterien bestimmt werden, die einerseits von struktureller und verkehrlicher Bedeutung sind, für die aber andererseits auch ein granulares Datenangebot zugänglich war (vgl. Abb. 13). Hierzu wurden Strukturdaten anhand von objektiv nachvollziehbaren Kennziffern sekundärstatistisch analysiert. Im Einzelnen umfasst dies Faktoren in vier übergeordneten Unterzielgruppen:

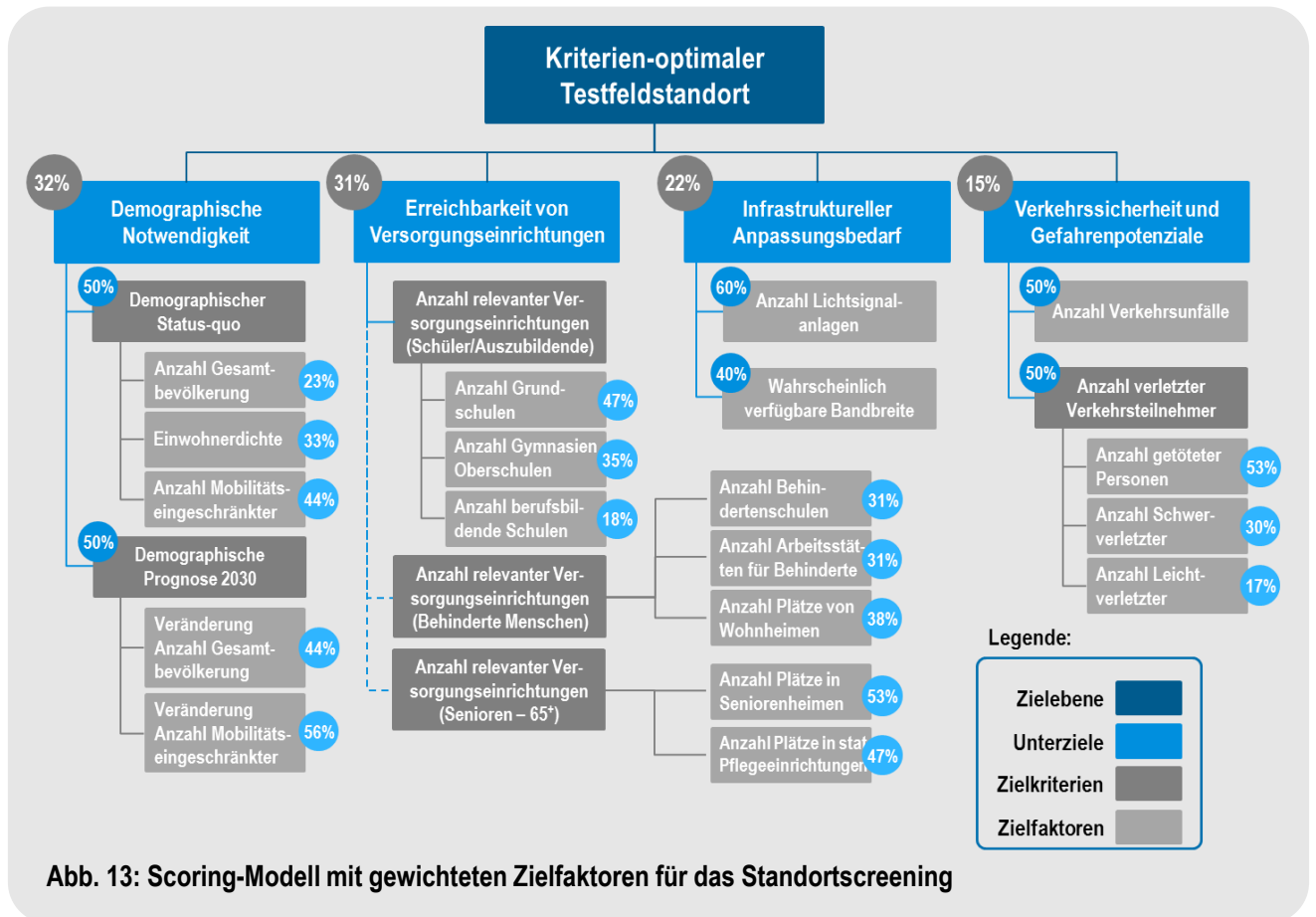
IV. Standortanalyse zur Testfelderschließung

- Demographischer Status quo: Faktoren wie die Anzahl der Gesamtbevölkerung, Einwohnerdichte und die Anzahl mobilitätseingeschränkter Personen sind über die statistischen Ämter der Länder zu beziehen. Die GENESIS-Online Datenbank weist zudem die Statistik schwerbehinderter Menschen aus.
- Demographische Prognose 2030: Veränderungen der Gesamtbevölkerung sowie für verschiedene

Demografiemonitor Sachsen abrufbar. Fehlende Werte wurden interpoliert.

Beide Zielfaktorengruppen (Zielkriterien) repräsentieren eine Bewertungsdimension, um festzustellen wie groß der heutige und künftige Handlungsdruck bzw. die demographische Notwendigkeit nach neuen Mobilitätsdienstleistungen ist.

- Anzahl relevanter Versorgungseinrichtungen: Den täglichen Wegen der fokussierten Personen-



Personengruppen (z.B. > 65 Jahre, < 18 Jahre) werden durch Bevölkerungsvorausberechnungen prognostiziert. Ergebnisse der 6. Regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung sind über den

gruppen liegen verschiedene Mobilitätswertungszwecke zugrunde. Da nicht alle Zwecke durch

entsprechende Zielfaktoren auf Gemeindeebene abbildbar sind, wurde sich im Rahmen der Studie auf eine Auswahl von Einrichtungen beschränkt: Daten zu allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen in freier und öffentlicher Trägerschaft sind der Schuldatenbank Sachsen entnommen (Use Case school transport). Anzahl und Lage von stationären Pflegeeinrichtungen sowie von Seniorenheimen sind im Verzeichnis für Pflegeeinrichtungen im Freistaat Sachsen des statistischen Landesamtes aufgeführt (Use Case seniors transport). Eine Übersicht von Schulen für Menschen mit Behinderungen wird in der Schuldatenbank gegeben und Tageseinrichtungen bzw. Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) sind bei der Landesarbeitsgemeinschaft oder der Bundesagentur für Arbeit verzeichnet.

- Da der infrastrukturelle Anpassungsbedarf ex ante nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand in standortspezifischen Detailuntersuchungen zu erheben wäre, sollen die Anzahl der Lichtsignalanlagen sowie die Wahrscheinlichkeit der Breitbandversorgung in der Gemeinde als Hilfsgrößen für eine tendenzielle Ersteinschätzung der Dimensionierung infrastruktureller Anpassungen fungieren. Daten sind über Geoinformationssysteme (z. B. OpenStreetMap) auslesbar und dem Breitbandatlas des BMVI zu entnehmen.
- Verkehrsunfälle und verletzte Verkehrsteilnehmer: Verschiedene Studien [48], [49] kommen zu dem Ergebnis, dass menschliches Fehlver-

halten die häufigste Unfallursache darstellt. Durch die Obsoleszenz des Fahrers könnten automatisierte Fahrzeuge einen Beitrag leisten, die Anzahl der Verkehrsunfälle und der verunglückten Personen zu reduzieren (Vision Zero). Somit sind insbesondere die Standorte von Interesse, welche von einer großen Unfallhäufigkeit und –schwere gekennzeichnet sind. Über die GENESIS-Online Datenbank sind korrespondierende Daten aus der Statistik der Straßenverkehrsunfälle extrahierbar.

Die dargestellten Strukturdaten beziehen sich – mit Ausnahme des infrastrukturellen Anpassungsbedarfes, der Verfügbarkeit von Versorgungsinfrastrukturen und der Unfallstatistik – auf den jüngsten gemeinsamen Erhebungszeitraum (Stand: 31.12.2015). Daten zu den Versorgungsinfrastrukturen, der Anzahl und räumlichen Verteilung von Lichtsignalanlagen beziehen sich auf den Durchführungszeitraum der Standortanalyse (November 2017). Zudem sind die aus dem Breitbandatlas entnommenen Daten zur verfügbaren Bandbreite auf August 2017 und die Unfallstatistik Sachsen auf das Berichtsjahr 2016 datiert.

Mögliche weitere relevante Zielfaktoren könnten sich z. B. auf die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit des ÖPNV sowie weiterer Mobilitätsangebote beziehen und Fragestellungen bezüglich im Untersuchungsraum vorhandener Start- / Ziel- und Haltepunkte sowie Taktung etc. adressieren oder konkrete

Mobilitätsbedürfnisse der relevanten Personengruppen identifizieren.

Aufgrund fehlender sekundärstatistischer Daten wurde auf die Einbeziehung dieser Faktoren verzichtet. An dieses Defizit sollten künftige Primärerhebungen anknüpfen.

Im Rahmen des zweiten Verfahrensschrittes sind die zusammengetragenen *Zielfaktoren, -kriterien und Unterziele zu gewichten*. Hierzu können verschiedene Methoden – wie z.B. der paarweise Vergleich von Zielfaktoren [50] oder Intervall- und Rangskalierungsverfahren [47] – zur Anwendung kommen. Im Rahmen der Studie erfolgte die Festlegung der Gewichtungsfaktoren projektintern durch Expertenbewertungen. Wie aus Abb. 13 hervorgeht, wird den nachfragerrelevanten Kriterien mit ca. 2/3 Gewichtung gegenüber den angebotsrelevanten Kriterien eine deutlich stärkere Bedeutung für den Untersuchungsgegenstand beigemessen.

Im dritten Verfahrensschritt wurden für jeden Zielfaktor und über alle Standortalternativen hinweg *Teilnutzwerte* bestimmt. Hierzu müssen die Messwerte der Zielfaktoren in kriterienübergreifend einheitliche Skalen transformiert werden. Da bei allen Zielfaktoren ein kardinales Messniveau vorliegt, erfolgte die Skalentransformation mittels einer stückweise-

konstanten Transformationsfunktion, bei der die Werte eines definierten Intervalls in einen spezifischen Teilnutzwert gewandelt werden. Die Skalbreite sieht schließlich sechs Abstufungen und eine Normierung der Zielgewichte auf 1 bzw. 100% vor, woraus Vorteile bei der Interpretation der Nutzwerte resultieren. Demzufolge entspricht der maximale Nutzwert von 100% der vollständigen Zielerfüllung (Idealstandort gemäß Präferenzen). Standortalternativen sind somit als Prozentsatz des Maximalwertes interpretierbar.

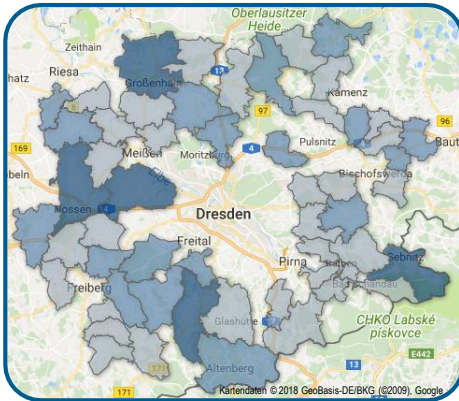
Die finale Berechnung des Nutzwertes N_{Ni} erfolgt im Zuge der *Nutzwernermittlung*, indem die Teilnutzenwerte n_{ik} bezüglich der Kriterien k mit den Kriteriengewichten w_k multipliziert und für alle Standortalternativen i aufsummiert werden:

$$N_{Ni} = \sum_{k=1}^K n_{ik} * w_k$$

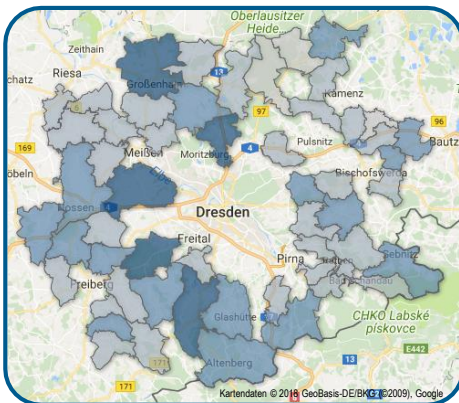
Im letzten Verfahrensschritt sind die berechneten Nutzwerte zu interpretieren. Der Standort mit dem größten Nutzwert stellt die vorteilhafteste Alternative dar und ist vom Entscheidungsträger zu wählen. Der nachfolgende Abschnitt stellt die Ergebnisse der Standortanalyse vor.

Ergebnisse des Standort-Screening

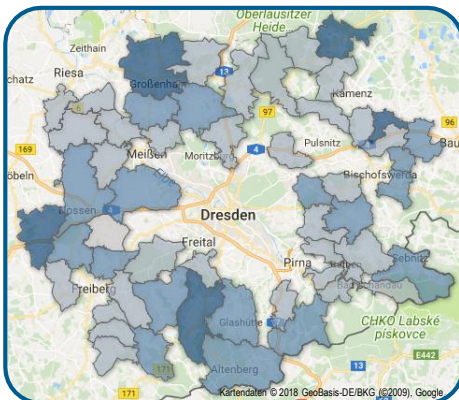
UC school transport



UC seniors transport






UC handicapped transport



Um den potentiellen Realisierungspartnern eines künftigen sächsischen Testfeldes im peripheren Raum die Entscheidung, hinsichtlich der Auswahl und Erprobung eines spezifischen Use Cases, nicht vorwegzugreifen, wurde sich projektintern für eine gesonderte Standortanalyse der Use Cases entschieden. Demzufolge liegen Ergebnisse von drei Nutzwertanalysen vor, deren Unterschiede auf verschiedene personengruppenrelevante Ziel-faktoren zurückzuführen sind. Methodisch bietet dieses Vorgehen den Vorteil, dass Ausprägungen von Zielfaktoren eines Use Cases nicht durch die eines anderen Use Cases kompensiert werden. Des Weiteren sollen so für den Fall einer denkbaren unwirtschaftlichen Darstellung eines Use Cases mögliche Alternativen aufgezeigt werden.

Anhand der links abgebildeten Scorekarten ist eine Dreiteilung der im Ergebnis erzielten Nutzwerte – in Top 5 -Standorte sowie über- und unterdurchschnittlich bewertete Standorte – und deren regionale Verteilung zu erkennen. Auf den ersten Blick zeigt sich Use Case-übergreifend, dass Gemeinden des mittelsächsischen Raumes und der Landkreise Meißen, Sächsische Schweiz/ Osterzgebirge generell höhere Nutzwertausprägungen aufweisen, als Gemeinden des Landkreises Bautzen. Dies begründet sich im Wesentlichen in deutlich geringeren Teilnutzwertausprägungen bei den Versorgungsinfrastrukturen, die für die relevanten Use Cases häufig gänzlich fehlen.

Betrachtet man – ebenfalls standortübergreifend – das Differenzierungskriterium „Use Case“, so erzielt der Use Case school transport insgesamt höhere Nutzwerte (Mittelwert über alle Standorte: $N_{\text{school}}=29,82\%$) gegenüber den weiteren Use Cases, mit

Top 5		N = 81,7 – 35,2 %
Oberes Mittel		N = 37,6 – 25,0 %
Unteres Mittel		N = 29,5 – 12,2 %

IV. Standortanalyse zur Testfelderschließung

Mittelwerten zwischen $N_{handc}=25,30\%$ und $N_{sen}=24,85\%$. Gleichzeitig ist die große Streuung der Nutzwerte zwischen allen Standorten zu beachten ($s_{school}=11,61\%$; $s_{sen}=10,92\%$; $s_{handc}=13,01\%$), die einerseits auf eine große Diskrepanz zwischen den Standorten als auch zwischen den Zielfaktoren hindeutet.

Die Detailbetrachtung der, zu vier Unterzielgruppen aggregierten, Zielfaktoren anhand der Portfolio-darstellung (Abb. 14) erlaubt eine Zuordnung der Standorte zu Quadranten, wodurch vergleichsweise starke und schwache Ausprägungen von Standorten schnell ersichtlich sind.

Dippoldiswalde, Großenhain, Nossen und Striegistal hinsichtlich der Einschätzung ihrer verkehrlichen und infrastrukturellen Eignung besonders hohe Bewertungen erreichen. Das ist auf das vorzufindende gut ausgebaute Netz an Lichtsignalanlagen (bis zu 20 Lichtsignalanlagen), der Verfügbarkeit von Breitband (bis >100 Mbit/s) und einem relativ hohen Aufkommen von Verkehrsunfällen (52 – 112 Unfälle) mit entsprechender Unfallschwere zurückzuführen.

Bei Betrachtung der demographischen Notwendigkeit und des Vorhandenseins von Versorgungsinfrastrukturen für den Use Case school transport (Abbildung links) zeigen sich jedoch bei den Stand-

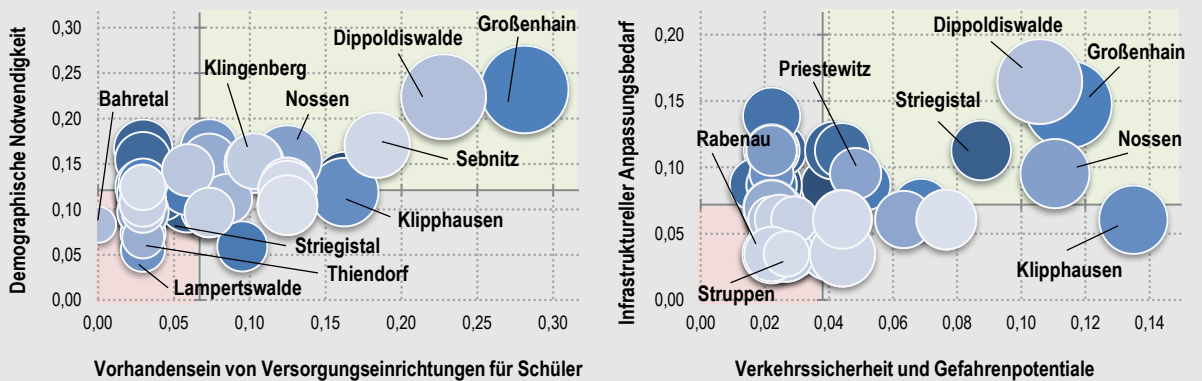


Abb. 14: Detailergebnis für den Use Case school transport (li.) und Use-Case-übergreifend (re.)

Schwerpunkt der Betrachtung bildet jeweils der Quadrant I (oben rechts), innerhalb dessen die Standortalternativen positioniert sind, die eine überdurchschnittliche Ausprägung der jeweils betrachteten Zielkriterien aufweisen. Die Größe der Kreise stellt zudem die Relation zum Gesamtnutzwert der jeweiligen Standorte dar.

Aus der Use-Case-übergreifenden Darstellung (Abbildung rechts) ist ersichtlich, dass

orten Striegistal und Nossen zum Teil deutlich schlechtere Rahmenbedingungen als z.B. in Sebnitz oder teilweise in Klingenberg. Dies ist zum einen aufgrund des weniger stark ausgeprägten Bevölkerungsrückgang bis 2030 zu erklären. So werden für Sebnitz und Klingenberg massive Verluste in Höhe von $-11,30\%$ bzw. $-9,90\%$ bis 2030 prognostiziert.

IV. Standortanalyse zur Testfelderschließung

Zum anderen erklärt es sich in der besser ausgeprägten Schulinfrastruktur in Sebnitz mit einem Netz aus allgemein- und berufsbildenden Schulen.

Bei Betrachtung der Rangliste von Nutzwerten (vgl. Abb. 15 und Anhang III) zeigt sich über alle drei Use Cases hinweg eine besondere Eignung der Standorte Großenhain und Dippoldiswalde für ein Testfeld im peripheren Raum. Mit graduellen Abstufungen eignen sich die folgenden Standorte zusätzlich für die Use Cases:

- school transport: Nossen, Klipphausen, Sebnitz;

- seniors transport: Radeburg, Klipphausen, Tharandt;
- handicapped transport: Striegistal, Panschwitz-Kuckau, Bernsdorf.

Wird ausschließlich die Höhe der Nutzwerte für die Auswahl eines Use Cases berücksichtigt, so ergibt sich die Präferenzreihenfolge: handicapped transport vor school transport und vor seniors transport.

Im Folgenden werden die Standortprofile von Großenhain und Dippoldiswalde hinsichtlich der Ergebnisse detaillierter charakterisiert.

Top 5 des Standort-Screening

UC school transport	Score	UC seniors transport	Score	UC handicapped transport	Score
1 Großenhain, Stadt	77,50%	1 Dippoldiswalde, Stadt	69,25%	1 Großenhain, Stadt	81,75%
2 Dippoldiswalde, Stadt	72,24%	2 Großenhain, Stadt	57,09%	2 Dippoldiswalde, Stadt	78,15%
3 Nossen, Stadt	48,50%	3 Radeburg, Stadt	44,43%	3 Striegistal, Stadt	40,38%
4 Klipphausen	47,69%	4 Klipphausen	37,13%	4 Panschwitz-Kuckau	35,82%
5 Sebnitz, Stadt	43,35%	5 Tharandt, Stadt	35,47%	5 Bernsdorf, Stadt	35,16%

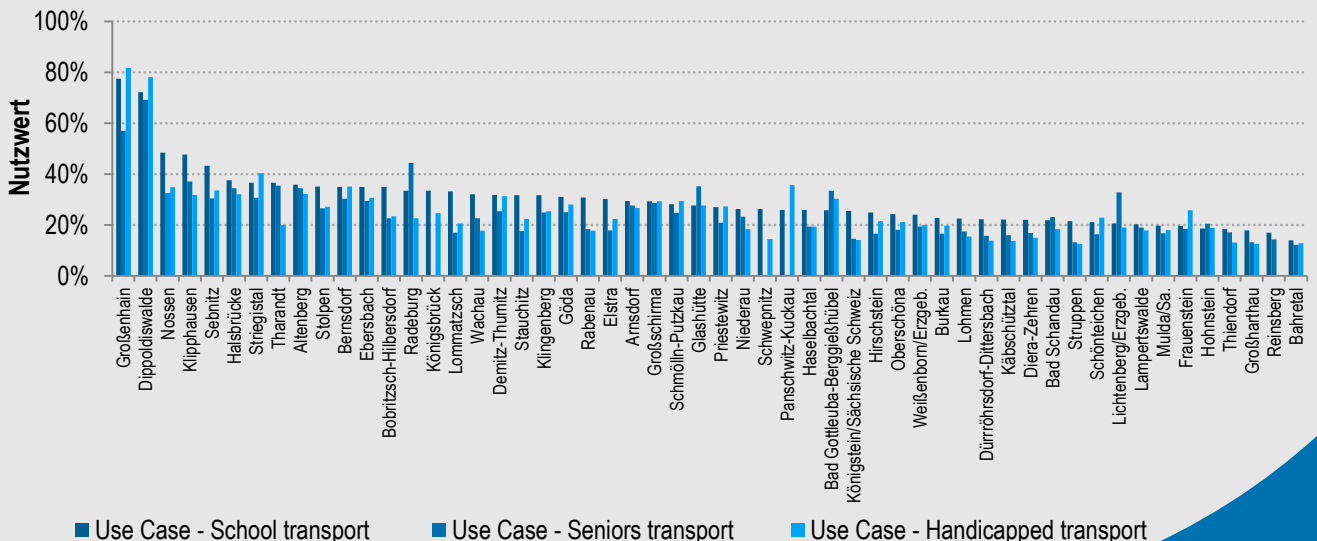


Abb. 15: Scoring-Ergebnisse – Nutzwerte je Anwendungsfall und Standort



Standortprofil – Großenhain

Großenhain ist große Kreisstadt und zugleich Mittelzentrum im Landkreis Meißen und befindet sich ca. 36 km nordwestlich von Dresden. Für die Use Cases school transport und handicapped transport konnte der Standort den jeweils höchsten Nutzwert erzielen ($N_{\text{school}}=77,50\%$ bzw. $N_{\text{handc}}=81,75\%$).

Demographische Entwicklung

Mit 18.352 Einwohnern ist Großenhain der bevölkerungsreichste und mit 141 EW/km² der, nach Rabenau, am dichtesten besiedelte Standort des Untersuchungsraumes. Auch hinsichtlich der relevanten Zielgruppen Schüler (Personen 6-18 Jahre) und behinderte Menschen bringt Großenhain im Vergleich zu anderen Standorten – gemessen an den absoluten Zahlen – das größte Potential hervor, weshalb eine Erprobung korrespondierender Geschäftsmodelle für die beiden Use Cases school transport und handicapped transport als vielversprechend zu bewerten ist.

Bis 2030 ist von einer stetigen Abnahme der Gesamtbevölkerung um -8 % auszugehen. Großenhain ist damit einer von Schrumpfung am stärksten betroffenen Orte des Untersuchungsraumes. Gleichzeitig reduziert sich die Anzahl der Schüler voraussichtlich nur unterproportional um -2 %.

Mobilitätsverhalten

Mit 3,4 Wegen pro Tag ist die Bevölkerung Großenhains im Mittel geringfügig mobiler als der bundesdeutsche Durchschnitt (3,3 Wege je Person und Tag). Das eigene Fahrzeug stellt mit 80 % der erbrachten Verkehrsleistung das wichtigste Verkehrsmittel dar. Spitzenlastzeiten des MIV verteilen sich auf den Morgen (6:31 – 7:30 Uhr) und den Nachmittag (16:01 – 17:00 Uhr). Hierbei werden 18,8 % des Tagesverkehrs abgewickelt. Trotz der geringen Nutzung des Fahrrades (4 % der Verkehrsleistung) verfügen mehr Großenhainer über ein Fahrrad als über einen Pkw. Zudem nutzen nur wenige Bürger (<1 %) flexible Mobilitätsdienste wie Car- oder Bike-Sharing.

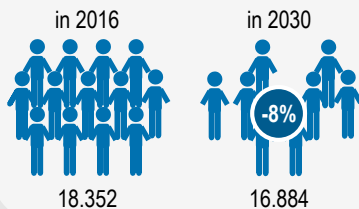
Mit der Bevölkerungsentwicklung einhergehende Konsequenzen zeigen unter dem heutigen Blickwinkel eine große Relevanz des Schülerverkehrs für den Erhalt des ÖPV und einen Markt für automatisierte Mobilitätsdienste auf.

Versorgungseinrichtungen

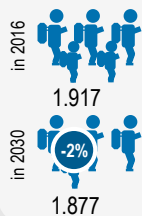
Für den Use Case school transport stellen wichtige Versorgungsinfrastrukturen die am Standort vorhandenen Grundschulen (4), Mittelschulen und Gymnasien (3) und berufsbildenden Schulen (2) dar. Für behinderte Menschen als relevante Einrichtungen sind zu nennen: Lernförderschulen (2), Werkstätten für behinderte Menschen (3) und Wohnheime der Diakonie (3).



Gesamtbevölkerung



Schüler



Behinderte



76,38%



verfügen über einen Pkw

81,62%



verfügen über ein Fahrrad

14,40%



verfügen über ein ÖPV-Abo

0,60%



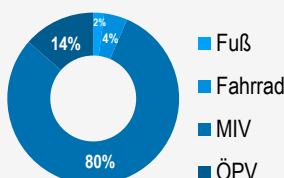
nutzen Carsharing

0,70%



nutzen Bikesharing

Modal Split der Verkehrsleistung [51]



Daten entnommen und berechnet auf Grundlage von [51]



Gesamtbevölkerung

in 2016



14.529

in 2030



12.815

Senioren

in 2016



3.770

Senioren

in 2030



4.262

84,40%



verfügen über
einen Pkw

68,19%



verfügen über
ein Fahrrad

20,20%



verfügen über
ein ÖPV-Abo

1,10%



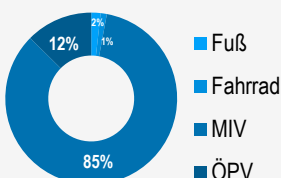
nutzen
Carsharing

1,50%



nutzen
Bikesharing

Modal Split der Verkehrsleistung [51]



Daten entnommen und berechnet auf Grundlage von [51]



Standortprofil - Dippoldiswalde

Ebenso wie Großenhain ist die im Landkreis Sächsische Schweiz/Osterzgebirge gelegene große Kreisstadt Dippoldiswalde zugleich Mittelzentrum und befindet sich ca. 21 km südlich von Dresden. Für den Use Case seniors transport hat der Standort mit $N_{sen}=69,25\%$ den höchsten Nutzwert erzielt.

Demographische Entwicklung

Mit 14.529 Einwohnern und einer Einwohnerdichte von 139,71 EW/km² ist Dippoldiswalde nach Großenhain der zweitgrößte bzw. der am drittdichtest besiedelte Standort des Untersuchungsraumes.

Bereits in den vergangenen 10 Jahren ist der Altersdurchschnitt um 3 Jahre auf 47,5 Jahre angestiegen. Bis 2030 wird sich der Alterungstrend stark fortsetzen. Betrag der Anteil der Senioren (>65 Jahre) in 2015 noch 26 % an der Bevölkerung, so wird diese Gruppe in 2030 bereits auf einen 33 %-igen Anteil ansteigen. Neben einem starken Zuwachs dieser Personengruppe ist dies auf einen Bevölkerungsrückgang überwiegend jüngerer Personen zurückzuführen. So wird bis 2030 ein drastischer Bevölkerungsrückgang um -11,8 % prognostiziert, womit Dippoldiswalde nach Altenberg der am stärksten schrumpfende Ort im Untersuchungsraum ist. Somit ist Dippoldiswalde künftig massiv von (Über-)Alterung und Schrumpfung betroffen.

Mobilitätsverhalten

Auch in Dippoldiswalde tätigt die mobile Bevölkerung 3,4 Wege je Tag und Person. Trotz eines größeren Anteils von Nutzern eines ÖPV-Abos (20,20 % gegenüber 14,40 % in Großenhain) stellt mit 85 % der Verkehrsleistung der Pkw das wichtigste Verkehrsmittel dar. Spitzenverkehrszeiten verteilen sich auf den Morgen (6:31 – 7:30 Uhr) und den Nachmittag (17:31 – 18:30 Uhr) – innerhalb der 22,1 % des Tagesverkehrs geleistet werden. Auch Car- und Bike-Sharing werden lediglich von einem geringen Bevölkerungsanteil genutzt (1,10 bzw. 1,50 %).

Es ist anzunehmen, dass mit zunehmender Alterung der Bevölkerung bei gleichzeitig hohen Anteilen des MIV die Potentiale für Mobilitätslösungen auf der Basis von automatisierten Fahrzeugen als groß zu bewerten sind und zukünftig stark steigen.

Versorgungseinrichtungen

Für den Use Case seniors transport könnten insbesondere die Verkehre zwischen den vorhandenen stationären Pflegeeinrichtungen (z. B. Helios Klinik oder Tagespflegeeinrichtungen des DRK) und den Seniorenwohnhäusern des Diakonischen Werks oder dem AWO Pflegeheim, interessante Testfeldkorridore bilden.

V.

**TESTFELDER ZUR ERPROBUNG
VON AMoD-KONZEPTEN IM
LÄNDLICHEN RAUM**

Technologieträger und Ausbaustufen zur Versuchsdurchführung

Aus den bereits dargestellten Use Case-spezifischen räumlichen und zeitlichen Flexibilisierungsbedarfen (vgl. Tab. 3) ergeben sich wiederum Erfordernisse für die kommunikationstechnische Vernetzung (I.) und Anforderungen an die Fahrzeugautomatisierung (II.) der einzusetzenden Technologieträger. I. betrifft im Wesentlichen zwei Ausprägungen der V2X-Kommunikation:

la. Konnektivität für die Bereitstellung eines On-Demand-Dienstes mit hoher Verfügbarkeit (Vehicle-to-Enterprise): Bei MoD-Angeboten handelt es sich um standortbezogene Dienste. Für deren Bereitstellung erfordert es – im Unterschied zu nicht-nachfragebezogenen Angebotsformen – verschiedene Teilsysteme und -komponenten, die zu großen Anteilen auf Kommunikationsinfrastrukturen zurückgreifen. Entsprechende Teilsysteme sind u. a. die Fremddortung bzw. Echtzeit-Lokalisierung (RTLS-Verfahren), die auf Satellitenortung (GPS, Galileo u. a.) oder Mobilfunkortung (2G, 3G u. a.) basiert; ein mobiles Endgerät, über das Fahrgäste mittels einer mobilen, HTML-/WAP-basierten Applikation Zugang zum Mobilitätsdienst erhalten; ein Routing- und Matching-Algorithmus, welcher Zustiegs- und Ausstiegspunkte der Fahrgäste berücksichtigt und die Routen dynamisch optimiert (einschließlich Fahrer-App); sowie die kommunikationstechnische Anbindung zur Backend-Infrastruktur des Diensteanbieters mit Datenbank-/Applikations-Server. Die Gesamtheit dieser Kompo-

nenten soll als MoD-System bzw. Dispositionssystem bezeichnet werden. Eine hohe Verfügbarkeit erforderlicher Kommunikationsnetzinfrastrukturen ist somit Grundvoraussetzung für das Erreichen von maximalen zeitlichen Flexibilisierungspotentialen.

lb. Unterstützung der Fahrzeugautomatisierung mittels V2I-Kommunikation (Vehicle-to-Roadside-Infrastructure): Es besteht Konsens darüber, dass Fahrzeuge höherer Automatisierungsstufen (SAE Level 4/SAE Level 5) eine Kommunikationsschnittstelle zu anderen Verkehrsobjekten und -subjekten erfordern (C2CCC, 3GPP, 5G PPP, ERTICO). Der verkehrsbegleitende Austausch von Datenformaten und Informationen zwischen Fahrzeugen bzw. mit Verkehrsinfrastruktureinrichtungen erweitert nicht nur den fahrzeugeigenen sensorischen Erfassungsbereich, sondern ermöglicht auch explizit abgestimmte kooperative Fahrtrajektorien, als Grundlage für koordinierte oder ausgehandelte Fahrmanöverplanungen zwischen mehreren Verkehrsteilnehmern [52]. Gerade in komplexen Verkehrssituationen kann so ein höheres Maß an Verkehrssicherheit – z. B. durch das Erkennen von verdeckten Objekten – erzielt und die Effizienz erhöht werden. Ein prominenter Verkehrsunfall mit einem automatisierten Fahrzeug [53] verdeutlicht, dass die ausschließliche Nutzung von fahrzeugeigener Sensorik und Datenverarbeitung dazu führen kann, dass Verkehrsteilnehmer fälschlicherweise als „False Positive“

klassifiziert werden – d. h. als Objekte, die für das Fahrzeug kein Hindernis darstellen und es dazu befähigen, die Fahrmanöver uneingeschränkt fortzuführen. Gründe für eine solche fehlerhafte Klassifikation sind vielfältig und resultieren nicht zuletzt aus unzuverlässig detektierbaren Verkehrssituationen mit ungünstigen Licht- und Witterungsverhältnissen. V2X-Infrastruktur könnte bei solchen False Positive-Events als zusätzliche Verifizierungsinstanz fungieren und das Restrisiko eines Unfalls reduzieren. V2X-Kommunikation ist somit perspektivisch ein bedeutender Eckpfeiler des automatisierten Fahrens und erforderlich für das Erschließen von maximalen räumlichen Flexibilisierungspotentialen.

Während On-Demand-Dienste eine zuverlässige und hoch verfügbare Kommunikationsinfrastruktur im ländlichen Raum bedürfen, die bereits heute in urbanen Räumen durch Service Provider mit nicht-automatisierten On-Demand-Diensten über Schnittstellen der klassischen Mobilfunkkommunikation (3G, 4G) realisiert wird, befinden sich V2X-Kommunikationssysteme zu großen Teilen noch in den Phasen der Spezifikation und Erprobung.

II. Anforderungen an die Fahrzeugautomatisierung:

Das Screening von im Markt befindlichen Fahrzeugkonzepten bzw. Technologieträgern ergab, dass derzeit keine seriennahe Lösung existiert, mit der ein hohes Maß an zeitlicher Flexibilisierung (On-Demand) und räumlicher Flexibilisierung (Flächenerschließung) zugleich erzielbar ist. Bezogen auf die Realisierung der vorgestellten Use Cases

zeigen sich derzeit verschiedene Herausforderungen in Form von Technologielücken auf:

- Verknüpfung von Automatisierungstechnologie mit einem On-Demand-Mobilitätsangebot;
- V2X-Kommunikationsfähigkeit zwischen Verkehrsteilnehmern – einschließlich Infrastruktur;
- Einsatzfähigkeit von Fahrzeugen mit Automatisierungslevel SAE 4/5 im realen Verkehrsgeschehen;

Die genannten Herausforderungen werden derzeit im Rahmen von F&E-Projekten adressiert oder es existieren bereits partiell Einzelanwendungen im Erprobungsstadium mit dem Status einer Einzelzulassung oder Sondergenehmigung nach StVZO oder PBefG. Gleichzeitig erfordert der Regelbetrieb solcher Anwendungen eine weitere Novellierung der zugrundeliegenden gesetzlichen Direktive (vgl. Kapitel *Barrieren und Realisierungshemmnisse*).

Aufgrund der derzeitigen technologischen Reife von potentiell geeigneten Technologieträgern (vgl. Anhang II) sind aus heutiger Sicht die vorgesehenen AMoD-Konzepte mit hoher zeitlicher und räumlicher Flexibilisierung nur mehrstufig realisierbar (vgl. hierzu auch: [54], [19]). Aus Sicht der Autoren ergeben sich daher drei relevante Ausbaustufen für die Testfelderprobung im ländlichen Raum (vgl. Abb. 16):

Stufe 1 – Sensorgestütztes automatisiertes Fahren:

Fahrstrategien der korrespondierenden Technologieträger


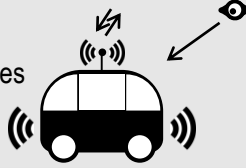


	Limitierung in der Anwendung	Anforderung an die Kommunikationsinfrastruktur
Stufe 4 V2X-vollvernetztes automatisiertes Fahren 	Keine Limitierung: Vollständige Flächenschließung durch höchste Fahrzeugautomatisierung (SAE Level 5)	Hoch: Multilateraler Austausch von periodischen und ereignisgesteuerten Datenformaten sowie Sensordaten - mit (Edge)-Cloud-Funktionalität und Detektion durch stationäre Sensorik
Stufe 3 Teleoperiert-unterstütztes automatisiertes Fahren 	Unterstützung der Fahrzeugautomatisierung: Monitoring und Bedarfssteuerung für nicht vollständig automatisierte Fahrzeuge (SAE Level 4; z. B. Umsetzen)	Sehr Hoch: Bidirektionaler Austausch von Sprach-, Bilddaten und Steuerungssignalen mit Operatorzentrale
Stufe 2 V2X-unterstütztes automatisiertes Fahren 	Unterstützung der Fahrzeugautomatisierung: Beschränkt auf den Datenaustausch von vernetzten Verkehrsteilnehmern	Mittel: Multilateraler Austausch von periodischen und ereignisgesteuerten Datenformaten (CAM, DENM, SPaT/MAP)
Stufe 1 Sensorgestütztes automatisiertes Fahren 	Stark limitierte Anwendung: Beschränkt auf den Erfassungsbereich eigener Sensorik	Keine: Konzept ohne Infrastrukturkommunikation

Abb. 16: Entwurfsvorschlag für Ausbaustufen von Automatisierungs- und Vernetzungsfunktionalität zur Use Case-Realisierung

basieren allein auf den Erfassungsbereich der eigenen Sensorik (begrenzt auf wenige hundert Meter) und greifen nicht auf V2V- oder V2I-Kommunikation zurück. Daraus folgt, dass deren Anwendbarkeit für die die Testfelderprobung im öffentlichen Verkehrsraum stark limitiert ist. Dies betrifft den Einsatz im verkehrsgeminderten Straßenraum, bei geringen Fahrtgeschwindigkeiten, ohne Kreuzungen oder Einmündungen und Kreisverkehren. Der Einsatz ist somit auf wenige Bereiche mit übersichtlichen Straßentopologien limitiert. Komplexe Verkehrssituationen, wie z. B. Mischverkehre mit nicht-automatisierten

Fahrzeugen, Straßen mit mehreren Fahrspuren und Fahrstreifenwechsel oder Strecken mit vorfahrtdienenden Querverkehren sind innerhalb von Stufe 1 nicht abbildbar.

Stufe 2 – V2X-unterstütztes automatisiertes Fahren:
Diese Nachteile können zum Teil durch V2X-unterstütztes automatisiertes Fahren kompensiert werden, indem die Nahbereichswahrnehmung durch den verkehrsbegleitenden Informationsaustausch im lokalen Umfeld erweitert wird. Heute ist es bereits technologisch

möglich, Statusinformationen über Position, Fahrtgeschwindigkeit und -richtung mit anderen Fahrzeugen zyklisch (CAM) oder ereignisgesteuert (DENM) auszutauschen und Infrastrukturinformationen zu empfangen. Hierbei handelt es sich bspw. um Spurtopologien von Fahrbahnen (MAP), Betriebszustände von LSA (SPaT) oder Korrekturdaten zur Eigenlokalisierung. Der Transfer dieser Datenformate erfolgt von Fahrzeug-zu-Fahrzeug oder wird an neuralgischen Verkehrsknoten von Roadside-Units (RSU) empfangen und weitergeleitet.

Durch den unterstützenden Einsatz von V2X-Kommunikationstechnologie kann der sensorische Erfassungsbereich von Fahrzeugen somit wesentlich erweitert werden. Durch z. B. in Kreuzungsbereichen montierte RSU können frühzeitig komplexe Verkehrssituationen erfasst oder verdeckte Objekte lokalisiert werden. Anwendungen dieser Ausbaustufe sind jedoch auf die Vernetzungs- und Kommunikationsfähigkeit der Verkehrsteilnehmer limitiert, wodurch insbesondere Fußgänger oder Fahrradfahrer nicht detektierbar und nicht im fahrzeugseitigen Umgebungsmodell abbildbar sind.

Stufe 3 – Teleoperiert-unterstütztes automatisiertes Fahren: Ist der Übergangsmodus für vollautomatisierte Fahrzeuge (SAE Level 4), bei dem nicht durch das Fahrzeug abgedeckte Anforderungen aus dem Use Case durch eine außerhalb des Fahrzeugs befindliche Überwachungsinstanz abgedeckt werden. Dabei übernimmt ein menschlicher Fahrer, ein automatisierter Trajektorienplaner oder eine Mischform

die Funktionsüberwachung und Kontrolle des Fahrzeugs als externer Operator (Remote Operator). Als Rückfallebene ist es möglich, dass der Operator im Bedarfsfall das Fahrzeug aus der Ferne steuert bzw. ferngesteuert eingreift (z. B. alle oder partielle Fahrfunktionen übernimmt), bspw. wenn das technische System versagt, um gefährliche Situationen abzuwenden oder wenn die selbständige Fortbewegung des Fahrzeugs nicht möglich ist, bspw. für das Umsetzen des Shuttle-Busses.

Hierzu erfordert es, dass Video-, Sensor- und GPS-Positionsdaten vom Fahrzeug zum Remote Operator mittels kabelloser Übertragungstechnologien versendet werden und über einen Rückkanal Steuersignale sowie Audiodaten und ggf. Videodaten (nahezu) verzögerungsfrei übertragbar sind. Über einen „communication link“ wird die bidirektionale Verbindung zwischen Remote Operator und Fahrgästen sichergestellt [55]. Mit der Übertragung der verschiedensten Daten können im Vergleich zu Stufe 4 zum Teil größere Datenmengen korrespondieren (maßgeblich bedingt durch den Videodatentransfer vom Fahrzeug zum Operator), wodurch höhere Anforderungen hinsichtlich der Latenz- und Breitbandfähigkeit sowie Zuverlässigkeit der erforderlichen Kommunikationsnetze einhergehen. Eine Realisierung kann jedoch bereits mit den existierenden Mobilfunkstandards HSPA+ und LTE oder WLAN-basiert erfolgen [56]. Gleichzeitig ermöglicht Stufe 3 – im Vergleich zu Stufe 2 – die Bewältigung

komplexerer Fahrmanöver und Verkehrssituationen auch ohne vollständige Fahrzeugautomatisierung (SAE Level 5) sowie im Vergleich zu Stufe 1 die Detektion nicht vernetzter Verkehrsteilnehmer durch Aufrechterhaltung einer Sichtverbindung. Neben dem Zugang zu Straßentopologien, die im Rahmen von Stufe 1 nicht abgedeckt werden, ermöglicht der teleoperiert-unterstützende Betriebsmodus perspektivisch auch die übergeordnete Flottenkoordination durch den Remote Operator, wie z. B. die Steuerung und Überwachung mehrerer Fahrzeuge, das Eingreifen zur Koordination bei kurzfristigen Nachfrageschwankungen und bei Wartungen bzw. im Reparaturfall. Hierdurch könnten weitere Effizienzvorteile (verringerte Betriebskosten, schnellere Eingriffs- und verkürzte Reparaturzeiten) erschlossen werden.

Teilweise werden ähnliche (häufig kabelgebundene) Telerobotik-Steuerungssysteme bereits in der Tiefseeforschung, Weltraumforschung, im Bergbau oder für telemedizinische Anwendungen, für militärische Zwecke und im Bereich der Kampfmittelbeseitigung kommerziell eingesetzt. Zur Unterstützung der Fahrzeugautomatisierung wird durch teleoperierte Systeme ein neues Anwendungsfeld erschlossen.

Stufe 4 – V2X-vollvernetztes Fahren: Als Ausbaustufe ohne eine Überwachungsinstanz kommen im Zuge von Stufe 4 fahrerlose Fahrzeuge (SAE Level 5) zum Einsatz, die eine maximale flächenbezogene Erschließung im Raum ermöglichen und in den für den Use Case erforderlichen Situationen verkehren sollen (z. B. Basis-Use Case *School transport*).

Grundlage bildet eine umfassende Vernetzung mit dem lokalen Umfeld des Fahrzeugs, was den Austausch von (komprimierten) Sensordaten des lokalen Umfelds unter Einsatz von Edge-Computing, hochgenauen dynamischen Objektkarten und ggf. stationäre Kamerasensorik beinhaltet. In Unterscheidung zur Ausbaustufe 2 werden die verbreiteten Daten um Sensordaten wie Kamera, Radar, LiDAR aus Fahrzeugen oder Kreuzungssensorik angereichert und um eine stationäre Verarbeitungsinstanz (z. B. Mobile Edge Cloud oder RSU-Cloud) ergänzt, wodurch darauf aufbauende Anwendungen wie das kooperative Einordnen in Verkehrsströme, kooperative Fahrspurwahl in Mehrspurverkehren oder Schätzungen des Verkehrsflusses und kurzzeitige Prognosen realisierbar sind. Hierbei werden statische Objekte und sich dynamisch bewegende Verkehrsteilnehmer unter harten Echtzeitanforderungen lokalisiert und in der hochauflösenden Umgebungskarte kartographiert, indem ein virtuelles Abbild von lokalen – durch Fahrzeugsensorik nur schwer oder nicht erfassbaren – Verkehrsknoten (wie z. B. an Kreuzungen, Kreisverkehren, Tunneln o. ä.) erzeugt wird. Die ständig aktualisierten Karteninformationen werden wiederum via Multicast oder Broadcast den Verkehrsteilnehmern im lokalen Umfeld der Verarbeitungsinstanz bereitgestellt. Somit nimmt künftig der Grad der Interaktion und Kooperation zwischen verschiedensten Verkehrsteilnehmern (Fahrzeuge, aber auch Fußgänger, Fahrradfahrer) und Verkehrs-

infrastrukturen (LSA, RSU, Cloud, VMZ) deutlich zu und wird die Grundlage für fahrerloses Fahren auf SAE Level 5 sein.

Einzig die Fahrzeughersteller Navya (Arma DL4), Easy Mile (EZ 10) und Local Motors (OLLI) stellen derzeit Shuttle-basierte Fahrzeugkonzepte bereit, die eine fahrerlose Personenbeförderung^{1,2,3} ermöglichen und optional Stufe 2 für V2X-unterstütztes automatisiertes Fahren beherrschen. Teilweise handelt es sich hierbei um Prototypenfahrzeuge oder Fahrzeuge mit streckenbezogener Einzelgenehmigung. Deren Einsatz erfolgt im öffentlichen Straßenverkehr stark reguliert, bspw. bei limitierten Fahrtgeschwindigkeiten (z. B. 15 km/h in Bad Birnbach), auf Fahrtstrecken mit einer Fahrspur und ohne Mischverkehr. Dadurch wird die Auswahl eines Testfeldkorridors für Erprobungen der Ausbaustufe 1 stark eingegrenzt.

Die Ausbaustufen 2 bis 4 erfordern den Aufbau von V2X-Infrastruktur z. B. in Form von kommerziell verfügbaren RSUs, die als Relay der von Fahrzeugen versendeten Daten fungieren oder in einer weiterführenden Ausprägung als RSU-Clouds in Kombination mit lokaler Kamerasensorik und Edge Computing vorverarbeitete Informationen versenden. RSU-Clouds und Mobile Edge Clouds sind derzeit Forschungsgegenstand und nicht kommerziell verfügbar.

Als Kommunikationstechnologien für den Daten- und

Informationsaustausch kommen grundlegend verschiedene primäre und sekundäre Technologien in Betracht [52]. Für verkehrliche Anwendungen und die Fahrzeugkommunikation im Besonderen sind von großer Relevanz insbesondere die Technologievarianten *WLAN-V2X* (basierend auf den Standards ETSI ITS G5 und IEEE 802.11p) sowie zellulärer Mobilfunk, in Form von

- *Cellular-V2X*: direkte Fahrzeugkommunikation zwischen Endgeräten Device-to-Device bzw. Vehicle-to-Vehicle über einen Sidelink innerhalb der Funkabdeckung einer Basisstation oder innerhalb eines quasi Ad-hoc-Netzwerks mittels LTE-V2X;
- *Backend-V2X*: Fahrzeugkommunikation mit einem im Internet befindlichen Backend-(Server) unter Nutzung öffentlicher Mobilfunksysteme (Zugangsnetzwerk der Basisstation und Kernnetzwerk), derzeit mittels LTE bzw. voraussichtlich ab 2021/2022 mittels des neuen Mobilfunkstandards 5G (Globale Spezifizierung durch 3GPP Release 15 in September 2018 bzw. nach der deutschen Frequenzauktionierung im ersten Quartal 2019).

Eine kürzlich veröffentlichte Studie hat die drei betreffenden Technologien hinsichtlich quantifizierbarer Leistungskriterien (wie z. B. Zuverlässigkeit,

¹ Gemäß §§ 1a, 1b StVG ist im öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland ein physisch vorhandener Sicherheitsfahrer erforderlich, der im Bedarfsfall die (Über-)Steuerung des Fahrzeugs vornimmt.

² Weitere Fahrzeuge: CLOUI von Paravan (voraussichtlich ab September 2018 verfügbar); IAV (voraussichtlich ab Q1 2019 verfügbar).

³ Eine Übersicht zu potentiellen Technologieträgern ist dem Anhang II beigelegt.

Latenz, spektrale Effizienz oder Verbindungsdichte), nicht direkt messbarer funktionaler Kriterien (wie z. B. IT-Sicherheit und Systemoffenheit) und Entwicklungskriterien (wie z. B. Standardisierungsreife und Reife des Rechtsrahmens) bewertet [57]. Im Ergebnis zeigt sich für die Anwendungsklasse „verkehrskritische Nahbereichswahrnehmung“, dass in der Gesamtheit der Kriterien die Technologievarianten *WLAN-V2X* und *Cellular-V2X* keine signifikanten Unterschiede aufzeigen, wohingegen *Backend-V2X* die größten Nachteile bei Latenz, Abdeckung und Anbindung an die Verkehrsinfrastruktur aufweist. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich sowohl *Cellular-V2X* als auch *WLAN-V2X* für die Ausbaustufen 2 und 4 des V2X-Vernetzten Fahrens eignen. *Backend-V2X* ist hingegen eine gut realisierbare Technologiealternative für den verkehrsbegleitenden Datenaustausch für Komfortfunktionen, beispielsweise für die Anbindung eines On-Demand-Systems, und weniger für sicherheitsrelevante Anwendungen.

Eine Erprobung der dargestellten Use Cases – unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Ausbaustufen und identifizierten Technologieträger – könnte in vier Phasen geschehen:

1. Aufbau von V2X-Kommunikationsinfrastruktur an neuralgischen Verkehrsknoten;
2. Testfahrten für das Mapping, d. h. das kartographische Erfassen der Testfeldstrecke in einem Raster;
3. Pilotbetrieb zum testen des Fahrzeugs auf das reale Umfeld und die tatsächliche Fahrdauer mit Stopps an den vorgesehenen (virtuellen) Haltestellen und optionalem Test von ÖPNV-Anschlussituationen;
4. Test des Business Cases unter Realbedingungen einschließlich der Integration von Buchungsoptionen und Pricingstrategien etc. mit anschließender Überführung in den Regelbetrieb.

Digitales Testfeld Dresden

Die Landeshauptstadt Dresden ist eine von sieben deutschen Großstädten, die im Rahmen des Forschungsprogramms zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr vom BMVI als digitales Testfeld bzw. als Erprobungsraum für automatisiertes und vernetztes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr ausgelobt wurde. Auf mehreren Testfeldkorridoren sollen innovative Lösungsansätze für komplexe Verkehrssituationen entwickelt und untersucht werden. Hierbei ist der Schwerpunkt bspw. auf das Zusammenwirken von vernetzten und nicht-vernetzten Verkehrsteilnehmern an Kreuzungen oder im Übergang zwischen Bundesstraßen und städtischem Straßennetz gerichtet.

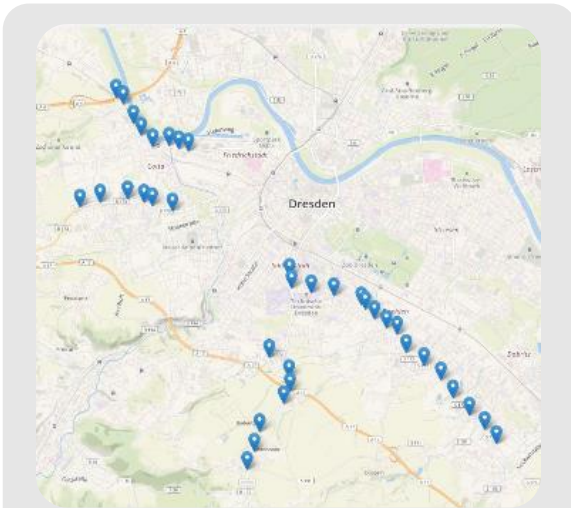


Abb. 17: Stufenweiser V2X-Infrastruktur-Ausbau in der Stadt Dresden [58]

Bereits 2014 hat der Freistaat Sachsen das High-Tech-Programm „Synchrone Mobilität 2023“ initiiert, das zum Ziel hat, ein Pilotsystem für vernetztes und

automatisiertes Fahren aufzubauen und korrespondierende Vorhaben sowie Anwendungen im Kontext von Intelligenten Verkehrssystemen zu erproben, in die Praxis umzusetzen und dabei die vorhandenen Kernkompetenzen sächsischer Industrieunternehmen und Forschungsinstitutionen zu bündeln [59].

Im Zuge dieses Programms befinden sich sechs F&E-Vorhaben sowie 25 weitere mit IVS assoziierte F&E-Projekte bereits in direkter Umsetzung [59]. Die zu entwickelnden Lösungen fokussieren dabei auf:

- Hochautomatisierte Verkehrsflusssteuerungen,
- Hochautomatisiertes und autonomes Fahren (Pkw, Nutzfahrzeuge, ÖPNV),
- Vernetzung mit Rad- und Fußgängerverkehr,
- Reduktion der CO₂-Schadstoffemissionen,
- Steigerung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit bestehender Verkehrsinfrastrukturen im urbanen Verkehr.

Neben Simulations- und Erprobungsfahrten erfolgen Testfahrten auch unter realen Verkehrsbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr. Damit verbunden ist ebenso die Ausstattung von Straßenkorridoren mit intelligenter Infrastruktur (vgl. Abb. 17), damit kooperative Fahrmanöver unter Einbeziehung von V2X-Kommunikation (u. a. Kommunikation mit Lichtsignalanlagen) erprobt werden können.

Dafür bereitgestellte Hintergrundsysteme sind insbesondere:

- Verkehrsleitzentrale der Stadt Dresden – VAMOS,
- Ressourcenmanagementsystem – REMAS,
- Kartenserver für hochgenaue und stets aktuelle Karten,
- Mobile Clouds und ITS-Edge Clouds.

Als Ausstattungsmerkmale des V2X-Ausbaus auf dem Testfeld Dresden sind vorgesehen:

- Hybride Übertragungstechnologien: WLAN-V2X, Cellular-V2X (LTE-V), DAB+,
- Lichtsignalanlagen mit OCIT-2- und OCIT-3-Schnittstellen,
- Streckenseitige Sensor- und Videoausstattung sowie
- Landmarken, reflektierende Markierungen, Radar-/Bluetooth-Scanner.

Im Fokus der Streckenauswahl stehen insbesondere Straßenabschnitte mit überwiegend homogenen, gut

ausgebauten Straßen mit vier Fahrbahnen und mit teilweise straßenbündigen Gleiskörpern sowie besondere neuralgische Verkehrspunkte, wie z. B. Kreuzungssituationen oder ÖPNV-Haltestellen.

Nach einer ersten öffentlichen Erprobungsfahrt am mit V2X-Infrastruktur ausgestatteten Fritz-Löffler-Platz (vgl. Abb. 18), wurde bereits der Aufbau weiterer Teststrecken im Stadtgebiet forciert (Wilschdorfer Landstraße, Teplitzerstraße, Bundesstraße 170).

Für die Realisierung von Auto FipS ergeben sich somit physische Schnittstellen insbesondere aus Testfelderweiterungen, wie sie z. B. auf einem erweiterten Korridor auf der Bundesstraße B 170 nach Dippoldiswalde denkbar wären.

Thematische Schnittstellen folgen weiterhin aus den bereits initiierten Fachprojekten. Wie z. B. die Adaption von Erprobungssituationen auf den ländlichen Raum, mit veränderten topographischen Eigenschaften, weiteren neuralgischen Verkehrspunkten, zum Teil höheren Fahrtgeschwindigkeiten und deren Verknüpfung mit realen Business Cases.



Abb. 18: Kreuzung mit V2X-Equipment

Beschreibung potentieller peripherer Testfeldkorridore

Im Rahmen des vorliegenden Teilkapitels ist es Ziel, geeignete Testfeldkorridore für das automatisierte und vernetzte Fahren in ländlichen Räumen darzustellen, die Anforderungen aus verschiedenen Perspektiven erfüllen. Einerseits sollen die identifizierten Versuchsräume geeignete topologische Eigenschaften aufweisen, um komplexe und bisher nicht untersuchte Situationen im öffentlichen Verkehrsraum erproben zu können. Andererseits sollen diese Räume einen möglichst guten „fit“ mit den Mobilitätsanforderungen von bestimmten Gruppen mobilitätseingeschränkter Personen aufweisen, d. h. über die notwendigen (infra)strukturellen Voraussetzungen verfügen, um somit zur Erprobung von realen Business Cases zu befähigen.

Daher war für die Auswahl potentiell geeigneter Testfeldkorridore maßgeblich, dass das experimentelle Umfeld in bestehende Strukturen integrierbar ist und Erprobungen im Sinne eines Living Labs (Reallabor) zulassen. Hierdurch sollen neben der technologischen Fortentwicklung insbesondere auch Erkenntnisse zur Ausgestaltung von Betreiber- und Geschäftsmodellen für neue Akteure in diesem Segment erschlossen werden sowie potentielle Akzeptanzhemmnisse frühzeitig erkannt und geeignete Nutzungsanreize geschaffen werden.

Zudem stellen alle dargestellten Testfeldkorridore unabgestimmte Vorschläge des Auftragnehmers dar, die, basierend auf den durchgeführten Analysen,

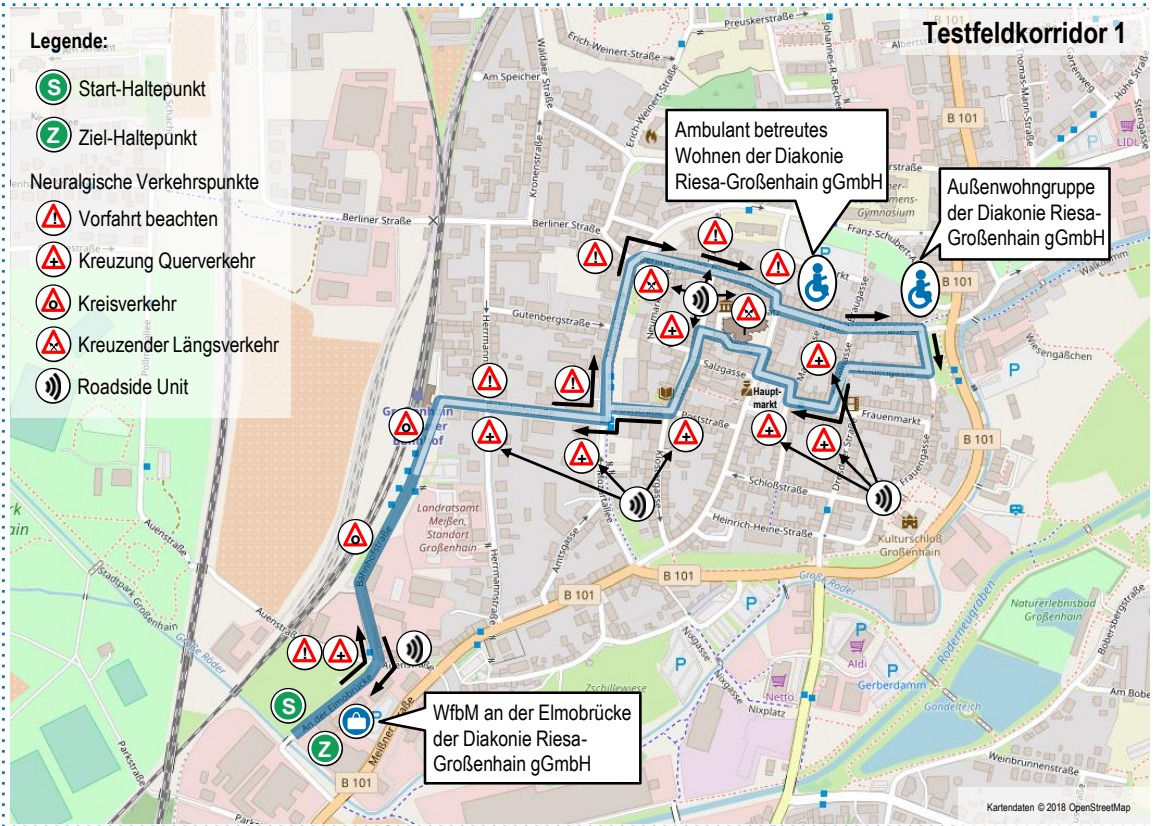
einem empfehlenden Charakter für die Realisierung entsprechen. Im Nachgang an diese Grundlagenstudie sollte die konkrete Realisierbarkeit eines oder mehrerer Testfeld(er) an den vorgeschlagenen Streckenabschnitten überprüft werden, z. B. hinsichtlich der Einschätzung zur verkehrlichen Verträglichkeit bzgl. der Beeinflussung und Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer, dem tatsächlichen Vorhandensein von Breitbandnetzen für die Realisierung von V2X-Infrastrukturen und einer generellen Zulassung/Einzelabnahme der vollautomatisierten Shuttle-Busse für die Korridore etc.. Zudem ist zwingend eine Funknetzplanung durchzuführen, damit die Anzahl und Standorte mit hoher Genauigkeit ermittelt werden können.


Testfeldkorridor 1 für den Use Case handicapped transport in Großenhain:

Als potentiell geeigneter Korridor erweist sich ein Rundkurs für die direkte Point-to-Point Verbindung von Arbeitsstätte (WfbM an der Elmobrücke, Großenhain) und zwei dezentralen Wohnunterkünften für behinderte Menschen (Ambulant Betreutes Wohnen der Diakonie, Naundorfer Straße 9 und Außenwohngruppe der Diakonie, Naundorfer Straße 33), jeweils beginnend und endend an der Arbeitsstätte.

Aufgrund der unterschiedlich komplexen topologischen Herausforderungen des Rundkurses eignen sich verschiedene Teilabschnitte

V. Testfelder für AMoD-Konzepte im ländlichen Raum



Use Case	Use Case-Profil	Strecken- und Einsatzprofil	Neuralgische Verkehrspunkte
Handicapped transport 	<p>Kurzbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Point-to-Point-Verbindung für die Fahrgastbeförderung von behinderten Menschen zwischen Wohnunterkunft und Arbeitsplatz (WfbM – Werkstatt für behinderte Menschen) in Großhain <p>Erprobungsschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reale Umfeldbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr: Einspurverkehr, Mischverkehr, kreuzender Verkehr Integration von vollautomatisierten Fahrzeugen in private Fahrdienstangebote Ausbaustufe 1: Sensorgestütztes automatisiertes Fahren für Teilabschnitt Wfbm <-> Bahnhof Ausbaustufe 2 bis 4: Infrastrukturausrüstung über den gesamten Rundkurs Erweiterungsoption für Use Case-Kombination: touristische Nutzung für Teilabschnitt Bahnhof -> Hauptmarkt -> Bahnhof 	<p>Rundkurs mit Umlauf von und zur WfbM an der Elmobrücke, Großhain</p> <ul style="list-style-type: none"> Streckenlänge: 2,93 km vollständiger Umlauf; Teilabschnitt WfbM <-> Bahnhof: 984 m; 1,97 km für Erweiterung Haltepunkte: Start und Ziel an der WfbM der Diakonie, Zwischenhalt zum Ein- und Ausstieg von Fahrgästen an der Naundorfer Str. 8 und Naundorfer Str. 33 bzw. am Hauptmarkt bei kombinierter touristischer Nutzung Taktung: Werktäglicher Einsatz und auf Arbeitszeiten abgestimmte Frequentierung auf gesamten Rundkurs (z. B. zwischen 8.00 – 9.00 Uhr und 17.00 – 18.00 Uhr); sowie täglicher Einsatz für touristische Nutzung zwischen 12.00 – 16.00 Uhr <p>Erprobungssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Barrierefreier) Ein- und Ausstieg mit automatisierten Fahrzeugkonzept Kooperative Fahrmanöver an neuralgischen Verkehrsknoten Kombinierte Nutzung: privater Fahrdienst und ÖPNV-Angebot 	<p>Vorhandene Verkehrssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einspurverkehr, Mischverkehr, Querverkehr, einfache einspurige Kreisverkehre (180° mit zwei Ein- und Ausfahrten), Abbiegevorgänge mit kreuzenden Längsverkehr, vorfahrtgewährende Kreuzungen ohne LSA <p>Korridorausstattung mit V2X-Infrastruktur:</p> <p>11 Roadside Units (mit Kamerasensorik, RSU-Cloud) in Kreuzungsbereichen an den Knotenpunkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Auenstraße/An der Elmobrücke; Bahnhofstraße/Hermannstraße; Bahnhofstraße/Mozartallee; Berliner Str./Neumarktgassee; Berliner Str./Töpfergassee; Lindengasse/Siegelgassee; Siegelgassee/Frauenmarkt; Hauptmarkt; Kirchplatz/Gabelsbergstraße; Neumarkt/Poststr.

für die Erprobung aller vier Ausbaustufen. Zudem sind die Teilabschnitte dazu geeignet, das Testfeld schrittweise aufzubauen.

Sensorgestütztes Fahren (Stufe 1) kann auf einem Teilabschnitt zwischen WfbM und Bahnhof zur grundlegenden Einführung durch die bereits im Markt befindlichen Shuttle-Fahrzeuge (vgl. Kapitel *Technologieträger und Ausbaustufen zur Versuchsdurchführung*) realisiert werden. Fahrgäste sollen an die neue Technologie herangeführt und die Öffentlichkeit kann zudem sensibilisiert werden. Aufgrund von Einspurverkehr, zwei einspurigen Kreisverkehren mit jeweils zwei Ein- und Ausfahrten sowie einer Kreuzungssituation ohne Lichtsignalanlage wird der 984 Meter lange Teilabschnitt als verkehrlich unproblematisch bewertet.

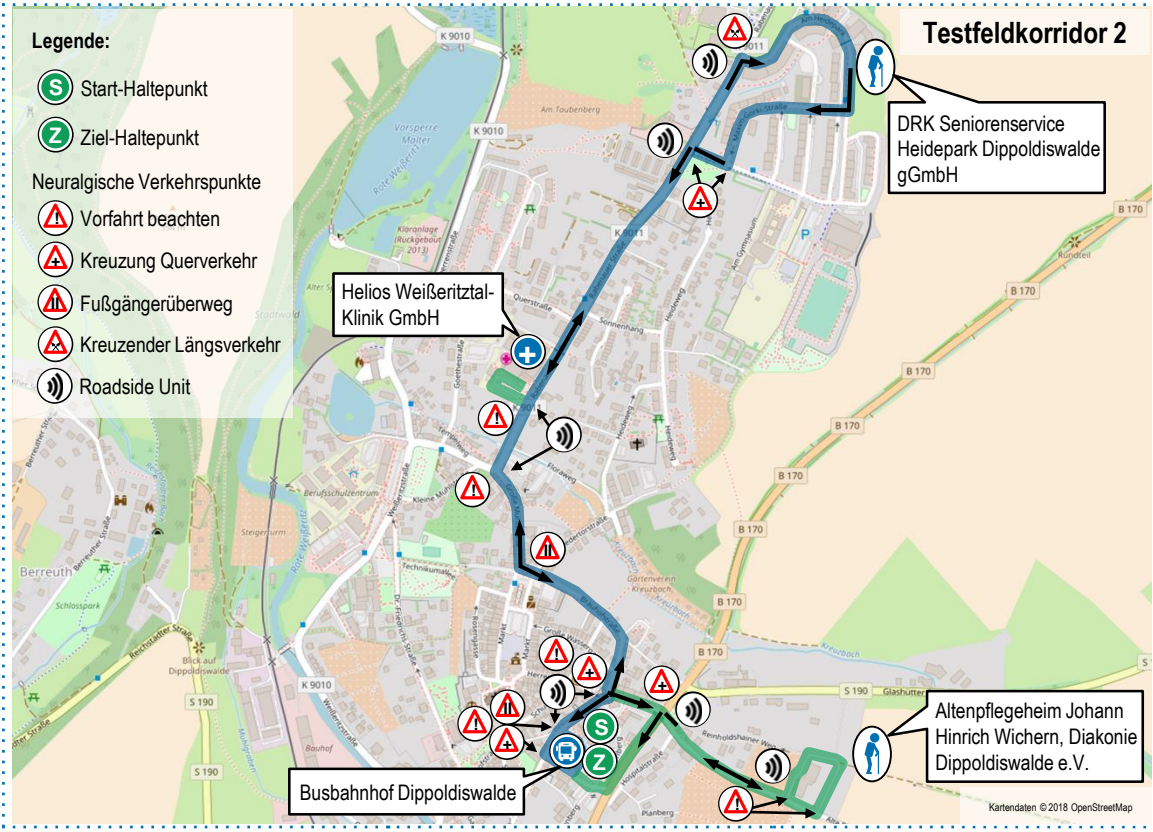
Aufgrund der Zentralität der Streckenführung eignet sich der Korridor in seiner gesamten Länge – oder in Teilabschnitten – für Erprobungen der Ausbaustufen 2 bis 4. V2X-Infrastruktur in den Ausprägungen Roadside Units für das Senden und Empfangen von Daten und Informationen, RSU-Clouds für die Datenvorverarbeitung und die Bereitstellung von Applikationen (hochgenaue Objektkarte), Kamerasensorik für die Detektion an neuralgischen Verkehrsknoten ist somit auf einem vergleichsweise kleinen Raum installierbar. Entlang des 2,93 km langen Rundkurses können dadurch kooperative Fahrmanöver (wie z. B. kreuzender Querverkehr, Abbiegen mit Längsverkehr) sowie Haltestellensituationen mit automatisierten Fahrzeugen auf einspurigen Fahrbahnen an

den Zu- und Ausstiegspunkten in der Naundorfer Straße erprobt werden (z. B. Warnung anderer Verkehrsteilnehmer, barrierefreier Zu- und Ausstieg von Fahrgästen mit Behinderungen).

Zudem eröffnet die zentrale Lage des Rundkurses auf einer verkürzten 1,97 km langen Teilstrecke Möglichkeiten zur Erprobung eines kombinierten Business Cases. In Zeiten, in denen der Shuttle-Bus nicht für die Beförderung behinderter Fahrgäste genutzt wird, kann auf der Teilstrecke Bahnhof – Naundorfer Straße – Bahnhof auf den Zwischenhalt in der Naundorfer Straße verzichtet werden. Ersatzweise wird ein Zwischenhalt am Hauptmarkt eingeführt, der touristische Stadtbesucher zwischen Bahnhof und Kernstadt befördert. Die Taktung kann hierbei auf ankommende und abfahrende Bus- und Zugverbindungen (z. B. mit der Regionalbahn 31 oder der Buslinie 457 nach Dresden) abgestimmt sein. Diese Teilintegration in den ÖPNV eröffnet somit die Erprobung von neuen, komplementären Einsatzszenarien, durch die Kombinierbarkeit von öffentlicher und privater Nutzung automatisierter Shuttle-Busse.

Testfeldkorridor 2 für den Use Case seniors transport in Dippoldiswalde:

Direkt als ein On-Demand-basiertes ÖPNV-Zubringerkonzept für die Fahrgastbeförderung von Senioren zwischen zwei Wohnheimen und dem Busbahnhof ist der potentielle Testfeldkorridor in Dippoldiswalde ausgelegt. Der Shuttle fungiert hierbei nachfragegesteuert als



Use Case	Use Case-Profil	Strecken- und Einsatzprofil	Neuralgische Verkehrspunkte
Seniors transport	<p>Kurzbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> On-Demand-basiertes ÖPNV-Zubringerkonzept für die Fahrgastbeförderung von Senioren zwischen zwei Seniorenwohnheimen und dem Busbahnhof in Dippoldiswalde ÖPNV-Zubringer für die Buslinien 360 (Dresden), 370 (Altenberg), 376 (Freital) <p>Erprobungsschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reale Umfeldbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr: Einspurverkehr, Mischverkehr, kreuzender Verkehr Integration von vollautomatisierten Fahrzeugen in private Fahrdienstangebote und in den ÖPNV (Anschluss) Ausbaustufe 2 bis 4: Infrastrukturausrüstung über den gesamten Rundkurs Erweiterungsoption 1 für V2X-Vollvernetztes Fahren (Stufe 4): Streckenerweiterung zum Altenpflegeheim Johann Hinrich Wichern der Diakonie Dippoldiswalde Erweiterungsoption 2 für Use Case-Kombination: Zwischenhalt an Helios Weißeritztal-Klinik 	<p>Rundkurs mit Umlauf vom und zum Busbahnhof, Dippoldiswalde</p> <ul style="list-style-type: none"> Streckenlänge: 3,65 km vollständiger Umlauf; Erweiterung 1 (Busbahnhof - DRK Heidepark - Pflegeheim J. H. Wichern - Busbahnhof): bis zu 5,03 km; Erweiterung 2 (Zwischenhalt Helios-Klinik): 3,65 km bis 5,03 km) Haltepunkte: Start und Ziel am Busbahnhof Dippoldiswalde, Zwischenhalte zum Ein- und Ausstieg von Fahrgästen am Seniorenservice, Heidepark 13 und am Altenpflegeheim, Alte Dresdner Str. 9 bzw. zusätzlich Helios-Klinik Taktung: Täglicher Fahrbetrieb auf Nachfrage im 24/7-Betrieb <p>Erprobungssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Barrierefreier) Ein- /Ausstieg mit automatisierten Fahrzeugkonzept für Senioren und verunfallte Senioren Integration eines On-Demand-Dienstes mit automatisierten Shuttle-Bus in regionale ÖPNV-Linienangebote Kooperative Fahrmanöver und ÖPNV-Anschlussituationen 	<p>Vorhandene Verkehrssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einspurverkehr, Zweispurverkehr an Kreuzungen, Mischverkehr, Querverkehr, Abbiegevorgänge mit kreuzenden Längsverkehr, vorfahrtgewährende Kreuzungen ohne LSA und mit LSA, Fußgängerüberwege Starkes Verkehrsaufkommen auf B170, Brauhofstraße, Alte Altenberger Str. und Große Mühlstraße <p>Korridor Ausstattung mit V2X-Infrastruktur:</p> <p>5 bis 8 Roadside Units (mit Kamerasensoren, RSU-Cloud) in Kreuzungsbereichen an den Knotenpunkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Busbahnhof/Alte Altenberger Str.; Ober- torplatz/Brauhofstraße; Große Mühlstraße/Rabenauer Str.; Am Heidepark; Nikolai-Ostrowski-Str./Rabenauer Str. Erweiterungsoption 1: zusätzlich Ober- torplatz/B170; Auffahrt Alte Dresdner Erweiterungsoption 2: zusätzlich Auffahrt Rabenauer Str.

ÖPNV-Zubringer für verschiedene, gemeindegrenzen-übergreifend verkehrende Buslinien.

Der über eine Strecke von 3,65 km verlaufende Rundkurs verbindet das Seniorenwohnheim des Deutschen Roten Kreuzes (Am Heidepark 13) mit dem Busbahnhof Dippoldiswalde. Durch die Verknüpfung eines On-Demand-Fahrdienstes mit einem vollautomatisierten oder fahrerlosen Shuttle-Bus können so intermodale Verbindungen mit konventionellen Linienbussen zu den Städten Dresden (Buslinie 360), Altenberg, (Buslinie 370) oder Freital und Rabenau (Buslinie 376) nahtlos und nachfragebasiert geschaffen und erprobt werden. Der Shuttle fungiert hierbei als vollautomatisierter Zubringer zum konventionellen ÖPNV für die erste und letzte Beförderungsmeile. Daraus ergeben sich die Erprobungssituationen zum Testen der Integrationsfähigkeit des Shuttles in den ÖPNV in Verbindung mit einem On-Demand-Angebot sowie von verschiedenen kooperativen Fahrmanövern. Neben kreuzenden Quer- und Längsverkehren zeigen sich besondere Verkehrssituation an Fußgängerüberwegen und auf dem Busbahnhof.

Aufgrund der Zentralität von Quell- und Zielort eignet sich der Testfeldkorridor für Erprobungen der Ausbaustufen 2 bis 4, d. h. für teleoperiertes Fahren bzw. V2X-unterstütztes/-vollvernetztes Fahren.

Eine mögliche Erweiterung des Testfeldkorridors um einen zusätzlichen Quell- und Zielort (Altenpflegeheim Johann Hinrich Wichern der Diakonie, Dresdner Str. 9) würde weitere Facetten zur

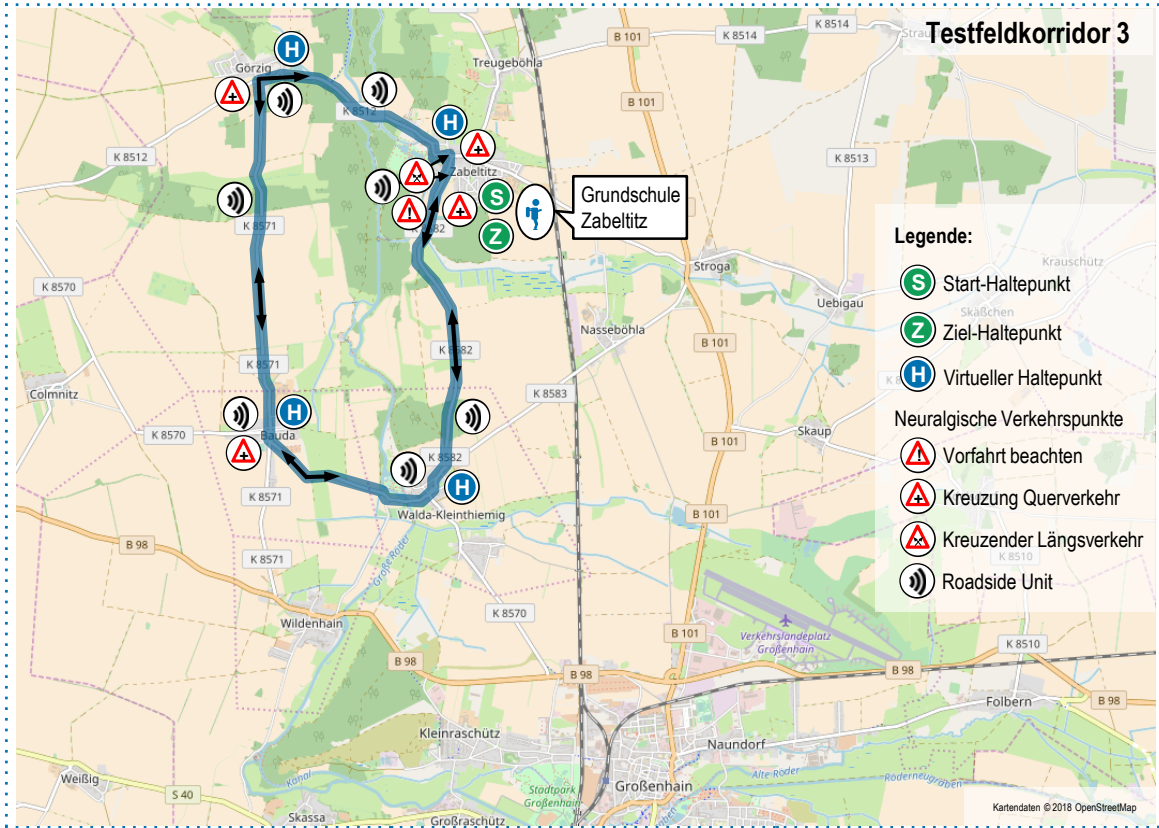
Erprobung des automatisierten Shuttle-Busses an einer mehrspurigen Kreuzung mit Lichtsignalanlage aufzeigen. Hierbei könnten weitere kooperative Fahrmanöver, wie z. B. kooperativ abgestimmte Einfädelmanöver an mehrspurigen Kreuzungen und Grünlichtphasenassistenten getestet werden. Die Streckenlänge würde sich in diesem Erweiterungsszenario auf bis zu 5,03 km ausweiten.

Als zweite denkbare Erweiterungsoption könnte der Basis-Use-Case durch weitere Fahrgastbeförderungen zwischen beiden Seniorenheimen und dem Krankenhaus (HELIOS Weißeritztal-Kliniken GmbH, Rabenauer Str. 9) als ein komplementärer Business Case eine Ergänzung finden. Hierbei können langfristig terminierte oder auch spontane Arztbesuche ohne Vorlaufzeit „on-demand“ angezeigt und der Fahrtweg mittels des automatisierten Shuttle-Busses durchgeführt werden. Zudem könnte der Transport von erkrankten oder verunfallten Senioren geprüft werden. Da die Klinik bereits über den grundlegenden Rundkurs erreichbar ist, weitet sich der Testfeldkorridor lediglich auf deren Erschließung bzw. der Zuwegung des Betriebsgeländes aus.

Testfeldkorridore 3 und 4 für den Use Case schools transport in Großenhain:

Auf Grundlage eines Ridepooling-Konzeptes sollen im Rahmen des angedachten Testfeldkorridors Schulstandorte in der Fläche erschlossen werden.

Mit den spezifischen strukturellen Eigenschaften in Großenhain sind



Use Case	Use Case-Profil	Strecken- und Einsatzprofil	Neuralgische Verkehrspunkte
School transport	<p>Kurzbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ridepooling-basiertes Shuttle-Konzept für die Beförderung von Schülern zwischen den Wohnorten (virtuelle Haltepunkte und der Grundschule Zabeltitz in Großenhain <p>Erprobungsschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reale Umfeldbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr: Einspurverkehr, Mischverkehr, kreuzender Verkehr, Überlandverkehr Privater Fahrdienst als freigestellter Schülerverkehr mit automatisierten Shuttle-Bus Flächenerschließung und Ridepooling mit automatisierten Shuttle-Bus Ausbaustufe 2 und 4: V2Xt-unterstütztes und V2X-vollvernetztes Fahren über den gesamten Rundkurs Erweiterungsoption für Use Case-Kombination: öffentliche Nutzung in verbleibenden Zeiten 	<p>Rundkurs mit Umlauf von und zur Grundschule Zabeltitz, Großenhain</p> <ul style="list-style-type: none"> Streckenlänge: 12,68 km vollständiger Umlauf Haltepunkte: Start und Ziel an der Grundschule Zabeltitz, Streckenbegleitender Ein- und Ausstieg an virtuellen Haltepunkten in Bauda, Görzig, Walda, Zabeltitz Taktung: werktags zwischen 06.00 und 09.00 Uhr sowie 12.00 und 16.00 Uhr; Für Erweiterungsoption: täglicher Fahrbetrieb auf Nachfrage im 24/7-Betrieb (ausserhalb der Schultransporte) <p>Erprobungssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Barrierefreier) Ein- /Ausstieg mit automatisierten Fahrzeugkonzept für Grundschüler Überlandverkehr mit vollautomatisierten Shuttle-Bus bei höheren Fahrgeschwindigkeiten 	<p>Vorhandene Verkehrssituationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einspurverkehr, Mischverkehr, Querverkehr, Überlandverkehr, Abbiegevorgänge mit kreuzenden Längsverkehr, vorfahrtgewährende Kreuzungen ohne LSA, Landwirtschaftliche Flächen und Bewaldung entlang gesamten Korridor (plötzlich kreuzende Landmaschinen, Wildwechsel etc.) <p>Korridorausstattung mit V2X-Infrastruktur:</p> <p>4 Roadside Units (mit Kamerasensork, RSU-Cloud) in Kreuzungsbereichen an den Knotenpunkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Unter d. Linden/Waldaer Str., Zabeltitz; Waldaer Str./Hauptstr., Zabeltitz; Zabeltitzer Str./Baudaer Str., Görzig; Baudaer Hauptstr./Am Kirchberg, Bauda <p>Optional: 3 Roadside-Units (mit Kamerasensork, RSU-Cloud) an bewaldeten Teilstreckenabschnitten:</p> <ul style="list-style-type: none"> K8512, K8571, K8582

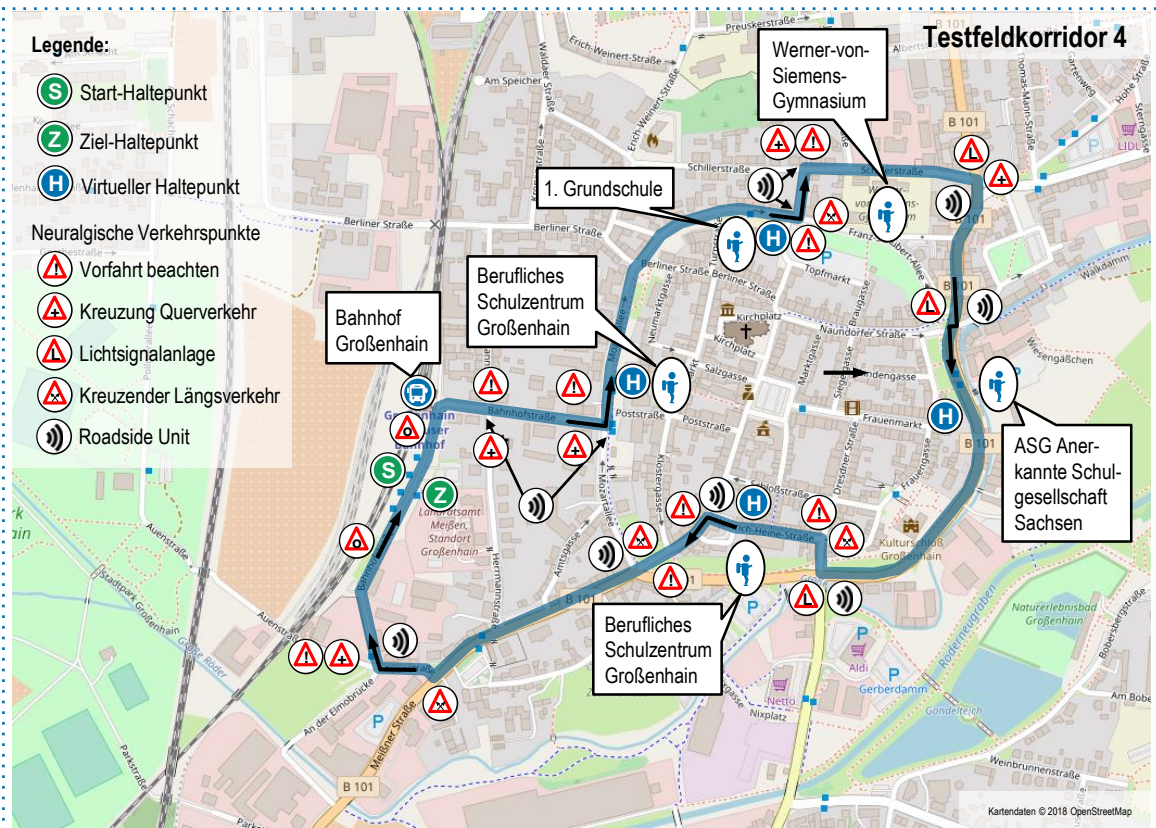
dabei zwei Ausprägungsformen zu unterscheiden, die jeweils mit verschiedenen Umsetzungskonzepten korrespondieren: Zum einen folgt aus den dispers verteilten Ortsteilen von Großenhain die Anforderung, dass Schüler aus den verteilten Teilortschaften (z. B. Bauda, Görzig, Walda) den zentralen Grundschulstandort (z. B. in Zabeltitz) meist erst über längere Wege und mehrere Teilorte erreichen. Aus diesem sehr peripher geprägten Kontext lässt sich der Business Case des freigestellten Schülerverkehrs ableiten. Auf einem Rundkurs mit insgesamt 12,68 km Länge sind dabei zum Teil schwer prädiktierbare Verkehrssituationen (wie z. B. Wildwechsel und querende Landmaschinenfahrzeuge im Überlandverkehr) zu erproben, da Teilabschnitte über Kreisstraßen verlaufen. Herausforderungen stellen dabei insbesondere höhere Fahrtgeschwindigkeiten und sensorisch schwer erfassbare Streckenabschnitte mit Bewaldung am Straßenrand dar. Zusätzliche Infrastruktursensorik könnte in diesen Szenarien unterstützend zum Einsatz kommen.

Bezogen auf die Flächenerschließung mittels eines Ridepoolingsystems werden entlang des Rundkurses nur die Ortschaften angesteuert, aus denen eine Fahratanfrage gestellt wurde und auf dieser Grundlage die kürzeste Verbindung zur Grundschule Zabeltitz gewählt (andernfalls werden die Orte innerhalb des vorgesehenen Einsatzradius nicht bedient). In Abhängigkeit der Ausbaustufe sollen die Shuttles auf dem Rundkurs linienbezogen (V2X-unterstütztes Fahren) oder innerhalb des durch den Rundkurs

begrenzten Einsatzgebietes in der Fläche (V2X-vollvernetztes Fahren) verkehren.

Zum anderen erlauben es die strukturellen Voraussetzungen in den zentrumsnahen Ortsteilen von Großenhain, dass auf vergleichsweise kleinem Raum mehrere Schulstandorte zugleich erschlossen werden (zweites Umsetzungskonzept). Dieser urban geprägte Kontext sieht vor, dass auf einem 2,85 km langen Rundkurs das Ridepoolingsystem in Kombination mit den zubringenden Zug- und Buslinien des ÖPNV getestet wird. Ausgehend vom Cottbuser Bahnhof in Großenhain werden auf einem festgelegten Rundkurs (V2X-unterstütztes Fahren) oder in der Fläche (teleoperiert-unterstütztes und/ oder V2X-vollvernetztes Fahren) von den insgesamt sechs Schulstandorten wiederum nur die angesteuert, für die ex ante ein Ein- oder Ausstiegsersuchen vorliegt. Andernfalls wird die kürzeste Verbindung zum nächsten Schulstandort angesteuert. Ein- und Ausstiegs-wünsche der Fahrgäste werden auf dem Rundkurs schulortnah durch virtuelle Haltepunkte bedient. Der Untersuchungsschwerpunkt verschiebt sich verglichen mit dem vorhergehenden Testfeldvorschlag somit stärker in Richtung der Erprobung des Ridepoolingsystems.

Als Erweiterung für beide Testfeldvorschläge ist ein kombinierter Use Case vorgesehen, der in den nicht durch Schultransporte belegten Zeitfenstern eine öffentliche Nutzung für Jedermann innerhalb der Testfeldkorridore ermöglicht.



Use Case

Use Case-Profil

Strecken- und Einsatzprofil

Neuralgische Verkehrspunkte

Kurzbeschreibung:

- Ridepooling-basiertes Shuttle-Konzept für die Beförderung von Schülern zwischen dem Bahnhof Großenhain und fünf Schulstandorten (ASG, Berufliches Schulzentrum, 1. Grundschule und Werner-von-Siemens-Gymnasium)

Erprobungsschwerpunkte:

- Reale Umfeldbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr: Einspurverkehr, Mischverkehr, kreuzender Verkehr, einspuriger Kreisverkehr
- Privater Fahrdienst als freigestellter Schülerverkehr mit automatisierten Shuttle-Bus
- Flächenerschließung und Ridepooling mit automatisierten Shuttle-Bus
- Ausbaustufe 2 bis 4: Infrastrukturausrüstung über den gesamten Rundkurs
- Erweiterungsoption für Use Case-Kombination: öffentliche Nutzung in verbleibenden Zeiten

Rundkurs mit Umlauf vom und zum Cottbuser Bahnhof, Großenhain

- Streckenlänge: 2,85 km vollständiger Umlauf
- Haltepunkte: Start und Ziel am Bahnhof Großenhain, Schulnaher Ein- und Ausstieg an virtuellen Haltepunkten in der Mozartallee, Franz-Schubert-Allee, Carl-Maria-von-Weber-Allee (B101), Heinrich-Heine-Straße
- Taktung: werktags zwischen 06.00 und 09.00 Uhr sowie 12.00 und 16.00 Uhr; Für Erweiterungsoption: täglicher Fahrbetrieb auf Nachfrage im 24/7-Betrieb (ausserhalb der Schultransporte)

Erprobungssituationen:

- (Barrierefreier) Ein-/Ausstieg mit automatisierten Fahrzeugkonzept für Schüler
- Automatisiertes Ridepooling

Vorhandene Verkehrssituationen:

- Einspurverkehr, Mischverkehr, Querverkehr, Überlandverkehr, Abbiegevorgänge mit kreuzenden Längsverkehr, vorfahrgewährende Kreuzungen ohne LSA, einspurige Kreuzung mit LSA, zweispurige Kreuzungen mit LSA; zweispuriger Längsverkehr (auf B101)
- Starkes Verkehrsaufkommen auf B101

Korridorausstattung mit V2X-Infrastruktur:

- 10 Roadside Units (mit Kamerasensorik, RSU-Cloud) in Kreuzungsbereichen und an LSA an den Knotenpunkten:
 - Bahnhofstr./Hermannstr.; Bahnhofstr./Mozartallee; Franz-Schubert-Allee/Amalienstr.; Amalienstr./Schillerstr.;
 - Schillerstr./B101; B101; B101/Dresdner Str.; Heinrich-Heine-Str./Meißner Str.;
 - Meißner Str./B101; Auenstr./Bahnhof

School transport



VI.

**BETREIBERMODELLE UND
LEBENSZYKLUSKOSTEN-
BETRACHTUNG**

Stakeholder und Systemkomponenten für AMoD-Konzepte

Im Zuge der voranschreitenden Durchsetzung von *Fahrzeugautomatisierung* und *informationstechnischer Fahrzeugvernetzung*, als treibende Kräfte für die Bereitstellung von flexiblen Mobilitätsangeboten, ist zu erwarten, dass das bestehende Marktgefüge in den verschiedenen Teilssegmenten des Mobilitätsmarktes einen fundamentalen Wandel erfahren wird [60]. Ziel des vorliegenden Kapitels ist es daher, einen grundlegenden Überblick über wichtige Stakeholder vorzustellen und verschiedene, sich möglicherweise verändernde Marktrollen aufzuzeigen. Dabei soll auch auf die erforderlichen technischen Systemkomponenten eingegangen werden, die von den jeweiligen Stakeholdern bereitgestellt oder genutzt werden. Neben den Verkehrsteilnehmern und Kommunen, welche multiple Funktionen wahrnehmen, sollen die Akteure im komplexen Gesamtsystem der Bereitstellung von AMoD-Konzepten in fünf weitere Stakeholdergruppen unterschieden werden:

Als Verkehrsteilnehmer sind grundlegend alle Teilnehmer des öffentlichen Straßenverkehrs einzubeziehen. Im Speziellen sind von primären Interesse eben die personifizierten Teilnehmer, denen der Fokus dieser Studie gewidmet ist (mobilitätseingeschränkte Personen) und die im Kontext von AMoD-Konzepten als Fahrgäste zwischen Start- und Zielort (entgeltlich) befördert werden. Weiterhin ist für die Wahrnehmung von nicht beförderten Verkehrsteilnehmern eine Einteilung in vernetzungsfähige Verkehrsteilnehmer, die z. B. aktiv zyklische oder ereig-

nisgesteuerte Positionssignale senden, und in nicht- vernetzungsfähige Verkehrsteilnehmern sinnvoll.

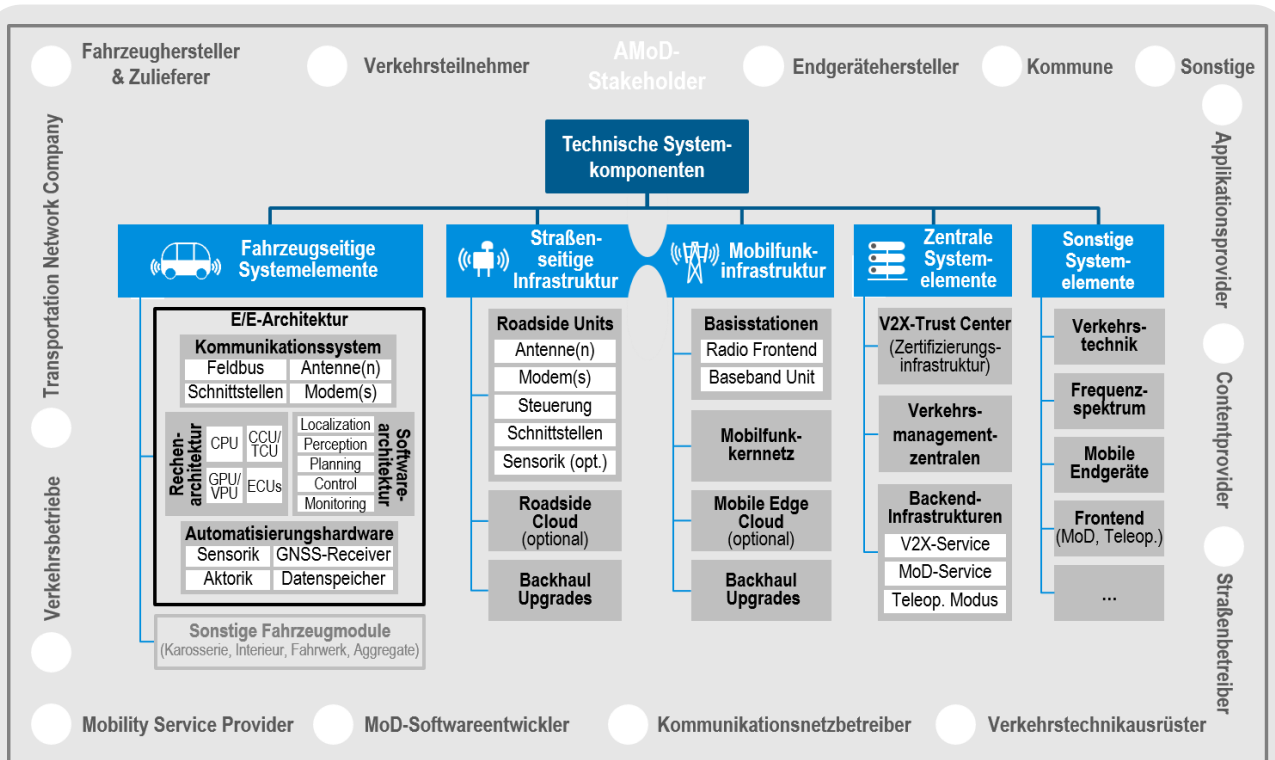
Kommunen sind im Gesamtsystem mit vielschichtigen Aufgaben vertraut. So nehmen sie im Kontext des Studienschwerpunktes grundlegende regulatorische Funktionen wahr. Bspw. legen sie Planungsgrundlagen für den Ausbau von Korridoren mit Straßenverkehrs- und Kommunikationsinfrastruktur fest oder genehmigen diese. Gleichzeitig können Kommunen indirekt auch durch kommunale Eigenbetriebe repräsentiert sein und somit zugleich als Straßenbetreiber, Kommunikationsnetzbetreiber oder Verkehrsbetrieb auftreten.

Infrastrukturbetreiber stellen den Verkehrsteilnehmern die erforderliche Straßen- und Kommunikationsinfrastruktur bereit und betreiben diese. Hierunter sind einzuordnen:

1. Straßenbetreiber, die je nach Hoheitsgebiet einem anderen Straßenbaulastträger zugeordnet sind. Von besonderem Interesse für die Use Case-Realisierung sind hierbei Gemeinde-, Kreis und Staatsstraßen. Betreiber können als privatwirtschaftliche Unternehmen, in Kooperationen mit dem öffentlichen Sektor (in PPP-Modellen) oder rein durch den öffentlichen Sektor als kommunales Unternehmen, z. B. als rechtlich unselbständige Organisationseinheiten einer Gemeinde in der Form von Regie- und Eigenbetrieben, Anstalten des öffentlichen Rechts oder

als rechtlich selbständig in privater Rechtsform ausgegliedert, repräsentiert sein. Es ist anzumerken, dass zum Teil der Betrieb einzelner Verkehrssysteme (z. B. LSA) nicht in der Obhut der Stadt liegt, sondern an privatwirtschaftliche Akteure ausgelagert ist.

Infrastrukturen durch neue lokale oder regionale Anbieter (regionale Frequenzzuteilung an z. B. Mikrooperatoren) aufgebaut werden können [61], die wiederum Grundlage für die V2X-Kommunikation sind. Somit kann z. B. die Datenkommunikation zwischen



E/E: Elektrik/Elektronik | CPU: Central Processing Unit | GPU/VPU: Graphics/Vision Processing Unit | CCU/TCU Connectivity/Telematics Control Unit | ECUs: Electronic Control Units

Abb. 19: Stakeholder, Systembestandteile und Komponenten des AMoD-Gesamtsystems

2. *Etablierte Kommunikationsnetzbetreiber* sorgen bereits heute partiell, jedoch zukünftig verstärkt dafür, dass die Datenkommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern und mit Infrastruktursystemen zuverlässig und ausfallsicher ermöglicht wird – d. h. auch in bisher unrentablen dünn besiedelten ländlichen Räumen. Demzufolge nehmen Betreiber von Mobilfunknetzen für die V2X-Kommunikation künftig eine besonders relevante Marktrolle ein, da mit der Versteigerung der 5G-Mobilfunklizenzen auch Netzin-

Fahrzeug und Backend oder Fahrzeug und Edge-Cloud für latenzsensitive und breitbandige Anwendungen (wie z. B. bei Ausbaustufe S4 erforderlich) über autarke, nicht-öffentliche Mobilfunknetze bereitgestellt werden. Weiterhin nehmen auch Betreiber von leitungsgebundenen Netzinfrastrukturen (bspw. für die Anbindung von RSU, ITS- bzw. Roadside-Cloud oder Mobilfunkbasisstationen an das Backbone) eine wichtige

Rolle ein, die u. a. breitbandige Glasfasernetze an Roadside Equipment oder an Mobilfunkbasistationen bereitstellen.

3. Als ein neuer Marktakteur kann sich zudem der *Betreiber von Road Side Equipment* etablieren, dem der Betrieb straßenseitiger V2X-Infrastruktur (Road Side Units, ITS-Clouds) obliegt. Entsprechende Akteure müssen sich noch herauskristallisieren. Nahelegend sind Unternehmen die klassische Straßeninfrastruktur (LSA o. ä.) bzw. telematische Verkehrssysteme (Mautsystem u. a.) betreiben oder dem Segment der Kommunikationsnetzbetreiber entstammen.

AMoD-Systemtechnikhersteller stellen die für das AMoD-System erforderlichen Endprodukte (als OEM oder Ausrüster) oder Teilsystemkomponenten (als Zulieferbetrieb) her. Hierunter sind zu subsumieren:

1. *Fahrzeughersteller und Zulieferer*. Neben den etablierten Krafffahrzeugherstellern und den Akteuren der Fahrzeugzulieferpyramide sind als neue Akteure insbesondere die Unternehmen aufzuführen, deren Geschäftstätigkeit auf die Entwicklung von Fahrzeugautomatisierungssoftware gerichtet ist. Im Markt existieren derzeit Unternehmen, die OEMs mit der entsprechenden Software als Zulieferprodukt bedienen (z. B. Aurora, Mobileye, nuTonomy), die Plattformen unter einem eigenständigem Label (z. B. EasyMile, navya, Waymo) anbieten und dabei Fahrzeughersteller als Hardware-Zulieferer fungieren (bspw. Fiat-Chrysler, Jaguar, Lignier) oder die als White Label-Anbieter (z. B. bestmile, optimusride) im Markt tätig sind. Daneben existieren Open-Source-

Plattformen, die Schnittstellen einer offenen Community zur Nutzung und Weiterentwicklung zur Verfügung stellen (z. B. Apollo Auto, comma.ai). Im weiteren Sinne sind auch die Unternehmen zu berücksichtigen, die entsprechende Nachrüst-Kits (mit Sensorik, Aktuatorik sowie Algorithmik und Konnektivität) für nicht automatisierte und nicht vernetzte Fahrzeuge für den Aftermarket entwickeln, wie z. B. von den Startups Kopernikus Automotive oder Pony.ai.

2. Auch die auf Softwareentwicklung spezialisierten *Anbieter von MoD-Software* sind als tragende Säule der Systemtechniker für AMoD-Konzepte zu nennen, wie sie z. B. von Moia und UMI als Tochterunternehmen des Volkswagen Konzerns oder von ViaVan (Joint Venture von Daimler und Via) für die Eigenutzung erbracht werden oder als White-Label Angebote (teilweise auch unter eigenem Namen) in Form von Lizenzen an Flottenbetreiber oder Verkehrsbetriebe vermarktet werden, wie z. B. von clevershuttle, door2door.

Somit kann insgesamt eine Verlagerung des Marktgewichtes beobachtet werden: Nicht der OEM als Orchestrator und fokales Unternehmen der Fahrzeugzulieferpyramide wird künftig eine marktbeherrschende Stellung einnehmen, sondern das Unternehmen, welches die dahinterliegende Kompetenz von Automatisierungs-Software und MoD-Software beherrscht.

3. *Verkehrstechnikausrüster* umfassen etablierte Hersteller

klassischer Verkehrssystemtechnik, wie z. B. von LSA und Beeinflussungsanlagen oder zur Ausstattung von Verkehrs-/ Betriebsleitstellen. Zum anderen sind es auch Ausstatter von Verkehrsmanagementzentralen und Hersteller neuer Technologien (Intelligenter Verkehrssysteme), wie z. B. von RSU oder für nachgelagerte RSU-Cloud-Infrastruktur.

4. Weitere AMoD-Systemtechnikhersteller sind *Kommunikationsausrüster*, die Kommunikationstechnik (Endgeräte, Modems etc.) für die Technologievarianten WLAN-V2X, Cellular-V2X sowie für MoD-Cloud-Infrastruktur, Middleware und Backend-Infrastruktur herstellen. Im entfernteren Sinne sind auch die Produzenten von Smartphone-Endgeräten, mit dem User-Interface zum MoD-System, einzubeziehen.

Erbringer von Transportleistung bedienen sich der Technik der voran genannten Systemtechnikhersteller und nutzen Straßen- und Kommunikationsinfrastruktur, um die mobilitätseingeschränkten Fahrgäste AMoD-basiert von Start zum Ziel zu transportieren.

Neben den etablierten *Verkehrsbetrieben* des öffentlichen Sektors, die als kommunale Unternehmen (Eigenbetrieb, Anstalt des öffentl. Rechts oder Kapitalgesellschaft) firmieren, existieren zahlreiche private Fahrdienstleister und Anbieter, die kollaborative Mobilitätsdienste anbieten. Hierzu sei auf das *Kapitel Mobilitätskonzepte und Use Cases* verwiesen. Daneben existieren spezialisierte Fahrdienste von Wohlfahrtsverbänden, die Fahrten ausschließlich für mobilitätseingeschränkte Personen durchführen und ihren Dienst somit exklusiv und nicht-

öffentlich anbieten (z. B. ASB, Diakonie, Johanniter).

In Ansätzen bilden sich derzeit neue Marktrollen heraus, wobei die Grenzen zu der Stakeholdergruppe der Provider bisher nicht konkret definiert sind. So sind Mobility Service Provider im Besitz einer eigenen Fahrzeugflotte, wie z. B. Moia, Waymo, We und somit als Erbringer von Transportleistung einzuordnen. Wohingegen die häufig synonym verwendete Transportation Network Company (TNC) im Besitz keiner eigenen Fahrzeugflotte ist (wie z. B. Gett, Lyft, Uber) und selbst daher keine Transportleistung erbringt, sondern die nachgelagerten freiberuflichen Fahrer (vgl. [62], [63]).

Auf der vervollständigenden Seite von AMoD-Konzepten ist zudem die Vielzahl verschiedenster Provider zu benennen, die in sich keine homogene Gruppe darstellen. So sind hierunter u. a. zu subsumieren:

1. *Applikations Service Provider*, die häufig im B2B-Umfeld agieren und Software-as-a-Service-Angebote bereitstellen. Z. B. als Zahlungsdienstleister für den bargeldlosen Mobilitätsdienst oder als Dienstleister für Location based Services. Auch Anbieter von Vermittlungsleistungen, wie sie durch eine TNC erbracht werden, zählen hierunter. In jüngster Zeit traten Anbieter in den Markt, die ihre Vermittlungsleistung auf konkrete Nutzergruppen spezialisiert anbieten – z. B. die vermittelte Bündelung von Fahrten für Kinder (Anbieter GoKid) oder für behinderte Personen, Kinder und Senioren (Anbieter Care-Driver).

2. *Content Provider*, die konkrete Informationen oder (Mobilitäts)Daten anbieten. Auch innerhalb der Domänen von ITS-Cloud und MEC-Cloud sind neuartige Content Provider denkbar, die Inhalte für entsprechende Applikationen (Local Dynamic Map, Multimedia-Streaming u. a.) migrieren.

Als abschließende Stakeholdergruppe soll auf die erforderlichen Kontrollinstanzen hingewiesen werden. Kontroll- und Regulierungsinstanzen sehen ihren Zuständigkeitsbereich in der Koordination, Steuerung und Überwachung des Marktumfeldes auf einer generischen Ebene bzw. von Fahrzeugflotten und Einzelfahrzeugen auf Mikroebene, damit AMoD-Konzepte störungsfrei betrieben werden können. Hierunter zählen u. a.:

1. *Verkehrsmanagementzentralen* (VMZ) übernehmen die Überwachung und Steuerung bzw. Beeinflussung der Verkehrslage im übergeordneten Kontext, z. B. einer Stadt oder eines gesamten Bundeslandes, durch den Einsatz von Intelligenten Verkehrssystemen. Daneben existieren vereinzelte Betriebsleitstellen, die z. B. das Flottenmanagement und die Koordination auf Fahrzeugebene (bspw. für den ÖPNV oder für Einsatzfahrzeuge) durchführen. Künftig könnten diesen Leitstellen weitere Funktionsübernahmen (auch für andere Verkehrsmittel) zugeschrieben werden und deren Ausweitung im lokalen und stärker verteilten Kontext erfolgen. Neue Aufgaben könnten bspw. überwachend und eingreifend für das teleoperiert-unterstützte Fahren oder die Fahrzeugkoordination mit Bedarfssteuerung von Flotten

sein. Generierte Daten von diesen erweiterten Verkehrsleitzentralen könnten wiederum innerhalb der VMZ gebündelt werden, um die Genauigkeit des übergeordneten Verkehrslagebildes zu erhöhen.

2. *Trust Center* für Security Credential Management sorgen für die Gewährleistung von Security- und Privacy-Anforderungen einer vertrauensvollen und interoperablen V2X-Kommunikation durch Vertrauensmodelle (z. B. mittels einheitlicher Zertifizierungsinfrastruktur).

Neben den genannten Stakeholdern existieren weitere Akteure, die als sonstige Stakeholder zu subsumieren sind oder teilweise den genannten Stakeholdergruppen zuordenbar sind: wie der Gesetzgeber, die Regulierungsbehörden und Standardisierungsgremien, die Verkehrsbehörden (BaSt, LSuV), sowie Systemdienstleister für Wartung und Service von Systemtechnik (Infrastruktur, Fahrzeuge etc.) u.v.m.

Wie die Ausführungen des Kapitels zeigen, wird jede Stakeholdergruppe mit Umbrüchen konfrontiert sein und es werden neue Marktakteure auftreten. Zusammenfassend sollen als primäre Akteure des AMoD-Systems hervorgehoben werden:

- Betreiber von Vermittlungsplattformen und Fahrzeugflottenbetreiber,
- Hersteller und Lieferanten des Fahrzeugs als Hardwareplattform,
- Entwickler von Fahrzeugautomatisierungssoftware und MoD-Software.

Marktdesign und Betreiberkonzepte für AMoD-Konzepte

Als Konsequenz aus der zuvor skizzierten Herausbildung neuer Marktrollen und der Verschiebung des Marktgefüges resultieren Veränderungen im Zusammenwirken alter und neuer Akteure, die sich derzeit bezogen auf MoD-Angebote bereits als erste Ausprägungsformen im Markt wiederfinden. Dies betrifft Ausprägungen der vertikalen Ausweitung von wertschöpfenden Tätigkeiten, wie z. B. Automobilhersteller, die Ridepoolingangebote kreiert haben (Moia durch Volkswagen, ViaVan durch Daimler u. a.) oder Fahrzeugzulieferbetriebe, die durch Sharingangebote in das Endkundensegment eingetreten sind (Coup durch Bosch u. a.). Andererseits betrifft es auch die Ausprägung der horizontalen Ausweitung von wertschöpfenden Tätigkeiten, in Form der Erschließung neuer Märkte durch Unternehmen der IT-Wirtschaft, die ihre Expertise in der Erhebung, Veredelung und Analyse von Daten auf den Mobilitätsmarkt übertragen (Waymo durch Alphabet u. a.). Innerhalb beider Entwicklungspfade treten Unternehmen, deren originäre Geschäftstätigkeit ein anderes Schwerpunktfeld aufweist, nun als Mobilitätsanbieter auf. Dabei forcieren sie ihre Aktivitäten in Form von Eigenentwicklungen, Joint Ventures oder M&A-Aktivitäten.

Eng verbunden mit der Etablierung von AMoD-Konzepten sind Fragen der organisatorischen Betriebsführung sowie der Ausgestaltung Erfolg versprechender Betreibermodelle für den Flottenbetrieb, denen der folgende Abschnitt gewidmet ist.

Anknüpfend an die Herausstellung der relevanten Stakeholder sollen diese Facetten anhand zweier akteursbezogener Beschreibungsmodelle für das Zusammenwirken der primären Akteure von AMoD-Konzepten näher beleuchtet und so Entwürfe zur Ausgestaltung des zukünftigen Marktdesigns dargestellt werden.

Abb. 20 veranschaulicht schemenhaft zunächst die unmittelbaren Austauschbeziehungen aus der Perspektive des AMoD-Betreibers als Betreiber mit eigener Fahrzeugflotte. Wobei gestrichelte Verbindungslinien „kann-Beziehungen“ darstellen, die auch in einer anderweitigen, verkürzten Konstellation umsetzbar wären. Auch die Akteure in gestrichelt umrandeten Boxen stellen i. d. R. heute noch nicht existierende Akteure dar, deren Marktrolle grundsätzlich auch als Aufgabenerweiterung der bisherigen Akteure im Markt aufgefasst werden kann. Schwerpunktmäßig wird auf die **fett** hervorgehobenen Akteure mit deren Geld- und Leistungsflüssen (Daten/Informationen, Soft-/Hardware, symbolisiert durch Pfeile) sowie deren vertragliche Beziehung zueinander (1. bis 4.) eingegangen:

1. Gegenüber dem (mobilitätseingeschränkten) Fahrgast erbringt der AMoD-Betreiber als entgeltliche Dienstleistung die nachfragebezogene automatisierte Fahrgastbeförderung. Vom Fahrgast werden Zustiegs- und Endpunkt sowie Zustiegszeiten benannt.

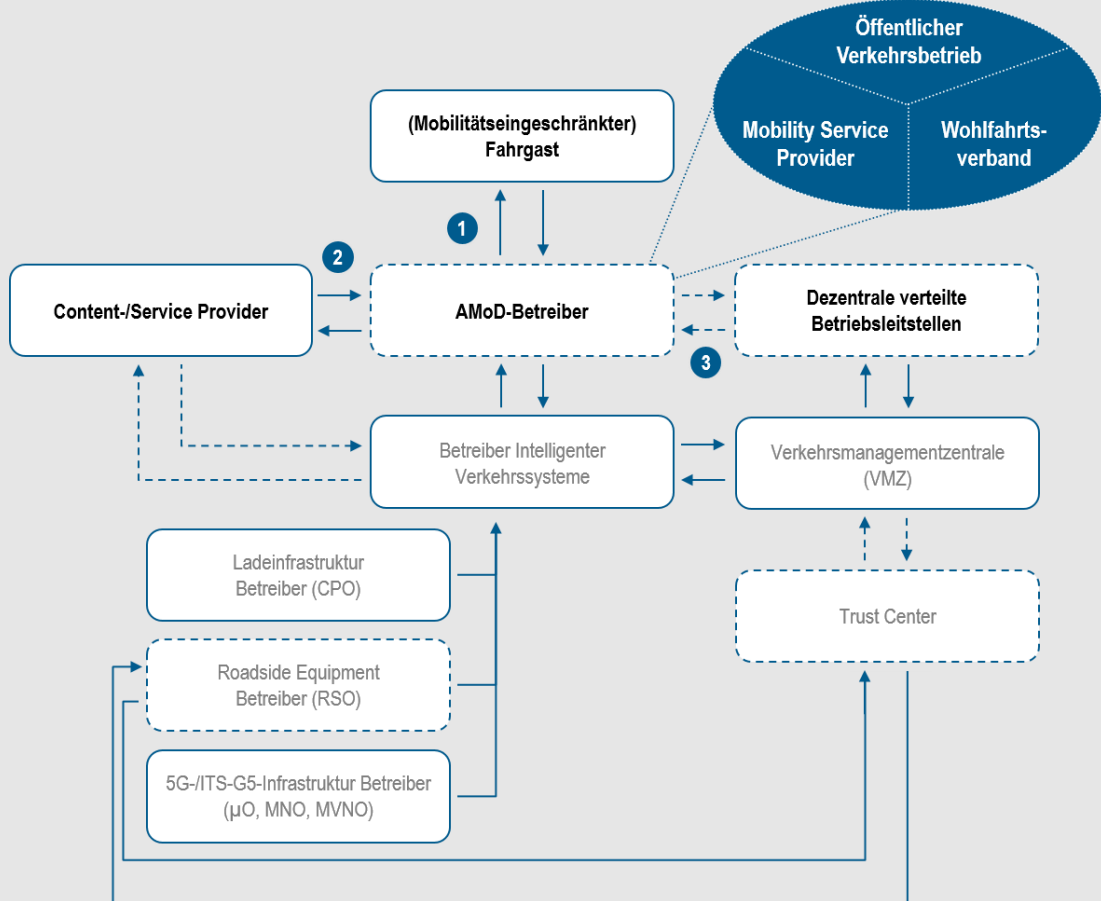


Abb. 20: Schematische Darstellung des Marktdesigns für den AMoD-Betreiber als MSP

Die Fahrnanfrage nimmt der AMoD-Betreiber zumeist Online-/App-basiert entgegen. Neben der Buchungsplattform, der Zahlungsabwicklung sowie der zielgerichteten Fahrnavigation liegt die Leistung des AMoD-Betreibers insbesondere in der fahrtzweckbezogenen Bereitstellung des automatisierten Fahrzeugs, welches durch einen eigenen Fuhrpark vorgehalten wird. Gegenstand der Vertragsbeziehung ist somit die unmittelbare entgeltliche Erbringung einer Transportleistung.

2. Der AMoD-Betreiber bedient sich in der Regel vor-

gelagerten B2B-Leistungen, die er z. B. aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen nicht selbst entwickelt und deshalb zukaft. Hierunter zählen bspw. Lizenzierungen für die, dem MoD-System zugrunde liegende Software, für die Beauftragung eines Dienstleisters zur bargeldlosen Zahlungsabwicklung, für die Inanspruchnahme eines Kartendienstes oder auch für die Bereitstellung lokaler Mobilitätsdaten aus den ITS-Edge Clouds etc. Solche Verträge nehmen bspw. die Ausgestaltung von Dienstleistungs- und Werkverträgen an.

3. Dezentrale verteilte Betriebsleitstellen übernehmen verschiedene Aufgaben in Zusammenhang mit der Überwachung und dem steuernden Eingriff von Fahrzeugflotten. Perspektivisch sind hierunter z. B. die Einleitung von weiterführenden Maßnahmen bei Betriebsstörungen einzelner Fahrzeuge, die Anforderung neuer Fahrzeuge bei unerwartet hohen Kapazitätsauslastungen oder die Weitergabe von Statusinformationen der eingesetzten Flotte an die VMZ und an Datenmarktplätze (z. B. MDM, mCloud) zu subsumieren. Die Betriebsleitstellen können zwei Ausgestaltungsformen annehmen. Einerseits ist es denkbar, dass sie sich als rechtlich selbständige Institutionen herausstellen. Sie bündeln in diesem Fall die Flottenüberwachung als Kernleistung und bieten diese mehreren AMoD- oder anderweitigen Flottenbetreibern als Fremdleistung an. In dem Fall agieren Betriebsleitstellen als Service Provider für den AMoD-Betreiber und würden so eine Sonderform von 2. darstellen. Andererseits kann es sich um eine organisatorische Trennung von Aufgabenbereichen handeln, wobei neben dem Flottenbetrieb die Flottenüberwachung und -koordination durch den AMoD-Betreiber als Eigenleistung selbstorganisiert wird.

Gerade in den Übergangszeiten bis zur fahrerlosen Mobilität (SAE Level 5) werden Betriebsleitstellen zumindest auch überwachende und eingreifende Aufgaben des teleoperiert-unterstützten Fahrens erfüllen, wodurch der Teleoperator zum Bestandteil der Betriebsleitstelle wird.

Mit Blick auf die Frage, welcher Akteur als poten-

tieller AMoD-Betreiber auftreten könnte, sind im Kontext des Betriebs einer eigenen Fahrzeugflotte aus heutiger Sicht drei Grundformen denkbar.

Grundform I: Öffentliche Verkehrsbetriebe als Betreiber von AMoD-Konzepten

Öffentliche Verkehrsbetriebe haben hierbei das Potential von automatisierten Fahrzeuge für die kosteneffiziente Flächenerschließung und von MoD-Software für die zeitliche Flexibilisierung gegenüber konventionellen liniengebundenen Angeboten erkannt. Selbst betriebene Robo-Shuttles entwickeln sich somit zum integralen Bestandteil des ÖPNV-Angebotes. Durch die Organisation in Verkehrsverbänden können Skaleneffekte bei der Beschaffung oder der Eigenentwicklung von MoD-Softwarelösungen erzielt werden, wodurch Investitions- und Betriebskosten je Fahrzeug bei steigenden Grenznutzen ein sehr geringes Niveau einnehmen. Gleichzeitig kann eine Optimierung des Kostendeckungsgrades herbeigeführt werden (vgl. Kapitel *Vergleichende Kostenbetrachtung für AMoD-Konzepte*) und die Umsetzung dieses Konzept steht nicht im Widerspruch zum geltenden PBefG (vgl. Kapitel *Barrieren und Realisierungshemmnisse*).

In der beschriebenen ersten Grundform ist das Angebot als öffentlicher Mobilitätsdienst konzipiert, wodurch insbesondere kombinierte Use Cases (Öffentlicher Nutzungskontext vgl. Kapitel *Use Cases: AMoD-Konzepte für Mobilitätseingeschränkte*)

eine Umsetzung erfahren sollten. Eine besondere Adressierung mobilitätseingeschränkter Personen muss hierbei nicht zwingend erfolgen, weshalb eine weitere Grundform von Interesse sein kann, die ein exklusives Mobilitätsangebot kreiert.

Grundform II: Freigemeinnützige Träger der Wohlfahrtspflege als Betreiber von spezialisierten AMoD-Konzepten

Wohltätigkeitsverbände und Seniorenheimbetreiber haben das Potential automatisierter Fahrzeuge zur Substitution ihres bestehenden Fahrtangebotes erkannt und setzen dieses als geschlossenes Angebot ausschließlich für mobilitätseingeschränkte Personen ein. Es stellt somit ein Pendant zu den heute bereits als Fahrdienst für die Beförderung von behinderten Menschen zu WfbM oder als Ersatz des freigestellten Schülerverkehrs dar. Im Anwendungsfall von Seniorenheimen kann zudem ein attraktiveres Gesamtangebot geschaffen werden. Primär wird die Durchdringung dieser Grundform durch eine finanzielle Entlastung der Rehabilitationsträger (gemäß § 6 Abs. 1 SGB IX sind das z. B. gesetzliche Krankenkassen, Bundesagentur für Arbeit, gesetzliche Unfallversicherung, Rentenversicherung etc.) und der Sozialversicherungskassen getrieben, welche zum Teil vollumfänglich für die Erstattung der Beförderungskosten aufkommen und sich so einem kostengetriebenen Handlungsdruck konfrontiert sehen.

Gleichzeitig stehen solche spezialisierten Einzel- und Sonderfahrdienste in freier Trägerschaft (mit nicht

automatisierten Fahrzeugen) bereits heute in Konkurrenz zu privatwirtschaftlichen spezialisierten Angeboten, die u. a. eine Ausprägung der dritten Grundform darstellen.

Grundform III: Privatwirtschaftliche Mobility Service Provider (MSP) als Betreiber von kollaborativen AMoD-Konzepten

Sowohl als Ergänzung des bestehenden konventionellen Angebotes von öffentlichen Verkehrsbetrieben, als auch für den Einsatzbereich von spezialisierten Einzel- und Sonderfahrdiensten können privatwirtschaftliche Mobility Service Provider mit automatisierten Fahrzeugflotten eine Marktrolle als AMoD-Betreiber einnehmen.

Freigemeinnützige Träger der Wohlfahrtspflege werden in der Aufgabenbreite entlastet und auch für Verkehrsbetriebe können sich durch diese Grundform relevante Vorteile ergeben. Denkbar ist, dass Zubringerverkehre zum SPV realisiert werden oder dass unrentable Strecken bzw. Räume vollständig an einen MSP ausgelagert werden, welcher das Fahrtangebot kosteneffizienter als der ÖPNV bereitstellen kann und zugleich in Räumen mit dispersen Strukturen eine zeitliche und räumliche Optimierung des Fahrtangebotes vornimmt. Innerhalb dieses komplementären Mobilitätsverbundes müssen öffentliche Verkehrsbetriebe keine neuen Ressourcen binden, sondern greifen flexibel auf Angebote des privatwirtschaftlichen Betreibers zurück, um z. B. in nachfragestarken

Zeiten zusätzliche Kapazitäten aufzunehmen (z. B. durch öffentliche Vergabeverfahren von festgelegten zu bedienenden räumlichen Gebieten, zu bestimmten Zeiten und für verschiedene Einsatzzwecke). Verkehrsbetriebe nehmen so im Vergleich zu deren heutigen Aufgaben verstärkt eine integrative und koordinierende Funktion wahr. Auch eine Interessenskonfrontation findet in dieser Konstellation nicht statt, da durch die beschriebene Ausprägung keine Konkurrenzsituation geschaffen wird.

Darüber hinaus ist denkbar, dass der MSP unabhängig von den Bedarfsangeboten der Verkehrsbetriebe agiert und sein Angebot wettbewerblich im Markt platziert. In diesem Fall entsteht eine Konkurrenzsituation zu den öffentlichen Verkehrsangeboten, die derzeit durch das PBefG untersagt ist (vgl. Kapitel *Barrieren und Realisierungshemmnisse*). Legitimationen gestatten jedoch bereits ausländische Märkte. Bspw. ist ein zunächst testweise vorgesehenes Shuttle-Angebot mit vollautomatisierten Fahrzeugen von Daimler Mobility Services (in Kooperation mit Bosch) ab der zweiten Jahreshälfte 2019 im Silicon Valley geplant [64]. Auch Waymo testet ein ähnliches Konzept bereits seit 2018 in Phoenix/Arizona [21].

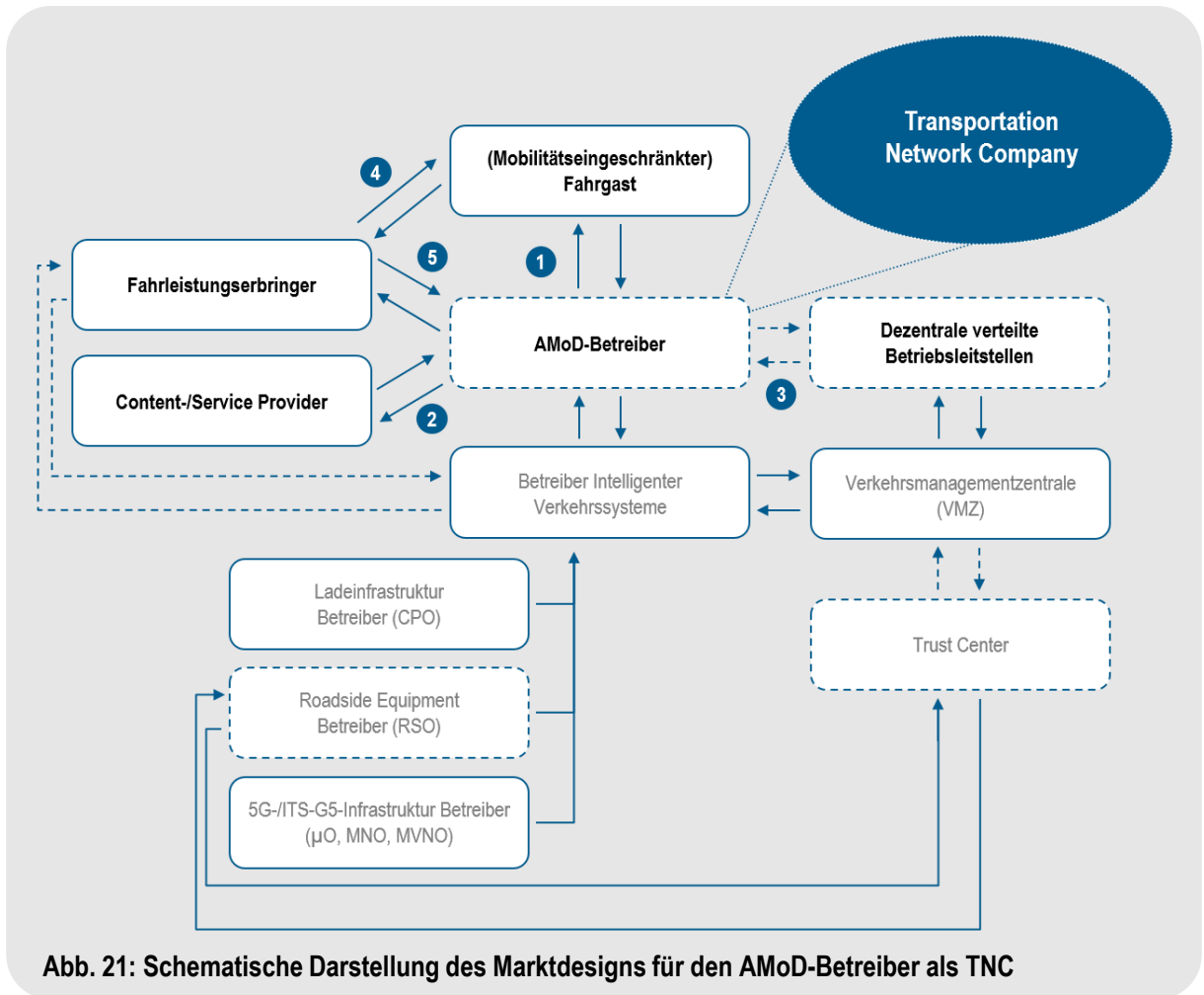
Der zweite Vorschlag für das Marktdesign des Zusammenwirkens der primären Akteure von AMoD-Konzepten wird schemenhaft durch Abb. 21 aufgegriffen. Als wesentliche Änderung gegenüber dem ersten Marktmodell verfügt der AMoD-Betreiber über einen virtuellen Fahrzeugpool und bedient sich

entsprechender Fahrleistungserbringer. Die Kernleistung des AMoD-Betreibers stellt somit die Fahrdienstvermittlung von automatisierten Fahrzeugen im Rahmen eines Plattformmodells dar. Änderungen im Marktdesign gegenüber dem ersten Modell sind insbesondere:

1. Nicht die Fahrgastbeförderung wird gegenüber dem Fahrgast selbst erbracht, sondern der AMoD-Betreiber vermittelt die Nutzung eines automatisierten Fahrzeugs, welches aus privatem Eigentum oder einen fremden Firmenfuhrpark o. ä. entstammt. In Verbindung mit Abb. 7 würde sich so die Vermittlung des fahrerlosen P2P-Carsharing oder Corporate Carsharing bzw. eine Mischform mit dem fahrerlosen Ridepooling und Ridesourcing herauskristalisieren. Die Kernleistung des AMoD-Betreibers liegt neben den im ersten Marktmodell genannten Leistungen insbesondere in der fahrtzweckbezogenen Bereitstellung des automatisierten Fahrzeugs von einem Dritten (als zweckgebundene Fahrzeugüberlassung). Gegenstand der Vertragsbeziehung ist somit der Vermittlungsauftrag einer Fahrt.

2. Im Gegensatz zum ersten Marktmodell ist der USP des AMoD-Betreibers nicht das MOD-System an sich, sondern vielmehr die effektive Vermittlung zwischen Fahrtangebot und -nachfrage als Plattformmodell. Daher ist die MoD-Software möglicherweise ein Zukaufprodukt mit hoher Funktionalität.

Dementsprechend sind auch die Zulieferbeziehungen



weniger komplex und nicht sehr fragmentiert. Auch das automatisierte Fahrzeug als Hardware-Plattform fungiert als Content. Solche Verträge nehmen bspw. die Ausgestaltung von Dauerschuldverhältnissen für die Rechteüberlassung an.

Neben diesen beispielhaft genannten B2B-Leistungen eines Service- oder Content-Providers könnte, in der hier vorzufindenden Ausgestaltung des AMoD-Betreibers als TNC, auch eine zeit- und zweckgebundene Fahrzeugüberlassung des Dritten an den AMoD-Betreiber erfolgen (z. B. mittels eines

Mietvertrages). Die TNC kann so in beiden Varianten über einen virtuellen Pool automatisierter Fahrzeuge mit beliebiger Größe verfügen.

3. Gegenüber dem ersten Marktmodell verursacht die neue Konstellation zwischen AMoD-Betreiber und der dezentral verteilten Betriebsleitstelle keine fundamentale Änderung der Austauschbeziehungen. Sofern der AMoD-Betreiber nur indirekt auf das automatisierte Fahrzeug zugreifen kann, wäre gegebenenfalls ein zusätzliches Interface erforderlich.

4. Im vorliegenden Fall der Vermittlung des Fahrtangebotes durch den AMoD-Betreiber wird die Fahrgastbeförderung durch einen als Nachunternehmen beauftragten Fahrleistungserbringer im Namen des AMoD-Betreibers erbracht. Die bereitgestellten automatisierten Fahrzeuge können dabei aus einer Vielzahl von Nachunternehmen stammen (virtueller Fahrzeugpool). Der AMoD-Betreiber stellt hingegen über die MoD-Plattform die Endkundenschnittstelle (für Buchungs- und Bezahlvorgänge) sowie die Schnittstelle zum Nachunternehmen (u. a. für die Navigationsplattform zur Fahrtzielbestimmung) bereit. Als Vertragsbeziehung kommt zwischen Fahrgast und Fahrleistungserbringer ein Vertrag über die Beförderung zustande.

5. Für die Ausgestaltung der Vermittlung des Fahrtangebotes erscheinen zwei Varianten umsetz-

bar. Der AMoD-Betreiber beauftragt entweder unmittelbar nach (i. d. R. automatisiertem) Eingang der Fahrtwunschanfrage den Fahrleistungserbringer z. B. in der Ausgestaltung eines Pay-per-use-Geschäftsmodells oder die Leistungserbringung ist bereits im Vorfeld zeitlich befristet durch ein Ausschreibungsverfahren z. B. gemäß VOL fixiert worden. Der AMoD-Betreiber stellt hierbei die Schnittstelle zum eigenen MoD-System bereit.

Neben den vorgestellten beiden Marktmodellen sind weitere Umsetzungsvarianten denkbar, die sich gegebenenfalls nur temporär für eine Transitionsphase eignen. Auch eine Vermischung beider Modelle als enger verzahnte kollaborative Geschäftsmodelltypen zwischen den benannten Akteuren könnte sich herausbilden.

Potentiale von AMoD-Konzepten

AMoD-Konzepte haben das Potential vielschichtige Beiträge zu Kosten- und Nutzeneffekten für unterschiedliche Stakeholder beizutragen. Der erarbeitete Entwurf einer Systematisierung dieser Potentiale ist in Abb. 22 verdeutlicht. Darin sind drei Betrachtungsperspektiven berücksichtigt, die im Wesentlichen die Anforderungen der relevanten Stakeholdergruppen (mobilitätseingeschränkte) Nutzer, Betreiber und Kommune tangieren.

Die vorgeschlagene Systematisierung etwaiger Potentiale zeigt das Facettenreichtum der Thematik auf und deutet bereits auf die Schwierigkeit bei der Objektivierung und Erfassung korrespondierender Potentialkriterien und -faktoren hin. Je nach eingenommener Stakeholderperspektive sind unterschiedliche Potentialkategorien von Interesse und für dessen Zielerreichung von vorrangiger Relevanz.

Auf gesamtgesellschaftlicher Ebene (Perspektive Kommune u. a.) sind die vielfach zitierten Kriterien der Vision Zero von *zero accidents* und *zero emissions* (vgl. z. B. [65]) wichtige Potentialfaktoren, die zudem bedeutende Treiber für das automatisierte und vernetzte Fahren sind. Gleichzeitig kann deren (monetäre) Erfassung nur indirekt über Hilfsvariablen, wie z. B. einen gewünschten Modal Shift von MIV zu emissionsreduzierter AMoD-Nutzung oder geminderte monetäre Kompensationsmaßnahmen für reduzierte verkehrsbedingte Emissionen erfolgen.

Ebenfalls indirekt eruierbar sind verminderte soziale

Unfallkosten infolge von AMoD, die sich z. B. mittels der Hilfsvariablen Kosten für die medizinische Versorgung, für Rehabilitation und für Arbeitsausfälle von verunfallten Personen operationalisieren lassen.

Auch erhöhte Verkehrseffizienz, die durch geringere Fahrt- und Stauzeiten – als Hilfsgröße bspw. repräsentiert durch zusätzliche monetär bemessbare Produktivzeit in Unternehmen – bestimmt werden kann, wäre so objektivierbar. Auch ein gesunkener Neuausbau von Straßenverkehrsinfrastruktur ist als indirekte Erfassungsgröße eines nicht-monetären Nutzens interpretierbar, sofern AMoD-Konzepte tatsächlich zu einer optimierten Ausnutzung vorhandener Verkehrsflächen beitragen.

Diesen nicht direkt monetär erfassbaren Effekten stehen direkt quantifizierbare Kostengrößen, z. B. für den zusätzlich erforderlichen Infrastrukturbedarf an Roadside Equipment aber auch direkt erfassbare Nutzengrößen gegenüber, die bspw. durch einen potentiell höheren Kostendeckungsgrad öffentlicher Verkehrsbetriebe, u. a. aufgrund von Kosteneinsparungen eines geringeren Fahrpersonalstamms, bestimmt werden können. Weitere gesamtgesellschaftliche Nutzenvorteile können aus zusätzlichen Gewerbesteuererinnahmen resultieren, wenn ortsansässige AMoD-Fahrdienstleister ein gestiegenes Fahrgastaufkommen verzeichnen.

Das gesamtwirtschaftliche monetäre Potential von

Potentiale von AMoD-Konzepten

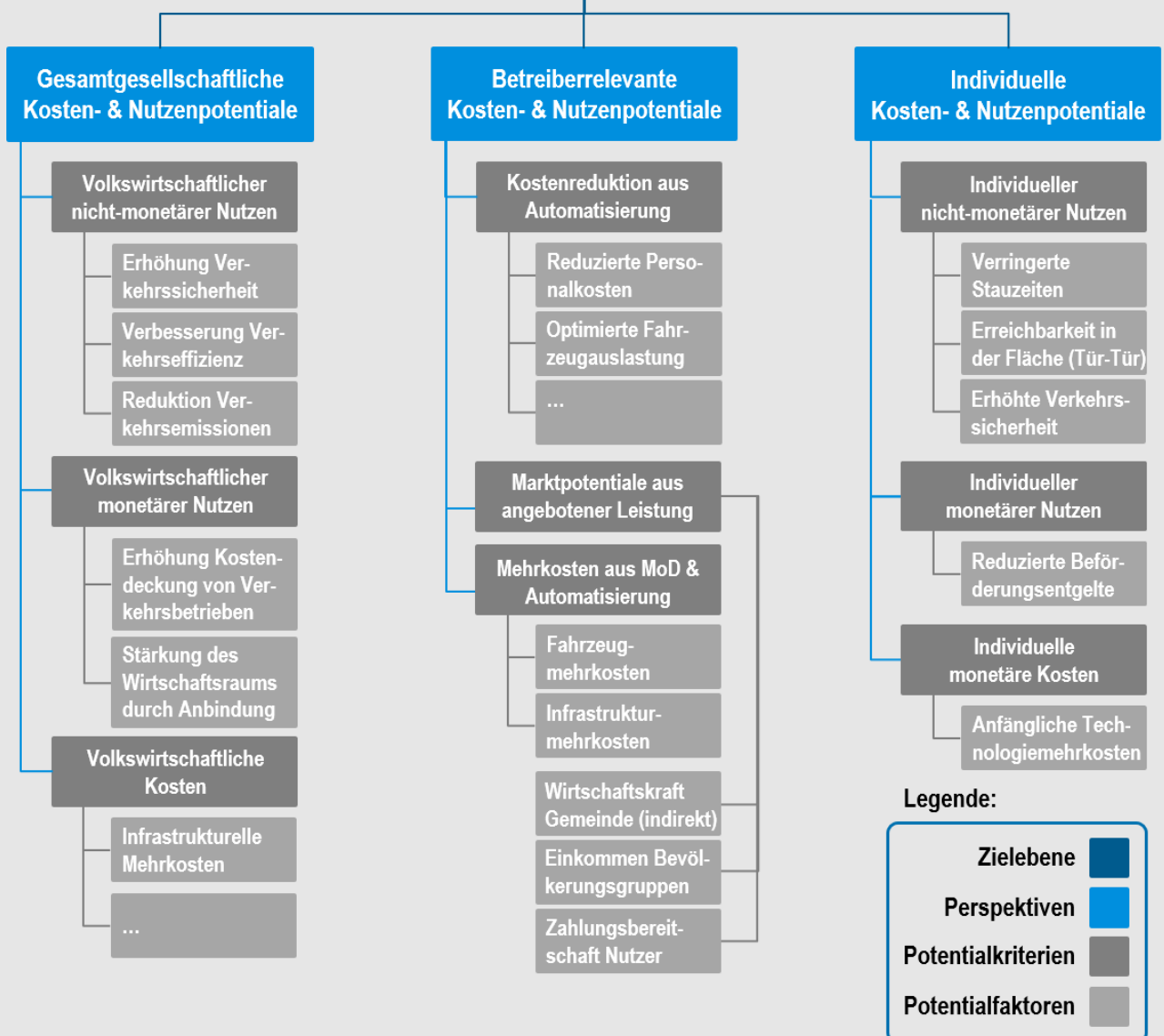


Abb. 22: Systematisierung möglicher Potentialkategorien von AMoD-Konzepten

AMoD-Konzepten kann insgesamt als enorm eingeschätzt werden. So wird sich der globale Mobilitätsmarkt von derzeit 3.584 Mrd. Euro bis 2035 mehr als verdoppeln. Wobei Geschäftsmodelle mit AMoD-Konzepten ein Marktpotential von bis zu 3.447 Mrd. Euro in 2035 zugeschrieben wird [66]. Damit verbunden ist auch die Schaffung neuer Arbeitsplätze, insbesondere in den IT-nahen Industriezweigen.

Auf individueller Ebene des Fahrgastes (bzw. des Fahrers) entstehen wiederum Vorteile, die grundsätzlich keine Unterschiede in der Art der Potentialfaktoren erwarten lassen, jedoch hinsichtlich der Nutzergruppenspezifischen Gewichtung dieser Faktoren. So weisen Studienergebnisse einer repräsentativen Befragung in Deutschland darauf hin, dass bereits der allgemeine Nutzen des fahrerlosen Fahrens durch mobilitätseingeschränkte Personen unterschiedlich hoch bewertet wird [67]. Mit sehr hohen und eher hohen Nutzen bewerteten:

- 53 % der befragten älteren Menschen, die sich das eigenständige Fahren nicht mehr zutrauen,
- 31 % der befragten Personen ohne Fahreignung, aufgrund von körperlichen Einschränkungen,
- 31 % der befragten Personen ohne Führerschein,
- 37 % der Befragten, die generell schlecht an den ÖPNV angebunden sind.

Bereits heute bemisst jede zweite ältere Person fahrerloser Mobilität einen signifikanten Nutzen bei. Unter dem Aspekt des demographischen Wandels könnten Senioren somit zu einer bedeutenden Ziel-

gruppe von AMoD-Konzepten werden.

Mögliche nicht-monetäre Nutzenpotentiale sind bspw. reduzierte Fahrt- und Stauzeiten, erhöhte Sicherheit während der Fahrt sowie ein gesteigerter Komfort, wenn die Fahrtstrecken monomodal, d. h. ohne Unterbrechung und umstiegsfrei zwischen Start- und Zielort zurückgelegt werden können. Die frei gewordene Zeit kann wiederum in Zeitkosten(gewinne) überführt werden, wenn sie einer produktiven Verwendung zugeordnet wird [68].

Gerade im ländlichen Raum können Potentiale zur Fahrzeitverkürzung und zu einem gewünschten Modal Shift eher besser ausgeschöpft werden, als in urbanen Räumen, da der zeitliche Effekt und wenige Mobilitätsalternativen hier die Nutzung von Robo-Shuttles begünstigen [69]. Fundierte Evidenzen oder Simulationsergebnisse für den ländlichen Raum, wie sie bereits für zahlreiche Metropolen durchgeführt wurden, fehlen derzeit jedoch noch.

Monetär erfassbare Größen können auf Individual-ebene mit einem verringerten Beförderungsentgelt korrespondieren, aber auch aus anfänglichen Mehrkosten, sofern die temporär hohen Technologiekosten (bspw. für LiDAR-Sensoren) an Endnutzer / Fahrgäste weitergegeben werden. Solche anfänglichen Mehrkosten werden von den Gruppen Innovatoren und Early Adoptern getragen, also solchen Nutzern, die bereits frühzeitig Mehrwerte einer Innovation erkennen und diese nutzen.

Mit zunehmender

Marktverbreiterung und Technologieadoption treten Kostendegressionseffekte ein, wodurch sich die Technologie vergünstigt. Viele Studien weisen bereits darauf hin, dass die kollaborative Nutzung eines Robo-Shuttles perspektivisch die Mobilitätskosten signifikant reduziert und so den Eigenbesitz obsolet macht (vgl. *Kapitel Vergleichende Kostenbetrachtung für AMoD-Konzepte*).

Als dritte Perspektive möglicher Potentialkategorien sollen die betreiberrelevanten Kosten und Nutzen betrachtet werden. So zeigt sich der offensichtlichste und direkt monetär messbare Mehrwert von AMoD-Konzepten in der Reduzierung der Personalkosten durch Einsparung des Fahrpersonals. Weitere Kostenvorteile können sich aus der Erhöhung der Einsatzzeit ergeben, indem Standzeiten reduziert und entgeltete Fahrtzeiten maximiert werden. Die skizzierten Kostenvorteile können schließlich für den Betreiber in einer höheren Gewinnmarge münden oder an Verbraucher durch reduzierte Fahrtentgelte weiter gegeben werden, woraus wiederum für den Betreiber eine größere Abschöpfung des Gesamtmarktes resultieren kann.

Weitere Nutzenpotentiale bemessen sich an den Marktpotentialen, die am vorgesehenen Einsatzort des Robo-Shuttle erzielbar sind. Relevante Bemessungsgrundlagen für die näherungsweise Berechnung sind bspw. das Fahrgastpotential (Anzahl potentieller Nutzer, Wege pro Tag, Modal Split), die Zahlungsbereitschaft potentieller Fahrgäste (Indikatoren können Haushaltseinkommen, aber auch die lokale Wirtschaftskraft sein) sowie das Vorhandensein und die Preise von in Konkurrenz stehender Mobilitätsangebote.

Kosteneffekte, die für den Betreiber von AMoD-Diensten resultieren, gliedern sich auf die Mehrkosten der Fahrzeugautomatisierung, für das MoD-System und gegebenenfalls zusätzlicher Anteile an der V2X-Infrastrukturfinanzierung auf. Die tatsächliche Höhe ist abhängig von einer Vielzahl von Kostenfaktoren. Im Rahmen des folgenden Teilkapitels haben die Studienautoren hierzu eine exemplarische Berechnung der Total Mobility Costs für einen Robo-Shuttle der Ausbaustufe 4 (V2X-vollvernetztes automatisiertes Fahren) vorgenommen.

Vergleichende Kostenbetrachtung für AMoD-Konzepte

Das vorliegende Teilkapitel hat zum Ziel, die Ergebnisse einer vergleichenden Kostenbetrachtung für einen automatisierten und V2X-vollvernetzten Robo-Shuttle der Ausbaustufe 4 (vgl. *Kapitel Technologieträger und Ausbaustufen zur Versuchsdurchführung*) vorzustellen. Der Vergleichsrahmen wird durch die Mobilitätskonzepte Mobility Service Provider (bzw. privater Fahrdienst), Taxi und ÖPNV gebildet.

Aufgrund der Vielzahl an vorgestellten Anwendungsfällen und Testfeldkorridoren existiert eine große Bandbreite möglicher Umsetzungsvarianten. Die Anforderung zur Reduktion des Rechenaufwands hat schließlich zur Auswahl eines Fallbeispiels geführt. Wie an unterschiedlichen Stellen dieser Studie hervorgehoben wurde, sind Senioren eine vielversprechende Zielgruppe von AMoD-Konzepten. Hinsichtlich des Anpassungsbedarfs potentieller Fahrzeugkonzepte an die individuellen Erfordernisse von Senioren wird der Aufwand zudem als vernachlässigbar eingeschätzt (regulär vorhanden sind: Klapprampe, Kneeling, breiter Gangbereich, Abstellplätze für Rollatoren; Änderungsbedarf: seniorengerechte Wegweisung und Kennzeichnung), sodass der Shuttle optional leicht mit anderen Use Case-Kombinationen und Erweiterungen einsetzbar wäre. Demgegenüber ist der Anpassungsbedarf an Fahrzeugumbauten für behinderte Menschen wesentlich größer, um konform mit der UN-Behindertenrechtskonvention eine vollständig barrierefreie Mobilität bis 01. Januar 2022

(vgl. § 8 Abs. 3 PBefG) sicherzustellen. Denkbar wären u. a. folgende Anpassungsbedarfe: Lift, barrierefreie Haltepunkte und unter Umständen mit Liegeflächen und zusätzlichem Betreuungspersonal für Menschen mit Sinnesbehinderungen oder mit kognitiven Einschränkungen. Derzeit besteht das Angebot nicht-automatisierter Fahrzeugkonzepte im Wesentlichen aus Spezialumbauten von konventionellen Serienfahrzeugen. Das Unternehmen Paravan plant mit dem CLOUi die Markteinführung eines korrespondierenden Robo-Shuttles für die Ausbaustufen 1 / 2.

Als Business Case soll deshalb, unter Rückgriff auf die Ergebnisse der Use Case-Analyse, der Standortanalyse und der Auswahl eines Testfeldkorridors, der Transport von Senioren mittels Robo-Shuttle als On-Demand-ÖPNV-Zubringer in den Mittelpunkt der Analyse rücken. Somit beziehen sich die folgenden Ausführungen auf den Basis-Use Case „seniors transport“ für die Fahrgastbeförderung vom DRK Seniorenservice Heidepark Dippoldiswalde zum Busbahnhof Dippoldiswalde (Testfeldkorridor 2).

Der Kostenbetrachtung liegt ein zeitlicher Vorausblick in das Jahr 2030 zugrunde. Dieser Einsatzzeitpunkt liegt nahe, da zu erwarten ist, dass Fahrzeuge mit höchster Automatisierungsstufe – und unter Rückgriff auf V2X-Kommunikation – erst ab den Jahren 2025 bis 2030 kommerziell in den Markt eingeführt werden (vgl. z. B. [54], [70], [19]).

Methodisches Vorgehen:

Die Zielgrößen der Kostenbetrachtung sind Total Mobility Costs (TMC), d. h. die absoluten Mobilitätskosten für die Nutzungsdauer, die Kosten je Personenkilometer, d. h. die Mobilitätskosten in Relation zur Beförderungsleistung und die Kosten je Fahrzeugkilometer, d. h. die relativen Mobilitätskosten in Bezug auf die Gesamtfahrleistung während der Nutzung.

bestehend aus wissenschaftlicher Literatur (z. B. [57], [71], [73], [74]), Datenbanken (z. B. ITS cost database des U.S. Department of Transportation, ADAC Autodatenbank), Internetvergleichsportalen (CHECK24 Vergleichsportal GmbH, mobile.de GmbH, oder PMSG PersonalMarkt Services GmbH) sowie Hersteller-Datenblättern und -Preislisten.

Die Vergleichsfahrzeuge beziehen sich auf eine Aus-

	Robo-Shuttel (S4-V2X)	Mobility Service Provider	Taxi (Großraum-Pkw)	ÖPNV (Midibus)
Antriebsart	Elektromotor	Elektromotor	Dieselmotor	Dieselmotor
Sitzplatzanzahl	12	8	8	24
MoD-System	Ja	Ja	-	-
V2X-System	Ja	-	-	-

Tab. 4: Beschreibende Parameter und allgemeine Unterscheidungsgrößen der Vergleichsfahrzeuge

Dabei ist die Berechnung auf den Betrieb eines Fahrzeugs ausgerichtet und spiegelt die Perspektive eines potentiellen gewerblichen Betreibers wieder.

Das Berechnungsmodell setzt sich zusammen aus einem deterministischen Kostenstrukturmodell, welches die verschiedenen in Abb. 23 zusammengefassten Kostenkomponenten berücksichtigt, und aus einem Nutzungsmodell, welches die Art und Häufigkeit der Nutzung des Robo-Shuttles bzw. Vergleichsobjektes abbildet. Wichtige Anhaltspunkte für die Konzeption des Berechnungsmodells entstammen insbesondere aus [57], [71], [72], [74]. Als ein allgemein anerkanntes Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung wurden die Berechnungen auf Basis der Kapitalwertmethode durchgeführt. Bei der Datengrundlage wurde sich auf ein breites Spektrum an öffentlich verfügbaren Datenquellen bezogen –

wahl jeweils am Markt verfügbarer Fahrzeuge. Einige beschreibende Parameter sowie allgemeine Unterscheidungsmerkmale wurden in Tab. 4 zusammengefasst. Für das Robo-Shuttle wurde zudem die Annahme getroffen, dass ein kommerziell verfügbares V2X-System implementiert ist. Korrespondierende Infrastrukturkosten – ebenso wie die infrastrukturellen Kosten für das Ladesystem von Elektrofahrzeugen oder für das MoD-System – wurden in die Berechnung inkludiert. Im Rahmen der Ergebnisdarstellung werden diese Kosten separat ausgewiesen.

Zentrale Prämissen:

Der Betrachtungszeitraum in Höhe von sechs Jahren orientiert sich an der vorgegebenen Nutzungsdauer aus der branchenspezifischen AfA-Tabelle für die

Personen- und Güterbeförderung mit Reise-/ Omnibussen. Auch wenn die Nutzungsdauer von MoD-System und V2X-System bis zu 20 Jahre beträgt, wurde vereinfachend eine einheitliche Nutzungsdauer unterstellt. Als durchschnittlicher Kalkulationszinssatz wurde mit 1,5 % p. a. diskontiert.

Aus dem Zieljahr 2030 folgt, dass Preissteigerungsraten in die Analyse einbezogen werden müssen. Diese wurden in Höhe der durchschnittlichen harmonisierten Inflationsrate der vergangenen sechs Jahre von 2012 bis 2017 (0,95 % p. a.) für die Kostenkategorien Kraftstoff/Strom, Versicherung, Reinigung und Wartung, abgebildet bzw. in Höhe von 2 % p. a. für den Personaleinsatz.

Der Personaleinsatz für die nicht-automatisierte Beförderung wurde für die Mobilitätskonzepte Taxi, MSP und ÖPNV sowie zusätzlich für die Fahrtenvermittlung bei der Taxi-Nutzung abgebildet.

Die Systemkosten des MoD-Systems und des V2X-Systems (d. h. Kosten, die durch Komponenten verursacht werden, die sich nicht im Fahrzeug befinden, sondern z. B. im Backoffice oder entlang der Straßeninfrastruktur) wurden durch einen Nutzungsanteil berücksichtigt. Dadurch wird eine quasi geteilte Nutzung mit weiteren Fahrzeugen unterstellt. Für das MoD-System (Dispositionssystem) wird angenommen, dass die Flottengröße insgesamt 750 Fahrzeuge umfasst. Dies entspricht in etwa der Anzahl an Fahrzeugen innerhalb des Verbundgebiets des Verkehrsverbundes Oberelbe. Der Anteil an den MoD-

Kosten beträgt somit 1/750. Mit zunehmender Flottengröße relativieren sich die Gesamtkosten des MoD-Systems für jedes weitere Fahrzeug (Grenzkosten konvergieren gegen Null). Die geplanten Fahrzeugpools mit bis zu 15.000 Fahrzeugen bei Moia und 62.000 bei Waymo deuten somit bereits auf einen sehr geringen Kostenanteil je Fahrzeug am MoD-Gesamtsystem hin.

Für die Berücksichtigung von Kosten des V2X-Systems bemisst sich der Kostenanteil an dem Anteil der Datenkommunikation, den der Robo-Shuttle für jede errichtete und in Anspruch genommene RSU einnimmt. Hierzu wurde zum einen auf der Grundlage von Verkehrszählungen die Anzahl an Fahrzeugen jedes Straßenabschnitts bestimmt, auf denen die fünf RSU errichtet werden sollen. Zum anderen wurde auf Basis von Experteneinschätzungen und [57] der Anteil V2X-vollnetzter Fahrzeuge im Jahr 2030 geschätzt (28 %). Durch Berücksichtigung der Umlaufanzahl des Robo-Shuttles konnte so der Kostenanteil für die sechsjährige Nutzungsdauer abgeleitet werden. Hieraus resultiert für jede RSU eine unterschiedliche Kostenhöhe. D. h. je mehr Verkehrsleistung an einer Kreuzung erbracht wird und je höher der Anteil an vernetzten Fahrzeugen ist, desto geringer sind die anteiligen V2X-Kosten.

Da sowohl für Elektrofahrzeuge (§ 3d KraftStG), als auch für Fahrzeuge im Linienverkehr (§ 3 KraftStG) eine Befreiung von der Kraftfahrzeugsteuer gilt, wurden keine Kosten für

den Robo-Shuttle, den MSP und den ÖPNV berechnet. Als abschließende Prämisse soll auf die Bemessung des Fahrgastpotentials hingewiesen werden, das in die Berechnung der Personenkilometerleistung eingeht. Dieses wurde auf Grundlage der Anzahl der Seniorenheimbewohner, der mittleren Wegeanzahl von Senioren in Dippoldiswalde, der Mobilitätsquote älterer Menschen sowie dem Modal Split berechnet.

Abgebildete Kosteneffekte:

Für den Robo-Shuttle und den MSP können Kosteneffekte gegenüber den konventionellen Mobilitätsformen Taxi und ÖPNV insbesondere aus dem verwendeten MoD-System und aus der elektrifizierten Antriebstechnologie resultieren. Zudem sind weitere Effekte durch die Automatisierung der Fahrfunktion beim Robo-Shuttle abgebildet.

Durch nachfragebezogene MoD-Angebote kann im Allgemeinen eine Straffung des Fahrtangebotes erzielt werden [75]. Das beinhaltet die Vermeidung von Leerfahrten sowie den optionalen Einsatz des Shuttles für weitere Fahrtangebote innerhalb der freigewordenen Zeitfenster. Weiterhin wären Effizienzvorteile aus dem Pooling von Fahrten mehrerer Teilnehmer mit dem gleichen bzw. mit ähnlichen Fahrtzielen zu erreichen. Demgegenüber können durch MoD-Angebote – und verstärkt durch die Kombination mit der Automatisierung – Rebound-Effekte eintreten. Dabei wird das Angebot von den Fahrgästen häufiger aufgerufen als zuvor, wodurch die Verkehrsleistung steigt (induzierter Verkehr). Dies

kann aus dem als wesentlich attraktiver wahrgenommenen Angebot (Verfügbarkeit zu jeder Zeit) und einem vergünstigten Angebotspreis resultieren [69], [76]. Im Vergleich zum vorgenannten Effekt kann so eine kompensatorische Wirkung erzeugt werden.

Bezogen auf das konkrete Fallbeispiel sollen Fahrzeuge, die das MoD-System nutzen, ausschließlich auf der vorgesehenen Strecke verkehren und Nachfragebündel der Senioren erzeugen. Somit würden beide beschriebenen Effekte tangiert, wobei der Nettoeffekt eine unbekannte Größe ist. Aufgrund dieser Unsicherheit werden die gleichen Nutzungsparameter, wie die des konventionellen Angebotes angenommen, die insgesamt 20 Fahrtumläufe pro Tag umfassen. Als abgebildeter Parameter für die Fahrtenvermittlung, wird anstatt einer persönlichen Vermittlung (Taxi) eine in Form des MoD-Systems automatisierte Lösung (z. B. Buchungs-App) unterstellt.

Daran anknüpfend können durch die Automatisierung der Fahraufgabe, neben dem beschriebenen Rebound-Effekt, weitere kostenbeeinflussende Effekte mit entgegengesetzten Wirkrichtungen eintreten. Höhere Kosten könnten insbesondere bei Kostenkategorien auftreten, die vom Grad der Nutzung abhängig sind. Dies betrifft bspw. Kosten für die Fahrzeugreinigung, da die verbaute Sensorik bei starken Verschmutzungen in der Funktion eingeschränkt wären. Hier könnten jedoch künftig selbstreinigende Sensoren verbaut werden, wie sie derzeit von einigen Unternehmen entwickelt

werden (z. B. Bosch, Continental, Ficos, Waymo).

Ebenfalls nutzungsabhängige Kosten stellen Wartungs- und Reparaturkosten dar, die Mehr- aber auch Minderkosten verursachen können. Mehrkosten resultieren z. B. aus dem beschleunigten Verschleiß, aufgrund einer häufigeren Nutzung, aber auch infolge der zunehmenden Anzahl an elektronischen Komponenten im Fahrzeug, die potentiell wartungsanfälliger sein können oder häufigere Sicherheitsüberprüfungen zur Folge haben. Demgegenüber stehen Minderkosten, die unmittelbar aus der Vision zero folgen und mit einem potentiell geminderten Aufkommen an Verkehrsunfällen, und somit geringeren Reparaturkosten einhergehen. Da die Unsicherheit bezüglich der Nettoeffekte der beschriebenen Mehr- und Minderkosten als nicht seriös abschätzbar zu bewerten ist, wurden analog zu [71] keine Unterschiede gegenüber nicht-automatisierten Fahrzeugen abgebildet. Wartungskosten für die infrastrukturseitig verbauten RSU wurden hingegen berücksichtigt.

Aufgrund des geminderten Unfallrisikos bei der Nutzung automatisierter Fahrzeuge kann eine Minderung der Versicherungskosten resultieren. Bereits heute bieten Versicherungen Rabattierungen für im Fahrzeug vorhandene aktive Fahrsicherheitssysteme oder Fahrerassistenzsysteme von z. B. bis zu 10 % auf die Versicherungsprämie an [77]. Somit ist anzunehmen, dass mit zunehmenden Automatisierungsgrad weiter steigende Rabatte folgen. Daher wird für den Robo-Shuttle eine Reduzierung der Versicherungsprämie um 50 % angenommen [71].

Durch die Automatisierung der Fahraufgabe werden perspektivisch zudem die Kosten für das Fahrdienstpersonal vollständig entfallen und Mehrkosten nur in Höhe der Investitionskosten gegenüber den Mobilitätsangeboten mit nicht-automatisierten Fahrzeugen entstehen. Zumindest in Übergangszeiten (bis SAE Level 5 marktverfügbar ist) werden diese Effekte nicht oder nur teilweise eintreten. So erfordern Fahrzeuge mit SAE Level 2 einen im Fahrzeug vorhandenen Sicherheitsfahrer, wodurch noch keine Kostenvorteile gegeben sind. Im Zuge des teleoperiert-unterstützten Fahrens (Ausbaustufe 3) wäre hingegen eine signifikante Kostenreduzierung zu erwarten, da ein Teleoperator gleichzeitig mehrere Fahrzeuge unterstützen könnte. Für den im Fallbeispiel betrachteten Robo-Shuttle entfallen die Kosten für Fahrdienstpersonal in vollem Umfang, da der höchste Grad der Automatisierung (SAE Level 5) angenommen wird.

Weitere Kosteneffekte aus der Automatisierung der Fahraufgabe ergeben sich aus einer potentiell effizienteren Fahrweise, die in einem geminderten Fahrtstromverbrauch des Fahrzeugs abgebildet sind.

Durch Elektrifizierung der Antriebstechnologie wurden Kosteneffekte für die nutzungsabhängigen Kostenkategorien in die Berechnungen einbezogen. So können potentiell Mehrkosten durch Ersatzinvestitionen entstehen, die durch irreversible Degradation des Batteriesystems entstehen und einen Batterietausch zur Folge haben.

Üblicherweise wird der Batterietausch bei einer irreversiblen Alterung von 85 % der ursprünglichen Leistungsfähigkeit (SoH = 85 %) initiiert. Da derzeit noch Erfahrungswerte diesbezüglich fehlen, wird den Angaben des Herstellers Iveco gefolgt, wonach der Batterietausch nach 1.000 Ladezyklen bzw. nach 130.000 km Fahrleistung eintritt [78]. Potentielle Minderkosten sind insbesondere bei der fahrzeugbezogenen Wartung und Instandhaltung zu erwarten, da die Technologie allgemein als wartungsarm beschrieben wird [74]. Dies umfasst reduzierte Ausgaben bei Motorschmierstoffen und eine geringere Anzahl von Wartungsintervallen, den Entfall der Abgasuntersuchung im Rahmen der Hauptuntersuchung und auch ausbleibende Erneuerungen von Verschleißreparaturen am Abgassystem entfallen. Daher wird im Rahmen der Berechnungen von geminderten Wartungskosten um 35 % gegenüber den Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb ausgegangen [71].

der intensiven Nutzung die wirtschaftlichere Alternative (gegenüber öffentlicher Ladeinfrastruktur) ist. Demzufolge wurden die Initial- und Betriebskosten für einen Ladepunkt in vollem Umfang berechnet.

Da neue Technologien in der Regel mit höheren Anfangskosten bei der Markteinführung verbunden sind, wurden im Rahmen des Vorausblick in das Jahr 2030 Kostendegressionseffekte für die technische Ausrüstung des V2X-Systems und des MoD-Systems sowie für die Gesamtinvestitionskosten der Ladeinfrastruktur in Höhe von 10 % abgebildet.

Ergebnisdarstellung:

Neben den auf den folgenden Seiten beschriebenen Ergebnissen, befindet sich im Anhang eine ausführliche Ergebnisdarstellung für die vier betrachteten Mobilitätskonzepte, mit Ausführungen zu den Gesamtkosten (TMC)¹ aufgeschlüsselt nach Kostenkategorien (Anhang IV), den jährlich diskontierten Aus-

	TMC (inkl. V2X-Kosten)	TMC (exkl. V2X-Kosten)	Kosten je Pkm (inkl. V2X-Kosten)	Kosten je Pkm (exkl. V2X-Kosten)	Kosten je Fahrzeug-km (inkl. V2X-Kosten)	Kosten je Fahrzeug-km (exkl. V2X-Kosten)
Robo-Shuttle (S4-V2X)	216.100 €	212.700 €	0,31 €	0,30 €	1,35 €	1,33 €
Mobility Service Provider	536.500 €		1,16 €	-	3,36 €	-
Taxi/Fahrdienst	589.300 €		1,27 €	-	3,69 €	-
ÖPNV	786.600 €		1,00 €	-	4,92 €	-

Tab. 5: Total Mobility Costs (Auszahlungsbarwerte), Kosten je Personenkilometer und Kosten je Fahrzeugkilometer für flexible Mobilitätskonzepte

Ein weiterer Effekt resultiert aus niedrigeren Kosten für die Versicherungsprämie, die sich auf Grundlage eines Preisvergleichs um 16,93 % reduzieren.

Zudem hat ein Kostenvergleich ergeben, dass die Fahrstromnutzung mit eigenem Ladepunkt aufgrund

zahlungswerten (Anhang V) und der Struktur der Auszahlungsbarwerte (in Anhang VI).

¹ Unter dem im Rahmen dieser Studie verwendete Begriff der Kosten sind die jeweiligen Auszahlungsbarwerte – also diskontierte zahlungswirksame Größen – zu verstehen.

VI. Betreibermodelle und Lebenszykluskosten

Im Ergebnis der durchgeführten Berechnungen zeigen sich die in Tab. 5 zusammengefassten Werte für die Gesamtkosten, Kosten je Personenkilometer und Kosten je Fahrzeugkilometer für die vier Mobilitätskonzepte. Mit 216.100 € Gesamtkosten stellt der Robo-Shuttle – bezogen auf den konkreten Business Case – die mit Abstand günstigste Mobilitätsform bereit. Die TMC betragen lediglich 40 % der zweitgünstigsten Alternative (MSP: 536.500 €) und sind mehr als dreieinhalb mal geringer als die teuerste Alternative, den ÖPNV (786.600 €).

(0,77 €/Pkm) korrespondieren weitgehend mit den eigenen Ergebnissen.

Hinsichtlich der Kosten je Fahrzeug-km ist jedoch hervorzuheben, dass sich die hier erzielten Ergebnisse am oberen Rand anderer Studien einordnen. Als maßgebliche Ursache wird hierfür die kalkulierte Nutzung ausschließlich für den dargestellten Business Case gesehen. Demzufolge wurde die entgeltliche Nutzung in freien Zeitfenstern (z. B. durch kombinierte Use Cases) vernachlässigt.

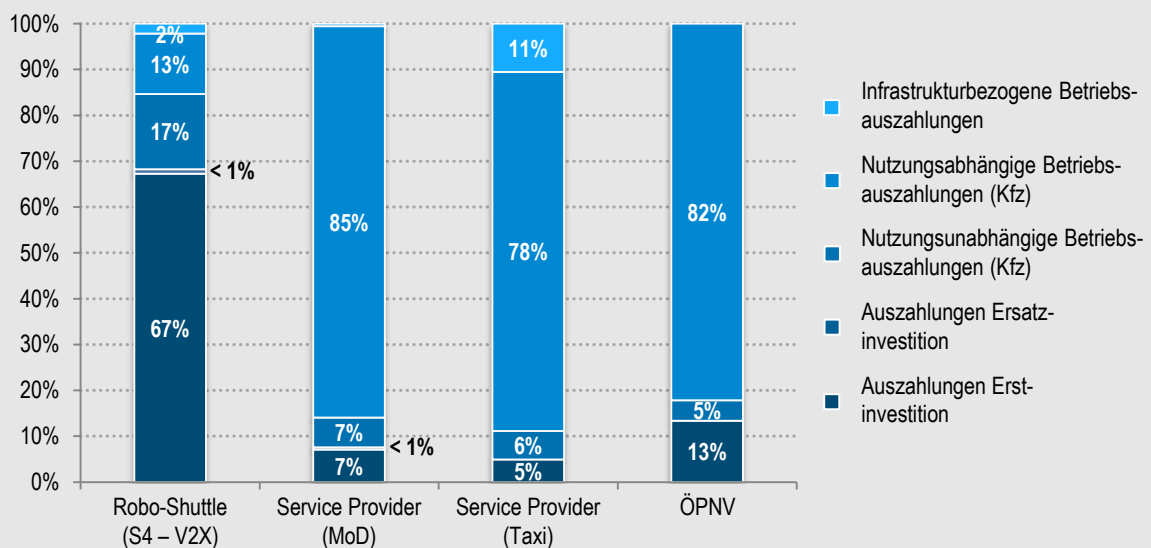


Abb. 24: Kategorisierte prozentuale Aufteilung der Auszahlungsbarwerte

Mit Blick auf die Plausibilisierung der Berechnungen kann bekräftigt werden, dass sich die Ergebnisse in die Resultate anderer Studien einordnen. So ermittelten BOESCH et al. [71] für ein im ländlichen Raum eingesetztes Robo-Shuttle Kosten in Höhe von 0,28 €/Pkm. Auch die Werte für ein Großraum-Taxi (1,67 €/Pkm) und einen ländlich eingesetzten Bus

Die Autoren einer Studie von ROLAND BERGER [79] geben diesbezüglich Kosten in Höhe von 0,30 €/Fahrzeug-km für ein Robocap und 1,50 - 2,00 €/Fahrzeug-km für ein Taxi an. LITMAN [80] ermittelte hingegen Kosten zwischen 0,30 - 0,92 USD/Mile für das autonome Ridesharing bzw. das autonome Taxi.

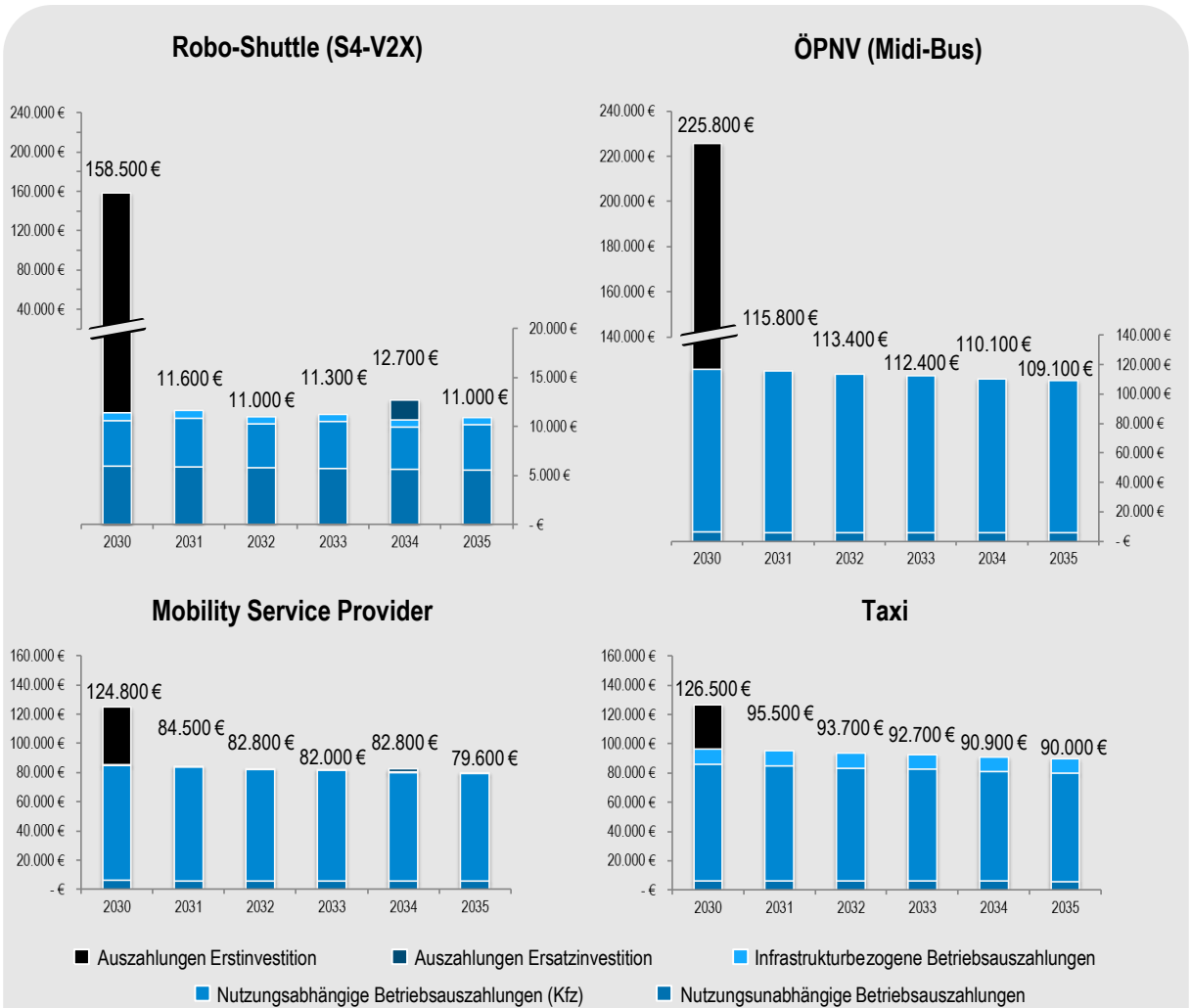


Abb. 25: Kategorisierte und jährliche diskontierte Auszahlungen

PAVONE [27] bewertet die Kosten eines AMoD-Fahrzeugs mit 0,92 USD/Fahrzeug-km. Für einen ländlich eingesetzten Midibus geben BOESCH et al. [71] 2,12 €/Fahrzeug-km und FRANK et al. [72] für einen im Regionalverkehr eingesetzten Bus 2,33 €/Fahrzeug-km an. Da für die den Robo-Shuttle eine Nettobetriebszeit von lediglich 2.900 Std./Jahr kalkuliert wurde, besteht auch unter Berücksichtigung zusätzlicher Ausfallzeiten (für Wartung, Reparatur, Reinigung, Ladevorgänge etc.) noch genügend Kapazi-

tät, um den Shuttle für Use Case-Erweiterungen einzusetzen, um so die Kosten je Fahrzeug-km weiter signifikant zu reduzieren.

Ein erster Blick auf die strukturelle Zusammensetzung der Auszahlungsbarwerte für den gesamten Betrachtungszeitraum (Abb. 24) verdeutlicht, dass mit knapp 68 % die CAPEX (Auszahlungen für Erst- und Ersatzinvestition) dominierend für den Betrieb des Robo-Shuttles sind.

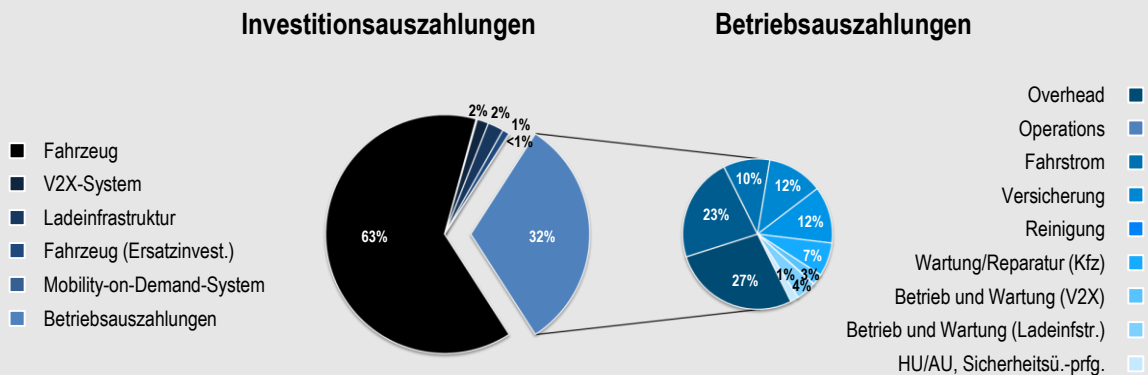


Abb. 26: Strukturelle Zusammensetzung der Auszahlungsbarwerte für den Robo-Shuttle (S4-V2X)

Im Gegensatz dazu sind Erstinvestitionen bei MSP und Taxi mit einem Anteil von 7 % bzw. 5 % nahezu vernachlässigbar. Bei allen drei nicht-automatisierten Konzepten dominieren die OPEX (Betriebsauszahlungen), die Anteile zwischen 78 % (Taxi) und 85 % (MSP) einnehmen. Einen vertiefenden Blick auf die jährlichen Auszahlungsreihen gewährt Abb. 25.

Die jährlichen Auszahlungen des Robo-Shuttles sind im ersten Nutzungsjahr von besonders hohen Investitionsauszahlungen gekennzeichnet, die mit 93 % diese Auszahlungsreihe dominieren. Auch den ÖPNV kennzeichnen mit 48 % im ersten Jahr hohe Investitionsauszahlungen. Bei den Mobilitätsformen MSP und Taxi überwiegen hingegen über alle Nutzungsjahre hinweg die Betriebsauszahlungen. Ab dem zweiten Jahr sind Auszahlungswerte des Robo-Shuttles im Vergleich zu den Alternativen auf einem konstant niedrigem Niveau. Sie umfassen mit im Mittel 11.500 € lediglich rund ein zehntel der Auszahlungswerte des ÖPNV. Auch PAVONE [27] berech-

nete mit 12.563 USD jährliche Betriebskosten eine ähnliche Größenordnung. Das heißt, 73 % der Gesamtausgaben des Robo-Shuttles fallen bereits im ersten Nutzungsjahr an – bei MSP sind es im ersten Jahr 23 %, bei Taxi 21 % und bei ÖPNV 29 %.

Aufgrund der Erkenntnis, dass OPEX des Robo-Shuttles nur noch einen Bruchteil gegenüber den vergleichenden Alternativen umfassen, amortisieren sich die Investitionsmehrausgaben des Shuttles (Fahrzeug inkl. V2X-Systemkosten) durch Einsparungen an OPEX bereits sehr schnell:

- Mehrausgaben gegenüber MSP: 107.800 Euro, Vorteilhaftigkeitsschwelle im 2. Nutzungsjahr;
- Mehrausgaben gegenüber Taxi: 112.100 Euro, Vorteilhaftigkeitsschwelle im 2. Nutzungsjahr;
- Mehrausgaben gegenüber ÖPNV: 33.200 Euro, Vorteilhaftigkeitsschwelle im 1. Nutzungsjahr.

Ersatzinvestitionen für ein neues Batteriesystem des Robo-Shuttles erfolgen fahrleistungsbedingt im fünften Nutzungsjahr – nehmen aber mit 1,4 % an den Gesamtinvestitionsauszahlungen ebenfalls einen vernachlässigbaren Anteil ein.

Mit Blick auf die detaillierte Zusammensetzung des Auszahlungsbarwertes gibt Abb. 26 Auskunft über die wesentlichen Kostentreiber des Robo-Shuttles: Neben den benannten Investitionsauszahlungen, die fast ausschließlich durch das Fahrzeug verursacht werden, stellen auf der Seite der Betriebsauszahlungen im Wesentlichen die Kosten für Overhead (Gemeinkosten für z. B. Verwaltung, Miete, Werbung etc.) und für Operations (aggregierte Kosten für das gewerbliche Flottenmanagement wie z. B. Einsatzplanungen, Ticketing, Systemsicherheit u. a.) relevante Kostentreiber dar, die bereits die Hälfte der Betriebsauszahlungen einnehmen. Mit Abstand sind die Kosten für Wartung (14 %, davon 7 % für den Shuttle, 3 % für das V2X-System und 4 % für die Ladeinfrastruktur) sowie für Versicherung (12 %), Reinigung (12 %) und Fahrstrom (10 %) weitere relevante Kostengrößen.

Verglichen mit dem MSP, dem Taxi und dem ÖPNV (siehe Anhang VII) ist ersichtlich, dass dort der vorherrschende Kostentreiber die Auszahlungen für das Fahrdienstpersonal sind, die zwischen 74 % (Taxi) und 86 % (ÖPNV) betragen. Zusätzlich verursacht die telefonische Fahrdienstvermittlung 11 % der Betriebsauszahlungen bei der Mobilitätsform Taxi.

Auszahlungsreihen für Operations und Overhead nehmen hingegen nur einen relativ geringen Anteil zwischen 3 % bis 4 % der Betriebsauszahlungen ein.

Auch Kraftstoffkosten des ÖPNV sind mit 5 % signifikant höher, die in absoluten Werten 32.800 € gegenüber 7.000 € für Fahrstrom des Robo-Shuttles betragen.

	V2X-System	MoD-System
CAPEX	3.430 €	330 €
OPEX	1.610 €	70 €
Anteil an Gesamtkosten	2,31 %	0,18 %

Tab. 6: Kostenzusammensetzung für das V2X- und MoD-System

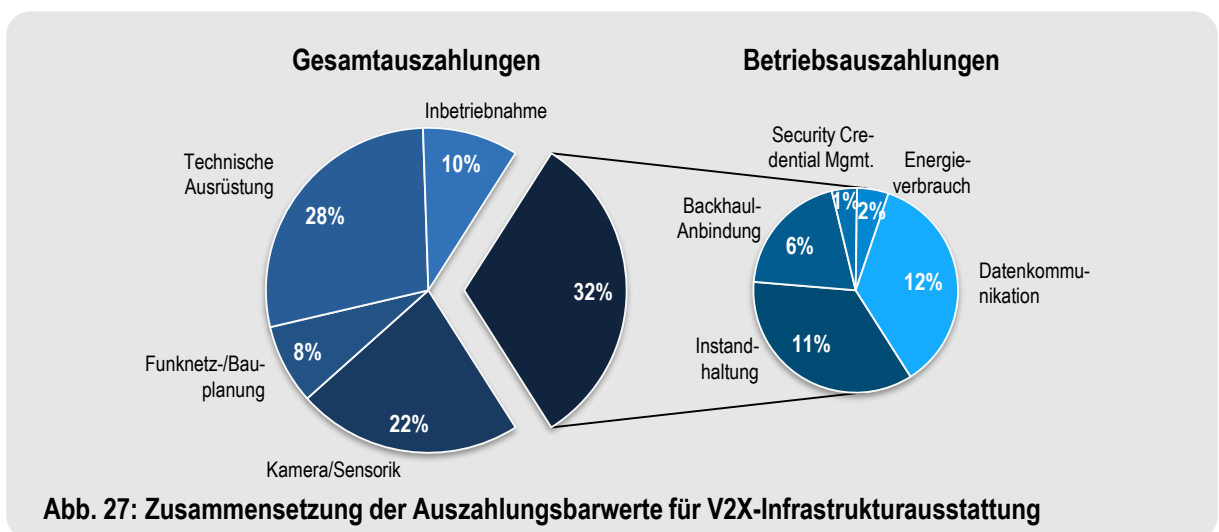
Die durch einen Nutzungsanteil berücksichtigten Kosten für das MoD-System sind gemäß Tab. 6 im Gesamtkontext vernachlässigbar. Der Anteil an den Gesamtkosten beträgt lediglich 0,2 %. Wobei hier im Wesentlichen die Kosteneffekte durch einen großen Fahrzeugpool zum Tragen kommen. Betriebsauszahlungen werden dominiert durch den Energieverbrauch und die Datenkommunikation und steigen anteilmäßig bei zunehmender Flottengröße.

Da es derzeit an Trägermodellen für den eigenständigen und wirtschaftlichen Betrieb von Roadside Equipment fehlt bzw. die generelle Frage der Finanzierung bisher ungeklärt ist, soll die Höhe der infrastrukturseitigen Kosten für das V2X-System gesondert ausgewiesen werden. Hierzu ist der Einfluss der anteiligen Kosten

ebenfalls in Tab. 6 dargestellt. Mit einem Anteil in Höhe von 2,3 % sind im Gesamtkontext auch die Kosten für das V2X-System vernachlässigbar. Dabei wurde – wie in der Beschreibung zum Testfeldkorridor 2 ausgeführt – die Erfordernis von insgesamt fünf Standorten unterstellt. Diese sind jeweils mit einer Roadside Unit, einer ITS-Cloud sowie Sensorik ausgestattet. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass Kosten für einen etwaigen Breitbandanschluss (z. B. Glasfaserkabel) unberücksichtigt blieben.

Die Zusammensetzung des Auszahlungsbarwertes

für das infrastrukturseitige V2X-System ist in Abb. 27 ersichtlich. Dabei werden bereits 50 % der Gesamtkosten durch die technische Ausrüstung (RSU-Hardware, Lizenzen und Edge-Cloud-Erweiterung) sowie Kamera und Sensorik getragen. Knapp 1/3 der Gesamtkosten werden durch Folgekosten verursacht. Als kostenbestimmende Größen sind hierbei Kosten für die Instandhaltung (Wartung) mit einem Anteil in Höhe von 11 % sowie Kosten für die Bereitstellung der Datenkommunikation mit 12 % der Gesamtauszahlungen des V2X-Systems.



Kosteneinschätzung zum Testfeldaufbau und Testfeldbetrieb

Nachfolgend sollen für die vier in Kapitel V vorgeschlagenen potentiellen Auto-FipS-Testfeldkorridore erste Grobabschätzungen der Kosten einer Testfeldrealisierung präsentiert werden.

Einschränkend sei zunächst darauf hingewiesen, dass es sich hierbei lediglich um Orientierungswerte auf Grundlage eines hohen Abstraktionsgrades, einer sehr eingeschränkten Datenbasis und simplifizierenden Annahmen handelt. Dies soll im Vorfeld eine Einschätzung der grundsätzlichen finanziellen Machbarkeit erleichtern und plausible Größenordnungen abstecken. Die tatsächlichen Testfeldkosten können erwartungsgemäß stark von diesen Schätzwerten abweichen. Für weitgehend realitätsnahe Prognosen sind die spezifischen Testfeldvoraussetzungen vor Ort (z. B. vorhandene Infrastrukturanbindung, Komplexität der Mobilitätsbedarfe und Verkehrssituationen) detaillierter zu erheben, als es im Rahmen dieser Grundlagenstudie möglich war, konkrete Leistungsangebote von benötigten Testfeldpartnern einzuholen (z. B. für die Entwicklung oder Bereitstellung von Versuchsträgern und Software) und die im Testfeld zu erreichenden Ziele und zu bearbeitenden Aufgaben präzise zu formulieren.

Verbunden mit dem letzten Punkt sind beachtliche Einflussmöglichkeiten auf den Umfang der verursachten Kosten. Während sich einfache Testfelder mit der realen Demonstration einer grundsätzlichen Eignung bzw. Funktionsfähigkeit von AMoD-Konzepten für mobilitätseingeschränkte Menschen in peripheren

Räumen begnügen und dabei auf verfügbare Fahrzeugkonzepte und Softwarelösungen zurückgreifen können, sind fortschrittlichere Testfeldkonzepte oft mit Eigenentwicklungen (spezifisch für den jeweiligen Use Case), realisierten Erweiterungsoptionen und umfangreicher Begleitforschung verbunden, welche die spätere Überführung in nachhaltig funktionierende Geschäftsmodelle (auch in vergleichbaren Räumen und Anwendungsszenarien) unterstützt.

Die monetären Größen der vorliegenden Schätzung unterscheiden sich von der zuvor dargestellten Lebenszykluskostenbetrachtung dahingehend, dass hier heutige (höhere) Technologiekosten angesetzt wurden als dies langfristig durch den technischen Fortschritt sowie Größendegressions-, Rationalisierungs- und Lerneffekte zu erwarten ist.

Zur Vereinfachung der Schätzung wurden nur die drei generischen Subsysteme „fahrzeugseitig“, „infrastrukturseitig“ und „zentral bzw. übergreifend“ unterschieden, welche sich auf den Versuchsträger, die RSU-Infrastruktur und das Backend bzw. übergreifende Aktivitäten beziehen. Diesen Subsystemen wurden allgemeine Kostenpositionen zugeordnet, die einerseits mit dem Testfeldaufbau (Stufe 2, angenommene Dauer 9 Monate) und andererseits mit dem Testfeldbetrieb (Stufe 3, angenommene Dauer 16 Monate) in Verbindung stehen. Die Schätzungen beinhalten je nach Kostenposition relevante Personal- und Sachkosten.

VI. Betreibermodelle und Lebenszykluskosten

In Tab. 7 sind die Kostenschätzungen in Summe sowie aufgeschlüsselt nach den soeben beschriebenen Teilgrößen für die vier Testfeldkorridore ausgewiesen. Sie bewegen sich in der Bandbreite von etwa

2,4 bis 3,9 Mio. EUR. Sollten mehrere Testfeldkorridore umgesetzt werden, ist aufgrund von Synergieeffekten mit geringen Gesamtkosten als der Summe der Einzelkorridore zu rechnen.

		Korridor 1: Use Case handicapped transport in Großenhain				Korridor 2: Use Case seniors transport in Dippoldiswalde			
Kostenposition		Fahrzeugseitig	Infrastrukturseitig	Zentral bzw. übergreifend	Gesamt	Fahrzeugseitig	Infrastrukturseitig	Zentral bzw. übergreifend	Gesamt
Stufe 2: Testfeldaufbau (9 Monate)	Planungs- und Koordinationsleistungen	-	40.000 €	108.000 €	148.000 €	-	18.000 €	144.000 €	162.000 €
	Entwicklungsleistungen	72.000 €	-	108.000 €	180.000 €	108.000 €	-	216.000 €	324.000 €
	technische Ausstattung*	245.000 €	119.000 €	210.000 €	574.000 €	245.000 €	54.000 €	360.000 €	659.000 €
	Konfiguration, Errichtung, Installation bzw. Instrumentierung	36.000 €	40.000 €	72.000 €	148.000 €	36.000 €	18.000 €	144.000 €	198.000 €
	Vorbereitung der Erprobungsphase	-	-	144.000 €	144.000 €	-	-	216.000 €	216.000 €
	Summe Stufe 2				1.194.000 €				1.559.000 €
Stufe 3: Testfeldbetrieb (16 Monate)	Betrieb und Instandhaltung**	97.000 €	17.000 €	92.000 €	206.000 €	97.000 €	8.000 €	112.000 €	217.000 €
	Test, Erprobung, Evaluation und Begleitforschung	256.000 €	-	512.000 €	768.000 €	256.000 €	-	768.000 €	1.024.000 €
	Vorbereitung der Verwertungsphase	-	-	128.000 €	128.000 €	-	-	192.000 €	192.000 €
	Projektkoordination und -kommunikation	-	-	256.000 €	256.000 €	-	-	256.000 €	256.000 €
	Summe Stufe 3				1.358.000 €				1.689.000 €
Summe Stufe 2 + Stufe 3					2.552.000 €				3.248.000 €
		Korridor 3: UC schools transport I (Randlage) in Großenhain				Korridor 4: UC schools transport II (zentrumstern) in Großenhain			
Kostenposition		Fahrzeugseitig	Infrastrukturseitig	Zentral bzw. übergreifend	Gesamt	Fahrzeugseitig	Infrastrukturseitig	Zentral bzw. übergreifend	Gesamt
Stufe 2: Testfeldaufbau (9 Monate)	Planungs- und Koordinationsleistungen	-	14.000 €	72.000 €	86.000 €	-	36.000 €	144.000 €	180.000 €
	Entwicklungsleistungen	72.000 €	-	108.000 €	180.000 €	72.000 €	-	108.000 €	180.000 €
	technische Ausstattung*	245.000 €	43.000 €	210.000 €	498.000 €	735.000 €	108.000 €	210.000 €	1.053.000 €
	Konfiguration, Errichtung, Installation bzw. Instrumentierung	36.000 €	14.000 €	72.000 €	122.000 €	108.000 €	36.000 €	72.000 €	216.000 €
	Vorbereitung der Erprobungsphase	-	-	144.000 €	144.000 €	-	-	216.000 €	216.000 €
	Summe Stufe 2				1.030.000 €				1.845.000 €
Stufe 3: Testfeldbetrieb (16 Monate)	Betrieb und Instandhaltung**	97.000 €	6.000 €	92.000 €	195.000 €	290.000 €	15.000 €	92.000 €	397.000 €
	Test, Erprobung, Evaluation und Begleitforschung	256.000 €	-	512.000 €	768.000 €	768.000 €	-	512.000 €	1.280.000 €
	Vorbereitung der Verwertungsphase	-	-	128.000 €	128.000 €	-	-	128.000 €	128.000 €
	Projektkoordination und -kommunikation	-	-	256.000 €	256.000 €	-	-	256.000 €	256.000 €
	Summe Stufe 3				1.347.000 €				2.061.000 €
Summe Stufe 2 + Stufe 3					2.377.000 €				3.906.000 €

* inkl. zu beschaffender Hardware-/Softwarekomponenten und ggf. baulicher Einrichtungen

** Bürokosten, EDV, Versicherungen

Tab. 7: Use-Case-spezifische Kosteneinschätzung zur Testfeldrealisierung

VII.

**BARRIEREN UND
REALISIERUNGSHEMMNISSE**

Neben dem – bereits in vielfacher Hinsicht thematisierten – technologischen Reifegrad von fahrerlosen und vollautomatisierten Fahrzeugen im Allgemeinen sowie von AMoD-Software im Speziellen, die eine Verwendung derzeit lediglich in einem experimentellen Stadium oder in einem stark eingeschränkten Umfeld ermöglichen, existiert eine Reihe von weiteren Realisierungshemmnissen und Barrieren.

Grundsätzliche Systemisierungsvorschläge von sogenannten Innovationsbarrieren wurden bereits an anderen Stellen vorgenommen. Ein Strukturierungsvorschlag im Kontext neuer Mobilitätskonzepte ist z. B. REHME et al. [81] zu entnehmen. Dieser wurde als Grundlage für diese Studie genutzt und auf die spezifischen Besonderheiten von AMoD-Konzepten angewendet (vgl. Abb. 28).

Generell sind bei der Betrachtung die beiden Domänen Hemmnisse für eine Testfeldrealisierung und Hemmnisse für den produktiven Betrieb eines AMoD-Konzeptes zu unterscheiden. Die Realisierung von ersten städtischen Testfeldern für automatisiertes Fahren und von Erprobungsräumen für MoD-Konzepte (z. B. Moia in Hamburg und Hannover; loki in Frankfurt/Main und Hamburg, Allygator shuttle von door2door in Berlin, BerlKönig von ViaVan in Berlin oder Clever-Shuttle in Berlin, Dresden, München und Leipzig u. a.) verdeutlichen bereits, dass zentrale Herausforderungen die letztgenannte Domäne, die Überführung in den Regelbetrieb, betreffen. Hierauf ist der Schwerpunkt der Folgebetrachtung gerichtet.

Des Weiteren ist zu Berücksichtigen, dass je nach Stakeholdergruppe die dargestellten Realisierungshemmnisse eine unterschiedlich starke Priorisierung annehmen können. Auch das Auftreten von Interdependenzen ist ein wichtiger Aspekt, der insbesondere ordnungspolitisch bedacht werden muss. So stellt eine durch automatisierte Fahrzeuge verursachte höhere Verkehrsleistung aus der kommunalen Perspektive oft einen ungewünschten negativen Effekt dar, der aber gleichzeitig für Mehreinnahmen der Mobilitätsanbieter sorgt und daher aus privatwirtschaftlicher Betreibersicht einen gewünschten positiven Effekt bewirkt. Würden durch zielgerichtete regulative ordnungspolitische Instrumente (z. B. Internalisierung negativer externer Effekte; Konzessionen nur für bestimmte Antriebstechnologien) solche Wechselbeziehungen nicht bedacht, können Fehlanreize gesetzt werden. Dementsprechend betreffen *ökologische Realisierungshemmnisse* für AMoD-Konzepte die bereits angesprochenen induzierten Verkehre, die aus Rebound-Effekten resultieren. Im Kontext von mobilitätseingeschränkten Personengruppen könnte die Mobilisierung bisher immobiler Personen zur Erhöhung der Verkehrsleistung beitragen. Gerade durch die Verfügbarkeit kostengünstiger Mobilität könnten sich solche Effekte – für alle Bevölkerungsgruppen – verstärken. Daher sollten insbesondere solche AMoD-Konzepte gefördert werden, die eine geteilte Mitfahrt zum Gegenstand haben und nicht die Alleinfahrt (vgl. I. Quadrant in Abb. 7).

VII. Barrieren und Realisierungshemmnisse

Auf Seiten *gesellschaftlicher Realisierungshemmnisse* soll beispielhaft der sozialverträgliche Umstieg von fahrdienstleistenden Berufsgruppen (insbesondere Taxifahrer und Berufskraftfahrer des ÖPNV) aufgeführt werden. Hierbei sind bereits frühzeitig alternative Umschulungs- und Weiterbildungsangebote neu zu konzipieren, die weiterführende Berufswege in einer fahrerlosen Mobilität aufzeigen (z. B. als Teleoperator, Fahrzeugdisponent und -koordinator u. a.).

Folge hätte. Ein (menschlicher) Weichensteller könnte durch Eingriff das Leben dieser Personen retten, wenn er den Zug auf ein Nebengleis umleitet, auf der sich lediglich eine Person befindet. Das Dilemma stellt sich insofern dar, dass je nach Handlung oder Ausbleiben der Handlung mindestens eine Person getötet wird. Solche Gedankenexperimente sind auch auf automatisierte Fahrzeuge mit verschiedenartigen Personengruppen (alte Menschen vs. Kinder, reiche vs. arme Menschen, Frauen vs. Männer etc.)

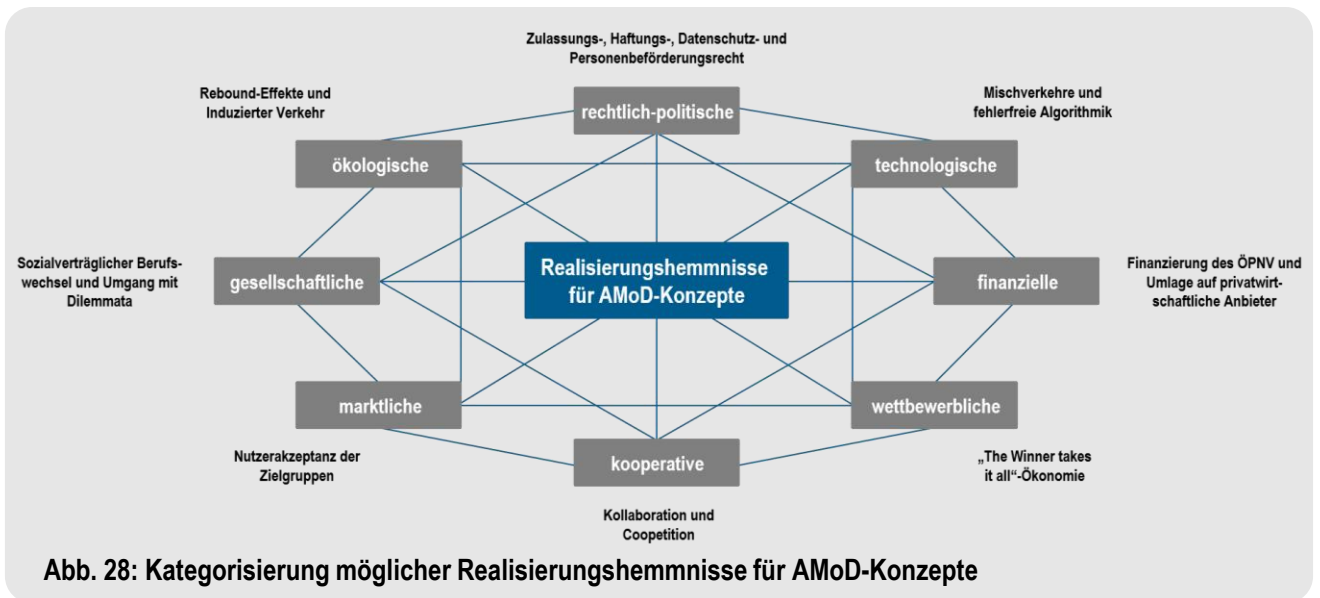


Abb. 28: Kategorisierung möglicher Realisierungshemmnisse für AMoD-Konzepte

Weiterhin muss ein offener gesellschaftlicher Diskurs sowie die transparente Darstellung der Handlungsweise von automatisierten Fahrzeugen in Dilemmasituationen geführt bzw. aufgezeigt werden. Exemplarisch soll an dieser Stelle auf das sogenannte Trolley-Problem hingewiesen werden. Die Situation innerhalb dieses Gedankenexperimentes beschreibt ein Schienenfahrzeug, das aufgrund einer fehlerhaften Weichenstellung den Tod mehrerer Personen zur

übertragbar und so rücken Fragen nach den zugrundeliegenden Entscheidungsalgorithmen sowie der Nachvollziehbarkeit und den Nachweis der Herbeiführung dieser Entscheidungen in den Vordergrund.

Zur Gewährleistung einer maximalen Transparenz sollte daher sichergestellt werden und für jedermann einsehbar sein, welche Entscheidungssystematik mit welchem erwartbaren

VII. Barrieren und Realisierungshemmnisse

Ergebnis zugrundeliegt, damit Fehler und Risiken frühzeitig identifiziert werden können. Die Bundesregierung hatte diesbezüglich eine Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren eingesetzt, die im Jahr 2017 einen Ergebnisbericht mit 20 Thesen vorlegte, innerhalb dessen grundlegende Leitlinien für automatisierte Fahrsysteme formuliert wurden. In weiterführenden Schritten müssen diese Leitlinien nun konkretisiert und zulassungsrechtlich bewertet werden.

Eng in Zusammenhang mit den gesellschaftlichen Hemmnissen stehen *marktliche Realisierungshemmnisse*. Nur wenn Technologieakzeptanz und Preisbereitschaft der potentiellen Nutzer gegeben sind, werden sich AMoD-Konzepte in der Breite etablieren können. Befragungsergebnisse (vgl. z. B. [82], [83]) weisen bisher eine zustimmende Grundhaltung gegenüber automatisierten Fahrzeugkonzepten aus, wobei in der Längsschnittbetrachtung die Akzeptanz tendenziell zunimmt und gleichzeitig der Sicherheit solcher Systeme eine hohe Priorisierung beigemessen wird. Für ältere Menschen zeigte sich in einer kleinen Studie (n=12) im Besonderen, dass sie der Nutzung automatisierter Fahrzeugkonzepte prinzipiell aufgeschlossen sind, aber aufgrund von Unsicherheit und fehlendem Vertrauen sehr große Akzeptanzhemmnisse aufweisen [84]. Ferner kann festgestellt werden, dass die Bereitschaft zur Nutzung von autonomen Fahrzeugen abnimmt, je älter die befragten Personen sind [82].

In Konsequenz wird es als notwendig erachtet, dass

künftig neben Befragungen und Fokusgruppenstudien die entsprechenden Zielgruppen in die praktische Erprobung einbezogen werden sollten, um möglicherweise unbegründete Akzeptanzhemmnisse frühzeitig zu beseitigen. Es sollten Reallabore auf der Basis von existierenden Use- und Business Cases initiiert und als Erprobungsräume verstanden werden.

Damit verbunden ist ebenso die Einbeziehung vielschichtiger Akteure, die sowohl auf vertikaler, als auch auf horizontaler Wertschöpfungsebene Kooperationen anstreben. Denkbare *kooperative Realisierungshemmnisse* begründen sich beispielsweise aus den verschiedenen Branchenzweigen von Informationstechnologie (mit besonders kurzen unterjährigen Innovationszyklen) und Automobilindustrie (mit langjährigen Innovationszyklen von ca. 4 Jahren bei Pkw bis zu 9 Jahren bei Nutzfahrzeugen). Zudem sind in den Schnittmengen zwischen Erbringung und Vermittlung von AMoD-basierten Angeboten offene APIs zur Verfügung zu stellen, damit sich komplementäre Angebote herausbilden können. Für die Synthese der verschiedenen „Branchenwelten“ erfordert es ein kooperatives Vorgehen und eine Nutzung von gemeinsamen Testräumen.

Auf *wettbewerblicher Seite* werden *Realisierungshemmnisse* insbesondere durch Plattformmodelle begründet, die der „Winner-takes-it-all-Ökonomie“ folgen. Hierunter sind solche Geschäftsmodellansätze zu subsumieren, die von sogenannten Netzeffekten partizipieren.

Netzeffekte treten ein, je mehr Nutzer ein bestimmtes Gut nutzen (d. h. je größer somit das Netzwerk ist), da gleichzeitig (und überproportional) der Individualnutzen für jeden und mit jedem weiteren Teilnehmer steigt. Übertragen auf AMoD-Konzepte kann beispielhaft die Genauigkeit des Routing-Algorithmus gesteigert, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens nicht prä-diktierbarer Ereignisse reduziert und somit die Sicherheit und Effektivität des Gesamtsystems optimiert werden, indem das System mehr Fahrleistung zurückgelegt und je mehr Nutzer auf dieses eine Mobilitätsangebot zurückgreifen. Gleichzeitig hemmt ein solches Modell andere Akteure an der Entwicklung eigener Systeme, sobald sich bereits ein oder wenige etablierte(r) Anbieter mit großer Marktdominanz herausgebildet hat bzw. haben. Als Konsequenz entstehen somit auf natürliche Weise monopolistische Marktstrukturen, die den Markteintritt durch Innovatoren hemmen. Zudem wird nicht das technisch ausgereifteste Mobilitätsangebot erfolgreich sein, sondern jenes, welches den größten Netzeffekt mit hohen Wechselbarrieren (Lock-In-Effekt) erzeugt.

Finanzielle Realisierungshemmnisse äußern sich offensichtlich in den aufzubringenden monetären Vorleistungen zur Entwicklung und den Investitionskosten zur Etablierung des AMoD-Konzeptes. Zu berücksichtigen bleibt, dass trotz der signifikant höheren Investitionskosten eine Vorteilhaftigkeitsschwelle durch Einsparungen an Betriebskosten in sehr kurzen Zeitabständen erreichbar ist (vgl. Kapitel Ver-

gleichende Kostenbetrachtung für AMoD-Konzepte). Zudem können weitere Kostendegressionseffekte durch die Übertragbarkeit des AMoD-Systems auf große Flotten (z. B. durch Verkehrsverbünde) angenommen werden.

Mischverkehre und eine fehlerfreie Funktionalität der Algorithmik stellen heute noch weitgehend problematische Herausforderungen für AMoD-Konzepte dar und werden derzeit durch Forschungsaktivitäten adressiert. Diese Herausforderungen sind den *technischen Realisierungshemmnissen* zuzuordnen. Zur Reduktion des potentiellen Restrisikos könnte die Car-to-X-Kommunikation als Rückfallebene beitragen und so als eine zusätzliche Kontroll-/Verifizierungsinstanz fungieren. Daher sollte in künftigen Testfeldern dieser Aspekt als Forschungsgegenstand aufgegriffen werden und es sollten zudem regulatorische Vorgaben seitens des Gesetzgebers geprüft werden, wie es z. B. durch einen Gesetzesentwurf für die Car-to-Car-Kommunikation in den USA bereits zur Diskussion gestellt wurde [85].

Auf der *rechtlich-politischen Betrachtungsebene von Barrieren und Realisierungshemmnissen* sind grundsätzlich drei verschiedene Ebenen zu unterscheiden: Die ersten beiden Ebenen betreffen die Konformität von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen sowie von nachfrageflexiblen Mobilitätskonzepten mit dem geltenden gesetzlichen Rahmen. Auf der dritten Ebene ist der rechtlich zulässige Aufbau eines Testfeldes im öffentlichen

Straßenverkehr zu benennen. Der rechtliche Status auf den ersten beiden Betrachtungsebenen lässt derzeit keine kommerzielle Anwendung von AMoD-Konzepten zu. Für die experimentelle Erprobung existieren hingegen in den korrespondierenden Gesetzestexten Ausnahmeregelungen, die neben einer Einschätzung des gegenwärtigen politisch-rechtlichen Status im Folgenden verdeutlicht werden.

Konformität autonomer und vernetzter Fahrzeuge:

Das geltende internationale Recht sieht im Rahmen von Art. 8 des (Wiener) Übereinkommen über den Straßenverkehr einen Fahrer vor, der ggf. vorhandene automatisierte Systeme übersteuern oder deaktivieren kann. Das heißt, selbst nach Novellierung im Jahr 2016 ist ein rein fahrerloses System oder ein teleoperiert unterstützender Fahrer außerhalb des Fahrzeugs nicht vorgesehen. Weiterhin auf internationaler Ebene angesiedelt sind die für das Zulassungsrecht relevanten UN/ECE-Regelungen der Vereinten Nationen, die insbesondere in Form der Regelung Nr. 79 explizit Lenkanlagen mit automatischer Lenkfunktion ausschließt (5.1.3) bzw. die Abschaltung vorsieht, sobald ein Geschwindigkeitsgrenzwert von 10 km/h um mehr als 20 % überschritten wird (5.1.6.1).

Auf nationaler Ebene hat der deutsche Gesetzgeber im Jahr 2017 eine Novellierung des Straßenverkehrsgesetzes vorgenommen und in den §§ 1a und 1b StVG konkrete Regelungen zur Nutzung von Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen getroffen. Fahrerlose Systeme gemäß

SAE Level 5 oder teleoperiert-unterstützende Systeme haben somit noch keine Berücksichtigung gefunden. Bei der vorgesehenen Evaluierung des StVG nach Ablauf des Jahres 2019 sollten diese Sachverhalte geprüft werden (vgl. § 1c StVG).

Auch Ausnahmen in der Fahrerlaubnisverordnung sehen entsprechende Systeme nicht vor, da es für den Fahrzeugführer einer Erlaubnispflicht (Führerschein bzw. Personenbeförderungsschein) bedarf. Sollte künftig der bisher vorgeschriebene Sicherheitsfahrer ersatzlos entfallen, bedarf es einer Regelung, damit Personen ohne gültiger Fahrerlaubnis (z. B. mobilitätseingeschränkte Personen) einen fahrerlosen Mobilitätsdienst nutzen können.

Darüber hinaus kam der 56. Deutsche Verkehrsgerichtstag 2018 zu dem Ergebnis, dass automatisiertes Fahren auf dem gesetzlich zulässigen Level (hoch- und vollautomatisiertes Fahren) einen weiteren Regelungsbedarf erfordert. Dies betrifft u. a. die Speicherung von Daten zu Positions- und Zeitangaben bei Wechsel der Fahrzeugsteuerung oder bei technischen Störungen nicht nur im Fahrzeug selbst, sondern auch bei unabhängigen dritten Instanzen (bspw. zur Unfallrekonstruktion) oder die Erhöhung der Mindestdeckungssummen für die Kfz-Haftpflichtversicherung [86].

Für Fahrzeuge mit einer Funktionalität, die über das vollautomatisierte Level hinausgeht, hat der Gesetzgeber in der Straßenverkehrszulassungs-Ordnung entsprechende

Ausnahmeregelungen durch eine „Experimentierklausel“ getroffen. Dementsprechend gestattet § 70 Abs. 1 StVZO eine abweichende Regelung für die Fahrzeugzulassung durch die höheren Verwaltungsbehörden, die obersten Landesbehörden, das Kraftfahrtbundesamt oder durch das BMVI. Dem Wortlaut folgend können Ausnahmegenehmigungen von den Vorschriften (§§ 32, 32d Abs. 1 oder § 34 StVZO) durch die betreffenden Stellen für Einzelfälle oder allgemein für bestimmte einzelne Antragsteller erteilt werden. Der örtliche Geltungsbereich wird dabei konkret festgelegt und es werden gegebenenfalls zeitliche Grenzen definiert. Voraussetzung ist regulär ein Sachverständigengutachten einer anerkannten technischen Prüforganisation, z. B. von Dekra, GTÜ, Technische Überwachungsvereine (TÜVe) o. a. Im Ergebnis können so fahrstreckenbezogene Einzelgenehmigungen auch für Robo-Shuttles (mit zeitlich befristeter) Erprobung erteilt werden. Sofern es sich nicht um ein Fahrzeug eines genehmigten Typs handelt, ist zudem eine Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge (Einzeltypgenehmigung) gemäß § 21 StVZO in Erwägung zu ziehen. Auch bezüglich der Einrichtung eines Testfeldes können Ausnahmeregelungen getroffen und auf § 70 Abs. 1 zurückgegriffen werden. Hier müssen insbesondere die Straßentypen mit unterschiedlichen Straßenbaulastträgern berücksichtigt werden und im Vorfeld müssen die obersten Straßenbaubehörden der Länder, und wenn nötig die Straßenbaulastträger, informiert werden.

Künftige Fragestellungen, die über zulassungsrecht-

liche Ausnahmeregelungen hinausgehen, könnten zudem folgende Rechtsbereiche/-gebiete betreffen:

- Datenschutzrecht und Verbraucherschutzrecht: Alle Systeme zur Überwachung des Fahrmodus erheben personenbezogene Daten. Inwiefern dürfen diese an welche Art von Instanz und zu welchen Zwecken weitergegeben werden?
- Haftungsrecht: Künftig können fahrerlose Shuttles den Verlagerungseffekt von Eigentum eines Fahrzeugs hin zur Nutzung von Mobilität verstärken. Tritt der AMoD-Betreiber hierbei in die Verantwortlichkeit für Schäden, wenn auf einen Sicherheitsfahrer verzichtet wird, Fahrzeuginsassen lediglich Passagiere sind und ein außerhalb des Fahrzeugs befindlicher Teleoperator eingreifen kann? Oder wird es künftig eine geteilte Verantwortlichkeit mit einer Halterhaftung für die ordnungsgemäße Beschaffenheit des Fahrzeugs und eine Hersteller-Produkthaftung für die technische Funktionalität geben?
- Wettbewerbsrecht, Kartellrecht, Monopolrecht und Datenschutzrecht: Wenn künftig nicht nur ein Auto verkauft wird, sondern Mobilität, werden weitergehende Services auch auf Grundlage von Nutzungs- und Nutzerdaten erforderlich, die eine Konzentration bei wenigen Anbietern ermöglichen. Kollidiert dies mit geltendem Recht oder gibt es ein Opt-out für Nutzer?

Konformität bedarfsflexibler Mobilitätsangebote:

Hinderungsgründe, die eine Einführung bedarfsflexibler Mobilitätsangebote erschweren, betreffen im Wesentlichen Regelungen, die innerhalb des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) getroffen wurden. Der Geltungsbereich des PBefG umfasst die entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen mit Straßenbahnen, Oberleitungsnomibussen und mit Kraftfahrzeugen (§ 1 Abs. 1 PBefG). Zentrale Realisierungshemmnisse für (A)MoD-Konzepte durch das PBefG werden im Folgenden skizziert:

Zunächst ist zu konstatieren, dass das PBefG eine stringente Ausrichtung auf das Linienverkehrsmerkmal (§ 42 f. PBefG) sowie die Haltestellen- und Fahrplanpflicht (§ 40 PBefG) aufweist. Regelungen zu Taxiverkehren (§ 47 PBefG) und für Mietwagen (§ 49 PBefG) wurden ebenso getroffen. Jedoch sind weitere bedarfsflexible Angebote derzeit in keiner direkten Form vorgesehen. Dies stellt für (A)MoD-basierte Mobilitätsangebote ein generelles Hemmnis dar, da sich diese durch den Einsatz nach Bedarf (Voranmeldung – ähnlich dem Taxi und Mietwagen) und teilweise durch virtuelle Haltepunkte auszeichnen.

Auch die Regelung zur Organisation der Fahrtenvermittlung bei Mietwagen für Gelegenheitsverkehre kann bspw. Ineffizienzen und zusätzlichen Kosten begünstigen, da das PBefG bspw. nach einem Beförderungsauftrag die Rückkehr eines Mietwagens zum Betriebssitz des Unternehmens vorsieht, sofern kein Anschlussauftrag vorliegt (§ 49 Abs. 4 PBefG).

Durch Lockerung dieser Regelung könnten z. B. Leerfahrten (und somit auch Mehrkosten) vermieden werden, indem Folgeaufträge mittels App- oder webbasierter Voranmeldung direkt vermittelbar wären.

Generell dürfen Mobilitätsangebote nicht in Konkurrenz zum ÖPNV stehen. Z. B. gilt gemäß PBefG, dass Genehmigungen für Mobilitätsangebote erteilt werden können, sofern sie den öffentlichen Verkehrsinteressen nicht entgegen stehen (§2 Abs. 6 PBefG). Daher sollte die Auslagerung von für den ÖPNV unrentablen Bewirtschaftungsflächen mit vordefinierten Verpflichtungen (wie z. B. der Anschlusspflicht an Schienenverkehr, wenn ein ÖPNV-Zubringerkonzept verfolgt wird) als Option für kostengünstige Robo-Shuttles zur Diskussion gestellt werden.

Ausnahmen von bestimmten Regelungen des PBefG gestattet § 2 Abs. 7 PBefG im Status einer „Experimentierklausel“. Demzufolge kann eine Genehmigung neuer Verkehrsarten oder Verkehrsmittel zeitlich befristet für bis zu vier Jahre erfolgen, sofern sie öffentlichen Verkehrsinteressen nicht entgegenstehen. Für die Erprobung von AMoD-Konzepten würde das PBefG somit eine zeitlich befristete Befreiung von den Genehmigungspflichten vorsehen.

Auch im Zuge der sogenannten „Auffangklausel“ (§ 2 Abs. 6 PBefG) können Verkehrsarten, die in einzelnen Merkmalen von den regulierten Arten abweichen, gemäß den Vorschriften einer anderen Verkehrsart

genehmigt werden, der sie am nächsten kommt. Hierbei ist zwar keine zeitliche Befristung dieser Verkehrsart vorgesehen, eine Zuordnung kann bei neuen bedarfsflexiblen Angeboten aber nur schwer vorgenommen werden, weshalb sich eine konkrete Anwendbarkeit für AMoD-Konzepte nicht zweifelsfrei übertragen lässt.

Des Weiteren sind als Ausnahme alle Beförderungsangebote vom Geltungsbereich des PBefG ausgeschlossen, die unentgeltlich oder maximal zu den Betriebskosten der Fahrt bereitgestellt werden (vgl. §1 Abs. 2 Nr. 1 PBefG).

Eine Liberalisierung des PBefG zugunsten von Fernverkehrsangeboten erfolgte 2013 durch § 42a PBefG, der Angebote mit Haltepunkten von mehr als 50 km Entfernung zueinander nicht mehr als unzulässig einstuft. Eine weitergehende Liberalisierung bzgl. der skizzierten rechtlich-politischen Realisierungshemmnisse sollte auch für Nahverkehrsangebote ohne ausreichendem Angebot angestrebt werden. Bspw. wäre eine Teilliberalisierung des Nahverkehrs insofern denkbar, die es Kommunen gestattet, private Akteure den Betrieb von Mobilitätslösungen räumlich begrenzt und zeitlich gebunden zu überlassen, die von ihnen selbst bzw. den beauftragten Verkehrsunternehmen nicht kostendeckend bewirtschaftbar sind (und somit den öffentlichen Interessen nicht im

Wege stehen dürften). Des Weiteren sollten die im PBefG regulierten Verkehrsarten und Verkehrsmittel eine zeitgemäße Anpassung an den Stand der Technik erfahren und so auch die app-/webbasierte Fahrtenvermittlung sowie Hailing-, Pooling- und Sharing-Angebote berücksichtigen.

Weitere Realisierungshemmnisse, die nicht dem Geltungsbereich des PBefG obliegen, sollen an dieser Stelle nur grob umrissen werden.

Dies betrifft zum einen, die in der Fahrerlaubnis-Verordnung vorgeschriebene Ortskenntnisprüfung, die Fahrpersonal für die entgeltliche Personenbeförderung erbringen muss (vgl. § 48 FeV). Dies bringt die Frage auf, auf welcher Grundlage automatisierte Fahrzeuge mit SAE Level 5 dies erfüllen müssen, wenn sie bereits optimale Fahrtrouten durch nachweisbare Routing-Algorithmen bedienen können.

Zum anderen stellt sich bezüglich der zu vermittelnden Angebote die generelle Frage, ob sie als Transport-Dienstleistung oder als Vermittlungs-Dienstleistung einzuordnen sind und somit gegebenenfalls nicht in den Geltungsbereich des PBefG fallen dürften.

VIII.

ÜBERTRAGBARKEIT DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

Möglichkeiten der Ergebnisverwertung

Die vorliegende Studie liefert sowohl die theoretischen als auch die benötigten praktischen Grundlagen zur Klärung der Umsetzbarkeit eines Testfeldes für automatisiertes Fahren im ländlichen Raum. Die Analyseergebnisse zu AMoD-Konzepten für mobilitätseingeschränkte Personen lassen zukünftig in peripheren Räumen beträchtliche Potentiale hinsichtlich sozialpolitischer, ökonomischer und raumplanerischer Ziele erwarten. Sie können die Lebensqualität weniger mobiler Bevölkerungsgruppen in ländlichen Regionen spürbar verbessern, die Kosten für die öffentliche Daseinsvorsorge im Verkehrsbereich signifikant senken und der Landflucht entgegenwirken. Gleichzeitig werden AMoD-Konzepte voraussichtlich auch zur Erreichung verkehrspolitischer und ökologischer Ziele beitragen.

Die technischen Voraussetzungen für eine Testfeldrealisierung sind mit den heute bereits von verschiedenen Herstellern verfügbaren vollautomatisierten Versuchsträgern bzw. Prototypen (bis hin zu in Kleinserie hergestellten Fahrzeugen) in der angemessenen Größenkategorie Minibus gegeben. Es ist daher nicht notwendigerweise erforderlich, dass Projektpartner des digitalen Testfeldes Dresden (oder anderer Reallabore) eigene Fahrzeugentwicklungen vornehmen. Da die heute vorhandenen technischen Lösungen für vollautomatisierte Shuttles jedoch noch große Entwicklungspotentiale besitzen und eigene Weiterentwicklungen entsprechender automatisierter (und vernetzter) Fahrzeugsysteme und Fahrfunk-

tionen ohnehin Gegenstand der Aktivitäten bisheriger Testfeldpartner, z. B. der IAV GmbH, in Dresden sind, bietet es sich an, eigene Versuchsträger zum Einsatz zu bringen oder an von externer Seite angeschafften Fahrzeugen eigene Fortentwicklungen und Modifikationen für den konkreten Einsatzzweck zu testen.

Die Antriebstechnologie der Versuchsträger spielt für die primär mit Auto FipS adressierten Zieldimensionen zwar nur eine untergeordnete Rolle. Mit Blick auf nahezu alle heute verfügbaren AMoD-Fahrzeuge (vgl. Anhang II) und den Zeithorizont der erwarteten Durchsetzung von AMoD-Diensten sind jedoch batterieelektrische Antriebe vorzuziehen. Des Weiteren wird ausdrücklich der Aufbau einer Roadside-Kommunikationsinfrastruktur empfohlen, da davon auszugehen ist, dass sich die später tatsächlich etablierenden Lösungen im Gegensatz zu den heute mehrheitlich schon verfügbaren nicht allein auf die eigene Fahrzeugsensorik verlassen werden. Wie aufgezeigt wurde, sind geeignete Kommunikationstechnologien hierfür auch bereits verfügbar (WLAN-V2X, LTE) bzw. stehen unmittelbar vor ihrer Markteinführung (Cellular-V2X).

Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit bzw. Vorteilhaftigkeit von AMoD-Konzepten für in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen in ländlichen Räumen wurde

VIII. Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse

in einer Vergleichsrechnung für die „Total Mobility Costs“ anhand des Use Cases „seniors transport“ für den vorgeschlagenen Testfeldkorridor Dippoldiswalde bestätigt (vgl. Kapitel VI) und wird im Allgemeinen auch von den Prognosen und Studien anderer Institutionen gestützt [71], [72], [79], [80].

Auch die rechtlichen Rahmenbedingungen stehen einer Testfeldrealisierung nicht entgegen. Aufgrund dieser positiven Gesamtbeurteilung wird hier eine Fortführung der mit der Grundlagenstudie Auto FipS angestoßenen Aktivitäten in Gestalt eines realen Testfeldes empfohlen. Bereits für die kommenden Jahre ist weltweit an verschiedenen Destinationen (z. B. zwischen Flughafenterminals und Parkplätzen) der regelmäßige Einsatz von AMoD-Fahrzeugen im Mischverkehr auf öffentlichen Straßen geplant. Für eine allgegenwärtige Verbreitung solcher Mobilitätsangebote gilt es zwar, noch verbliebene Barrieren, z. B. rechtlicher Art, zu beseitigen. Dennoch sollte eine Erprobung solcher Konzepte im Realverkehr schnellstmöglich erfolgen, damit die Kommunen und die Verkehrsteilnehmer frühzeitig von den korrespondierenden Verbesserungspotentialen profitieren und deutsche Unternehmen nicht den Anschluss an Innovationen und Wertschöpfung in diesem zukunfts-trächtigen Anwendungsfeld verlieren.

Mit der Fokussierung auf mobilitätseingeschränkte Personen in peripheren Räumen besitzt ein solches Testfeld auch eine hinreichende Abgrenzung zu den bereits laufenden Pilotversuchen in Deutschland.

Die im Projekt Auto FipS gewonnenen Erkenntnisse über die grundsätzlichen Einsatzfelder automatisierter Fahrzeuge für mobilitätseingeschränkte Personen in ländlichen Räumen, über die Eignung und Passfähigkeit für bestimmte Standorte im Untersuchungsgebiet und über entsprechende Umsetzungsmöglichkeiten, unter besonderer Berücksichtigung eines späteren wirtschaftlichen Betriebs, weisen letztlich eine Übertragbarkeit bzw. Weiterentwicklungsmöglichkeiten in drei verschiedenen Bereichen auf:

- (1) *Verwertung für den Aufbau und Betrieb eines oder mehrerer der vorgeschlagenen Testfeldkorridore als Ergänzung zum bestehenden digitalen Testfeld in Dresden,*
- (2) *Verwertung für die Initiierung und Realisierung entsprechender Testfelder in anderen peripheren Räumen Deutschlands,*
- (3) *Verwertung in künftigen lokalen bzw. regionalen (Nah-)Verkehrskonzepten und Verkehrsentwicklungsplänen peripherer Räume.*

Auf diese drei Verwertungsbereiche wird nachfolgend im Einzelnen näher eingegangen. Eine breitenwirksame Streuung der Projektergebnisse, insbesondere auf Ebene kommunaler Aufgaben- und Entscheidungsträger, erscheint in jedem Fall sinnvoll zur Sensibilisierung, Meinungsbildung und ggf. Mobilisierung der relevanten Akteure.

Erweiterung des bestehenden digitalen Testfelds in Dresden

Im digitalen Testfeld Dresden wird derzeit auf ersten Teststrecken (Wilschdorfer Landstraße, Teplitzerstraße, Bundestraße 170) mit der Erprobung automatisierten Fahrens in alltäglichen urbanen Verkehrssituationen begonnen. Die Ergebnisse von Auto FipS können dafür genutzt werden, das Testfeld der Landeshauptstadt um Einsatzszenarien und Versuchskorridore im peripheren Umfeld zu erweitern.

Im Rahmen der kombinierten Standort- und Use-Case-Analyse wurden für die beiden Kreisstädte Großenhain und Dippoldiswalde (als am geeignetsten eingeschätzte Standorte) detaillierte Testfeldprofile für die Use Cases „handicapped transport“, „school transport“ und „seniors transport“ unter Berücksichtigung von Kombinations- und Erweiterungsmöglichkeiten erarbeitet (vgl. Kapitel V). Diese beinhalten auch eine Abschätzung des Bedarfs an stationären Kommunikationsinfrastrukturen (RSUs).

Zusammen mit den vorgenommenen Erstabschätzungen für die Kosten des Aufbaus und Betriebes entsprechender Testfeldkorridore (vgl. Kapitel VI) bieten diese Beschreibungsprofile eine gute Entscheidungsbasis für den anzustrebenden Umfang und die inhaltliche Ausgestaltung möglicher Testfelderweiterungen. Dies beinhaltet gegebenenfalls auch die Priorisierung und die Auswahl eines einzelnen oder mehrerer der betrachteten Use Cases.

Des Weiteren bietet die erarbeitete Übersicht von Technologieträgern für AMoD-Services (vgl. Anhang II) eine gute Grundlage, um in Frage kommende Fahrzeugkonzepte und zugehörige Technologielieferanten zu identifizieren.

In nächsten Schritten wären mit den zentralen Stakeholdern vor Ort (Kommunalverwaltung, betreffende öffentliche bzw. soziale Einrichtungen, Verkehrsbehörden und -betriebe etc.) Abstimmungen hinsichtlich deren Interesse, den örtlichen Rahmenbedingungen, der Umsetzbarkeit und einer lokalen Schwerpunktsetzung vorzunehmen, die weiteren für die Realisierung benötigten Partner (Fahrzeug-/Prototypenhersteller, Technologielieferanten und -dienstleister, Forschungseinrichtungen etc.) innerhalb und außerhalb des bestehenden Testfeldkonsortiums anzusprechen und geeignete Finanzierungsquellen (Fördergelder und private Mittel) für die Testfelderweiterungen zu erschließen. Sollten die Abstimmungen ergeben, dass eine zeitnahe Umsetzbarkeit an den Standorten Großenhain oder Dippoldiswalde nicht gegeben ist, so können weitere Standorte im Großraum Dresden entsprechend der erarbeiteten Ranking-Liste geprüft werden. Eine Ableitung sinnvoller Testfeldprofile und Kostenschätzungen für diese weiteren Standorte können analog zum demonstrierten Vorgehen in Angriff genommen werden.

Wird eine entsprechende Testfelderweiterung tatsächlich initiiert, so sind zunächst in einer Aufbauphase die konkreten Einsatz- und Nutzungskonzepte für den Testfeldbetrieb zu erarbeiten, die entsprechenden technischen Voraussetzungen zu schaffen – d. h. kommunikationstechnische Infrastrukturen (RSUs) im Verkehrsraum zu errichten und in Betrieb zu nehmen, ein oder mehrere AMoD-Fahrzeuge zu beschaffen und ggf. neu zu instrumentieren und das vorgesehene Testsetting zu validieren (sofern erforderlich zunächst in einer abgesicherten Laborumgebung) – und rechtliche Vereinbarungen bezüglich der gegenseitig zu erbringenden Leistungen und Vergütungen zwischen den Beteiligten zu schließen. Des Weiteren sollte das Evaluierungskonzept für eine anschließende Erfolgsbewertung der Erprobungsphase weiterentwickelt werden.

Im Rahmen der eigentlichen Erprobungsphase sind die bis zu diesem Punkt vorgedachten AMoD-Beförderungskonzepte unter realen Bedingungen zu testen sowie mit wissenschaftlicher Forschung und mit Öffentlichkeitarbeit zu begleiten (insbesondere hinsichtlich der tatsächlichen Ausschöpfbarkeit von vermuteten Potentialen, der Nutzerakzeptanz und der Breitenwirksamkeit sowie der Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit für verschiedene Arten von Einrichtungen bzw. in unterschiedlichen Anwendungskontexten). Dabei wird in vielen Fällen eine schrittweise Erweiterung zu komplexeren Anwendungsszenarien sinnvoll sein.

Die Vorteile einer Anbindung eines solchen Testfeldkorridors an das schon bestehende Dresdner Testfeld liegen in einer gegenseitigen Ergänzung von bereits begonnenen und angedachten Untersuchungsschwerpunkten sowie von urbanen und peripheren Mobilitätskonzepten im Allgemeinen.

Die schon gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Infrastruktur- und Testfeldaufbau in Dresden und die dort zum Einsatz kommenden Ressourcen, Systeme und Plattformen erleichtern einen zusätzlichen Testfeldaufbau im peripheren Umfeld. Andererseits bringen die neuen Untersuchungsschwerpunkte von Auto FipS, hinsichtlich der Inklusion mobilitätseingeschränkter Personen und der Wirtschaftlichkeit von Mobilitätsangeboten, auch bisher nicht bzw. nur ganz am Rande betrachtete Fragestellungen in das Dresdner Testfeld ein, die auch für zukunftsfeste hochurbane Mobilitätskonzepte von großer Relevanz sind.

Vom stärkeren Blick auf die Anforderungen an funktionierende Geschäfts- und Betreibermodelle könnten auch die anderen Fachprojekte des digitalen Testfelds profitieren. Insbesondere die Anbindungsmöglichkeiten und die Synchronisierung von Stadt-Land-Verkehren durch wirtschaftlich tragfähige Mobilitätsangebote könnten das Dresdner Testfeld als zusätzliches Untersuchungsfeld sinnvoll ergänzen.

Realisierung von Testfeldern in anderen peripheren Räumen

Die gesamtgesellschaftliche Relevanz der vorliegenden Thematik – soziale Teilhabe mobilitätseingeschränkter Menschen und Aufrechterhaltung der Daseinsvorsorge im ländlichen Raum – ist deutschland- und europaweit sehr hoch. Damit ist grundsätzlich mit einer Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse dieser Grundlagenstudie (aber auch der Ergebnisse eines darauf aufbauenden Testfeldes) auf eine sehr hohe Zahl ähnlicher Siedlungsräume zu rechnen.

Neben den bereits laufenden Projekten zur Erprobung von autonomen Shuttles in verschiedenen Kontexten (z. B. für städtische und touristische Mobilität) überlegen derzeit viele Kommunen, Verkehrsbetriebe und Verbände eigene Pilotprojekte zu starten. Hier ergeben sich viele Anknüpfungspunkte mit Auto FipS, gerade bei der Verbindung verschiedener Anwendungsszenarien.

Das in Auto FipS angewandte Vorgehen und die dabei eingesetzte Methodik können für die konzeptionelle und inhaltliche Vorbereitung von AMoD-Testfeldern in anderen peripheren Räumen (losgelöst vom digitalen Testfeld Dresden) und für die dortige Auswahl geeigneter Versuchskorridore als „Blau-pause“ genutzt werden. So kann das multikriterielle Evaluierungskonzept jeweils als ein erster Ausgangspunkt lokaler Potentialabschätzungen dienen und die vorgeschlagene Methodik für das Standortscreening kann (mit den Erhebungsdaten der jeweils anderen Betrachtungsräume versehen) wiederverwendet wer-

den. In diesem Zusammenhang kann auch eine Anpassung oder Weiterentwicklung der Methodik sinnvoll sein, beispielsweise eine Einbeziehung weiterer Zieldimensionen oder das Ersetzen einzelner Zielkriterien durch andere, für spezifische Anwendungsfälle aussagekräftigere Kenngrößen.

Die erarbeitete Übersicht von Technologieträgern für AMoD-Services (vgl. Anhang II) kann auch hier wieder genutzt werden, um in Frage kommende Fahrzeugkonzepte zu identifizieren und die entsprechenden Technologielieferanten anzusprechen.

Die im Projekt erarbeiteten Erkenntnisse bezüglich technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Anforderungen, Hemmnisse und Risiken sind prinzipiell auch für alle anderen peripheren Räume gültig. Die sich an grundsätzliche Vorüberlegungen zur Errichtung eines Testfeldes anschließenden Prozesse der Testfeldinitiierung, des Testfeldaufbaus und der Erprobungsphase können analog, wie zuvor für das Dresdner Testfeld beschrieben, erfolgen.

Sofern eine Erweiterung des bestehenden digitalen Testfeldes Dresden um neue Versuchskorridore für die Auto-FipS-Thematik tatsächlich erfolgt, könnten auch die interessierten Stakeholder aus anderen ländlichen Regionen von den dort schon gewonnenen Erfahrungen einer realen Erprobung der Konzepte profitieren.

Verwertung in Verkehrskonzepten und Verkehrsentwicklungsplänen peripherer Räume

Für einen langfristigeren Betrachtungshorizont, d. h. losgelöst von der Möglichkeit zeitlich befristeter Testfelder und Pilotprojekte allgemein (bzw. von einer Testfelderweiterung in Dresden), bilden die inhaltlichen und methodischen Ergebnisse von Auto FipS ebenfalls einen guten Ausgangspunkt.

Automatisiertes Fahren und insbesondere AMoD-Angebote werden mittel- bis langfristig zweifelsohne wichtige, zu berücksichtigende Elemente einer nachhaltigen Verkehrsplanung auf lokaler und regionaler Ebene (und einer gesamthaften Regionalentwicklungsplanung) werden. Sie sind als zukünftige Bestandteile des Modal Split neben dem klassischen ÖPNV, dem MIV, dem Rad- und Fußverkehr in ein funktionierendes Gesamtverkehrskonzept und insbesondere auch in kommunale Elektromobilitätsstrategien einzubeziehen. Dabei können sie entscheidend zu einer Verlagerung in emissionsarme und nachhaltigere Verkehrsmodi beitragen.

Vor allem als Möglichkeit zur Ergänzung bzw. zur Wiederbelebung lokaler ÖPNV-Angebote im ländlichen Raum durch autonome und bedarfsgerechte Zubringerkonzepte sowie komplementäre (kooperative) Mobilitätsleistungen ergeben sich sehr große Potentiale. So können die verkehrliche Anbindung peripherer Wohnorte bzw. Siedlungsräume an die nächstgelegene Verkehrsstation, wie z. B. den (Bus-) Bahnhof mit Linienbetrieb, bzw. an die Oberzentren

verbessert und die Wirtschaftlichkeit entsprechender Verkehrsdienstleistungen erhöht werden. Auf diese Weise kann ein vom ÖPNV als Kernangebot getragenes, offenes Gesamtsystem für multimodale Reiseketten zwischen Stadt und Land geschaffen werden.

Bei der Erarbeitung nachhaltiger Verkehrskonzepte und Verkehrsentwicklungspläne ist die Eignung und Passfähigkeit spezifischer Ausgestaltungsformen von AMoD-Diensten zu den konkreten Mobilitätsbedürfnissen (spezifische Nutzergruppen und deren Anforderungen und Mobilitätszwecke, die Einflüsse auf die Verkehrsmittelwahl, Zahlungsbereitschaften, Hauptdestinationen, Entfernungen, Wegehäufigkeiten etc.) und zu den bereits vorhandenen Mobilitätsangeboten im jeweiligen Betrachtungsgebiet zu prüfen.

In Abhängigkeit von diesen Faktoren sind eine sinnvolle Gesamtsystemarchitektur und geeignete Ausgestaltungen der einzelnen Systemelemente zu bestimmen. Dies beinhaltet die an multimodalen Mobilitätsstationen verfügbaren Angebote und deren räumliche Reichweite, die benötigten Fahrzeugtypen und -größen, kommunikationstechnische Schnittstellen, die Art und den Umfang von Infrastrukturelementen sowie geeignete Bedienkonzepte und Betreibermodelle.

VIII. Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse

In der Grundlagenstudie Auto FipS wurden entsprechende Analysen ansatzweise für drei prototypische Anwendungsszenarien an zwei spezifischen Betrachtungsgebieten (Großenhain und Dippoldiswalde) durchgeführt. Analog dazu kann auch für andere Anwendungsszenarien und an anderen Orten vorgegangen werden.

Idealerweise werden alternative Umsetzungsoptionen zur lokalen Integration von AMoD-Diensten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und weiterer primär verfolgter Zielgrößen (Verbesserung der Verkehrssicherheit, der Verkehrseffizienz, der ökologischen Nachhaltigkeit etc.) bewertet, bevor sinnvolle Strategien abgeleitet und zugehörige Maßnahmenplanungen vorgenommen werden.

Die Methodik und das Rechenschema der in Auto FipS beispielhaft durchgeführten Lebenszyklusanalyse können genutzt werden, um potentielle monetäre Wirkungen im Sinne einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Mobilitätsangeboten in den zu betrachtenden ländlichen Regionen abzuschätzen und später auf die tatsächlich realisierten Erfolge zu überprüfen. Die identifizierten wesentlichen Kosteneinflussgrößen geben wichtige Hinweise darauf, mit Hilfe welcher Stellschrauben die Wirtschaftlichkeit von AMoD-Konzepten verbessert werden kann.

Das Evaluierungskonzept kann dann dazu genutzt werden, um AMoD-Potentiale bereits in zukünftige (Nah-)Verkehrskonzepte und Verkehrsentwicklungs-

pläne einfließen zu lassen. Das in Auto FipS angewandte Scoring-Modell zur Identifikation und Bewertung geeigneter Standorte kann in einer abgewandelten Form dazu genutzt werden, eine zeitliche Standort-Priorisierung für eine geplante Einführung von AMoD-Diensten vorzunehmen. So können gemeinsam mit den lokalen Verkehrsbetrieben und Mobilitätsanbietern vor Ort strategische Roadmaps entwickelt werden, welche Aussagen dazu treffen, wo und bis wann welche automatisierten Mobilitätsleistungen verfügbar sein sollen.

Eine frühzeitige Einbeziehung von AMoD-Konzepten in die langfristigen Verkehrsplanungen erlaubt es ländlichen Räumen zudem, sich als Innovationstandorte zu profilieren und damit auch positive wirtschaftspolitische Impulse in der Region zu initiieren (d. h. Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der lokalen Mobilitätsunternehmen, Förderung von regionalen Startups, Sicherung bzw. Schaffung von Arbeitsplätzen). Von besonderer Wichtigkeit sind dabei die Überführung der technisch-organisatorischen Konzepte in langfristig funktionsfähige Geschäftsmodelle und kooperative Wertschöpfungsketten der Personenbeförderung sowie der Wissenstransfer über geeignete Multiplikatoren (z. B. öffentliche oder halb-öffentliche Kompetenzstellen, Forschungseinrichtungen oder Branchenverbände).

IX.

ANHANG

Mobilitätskonzepte mit Flexibilisierungsoptionen

Bezeichnung	Beschreibung
Anrufbus	Häufig als Kleinbus eingesetzte Fahrzeuge (auch bezeichnet als Rufbus), die auf Anruf im bedarfsgesteuerten Flächenbetrieb ohne Fahrplan-, ohne Haltestellenbindung und mit Fahrtenbündelung verkehren und eine umstiegsfreie Beförderung zwischen verschiedenen Anfangs- und Endpunkten (von Haustür zu Haustür) ermöglichen. Beispielsweise für Behindertentransporte eingesetzt. Auch der Taxibetrieb weist gleiche Eigenschaften bei räumlicher und zeitlicher Flexibilisierung auf.
Anrufsammeltaxi/ Anrufsammelbus (AST-Verkehr)	Als Taxi (R-AST) oder Kleinbus / Midibus (R-Bus) eingesetzte Fahrzeuge, die im Richtungsbandbetrieb mit Fahrplanbindung zwischen festen Anfangs- und Endpunkten (Haltestellen) verkehren und innerhalb eines Korridors oder Sektors wenig genutzte Haltestellen nur nach Bedarf ansteuern. Im Unterschied zum Flächenbetrieb besteht eine festgelegte Bedienungsreihenfolge der Haltestellen und kein direkter Start-Zielort-Verkehr.
Anruflinienbus/ Anrufliniertaxi	Als Taxi oder Kleinbus / Standardbus eingesetzte Fahrzeuge (auch bezeichnet als L-Bus), die ähnlich dem konventionellen Linienbus verkehren, d. h. mit fester Fahrtroute und Fahrplanbindung, jedoch Haltestellen nur im Bedarfsfall bei Voranmeldung des Ein-/Ausstiegs ansteuern (Bedarfslinienbetrieb).
Bürgerbus	Kleinbus oder Pkw der ÖPNV-Fahrplanlücken im Linienbetrieb mit festen Haltestellenpunkten durch den Einsatz ehrenamtlicher Fahrer (mit kleinem Personenbeförderungsschein) deckt. Ausgerichtet auf die Bedürfnisse Älterer verkehrt dieser auch an Wochenenden nach Voranmeldung als Rufbus, d. h. ohne Linien- und Fahrplananbindung. Fahrtentgelte werden in Höhe des ÖPNV-Tarifs verrichtet; Fahrzeugfinanzierung und Betriebskostenentgeltung erfolgen durch den Landkreis. Die Organisationsberatung und Wartung übernimmt der Verkehrsbetrieb (Bsp. Angebot des VBB).
Bürgerfahrdienst	Eine Sonderform des Bürgerbusses sind die von Vereinen organisierten Fahrtangebote, die ausschließlich an Vereinsmitglieder gerichtet sind (z. B. Kirchengemeinden, Sportvereine) und als nicht-öffentliche Angebote gelten. Einsatzbeispiele sind Fahrten zu Wettbewerben oder Aufführungen. Das Fahrtangebot kann bspw. von Haustür-zu-Haustür organisiert sein. Als eine Sonderform des Bürgerfahrdienstes können Nachbarschaftsverkehre bzw. Mitnahmeverkehre subsumiert werden, bei der die Erbringung und die Vermittlung von Mobilität unter Privatpersonen (Verwandte, Freunde etc.) erfolgt.
Carpooling	Carpooling ist eine spezialisierte Form des Peer-to-Peer-Ridesharing, bei der Fahrgemeinschaften mit regelmäßiger Häufigkeit zwischen Privatpersonen gebildet werden (Berufs-/Ausbildungspendler), die einen gleichen oder ähnlichen Fahrtweg aufweisen. Das Fahrtziel wird regulär durch den Fahrer bestimmt, woraufhin sich potentielle Mitfahrer anschließen. Abfahrt- und Zielorte sind regulär zentrale Treffpunkte wie z. B. Pendlerparkplätze (künftig aber auch adressgenaue Abfahrt- und Zielorte). Die Fahrtkosten werden durch alle Mitfahrenden geteilt oder durch abwechselnde Fahrten kompensiert. Sowohl beim Carpooling, als auch beim Peer-to-Peer-Ridesharing wird das Fahrtangebot privat durchgeführt und die Vermittlungsleistung in der Regel gewerblich institutionalisiert erbracht. Hierfür stehen teilweise unterschiedliche Onlineplattformen (z. B. Pendlernetz.de für Carpooling) oder Plattformen für beide Ausprägungen (z. B. BlaBlaCar für Carpooling und Ridesharing) zur Verfügung. Siehe auch Peer-to-Peer-Ridesharing.
Carsharing (institutionalisiert)	Carsharing (auch bezeichnet als Business-to-Consumer-Carsharing oder gewerbliches Carsharing) ist eine automatisierte und kurzzeitige Anmietung von Fahrzeugen in Selbstbedienung. Dabei erfolgt eine gemeinschaftliche Verwendung von Fahrzeugen durch mehrere Nutzer zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten (Sharing-Economy). Der Nutzer wählt selbst die Start- und Rückgabezeit, den Fahrzeugtyp und den Ausleihstandort sowie ggf. den Rückgabestandort. Vom gewerblichen Carsharinganbieter (Fahrzeughalter) wird ein Fahrzeug und ein Zugangssystem (z. B. Buchungsplattform) gegen ein verbrauchsabhängiges Entgelt (nach Zeit oder Entfernung) und ggf. eine drop-off-Fee bereitgestellt. Zudem sind eine einmalige Zugangsgebühr für die Fahrzeugnutzung oder eine monatliche Grundgebühr als Fixkosten-Anteil zu entrichten. Es sind stationsgebundene Angebote von stationsungebundenen Angeboten (free-floating) zu unterscheiden, bei denen Zugang und Rückgabe über eine von mehreren dezentralen Stationen bzw. innerhalb eines festgelegten Aktionsradius (free-floating) erfolgt. In Abgrenzung zur Autovermietung werden die Nutzer Mitglied in einem Trägerverein oder sind registrierte Nutzer eines Unternehmens, sie erhalten daraufhin automatisierten Zugriff zu den Fahrzeugen und die Nutzung kann auch zu kürzeren Zeiten (Minutenabrechnung) erfolgen.

Bezeichnung	Beschreibung
Carsharing (Peer-to-Peer)	Peer-to-Peer-Carsharing (auch bezeichnet als Consumer-to-Consumer-Carsharing oder privates Carsharing) kennzeichnet eine gemeinschaftliche Nutzung von privaten Fahrzeugen zwischen Privatpersonen, d. h. Fahrzeughalter bleibt die Privatperson (Vermieter), die auch die Höhe des Nutzungsentgeltes festlegt. Die Übergabe des Fahrzeugs erfolgt zwischen Vermieter und Mieter individuell. Der Zugang zum Fahrzeug und die Vermittlung zwischen Anbietern und Nachfragern kann privat bzw. nachbarschaftlich organisiert oder durch ein gewerbliches Unternehmen institutionalisiert sein. Ist die Fahrzeugvermittlung institutionalisiert, so wird für die Vermittlungsleistung (häufig über ein Onlineportal bzw. eine Smartphone-App) und für den Versicherungsschutz (Kfz-Haftpflicht) zwischen Vermieter und Mieter ein Entgelt erhoben.
Chauffeur-Fahrdienst	Ist ein kollaborativer Fahrdienst (ähnlich dem Taxiverkehr), bei dem ein Fahrzeug inklusive Fahrer für einen ex ante festgelegten Zeitraum telefonisch oder über eine Onlineplattform bzw. App gebucht wird. Anfangs-, Endpunkt und Abholzeit werden durch den Fahrgast bestimmt. Der Festpreis wird ebenfalls ex ante festgelegt. Im Markt existieren Angebote mit eigener Fahrzeugflotte und Angebote die ihre Leistung auf die Vermittlung von lokal ansässigen Fahrdiensten ausgerichtet haben und keine eigene Fahrzeugflotte besitzen. Adressierte Fahrgäste können Privat- oder Firmenkunden sein oder in weitergehender Spezialisierung an Schüler, behinderte Menschen oder kranke Personen gerichtet sein.
Corporate Carsharing	Ist eine Sonderform des Carsharing, das explizit an Unternehmenskunden gerichtet ist. Hierbei kooperieren Unternehmen mit Carsharinganbietern, indem bspw. den Unternehmensmitarbeitern Zugang zu Sharingfahrzeugen für Dienstfahrten oder auch für die private Nutzung ermöglicht wird. Zum Teil wird auch die Ausprägungsform unter Corporate Carsharing subsumiert, bei der unternehmenseigene Poolfahrzeuge in ungenutzten Zeiträumen an andere gewerbliche Kunden oder Privatpersonen entgeltlich zur Verfügung gestellt werden.
Dorfauto und Gemeindebus	Kennzeichnet eine Sonderform des Carsharing, bei der eine Gemeinde oder ein Trägerverein Fahrzeugeigentümer ist und für die gemeinschaftliche Nutzung (z. B. gerichtet an alle Gemeindemitglieder oder an Mitglieder des Trägervereins) gegen Entgelt zur Verfügung stellt. Neben dem Carsharing existieren Überschneidungen zu Bürgerbussen und Fahrdienstangeboten.
Fahrzeugmietung	Ist die individuelle Nutzung eines Fahrzeugs, das für bestimmte Mobilitätszwecke angemietet und selbst gefahren wird. Der Ort für Anmietung und Rückgabe unterscheidet sich in der Regel nicht, kann aber im Einzelfall an anderen, vom Vermieter festgelegten Orten erfolgen (bspw. im Fernverkehr). Die Vermietungsleistung wird zumeist zeitabhängig (häufig Tagesmiete als Berechnungsgrundlage) beim Vermieter bezahlt, deren Höhe sich u. a. an der Art des gemieteten Fahrzeugs orientiert.
Linientaxi	Kennzeichnet die Bedienung von Linien mit festem Fahrplan und festen Haltepunkten (ohne Bedarfsorientierung), die häufig mit einem Großraum-Pkw erfolgt. Im Unterschied zum Bürgerbus ist der Fahrer im angestellten Berufsverhältnis beschäftigt. Eine Voranmeldung ist nur bei Gruppenfahrten erforderlich.
Multimodale Mobilitätsplattform	Ist ein Internet-/Smartphone-App-basiertes Informationssystem über verkehrsmittelübergreifende öffentliche und kollaborative Mobilitätsangebote mit integrierter Routenplanung/Navigationshilfe als pre-trip oder on-trip-Information und mit partieller Buchungs-option bzw. Weiterleitungsfunktion. Die Plattform informiert regulär anbieterübergreifend über Verfügbarkeiten, Abfahrts-/Ankunftszeiten, CO ₂ -Bilanz, teilweise über Fahrtkosten von verschiedenen Verkehrsmitteln für den selbst gewählten Start- und Zielort. Das Plattformangebot umfasst nicht die Erbringung einer Mobilitätsleistung an sich, sondern es bündelt und verkettet bestehende Angebote und informiert den Nutzer über Mobilitätsalternativen.
Pendlerfahrdienst	Teilweise von öffentlichen Verkehrsunternehmen bereitgestellte oder durch privatwirtschaftliche Unternehmen durchgeführte Linienfahrten mit Bussen oder Kleinbussen (auch bezeichnet als Commuting-Service oder Shuttlebus), die sich auf Pendlerfahrten fokussieren und nach Fahrplan fest getaktet sind. Diese Angebote werden häufig in Gebieten und zu Zeiten mit hohen Verkehrsaufkommen geleistet und sollen den MIV sowie ÖPNV entlasten. Regelmäßig werden als Ein- und Ausstiegspunkte ÖPNV-Haltepunkte oder Park-&-Ride-Plätze genutzt und keine Zwischenhaltepunkte durchgeführt.
Ridepooling	Ridepooling (auch bezeichnet als dynamisches Ridesharing, On-Demand-Ridesharing oder Shuttle-on-Demand-Service) kennzeichnet eine Form kollaborativer Mobilität, bei der parallel zur begonnenen Fahrt fortlaufend weitere Fahrtangebote an Mitfahrer vermittelt werden und die

Bezeichnung	Beschreibung
(Fortsetzung)	
Ridepooling	<p>Wegstrecke des Fahrzeugs daran angepasst optimiert wird. Hierzu werden GPS-gestützt die Positionen von potentiellen neuen Mitfahrern mit der aktuellen Position des Fahrzeugs abgeglichen und virtuelle Haltepunkte dynamisch entlang der Reiseroute als Zugangspunkte vorgeschlagen, wobei Wartezeit und Umwege mittels eines intelligenten Algorithmus gleichzeitig minimiert werden. Der Fahrtweg wird so mit einer Gruppe von ca. 6-8 Passagieren mit ähnlichem Fahrtziel oder einem Fahrtziel entlang der optimierten Route geteilt. Es werden virtuelle Haltepunkte mit kurzen Wege- und Wartezeiten für die Mitfahrenden bedient. Wobei eine Haustür-zu-Haustür-Beförderung angestrebt wird. Die Bestellung und Buchung der Fahrt erfolgt über ein mobiles Endgerät. Auch die Bezahlung wird darüber bargeldlos realisiert. Somit kann es als Weiterentwicklung eines Rufbus-Angebotes aufgefasst werden. Die Beförderungstarife variieren zwischen den verschiedenen Anbietern, orientieren sich aber an lokalen Entgelten für die Beförderung im Taxi und dem ÖPNV.</p>
Ridesharing (Peer-to-Peer)	<p>Peer-to-Peer Ridesharing umfasst private Fahrgemeinschaften (auch bezeichnet als Mitfahrgelegenheit, Mitfahrzentrale, Fahrgemeinschaftsbörse, Ridepooling, Carpooling) mit gelegentlicher (Gelegenheitspendler) oder regelmäßiger (Berufs-/Ausbildungspendler) Häufigkeit. Regelmäßig durchgeführte Fahrgemeinschaften werden in einer stringenteren Abgrenzung als Carpooling bezeichnet. Private Personen werden dabei von anderen Privatpersonen mit dem eigenen Fahrzeug auf einem spezifischen gemeinsamen Weg mitgenommen. Haltepunkte werden individuell zwischen Fahrer und Mitfahrer vereinbart. Die Vermittlung verläuft häufig institutionalisiert über eine Smartphone-App bzw. Internet-Webseite eines Intermediärs oder stationär. Zusätzlich organisiert der Intermediär Insassenhaftpflichtversicherungen für die Mitfahrer. Fahrer und Mitfahrer teilen sich die Fahrtkosten. Die Fahrtkostenhöhe darf in Deutschland gemäß PBefG lediglich kostendeckend sein und nicht der Gewinnerzielungsabsicht dienen. Zusätzlich wird an den Intermediär eine Vermittlungsgebühr (Fee) entrichtet, die häufig der Mitfahrer trägt. Siehe auch Carpooling.</p> <p>Sonderform Mobilfalt: Das Angebot setzt den Schwerpunkt auf die Vernetzung von Mitnahme im privaten Pkw und den ÖV-Linienerkehr. Pkw-Fahrten werden in den ÖV-Fahrplan integriert. Haltepunkte befinden sich an gekennzeichneten ÖV-Haltestellen. Die Fahrtorganisation erfolgt über eine Informations-, Buchungs- und Abrechnungsplattform (betrieben vom Landkreis bzw. Verkehrsbetrieb). Nutzer zahlen 1-2 Euro je Strecke. Die Fahrtanbieter erhalten im Gegenzug 30 ct./km.</p>
Ridesourcing	<p>Ridesourcing (auch bezeichnet als Ridehailing, Rideselling, Ridematching oder Parataxis) bezeichnet die Durchführung von Fahrtangeboten durch Fahrer mit einer gewerblichen Anmeldung (als unlizenzierter "Taxidienst"). Die Vermittlung von Fahrtangeboten und potentiellen Fahrgästen erfolgt über eine Onlineplattform oder App einer Transportation Network Company (auch als Mobility Service Provider bezeichnet, wobei der Mobility Service Provider regulär über einen eigenen Fahrzeugpool verfügt). Der Ridesourcing-Anbieter beschäftigt somit selbst kein Fahrpersonal und besitzt keinen eigenen Fuhrpark. In Unterscheidung zum Carpooling und Peer-to-Peer-Ridesharing bestimmt beim Ridesourcing der Fahrgast selbst das Fahrtziel und die gewerblichen Fahrer verfolgen eine Gewinnerzielungsabsicht, weshalb die Fahrtpreise die Betriebskosten durch einen Gewinnaufschlag übersteigen, aber unterhalb der lokal gültigen Taxipreise sind. In Unterscheidung zum Ridepooling wird das Ridesourcing nicht durch eigenes professionellen Fahrdienstpersonal durchgeführt, d. h. die Fahrer sind nicht zwingend im Besitz eines Personenbeförderungsscheins und müssen keine Ortskundeprüfung vorweisen. Zudem findet die Fahrt in der Regel ohne weitere Mitfahrer statt. Derzeit sind Ridesourcing-Angebote in Deutschland nicht PBefG-konform und somit nicht zulässig.</p>
Switched Mode	<p>Kennzeichnet eine multifunktionale Bedienform, die eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von bestehenden (Linienbus)-Angeboten adressiert, bei der das Fahrzeug tageszeitlich differenziert unterschiedliche Funktionen erfüllt. Dies kann sich bspw. beziehen auf die Güterbeförderung am Tag und die Personenbeförderung in Schwachlastzeit in der Nacht. Hierbei können zusätzliche Mieteinnahmen durch die Vermietung an Güterbeförderer erzielt werden.</p>
Taxiverkehr	<p>Häufig auf Ballungsgebiete beschränktes individuelles Mobilitätsangebot mit dem Pkw, das dem öffentlichen Gelegenheitsverkehr zuzuordnen ist. Der Mitfahrer vereinbart durch telefonische Voranmeldung (oder via Smartphone-App) den Zu-/Abgangspunkt. Für die Beförderungsleistung erhält der konzessionierte Taxibetrieb (Privatunternehmen oder Verkehrsbetriebe) ein Entgelt, welches aus fixen und entfernungsabhängigen Komponenten besteht und durch Vorgaben der jeweiligen städtischen Taxiverordnung festgesetzt wird.</p>
Trambus	<p>Sind Erweiterungen des konventionellen Linienerkehrs, bei denen die Fahrgäste zwischen den Haltestellen bzw. abseits des Liniennetzes aussteigen können. Der Einstieg kann an nicht festen Haltestellen per Handzeichen erfolgen.</p>

Fahrzeugkonzepte und Technologieträger für AMoD-Services

Hersteller / Modell	Technische Spezifikationen	Marktverfügbarkeit
Navya SAS / Arma DL4 „AUTONOM SHUTTLE“	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 15 Personen (11 Sitzplätze, 4 Stehplätze); Zuladung: 1.050 kg Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit/Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 25 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 33 kWh Batterie, autonome Reichweite ca. 9 Betriebsstunden, Ladezeit ca. 4-8 Stunden Sensorik und Ausstattung: 8 Lidarsensoren, Front- und Rückkameras, Lokalisierung und Positionserfassung mittels GPS RTK und ergänzender Odometrie, V2X-fähig; ausklappbare Rampe für barrierefreien Zugang (optional auch automatisch); 360° Innenkamera und Fahrgastkommunikation; Fahrzeugplattform von Lignier 	<ul style="list-style-type: none"> seit 2015 erhältlich bisher > 100 Fahrzeuge produziert und > 65 Fahrzeuge verkauft weltweiter Einsatz auf Privatgeländen und im öffentlichen Verkehrsraum (Testbetrieb); Demotouren Preis Grundmodell ca. 200.000 EUR + 35.000 bis 50.000 EUR pro Jahr für Systemintegration, Monitoring, Wartung und Service
Navya SAS / „AUTONOM CAB“	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 6 Personen ; Zuladung: 500 kg Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: ca. 90 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 50 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 22 kWh oder 33 kWh Batterie, autonome Reichweite max. 10 Betriebsstunden, Ladezeit ca. 5-9 Stunden Sensorik und Ausstattung: 10 Lidar- und 4 Radarsensoren, 6 Kameras, 2 GPS-RTK-Antennen, Odometrie- und Inertialsensoren (dreifache Redundanz), V2X-OBU; Fahrgastkonnektivität, -App und -Informationssystem (LCD-Displays) 	<ul style="list-style-type: none"> voraussichtlich ab Q3/2018 erhältlich Vermarktung als „weltweit erstes Robotertaxi“ Preis Grundmodell ca. 250.000 EUR + Zusatzkosten für Systemintegration, Monitoring, Wartung und Service
Easymile SAS / EZ 10	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 15 Personen (8 Sitzplätze, 7 Stehplätze); Zuladung: 1.650 kg Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: 40 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 20 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 8 kWh Batterie, autonome Reichweite bis zu 14 Betriebsstunden, Ladezeit ca. 7 Stunden Sensorik und Ausstattung: Lidarsensoren, Front- und Rückkameras, GPS zur Eigenlokalisierung, SLAM (Simultane Localization And Mapping); eingebaute Zugangsrampe für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste; Fahrzeugplattform von Lignier. 	<ul style="list-style-type: none"> seit 2014 erhältlich weltweite Erprobung an mehr als 60 Standorten Preis ca. 200.000-220.000 EUR für Fahrzeug und Software; zzgl. Betriebskosten und Kosten für Training, Supervisor etc.
Local Motors, Inc. / OLLI	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 9 bis 12 Personen; Zuladung: 800 kg Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: 40 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 16 kWh Batterie, Reichweite ca. 60 km, Ladezeit ca. 4 Stunden Sensorik und Ausstattung: 3 Lidar- und 5 Radarsensoren, Kameras optional, 2 GPS-Antennen; IBM-Watson-Sprachsteuerung (Künstliche Intelligenz) 	<ul style="list-style-type: none"> seit 2016 Erprobung an Standorten in den USA und Europa für Feldversuche erhältlich, wird noch weiterentwickelt bisher noch keine Preisankündigung
next future transportation inc. / NX1 pods	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 10 Personen (6 Sitzplätze, 4 Stehplätze) Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: 40 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 20 km/h Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 3 Betriebsstunden, Ladezeit ca. 6 Stunden Sensorik und Ausstattung: Lidarsensoren, Kameras etc.; modularisiertes Konzept mit flexibel zu einem Gesamtfahrzeug koppelbaren Modulen 	<ul style="list-style-type: none"> noch nicht kommerziell verfügbar seit 2018 erste Tests mit der Roads and Transport Authority in Dubai
2getthere B.V. / PRT (SAV)	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 4 Erwachsene + 2 Kinder, Zuladung: 650 kg; Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: 40 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 19 kWh Batterie, Reichweite ca. 50-75 km Sensorik und Ausstattung: Lidar- und Radarsensoren, Kameras im Fahrzeug, Kalibrierungsmagnete in der Verkehrsinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> noch nicht kommerziell verfügbar momentan schrittweise Weiterentwicklung der eigenen kommerziell verfügbaren APM (Automated People Mover) für dedizierte Fahrwege zu Systemen, die auch im öffentlichen Verkehrsraum mit Mischverkehr agieren
2getthere B.V. / GRT (SAV)	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: 24 Personen (8 Sitzplätze, 16 Stehplätze); Zuladung: 1.918 kg Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) Höchstgeschwindigkeit: 60 km/h Antrieb: batterieelektrisch, 37 kWh Batterie, Reichweite ca. 50 km Sensorik und Ausstattung: Lidar- und Radarsensoren, Kameras im Fahrzeug, Kalibrierungsmagnete in der Verkehrsinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Testfeld Rivium Gewerbehafen (Region Rotterdam): seit 2018 Regelbetrieb unbegleiteter „Park-Shuttles“ auf öffentlichen Straßen
Paravan GmbH / CLOUi	<ul style="list-style-type: none"> Kapazität: bis zu 9 Personen, auch mit Rollstuhl; Zuladung: ca. 1.600 kg; Automatisierungsgrad: Level 1 bis Level 5 Höchstgeschwindigkeit: 80km/h in Level 1 und 20km/h in Level 5 Antrieb: batterieelektrisch oder Brennstoffzelle, Reichweite ca. 10 Betriebsstunden Sensorik und Ausstattung: 7 Lidar-, 3 Ultraschallsensoren, optional Kamera, Radar und V2X-OBU; Fahrzeugkonzept speziell für die Bedürfnisse schwerbehinderter Personen (Luftfahrwerk für Fahrzeugabsenkung, Lift für barrierefreien Zugang), flexibel anpassbare Karosserie und Innenausstattung; Drive-by-wire-Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> noch nicht kommerziell verfügbar Prototyp 2017 auf IAA vorgestellt momentan Aufbau einer touristischen Teststrecke in der Schwäbischen Alb

Hersteller / Modell	Technische Spezifikationen	Marktverfügbarkeit
IAV GmbH / HEAT-Bus und OTS 1.0-Demonstrator	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 16 Personen (davon 10 Sitzplätze) • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 50 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 58 km • Sensorik und Ausstattung: Lidar- und Radarsensoren sowie Kameras im Fahrzeug, barrierefreier Zugang über Rampe, RSUs und Streckensensorik, V2X-Kommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Testbetrieb OTS 1.0 ab Mitte 2018 auf Siemens-Gelände in München • darauf aufbauend im Projekt HEAT: ÖPNV-Erprobung in der Hamburger HafenCity ab 2019
Continental AG / CUBE (Continental Urban Mobility Experience)	<p>Basiert auf EZ 10 von Easy Mile SAS – siehe dortige Spezifikationen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • derzeit Erprobung am Continental-Standort in Frankfurt am Main und auf dem Gelände der FH Frankfurt
Continental AG / BEE (Balanced Economy and Ecology Mobility Concept)	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 2 Personen • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 60 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 350 km • Ausstattung: austauschbare Transportkapsel, auch für behinderte Menschen 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • derzeit nur als Mock-up existent
Schaeffler-Gruppe Mover	<p>Variablen Elektrofahrzeugkonzept mit individualisierbarem Aufbau für Personen- oder Gütertransporte und hochautomatisierten bis autonomen Fahrfunktionen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Prototyp in Entwicklung
Volkswagen AG / SEDRIC	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 4 bis 6 Personen • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 60 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 30 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 400 km • Sensorik und Ausstattung: Radar, Lidar, Kameras etc. verschiedene SEDRIC-Modellfamilien vorgesehen, u. a. „Schoolbus“ 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • momentan Tests auf dem VW-Versuchsgelände bei Wolfsburg
e.GO Mobile AG / e.GO Mover	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 13 Personen (8 Sitzplätze, 5 Stehplätze) • Automatisierungsgrad: Level 0 bis Level 4 (vollautomatisiert) • Antrieb: batterieelektrisch, bis zu 70 kWh Batterie, Reichweite ca. 10 Betriebsstunden • Sensorik und Ausstattung: Radar, Lidar, Kameras etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • voraussichtlich verfügbar für Testflotten ab 2019 • ab 2021 Erprobung mit Automatisierungslevel 4 geplant
RDM Group (Aurrigo) / PodZero und LUTZ Pathfinder	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 4 Personen (PodZero), 2 Personen (LUTZ Pathfinder) • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 25 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 12 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 100 km • Sensorik und Ausstattung: Kameras, Radar und Lidar, barrierefreier Zugang für behinderte Personen, insbesondere Rollstuhlfahrer, schwerpunktmäßig Mikromobilitätslösung für die erste und letzte Meile (L-SATS: Low-Speed Autonomous Transport System; z. B. für Fußgängerzonen, Flughäfen, Shopping Malls, Kulturstätten, Campusgelände) 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • PodZero baut auf dem LUTZ Pathfinder (Testfeld in Milton Keynes) auf • Prototypenentwicklung und Fertigung kleiner bis mittlerer Stückzahlen für Testfelder
Easymile SAS und TU Delft / WEpod	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 6 Personen • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 40 km/h; Fahrgastbeförderungsgeschwindigkeit: ca. 8 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, 8 kWh Batterie • Sensorik und Ausstattung: Kameras, Radar- und Lidarsensoren etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Forschungsprojekt der TU Delft
Singapore Technologies Engineering Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: verschiedene Größen (15, 22 und 36 Sitzplätze) • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 60 km/h • Antrieb: batterieelektrisch • Sensorik und Ausstattung: Radar, Lidar, GPS, Odometrie etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • noch nicht kommerziell verfügbar • Tests ab 2019 in Sentosa
Volvo Buses AB / Volvo 7900 Electric (als Plattform)	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 95 Personen (34 Sitzplätze, 61 Stehplätze) • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Antrieb: batterieelektrisch, 76 kWh Batterie, Schnellladezeit ca. 6 min • Sensorik und Ausstattung: Kameras, Lidar, GPS etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • noch nicht kommerziell verfügbar • F&E-Projekt mit der Nanyang Technological University • Tests ab 2019 in Singapur
May Mobility Inc.	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 6 Sitzplätze • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 15 Meilen/h • Antrieb: batterieelektrisch • Modifizierte Fahrzeugplattform von Polaris Industries Inc.; Fahrzeugzulieferer ist Magna Internat. Inc. • Low-Speed-Shuttles für eigenen Mikrotransit-Service 	<ul style="list-style-type: none"> • noch nicht kommerziell verfügbar • Prototypentests seit 2018 in Detroit
Sony Corp. / SC-1	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 3 Personen • Automatisierungsgrad: teleoperiertes Fahren in Level 3 bzw. Level 4 • Höchstgeschwindigkeit: ca. 20 km/h • Sensorik und Ausstattung: Radar, Lidar, Kameras etc.; Fokus auf Entertainment der Fahrgäste (Augmented-Reality-Funktionen und Interaktion mit künstlicher Intelligenz) 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • nur Konzeptfahrzeug

Hersteller / Modell	Technische Spezifikationen	Marktverfügbarkeit
Rinspeed AG / Snap	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 4 Personen • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 80 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, 12 kWh Batterie, Reichweite bis zu 100 km • Sensorik und Ausstattung: Radar, Lidar, Kameras etc.; 5G-V2X; modular trennbarer Innenraum; User Accounts mit Cloud-Gesichtserkennung, sprachgesteuerter Assistent 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • nur Konzeptfahrzeug
Baidu, Inc. und King Long Ltd./ Apolong	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 14 Personen • Automatisierungsgrad: Level 4 (vollautomatisiert) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 70 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 100 km, Ladezeit ca. 2 Stunden • Sensorik und Ausstattung: Lidar, Radar, Kameras etc.; Fahrgast-Interaktion mit künstlicher Intelligenz; AR-Navigation 	<ul style="list-style-type: none"> • Beginn der Serienproduktion 2018 • Markteinführung zunächst nur in China, international später
MOIA GmbH (Volkswagen) / +6	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 6 Personen • Automatisierungsgrad: Level 0 bzw. Level 1 (assistiert) • Antrieb: batterieelektrisch, 12 kWh Batterie, Reichweite ca. 300 km, Ladezeit ca. 30 min • Ausstattung: explizit konzipiert als Kleinbus für Ridepooling 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotphase +6 ab 2019 in Hamburg • keine Automatisierung des +6 aber autonomer MOIA-Shuttle wird mit Aurora Innovation, Inc. entwickelt
Auro Robotics (Ridecell, Inc.) / Auro	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: verschiedene Größen (2, 6 und 12 Sitzplätze) • Automatisierungsgrad: Level 4 (vollautomatisiert) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 25 km/h • Antrieb: batterieelektrisch, Reichweite ca. 150 km, Ladezeit ca. 3 Stunden • Ausstattung: Lidar, Radar, Kameras etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • momentan in Erprobung
Toyota Corp./ e-Palette	Elektrifiziertes autonomes Mehrzweckfahrzeug in drei Fahrzeuglängen (4 bis 7 m) mit variablen Innenraumkonzepten (z. B. als Lieferwagen, Bus, mobiler Supermarkt) und barrierefreiem Zugang	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Erstdemonstration bei olympischen Spielen in Tokio 2020 geplant
Renault S. A. / EZ-GO	Elektrifiziertes Robo-Taxi für die autonome Fortbewegung von bis zu 6 Passagieren mit bis zu 50 km/h und mit einem barrierefreien Zugang über eine Station bzw. Rampe	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • nur Konzeptfahrzeug
Fisker, Inc. / Orbit	Elektrifizierter autonomer Shuttle für den urbanen Raum mit 400 km Reichweite; Entwicklung gemeinsam mit der Hakim Unique Group	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • 2019 erste Erprobungen geplant
Projektpartner UNICARagil / AUTOtaxi und AUTOshuttle	BMBF-Projekt zur Entwicklung autonomer Elektrofahrzeuge mit modularem Aufbau für verschiedene Anwendungsfälle: darunter Ridesourcing/-pooling und koppelbare Shuttles	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Entwicklung und Erprobung von Konzeptfahrzeugen bis 2022
KT Corp. / 5GaaVP	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazität: 45 Sitzplätze • Automatisierungsgrad: Level 5 (fahrerlos) • Höchstgeschwindigkeit: ca. 70 km/h • Ausstattung: Lidarsensoren, Versuchsträger schwerpunktmäßig für die Lokalisierungs- und hybriden Kommunikationslösungen (5G, 5G-V2X, WLAN) des Konzerns KT 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht kommerziell verfügbar • Erprobung ab 2018 im Testfeld Pangyo Zero City

Standortanalyse – Rangliste untersuchter Testfeldstandorte

Rangplatz	Use Case school transport	Gesamtnutzwert	Use Case seniors transport	Gesamtnutzwert	Use Case handicapped transport	Gesamtnutzwert	
1	Großenhain, Stadt	0,775	Dippoldiswalde, Stadt	0,693	Großenhain, Stadt	0,817	Top 5
2	Dippoldiswalde, Stadt	0,722	Großenhain, Stadt	0,571	Dippoldiswalde, Stadt	0,782	
3	Nossen, Stadt	0,485	Radeburg, Stadt	0,444	Striegistal	0,404	
4	Klipphausen	0,477	Klipphausen	0,371	Panschwitz-Kuckau	0,358	
5	Sebnitz, Stadt	0,433	Tharandt, Stadt	0,355	Bernsdorf, Stadt	0,352	
6	Halsbrücke	0,376	Glashütte, Stadt	0,352	Nossen, Stadt	0,349	Überdurchschnitt
7	Striegistal	0,367	Altenberg, Stadt	0,345	Sebnitz, Stadt	0,336	
8	Tharandt, Stadt	0,367	Halsbrücke	0,344	Altenberg, Stadt	0,322	
9	Altenberg, Stadt	0,359	Bad Gottleuba-Berggießhübel	0,336	Halsbrücke	0,322	
10	Stolpen, Stadt	0,351	Lichtenberg/Erzgeb.	0,328	Klipphausen	0,319	
11	Bernsdorf, Stadt	0,351	Nossen, Stadt	0,325	Demitz-Thumitz	0,314	
12	Ebersbach (bei Großenhain)	0,350	Striegistal	0,308	Ebersbach (bei Großenhain)	0,308	
13	Bobritzsch-Hilbersdorf	0,350	Sebnitz, Stadt	0,305	Bad Gottleuba-Berggießhübel	0,303	
14	Radeburg, Stadt	0,336	Bernsdorf, Stadt	0,303	Schmölln-Putzkau	0,294	
15	Königsbrück, Stadt	0,335	Ebersbach (bei Großenhain)	0,295	Großschirma, Stadt	0,294	
16	Lommatzsch, Stadt	0,333	Großschirma, Stadt	0,287	Göda	0,280	
17	Wachau (Sachsen)	0,322	Arnsdorf	0,278	Glashütte, Stadt	0,278	
18	Demitz-Thumitz	0,319	Stolpen, Stadt	0,265	Priestewitz	0,273	
19	Stauchitz	0,317	Demitz-Thumitz	0,254	Stolpen, Stadt	0,272	
20	Klingenberg (Sachsen)	0,317	Göda	0,250	Arnsdorf	0,267	
21	Göda	0,312	Klingenberg (Sachsen)	0,250	Frauenstein, Stadt	0,258	
22	Rabenau, Stadt	0,308	Schmölln-Putzkau	0,248	Klingenberg (Sachsen)	0,255	
23	Elstra, Stadt	0,302	Niederau	0,234	Königsbrück, Stadt	0,247	
24	Arnsdorf	0,295	Bad Schandau, Stadt	0,231	Bobritzsch-Hilbersdorf	0,234	
25	Großschirma, Stadt	0,293	Bobritzsch-Hilbersdorf	0,227	Schönsteichen	0,229	
26	Schmölln-Putzkau	0,282	Wachau (Sachsen)	0,227	Radeburg, Stadt	0,227	
27	Glashütte, Stadt	0,277	Priestewitz	0,209	Stauchitz	0,225	
28	Priestewitz	0,270	Hohnstein, Stadt	0,206	Elstra, Stadt	0,224	
29	Niederau	0,263	Haselbachtal	0,194	Hirschstein	0,215	
30	Schwepnitz	0,263	Weißborn/Erzgeb.	0,194	Oberschöna	0,212	
31	Panschwitz-Kuckau	0,259	Lampertswalde	0,191	Lommatzsch, Stadt	0,207	
32	Haselbachtal	0,259	Frauenstein, Stadt	0,185	Tharandt, Stadt	0,201	
33	Bad Gottleuba-Berggießhübel	0,258	Rabenau, Stadt	0,184	Weißborn/Erzgeb.	0,200	
34	Königstein/Sächs. Schweiz	0,255	Oberschöna	0,182	Burkau	0,197	
35	Hirschstein	0,250	Elstra, Stadt	0,179	Haselbachtal	0,194	
36	Oberschöna	0,243	Stauchitz	0,177	Lichtenberg/Erzgeb.	0,190	
37	Weißborn/Erzgeb.	0,241	Lohmen	0,175	Hohnstein, Stadt	0,189	
38	Burkau	0,228	Thiendorf	0,172	Bad Schandau, Stadt	0,184	
39	Lohmen	0,226	Lommatzsch, Stadt	0,171	Niederau	0,184	
40	Dürrröhrsdorf-Dittersbach	0,223	Diera-Zehren	0,169	Mulda/Sa.	0,180	
41	Käbschütztal	0,222	Mulda/Sa.	0,168	Lampertswalde	0,179	
42	Diera-Zehren	0,220	Burkau	0,167	Rabenau, Stadt	0,178	
43	Bad Schandau, Stadt	0,219	Hirschstein	0,167	Wachau (Sachsen)	0,177	
44	Struppen	0,215	Schönsteichen	0,164	Lohmen	0,155	
45	Schönsteichen	0,212	Käbschütztal	0,161	Diera-Zehren	0,150	
46	Lichtenberg/Erzgeb.	0,207	Dürrröhrsdorf-Dittersbach	0,158	Schwepnitz	0,145	
47	Lampertswalde	0,203	Königstein/Sächs. Schweiz,	0,147	Königstein/Sächsische Schweiz	0,141	
48	Mulda/Sa.	0,197	Reinsberg	0,144	Dürrröhrsdorf-Dittersbach	0,138	
49	Frauenstein, Stadt	0,197	Struppen	0,133	Käbschütztal	0,137	
50	Hohnstein, Stadt	0,186	Großharthau	0,132	Thiendorf	0,131	
51	Thiendorf	0,184	Bahretal	0,122	Bahretal	0,128	
52	Großharthau	0,179			Struppen	0,127	
53	Reinsberg	0,170			Großharthau	0,126	
54	Bahretal	0,140					
	Mittelwert	0,29821	Mittelwert	0,249	Mittelwert	0,253	

Total Mobility Costs für Robo-Shuttle, MSP, Taxi und ÖPNV

Basiszenario: seniors transport

Total Mobility Cost (TMC)		Robo-Shuttle (S4 - V2X)	Mobility Service Provider (MoD)	Taxi/Fahrdienst	ÖPNV (Midi-Bus)	Robo-Shuttle (S4 - V2X)	Mobility Service Provider (MoD)	Taxi/Fahrdienst	ÖPNV (Midi-Bus)
Fahrzeug	138.689 €	34.395 €	29.996 €	108.886 €	63,41%	6,19%	4,91%	13,41%	
Mobility-on-Demand-System	332 €	332 €	- €	- €	0,15%	0,06%	-	-	
V2X-System	3.433 €	- €	- €	- €	1,57%	-	-	-	
Ladinfrastruktur	4.725 €	4.725 €	- €	- €	2,16%	0,85%	-	-	
Auszahlungen Erstinvestition	147.179 €	39.453 €	29.996 €	108.886 €	67,29%	7,11%	4,91%	13,41%	
Fahrzeug	2.102 €	2.637 €	- €	- €	0,96%	0,47%	-	-	
Mobility-on-Demand-System	- €	- €	- €	- €	-	-	-	-	
V2X-System	- €	- €	- €	- €	-	-	-	-	
Ladinfrastruktur	- €	- €	- €	- €	-	-	-	-	
Auszahlungen Ersatzinvestition	2.102 €	2.637 €	- €	- €	0,96%	0,47%	0,00%	0,00%	
Investitionsauszahlungen	149.281 €	42.090 €	29.996 €	108.886 €	68,25%	7,58%	4,91%	13,41%	
Fahrzeugbezogen									
# Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	35.906 €	35.906 €	38.009 €	36.179 €	16,42%	6,47%	6,23%	4,45%	
## Kraftfahrzeugsteuer	- €	- €	1.830 €	- €	-	-	0,30%	-	
## HU/AU und Sicherheitsprüfung	1.255 €	1.255 €	1.528 €	1.528 €	0,57%	0,23%	0,25%	0,19%	
## Overhead	19.046 €	19.046 €	19.046 €	19.046 €	8,71%	3,43%	3,12%	2,35%	
## Operations	15.605 €	15.605 €	15.605 €	15.605 €	7,13%	2,81%	2,56%	1,92%	
# Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	28.848 €	474.210 €	478.214 €	667.035 €	13,19%	85,40%	78,35%	82,14%	
## Kraftstoff/Fahrbrom	6.978 €	12.143 €	12.701 €	32.833 €	3,19%	2,19%	2,08%	4,04%	
## Versicherung	8.345 €	16.689 €	18.109 €	12.669 €	3,82%	3,01%	2,97%	1,56%	
## Reinigung	8.504 €	8.504 €	8.504 €	8.504 €	3,89%	1,53%	1,39%	1,05%	
## Wartung/Reparatur	5.021 €	5.021 €	7.048 €	8.435 €	2,30%	0,90%	1,15%	1,04%	
## Personaleinsatz	- €	431.853 €	431.853 €	604.594 €	-	77,77%	70,75%	74,45%	
Fahrzeugbezogene Betriebsauszahlungen	64.754 €	510.116 €	516.223 €	703.214 €	29,61%	91,87%	84,56%	86,59%	
Infrastrukturbezogen									
## Betrieb und Wartung - V2X-System	1.613 €	- €	- €	- €	0,74%	-	-	-	
## Betrieb und Wartung - MoD-System	68 €	68 €	- €	- €	0,03%	0,01%	-	-	
## Betrieb und Wartung - Ladinfrastruktur	3.000 €	3.000 €	- €	- €	1,37%	0,54%	-	-	
## Personaleinsatz	- €	- €	64.152 €	- €	-	-	10,51%	-	
Infrastrukturbezogene Betriebsauszahlungen	4.681 €	3.068 €	64.152 €	- €	2,14%	0,59%	10,51%	0,00%	
Betriebsauszahlungen	69.435 €	513.184 €	580.375 €	703.214 €	31,75%	92,42%	95,09%	86,59%	
Auszahlungen gesamt	218.716 €	555.273 €	610.371 €	812.099 €	100%	100%	100%	100%	
Auszahlungen diskontiert	216.070 €	536.522 €	589.337 €	786.611 €					
Auszahlungsbarwert kumuliert	216.070 €	536.522 €	589.337 €	786.611 €					

Jährlich diskontierte Auszahlungen – Robo-Shuttle (S4-V2X)

Basisszenario: sensors transport						
t	0	1	2	3	4	5
Jahr	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Robo-Shuttle (S4 - V2X)						
Fahrzeug	138.689 €	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	332 €	-	-	-	-	-
V2X-System	3.433 €	-	-	-	-	-
Ladeinfrastruktur	4.725 €	-	-	-	-	-
Auszahlungen Erstinvestition	147.179 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeug	-	-	-	-	2.102 €	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladeinfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Ersatzinvestition	- €	- €	- €	- €	2.102 €	- €
Investitionsauszahlungen	147.179 €	- €	- €	- €	2.102 €	- €
Fahrzeugbezogen						
Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)						
## Kraftfahrzeugsteuer	-	-	-	-	-	-
## HUAU und Sicherheitsprüfung	209 €	209 €	209 €	209 €	209 €	209 €
## Overhead	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €
## Operations	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €
Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	4.988 €	5.077 €	4.998 €	5.077 €	4.998 €	5.077 €
## Kraftstoff/Fernstrom	1.163 €	1.163 €	1.163 €	1.163 €	1.163 €	1.163 €
## Versicherung	1.391 €	1.391 €	1.391 €	1.391 €	1.391 €	1.391 €
## Reinigung	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €
## Wartung/Reparatur	627 €	1.046 €	627 €	1.046 €	627 €	1.046 €
## Personaleinsatz	-	-	-	-	-	-
Fahrzeugbezogene Betriebsauszahlungen	10.583 €	11.002 €	10.583 €	11.002 €	10.583 €	11.002 €
Infrastrukturbezogen (V2X, MoD, Ladeinfrastruktur)						
## Betrieb und Wartung - V2X-System	269 €	269 €	269 €	269 €	269 €	269 €
## Betrieb und Wartung - MoD-System	11 €	11 €	11 €	11 €	11 €	11 €
## Betrieb und Wartung - Ladeinfrastruktur	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €
## Personaleinsatz	-	-	-	-	-	-
Infrastrukturbezogene Betriebsauszahlungen	780 €	780 €	780 €	780 €	780 €	780 €
Betriebsauszahlungen	11.363 €	11.782 €	11.363 €	11.782 €	11.363 €	11.782 €
Auszahlungen gesamt	158.542 €	11.782 €	11.363 €	11.782 €	13.465 €	11.782 €
Auszahlungen diskontiert	158.542 €	11.608 €	11.030 €	11.267 €	12.687 €	10.937 €
Auszahlungsbarwert kumuliert	158.542 €	170.150 €	181.180 €	192.447 €	205.134 €	216.070 €

Jährlich diskontierte Auszahlungen – Mobility Service Provider

Basisszenario: seniors transport						
t	0	1	2	3	4	5
Jahr	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Mobility Service Provider / Fahrdienst						
Fahrzeug	34.395 €	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	332 €	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladeinfrastruktur	4.725 €	-	-	-	-	-
Auszahlungen Erstinvestition	39.453 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeug	-	-	-	-	2.637 €	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladeinfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Ersatzinvestition	- €	- €	- €	- €	2.637 €	- €
Investitionsauszahlungen	39.453 €	- €	- €	- €	2.637 €	- €
Fahrzeugbezogen						
# Nutzungsunabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	5.984 €	5.984 €	5.984 €	5.984 €	5.984 €	5.984 €
## Kraftfahrzeugsteuer	-	-	-	-	-	-
## HU/AU und Sicherheitsprüfung	209 €	209 €	209 €	209 €	209 €	209 €
## Overhead	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €
## Operations	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €
Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	78.826 €	79.244 €	78.826 €	79.244 €	78.826 €	79.244 €
## Kraftstoff/Anstrom	2.024 €	2.024 €	2.024 €	2.024 €	2.024 €	2.024 €
## Versicherung	2.782 €	2.782 €	2.782 €	2.782 €	2.782 €	2.782 €
## Reinigung	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €
## Wartung/Reparatur	627 €	1.046 €	627 €	1.046 €	627 €	1.046 €
## Personaleinsatz	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €
Fahrzeugbezogene Betriebsauszahlungen	84.810 €	85.229 €	84.810 €	85.229 €	84.810 €	85.229 €
Infrastrukturbezogen (V2X, MoD, Ladeinfrastruktur)						
## Betrieb und Wartung – V2X-System	-	-	-	-	-	-
## Betrieb und Wartung – MoD-System	11 €	11 €	11 €	11 €	11 €	11 €
## Betrieb und Wartung – Ladeinfrastruktur	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €
## Personaleinsatz	-	-	-	-	-	-
Infrastrukturbezogene Betriebsauszahlungen	511 €	511 €	511 €	511 €	511 €	511 €
Betriebsauszahlungen	85.321 €	85.740 €	85.321 €	85.740 €	85.321 €	85.740 €
Auszahlungen gesamt	124.774 €	85.740 €	85.321 €	85.740 €	87.958 €	85.740 €
Auszahlungen diskontiert	124.774 €	84.473 €	82.818 €	81.995 €	82.873 €	79.589 €
Auszahlungsbarwert kumuliert	124.774 €	209.247 €	292.065 €	374.060 €	456.332 €	536.522 €

Jährlich diskontierte Auszahlungen – Taxi

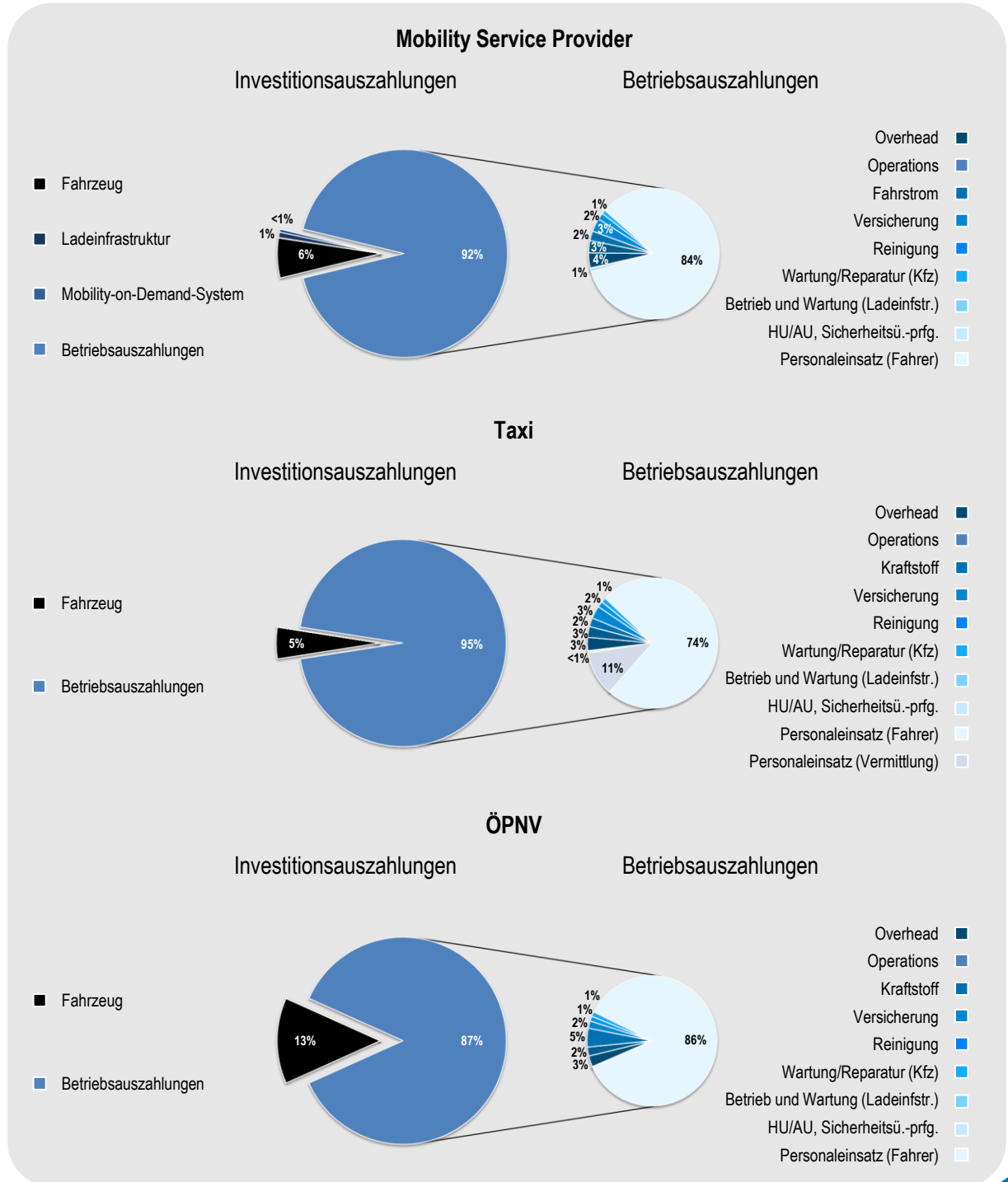
Basisszenario: semitors transport

t	0	1	2	3	4	5
Jahr	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Taxi (gewerbli. Großraum Pkw)						
Fahrzeug	29.996 €	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladeninfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Erstinvestition	29.996 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeug	-	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladeninfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Ersatzinvestition	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionsauszahlungen	29.996 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeugbezogen						
# Nutzungsunabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	6.335 €	6.335 €	6.335 €	6.335 €	6.335 €	6.335 €
## Kraftfahrzeugsteuer	305 €	305 €	305 €	305 €	305 €	305 €
## HU/AU und Sicherheitsprüfung	255 €	255 €	255 €	255 €	255 €	255 €
## Overhead	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €
## Operations	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €
Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	79.493 €	79.912 €	79.493 €	79.912 €	79.493 €	79.912 €
## Kraftstoff/Fahrsrom	2.117 €	2.117 €	2.117 €	2.117 €	2.117 €	2.117 €
## Versicherung	3.018 €	3.018 €	3.018 €	3.018 €	3.018 €	3.018 €
## Reinigung	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €
## Wartung/Reparatur	965 €	1.384 €	965 €	1.384 €	965 €	1.384 €
## Personaleinsatz	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €	71.975 €
Fahrzeugbezogene Betriebsauszahlungen	85.828 €	86.247 €	85.828 €	86.247 €	85.828 €	86.247 €
Infrastrukturbezogen						
## Betrieb und Wartung - V2X-System	-	-	-	-	-	-
## Betrieb und Wartung - MoD-System	-	-	-	-	-	-
## Betrieb und Wartung - Ladeninfrastruktur	-	-	-	-	-	-
## Personaleinsatz	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €
Infrastrukturbezogene Betriebsauszahlungen	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €	10.692 €
Betriebsauszahlungen	96.520 €	96.939 €	96.520 €	96.939 €	96.520 €	96.939 €
Auszahlungen gesamt	126.516 €	96.939 €	96.520 €	96.939 €	96.520 €	96.939 €
Auszahlungen diskontiert	126.516 €	95.506 €	93.688 €	92.704 €	90.939 €	89.984 €
Auszahlungsbarwert kumuliert	126.516 €	222.022 €	315.710 €	408.414 €	499.353 €	589.337 €

Jährlich diskontierte Auszahlungen – ÖPNV

Basisszenario: sentors transport						
t	0	1	2	3	4	5
Jahr	2030	2031	2032	2033	2034	2035
ÖPNV (Midi-Bus)						
Fahrzeug	108.886 €	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladinfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Erstinvestition	108.886 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeug	-	-	-	-	-	-
Mobility-on-Demand-System	-	-	-	-	-	-
V2X-System	-	-	-	-	-	-
Ladinfrastruktur	-	-	-	-	-	-
Auszahlungen Ersatzinvestition	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionsauszahlungen	108.886 €	- €	- €	- €	- €	- €
Fahrzeugbezogen						
# Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	6.030 €	6.030 €	6.030 €	6.030 €	6.030 €	6.030 €
## Kraftfahrzeugsteuer	-	-	-	-	-	-
## HU/AU und Sicherheitsprüfung	255 €	255 €	255 €	255 €	255 €	255 €
## Overhead	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €	3.174 €
## Operations	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €	2.601 €
Nutzungsabhängige Betriebsauszahlungen (Kfz)	110.858 €	111.487 €	110.858 €	111.487 €	110.858 €	111.487 €
## Kraftstoff/Fahrsrom	5.472 €	5.472 €	5.472 €	5.472 €	5.472 €	5.472 €
## Versicherung	2.112 €	2.112 €	2.112 €	2.112 €	2.112 €	2.112 €
## Reinigung	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €	1.417 €
## Wartung/Reparatur	1.092 €	1.720 €	1.092 €	1.720 €	1.092 €	1.720 €
## Personaleinsatz	100.766 €	100.766 €	100.766 €	100.766 €	100.766 €	100.766 €
Fahrzeugbezogene Betriebsauszahlungen	116.888 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €
Infrastrukturbezogen						
## Betrieb und Wartung - V2X-System	-	-	-	-	-	-
## Betrieb und Wartung - MoD-System	-	-	-	-	-	-
## Betrieb und Wartung - Ladinfrastruktur	-	-	-	-	-	-
## Personaleinsatz	-	-	-	-	-	-
Infrastrukturbezogene Betriebsauszahlungen	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Betriebsauszahlungen	116.888 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €
Auszahlungen gesamt	225.774 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €	116.888 €	117.516 €
Auszahlungen diskontiert	225.774 €	115.780 €	113.459 €	112.383 €	110.130 €	109.086 €
Auszahlungsbarwert kumuliert	225.774 €	341.554 €	455.012 €	567.395 €	677.525 €	786.611 €

Struktur der Auszahlungsbarwerte für MSP, Taxi und ÖPNV



X.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Laufende Raumbbeobachtung – Raumabgrenzung. Siedlungsstrukturelle Kreistypen zum 31.12.2015. URL: http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_1067638/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Kreistypen4/kreistypen.html, abgerufen am 03.11.2017.
- [2] Hegert, M.: Mobilität von Familien im ländlichen Raum. Arbeitsteilung, Routinen und typische Bewältigungsstrategien, Dissertation Technische Universität Berlin, Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, Fortgeführte Reihe Band 28, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [3] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte einschließlich privater Organisationen ohne Erwerbszweck – Jahressumme – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte – Tabelle 82411-01-03-4, Version 2.0, Stand 08.12.2017, URL: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online.jsessionid=9BADDCEF5791A1F19680E2F0840C99E1.reg1?Menu=Willkommen>, abgerufen am 08.12.2017.
- [4] Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern: Einnahmen und Ausgaben der privaten Haushalte in Mecklenburg-Vorpommern 2013, Herausgabe: 22. Januar 2016, URL: <https://www.laiv-mv.de/static/LA-IV/Statistisches%20Amt/Dateien/Publikationen/O%20II%20EVS/O%20243/O243%202013%2001.pdf>, abgerufen am 08.12.2017.
- [5] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Zensus 2011, Bevölkerung nach Geschlecht und Altersjahren – Stichtag 09.05.2011 – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte – Tabelle 12111-04-01-4-1, Version 2.0, Stand 08.12.2017, URL: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online.jsessionid=9BADDCEF5791A1F19680E2F0840C99E1.reg1?Menu=Willkommen>, abgerufen am 08.12.2017.
- [6] Ahrens, G.-A.; Wittwer, R.; Hubrich, S.; Wittig, S.; Ließke, F.: Mobilität in Städten – SrV 2013, Technische Universität Dresden, URL: <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/srv-2013#intro-target-box>, abgerufen am 08.12.2017.
- [7] BMVI (Hrsg.): Integrierte Mobilitätskonzepte zur Einbindung unterschiedlicher Mobilitätsformen in ländlichen Räumen, BMVI-Online-Publikation 04/2016, ISSN: 2364-6020, URL: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVI/BMVIOnline/2016/bmvi-online-04-16-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3, abgerufen am 21.09.2017.
- [8] Brenck, A.; Gipp, C.; Nienaber, P.: Mobilität sichert Entwicklung. Herausforderungen für den ländlichen Raum. ADAC Studie zur Mobilität, 2016. URL: https://www.adac.de/_mmm/pdf/fi_mobilitaet%20sichert_entwicklung_studie_0316_259064.pdf, abgerufen am 21.09.2017.
- [9] Heimann, J.: Car-Sharing: Angebot am Stadtrand schrumpft, Westdeutsche Zeitung vom 17. August 2015, Düsseldorf, URL: <http://www.wz.de/lokales/duesseldorf/car-sharing-angebot-am-stadtrand-schrumpft-1.1998311>, abgerufen am 18.12.2017.
- [10] Elsner, P.: Elektroautos sollen nicht in der Pampa stranden, Stuttgarter Nachrichten vom 04. Dezember 2017, Stuttgart, URL: <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.carsharing-in-gerlingen-e-autos-sollen-nicht-unbenutzt-in-der-pampa-stranden.f216b3ef-432b-491f-b745-f98f57574c1a.html>, abgerufen am 18.12.2017.

- [11] ÖPNV-Strategiekommision im Freistaat Sachsen: Abschlussbericht der Strategiekommision für einen leistungsfähigen ÖPNV/SPNV in Sachsen, Dresden 2017, URL: <http://www.verkehr.sachsen.de/download/AbschlussberichtOEPNVStrategiekommision.pdf>, abgerufen am 18.12.2017.
- [12] PTV Transport Consult GmbH: Erreichbarkeit von Leistungen im Bildungs- und Gesundheitswesen sowie von Arbeitsplätzen in der Modellregion Oberlausitz-Niederschlesien, Dresden 2013, URL: http://www.demografie.sachsen.de/Gutachten_ohne_Anlagen.pdf, abgerufen am 21.09.2017.
- [13] Hahne, U.: Herausforderungen des demographischen Wandels für Angebote der Daseinsvorsorge, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.): Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen unter Druck. Wie reagieren auf den demografischen Wandel? Bonn, 2013, URL: https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/fileadmin/sites/ELER/Dateien/04_Partner/Daseinsvorsorge/Daseinsvorsorge_unter_Druck_BLE-SG-Infra_01_2013_Web.pdf, abgerufen am 18.12.2017.
- [14] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Langfristige Sicherung von Versorgung und Mobilität in ländlichen Räumen. Demografische Herausforderungen, interkommunale Kooperationen und Mobilitätsstrategien am Beispiel Nordfriesland, Berlin, 2013.
- [15] Julke, R.: Ein Schwanken zwischen Mutlosigkeit und ein bisschen „Angebotsentwicklung“ – Abschlussbericht ÖPNV-Strategiekommision, Leipziger Internet Zeitung, Leipzig 2017, URL: <https://www.l-iz.de/wirtschaft/mobilitaet/2017/12/Abschlussbericht-OePNV-Strategiekommision-200522#>, abgerufen am 17.01.2018.
- [16] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV): Jahresbericht 2016/2017, 2017 Köln.
- [17] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV): Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge - Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen, Positionspapier / November 2015 Köln.
- [18] Audi AG: Der neue Audi 18 – hochautomatisiertes Fahren auf Level 3. URL: <https://www.audi-media-center.com/de/per-autopilot-richtung-zukunft-die-audi-vision-vom-autonomen-fahren-9305/der-neue-audi-a8-hochautomatisiertes-fahren-auf-level-3-9307>, abgerufen am 07.02.2018.
- [19] Bloomberg Philanthropies: Taming the Autonomous Vehicle, A Primer for Cities, Long Island City, 2017.
- [20] State of California – Department of Motor Vehicles: Driverless Testing and Deployment of Autonomous Vehicles for Public Operation, Kalifornien 2018, URL: <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/auto>, abgerufen am 01.03.2018.
- [21] Barr, A.: Waymo Gets the O.K. for a Commercial Driverless Ride-Hailing Service, 16. Februar 2018, URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-16/waymo-gets-o-k-for-commercial-driverless-ride-hailing-service>, 06.03.2018.
- [22] Bergen, M.; Coppola, G.: Waymo Expands Chrysler Self-Driving Fleet 100-Fold to 62,000, 31. Mai 2018, URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-31/waymo-adds-62-000-chrysler-minivans-to-self-driving-fleet>, abgerufen am 07.06.2018.
- [23] CB Insights: Remote Control: Companies Researching Teleoperation For Autonomous Vehicles, 22. September 2017, URL: <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-vehicle-teleoperation-patents/>, abgerufen am 06.03.2018.

- [24] Beiker, S. A.: Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge, in: Maurer, M.; Gerdes, C. J.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Vieweg-Verlag, Heidelberg 2015.
- [25] Dia, H.; Javanshour, F.: *Autonomous Shared Mobility-On-Demand: Melbourne Pilot Simulation Study*, 19th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT2016, Istanbul, Transportation Research Procedia 22, 2017, pp. 285-296.
- [26] Hochfeld, C.; Jung, A.; Klein-Hitpaß, A.; Maier, U.; Meyer, K.; Vorholz, F.: *Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende*, Agora Verkehrswende, 01-2017-DE, Berlin 2017.
- [27] Pavone, M.: *Autonomous Mobility-on-Demand Systems for Future Urban Mobility*, in: Maurer et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer-Vieweg Verlag, Berlin 2015.
- [28] Lenz, B.; Fraedrich, E.: *Neue Mobilitätskonzepte und autonomes Fahren: Potenziale der Veränderung*, in: Maurer, M.; Gerdes, C. J.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Vieweg-Verlag, Heidelberg 2015.
- [29] Heinrichs, D.: *Autonomes Fahren und Stadtstruktur*, in: Maurer, M.; Gerdes, C. J.; Lenz, B.; Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Vieweg-Verlag, Heidelberg 2015.
- [30] Lemmer, K. (Hrsg.): *Neue autoMobilität, Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE)*, München: Herbert Utz Verlag 2016.
- [31] *Deutscher Verkehrssicherheitsrat 2015: Menschen mit (Mobilitäts-) Behinderung. Teilhabe und Verkehrssicherheit. Handbuch für Fachkräfte zur Förderung der Mobilitätskompetenzen von Menschen mit Behinderungen. Schriftenreihe Verkehrssicherheit.*
- [32] Ahrens, G.-A.; Wittwer, R.; Hubrich, S.; Wittig, S.; Ließke, F.: *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“*. SrV-Stadtgruppe: Unter-/Grund-/Kleinzentren/ ländliche Gemeinden, Topografie: flach. Technische Universität Dresden, 2015. URL: https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/SrV2013_Stadtgruppe_UnterGrundKleinzentrenLaendliGemeinden_flach.pdf?lang=de, abgerufen am 19.10.2017.
- [33] Soltysiak, T.: *Teure Buskinder. Bis zu 3 500 Euro kostet die Beförderung eines Schülers pro Jahr. Für Spezialfälle haben sich die Kosten verzehnfacht*, Sächsische Zeitung, 2016, URL: <http://www.sz-online.de/nachrichten/teure-buskinder-3503771.html>, abgerufen am 19.10.2017.
- [34] Holzhey, M.; Brümmer, H.; Etropolszky, A.; Glesel, K.; Godemann, M.; Berschin, F.; Jugelt, R.; Naumann, R.; Petersen, T.; Perner, T.; Stein, A.: *Basisgutachten im Rahmen der Strategiekommision für einen leistungsfähigen ÖPNV/SPNV in Sachsen*, Dresden, 2017. URL: http://www.verkehr.sachsen.de/download/verkehr/Basisgutachten_OEPNV_Strategie-kommision.pdf, abgerufen am 19.10.2017.
- [35] Scheibe, B.: *Schüler- und Absolventenprognose für Sachsen bis zum Schuljahr 2030/31*. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, 2016. URL: https://www.statistik.sach-sen.de/download/300_Voe-Fachbeitrage/Juni_2016_21062016.pdf, abgerufen am 19.10.2017.

- [36] Weiß, C.; Chlond, B.; von Behren, S.; Hilgert, T.; Vortisch, P.: Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen. Bericht 2015/2016: Alltagsmobilität und Fahrleistung. Karlsruher Institut für Technologie, 2016. URL: http://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/downloads/-Bericht_MOP_15_16.pdf, abgerufen am 24.10.2017.
- [37] Follmer, R.; Gruschwitz, D.; Jesske, B.; Quandt, S.; Lenz, B.; Nobis, C.; Köhler, K.; Mehlin, M.: Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends, Bonn/Berlin 2010.
- [38] Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA): Drucksache-Nr. 6/8865, Große Anfrage der Fraktion DIE LINKE. Thema: Mobilität in Sachsen, Dresden 2017. URL: http://edas.landtag.sachsen.de/viewer.aspx?dok_nr=8865&dok_art=Drs&leg_per=6&pos_dok=1&dok_id=undefined, abgerufen am 17.10.2017.
- [39] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen: Statistik der schwerbehinderten Menschen. Schwerbehinderte Menschen, Geschlecht, Alter - Sachsen – Stichtag (Tabelle 22711-235), 2017. URL: <https://www.statistik.sachsen.de/genonline/online/data?operation=statistikAbruftabellen&levelindex=0&levelid=1509632986893&index=2>, abgerufen am 26.10.2017.
- [40] IHD Institut für Holztechnologie gemeinnützige GmbH: Bedarfsgerecht barrierefreier Wohnraum in Sachsen. Ergebnisbericht, 1. Auflage, Dresden 2017.
- [41] Sächsisches Staatsministerium des Innern: Landesentwicklungsplan 2013, Dresden 2013. URL: <http://www.landesentwicklung.sachsen.de/11117.htm>, abgerufen am 02.11.2017.
- [42] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Laufende Raumbesichtigung – Raumbesichtigung. Siedlungsstrukturelle Kreistypen zum 31.12.2015. URL: http://www.bbsr.bund.de/clin_-032/nn_1067638/BBSR/DE/Raumbesichtigung/Raumbesichtigungen/Kreistypen4/kreistypen.html, abgerufen am 03.11.2017.
- [43] Haas, H.-D.; Neumair, S.-M.: Stadt, Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler Verlag (Herausgeber). URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9180/stadt-v12.html>, abgerufen am 03.11.2017.
- [44] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Laufende Raumbesichtigung – Raumbesichtigung. Stadt- und Gemeindetypen in Deutschland zum 31.12.2015. URL: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbesichtigung/Raumbesichtigungen/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp_node.html, abgerufen am 03.11.2017.
- [45] Karmann, A.; Marquardt, G.; Werblow, A.; Müller, S.; Jurack, A.; Weinhold, I.; Fiala, O.: Gut versorgt im ländlichen Raum – Konzeptionelle Entwicklung von Netzwerken zur Sicherung der Daseinsvorsorge älterer Menschen, TU Dresden, URL: https://tu-dresden.de/bu/wirtschaft/ime/ressourcen/dateien/-publikationen/Gut-versorgt_Endbericht_Publikation.pdf?lang=de, abgerufen am 02.11.2017.
- [46] Kröhnert, S.; Kuhn, E.; Karsch, M.; Klingholz, R.; Bennert, W.: Die Zukunft der Dörfer. Zwischen Stabilität und demografischem Niedergang, Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung, Berlin 2011. URL: https://www.berlininstitut.org/fileadmin/user_upload/Doerfer_2011/Die-_Zukunft_der_Doerfer_-_Webversion.pdf, abgerufen am 02.11.2017.

- [47] Götze, U.: Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, 7. Auflage, Springer Gabler Verlag, Heidelberg, 2014.
- [48] Unger, T.: Konstellationen bei Auffahrunfällen, Berichte der ADAC Unfallforschung, ADAC Technik Zentrum Landsberg/Lech, 2011.
- [49] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle, Unfälle von Frauen und Männern im Straßenverkehr, Wiesbaden 16. November 2015.
- [50] Haag, C.; Schuh, G.; Kreysa, J.; Schmelter, K.: Technologiebewertung. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): Technologiemanagement. Springer-Verlag Heidelberg, 2011.
- [51] Ahrens, G.-A.; Wittwer, R.; Hubrich, S.; Wittig, S.; Ließke, F.: Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“. Städtevergleich. Technische Universität Dresden, 2016. URL: https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/SrV2013_Staedtevergleich.pdf?lang=de, abgerufen am 19.10.2017.
- [52] Festag, A.; Rehme, M.; Krause, J.: Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive? Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur. BMWi-Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic, Berlin 2016.
- [53] Efrati, A.: Uber Finds Deadly Accident Likely Caused By Software Set to Ignore Objects On Road, The Information, 07. Mai 2018, URL: <https://www.theinformation.com/articles/uber-finds-deadly-accident-likely-caused-by-software-set-to-ignore-objects-on-road>, abgerufen am 08.05.2018.
- [54] Chen, P.; Haarkötter, N.; Müller, T.; Pires, R.: Smart Moves Required – Der Weg zu künstlicher Intelligenz im Mobilitätssektor, McKinsey Center for Future Mobility, 2017.
- [55] State of California, Department of Motor Vehicles: Order to Adopt, Title 13, Division 1, Chapter 1, Article 3.7 – Testing of Autonomous Vehicles, URL: https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/a6ea01e0-072f-4f93-aa6c-e12b844443cc/DriverlessAV_Adopted_Regulatory_Text.pdf?MOD=AJPERES, abgerufen am 07.05.2018.
- [56] Chucholowski, F.; Tang, T.; Lienkamp, M.: Teleoperiertes Fahren. Sichere und robuste Datenverbindungen, ATZ elektronik, Ausgabe 1/2014, S. 60-63.
- [57] Protzmann, R.; Radosch, I.; Festag, A.; Fritzsche, R.; Rehme, M.: IV2X. Integrierte Betrachtung Fahrzeugkommunikation. Projektnummer <141488>, Berlin, 13.04.2018. URL: <https://www.testfeld-berlin.de/logbuch.html>, abgerufen am 06.06.2018.
- [58] Klötzing, C.: Synchrone Mobilität 2023 – Der sächsische Weg, Fachtagung Intelligente Lösungen für effiziente Mobilität, 15. September 2016, Dresden, URL: [https://crm.saena.de//sites/default/files/civircrm/persist/contribute/files/Kloetzing%20-%20SAENA%20-%20Saechsischer%20Weg%20-%20SAENA-IVS-Fachtagung\(2\).pdf](https://crm.saena.de//sites/default/files/civircrm/persist/contribute/files/Kloetzing%20-%20SAENA%20-%20Saechsischer%20Weg%20-%20SAENA-IVS-Fachtagung(2).pdf), abgerufen am 26.06.2018.
- [59] Saena Sächsische Energieagentur GmbH: Intelligente Verkehrssysteme Sachsen, URL: <http://effiziente-mobilitaet-sachsen.de/projekte-intelligente-verkehrssysteme.html>, abgerufen am 26.06.2018.
- [60] Rehme, M.; Richter, S.: Das Mobilitätsunternehmen. Primärer Akteur in der neuen Mobilitätswelt?, IVM-Whitepaper 2016/2, ISSN: 2509-9299.

- [61] Bundesnetzagentur: Entscheidung der Präsidentenkammer vom 14. Mai 2018 über Anordnung und Wahl des Verfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang, Aktenzeichen BK1-17/001, URL: https://www.bundesnetzagentur.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20180514_5GAuktion_EntscheidungI&II.pdf?_blob=publicationFile&v=2, abgerufen am 26.06.2018.
- [62] Rayle, L; Shaheen, S.; Chan, N.; Dai, D.; Cervero, R.: App-Based, On-Demand Ride Services: Comparing Taxi and Ridesourcing Trips and User Characteristics in San Francisco, Working Paper, University of California Transportation Center (UCTC), 2014.
- [63] State of California: Decision adopting rules and regulations to protect public safety while allowing new entrants to the transportation industry, Quasi-Legislative 9/19/2013, Item 39, URL: <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M077/K112/77112285.PDF>, abgerufen am 26.06.2018.
- [64] Daimler AG: Bosch and Daimler: Metropolis in California to become a pilot city for automated driving, 2018, URL: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Bosch-and-Daimler-Metropolis-in-California-to-become-a-pilot-city-for-automated-driving.xhtml?oid=40688558>, abgerufen am 23.07.2018.
- [65] Neckermann, L.: The Mobility Revolution, Zero Emissions, Zero Accidents, Zero Ownership, Matador Verlag 2015.
- [66] Kempf, M.: The Revolution of urban mobility, Berylls Strategy Advisors, 2017, URL: http://www.berylls.com/wp-content/uploads/2018/02/20171215_Studie_Mobilitaet_EN.pdf, abgerufen am 26.06.2018.
- [67] Bitkom Research: Mobility Studie 2018, Studie im Auftrag des VdTÜV e.V., URL: https://www.vdtuev.de/dok_view?oid=703815&utm_source=mailing&utm_medium=email&utm_campaign=BRG+Newsletter+April+2018, abgerufen am 26.06.2018.
- [68] Esser, K.; Kurte, J.: Autonomes Fahren. Aktueller Stand, Potentiale und Auswirkungsanalys, KE-Consult Kurte&Esser GbR Wirtschafts- und Verkehrsberatung, Köln 2018.
- [69] Fraedrich, E.; Kröger, L.; Bahamonde-Birke, F.; Frenzel, I.; Liedtke, G.; Trommer, S.; Lenz, B.; Heinriche, D.: Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr, e-Mobil BW GmbH (Hrsg.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., 2017.
- [70] Eckstein, L.; Form, T.; Maurer, M.; Schöneburg, R.; Spiegelberg, G.; Stiller, C.: Automatisiertes Fahren, VDI-Statusreport Juli 2018, URL: <https://www.vdi.de/artikel/neuer-vdi-statusreport-automatisiertes-fahren/>, abgerufen am 29.06.2018.
- [71] Bösch, P; Becker, F.; Becker, H.; Axhausen, K.: Cost-based analysis of autonomous mobility services, Transport Policy 64, pp. 76-91, 2018.
- [72] Frank, P.; Friedrich, M.; Schlaich, J.: Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln, Der Nahverkehr, Heft 11, Alba Fachverlag, Düsseldorf, 2008.
- [73] Berckmans, G.; Messagie, M.; Smekens, J.; Omar, N.; Vanhaverbeke, L.; van Miero, J.: Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030, Energies 2017, 10, 1314, doi:10.3390/en10091314.

- [74] Mottschall, M.; Vogel, M.: Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen, Anleitung und Hintergrundinformationen zum Online-TCO-Rechner, Ergebnispapier 29 der Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität, 2016.
- [75] König, A.; Grippenkoven, J.: From public mobility on demand to autonomous public mobility on demand – Learning from dial-a-ride services in Germany, Logistik und Supply Chain Management, 16. University of Bamberg Press, ISBN 978-3-86309-489-8, ISSN 2191-2424, 2017.
- [76] Gehrke, S.; Felix, A.; Reardon, T.: Fare Choices, A Survey of Ride-Hailing Passengers in Metro Boston, Report #1, 2018, URL: <http://www.mapc.org/wp-content/uploads/2018/02/Fare-Choices-MAPC.pdf>, abgerufen am 26.06.2018.
- [77] Sparkassen Direktversicherung AG: Autoversicherung, URL: <https://www.sparkassen-direkt.de/angebote/autoversicherung/>, abgerufen am 19.04.2018.
- [78] Iveco Magirus AG: Der neue Daily Electric, URL: https://www.iveco.com/Germany/collections/catalogues/Documents/Neue_Materialien_DE/Daily_Electric.pdf, abgerufen am 26.06.2018.
- [79] Roland Berger GmbH: Think:Act. A new breed of cars. Purpose-built electric vehicles for mobility on demand, URL: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_mobility_purpose_vehicles.pdf, abgerufen am 26.06.2018.
- [80] Litman, T.: Autonomozs Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute, 2018, URL: <https://www.vtpi.org/avip.pdf>, abgerufen am 26.06.2018.
- [81] Rehme, M.; Lindner, R.; Götze, U.: Barrieren bei Geschäftsmodell-Innovationen der Neuen Mobilität. Implikationen für Innovationsmanagement und Geschäftsmodellentwicklung, in: Proff, H., Fojcik, T. M. (Hrsg.): Nationale und internationale Trends in der Mobilität – Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte, Tagungsband zum 7. Wissenschaftsforum Mobilität 2015 in Duisburg, Wiesbaden 2016.
- [82] Fuß, Peter: Autonomes Fahren in Deutschland. Ergebnisse der Befragung von 1.000 Verbrauchern, Ernst & Young GmbH, September 2017, URL: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-autonomes-fahren-in-deutschland/\\$FILE/ey-autonomes-fahren-in-deutschland.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-autonomes-fahren-in-deutschland/$FILE/ey-autonomes-fahren-in-deutschland.pdf), abgerufen am 23.07.2018.
- [83] TÜV Rheinland AG: Studie zur Sicherheit autonomer Fahrzeuge: Fahrer wollen jederzeit eingreifen können, URL: https://www.tuv.com/news/de/deutschland/ueber_uns/presse/meldungen/newscontent-de_358792.html, abgerufen am 23.07.2018.
- [84] Diepold, K.; Götzl, K.; Riener, A.; Frison, A.-K.: Automated Driving: Acceptance and Chances for Elderly People, Proceedings of the 9th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '17), September 24–27, 2017, Oldenburg.
- [85] National Highway Traffic Safety Administration: Federal Motor Vehicle Safety Standards; V2V Communications, Docket No. NHTSA-2016-0126, URL: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_nprm_web_version.pdf, abgerufen am 23.07.2018.
- [86] Deutscher Verkehrsgerichtstag: Empfehlung des Arbeitskreises II Automatisiertes Fahren (Zivilrechtliche Fragen), 24. bis 26. Januar 2018, Goslar, URL: https://www.goslar.de/images/-wirtschaft/tagungen/verkehrsgerichtstag/vgt_2018/ak_II_automatisiertes_fahren.pdf, abgerufen am 23.07.2018.

Herausgeber

IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH
Hofer Straße 2-4
09353 Oberlungwitz

