



**INSTITUT
FUTUR**

Freie Universität



Berlin

Automatisierte ÖPNV- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen

Eine Untersuchung zu Betriebskonzepten, Verkehrsinfrastrukturen
und zukünftigen ländlichen Mobilitätsmärkten.

Lorenz Crössmann

iF · SCHRIFTENREIHE | 01/22
Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung

Impressum

Institut Futur
Freie Universität Berlin
Fabeckstr. 37
14195 Berlin
© 2022

Herausgeber: Gerhard de Haan
Redaktion: Sascha Dannenberg
Daina Körting
Lea Rahman

Abstract

In den letzten beiden Dekaden haben rasante Fortschritte in den Bereichen der Computertechnologie und der künstlichen Intelligenz das selbstfahrende „autonome“ Kraftfahrzeug in greifbare Nähe gerückt. Im Verbund mit Digitalisierung und grüner Verkehrswende wird das automatisierte Fahren zu disruptiven Veränderungen in Wirtschaft, Gesellschaft und individuellem Mobilitätsverständnis führen. Auffällig ist, dass im wissenschaftlichen Diskurs und in der medialen Rezeption überwiegend zukünftige Anwendungen in urbanen Räumen sowie solche im Bereich des Individualverkehrs im Fokus stehen. Dabei werden gerade abseits der Ballungsräume innovative Mobilitäts- und Logistiklösungen benötigt, um den Herausforderungen des demografischen Wandels zu begegnen und auch zukünftig ein öffentliches Angebot zu erhalten. Die vorliegende zweiphasige Untersuchung setzt an diesem Punkt an. In der ersten explorativen Phase werden mittels Experteninterviews mögliche Anwendungsfelder für automatisierte ÖPNV- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen analysiert. Ferner werden die potenziellen Auswirkungen automatisierter Systeme auf die ländliche Gesellschaft untersucht. In der zweiten Phase werden durch eine Delphi-Befragung zeitliche Prognosen und Eintrittswahrscheinlichkeiten zum Untersuchungsgegenstand ermittelt. Außerdem erfolgt die Bewertung von Einflussfaktoren, welche im ersten Teil der Untersuchung identifiziert wurden. Diese Arbeit skizziert folglich plausible Zukunftsbilder einer automatisierten ruralen Mobilität und Logistik und trägt mit dem erarbeiteten Verfahren zur Identifizierung und Gewichtung von Einflussfaktoren zur Weiterentwicklung der Methoden der Zukunftsforschung bei.

In the last two decades, rapid advances in the fields of computer technology and artificial intelligence have brought the self-driving "autonomous" vehicle within reach. In combination with digitalization and the shift to sustainable transportation, automated driving will lead to disruptive changes in the economy, society and the individual's understanding of mobility. It is striking that in the scientific discourse and in the media reception, the focus is predominantly on future applications in urban areas and in the field of individual transport. Yet innovative mobility and logistics solutions are needed especially in rural areas in order to meet the challenges of demographic change and to maintain a basic public service. The presented two-phase study starts at this point. Thus, first, in the exploratory phase, possible fields of application for automated public transport and logistics systems in rural areas are discussed and analyzed on the basis of expert interviews. Furthermore, the potential impact of automated systems on rural society will be investigated. In a second in-depth phase, a Delphi survey will be conducted to determine temporal forecasts and probabilities of occurrence for the subject of the study. In addition, influencing factors identified in the first phase of the study will be evaluated. Thus, this work not only sketches plausible futures of automated rural mobility and logistics, but also contributes to the further development of methods of futures research with the elaborated procedure for the identification and weighting of influencing factors.

Zur Schriftenreihe

Mit dieser Schriftenreihe veröffentlicht das **Institut Futur** Arbeitsergebnisse und Analysen, die im Kontext des Instituts entstanden sind - insbesondere Abschlussarbeiten von Studierenden des weiterbildenden **Masterstudiengangs Zukunftsforschung**. Die Palette der Themen ist entsprechend breit gehalten. Vieles hat explorativen Charakter. Das hat zwei Gründe: Erstens basiert die Zukunftsforschung bisher kaum auf einem konsolidierten wissenschaftlichen Fundament. Ihre Qualitäts- und Gütekriterien sind ebenso in der Diskussion wie ihre wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Implikationen. Zweitens ist ihr Gegenstand so allumfassend, dass sich das Feld kaum ab-, geschweige denn eingrenzen lässt. Technologische Vorausschau gehört ebenso dazu wie Forschungen zum sozialen Wandel, zur Veränderung von Wirtschaftsstrukturen, zur Veränderung der Umwelt, zur Geschichte der Zukunftsvorstellungen, zur Bedeutung von Design, zu Wünschen und Bedürfnissen, zu den Forschungsmethoden und zu Fragen der Kontingenz künftiger Entwicklungen wie deren Vorhersage – um nur einige prägnante aktuelle Themenfelder zu benennen. Entsprechend offen ist das Konzept dieser Schriftenreihe. Sie bietet Facetten der Reflexion zu speziellen Themen, Analysen und Impulse für weitere Forschungsfragen, aber auch Ergebnisse aus empirischen Studien – immer mit Blick auf mögliche künftige Entwicklungen, Gestaltungsoptionen und Erwartungen.

Bei aller Offenheit und Heterogenität existiert für die Publikationen dennoch eine Rahmung. Zunächst sind einige der üblichen Kriterien von Wissenschaftlichkeit selbstverständlich Grundlage für die Beiträge: Transparenz, Nachvollziehbarkeit von Argumentationen, Zitationsmodi etc. folgen den wissenschaftlichen Gepflogenheiten. Darüber hinaus orientieren sich die Beiträge erstens erkenntnis- bzw. wissenschaftstheoretisch implizit oder explizit an konstruktivistischem Denken. Es scheint der Auseinandersetzung mit Zukunft generell angemessen, sie als konstruiert zu betrachten, da über sie schwerlich als Tatsache oder gar als Wirklichkeit gesprochen werden kann. Mit konstruktivistischen Ansätzen wird erkennbar, dass Wirklichkeiten geschaffen werden – das gilt schon für jegliche Gegenwartsdiagnose und für den Entwurf von Zukünften allemal. Zweitens folgen die Beiträge sozialwissenschaftlich in der Regel einem Verständnis von Gesellschaft, wie es im Kontext der Theorien zur zweiten oder reflexiven Moderne formuliert wird. Das bedeutet etwa, nicht mehr von eindeutigen Grenzen zwischen Natur und Gesellschaft auszugehen, sondern anzuerkennen, dass wir im Anthropozän leben. Wissen und Nichtwissen werden als eng miteinander verbunden angesehen. Auch sind eindeutige Trennungen zwischen sozialen Sphären immer weniger möglich. Ungewissheiten, Risiken und Wagnisse und das Unerwartete werden nicht als wegzuarbeitende Phänomene, sondern als Quellen für die Zukunftsforschung akzeptiert und genutzt, um Zukunft als gestaltbar darzustellen. Ob mit der hier gewählten erkenntnistheoretischen und gesellschaftstheoretischen Orientierung ein haltbarer Rahmen für die Schriftenreihe und darüber hinaus auch für die Zukunftsforschung gefunden wird, wird sich erweisen. Die Herausgabe der IF-Schriftenreihe dient u.a. als ein Beitrag zu dieser Diskussion.

Gerhard de Haan

- Herausgeber -

Inhalt

1. Einleitung	11
1.1 Ziel und Fragestellung der Arbeit	12
1.2 Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands	13
1.3 Methodik und Gliederung der Arbeit	14
2. Grundlagen	16
2.1 Klärung zentraler Begriffe	16
2.2 Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge	22
2.3 Heutige Mobilitätssituation in ländlichen Räumen	26
2.4 Potenziale einer ländlichen automatisierten Mobilität	31
3. Explorative Phase - Expert/-innen-Interviews	36
3.1 Methodisches Vorgehen	36
3.2 Herausforderungen und Zeithorizont	41
3.3 Anpassung ländlicher Verkehrsinfrastrukturen	46
3.4 Anwendungsfälle und Fahrzeugkonzepte	52
3.5 Betrieb ländlicher automatisierter ÖPNV-Dienste	62
3.6 Gesellschaftliche Aspekte	71
3.7 Zwischenfazit	76
4. Vertiefende Phase - Delphi-Befragung	79
4.1 Methodisches Vorgehen	79
4.2 Ergebnisse	84
5. Fazit	93
5.1 Voraussetzungen für automatisierte Verkehre	93
5.2 Mögliche Szenarien eines automatisierten Betriebs	96
5.3 Zum möglichen Zeithorizont	99
5.4 Kritische Reflexion der eigenen Arbeit	100
5.5 Weiterer Forschungsbedarf	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungsdesign der Arbeit.	14
Abbildung 2: Ländlichkeit in Deutschland	17
Abbildung 3: Raumtypen 2010 (Darstellung auf Ebene der Gemeindeverbände)	18
Abbildung 4: Einführung automatisierter Fahr- und Parkfunktionen	19
Abbildung 5: Wirkungsbereiche und Funktionen der Fahrzeugsensoren	22
Abbildung 6: Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgaben	23
Abbildung 7: Mitnahmebank in der Verbandsgemeinde Speicher	28
Abbildung 8: KombiBus der Uckermärkischen Verkehrsgesellschaft.	30
Abbildung 9: Automatisierter Shuttle-Bus in Bad Birnbach	33
Abbildung 10: Testfeld Bad Birnbach - Störereignisse (21.07. - 19.11.2018)	34
Abbildung 11: Mit LIDAR-Messdaten generiertes Lagebild	43
Abbildung 12: Elemente der Fahrzeugvernetzung nach dem C-V2X Standard	44
Abbildung 13: Unterschiedliche Anpassungsgrade der Straßeninfrastruktur	48
Abbildung 14: Fahrerlose Pods auf einer ehemaligen Bahntrasse (Montage)	50
Abbildung 15: Frühe Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV	53
Abbildung 16: Mittelfristige Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV	54
Abbildung 17: Langfristige Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV	55
Abbildung 18: Pods	58
Abbildung 19: Robo-Taxis	59
Abbildung 20: Automatisierte Shuttles	60
Abbildung 21: Automatisierte Busse	60
Abbildung 22: Sonderformen des automatisierten ÖPNV/ÖIVs	61
Abbildung 23: Automatisierte Logistik	62
Abbildung 24: Angaben zur persönlichen Arbeitsstätte	85
Abbildung 25: Angaben zum persönlichen Tätigkeitsfeld	85
Abbildung 26: Persönliche Einstellung zum Untersuchungsgegenstand	86
Abbildung 27: Bedeutung des 5G-Mobilfunkstandards für den automatisierten ÖPNV	87
Abbildung 28: Einschätzung zur erforderlichen Anpassung ländlicher Verkehrsinfrastrukturen	87
Abbildung 29: Einschätzung zur Freigabe verschiedener Straßentypen für fahrerlosen Verkehr	88
Abbildung 30: Erwarteter Zeitraum für die Einführung verschiedener ÖPNV-Betriebsformen	88
Abbildung 31: Verschiedene Fahrzeugtypen - Eignung zum Einsatz im ländlichen Raum	89
Abbildung 32: Eignung von Betriebskonzepten für die ländliche Logistik und Versorgung	90
Abbildung 33: Potenzielle Betreiber eines ländlichen automatisierten ÖVs	90
Abbildung 34: Bewertung der gesellschaftlichen Einflussfaktoren	91
Abbildung 35: Bewertung der technischen Einflussfaktoren	91
Abbildung 36: Bewertung der betriebswirtschaftlichen Einflussfaktoren	92
Abbildung 37: Bewertung der politischen Einflussfaktoren	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Sensorik für die Standortbestimmung	24
Tab. 2: Sensorik für die Umgebungserfassung	25
Tab. 3: Pilotprojekte im deutschsprachigen ländlichen Raum (Auswahl)	35
Tab. 4: Übersicht der Schlüsselfragen	37
Tab. 5: Übersicht der interviewten Expertinnen und Experten (anonymisiert)	39
Tab. 6: Zuordnung der Fragen zu den Expertinnen und Experten (anonymisiert)	40
Tab. 7: Chancen & Risiken eines ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIVs	76
Tab. 8: Gesellschaftliche Einflussfaktoren	78
Tab. 9: Technische Einflussfaktoren	78
Tab. 10: Betriebswissenschaftliche Einflussfaktoren	79
Tab. 11: Politische Einflussfaktoren	79
Tab. 12: Zuordnung der Delphi-Fragen zu den Kernfragen (KF)	82

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	<i>Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.</i>
AMoD	<i>Automated Mobility on Demand</i>
Anm.	<i>Anmerkung</i>
B2	<i>Business-to-Consumer</i>
BBSR	<i>Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung</i>
BMEL	<i>Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft</i>
BMVI	<i>Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur</i>
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i>
bspw.	<i>beispielsweise</i>
bzw.	<i>beziehungsweise</i>
C-V2X	<i>Cellular Vehicle-to-X</i>
EU	<i>Europäische Union</i>
HMI	<i>Human Machine Interaction</i>
IESE	<i>Institut für Experimentelles Software Engineering</i>
IT	<i>Informationstechnik</i>
KEP	<i>Kurier-, Express- und Paketdienste</i>
KI	<i>Künstliche Intelligenz</i>

MaaS	<i>Mobility as a Service</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
ÖIV / IÖV	<i>Öffentlicher Individualverkehr / Individueller Öfftl.Verkehr</i>
ÖPNV	<i>Öffentlicher Personennahverkehr</i>
ÖV	<i>Öffentlicher Verkehr</i>
PBefG	<i>Personenbeförderungsgesetz</i>
PDF	<i>Portable Document Format</i>
Pedelec	<i>Pedal Electric Cycle</i>
PKW	<i>Personenkraftwagen</i>
POI	<i>Point of Interest</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
STEP	<i>Sociological, Technological, Economic and Political Change</i>
StVG	<i>Straßenverkehrsgesetz</i>
Tab.	<i>Tabelle</i>
UVG	<i>Uckermärkische Verkehrsgesellschaft</i>
VDA	<i>Verband der Automobilindustrie</i>
VDV	<i>Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.</i>

Eine kurze Vorbemerkung

Die Entwicklung automatisierter Kraftfahrzeuge schreitet derzeit mit so rasanter Geschwindigkeit voran, dass es selbst für Fachkundige nicht leicht ist, auf dem neusten Stand zu bleiben. Erschwerend kommt hinzu, dass ein Großteil des Fortschritts auf diesem Gebiet in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen von Privatunternehmen stattfindet. Diese halten sich naturgemäß bedeckt, wenn es darum geht, exklusives Wissen preiszugeben. Andererseits ist bei vielen kommerziellen Entwicklern auch das umgekehrte Phänomen zu beobachten, dass eigene Fortschritte aus Gründen des Marketings aufgebauscht werden. Es ist daher nicht immer einfach unter den vielen mehr oder weniger fundierten Publikationen, Medienberichten und sonstigen Meldungen zum Thema die wirklichen Meilensteine der Entwicklung zu identifizieren.

Die vorliegende Untersuchung, welche zwischen Juli 2019 und Juni 2020 entstand, wurde Anfang August 2020 erstmals veröffentlicht. Stellvertretend für die Fortschritte, die seitdem stattgefunden haben, soll an dieser Stelle auf zwei (nach Meinung des Autors) wichtige Ereignisse verwiesen werden:

- Im Oktober 2020 hat Waymo, ein Tochterunternehmen der Google-Dachgesellschaft Alphabet, den weltweit ersten kommerziellen Robotaxi-Dienst gestartet. Erstmals werden die eingesetzten Fahrzeuge nicht mehr durch Sicherheitsfahrer im Fahrzeug überwacht. Der Fahrdienst bedient einige Vororte von Phoenix im US-Bundesstaat Arizona und ist nach Download einer App und der obligatorischen Registrierung für alle Interessenten zugänglich (White 08.10.2020; La Rocco 2020).
- Tesla gab gegen Ende 2020 in den USA erstmals eine Beta-Version seiner Full Self Driving (SFD) Funktion für ausgewählte Kunden frei. Mit der neuen Software sollen Tesla-PKWs im Verbund mit der bereits vorinstallierten Sensorik zum hochautomatisierten Fahren befähigt werden. Nach einigen Updates schien das System zum Jahreswechsel 2020/21 bereits recht zuverlässig zu funktionieren. Einer der Test-User postete auf der Video-Plattform YouTube die Zeitraffer-Aufzeichnung einer 600 Kilometer langen Fahrt von San Francisco nach Los Angeles, bei der nur ein menschlicher Eingriff erforderlich war (Donath 2021; Whole Mars Catalog 2020).

Freilich müssen diese beiden Informationen kritisch hinterfragt und in ein Gesamtbild eingeordnet werden. So bieten die Vororte von Phoenix aufgrund ihrer geringen Siedlungsdichte, einer autozentrierten Infrastruktur und den – aus technischer Sicht – optimalen klimatischen Bedingungen beste Voraussetzungen für den Betrieb automatisierter Fahrzeuge. Die dortige Fahrumgebung ist nicht ohne Weiteres mit den Verhältnissen auf einer durchschnittlichen mitteleuropäischen Straße vergleichbar. Im Falle von Tesla muss wiederum bedacht werden, dass die Fahrt bei guten Wetterverhältnissen und überwiegend auf Schnellstraßen und Autobahnen stattfand.

Die Fähigkeiten des „Autopiloten“ sind in der Tat beeindruckend, setzen jedoch nach wie vor die Überwachung durch einen Menschen voraus¹. Für einen sicheren fahrerlosen Betrieb – beispielsweise im ÖPNV - muss jedoch gewährleistet sein, dass das Fahrsystem in seiner angestammten Betriebsumgebung in jeder Verkehrssituation angemessen reagieren kann. Wie sind also die beiden Ereignisse im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit einzuordnen?

Fakt ist, dass die Entwicklung automatisierter Fahrsysteme in den USA und auch Asien weiter fortgeschritten ist als in Europa. Laut Einschätzung des Branchenexperten Prof. Stefan Bratzel gilt Waymo als Spitzenreiter der Branche, gefolgt von Intel, dem Chinesischen Google-Rivalen Baidu und General Motors (Blechner 2021). Dennoch ist der Rückstand Europäischer Unternehmen nicht so groß, wie es auf dem ersten Blick erscheinen mag. Dieser Eindruck entsteht fälschlicherweise auch dadurch, dass in Europa strengere Restriktionen bei Fahrversuchen mit automatisierten Fahrzeugen gelten und dem Sicherheitsaspekt allgemein ein höherer Stellenwert eingeräumt wird. Dies manifestiert sich beispielsweise darin, dass automatisierte Fahrzeuge, welche versuchsweise in der Personenbeförderung eingesetzt werden, nur bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten operieren dürfen und auf eine äußerst defensive Fahrweise eingestellt werden. Dort wo ein gemischter Verkehr mit konventionellen Fahrzeugen sowie Rad fahrenden und zu Fuß gehenden Personen stattfindet, wird die Geschwindigkeit auf maximal 30 km/h herabgesetzt. Weiterhin war bisher in Europa die starre Gesetzgebung, welche mit der technischen Entwicklung nicht schritt hielt, ein Hindernis auf dem Weg zum automatisierten Fahren (vgl. Abschnitt 3.2.6). Diese Hürde wurde nun in Deutschland mit dem im Mai 2021 von Bundestag und Bundesrat beschlossenen und am 28. Juli 2021 in Kraft getretenen Gesetz zum autonomen Fahren deutlich gesenkt (BMVI 2021a). Die neue Gesetzgebung erleichtert den Probetrieb automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen und ebnet den Weg für den Regelbetrieb fahrerloser Mobilitätsangebote. Insbesondere ist die Anwesenheit einer mitfahrenden Aufsichtsperson nicht mehr obligatorisch, sofern das System von einer „technischen Aufsicht“, welche stets eine natürliche Person sein muss, fernüberwacht wird (Fahrenholz 2021). Ebenfalls im Mai 2021 hat Volkswagen als erster deutscher Automobilkonzern den baldigen Einsatz automatisierter Level-4 Fahrzeuge angekündigt. So sollen ab 2025 in Hamburg fahrerlose Kleinbusse im Rahmen des VW Ridepooling-Dienstes MOIA eingesetzt werden. Ob dieser ambitionierte Zeitplan eingehalten werden kann, bleibt abzuwarten (Floemer 2021).

Abschließend kann also konstatiert werden, dass die in dieser Arbeit getroffenen Einschätzungen und Prognosen zur Entwicklung des automatisierten Fahrens in den ländlichen Regionen Deutschlands (und Europas) trotz der jüngsten Fortschritte weiterhin ihre Gültigkeit behalten.

1 Teslas offensive Vermarktung der hauseigenen automatisierten Fahrfunktionen als „Selbstfahrssystem“ verleitete bereits mehrmals Fahrer zu fatalen Fehleinschätzungen. Zuletzt so geschehen im April 2021 in Texas, als ein Tesla Model S aus einer Kurve ausbrach und ungebremst mit einem Baum kollidierte. Beide Fahrzeuginsassen fanden den Tod. Vorläufige Untersuchungsergebnisse legen den Schluss nahe, dass der Fahrersitz kurz vor dem Aufprall unbesetzt war (Reuters USA 18.04.2021). Tesla bestreitet allerdings, dass die Aktivierung des „Autopiloten“ auf der Unfallstrecke überhaupt möglich gewesen sei (WELT 2021).

Vorwort

Würde man seine Mitmenschen fragen, wie sie sich die Mobilität der Zukunft vorstellen, dächten die meisten an E-Autos, autonomes Fahren oder Flugtaxi. Einige würden womöglich tollkühne Tech-Projekte wie den Hyperloop oder das Wasserstoffflugzeug nennen. Gewiss wären diese Technologien in der Vorstellung der Befragten in futuristischen Mega-Cities angesiedelt oder würden diese miteinander verbinden. Zukunftsvisionen, wie sie beispielsweise aus Filmen wie Metropolis, Blade Runner oder das Fünfte Element bekannt sind, würden vor ihrem geistigen Auge erscheinen.

Spontan würde wohl niemand beim Stichwort Zukunftsmobilität an ländliche Räume denken. Dabei mehren sich die Anzeichen, dass sich auch dort, zwischen Dörfern, Feldern und Wiesen eine regelrechte Mobilitätsrevolution anbahnen könnte. Diese ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Mein Interesse für ländliche Mobilität geht auf mein Designstudium vor rund elf Jahren zurück. Im Rahmen meiner Abschlussarbeit an der Kunsthochschule Berlin-Weißensee entwickelte ich das Konzept für ein modulares Fahrzeug, welches sowohl im ländlichen ÖPNV als auch in der regionalen Logistik eingesetzt werden kann. Entsprechend lag für mich der Gedanke nahe, dieses Thema im Masterstudiengang Zukunftsforschung nochmals zu vertiefen und mit dem Wissen aus meiner langjährigen Tätigkeit am Berliner Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) zu verbinden.

An dieser Stelle gilt mein herzlicher Dank meiner ehemaligen Kollegin Dr. Helga Jonuschat und meinem Ex-Kollegen Frank Hunsicker, die sich bereit erklärt haben, diese Arbeit zu betreuen, und mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Ebenso möchte ich mich bei den Expertinnen und Experten bedanken, die für Interviews zur Verfügung standen. Sie haben mit ihrem Fachwissen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ein weiterer Dank gilt allen Teilnehmenden der Delphi-Befragung, ohne die diese Arbeit in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen wäre.

Ein nicht minder herzlicher Dank geht an meine ehemaligen InnoZ-GefährtInnen Anna Filby und Vipul Torprani sowie an Dr. Angela Jain und Sabine Schröder vom nexus-Institut in Berlin. Ich habe den Gedankenaustausch mit ihnen stets geschätzt, und sie haben mit ihren Ideen und Anregungen zur Konkretisierung des Forschungsthemas beigetragen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie für die nahezu grenzenlose Geduld und tatkräftige Unterstützung bedanken, ohne die ich den Ausnahmezustand der letzten Monate nicht so glimpflich überstanden hätte. Ein ganz besonderer Dank geht hierbei an meine Frau Luisa Noßmann und unsere beiden Söhne Walter und Edgar sowie an meinen Vater Bernd Crössmann, der als pensionierter Deutschlehrer und Germanist für die Übernahme des Lektorats prädestiniert war.

Lorenz Crössmann, 6. August 2020

I. Einleitung

„Vieles deutet darauf hin: Wir stehen am Vorabend einer weiteren mobilen Revolution.“
(Maurer et al. 2015, Geleitwort)

Auch wenn das Wort „Revolution“ in Verbindung mit technologischen Neuerungen inflationär verwendet wird, so erscheint es im Kontext des automatisierten Fahrens doch mehr als gerechtfertigt. Denn die Automatisierung des Straßenverkehrs wird – im Verbund mit Digitalisierung und grüner Verkehrswende – zu disruptiven Veränderungen in Wirtschaft, Gesellschaft und individuellem Mobilitätsverständnis führen.

Im Fokus dieser Entwicklung stehen urbane und suburbane Räume. Durch die Automatisierung soll hier der Verkehrsfluss optimiert und ein unfallfreier Verkehr ermöglicht werden. Fahrerlose Shuttles und automatisierte Pods² machen zudem neue flexible Mobilitätsdienstleistungen möglich (Wittpahl und Gereon 2019, S. 7), durch die das Privatauto in den Städten endgültig obsolet wird. Auch die urbane Logistik wird von dieser Revolution erfasst. So sollen z. B. Warenlieferungen zukünftig mit automatisierten Lieferrobotern zugestellt werden (Nuro 2016) und selbstfahrende Snack-Automaten Büroangestellte in ihrer Mittagspause versorgen (Robomart 2017).

Dennoch scheint es erstaunlich, dass im aktuellen Diskurs um das automatisierte Fahren ländliche Räume so selten zur Sprache kommen. Denn allein in Deutschland gelten je nach angewandter Definition bis zu 60% der Fläche als ländlich (Herget 2013, S. 13) und immerhin ein Viertel der Gesamtbevölkerung lebt auf dem Land (Herget 2013, S. 27).

Gerade abseits der Städte und Ballungsräume werden innovative Mobilitätslösungen dringend benötigt, um den Herausforderungen des demografischen Wandels zu begegnen und die anhaltende Landflucht abzumildern. Denn in vielen ländlichen Regionen führen der allgemeine Bevölkerungsrückgang und insbesondere sinkende Schülerzahlen dazu, dass sich der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) nicht mehr wirtschaftlich trägt. Die Folgen sind ein weitgehender Rückzug des ÖPNVs aus der Fläche und dadurch bedingt ein fortschreitender Attraktivitätsverlust der betroffenen Regionen. Zugleich wird das Netz an Versorgungs- und Betreuungseinrichtungen immer dünner und die Fahrwege, um diese zu erreichen, dadurch länger (Becker et al. 2018, S. 3). Diese Entwicklung ist in vielerlei Hinsicht bedenklich, denn Mobilität ist gerade auf dem Land die wichtigste Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe und wirtschaftliche Entwicklung (Becker et al. 2018, S. 5).

Den Bewohnerinnen und Bewohnern ländlicher Räume bleibt unter diesen Umständen kaum eine Alternative zum eigenen PKW. Doch in Anbetracht steigender Energie- und Lebenshaltungskosten wird in Zukunft auch jener Anteil ländlicher Haushalte steigen, die sich kein eigenes Fahrzeug leisten können. Ebenso wird eine zunehmende Zahl an hochbetagten Menschen nicht mehr im Stande sein, selbst Auto zu fahren.

Auch für Logistik-Dienstleister wird die Bedienung ländlicher Räume immer schwieriger. Die Anfahrtswege sind lang und die Lieferfahrzeuge können aufgrund des geringen Warenaufkommens kaum ausgelastet werden.

2 Fahrerlose Kleinstfahrzeuge. Ausführliche Erläuterung in Abschnitt 3.4.5

Die Folgen sind auch hier eine Reduzierung des Lieferservices und der schleichende Rückzug aus der Fläche (Lehmacher 2015, S. 31).

Vor diesem Hintergrund erscheint der Gedanke, den ÖPNV und die Logistik in ländlichen Räumen zu automatisieren, bestechend. Befürworter der Idee argumentieren, dass durch den Wegfall der Personalkosten der ÖPNV wieder wirtschaftlich betrieben - ja sogar ausgebaut werden könnte (Bernhart et al. 2018, S. 11). Durch Einsatz kleinerer Fahrzeuge wäre es zudem möglich, das Mobilitätsangebot zu flexibilisieren und rund um die Uhr verfügbar zu machen. Ähnliches gilt für den Logistikbereich, in dem selbstfahrende Kleinstfahrzeuge die regionale Warenverteilung übernehmen könnten. Soweit die Theorie.

In der Praxis erscheint ein solches Szenario noch in weiter Ferne. Auch finden sich aktuell erstaunlich wenige Fachpublikationen, die sich tiefgehend mit dem Einsatz automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen auseinandersetzen. An dieser Stelle möchte der Autor ansetzen und mit der vorliegenden Untersuchung dazu beitragen, ein möglichst differenziertes Bild zukünftiger automatisierter Mobilitäts- und Logistikanwendungen im ländlichen Raum zu skizzieren.

Nachfolgend sollen zunächst das Ziel und die Fragestellung der Arbeit erläutert werden (1.1). Es folgen einige ergänzende Anmerkungen zur Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands (1.2). Zum Abschluss des Einleitungskapitels werden die Methodik und Gliederung der Arbeit vorgestellt (1.3).

1.1 Ziel und Fragestellung der Arbeit

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, die mögliche Gestalt und Organisation eines zukünftigen automatisierten ÖPNVs sowie einer automatisierten Logistik in ländlichen Räumen zu ergründen. Außerdem soll zum einen eine zeitliche Prognose darüber getroffen werden, wann mit der Einführung solcher Systeme zu rechnen ist, zum anderen sollen wichtige Einflussfaktoren identifiziert werden, die bei der Automatisierung eine Rolle spielen. Diese könnten beispielsweise in einem späteren Szenarioprozess zur Anwendung kommen.

Um den festgelegten Zielen näherzukommen, wird der Untersuchungsgegenstand anhand folgender drei Fragestellungen konkretisiert:

- I. „Welche technischen, infrastrukturellen und organisatorischen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit der Betrieb straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen möglich wird?“

Im Rahmen der ersten Fragestellung soll insbesondere untersucht werden, inwiefern die physischen und digitalen Verkehrsinfrastrukturen ländlicher Räume angepasst werden müssen, um einen automatisierten Straßenbetrieb zu ermöglichen. Zudem wird auch auf Fragen der Fahrzeugtechnik eingegangen sowie auf die benötigte B2C-Infrastruktur, welche die ÖPNV-Betreiber zukünftig für den Betrieb automatisierter Flotten vorhalten müssen.

2. „Wie wird die Einführung straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme den öffentlichen Verkehr und die Logistik in ländlichen Räumen verändern?“

Die zweite Fragestellung ist eng mit der ersten verknüpft. Es soll z. B. der Frage nachgegangen werden, welche Betriebsformen ein automatisierter ländlicher ÖPNV zukünftig annehmen könnte.

3. „Bis wann werden voraussichtlich die Voraussetzungen für den Betrieb straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen erfüllt sein? Welche Betriebsformen und welche Fahrzeuge werden zu welchem Zeitpunkt verfügbar sein?“

Die dritte und letzte Fragestellung zielt auf die zeitliche Perspektive und wird vornehmlich im Rahmen der im vierten Kapitel vorgestellten Delphi-Befragung erörtert.

1.2 Eingrenzung des Untersuchungsgegenstands

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich explizit auf straßengebundene automatisierte Mobilitäts- und Logistiksysteme.

Automatisierte Luftfahrzeuge – wie beispielsweise Flugtaxis oder Lieferdrohnen – wurden bewusst aus dieser Untersuchung ausgenommen, da sie in ländlichen Regionen voraussichtlich eine marginale Rolle spielen werden. So dürften Flugtaxis aufgrund hoher Infrastruktur- und Betriebskosten kaum für den Betrieb in ländlichen Räumen geeignet sein und höchstens für Verbindungsflüge zu nahegelegenen Ballungsräumen eingesetzt werden (Hegmann 2020). Auch Lieferdrohnen werden im ländlichen Kontext kaum nennenswerte Vorteile gegenüber straßengebundenen Systemen bieten. Zum einen, weil die relativ entspannte Verkehrslage am Boden ihren Geschwindigkeitsvorteil minimiert, zum anderen aufgrund ihrer geringen Frachtkapazität. Somit dürften Drohnen eher im Rahmen von Spezialanwendungen eingesetzt werden, wie beispielsweise der Auslieferung eiliger Arzneimittel.

Ebenso wenig wurden im Rahmen dieser Arbeit automatisierte Bahnsysteme und fahrerlose Landwirtschaftsfahrzeuge betrachtet. Eine Automatisierung im Bahnbereich erscheint aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht so lohnenswert, da hier die Personalaufwendungen im Vergleich zu den restlichen Betriebskosten nicht so stark ins Gewicht fallen. Zudem fehlt in peripheren ländlichen Regionen oftmals jegliche Bahninfrastruktur. Im Falle automatisierter landwirtschaftlicher Anwendungen besteht zwar eine Schnittstelle zur ländlichen Logistik, jedoch handelt es sich um ein eigenständiges Anwendungsfeld, welches den Umfang dieser Arbeit überschreiten würde.

1.3 Methodik und Gliederung der Arbeit

Da zur Beantwortung der in dieser Arbeit gestellten Forschungsfragen nur bedingt auf empirisch erhobenes Datenmaterial zurückgegriffen werden kann, wird auf ein Mixed-Methods-Design zurückgegriffen, welches „qualitative und quantitative Forschungsstrategien“ verbindet (Döring und Bortz 2016, 184). Hierzu wird zunächst eine qualitative Teilstudie in Form von teilstrukturierten Experten/-innen-Interviews durchgeführt. Die anschließende zweite Teilstudie erfolgt in Form einer Delphi-Befragung. Beide „Teilstudien stehen dabei [...] nicht unabhängig nebeneinander, sondern sind direkt aufeinander bezogen“ (Döring und Bortz 2016, ebd.).

In der ersten Teilstudie wird anhand von explorativen Interviews umfassendes Datenmaterial erhoben und ausgewertet. Der „inhaltliche Schwerpunkt“ liegt „im Bereich der thematischen Sondierung“ (Bogner et al. 2002, S. 37). Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die zweite Teilstudie. Hier wurde die Delphi-Methode gewählt, da mit ihr fundierte (teil)quantitative Ergebnisse gewonnen werden können und ferner die Ermittlung von Prognosewerten möglich ist (vgl. Cuhls 2012, S. 140).

Das aus dieser Methodenkombination resultierende Forschungsdesign wird in Abbildung (Abb.) I veranschaulicht. Ausführliche Erläuterungen zum methodischen Vorgehen in den jeweiligen Teilstudien finden sich in den Abschnitten 3.1 (zu den Experten/-innen-Interviews) und 4.1 (zur Delphi-Befragung).



Abbildung I: Forschungsdesign der Arbeit. (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Gliederung der Arbeit orientiert sich am bereits erläuterten Forschungsdesign:

Im **zweiten Kapitel** werden zunächst die Ergebnisse der Literatur- und Grundlagenrecherche vorgestellt, welche als Basis für die beiden Teilstudien dienen. Hierbei flossen insbesondere auch Inhalte einer Seminararbeit ein, die der Autor im Vorfeld dieser Masterarbeit zum selbigen Thema verfasste (Crössmann 2019).

Im **dritten Kapitel** – dem explorativen Teil der Arbeit – wird die umfangreiche Interviewstudie vorgestellt, welche mit neun Expertinnen und Experten durchgeführt wurde. Am Anfang des Kapitels wird zunächst das methodische Vorgehen erläutert. Es folgt eine Zusammenfassung der Interview-Auswertungen, bei der die wichtigsten Aussagen der Interviewten vergleichend gegenübergestellt werden. Im abschließenden Zwischenfazit werden zum einen die Kernfragen identifiziert, welche im weiteren Verlauf der Arbeit erörtert werden sollen, zum anderen Einflussfaktoren für einen möglichen Szenarioprozess abgeleitet.

Das **vierte Kapitel** bildet den vertiefenden Teil der Arbeit. In diesem Abschnitt wird die zweistufige Delphi-Befragung vorgestellt, die auf den Zwischenergebnissen des dritten Kapitels beruht. Auch hier wird zunächst das methodische Vorgehen erläutert. Anschließend folgt die Vorstellung der wichtigsten Befragungsergebnisse – insbesondere zur Bewertung der identifizierten Einflussfaktoren.

Im **fünften Kapitel** folgt das abschließende Fazit. Im Rahmen dieser Abschlussbetrachtung findet auch eine kritische Selbstreflexion zur Arbeit statt, zudem wird auf den weiteren Forschungsbedarf verwiesen.

Abschließend ein Hinweis zur Anwendung gendergerechter Sprache: Der Autor hat sich darum bemüht, in dieser Arbeit gendergerechte Sprachformen und Formulierungen zu nutzen. An manchen Textstellen wurde jedoch zugunsten einer besseren Lesbarkeit bewusst darauf verzichtet. Selbstverständlich sind bei Verwendung der männlichen Schreibweise alle Geschlechter impliziert.

2. Grundlagen

Das zweite Kapitel dient vornehmlich der Grundlagenvermittlung und soll dem Leser zu einem besseren Verständnis dieser Arbeit verhelfen.

Zunächst sollen die zentralen Begriffe des „ländlichen Raums“ und des „automatisierten Fahrens“ geklärt werden, denen der Leser im Verlauf dieser Arbeit immer wieder begegnen wird (2.1). Es folgt eine Einführung in die Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge, wobei insbesondere auf die eingesetzte Fahrzeugsensorik eingegangen werden soll (2.2).

Die zweite Hälfte des Kapitels ist der derzeitigen Mobilitätssituation in ländlichen Räumen gewidmet. Zunächst erfolgt eine Analyse des Status Quo (2.3). Hierbei werden der Öffentliche Verkehr, der Individualverkehr sowie die ländliche Logistik betrachtet. Zum Abschluss des Kapitels werden schließlich die Potenziale einer ländlichen automatisierten Mobilität erörtert (2.4).

2.1 Klärung zentraler Begriffe

In diesem Abschnitt soll zunächst erläutert werden, anhand welcher Indikatoren der ländliche Raum definiert werden kann, und ferner, wie der Begriff „ländlicher Raum“ in dieser Arbeit zur Anwendung kommen wird.

Folgend wird mithilfe der international etablierten SAE-Skala der Unterschied zwischen automatisiertem und autonomem Fahren erörtert. Auch in diesem Falle wird die weitere Verwendung der Begrifflichkeiten festgelegt.

2.1.1 Ländliche Räume und periphere ländliche Räume

Der Begriff des „ländlichen Raums“ ist nicht eindeutig definiert. Unter ihm werden „eine Vielzahl an unterschiedlich strukturierten Räumen mit regionalspezifischen Wirtschafts-, Sozial- und Gesellschaftsstrukturen verstanden und subsumiert“ (Maier 2008, S. 15). Darunter fallen sowohl prosperierende Regionen, beispielsweise an den Rändern von Agglomerationsräumen, als auch strukturschwache Randgebiete. Die Suche nach einer Definition wird außerdem durch den Umstand erschwert, dass die Grenzen zwischen ländlichen und urbanen Räumen – zumindest in den hochentwickelten westlichen Ländern - im Zuge fortschreitender Urbanisierungs- und Modernisierungsprozesse verschwommen sind (Herget 2013, S. 27; Franzen et al. 2008, S. 1). Aus einem historischen „Stadt-Land-Gegensatz ist ein in vielfältiger Weise verflochtenes Stadt-Land-Kontinuum geworden“ (Bähr 2011, S. 1), in welchem selbst abgeschiedene und ländlich geprägte Regionen oftmals über Ansätze städtischer Strukturen verfügen.

Man kann sich dem Begriff des ländlichen Raums entsprechend nur annähern, indem dieser über bestimmte Indikatoren und Eigenschaften eingrenzt wird. Einige sollen an dieser Stelle vorgestellt werden.

Der geläufigste Indikator, nach dem der ländliche Raum definiert wird, ist die Bevölkerungsdichte. Nach OECD-Definition gelten beispielsweise jene Gemeinden als ländlich, in denen weniger als 150 Einwohnerinnen und Einwohner pro km² leben. Auf höherer Ordnungsebene gelten wieder-

um Regionen als „vorwiegend ländlich“, wenn über 50% ihrer Bewohnerinnen und Bewohner in ländlichen Gemeinden leben (OECD 2007, S. 34). Weitere Indikatoren, die hinzugezogen werden können, sind die Prägung durch land- und forstwirtschaftliche Flächennutzung, eine klein- und mittelständische Wirtschaftsstruktur sowie soziale Faktoren, wie ein starker lokaler Zusammenhalt oder regionale Verbundenheit (BMEL 2019, S. 9ff.). Eine Übersicht zur „Ländlichkeit“ in Deutschland bietet die entsprechende Darstellung im digitalen Landatlas des Thünen-Instituts (vgl. Abb. 2).

Zur Bestimmung der Peripherität ländlicher Räume werden sogenannte Erreichbarkeitsindikatoren angewandt. Kriterien können beispielsweise die durchschnittliche Entfernung zu Lebensmittelgeschäften und Arztpraxen sein (Thünen - Landatlas) oder das erreichbare Tagesbevölkerungspotenzial³ (BBSR 2010). Je länger hierbei die zurückzulegenden Wege sind und je geringer die erreichbare Tagesbevölkerung, desto peripherer gilt die Lage einer Region (vgl. Abb. 3).

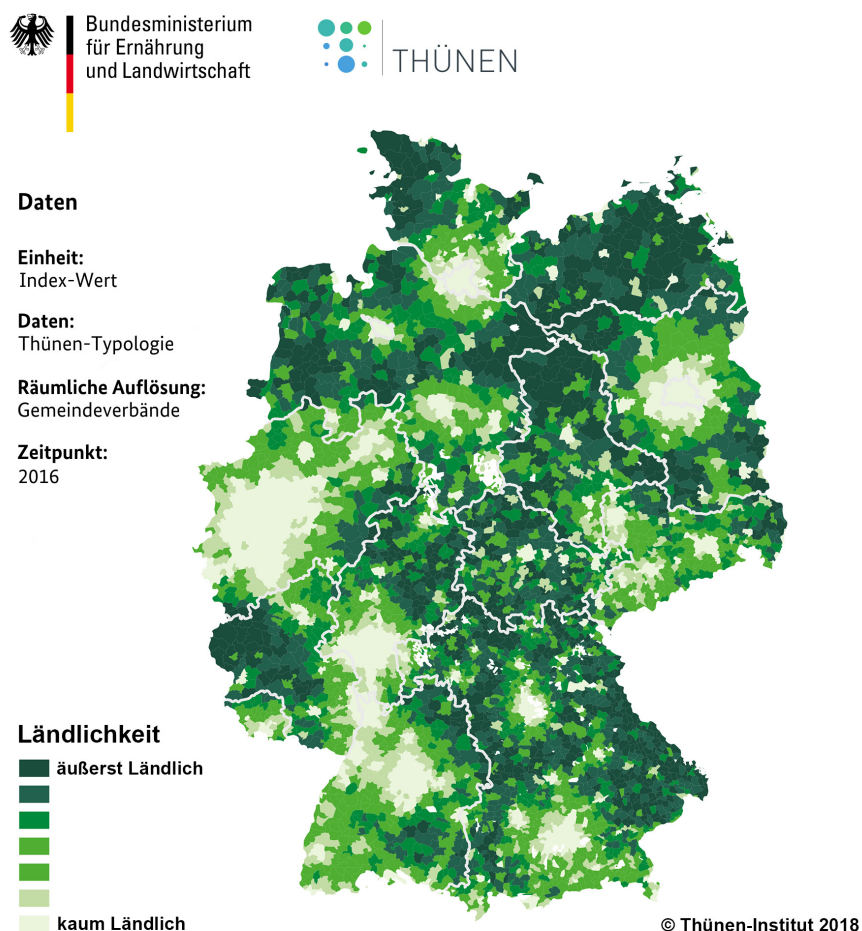


Abbildung 2: Ländlichkeit in Deutschland (Darstellung auf Ebene der Gemeindeverbände) (Quelle:Thünen - Landatlas)⁴

- 3 Hierunter versteht man die Einwohnerzahl zuzüglich der (Berufs-)Pendler, die sich im Laufe des Tages in einem bestimmten Gebiet aufhalten.
- 4 Zur Bestimmung der Ländlichkeit werden fünf Indikatoren mittels eines statistischen Verfahrens zu einem Index verknüpft: Siedlungsdichte (Datenstand 2013), Anteil der land- und forstwirtschaftlichen Fläche an der Gesamtfläche (Datenstand 2013), Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser an

Im Allgemeinen kennzeichnet periphere ländliche Räume „eine Lage fernab der Zentren, mit denen sie nur unzureichend verkehrlich verbunden und funktional verflochten sind“ (Maier 2008, S. 16). Ferner weisen sie große Defizite hinsichtlich ihrer Infrastruktur und wirtschaftlichen Entwicklung auf und sind überproportional von Abwanderung betroffen (Maier 2008, ebd.). Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die Situation in Deutschland. Es werden solche ländlichen Räume im Mittelpunkt stehen, die im deutschlandweiten Vergleich eine geringe bis mäßige ÖPNV-Erschließung aufweisen. Ausgenommen von der Betrachtung sind ländliche Regionen, die z. B. aufgrund ihrer Nähe zu Ballungsräumen oder aufgrund ihrer touristischen Beliebtheit über eine gute ÖPNV-Erschließung verfügen.

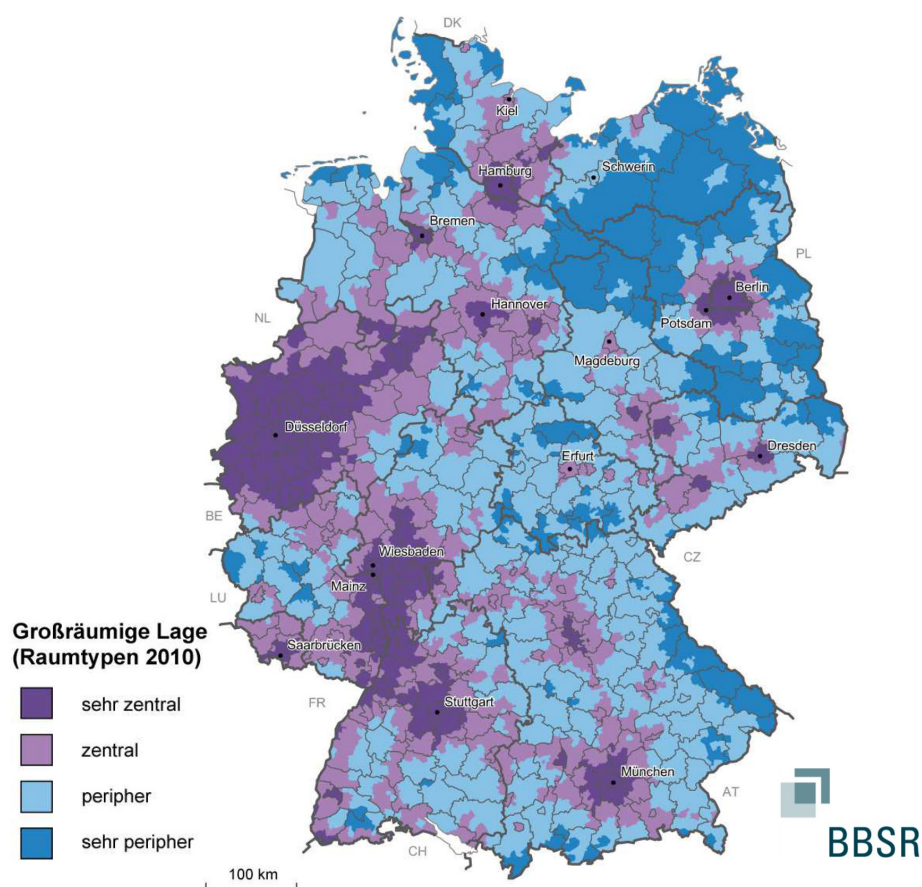


Abbildung 3: Raumtypen 2010 (Darstellung auf Ebene der Gemeindeverbände) (Quelle: BBSR 2010)

allen Wohngebäuden (Datenstand 2013), regionales Bevölkerungspotenzial (Datenstand 2011), Erreichbarkeit großer Zentren (Datenstand 2014/2015).

2.1.2 Automatisiertes und autonomes Fahren

Oftmals werden die Begriffe „automatisiertes Fahren“ und „autonomes Fahren“ synonym verwendet, obwohl dies aus technischer Sicht nicht zutrifft. Eine Präzisierung ist jedoch zum besseren Verständnis dieser Arbeit wichtig. Im Folgenden soll der Unterschied anhand der verschiedenen Stufen der Fahrzeugautomatisierung nach der geläufigen SAE-Skala erörtert werden.

In den letzten Jahrzehnten wurden PKWs und Nutzfahrzeuge mit einer wachsenden Anzahl an Assistenzsystemen ausgestattet, die bis heute zu einer signifikanten Erhöhung der Verkehrssicherheit beigetragen haben (Jonuschat et al. 2018, S. 35). Handelte es sich zunächst um rein passive Warnsysteme, wurden seit Anfang der 2000er Jahre zunehmend komplexere Assistenzfunktionen eingeführt. Mittlerweile können viele dieser Funktionen auch aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen und den Fahrer über längere Zeit entlasten (vgl. Abb. 4). Für die Mitte der 2020er Jahre wird erwartet, dass erste fahrerlose Systeme in den Regelbetrieb übergehen. Voraussichtlich wird es sich hierbei um automatisierte Shuttle-Busse handeln, die in verkehrsberuhigten Umgebungen und Shared Spaces⁵ operieren werden (Jonuschat et al. 2018, S. 68).

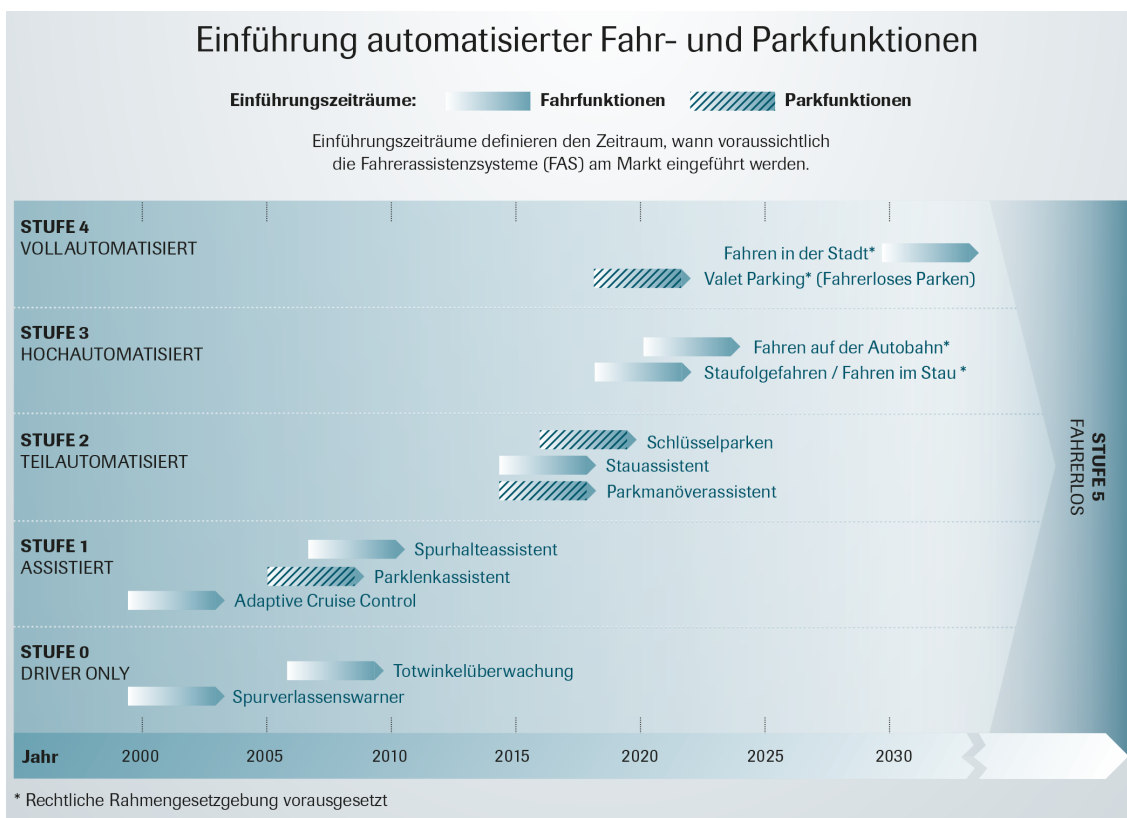


Abbildung 4: Einführung automatisierter Fahr- und Parkfunktionen (Quelle:VDA 2015)

Um diese inkrementelle Entwicklung zu veranschaulichen und die Klassifizierung automatisierter Fahrzeuge zu erleichtern, wurden mehrere Skalen entwickelt. In Deutschland nutzen beispielsweise

5 Verkehrsberuhigte Bereiche (oft ohne Signalanlagen, Straßenschilder und Fahrbahnmarkierungen), in denen alle Verkehrsteilnehmer gleichberechtigt sind.

der Verband der Automobilindustrie (VDA) und die Bundesregierung eigene Stufenmodelle (BMVI 2015, S. 6; VDA 2015, S. 15). International hat sich die sechsstufige Skala der US-amerikanischen Ingenieursvereinigung SAE International durchgesetzt, welche auch vermehrt in der Forschung zur Anwendung kommt (Maurer et al. 2015, S. 353). Sie wird auch im Rahmen dieser Arbeit als Referenz dienen.

SAE-Level 0 (No Automation): Das Fahrzeug verfügt über keinerlei automatisierte Fahrfunktionen. Der Fahrer wird gegebenenfalls durch passive Warnsysteme unterstützt.

Beispiele: Totwinkelüberwachung, Spurverlassenwarner

SAE-Level 1 (Driver Assistance): Das System kann entweder die Längsführung (d. h. Geschwindigkeit halten, Gasgeben und Bremsen) oder die Querverführung (d. h. Lenken) des Fahrzeugs übernehmen. Der Fahrer übernimmt die jeweils andere Aktivität.

Beispiele: Abstandsregeltempomat, Parklenkassistent

SAE-Level 2 (Partial Automation): In bestimmten Anwendungsfällen kann das System sowohl die Längs- als auch die Querverführung des Fahrzeugs übernehmen. Der Fahrer muss jedoch die Verkehrssituation kontinuierlich überwachen, um jederzeit dazu im Stande sein, die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen.⁶

Beispiele: Stauassistent, Tesla „Autopilot“

SAE-Level 3 (Conditional Automation): Das System erkennt selbstständig seine Grenzen und ist dazu fähig, die Steuerung des Fahrzeugs rechtzeitig an den Fahrer zu übergeben.⁷ Dieser muss das Verkehrsgeschehen nicht mehr dauerhaft überwachen. Er muss jedoch in der Lage sein, das Steuer innerhalb einer kurzen Vorlaufzeit zu übernehmen.⁸

Beispiele: Automatisiertes Fahren auf der Autobahn.

SAE-Level 4 (High Automation): Auf dieser Stufe spricht man auch von Hoch- bzw. auch Vollautomatisierung. Das System kann nun innerhalb abgegrenzter Areale (z. B. in einer Stadt) oder auf bestimmten Straßenabschnitten (z. B. auf der Autobahn) die vollständige Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen.

6 Einige Oberklasse-Limousinen erreichen heutzutage SAE-Level 2. Als problematisch hat sich erwiesen, dass Fahrer/-innen oft die Fähigkeiten ihrer Fahrzeuge überschätzen. In den USA führte dies bereits zu einigen tödlichen Unfällen (vgl. Ritz 2018, S. 29).

7 Der Aspekt der Kontrollübergabe wird von vielen Expert/-innen kritisch gesehen, da Fahrer/-innen bei längerer Abwendung vom Verkehrsgeschehen womöglich zu lange brauchen, um die Verkehrssituation zu erfassen (BMVI 2017, S. 9f.).

8 Derzeit (Stand: September 2019) bieten Audi und weitere Premiumhersteller laut eigener Aussage Fahrzeuge mit SAE-Level-3-Funktionalitäten an. Jedoch dürfen diese aufgrund geltender rechtlicher Bestimmungen noch nicht freigeschaltet werden (Eckl-Dorna 2019; Ritz 2018, S. 30).

Vom Fahrer wird nicht mehr erwartet, das Steuer jederzeit übernehmen zu können. Möglich ist nun auch fahrerloses Fahren – z. B. im Rahmen von automatisierten Taxi- oder ÖPNV-Diensten. Die Überwachung des Fahrzeugs erfolgt in diesem Falle durch eine Leitzentrale.⁹

Beispiele: automatisiertes Fahren in der Stadt.

SAE-Level 5 (Full Automation): Erst auf dieser Stufe darf im engeren Sinne von autonomem Fahren gesprochen werden. Das System beherrscht nun jede denkbare Fahrsituation und kann ohne Einschränkungen jeden Straßentyp befahren.

Aktuell konzentrieren sich die Fahrzeughersteller auf die Entwicklung von Level 4 Fahrzeugen. Ob dagegen der Sprung zum vollautonomen Level 5 Fahrzeug jemals gelingt, wird mittlerweile von vielen Fachleuten in Frage gestellt, da sich die technischen und finanziellen Herausforderungen als enorm erwiesen haben (vgl. Eckl-Dorna 2019; Fockebroek et al. 2019).

In der vorliegenden Arbeit werden überwiegend vollautomatisierte Level 4 Fahrzeuge behandelt. Weiterhin werden die Begriffe automatisiert, fahrerlos und selbstfahrend zur Vereinfachung gleichgesetzt. Sollte von Fahrzeugen mit einer anderen Automatisierungsstufe die Rede sein, wird explizit darauf hingewiesen.

9 Voraussetzung für fahrerloses Fahren ist bei SAE-Level 4 allerdings, dass die zu befahrenden Strecken zuvor im Rahmen eines Premapping-Verfahrens gescannt und in das System eingelesen wurden (Jonuschat et al. 2018, S. 39). Eine ausführlichere Erläuterung folgt in Abschnitt 3.2.3.

2.2 Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge

Die Steuerungstechnik automatisierter Fahrzeuge ist hochkomplex und derzeit noch sehr störanfällig. Nicht ohne Grund verglich Thomas Sedran, Vorstandsvorsitzender der VW-Sparte Nutzfahrzeuge, die Probleme, die mit der Entwicklung selbstfahrender Fahrzeuge verbunden sind, mit denen einer bemannten Marsmission (Reiche 2019).

Effective ranges and functions of AVs sensors

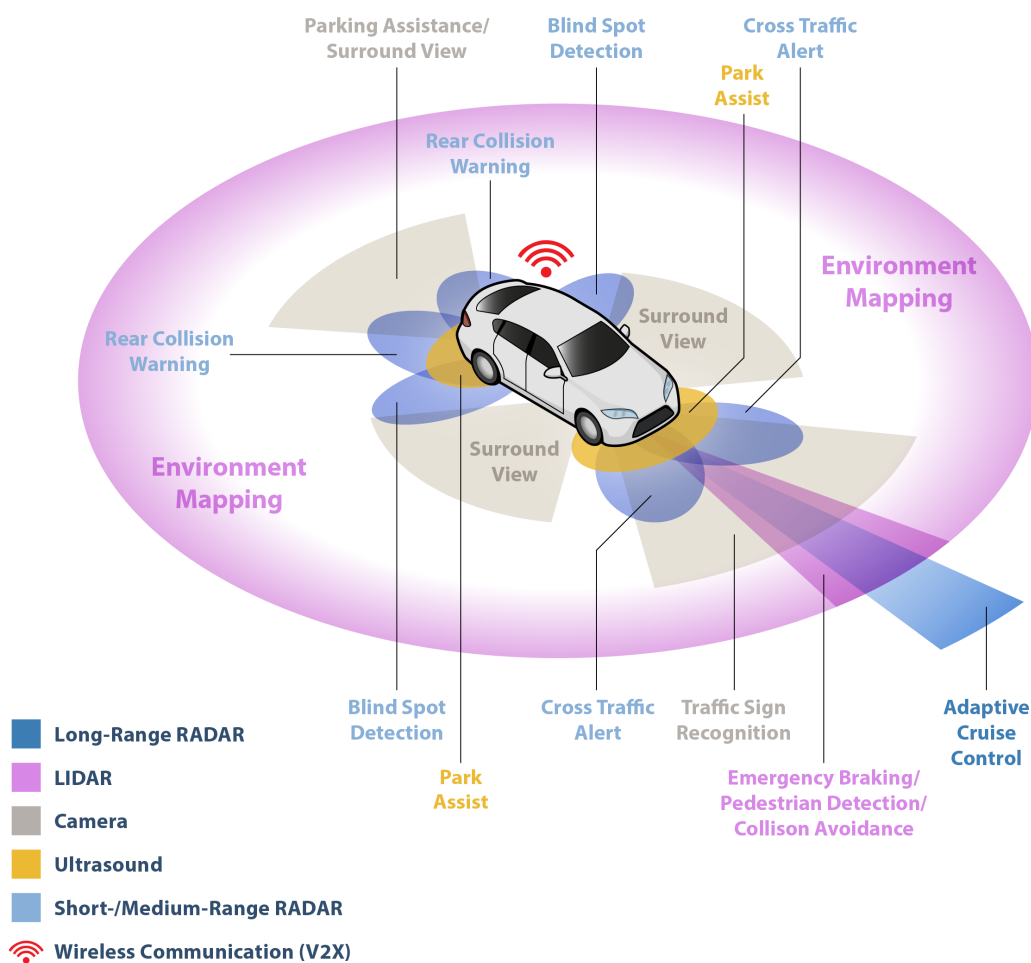


Abbildung 5: Wirkungsbereiche und Funktionen der Fahrzeugsensoren (Quelle: Eigene Darstellung)

Die größte Herausforderung stellt die Verarbeitung der Umfeldinformationen und ihre anschließende Umsetzung in Steuerungsbefehle dar. Hierbei müssen die Daten unterschiedlicher Sensoren vom System zu einem einheitlichen Lagebild zusammengesetzt werden (vgl. Abb. 5). Diese sogenannte Sensordatenfusion (Ritz 2018, S. 48) ist ein Prozess, der mit der menschlichen Sinneswahrnehmung verglichen werden kann.

„Zunächst müssen Sinneseindrücke (Daten) aufgenommen und im Gehirn (Computer) verarbeitet und mit bisherigen Erfahrungen abgeglichen werden (per Machine Learning, künstliche Intelligenz). Auf dieser Basis werden dann eigenständig Routine-, improvisierte oder intelligente Aktionen ausgeführt (Fahrzeug-monitoring und -steuerung).“ (Jonuschat et al. 2018, S. 26)

Da alle Sensoren über Vor- und Nachteile verfügen und nicht unter allen Umweltbedingungen gleich gut funktionieren, greift das System aus Sicherheitsgründen stets auf alle verfügbaren Daten zu.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Komponenten der Fahrzeugsensorik vorgestellt und deren Funktionsweise erläutert werden (vgl. Jonuschat et al. 2018, S. 28ff.). Es sei zudem angemerkt, dass die Fahrzeughersteller auf unterschiedliche Sensorkonfigurationen zurückgreifen und die meisten Fahrzeuge daher nicht über alle hier aufgeführten Komponenten verfügen.

2.2.1 Sensorik für die Standortbestimmung

Standortbestimmung und Navigation erfolgen beim automatisierten Fahren auf Grundlage eines hierarchisch strukturierten Drei-Ebenen-Modells, bestehend aus den Elementen Navigation, Führung und Stabilisierung (vgl. Schneider 2010, S. 15ff.; Abb. 6).

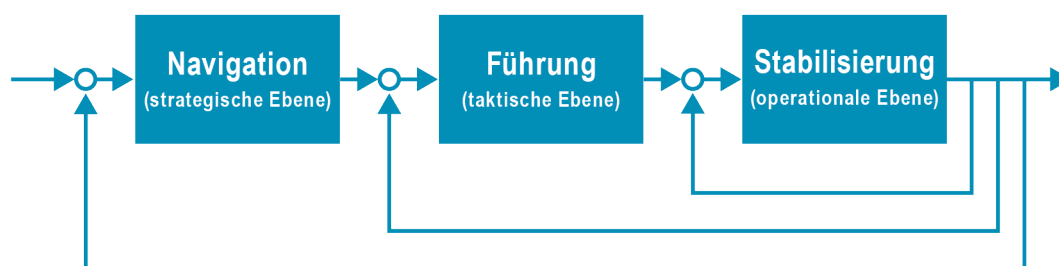


Abbildung 6: Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgaben (Quelle: Eigene Darstellung nach Schneider 2010)

Auf der Navigationsebene werden anhand von Kartendaten und verfügbaren Verkehrsinformationen die generelle Route des Fahrzeugs und dessen Standort bestimmt. Auf der Führungsebene erfolgt die unmittelbare Steuerung des Fahrzeugs (bspw. Abstandhalten, Überholen, etc.). Schließlich dient die Stabilisierungsebene dazu, das Fahrzeug durch korrigierende Manöver in der Spur zu halten. Die zur Erfüllung dieser Aufgaben benötigten Sensoren sowie ihre Vor- und Nachteile werden in Tabelle (Tab.) I beschrieben.

Tab. 1: Sensorik für die Standortbestimmung

Sensorik für die Standortbestimmung		
Sensor	Vorteile	Nachteile
<p>GNSS-Ortung: GPS nutzt das Global Navigation Satellite System (GNSS), um mittels Triangulation die exakte Position des Empfangsgeräts zu ermitteln. Dies geschieht mithilfe des regelmäßigen Empfanges von Zeit- und Standortdaten mehrerer Satelliten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Absolute Positionsbestimmung • Langfristig stabil • keine Fehlerfortsetzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Signalverluste • Ungenauigkeiten bei ziviler Anwendung (+/- 15m)
<p>Mobilfunk- und WLAN-Ortung: Die Positionierung über Wi-Fi Positioning System (WPS) und Mobilfunknetz erfolgt auf ähnliche Weise wie bei GPS und wird dort eingesetzt wo keine GPS-Signale empfangen werden können (z.B. in Gebäuden oder Tunneln). „Hierbei werden die Signale verschiedener „Access Points“ wie WLAN-Router oder Mobilfunk-Sender vom Receiver erfasst und über die entsprechenden SSID und MAC-Adressen per Triangulation der Standort bestimmt“ (Jonuschat et al. 2018, S. 29).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Günstig • Meist keine zusätzlichen Sensoren nötig 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur in Gebieten mit Mobilfunk- bzw. WLAN-Verfügbarkeit • WLAN-Ortung fehlerbehaftet • Sehr grobe Ortung • Standorte der Access Points müssen bekannt sein
<p>Inertiale Navigation: Die inertielle Navigation erfolgt anhand von Sensoren, welche die relative Positionsänderung anhand der Fahrzeugbewegung messen. Hierzu zählen primär Beschleunigungssensoren (Accelerometer) und Gyroskope, welche meistens auf einer sogenannten Inertial Measurement Unit (IMU) verbaut werden. Diese Systeme können ferner durch Radgeschwindigkeits- und Drehratensensoren sowie gewöhnliche Kompass ergänzt werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unabhängig von äußeren Faktoren • Kurzfristig sehr stabil 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlerfortpflanzung führt bei langfristigem Einsatz zu starken Verzerrungen • Nur für die kurzfristige Positionsbestimmung geeignet
<p>Landmarkennavigation*: Anhand von Kamera-Systemen können Landmarken erfasst und mit den im System gespeicherten Informationen zur Route abgeglichen werden. Dadurch wird eine präzise Positionsbestimmung ermöglicht.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei korrekter Landmarkenidentifikation sehr genau 	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängig von korrekter Detektion der Landmarken • Nur möglich, wenn Landmarke in Reichweite

* Hierbei handelt es sich um spezielle Straßenschilder, die automatisierten Fahrzeugen zur Standorterkennung dienen.

(Quelle: Eigene Darstellung nach Jonuschat et al. 2018; Ritz 2018; Schönduwe et al. 2017)

2.2.2 Sensorik für die Umgebungserfassung

Genauso wie menschliche Fahrer müssen automatisierte Fahrzeuge ihre Umgebung nach unbewegten und bewegten Objekten sowie möglichen Hindernissen abscannen. Sie müssen außerdem dazu in der Lage sein, Straßenmarkierungen und Verkehrsschilder zu erkennen. Die hierzu benötigten Messdaten sind sicherheitskritisch. Entsprechend muss die Umfeldsensorik fahrerloser Fahrzeuge redundant ausgelegt werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten (Ritz 2018, S. 42). Die für die Umgebungserfassung eingesetzten Systeme sowie ihre Vor- und Nachteile werden in Tabelle 2 beschrieben.

Tab. 2: Sensorik für die Umgebungserfassung

Sensorik für die Umgebungserfassung		
Sensor	Vorteile	Nachteile
<p>RADAR (Radar Detection and Ranging): Radar-Systeme „werden zur Erkennung von Hindernissen und beweglichen Objekten“ eingesetzt (Jonuschat et al. 2018, S. 30). Hierbei misst das System mithilfe von Radiofrequenzwellen „den Abstand, den Winkel und die Geschwindigkeit von Objekten im Umfeld des Autos“ (Ritz 2018, S. 44).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Große Reichweite • Sehr witterungsrobust 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Auflösung • Hohe Herstellungskosten
<p>LIDAR (Light Detection and Ranging): Lidar-Systeme funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip wie Radar, jedoch werden anstelle von Radiowellen „Licht- oder Laserstrahlen im ultravioletten, sichtbaren oder Infrarot-Bereich genutzt“ (Jonuschat et al. 2018, S. 32).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Große Reichweite • Sehr hohe Auflösung 	<ul style="list-style-type: none"> • Anfällig für Witterungseinflüsse • Reichweite variiert je nach Lichtverhältnissen • Kann durch Blenden gestört werden
<p>Kamera und Stereokamera: Durch den Einsatz von Stereokameras kann ein räumliches Lagebild erfasst werden. Außerdem sind Kameras aufgrund ihrer Fähigkeit, Farben wahrzunehmen, „die einzigen Sensoren, welche die Ampelphase, Straßenschilder und Straßenmarkierungen sehen“ (Ritz 2018, S. 46).</p>	<p>Kamera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klassifizierung von Objekten • Kostengünstig • Große Reichweite 	<ul style="list-style-type: none"> • Tageslicht bzw. gute Ausleuchtung der Straße notwendig • 2D-Bild ohne Tiefeninformation • Anfällig für Witterungseinflüsse
	<p>Stereokamera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entfernungsmessung und Bilderkennung in einem einzelnen System möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Rechenaufwand • Gute Ausleuchtung notwendig • Anfällig für Witterungseinflüsse
<p>Ultraschall: Anhand hochfrequenter Schallwellen können mithilfe von Ultraschall Abstände zu Objekten bestimmt und menschliche Gesten erkannt werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstig • Witterungsrobust • Zentimetergenaue Auflösung 	<ul style="list-style-type: none"> • (Sehr) geringe Reichweite • Funktionsausfall durch Umwelteinflüsse möglich

(Quelle: Eigene Darstellung nach Jonuschat et al. 2018; Ritz 2018; Schönduwe et al. 2017)

2.3 Heutige Mobilitätssituation in ländlichen Räumen

Die gegenwärtige, vielerorts problematische Mobilitätssituation ländlicher Räume ist eng mit dem demografischen Wandel und dem damit einhergehenden Bevölkerungsrückgang verknüpft. Diese Entwicklung prägt bereits heute zahlreiche abgelegene und strukturschwache Regionen Deutschlands und wird sich in den kommenden Jahren weiter verstärken. Sie wird hauptsächlich durch zwei Faktoren beschleunigt:

Abwanderung junger Menschen: Junge Erwachsene verlassen nach ihrem Schulabschluss oder spätestens nach Ende der Ausbildung ihre Heimat, um in den Ballungsräumen nach „passende[n] Ausbildungsmöglichkeiten und Arbeitsplätze[n]“ zu suchen (ADAC 2016, S. 5). Sie finden dort einen neuen Lebensmittelpunkt und kehren meist nicht mehr zurück, „speziell wenn am neuen Wohnort eine Familie gegründet wird“ (ADAC 2016, ebd.). Die Folge ist, dass immer weniger Kinder und Jugendliche auf dem Land leben und die Bevölkerungsdichte weiter abnimmt.

Anstieg des Durchschnittsalters: Durch Wegzug der Jungen verbleiben vor allem ältere Menschen in ländlichen Räumen. Hierbei wächst insbesondere der Anteil derjenigen, die „aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen und verminderter Leistungsfähigkeit“ nicht mehr Auto fahren können und „zunehmend auf Alternativen angewiesen sind“ (Karl und Canzler 2011, S. 7). Das ländliche ÖPNV-Angebot ist aber meist unzureichend und auch Familienmitglieder oder Nachbarn können nur bedingt aushelfen (Mörner 2018, S. 28).

Die Folge des Bevölkerungsrückgangs ist, dass Angebote des täglichen Bedarfs, wie Supermärkte, Banken oder Arztpraxen, aus kleineren Ortschaften verschwinden und sich „immer stärker auf einige wenige, meist am Rand größerer Orte liegende Flächen“ konzentrieren. Somit „steigen [auch] die Entfernungen und die Wege lassen sich immer schlechter zu Fuß oder per Rad zurücklegen“ (Herget und Hunsicker 2014, S. 61). Ebenso verhält es sich im Schulbereich, wo eine „Konzentration von Schulstandorten“ in regionalen Mittelzentren stattfindet (Karl und Canzler 2011, S. 7).

Im Folgenden soll dargestellt werden, wie sich der demografische Wandel auf Mobilität und Logistik in ländlichen Räumen auswirkt.

2.3.1 Öffentlicher Verkehr (ÖV)

Der herkömmliche ÖPNV steht in vielen ländlichen Regionen Deutschlands vor einer „Finanzierungs- und Nachfragekrise“ (Karl und Canzler 2011, S. 7). Maßgeblich für diese Entwicklung ist insbesondere der Rückgang der Schülerzahlen. Denn vielerorts basiert das spärliche ÖPNV-Angebot fast vollständig auf dem Schülerverkehr, welcher bisher auch „für die Grundfinanzierung der ÖV-Leistungen im ländlichen Raum unabdingbar war“ (Mörner 2018, S. 15). Weitere Verkehre werden – wenn überhaupt – nur in geringem Umfang angeboten.

Eine weitere Folge sinkender Schülerzahlen sind Schulschließungen und Zusammenlegungen sowie die dadurch bedingte Konzentration der verbliebenen Einrichtungen in größeren Orten. Dieser Prozess führt dazu, dass die Linienführung der Busse an die vergrößerten Einzugsgebiete

der Schulen angepasst werden muss und somit die Entfernungen und Fahrzeiten größer werden. Dadurch wird auch das ÖPNV-Angebot immer unattraktiver (Karl und Canzler 2011, S. 7).

Somit ist in vielen ländlichen Räumen bereits heute eine „Minimalversorgung im ÖPNV“ nicht gesichert (Karl und Canzler 2011, ebd.) und es ist davon auszugehen, dass sich die Lage zukünftig weiter anspannen wird. Dies ist auch deswegen problematisch, da es mehr hochbetagte und bewegungseingeschränkte Menschen geben wird, die auf eine Alternative zum Privat-PKW angewiesen sind. Auch wird voraussichtlich die Zahl derer steigen, die sich kein eigenes Fahrzeug leisten können (ADAC 2016, S. 6). Doch wie kann einer solchen Entwicklung entgegengewirkt werden?

Ein Ansatz besteht z. B. in der Einführung multimodaler Mobilitätsangebote. Die Initiativen Odenwaldmobil und Mobilfalt (Nordhessen) verfolgen beispielsweise das Ziel, „private wie gewerbliche Mitfahrmöglichkeiten in das bestehende Tarif- und Verbindungsauskunftssystem“ zu integrieren (Herget und Hunsicker 2014, S. 63). Auch werden bereits Versuche mit ländlichen Pedelec-Verleihsystemen unternommen. So z. B. in Mecklenburg-Vorpommern und im westfälischen Mettingen, wo diese als Zubringer für die lokalen Schnellbuslinien eingesetzt werden. Andere Projekte zielen darauf ab, Synergien zu schaffen, um somit die Rentabilität der Angebote zu erhöhen. Im Falle des KombiBus in der Uckermark gelingt dies, indem sowohl Fahrgäste als auch Pakete befördert werden (Herget und Hunsicker 2014, ebd.). Eine ausführliche Beschreibung dieses Projekts folgt in Abschnitt 2.3.3.

In vielen Regionen werden außerdem Rufbusse und ehrenamtlich organisierte Bürgerbusse eingesetzt. Auch existieren lokale Carsharing-Dienste sowie Hol- und Bringdienste für ältere und mobilitätseingeschränkte Menschen. Taxi-Dienste können ebenso eine günstige „Mobilitätsoption zur Flächenerschließung im [Öffentlichen Verkehr] darstellen“, wenn sie in den örtlichen ÖPNV-Verbund integriert werden (ADAC 2016, S. 13).

Schließlich können auch sehr einfache Nachbarschaftsprojekte bereits zu einer Verbesserung der lokalen Mobilitätssituation führen. Ein Beispiel hierfür sind Mitnahme- bzw. Mitfahrerbanken (Abb. 7). Personen, welche eine Mitfahrgelegenheit benötigen, können dort anhand eines Schilds die gewünschte Destination angeben und anschließend auf eine Mitnahme warten. Gerade in ländlichen Räumen, in denen sich Personen oftmals untereinander kennen, kann das Konzept gut funktionieren. Erstmals 2014 in der Verbandsgemeinde Speicher in Rheinland-Pfalz eingeführt, wurde die Idee mittlerweile von mehreren regionalen Initiativen deutschlandweit übernommen (Netzwerk Mobilität in der Verbandsgemeinde Speicher).



Abbildung 7: Mitnahmebank in der Verbandsgemeinde Speicher
(Quelle: Berrens - Netzwerk Mobilität in der Verbandsgemeinde Speicher)

2.3.2 Individualverkehr

Das mit Abstand meistbenutzte Transportmittel in ländlichen Räumen ist das Privatauto. Auch nimmt, aufgrund des sich in vielen Regionen verschlechternden ÖPNV-Angebots, „die Abhängigkeit vom privaten PKW seit Jahren [...] immer weiter zu mit der Konsequenz, dass all jene, die über kein Auto verfügen [...], immer größere Schwierigkeiten haben“ ihre Grundbedürfnisse zu befriedigen (Becker et al. 2018, S. 3).

Wie bereits zu Beginn von Abschnitt 2.3 erläutert, wird diese Abhängigkeit auch dadurch verstärkt, dass in vielen kleineren Orten nicht mal mehr grundlegende Angebote des täglichen Bedarfs – wie beispielsweise Bäckereien oder kleinere Tante-Emma-Läden – bestehen.

Insbesondere Eltern erachten daher den Besitz von mindestens einem PKW als unverzichtbar. Das Familienauto wird etwa gebraucht, um im Notfall ohne Umwege einen Arzt aufsuchen zu können oder die Kinder zu Freizeitaktivitäten und Freunden zu fahren. Oftmals wird es auf dem Land als das einzige Verkehrsmittel betrachtet, welches „sicher, wetterunabhängig zuverlässig, subjektiv günstig sowie zeitlich und räumlich sehr flexibel ist“ (Herget und Hunsicker 2014, S. 62). Selbst wenn das eigene Auto gerade nicht zur Verfügung steht, wird nach Möglichkeit eher ein Fahrzeug von Familienangehörigen oder Nachbarn ausgeliehen, als dass auf öffentliche Verkehrsmittel zurückgegriffen wird (Herget und Hunsicker 2014, ebd.).

Fahrräder und Pedelecs werden dagegen nur bei geringen Entfernungen und guter Wetterlage als Alternative betrachtet. Ähnlich verhält es sich bei festen Fahrgemeinschaften, welche „oft nur bei gleich bleibenden Arbeitszeiten oder für regelmäßige Freizeitermine“ als Option wahrgenommen werden (Herget und Hunsicker 2014, S. 63).

Aufgrund der längeren Wegelängen und der häufigeren PKW-Nutzung sind die Verkehrsausgaben „[b]ereits heute [...] der zweitgrößte Ausgabeposten [ländlicher] privater Haushalte, direkt nach

den Kosten für Wohnen und Heizen“ (Herget 2013, S. 54). Da in Zukunft neben den Aufwendungen für Gesundheits- und Altersvorsorge auch die Anschaffungskosten für (batteriebetriebene) PKWs steigen dürften, könnten in ländlichen Räumen viele einkommensschwache Haushalte Schwierigkeiten bekommen, eigene PKWs zu unterhalten (Herget und Hunsicker 2014, S. 61).

2.3.3 Logistik

Der Bevölkerungsschwund auf dem Land wirkt sich auch unmittelbar auf Handel und Warenlogistik aus. Denn der daraus resultierende Nachfragerückgang und die abnehmende Marktgröße führen dazu, dass periphere ländliche Regionen für Unternehmen und Händler immer unattraktiver werden. Stationäre Verkaufsstellen jenseits der Grundversorgung – wie beispielsweise Fachgeschäfte, Buchläden oder Drogerien – verschwinden demzufolge zunehmend aus der Fläche (Lehmacher 2015, S. 29). Die dadurch entstehende Versorgungslücke wird zwar heutzutage weitgehend durch E-Commerce ausgeglichen, so dass sich das Warenangebot nicht grundlegend von dem urbaner Räume unterscheidet, jedoch besteht das Problem, dass der Transport und die Zustellung von Waren mit herkömmlichen Lösungen kaum mehr wirtschaftlich erfolgen kann. „Dies liegt an der geringen Dichte der Zustell- und Abholpunkte“, welche zu einer „geringen Auslastung der Fahrzeuge“ führt (Lehmacher 2015, S. 31).

Um diesem Problem zu begegnen, wird im Rahmen mehrerer Pilotprojekte versucht, vorhandene Ressourcen zu bündeln und somit Synergien zu schaffen. Zudem soll die durch die digitale Vernetzung aller beteiligten Akteure eine Effizienzsteigerung der ländlichen Logistik erzielt werden.

Ein erfolgreiches Beispiel für die Nutzung von Synergien ist der KombiBus der Uckermärkischen Verkehrsgesellschaft (UVG). Seit 2012 wird der Frachtraum der Linienbusse dazu benutzt, um regionale Lebensmittel- und Warensendungen innerhalb der Region oder – über ein Zwischenlager – nach Berlin zu transportieren. Das Angebot richtet sich sowohl an Händler und Hersteller regionaler Erzeugnisse als auch an Privatpersonen, welche sich Lieferungen an eine Wunschhaltestelle zustellen lassen können. Durch dieses Angebot wird die regionale Nahversorgung gestärkt, zudem können kleine Läden aufgrund günstiger Frachtraten und der Möglichkeit, auch kleine Mengen anliefern zu lassen, wieder ein breiteres Sortiment an Produkten anbieten (Lehmacher 2015, ebd.; Sylvester 2019, S. 6ff.; Abb. 8).



Abbildung 8: KombiBus der Uckermärkischen Verkehrsgesellschaft. (Quelle: UVG mbH)

Dieses ländliche Logistiksystem ist skalierbar und kann an die Gegebenheiten verschiedener Regionen angepasst werden. So wäre es beispielsweise ebenso denkbar, Regionalbahnen in die Logistikkette einzubeziehen (Sylvester 2019, S. 4) oder über eine digitale Plattform eine regionale Börse für Transportdienstleistungen in das System zu integrieren (Sylvester 2019, S. 14).

Auch Shareeconomy-Modelle, bei denen Privatpersonen mit ihren PKWs eingebunden sind, werden womöglich in der ländlichen Logistik eine Rolle spielen. So könnten zukünftig Pendler im Auftrag von KEP-Diensten¹⁰ Sendungen von der nächstgelegenen Stadt zu ihrem Wohnort transportieren, um sie dort den jeweiligen Empfängern auszuhändigen. Ebenso könnten sie auch neue Sendungen entgegennehmen und diese in der Stadt zustellen bzw. den KEP-Diensten zur weiteren Verteilung übergeben (Lehmacher 2015, S. 32). Diese auch als Crowd Logistics bezeichnete Transport- und Zustellungsart soll in Deutschland im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Leuchtturmprojekts SMile (Smart Last-Mile Logistik) erprobt werden (www.smile-project.de).

Perspektivisch könnte auch das „SmartVillage“, d.h. die digitale Vernetzung dörflicher Infrastrukturen und ihrer Bewohner, zu einer Verbesserung der ländlichen Nahversorgung beitragen. Im Rahmen des Fraunhofer IESE Projekts „Digitale Dörfer“ werden „smarte“ Dorfstrukturen bereits in mehreren deutschen Gemeinden erprobt. So können z. B. regionale Händler und Erzeuger ihre Produkte über die „BestellBar“-Plattform - einem jeweils lokal angepassten Online-Marktplatz - zum Verkauf anbieten. Erworbene Waren werden im Anschluss mit Hilfe des Mitbring-Services „LieferBar“ zugestellt. Hierbei kann jeder Nutzer, der in der Community registriert ist, Pakete entgegennehmen, um sie beispielsweise Freunden oder Nachbarn zuzustellen (www.digitale-doerfer.de).

¹⁰ Kurier-, Express- und Paketdienste

2.4 Potenziale einer ländlichen automatisierten Mobilität

Aus der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Situation lassen sich die heutigen Grundprobleme ländlicher Mobilität und Logistik ableiten.

- **Unwirtschaftlichkeit des ländlichen ÖPNVs:** Angesichts sinkender Fahrgastzahlen und demzufolge schwindender Finanzspielräume kann ein herkömmlicher ÖPNV in vielen ländlichen Regionen kaum noch wirtschaftlich betrieben werden. Ohnehin basiert dieser oftmals nur noch auf dem Schülerverkehr, welcher ebenso kontinuierlich zurückgeht.
- **Attraktivitätsverlust des ländlichen ÖPNVs:** Im Sinne der allgemeinen Daseinsfürsorge soll ein flächendeckendes ÖPNV-Angebot garantiert werden. Jedoch ist vielerorts ein solches mit herkömmlichen Mitteln kaum noch zu erhalten. Die Folge ist eine Ausdünnung des ÖPNV-Netzes und eine weitere Reduzierung der Taktungen. Außerdem werden die Routen und demzufolge auch die Fahrzeiten immer länger und somit der ländliche ÖPNV zunehmend unattraktiver.
- **Unerfüllte Mobilitätsbedürfnisse:** Zugleich leben auf dem Land immer mehr Menschen, welche altersbedingt oder aufgrund ihrer prekären wirtschaftlichen Lage auf ein bezahlbares und zuverlässiges ÖPNV-Angebot angewiesen wären.
- **Unwirtschaftlichkeit konventioneller Logistiklösungen:** Aufgrund der abnehmenden Bevölkerungsdichte erweist sich die Bedienung ländlicher Räume für klassische Logistik-Dienstleister als zunehmend unwirtschaftlich. Daran ändert auch der Umstand nichts, dass das E-Commerce-Volumen weiterhin zunimmt.

Im Folgenden soll nun erläutert werden, inwiefern der Einsatz automatisierter Fahrzeuge zur Lösung der genannten Probleme beitragen könnte.

2.4.1 Einsatzszenarien für automatisierte Fahrzeuge

Befürworter einer Automatisierung argumentieren, dass durch den Einsatz fahrerloser Systeme der ÖPNV in ländlichen Regionen flexibilisiert und wesentlich effizienter betrieben werden könnte. Letztlich würde dadurch sogar ein kostendeckender Betrieb möglich (Bernhart et al. 2018, S. 11). Diese Position beruht hauptsächlich auf der Annahme, dass durch Einsparung eines Großteils der Personalkosten mehr Finanzmittel zur Verfügung stünden, welche beispielsweise dem Ausbau des Mobilitätsangebots zugutekämen (Wittpahl und Gereon 2019, S. 23). Unter Voraussetzung einer ausreichenden Flottengröße könnten automatisierte bedarfsgesteuerte ÖPNV-Angebote sogar einen Teil des ländlichen PKW-Bestands ersetzen und somit zu einer Reduzierung des Ressourcenverbrauchs beitragen¹¹ (Klementschtz et al. 2019, S. 558f.).

¹¹ Modellberechnungen für die suburban geprägte Gemeinde Perchtoldsdorf (AT) haben ergeben, dass durch den Einsatz automatisierter Sammelverkehre theoretisch über 80% des privaten PKW-Bestands eingespart werden könnten (Klementschtz et al. 2019, S. 559; Haider und Klementschtz 2017, S. 26).

Zudem würde ein solcher bedarfsgesteuerter Einsatz automatisierter Fahrzeuge auch einen tageszeitunabhängigen Betrieb ermöglichen. Somit könnten perspektivisch „selbst sehr periphere Ortslagen rund um die Uhr auch ohne eigenen PKW mit einer Art öffentlichem Verkehr“ erschlossen werden (Hunsicker et al. 2016, S. 61). Dies würde „im ländlichen Kontext [...] nichts weniger als einer Revolution der Erreichbarkeit“ gleichkommen (Hunsicker et al. 2016, ebd.). Ebenso könnten die lokale Wirtschaft und der Tourismus von der besseren Erschließung ländlicher Regionen profitieren (Bernhart et al. 2018, S. 11).

Doch wie könnte ein automatisierter ÖPNV im ländlichen Raum konkret aussehen? Wahrscheinlich würden automatisierte Fahrzeuge den konventionellen ÖPNV zunächst nur ergänzen - z. B. im Rahmen begrenzter Pendelverkehre zwischen Ortsteilen. Mit zunehmender technischer Reife könnte etwas später ein Einsatz im Linienbetrieb folgen – z. B. außerhalb der Stoßzeiten oder als „Nachfragereregulierer [...] in Spitzenlastzeiten zur Kompensation von Kapazitätsschwankungen“ (Richter und Rehme 2018, S. 28f.). Ein solcher fahrerloser Betrieb auf festen Routen wäre „ab etwa 2030“ denkbar (Jonuschat et al. 2018, S. 71).

Schließlich könnte ein Großteil des ländlichen ÖPNVs durch einen automatisierten bedarfsgesteuerten Flächenbetrieb („Automated Mobility On-Demand“) ersetzt werden. Fahrerlose Shuttle-Busse (vgl. Abb. 9, S. 30) oder kleinere Pods würden hierbei als Zubringer für größere Verkehrsknotenpunkte dienen (Bernhart et al. 2018, S. 11; Sonderegger et al. 2019, 60f.). Dieses Einsatzszenario ähnelt demjenigen heutiger Rufbusse, wäre jedoch tageszeitunabhängig und somit rund um die Uhr verfügbar.

Auch in diesem Fall könnte der „geringere Personaleinsatz [...] mit einer höheren Profitabilität verbunden sein“ (Richter und Rehme 2018, S. 27). Fahrerlose Shuttles könnten womöglich auch im Rahmen automatisierter Sonderfahrdienste eingesetzt werden. So, dass „mobilitätseingeschränkte Personengruppen [...] mobilisiert und kostengünstig befördert werden“ könnten (Richter und Rehme 2018, S. 29).

Die Einsatzszenarien für automatisierte Fahrzeuge im ländlichen ÖPNV werden in Abschnitt 3.4.1 nochmals vertiefend betrachtet.

Auch in der ländlichen Logistik wäre zukünftig der Einsatz kleinerer automatisierter Lieferfahrzeuge denkbar. Mit ihnen könnten Einkäufe ausgeliefert oder Waren in der Region verteilt werden. Entsprechende Fahrzeuge werden beispielsweise vom US-Startup „Nuro“ (Nuro 2016) entwickelt. Die Einsatzszenarien für automatisierte Fahrzeuge in der ländlichen Logistik werden in Abschnitt 3.4.2 nochmals vertiefend betrachtet.



Abbildung 9: Automatisierter Shuttle-Bus in Bad Birnbach (Quelle:Wikimedia Commons - Dietrich - CC BY-SA 4.0)

2.4.2 Pilotprojekte im deutschsprachigen ländlichen Raum

Seit 2017 werden in Deutschland, Österreich und der Schweiz fahrerlose Shuttle-Busse in ländlichen Umgebungen erprobt. Aktuell sind rund ein Dutzend Projekte aktiv, im Rahmen derer Pilotbetriebe stattfinden bzw. projektiert werden. Derzeitige Forschungsschwerpunkte sind u. a.

- Die Erprobung fahrerloser Erster/Letzter-Meile-Betriebskonzepte im ländlichen Raum
- Der automatisierte On-Demand-Betrieb sowie dessen Verknüpfung mit herkömmlichen Verkehren
- Die Verbesserung der Barrierefreiheit
- Die Akzeptanz für fahrerlose ÖPNV-Systeme
- Die Erschließung touristischer und anderer „Points of Interest“ (POI) (siehe hierzu VDV 2020)

Aufgrund rechtlicher und insbesondere technischer Einschränkungen entsprechen die bisherigen Betriebsbedingungen in den Pilotprojekten bei weitem nicht den notwendigen Anforderungen eines fahrerlosen Regelbetriebs. So verfügte der im österreichischen Koppl getestete Navya-Shuttle laut Rehl und Zankl bestenfalls über SAE-Level 3 Fähigkeiten (Rehl und Zankl 2018, S. 7). Ein ähnliches Bild ergibt sich in Bad Birnbach, wo den eingesetzten Easymile-Fahrzeugen nach wie vor die Reife für die „Teilnahme an einem regulären Serienbetrieb im Öffentlichen Personennahverkehr“ abgesprochen wird (Riener et al. 2020, S. 202). Eine große Herausforderung

stellen oftmals unscheinbare Umgebungssituationen dar, welche die Fahrzeugsensorik regelmäßig überfordern. So führten z. B. im Testfeld Bad Birnbach folgende Vorkommnisse zu Bremsungen, Not-Stopps und/oder dem manuellen Eingreifen des mitfahrenden Operators (Abb. 10, S. 32).

- Geöffneter Kanaldeckel hat den Busfahrer zu einem Soft-Stopp und zum manuellem Eingreifen veranlasst
- Bewässerungsanlage löst Not-Stopp durch den Bus aus
- Überholender Pkw schert kurz vor dem Bus ein und provoziert einen Not-Stopp
- Vom Wind bewegte lange Grashalme und Blätter zwingen den Bus in den Not-Stopp
- Kreuzende Katze löst automatischen Not-Stopp aus
- Aufsteigende Dämpfe aus Kanaldeckel und vom Außenbereich Rottal Terme führen zum Abbremsen des Busses
- Entgegenkommende Fahrzeuge mit überhöhter Geschwindigkeit im Bereich BC lösen Not-Stopp durch den Bus aus
- Seitlich zum Bus „schlendernde“ Fußgänger führen zu wiederholtem Abbremsen und Anfahren des Busses
- Unterschiedliche Reflektivität beim Einfahren in Bereich C führt zu Not-Stopp des Busses

Abbildung 10: Testfeld Bad Birnbach - Störereignisse (21.07. - 19.11.2018) (Quelle: Riener et al. 2020, S. 77)

Weiterhin verlieren die Busse oftmals „ohne ersichtlichen Grund [ihre] Lokalisierung und [sind] nicht in der Lage, autonom weiterzufahren“ (Riener et al. 2020, S. 77). In solchen Situationen muss das Fahrzeug vom Operator übernommen und das System neu gestartet werden (Riener et al. 2020, ebd.; Rehrl und Zankl 2018, S. 7).

Aus den eben beschriebenen Limitierungen ergeben sich auch deutliche Einschränkungen für den Betrieb der Fahrzeuge.

- So verlaufen sämtliche Teststrecken innerorts und werden nur mit geringen Geschwindigkeiten befahren. In keinem Testfeld wurden bisher zwei oder mehrere Ortschaften über Landstraßen verbunden.
- Ein AMoD¹²-Betrieb ist noch nicht möglich. Die Betriebszeiten der Shuttle-Busse sind zudem sehr eingeschränkt. Nachts finden grundsätzlich keine Fahrten statt.
- Der Betrieb muss bei schlechtem Wetter – wie beispielsweise Nebel, Regen oder Schneefall – eingestellt werden.
- Die Mitfahrt eines Operators ist bisher sowohl aus technischen als auch rechtlichen Gründen erforderlich. Ein Betrieb ohne Begleitperson wird spätestens gegen Mitte der 2020er Jahre erwartet (vgl. auch Abschnitt 3.2.1).

12 Automated Mobility on Demand - bedarfsgesteuertes Mobilitätsangebot mit automatisierten Fahrzeugen

Tab. 3: Pilotprojekte im deutschsprachigen ländlichen Raum (Auswahl)

Pilotprojekte im deutschsprachigen ländlichen Raum (Auswahl)

AutoNV_OPR

Wusterhausen / Dosse (D)
Pilotbetrieb seit 2019
Fahrzeug: EZ10

Im Rahmen des Pilotbetriebs wird der historische Stadtkern der brandenburgischen Kleinstadt erschlossen, zudem wird der örtliche Haltepunkt der Regionalbahn angefahren. Perspektivisch soll ein ca. 1,5 km entfernter Ortsteil angebunden werden.

Projektschwerpunkte: Erste/Letzte-Meile, Zubringerverkehr (Bhf), Verbindung zweier Ortschaften, Akzeptanzforschung

Bad Birnbach

Bad Birnbach (D)
Pilotbetrieb seit 2017
Fahrzeug: EZ10

Im niederbayerischen Kurort hat die Deutsche Bahn im Oktober 2017 die „erste autonome Buslinie Deutschlands im öffentlichen Straßenraum“ eingerichtet. Derzeit läuft der Betrieb auf einer 2,1 km langen Strecke die das Ortszentrum und die Therme mit dem Bahnhof des Ortes verbindet.

Projektschwerpunkte: Erste/Letzte-Meile, Zubringerverkehr (Bhf), Anbindung eines POI (Therme)

Digibus

Koppl (AT)
Mehrere Testphasen seit 2017
Fahrzeuge: Arma, EZ10

Im Rahmen des österreichischen Leitprojekts „Digibus Austria“ fanden bereits mehrere Testphasen in der Gemeinde Koppl bei Salzburg statt. Die circa 1400 Meter lange Strecke verbindet das Dorfzentrum mit einer am Ortsrand befindlichen Bushaltestelle.

Projektschwerpunkte: Erste/Letzte-Meile, Zubringerverkehr (ÖPNV), Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden und Fahrgästen

NAF-Bus

Sylt (D)
Pilotbetrieb seit 2019
Fahrzeug: EZ10

Seit April 2019 fährt in Keitum (Sylt) ein EZ10 Shuttle-Bus, welcher eigens von der Sylter Verkehrsgesellschaft (SVG) für das Projekt erworben wurde. Ziel ist die Entwicklung und Evaluierung eines On-Demand-Angebotes in einem touristischen Gebiet.

Projektschwerpunkte: Automatisierten On-Demand-Verkehren, Beförderung von Touristen, Erprobung der Technik bei Starkwind

(Quellen: AutoNV_OPR 2019; Riemer et al. 2020; Rehrl und Zankl 2018; NAF-Bus 2019)

In Tabelle 3 wird eine Auswahl aktueller Shuttle-Projekte vorgestellt. Eine umfangliche Übersicht der aktiven Pilotbetriebe in Deutschland – sowohl in urbanen als auch ländlichen Räumen – bietet die Website des Verbands der deutschen Verkehrsunternehmen (VDV)¹³.

¹³ <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>

3. Explorative Phase - Expert/-innen-Interviews

Das dritte Kapitel bildet den Hauptteil der vorliegenden Arbeit. Es werden darin die Ergebnisse aus neun Experteninterviews vorgestellt, welche zwischen dem 24. Oktober 2019 und dem 22. November 2019 durchgeführt wurden. Das Kapitel gliedert sich wie folgt:

Einleitend soll die Methodik erläutert werden, die den Interviews zugrunde liegt (3.1). Es folgt eine Analyse der derzeitigen technischen und regulatorischen Herausforderungen, die bewältigt werden müssen, damit der Betrieb straßengebundener automatisierter ÖPNV- und Logistiksysteme in ländlichen Regionen realisiert werden kann (3.2). Im Hauptteil des Kapitels (3.3 - 3.6) sollen daraufhin die zukunftsbezogenen Aspekte thematisiert werden, die im Rahmen der Interviews behandelt wurden. Hierbei werden die unterschiedlichen Positionen der Interviewpartner analysiert und gegenübergestellt. Im Rahmen eines abschließenden Zwischenfazit (3.7) erfolgt – *erstens* – die Identifizierung von Kernfragen aus den Interviews und – *zweitens* – die Vorstellung von Einflussfaktoren, welche auf Grundlage der Interviewergebnisse abgeleitet wurden. Diese könnten perspektivisch in einem Szenarioprozess eingesetzt werden. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die im vierten Kapitel erörterte Delphi-Befragung.

3.1 Methodisches Vorgehen

Wie in Abschnitt 2.4 bereits ausführlich beschrieben, wird automatisierten ÖPNV- und Logistiksystemen im ländlichen Raum zwar ein hohes Nutzenpotenzial bescheinigt, jedoch ist ein praxisnaher Probetrieb, bei dem beispielsweise mehrere Siedlungen mit fahrerlosen Shuttle-Bussen angefahren werden, derzeit noch nicht möglich. Da entsprechend nicht auf vorhandene empirische Daten zurückgegriffen werden konnte, bestand die Zielsetzung der Interviews zum einen in der Identifizierung der technischen und regulatorischen Hürden, die derzeit einem Regelbetrieb automatisierter Systeme noch im Wege stehen, zum anderen sollten die Interviewpartner dazu animiert werden, verschiedene Teilaspekte eines zukünftigen automatisierten ÖPNV- und Logistiksystems für den ländlichen Raum zu umreißen. Die betrachtete Zeitspanne lag zwischen 2025 und 2035.

3.1.1 Fragenauswahl und Aufbau des Interview-Leitfadens

Für die Durchführung der Interviews wurde die Form des Leitfadengesprächs gewählt. Diese qualitative Interviewform eignet sich insbesondere für die Befragung kleiner spezialisierter Expertengruppen, da „durch die offene Gesprächsführung und die Erweiterung von Antwortspielräumen“ ein besserer Einblick in „die Erfahrungshintergründe“ der Interviewten erlangt werden kann (Schnell et al. 2018, S. 353). Durch den Einsatz eines halbstrukturierten Leitfadens bleibt zugleich eine „zumindest rudimentäre Vergleichbarkeit der Interviewergebnisse“ gewahrt (Schnell et al. 2018, ebd.). Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Abläufe der Interviews flexibel gestaltet werden können und dass neue Fragen, welche sich spontan im Laufe

der Gespräche ergeben, gegebenenfalls weiterverfolgt werden können (Döring und Bortz 2016, S. 365).

Als Ausgangspunkt für die Ausarbeitung der Interview-Fragen diente hauptsächlich die Seminararbeit, welche der Autor im Vorfeld dieser Arbeit zu selbigem Thema verfasst hat (Crössmann 2019)¹⁴. Ferner wurden u.a. der Bericht zum Projekt „Hop-on Hop-off“ hinzugezogen, an dessen Durchführung und Dokumentation der Autor persönlich beteiligt war (Jonuschat et al. 2018), sowie die Studie von Roland Berger „Reconnecting the rural“ (Bernhart et al. 2018). Zur Identifizierung und Formulierung der Interview-Fragen wurde das SPSS-Prinzip¹⁵ angewandt (Helfferich 2011, S. 182ff.). Zunächst wurden möglichst viele Fragen zum Forschungsgegenstand gesammelt, wobei noch nicht auf die konkrete Formulierung oder Relevanz geachtet wurde. Im zweiten Schritt wurde der so entstandene Fragenkatalog geprüft. Hierbei wurden einzelne Fragen ersatzlos gestrichen bzw. umformuliert. Die verbliebenen Fragen wurden darauf im dritten Schritt sortiert und thematisch gebündelt. Abschließend wurde der eigentliche Interview-Leitfaden konzipiert, wobei auf die Vorlage aus Helfferichs Lehrbuch „Die Qualität qualitativer Daten“ zurückgegriffen wurde (vgl. Helfferich 2011, S. 186).

Tab. 4: Übersicht der Schlüsselfragen

Übersicht der Schlüsselfragen	
Ia	Welche Herausforderungen müssen in Bezug auf die Fahrzeugtechnik und die Fahrzeug-KI noch gemeistert werden, um den Regelbetrieb vollständig automatisierter Level-4-Fahrzeuge im peripheren ländlichen Raum zu ermöglichen?
Ib	Gehen wir davon aus, dass um das Jahr 2030 automatisierte Fahrzeuge zum alltäglichen Straßenbild peripherer ländlicher Räume gehören und beispielsweise im ÖPNV oder in der Logistik eingesetzt werden. Wie wird die dazugehörige Verkehrsinfrastruktur aussehen?
Ic	Zwischen 2025 und 2035 werden im ländlichen Raum zunehmend automatisierte Fahrzeuge zum Einsatz kommen. In welchen Anwendungsfeldern werden diese Fahrzeuge eine Rolle spielen und wie werden sie konzipiert sein?
IIa	Wir befinden uns zu Beginn der 2030er Jahre. Der ländliche ÖPNV/ÖIV wurde weitgehend automatisiert. Elisabeth Müller, Rentnerin und 75 Jahre alt besitzt kein eigenes Auto und lebt in einem abgelegenen Dorf. Sie möchte zum Einkaufen in den nächstgelegenen Ort fahren. Stellen Sie sich bitte Frau Müllers Fahrt mit dem automatisierten ÖPNV/ÖIV vor, wie könnte diese ablaufen?
IIb	Gehen wir davon aus, dass um das Jahr 2030 viele Logistik-Dienste im ländlichen Raum automatisiert worden sind. Wie könnte die Liefertour eines fahrerlosen Lieferwagens aussehen? Bedenken Sie hierbei jeden nötigen Schritt, z.B. auch Be- und Entladung.
III	Sie sind Geschäftsführer eines ländlichen Mobilitätsanbieters und gerade dabei Ihre Flotte auf automatisierte Fahrzeuge umzustellen. Was müssen Sie beim Umstellungsprozess und beim anschließenden Regelbetrieb beachten?
IV	Mit der Einführung automatisierter Fahrzeuge werden menschliche Verkehrsteilnehmer ihr Verhalten teilweise ändern bzw. anpassen müssen. Wie werden zukünftig Menschen und Fahrzeuge im ländlichen Straßenverkehr interagieren?
V	Welche sozialen Folgen - im Positiven wie im Negativen - könnten die Automatisierung des ÖPNVs und der Logistik in peripheren ländlichen Räumen haben?

14 Wesentliche Inhalte der Hausarbeit werden im zweiten Kapitel dieser Arbeit zusammengefasst und vertieft.

15 Die Abkürzung steht für die vier Schritte Sammeln, Prüfen, Sortieren und Subsumieren.

Der finale Entwurf des Leitfadens ist in fünf Themenbereiche gegliedert und beinhaltet acht Schlüsselfragen (vgl. Tab. 4). Die Fragestellungen sind möglichst offen formuliert und werden jeweils von einer kurzen Einführung begleitet, welche den Interview-Partnern den Einstieg in das spekulative Szenario erleichtern soll. Ebenso wurden die restlichen Fragen aus dem Fragenkatalog im Leitfaden berücksichtigt, indem sie entweder in Form von stichpunktartigen Checklisten oder als Nebenfragen unter den thematisch zugehörigen Schlüsselfragen subsumiert wurden. Nebenfragen wurden den Interview-Partnern ergänzend gestellt, sofern die entsprechenden Sachverhalte im Laufe des Gesprächs nicht zur Sprache kamen.

3.1.2 Auswahl der Interviewpartner

Aufgrund des sehr speziellen Untersuchungsgegenstands beschränkte sich der Kreis potenzieller Interviewpartner auf relativ wenige hochqualifizierte Fachexpertinnen und -experten. Zudem wurde die Suche aus Gründen der Zeitökonomie auf den deutschsprachigen Raum beschränkt. Ausschlaggebende fachliche Kriterien bei der Wahl der Gesprächspartner waren u. a. folgende:

- Technische Expertise im Bereich des automatisierten Fahrens, der allgemeinen Fahrzeugautomatisierung und/oder der digitalen Verkehrsvernetzung.
- Praxiserfahrung hinsichtlich des Betriebs automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV. Beispielsweise im Kontext von Reallaboren oder Testfeldern im ländlichen Raum.
- Technische Expertise bzw. Praxiserfahrung im Bereich Human-Machine-Interaction (HMI).
- Expertise im Bereich „neue Mobilität“ bzw. digitale Mobilitätsplattformen (Mobility as a Service - MaaS).
- Praxiserfahrung in der Planung und Umsetzung ländlicher ÖPNV-Angebote.
- Allgemeine Expertise in Bezug auf ländliche Mobilität.
- Fachwissen im Bereich der Logistikautomation und insbesondere der automatisierten ländlichen Logistik.

Weiterhin wurde bei der Auswahl ein möglichst ausgeglichenes Geschlechterverhältnis angestrebt. Kontakte zu potenziellen Interviewpartnern kamen zum einen über das vorbestehende berufliche Netzwerk des Autors zustande und zum anderen über Weiterempfehlung durch bereits rekrutierte Gesprächspartner. Einige Fachexpertinnen und -experten wurden durch persönliche Internet-Recherche ausfindig gemacht.

Tab. 5: Übersicht der interviewten Expertinnen und Experten (anonymisiert)

Übersicht der interviewten Expertinnen und Experten			
Interviewpartner/-in	Expertise / Position	Befragungsart	Datum
ALPHA	Wissenschaftliche Politikberatung im Bereich der ländlichen Mobilität und Infrastruktur	Telefon	24.10.2019
BETA	Planung und Entwicklung innovativer Betriebskonzepte für den ländlichen ÖPNV	Face-to-Face	25.10.2019
GAMMA	Mobilitätsberatung in den Bereichen autonomes Fahren, E-Mobility und Mobility on Demand	Face-to-Face	28.10.2019
DELTA	Planung internationaler Metro- und Straßenbahnprojekte	Telefon	31.10.2019
EPSILON	Verkehrsplanung und wissenschaftliche Expertise zu ländlichen autonomen Sammelverkehren	Telefon	05.11.2019
ZETA	Expertise zu neuen Mobilitätsdiensten und digitalen Mobilitätsplattformen	Telefon	07.11.2019
ETA	Projektmanagement im Rahmen eines Testbetriebs mit automatisierten Shuttle-Bussen	Telefon	08.11.2019
THETA	Expertise im Verkehrsrecht mit den Schwerpunkten automatisiertes und autonomes Fahren	Telefon	08.11.2019
IOTA	Innovationsmanagement im Bereich Mobilität	Telefon	22.11.2019

Der Erstkontakt erfolgte generell via E-Mail. Ferner wurden in zwei Fällen Personen über das Karrierenetzwerk LinkedIn kontaktiert sowie in einem weiteren Fall telefonisch. Im Rahmen der standardisierten schriftlichen Kontaktaufnahme wurden das Forschungsvorhaben sowie die Zielsetzung der Interviews grob umrissen. Weiterführende Informationen zur Masterarbeit und zum geplanten Ablauf der Interviews konnten einem beigefügten PDF-Dokument entnommen werden. Um mögliche Hemmschwellen abzubauen, wurde darauf geachtet, den angefragten Personen weitgehende Freiheit hinsichtlich der Wahl des Ortes, der Zeit und des Kommunikationskanals für das Interview zu lassen (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 376). Auch wurde ein Vorgespräch angeboten, um gegebenenfalls offene Fragen im Vorfeld zu klären.

Insgesamt wurden 19 Fachexpertinnen und -experten kontaktiert, von denen sich zehn zu einem Interview bereit erklärten. Neun Interviews wurden letztendlich durchgeführt. Eine anonymisierte Übersicht der interviewten Personen findet sich in Tabelle 5 (S. 39). Um im Fließtext eine bessere Unterscheidbarkeit zu erzielen, wurden die Klarnamen der Interviewpartner dem griechischen Alphabet folgend mit den (ausgeschriebenen) Buchstaben Alpha bis Iota ersetzt.

3.1.3 Vorbereitung und Durchführung der Interviews

Die zu interviewenden Personen wurden im Vorfeld des Gesprächstermins darum gebeten, jene vier Schlüsselfragen aus dem Leitfaden auszuwählen, die am ehesten ihrem Vorwissen entsprachen. Davon sollten drei Fragen im Laufe des Interviews gestellt werden. Eine weitere Frage diente als

„Reserve“ und sollte, sofern noch Zeit zur Verfügung stand, am Ende des Gesprächs behandelt werden. Um eine gewisse Pluralität im Meinungsbild zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, dass jede Frage von mindestens drei Interview-Partnern beantwortet wurde. Dies gelang im Allgemeinen, mit Ausnahme der Fragen IV und IIb. Frage IV (Mensch-Maschine-Interaktion) wurde lediglich von zwei Personen beantwortet, während sich für IIb (Anwendungsfeld Logistik) keine Gesprächspartner fanden. Da jedoch die in IV und IIb behandelten Aspekte im Rahmen anderer Fragestellungen thematisiert wurden, kann diese Lücke in der Gesamtbetrachtung als tolerierbar erachtet werden. Eine Zuordnung der Fragen und Themenbereiche zu den jeweiligen Gesprächspartnerinnen und -partnern findet sich in Tabelle 6.

Die Interviews fanden in sieben von neun Fällen telefonisch statt. In zwei weiteren Fällen wurden die Gesprächspartner an einem Ort ihrer Wahl aufgesucht (vgl. Tab.). Um die spätere Auswertung zu erleichtern, wurden sämtliche Gespräche digital aufgezeichnet. Hierbei wurde gemäß geltender Datenschutzbestimmungen darauf geachtet, dass die zu interviewenden Personen zuvor ihre schriftliche Einwilligung erteilt hatten. Die veranschlagte Interviewdauer von ca. 45 bis 60 Minuten wurde weitgehend eingehalten.

Tab. 6: Zuordnung der Fragen zu den Expertinnen und Experten (anonymisiert)

Zuordnung der Fragen zu den Expertinnen und Experten								
Interviewpartner/-in	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	III	IV	V
ALPHA			●				●	●
BETA				●		●		●
GAMMA				●		●	●	●
DELTA		●		●				●
EPSILON		●		●		●		●
ZETA				●		●		●
ETA	●	●	●					
THETA	●		●			●		
IOTA	●		●	●				

Der Ablauf der Interviews gestaltete sich wie folgt: Sofern die zu interviewende Person noch nicht damit vertraut war, wurde sie zunächst über die Qualitätskriterien der Zukunftsforschung sowie über das Prinzip der Szenarioerstellung instruiert. Auch wurde nochmals auf den zu betrachtenden Zeithorizont von 2025 bis 2035 hingewiesen. Ferner wurde die Person dazu

ermuntert, möglichst offen an die Fragen heranzugehen und dabei bewusst spekulative Aussagen zu treffen. Hauptgütekriterium sollte in diesem Kontext die Plausibilität der getroffenen Aussagen sein.

Zu Beginn der Aufzeichnung wurde der Gesprächspartner zunächst gebeten sich vorzustellen und über seine bisherigen beruflichen Erfahrungen mit automatisierter Mobilität zu berichten. Im Anschluss fand das eigentliche Interview statt. Hierbei nahm der Autor eine zurückhaltend-moderierende Haltung ein und wechselte nur gelegentlich in die Rolle eines Co-Experten, um das Gespräch auf einem fachlich anspruchsvollen Niveau zu halten (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 376). Zum Abschluss des Gesprächs wurde die interviewte Person gefragt, ob sie noch bestimmte Aspekte aus dem Interview ergänzen möchte. Anschließend wurde die Aufnahme gestoppt.

3.1.4 Auswertung

Die Audio-Aufzeichnungen der Interviews wurden zunächst vollständig transkribiert. Anschließend wurden die Antworten der Interviewpartner thematisch gebündelt und vergleichend gegenübergestellt. Wenn größere Informationslücken bestanden, wurden diese durch Eigenrecherche vervollständigt.

Im Rahmen der Auswertung wurden zudem Kernfragen und Einflussfaktoren ermittelt, welche als Basis für die im vierten Kapitel vorgestellte Delphi-Befragung dienen (vgl. Abschnitt 3.7).

3.2 Herausforderungen und Zeithorizont

Leitfaden – Frage 1a: „Welche Herausforderungen müssen in Bezug auf die Fahrzeugtechnik und die Fahrzeug-KI noch gemeistert werden, um den Regelbetrieb vollständig automatisierter Level-4-Fahrzeuge im peripheren ländlichen Raum zu ermöglichen?“

Ein routenunabhängiger Einsatz automatisierter ÖPNV- und Logistik-Systeme im ländlichen Raum wird frühestens im Laufe der 2030er Jahre möglich sein. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass erste fahrerlose Shuttle-Busse, welche auf festen und räumlich beschränkten Routen operieren, gegen Mitte der 2020er Jahre in den Regelbetrieb übergehen werden (IOTA, 00:09:19). Voraussetzung wäre allerdings die Einrichtung verkehrsberuhigter und für den Betrieb automatisierter Fahrzeuge optimierter Umgebungen. Dieser Zeithorizont deckt sich auch mit Einschätzungen aus anderen Publikationen (vgl. Jonuschat et al. 2018, S. 69ff.; Eckstein et al. 2018, S. 9).

Fahrerlose Shuttles wurden von Beginn an als SAE-Level-4-Fahrzeuge konzipiert und auch als solche vermarktet. Expert/-in THETA (THETA) konstatiert allerdings, dass ihre derzeitige Funktionalität faktisch nicht über SAE-Level-2 hinausreicht (THETA, 00:02:45). Auch sind die Fahrzeuge noch nicht ÖPNV-tauglich, da sie nur bedingt barrierefrei sind (IOTA, 00:15:48) und nur unter Aufsicht sogenannter Stewards – bzw. Operators – im öffentlichen Straßenraum betrieben werden dürfen. Aus Betreibersicht ist es zudem problematisch, so Expert/-in ETA (ETA), dass in Europa nur wenige Unternehmen solche Fahrzeuge entwickeln (ETA, 00:04:04). Gegenwärtig teilen die beiden französischen Hersteller Navya und Easymile fast den gesamten

Markt unter sich auf. Leistungsfähigere Systeme, wie beispielsweise die Robo-Taxis von Waymo (USA) oder Pony.ai (China/USA), sind hierzulande noch nicht verfügbar, dürften aber in Zukunft auf den europäischen Markt drängen (ETA, ebd.).

Neben vielen ungelösten Fragen im Bereich der Fahrzeugtechnik und Infrastruktur erweisen sich das Fehlen einheitlicher technischer Standards sowie die bisher nicht erfolgte Regulierung seitens des Gesetzgebers als größte Unsicherheitsfaktoren.

3.2.1 Fahrzeugsensorik

Gegenwärtig liegt die primäre Herausforderung in der Weiterentwicklung und Implementierung der für die Umfelderkennung benötigten Sensorik. So verfügen z. B. die Shuttle-Busse des Herstellers Easymile in der aktuellen Fahrzeuggeneration 2.3 lediglich über GPS, Raddrehzahl- und Lidar-Sensoren, jedoch nicht über Radar. Kameras, welche zur Identifizierung von Verkehrsschildern, Lichtsignalanlagen und Hindernissen benötigt werden, sind zwar verbaut, jedoch noch nicht in das System integriert (Riener et al. 2020, S. 65f.). In diesem Zusammenhang weist Expert/-in IOTA (IOTA) auch auf die ungeklärte Datenschutzfrage hin, die aus einem zukünftigen Einsatz der Kameras im öffentlichen Raum hervorgeht (IOTA, 00:02:19).

Aufgrund der eingeschränkten Sensorik ergeben sich Schwierigkeiten in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden. So werden beispielsweise Fahrzeuge, die nach einem Überholmanöver in zu geringem Abstand zum Shuttle auf die Fahrbahn einscheren, als Hindernis erkannt, was zu einem sofortigen Not-Stopp führt (ETA, 00:20:49). Ähnlich verhält es sich auch bei geringeren Störungen des Fahrzeugumfelds, wie beispielsweise in zweiter Reihe haltende Fahrzeuge oder Laub auf der Fahrbahn (IOTA, 00:01:55). Solche Situationen erfordern oftmals den Eingriff des Operators, da die Shuttles sie nicht eigenständig bewältigen können.

Erhebliche Fortschritte werden mit der Einführung der dritten Easymile-Fahrzeuggeneration erwartet. Laut Hersteller soll diese mit einem erweiterten Sensorik-Set ausgestattet sein und erstmals den Betrieb ohne Operator erlauben. Die neuen Shuttles wurden im Juni 2019 vorgestellt und sollen ab 2020 eingeführt werden (EasyMile 19.06.2019).

3.2.2 Fahrzeug-KI

Die aktuell im Einsatz befindlichen Fahrzeugmodelle von Navya und Easymile verfügen noch nicht über echte Künstliche Intelligenz (KI). Dies wäre erst der Fall, wenn die Systeme „lernfähig“ wären – im Sinne, dass sie auf Basis eigener „Erfahrungen“ ihr Fahrmodell selbstständig und kontinuierlich verbessern würden. Aktuell erfolgen Systemoptimierungen noch über herkömmliche Software-Updates (IOTA, 00:05:20).

Perspektivisch sollen die Fahrzeuge die Fähigkeit erlangen, auf Basis von Kamerabildern Objekte in ihrem Umfeld zu identifizieren. Durch die Integration weiterer Sensoren, wie beispielsweise Radar, und einer optimierten Auswertung der gesammelten Sensordaten (Sensorfusion), sollen so auch komplexe Fahrmanöver möglich werden. Z. B. wäre dann ein automatisierter Shuttle-Bus dazu instande, auf der Fahrbahn haltende Fahrzeuge als solche zu erkennen und diese, unter Berücksichtigung des Gegenverkehrs, eigenständig zu umfahren (ETA, 00:15:24).

3.2.3 Navigation automatisierter Fahrzeuge

Neben GPS und weiteren Sensoren¹⁶ nutzen automatisierte Shuttles für die Standortbestimmung ein digitales Umgebungsmodell ihrer Fahrtroute. Dieses wird während der Fahrt kontinuierlich mit dem durch das LIDAR übermittelte Lagebild abgeglichen (vgl. Abb. 11, S. 46). Hierbei handelt es sich um ein umständliches Verfahren, das gerade in ländlichen Regionen gravierende Nachteile aufweist.

Zum einen besteht das Problem, dass die Routen zunächst eingescannt und digitalisiert werden müssen. Dieses sogenannte „Set-Up“ ist mit erheblichem Aufwand verbunden und daher für die Digitalisierung weitläufiger Gebiete, wie sie beispielsweise in ländlichen Regionen notwendig wäre, ungeeignet (ETA, 00:09:19). Zum anderen können Divergenzen, die zwischen dem digitalen Modell und der realen Umgebung auftreten, dazu führen, dass sich das Fahrzeug nicht mehr orientieren kann. Ein Beispiel hierfür sind jahreszeitlich bedingte Veränderungen der Vegetation, welche das digitale Umgebungsmodell unbrauchbar machen können (ETA, 00:12:26).

Zur Umgehung des Problems werden am Streckenrand sogenannte Lokalisierungspaneel bzw. Landmarks aufgestellt, welche dem automatisierten Fahrzeug als Fixpunkte dienen (ETA, 00:12:26). Hierbei handelt es sich allerdings um eine provisorische Lösung. Denn zukünftig beabsichtigen Hersteller wie Easymile auf hochauflösende digitale Karten spezialisierter Anbieter zurückzugreifen (ETA, 00:09:19). Zugleich werden Verfahren weiterentwickelt, bei denen sich die Fahrzeuge hauptsächlich an der Fahrbahn bzw. an Straßenmarkierungen orientieren sollen (IOTA, 00:10:50). Langfristig wird auch das sogenannte SLAM-Verfahren¹⁷ an Bedeutung gewinnen, bei dem das Fahrzeug eine digitale Karte zur Lokalisation verwendet und diese simultan, durch Scannen der Umgebung, optimiert (ETA, 00:11:00).

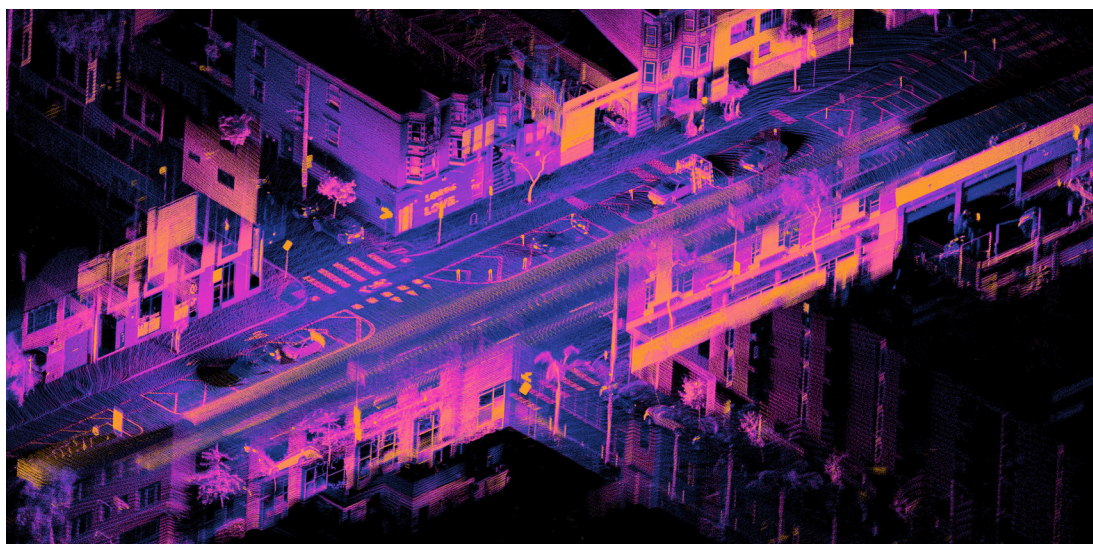


Abbildung 11: Mit LIDAR-Messdaten generiertes Lagebild (3D-Punktwolke)
(Quelle: Wikimedia Commons - Daniel L. Lu - CC BY 4.0)

16 Eine ausführliche Beschreibung der für die Lokalisation und Navigation eingesetzten Sensoren findet sich in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2.

17 Simultaneous Localization and Mapping

3.2.4 Digitale Vernetzung des Verkehrs

Automatisierte Fahrzeuge sollen zukünftig mit anderen Fahrzeugen und mit Teilen der Verkehrsinfrastruktur vernetzt werden¹⁸ (vgl. Abb. 12, S. 47). Dadurch soll zum einen der Verkehr optimiert werden (ETA, 00:07:11) – beispielsweise durch die Kommunikation der Fahrzeuge mit Lichtsignalanlagen und digitalen Verkehrsschildern –, zum anderen sollen automatisierte Fahrzeuge durch die im Verkehrsnetzwerk geteilten Informationen bei der Erfüllung ihrer Fahraufgaben unterstützt werden. Auf diese Weise, so die Hoffnung, könnten die Fahrzeugtechnik verschlankt und die Fahrzeugkosten gesenkt werden (IOTA, 00:06:23).

Bisher existieren noch keine verbindlichen Standards, welche die Aufteilung der Technik zwischen Fahrzeug und Infrastruktur festlegen. ETA und IOTA stimmen jedoch überein, dass sich stark infrastrukturelastige Konzepte wahrscheinlich nicht durchsetzen werden. Denn die öffentlichen Träger wären durch die Kosten einer solchen smarten Verkehrsinfrastruktur schnell überfordert. Automatisierte Fahrzeuge könnten sich zudem nur innerhalb ebendieser Infrastruktur bewegen (ETA, 00:07:02; IOTA, 00:06:23).

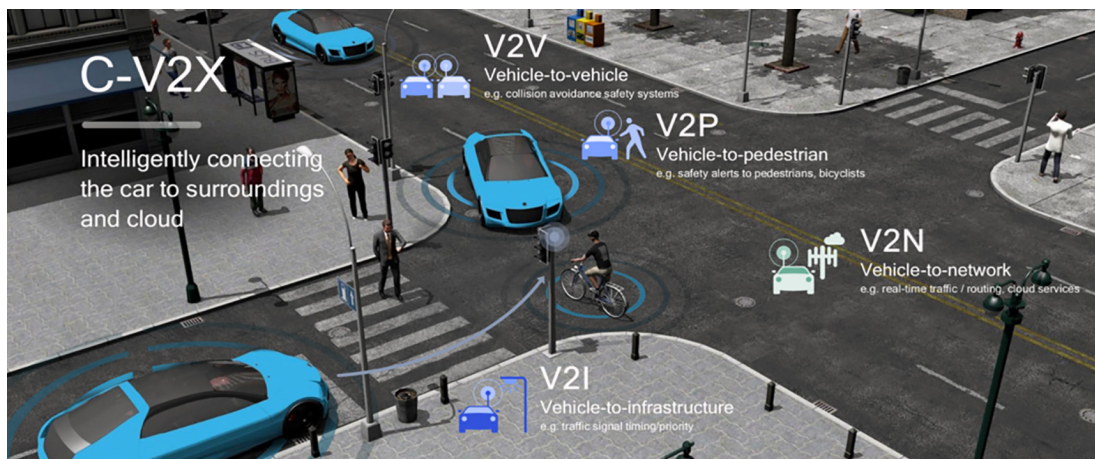


Abbildung 12: Elemente der Fahrzeugvernetzung nach dem C-V2X Standard (Quelle: Qualcomm, Inc.)

Die Kostenfrage stellt sich erst recht für dünn besiedelte ländliche Räume. Da dort in der Regel eine niedrigere Verkehrsdichte vorliegt und auch von einer eher niederkomplexen Verkehrslage auszugehen ist, könnte vermutlich auf teure und überwiegend infrastrukturebasierte Lösungen verzichtet werden. Offen bleibt jedoch, ob für den flächendeckenden Betrieb automatisierter Shuttles im ländlichen Raum der 5G Mobilfunkstandard erforderlich ist. Zumindest für die Umsetzung eines AmD-Dienstes würden auf jeden Fall höhere Datenübertragungsraten benötigt, als sie in vielen ländlichen Regionen in Deutschland derzeit verfügbar sind.

18 Entsprechende Konzepte für die Fahrzeugkommunikation werden z. B. unter dem Mobilfunkstandard C-V2X subsumiert. Dieser umfasst u. a. die Elemente Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Pedestrian (V2P), Vehicle-to-Network (V2N) und Vehicle-to-Infrastructure (V2I) - vergleiche hierzu Abb. 12, S. 46.

3.2.5 Geschwindigkeit automatisierter Fahrzeuge

Derzeit können fahrerlose Shuttles aus Sicherheitsgründen nur für Geschwindigkeiten bis maximal 15 km/h¹⁹ zugelassen werden (ETA, 00:05:28). Um außerdem die Differenzgeschwindigkeit zu anderen Verkehrsteilnehmern möglichst gering zu halten, ist der Betrieb nur in verkehrsberuhigten Zonen bis 30 km/h gestattet.

An diesen Restriktionen dürfte sich auch nicht viel ändern, wenn in den kommenden Jahren erste fahrerlose ÖPNV- und Logistiksysteme in den Regelbetrieb übergehen. Dieser Umstand führt jedoch zu einer wesentlichen Einschränkung hinsichtlich der möglichen Einsatzszenarien im ländlichen Raum, da hier zum einen längere Distanzen überbrückt werden müssen und zum anderen die hohe Differenzgeschwindigkeit auf Bundesstraßen „ein No-Go“ ist (THETA, 00:17:45).

Mittel- bis langfristig sollte die Technik der Shuttles jedoch so fortgeschritten sein, dass auch höhere Geschwindigkeiten gefahren werden können. Somit würde auch ein Betrieb in der Fläche möglich. THETA merkt jedoch einschränkend an, dass die Höchstgrenze bei maximal 50 bis 60 km/h liegen dürfte, da das Risiko bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr beherrschbar wäre (THETA, 00:17:45).

3.2.6 Regulatorische Hürden

Anmerkung: Abschnitt 3.2.6 spiegelt die während des Untersuchungszeitraums geltende Rechtslage zum automatisierten Fahren wider. Mit Inkrafttreten des *neuen* Gesetzes zum autonomen Fahren im Juli 2021 wurden die Hürden für den Testbetrieb automatisierter Fahrzeuge deutlich gesenkt und der Weg zur Einführung erster Regelbetriebe geebnet. Ebenso entfällt die Anwesenheitspflicht einer überwachenden Person *im* Fahrzeug. Weitere Informationen zur neuen Gesetzgebung folgen in Abschnitt 5.1.3.

Am 30.03.2017 verabschiedete der Deutsche Bundestag eine Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG), in der erstmals Regelungen zum Betrieb von Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen bestimmt wurden (Deutscher Bundestag 2017). Es wurden allerdings nur Fahrzeuge bis SAE-Level-3 berücksichtigt, bei denen weiterhin die Überwachung durch eine fahrzeugführende Person vorausgesetzt wird. Letztere bleibt im Gesetz „der Hauptbezugspunkt“, nach dem sich die gesamte Fahrzeugarchitektur zu richten hat (THETA, 00:10:50). Eine StVG-Neuregelung, welche vollautomatisierte – fahrerlose – Fahrzeuge einbezieht, ist derzeit noch nicht in Sicht. Ohnehin wäre eine solche nur sinnvoll, wenn zuvor das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr für fahrerlose Systeme geöffnet würde (Gasser 2012, S. 54f.; vbw 2018, S. 11). Dieses dient dem nationalen Verkehrsrecht als völkerrechtliche Basis und bildet ferner die Grundlage für länderübergreifende Regelungen – beispielsweise auf EU-Ebene.

Die fehlende Regulierung führt dazu, dass in Deutschland nur Einzelzulassungen für automatisierte Fahrzeuge vergeben werden können. Die Kriterien der Zulassungsbehörden unterscheiden sich zudem von Bundesland zu Bundesland. Generell gelten eine Geschwindigkeitsbegrenzung bis

19 Dieser Wert bezieht sich auf Easymiles EZ10 Shuttle-Bus. Fahrzeuge des Herstellers Navya wurden bereits für Geschwindigkeiten bis 18 km/h zugelassen (Anm. Hunsicker).

maximal 15 km/h sowie die Überwachungspflicht durch einen Operator (ETA, 00:04:02). Doch wie könnte eine einheitliche und allgemein verbindliche Regulierung aussehen? Trotz rascher technischer Fortschritte wird der uneingeschränkte Betrieb automatisierter Fahrzeuge noch lange Zeit „Science-Fiction“ bleiben, so THETA, daher bedürfe es perspektivisch modularer Zulassungen, welche den vollautomatisierten bzw. fahrerlosen Betrieb auf „örtlich begrenzte Anwendungsfälle“ beschränken (THETA, 00:05:41). Ferner weist THETA auch auf die Notwendigkeit hin, das „kooperative Element“ des automatisierten Fahrens zu regulieren (THETA, ebd.) – d. h. verbindliche Standards für die Kommunikations- und Vernetzungsfunktionen der Fahrzeuge zu definieren. Dies sei für die mit der Fahrzeugentwicklung befassten Hard- und Software-Spezialisten von größter Bedeutung.

3.3 Anpassung ländlicher Verkehrsinfrastrukturen

Leitfaden – Frage 1b: „Gehen wir davon aus, dass um das Jahr 2030 automatisierte Fahrzeuge zum alltäglichen Straßenbild peripherer ländlicher Räume gehören und beispielsweise im ÖPNV oder in der Logistik eingesetzt werden. – Wie wird die dazugehörige Verkehrsinfrastruktur aussehen?“

Die Frage, ob automatisierte ÖPNV- und Logistiksysteme im ländlichen Raum eingesetzt werden können, hängt entscheidend von der Verkehrsinfrastruktur ab. Denn wie in Abschnitt 3.2.4 bereits festgestellt wurde, dürften kostenintensive Lösungen – aufgrund der beschränkten finanziellen Möglichkeiten öffentlicher Träger – in ländlichen Räumen kaum zu realisieren sein. Auch würde vermutlich in Anbetracht geringer Nutzerzahlen das Kosten-Nutzen-Verhältnis negativ ausfallen.

3.3.1 Physische Straßeninfrastruktur

Die befragten Experten gehen nicht davon aus, dass es zu großen Eingriffen in die physische Straßeninfrastruktur kommen wird. Expert/-in DELTA (DELTA) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass neben der finanziellen Herausforderung auch die planungsrechtliche Komplexität bedacht werden müsse, die mit einem umfänglichen Umbau der Straßeninfrastruktur einherginge.

„[W]enn man sich das Straßennetz in seiner Gänze anschaut, wird man wahrscheinlich nicht so weit kommen zu sagen: Ich kann die Straßen anpassen. Weil das ist infrastrukturell ja kaum leistbar, auch planungsrechtlich sehr komplex. D. h., man wird sich darauf kaprizieren müssen, dass man mit den Straßen mehr oder minder leben muss, so wie die heute da sind.“ (Expert/-in DELTA, 00:00:50)

Dies schließe aber nicht aus, so DELTA weiter, dass zumindest punktuelle Erweiterungen bzw. Modifikationen der Infrastruktur notwendig werden, um die Navigation automatisierter Fahrzeuge zu unterstützen. Denkbar wären z. B. autarke Baken²⁰ oder Leitplanken, welche zu überschaubaren Kosten am Straßenrand installiert werden könnten (vgl. Abb. 13.3 bzw. 13.4). Ein

20 Ursprünglich ein Begriff aus der Schifffahrt: Festes und unbefeuertes Seezeichen.

weiterer niederkomplexer Ansatz könnte die Anbringung spezieller Straßenmarkierungen sein (Abb. 13.2). Weiterhin müssten möglicherweise aus Gründen der Sicherheit Einmündungen und Kreuzungen entlang der Landstraßen umgebaut werden.

Letztlich spielen aber auch eine Rolle, welcher Anteil des Straßennetzes für das automatisierte Fahren umgebaut werden müsse. Im ländlichen Raum würde es womöglich genügen, wichtige Hauptachsen für den fahrerlosen Betrieb umzurüsten (DELTA, 00:03:27f.).

ETA widerspricht DELTA im letzten Punkt. Denn wären fahrerlose Shuttle-Busse dermaßen auf die Straßeninfrastruktur angewiesen, hätte dies zur Folge, dass ein Flächen-, bzw. Korridorbetrieb unmöglich wird. Zukünftige automatisierte ÖPNV-Systeme müssten so ausgereift sein, dass sie sich möglichst selbstständig in ihrem Umkreismodell zurechtfinden (ETA, 00:32:04). Lediglich die Koexistenz mit nicht-automatisierten Fahrzeugen müsse geregelt werden – beispielsweise durch die Einführung digitaler Verkehrszeichen, wie sie bereits auf dem Testfeld Bad Birnbach erprobt werden²¹ (vgl. Abb. 13.4).

Auch Expert/-in EPSILON (EPSILON) glaubt nicht an einen großen Umbau ländlicher Straßeninfrastrukturen und vertritt sogar die Meinung, dass fahrerlose ÖPNV- und Logistiksysteme nur erfolgreich betrieben werden könnten, „wenn sie im Worst Case auch sauber funktionieren“ (EPSILON, 00:37:05). D. h., diese müssten zukünftig so ausgereift sein, dass sie auch bei widrigen Verhältnissen, wie Regen, Fahrbahnnässe oder Dunkelheit, ohne Zuhilfenahme externer Infrastruktur funktionsfähig bleiben. Ebenso wenig dürfe eine Funk- oder Internetverbindung zur Voraussetzung für einen sicheren Betrieb werden (EPSILON, ebd.).

21 Die digitalen Verkehrszeichen in Bad Birnbach setzen automatisch das Tempolimit herab, wenn sich ein automatisiertes Fahrzeug auf der Strecke befindet.

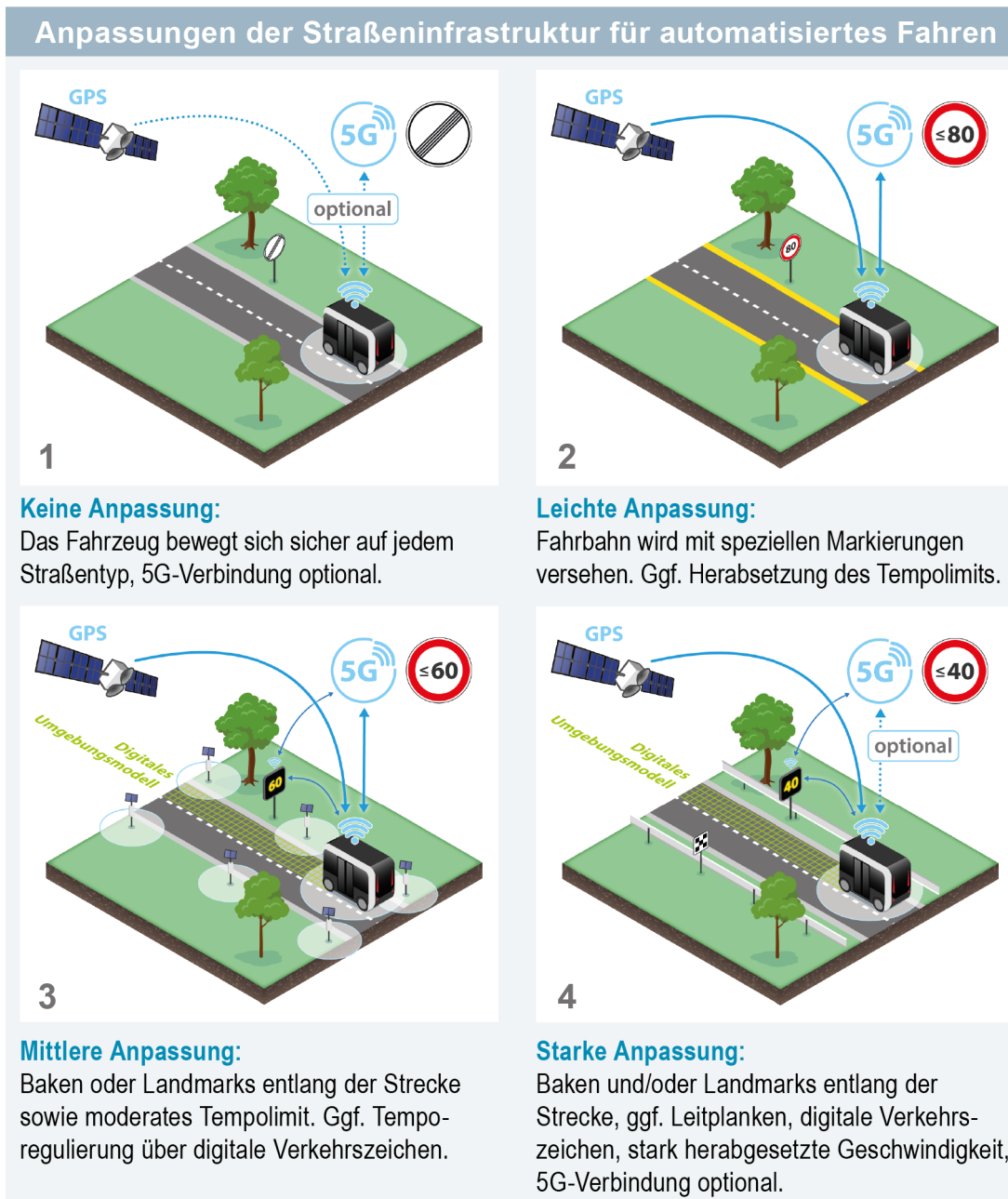


Abbildung 13: Unterschiedliche Anpassungsgrade der Straßeninfrastruktur (Quelle: Eigene Darstellung)

3.3.2 Haltestellen und ÖPNV-Hubs

Mit der Einführung automatisierter ÖPNV-Systeme könnte sich auch das Haltestellenetz ländlicher Regionen verändern. Die Anzahl herkömmlicher Haltepunkte wird voraussichtlich schrumpfen. Dafür wird es so genannte virtuelle Haltestellen geben sowie übergeordnete ÖPNV-Hubs, an denen der Umstieg auf reguläre ÖPNV-Linien möglich ist. Im Folgenden sollen die unterschiedlichen Haltestellentypen beschrieben werden:

Virtuelle Haltestellen: Zukünftig könnten virtuelle Haltestellen einen Großteil der Haltepunkte im ländlichen Raum ausmachen. Diese wären lediglich auf digitalen Karten, bzw. in den Buchungs-Apps regionaler ÖPNV-Anbieter verzeichnet. Optional könnten sie vor Ort mit einem

kleinen Hinweisschild markiert werden (DELTA, 00:12:32). Vorteilhaft ist, dass auf diese Weise ein dichtes Netz an Ein- und Ausstiegspunkten bereitgestellt werden könnte. Bei Bedarf wäre es außerdem möglich, das Netz nahezu kostenneutral zu modifizieren oder zu erweitern. Als nachteilig erweist sich allerdings die fehlende Barrierefreiheit.

Physische Haltestellen: Aus Gründen der Daseinsvorsorge werden auch zukünftig in jeder Ortschaft ein bis zwei befestigte Haltestellen erforderlich sein, da nur dort ein barrierefreier Ein- und Ausstieg möglich ist. Die Errichtung eines dichteren Haltestellennetzes wird dagegen nicht finanzierbar sein – man müsse sich in dieser Hinsicht „vom Anspruch einer hundertprozentigen Barrierefreiheit verabschieden“ (DELTA, 00:12:32).

ÖPNV-Hubs: An solchen übergeordneten „Mobilitätsdreh scheiben“ würde der Umstieg zwischen automatisierten Sammelverkehren und regulären ÖPNV-Linien erfolgen (vgl. auch Canzler und Knie 2019, S. 12). Zusätzlich könnten die Hubs durch Versorgungseinrichtungen und Dienstleistungen, wie beispielsweise Paketstationen, Shops oder Gastronomie, aufgewertet werden. Auch wäre es sinnvoll, die Wartungs- und Ladeinfrastruktur für die in den Sammelverkehren eingesetzten Fahrzeuge hier zu konzentrieren.

Neben Bahn-Haltepunkten und Busbahnhöfen in größeren Orten würden sich auch andere Infrastrukturen wie Dorfläden, Tankstellen oder Supermärkte für die Einrichtung der Hubs anbieten (DELTA, 00:39:30 – 00:43:44)

Öffentlicher Individualverkehr (ÖIV)²² von Haustüre zu Haustüre: Zuletzt ein Verweis auf diese Sonderform des automatisierten ÖIVs, die auch zukünftig eher die Ausnahme bleiben dürfte. Denn die Fahrzeiten von Sammelverkehren würden sich bei einer solchen Bedienform auf ein nicht akzeptables Maß verlängern (DELTA, 00:11:48) und auch die Barrierefreiheit könnte abseits befestigter Haltestellen nicht gewährleistet werden (DELTA, 00:13:10).

Ein weiterer Einwand ist, dass die Fahrgäste es womöglich ablehnen würden, direkt vor ihrer Haustüre ein- bzw. auszusteigen. Insbesondere Frauen könnten aus Sorge um ihre Sicherheit Vorbehalte haben, da sie ihre Wohnadresse gegenüber anderen Fahrgästen preisgeben müssten (EPSILON, 00:03:21). Ein Haustüre-zu-Haustüre Service wird – wenn überhaupt – im Rahmen personalisierter Fahrdienste stattfinden, welche nicht vor den 2040er Jahren zu erwarten sind (vgl. Abschnitt 4.2.3).

3.3.3 Alternative Verkehrswege für den automatisierten ÖPNV

Des Öfteren wurde die Nutzung stillgelegter Bahntrassen angeregt, um in ländlichen Räumen sichere Fahrstrecken für den automatisierten ÖPNV zu schaffen (vgl. Abb. 14, S. 55). Ein entsprechender Modellversuch mit fahrerlosen Shuttle-Bussen läuft beispielsweise in der japanischen Präfektur Ibaraki (Bernhart et al. 2018, S. 7). Auch in Bayern wird neuerdings darüber

22 Unter dem Begriff des Öffentlichen Individualverkehrs (oft auch als Individueller Öffentlicher Verkehr - IÖV - bezeichnet) werden all jene Mobilitätsangebote subsumiert, bei denen öffentlich bereitgestellte Fahrzeuge und Dienste individuell (in Bezug auf Fahrtzweck, Fahrweg und Fahrzeit) genutzt werden können. Neben herkömmlichen Taxis werden beispielsweise Bike- und Carsharing-Angebote sowie Ridesharing und Ridehailing-Dienste dem ÖIV zugerechnet.

diskutiert, auf einem Abschnitt der stillgelegten Steigerwaldbahn²³, einen ähnlichen Testbetrieb einzurichten (Vogt 2019).

DELTA zweifelt daran, dass diese Idee Schule machen wird. Zum einen gäbe es gar nicht so viele Trassen, die für eine solche Nachnutzung in Frage kommen. Diese wären außerdem schon oft durch die anliegenden Gemeinden „in Beschlag genommen“ und, z. B., in Bauland oder Fahrradwege umgewandelt worden. Zum anderen würde die Umwandlung ehemaliger Strecken vom Aufwand her dem Bau neuer Straßen nahekommen, was mit einem entsprechend hohen Kosten- und Planungsaufwand verbunden sei (DELTA, 00:05:14f.).



Abbildung 14: Fahrerlose Pods auf einer ehemaligen Bahntrasse (Montage) (Quelle: Eigene Darstellung / InnoZ GmbH)

ETA bescheinigt der Idee dagegen ein gewisses Potenzial, wirft aber ein, dass Trassen, welche noch in gutem Zustand sind, besser mit einem automatisierten Zugverkehr bedient werden sollten (ETA, 00:34:02). Dieser könnte mit kleineren als den heute üblichen Triebwagen durchgeführt werden und theoretisch auch in Form eines On-Demand-Verkehrs funktionieren.

In eine ähnliche Richtung äußert sich EPSILON. Er könne sich vorstellen, dass auf alten Bahntrassen ein eng getakteter Pendelverkehr mit größeren Fahrzeugen stattfindet – ob automatisiert oder nicht, sei zunächst egal. Dieser Pendelverkehr könne wiederum durch automatisierte Shuttle-Busse bedient werden (EPSILON, 00:42:00). Letztlich stelle sich aber bei einer solchen Lösung die Frage, ob die Nutzer bereit seien, mehrmals umzusteigen (EPSILON, ebd.).

Eine weitere Option, um einen sicheren Betrieb automatisierter Fahrzeuge zu ermöglichen, wäre die Nutzung kleinerer Wirtschafts- und Verbindungswege. Aufgrund der während des Testbetriebs in Bad Birnbach gesammelten Erfahrungen ist DELTA jedoch skeptisch. Meist seien die Wege – sofern überhaupt vorhanden – zu schmal. Würden sich zwei automatisierte Fahrzeuge

23 Ehemalige Bahnstrecke zwischen Kitzingen und Schweinfurt

auf einer solchen Strecke begegnen, müssten diese im Abstand weniger Zentimeter aneinander vorbeifahren. Dies sei nach heutigem Stand der Technik nicht möglich. Ebenso würde der Mischverkehr mit Fahrrädern auf solch engen Straßen zu ständigen Not-Stopps führen – beispielsweise, wenn Fahrradfahrer in geringem Abstand zum Fahrzeug vorbeifahren (DELTA, 00:06:48; vgl. Abschnitt 3.2.1).

3.3.4 Digitale Infrastruktur

Ein Ausbau der digitalen Infrastruktur wird von den Befragten nicht als zwingende Voraussetzung für den Betrieb fahrerloser ÖPNV-Systeme betrachtet. Jedoch steht außer Frage, dass V2V- und V2X-Anwendungen auf eine leistungsfähige Breitbandinfrastruktur angewiesen sein werden (ETA, 00:30:33). Auch dürften bestimmte kundenzentrierte Services, wie beispielsweise ein AmoD-Dienst mit automatisierten Shuttles, nur mit 5G zu realisieren sein.

DELTA weist in diesem Zusammenhang auf den enormen Nachholbedarf hin, der in Deutschland hinsichtlich der Mobilfunkinfrastruktur herrscht. In manchen peripheren Gebieten reiche die derzeitige Netzabdeckung nicht einmal für den Betrieb herkömmlicher Navigationsgeräte. Regionen wie der Nordschwarzwald, die Pfalz oder die Eifel seien komplett abgehängt (DELTA, 00:09:38). Dieser Eindruck wird auch durch eine Statistik von 2018 belegt: Mit 65,7% 4G-Netzabdeckung bildete Deutschland gemeinsam mit Russland, Armenien, Weißrussland und Irland das Schlusslicht im europäischen Vergleich (Statista und OpenSignal 2018). Ebenso ungünstig fielen die Werte für die durchschnittliche Datenübertragungsrate aus (ebd.).

3.3.5 Ladeinfrastruktur

Heutige Shuttle-Busse sind mit relativ kleinen Batterien ausgestattet. Ihre Reichweite fällt mit circa 150 km bzw. einer Betriebsdauer von 10-14 Stunden entsprechend gering aus (ETA, 00:37:01). Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Fahrzeuge zukünftig höhere Geschwindigkeiten erreichen werden und sich ihr Aktionsradius entsprechend vergrößern wird. Aus diesem Grund wird eine Erweiterung der Akku-Kapazitäten unumgänglich sein. Auch wird in diesem Kontext die Frage aufkommen, wo und auf welche Weise die Fahrzeuge aufgeladen werden.

ETA, geht davon aus, dass die Ladeproblematik beherrschbar sein wird. Zum einen werden sich die Ladezeiten der Fahrzeuge perspektivisch weiter verringern, zum anderen werden die Fahrzeugflotten der ÖPNV-Betreiber über genügend Backup-Fahrzeuge verfügen, um ladende Shuttles zu kompensieren. Dennoch sei es aus ökonomischen Gesichtspunkten natürlich im Interesse der Betreiber, die Standzeiten zu minimieren (ETA, 00:37:21 – 00:41:14).

Doch wie wird zukünftig der eigentliche Ladevorgang aussehen? Womöglich werden sich automatisierte Shuttles mithilfe von Roboterarmen mit den Ladestationen verbinden, spekuliert DELTA (DELTA, 00:19:45).²⁴ Kostenintensive Lösungen, wie beispielsweise die Einrichtung induktiver Ladestreifen auf bestimmten Straßenabschnitten, schließt er dagegen aus (DELTA, 00:15:00). Allenfalls das Aufladen über stationäre Induktionsplatten könne eine weitere Option

24 Der frühe Prototyp einer solchen Ladevorrichtung, bei der allerdings die Ladestation mit einem Roboterarm ausgerüstet ist, wurde 2015 von Tesla vorgestellt (Tesla 2015).

sein. Diese Lösung sei jedoch mit technischen Einschränkungen behaftet und teuer. Zudem müsste der Fahrzeugboden der Shuttles aufgrund der erforderlichen Technik angehoben werden, wodurch die Barrierefreiheit eingeschränkt werden könnte (DELTA, 00:16:54). In Gebirgsregionen sei in Ausnahmefällen auch die Aufladung über stationäre Oberleitungen denkbar. Solche Lösungen seien allerdings nur für Busse ab einer Größe von circa zwölf Metern praktikabel und nur schwer durchzusetzen (DELTA, 00:15:51f.).

3.4 Anwendungsfälle und Fahrzeugkonzepte

Leitfaden – Frage 1c: „Zwischen 2025 und 2035 werden im ländlichen Raum zunehmend automatisierte Fahrzeuge zum Einsatz kommen. – In welchen Anwendungsfeldern werden diese Fahrzeuge eine Rolle spielen und wie werden sie konzipiert sein?“

Mit zunehmender technologischer Reife werden auch die möglichen Anwendungsfälle für automatisierte Fahrzeuge zunehmen. Hierbei ist auch im ländlichen Raum eine Vielzahl möglicher Use Cases denkbar, welche neben dem Personentransport auch Anwendungen in der Logistik oder in der Daseinsvorsorge umfassen. Mit der Einführung automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme könnte zudem eine Diversifizierung der Fahrzeuge stattfinden, welche zukünftig stärker an ihre spezifischen Einsatzzwecke angepasst sein könnten.

3.4.1 Anwendungsfälle im Bereich des ländlichen ÖPNVs

Erste automatisierte Shuttles könnten bereits Mitte der 2020er Jahre unter Realbedingungen eingesetzt werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass ein rechtssicherer Rahmen für den fahrerlosen Betrieb geschaffen wird (vgl. Abschnitt 3.2.6).

Frühe Anwendungsfälle: Wie könnte ein früher Anwendungsfall im ländlichen Raum aussehen? In ländlichen Räumen liegen die Haltepunkte des Schienenverkehrs oftmals außerhalb der Ortschaften. Entsprechend könnte die Anbindung eines Bahnhofs an den Ortskern ein möglicher Use Case sein (ALPHA, 00:04:18; Abb. 15 [A]). Dies ist auch das Einsatzszenario, welches bereits heute im Testfeld Bad Birnbach vom DB Tochterunternehmen „ioki“ erprobt wird (Riener et al. 2020, S. 19f.). Vorteilhaft für den Betrieb automatisierter Shuttles ist, dass die zu befahrenden Strecken meist wenige Kreuzungen aufweisen und „auch noch nicht zu komplex sind“ (ALPHA, ebd.). Ein weiterer ähnlich gelagerter Anwendungsfall könnte die Verbindung von räumlich getrennten Ortsteilen sein – beispielsweise zwischen einem ländlichen Mittelzentrum und den eingemeindeten Dörfern des Umlands. Hierbei können womöglich „ehemalige Bahntrassen oder Wirtschaftswege“ zu Fahrstrecken für automatisierte Shuttles umgebaut werden (ALPHA, ebd.; Abb. 15 [B]).

In diesen frühen Anwendungsszenarien werden die Fahrzeuge auf fixen Routen und mit Geschwindigkeiten bis circa 15 km/h operieren. Ein On-Demand-Verkehr ist noch nicht möglich (IOTA, 00:09:19). Die Länge der Fahrstrecken liegt voraussichtlich zwischen 500 Metern und drei Kilometern. Dadurch können auch bei niedrigen Geschwindigkeiten noch akzeptable Transferzeiten zwischen vier und 20 Minuten gewährleistet werden (Jonuschat et al. 2018, S. 69f.).

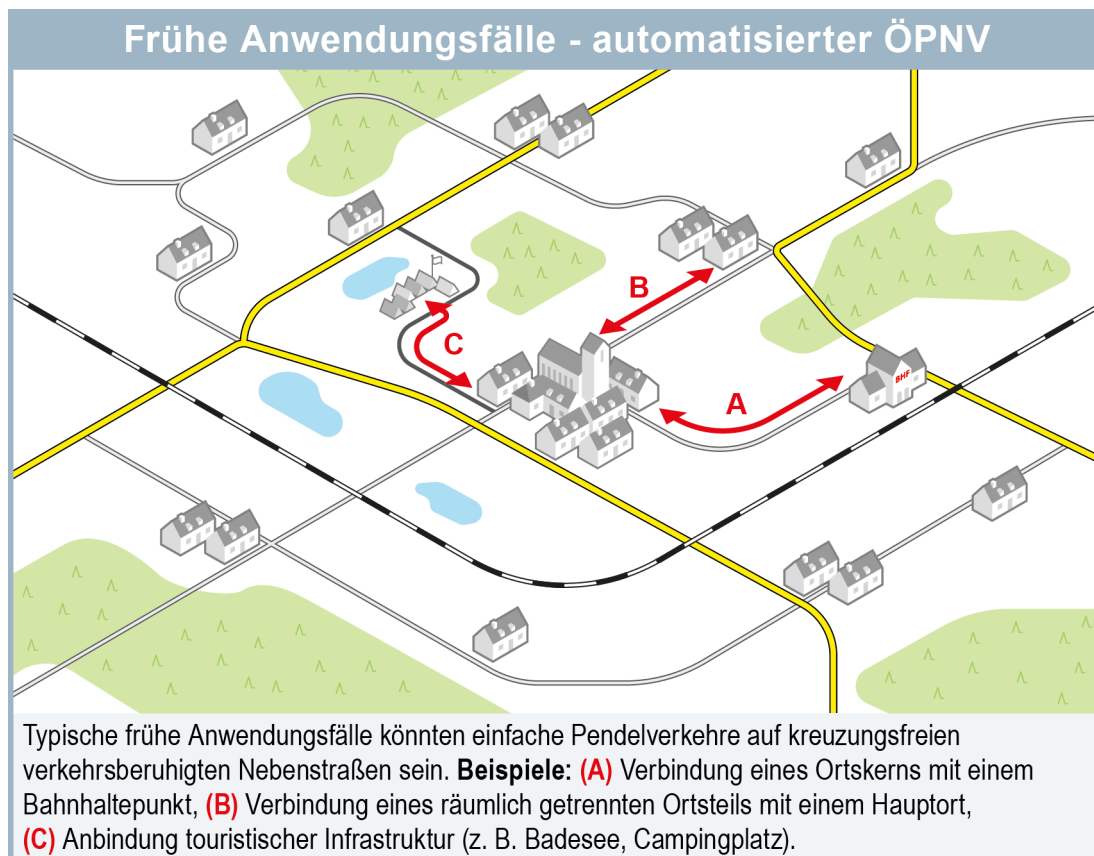


Abbildung 15: Frühe Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV (Quelle: Eigene Darstellung)

Mittelfristige Anwendungsfälle: Voraussichtlich im Laufe der 2030er könnte der Betrieb auf größere ländliche Gebiete ausgeweitet werden. Denkbar ist beispielsweise die Einrichtung automatisierter Sammelverkehre, welche mehrere periphere Ortschaften verbinden und als „Zu- und Abbringer“ übergeordneter Mobilitäts-Hubs dienen (vgl. Abb. 16 [A1/A2]). Dort erfolgt anschließend der Umstieg auf leistungsfähigere Verkehrsmittel (Mörner 2018, S. 46). Weiterhin könnte sich der Einsatz automatisierter Kleinbusse auch im ländlichen Linienverkehr lohnen. Beispielsweise auf schwach frequentierten Verbindungen – als Ersatz für herkömmliche Busse – oder in Randzeiten mit geringem Fahrgastaufkommen (Mörner 2018, ebd.).

Die eingesetzten Fahrzeuge werden in dieser Phase voraussichtlich Geschwindigkeiten bis 40 km/h erreichen und Strecken zwischen 15 bis 20 Kilometer zurücklegen. Entsprechend liegen die Fahrtzeiten zwischen fünf und 45 Minuten (Jonuschat et al. 2018, S. 71f.). Nach wie vor verkehren die Fahrzeuge auf festgelegten Strecken, jedoch ist ein Korridor-Betrieb denkbar, bei dem auch alternative Routen befahren werden können (Abb. 16 [B1/B2]). Zwischen den Ortschaften werden die Routen auch über Landstraßen führen, jedoch wird es dort erforderlich sein, das Tempolimit herabzusetzen, um die Differenzgeschwindigkeit zu anderen Fahrzeugen gering zu halten (vgl. Abschnitt 3.2.5). Ein On-Demand-Betrieb wird voraussichtlich möglich sein, jedoch nur außerhalb

der Spitzenzeiten und mit einem Vorlauf von mehr als 30 Minuten (Jonuschat et al. 2018, S. 71f.). Da ein Haustür-zu-Haustür-Betrieb noch nicht möglich sein wird, werden die Fahrgäste an physischen oder virtuellen Haltestellen entlang der Strecke zusteigen.

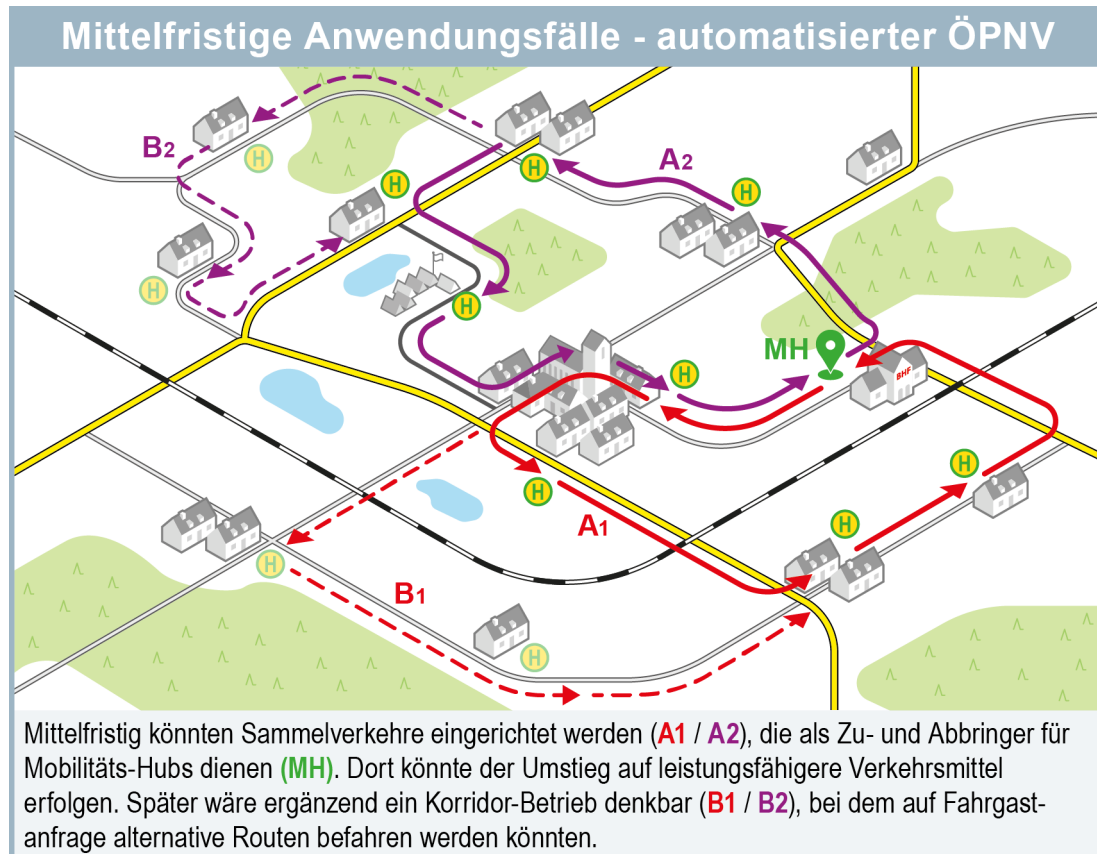


Abbildung 16: Mittelfristige Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV (Quelle: Eigene Darstellung)

Langfristige Anwendungsfälle: Zu den langfristigen Anwendungsfällen, welche frühestens in der Zeit nach 2040 zu erwarten sind, zählen alle Formen automatisierter On-Demand-Fahrdienste, welche nicht an feste Strecken gebunden sind. Hierbei wird es sich sowohl um Sammelverkehre als auch um personalisierte Fahrdienste, wie Robo-Taxis, handeln (vgl. Abb. 17). Der wesentliche Unterschied zu den bereits beschriebenen Use Cases besteht darin, dass nun auch flexible Fahrten – beispielsweise von Haustür-zu-Haustür oder Haltestelle-zu-Haustür – möglich sein werden und die Buchung kurzfristiger erfolgen kann. Zudem wird es womöglich spezielle Angebote für Langstrecken-Pendler geben. Perspektivisch ist davon ausgehen, dass mit der Einführung solcher flexibler Fahrdienste einige der heutigen Mobilitätsangebote, wie „Taxiverkehre, Carsharing und Mietwagennutzung“, miteinander verschmelzen werden (Mörner 2018, S. 47).

Einschränkend muss allerdings festgestellt werden, dass es zumindest fraglich erscheint, ob die beschriebenen Use Cases ohne SAE-Level-5 zu realisieren sind.

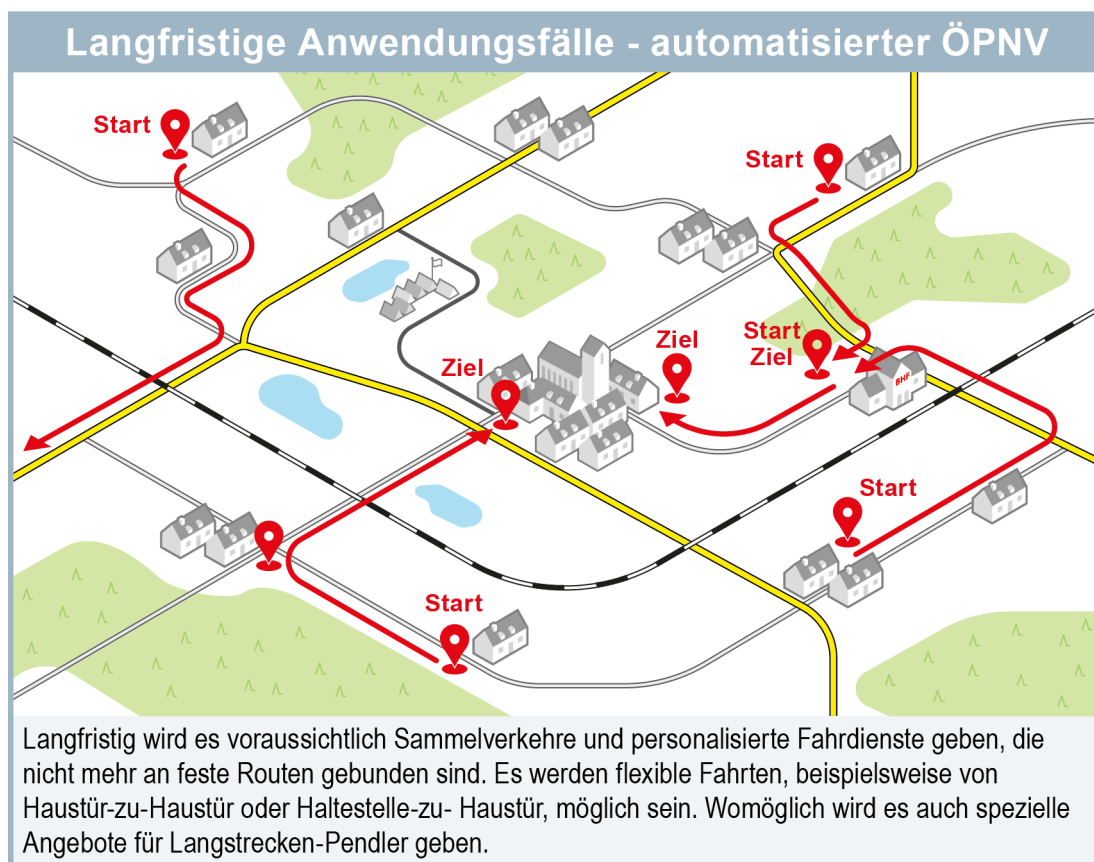


Abbildung 17: Langfristige Anwendungsfälle – automatisierter ÖPNV (Quelle: Eigene Darstellung)

3.4.2 Anwendungsfälle im Bereich der ländlichen Logistik

Während in Fachkreisen bereits konkrete Ideen diskutiert werden, wie ein zukünftiger automatisierter ÖPNV im ländlichen Raum aussehen könnte, gibt es erstaunlicherweise kaum entsprechende Konzepte zu automatisierten Logistikanwendungen. Ausgehend von aktuellen Trends, wie z. B. Verkehrsautomatisierung und Onlinehandel, sowie bereits existierenden ländlichen Logistikkonzepten, lassen sich jedoch einige mögliche Anwendungsfälle ableiten:

So könnte sich Expert/-in ALPHA (ALPHA) auf mittlere Sicht „einen [automatisierten] Gütertransport vom Bahnhof zum Ortskern“, bzw. zwischen verschiedenen Ortsteilen vorstellen. Oder es könnten im Rahmen eines lokalen Marketing-Konzepts „regional erzeugte Güter“ in der Region verteilt werden (ALPHA, 00:04:18). Ein Beispiel hierfür ist der Transport von Lebensmitteln, welche mit fahrerlosen Lieferfahrzeugen von den örtlichen Erzeugern an die umliegenden Dorfläden verteilt werden. Eine solche Güterfeinverteilung würde womöglich in den Abend- oder Nachtstunden stattfinden, wenn sie den restlichen Verkehr nicht beeinträchtigt (ALPHA, 00:07:41).

Eine weitere Idee ist, den Personenverkehr mit dem Güterverkehr zu kombinieren. Allerdings ist diese Lösung nur dann praktikabel, wenn die Sendungen zunächst gebündelt und an lokale Abholorte geliefert werden. Als solche könnten vorhandene Infrastrukturen dienen, wie z. B. Tankstellen, Dorfläden oder Paketstationen. Direkte Einzellieferungen an die Empfänger würden dagegen, sofern technisch überhaupt umsetzbar, die Routen und Fahrzeiten der Fahrzeuge unnötig verlängern und somit den Dienst für die Fahrgäste unattraktiv machen (IOTA, 00:22:14). Ein weiterer Vorschlag in diese Richtung wäre, ÖPNV-Fahrzeuge, die in Randzeiten nicht benötigt werden, im Waren- und Paketdienst einzusetzen, um so die Flottenauslastung zu verbessern (Sonderegger et al. 2018, S. 72).

Langfristig sind in ländlichen Räumen ähnliche automatisierte Logistikanwendungen vorstellbar, wie sie bereits heute in urbanen und suburbanen Räumen erprobt werden – beispielsweise die automatisierte Hauslieferung von Paketen, Lebensmitteln oder sonstigen Gütern des täglichen Bedarfs.

3.4.3 Sonstige Anwendungsfälle

Ähnlich wie in urbanen Räumen könnten theoretisch auch auf dem Land – entsprechende technische und rechtliche Rahmenbedingungen vorausgesetzt – alle Fahrzeuge automatisiert werden, welche zu gewerblichen Zwecken oder in der Daseinsvorsorge im Einsatz sind. In der Praxis wird allerdings in jedem Einzelfall zu klären sein, ob eine Automatisierung auch einen tatsächlichen Vorteil birgt.

Unabhängig dieser Überlegungen könnten sich gerade im gewerblichen Bereich, und noch vor der Einführung automatisierter Fahrdienste, erste realistische Anwendungen ergeben, so THETA (THETA, 00:36:33). Denn im Gegensatz zum ÖPNV/ÖIV seien hohe Geschwindigkeiten hier nicht zwingend erforderlich. Ein sehr konkreter Use Case, der bereits im Rahmen einer Kooperation zwischen Volvo und dem schwedischen Entsorgungsunternehmen Renova erprobt wird, ist beispielsweise die Teilautomatisierung von Müllfahrzeugen. Hierbei fährt das Fahrzeug dem Müllwerker im Schrittempo hinterher, während dieser die Mülltonnen einholt und entleert (Volvo Group 17.05.2017). Denkbar wäre zu einem späteren Zeitpunkt auch eine vollständige Automatisierung der Müllentsorgung, jedoch müssten die zu entleerenden Mülltonnen voraussichtlich an fest definierten Punkten am Straßenrand abgestellt werden, was wiederum mit Anpassungen der Infrastruktur einherginge (IOTA, 00:23:31).

Weiterhin spekuliert THETA über den Einsatz automatisierter Straßenkehrmaschinen oder selbstfahrender Paketstationen. Solche Fahrzeuge könnten auch in den Nachtstunden bei geringen Geschwindigkeiten operieren, ohne den restlichen Verkehr zu behindern. Ebenso könnten sich beispielsweise Carsharing-Fahrzeuge, gemäß der prognostizierten Nachfrage, selbstständig im Geschäftsgebiet umverteilen. Wichtig sei in diesem Zusammenhang, so THETA abschließend, dass ein rechtlicher Rahmen geschaffen werde, welcher „dem Forschergeist [...] möglichst viel Potenzial gibt“ (THETA, 00:37:34). Denn ob solche Anwendungen wirklich sinnvoll sind, kann letztlich nur in der Praxis herausgefunden werden.

Auch im ländlichen Kranken- und Schülertransport könnten automatisierte Fahrzeuge womöglich

zum Einsatz kommen. Da in diesen Fällen die Anwesenheit betreuender Personen ohnehin erforderlich ist, stellt sich jedoch die Frage, ob eine Automatisierung wirtschaftlich sinnvoll ist. Denn es wäre vermutlich günstiger, die Fahraufgabe weiterhin der Begleitperson zu überlassen (IOTA, 00:24:27).

3.4.4 Einflüsse auf die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge

Die Einführung automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme könnte im ländlichen Raum mit einer Diversifizierung der im ÖPNV/ÖIV eingesetzten Fahrzeuge einhergehen. Laut EPSILON werden unter anderem folgende Trends die zukünftige Fahrzeugentwicklung beeinflussen (vgl. Mörner 2018, S. 25-35):

Geringere Bevölkerungsdichte im ländlichen Raum: Aufgrund des Bevölkerungsrückgangs sinken auch die Fahrgastzahlen. Hierdurch entfällt zunehmend die Möglichkeit Verkehre zu bündeln. Infolgedessen werden kleinere Fahrzeuge benötigt (vgl. auch Abschnitt 3.5.1.).

Alterung der Bevölkerung: Die Abwanderung der Jüngeren und der Rückgang der Geburtenzahlen haben bereits zu einer starken Überalterung der ländlichen Bevölkerung geführt. Mit steigender Lebenserwartung werden zukünftig immer mehr ältere Menschen ein aktives Leben führen, woraus sich auch der Anspruch ergibt, bis ins hohe Alter eigenständig mobil zu bleiben. Daher steigen für zukünftige Fahrzeuge die Anforderungen an die Barrierefreiheit.

Zunehmende Mobilität: Zukünftig ist auf dem Land mit einem moderaten Anstieg der zurückgelegten Wege zu rechnen, allerdings werden diese im Durchschnitt kürzer sein als heute. Voraussichtlich wird auch eCommerce weiter zunehmen und somit die Menge an Warensendungen. Hieraus könnte sich die Notwendigkeit für Fahrzeuge ergeben, welche sowohl für den Personenverkehr als auch für Stückguttransporte geeignet sind.

Mehr Multimodalität: Verkehrsmittel werden öfter in Abhängigkeit der Situation gewählt. Dadurch steigt der Druck auf die Anbieter, ihr Angebot zu flexibilisieren. Um den gestiegenen Ansprüchen der Kunden zu begegnen, werden anpassbare Fahrzeuge in verschiedenen Größen erforderlich sein.

Höhere Ansprüche: Zum einen werden die Ansprüche an die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit von Mobilitätsangeboten steigen, zum anderen wird eine alternde Bevölkerung mehr Wert auf Komfort und Privatsphäre legen. Daher ist zu erwarten, dass es im ÖPNV/ÖIV zukünftig Fahrzeuge geben wird, die diese Ansprüche stärker berücksichtigen (vgl. auch EPSILON, 00:11:54).

Sharing Economy: Aus ökologischen und/oder ökonomischen Gründen verzichten in urbanen Räumen immer mehr Menschen auf den Besitz eines eigenen PKWs. Zugleich haben die Digitalisierung und die damit zusammenhängende Verbreitung von Smartphones den Erfolg attraktiver Carsharing-Angebote befördert. Dieses Konzept funktioniert jedoch (noch) nicht in ländlichen Gebieten. Mit der Einführung automatisierter Sammelverkehre könnte sich dies ändern.

3.4.5 Fahrzeugkonzepte

Im Folgenden sollen nun einige Konzepte für fahrerlose Mobilitätssysteme vorgestellt werden, welche in einem zukünftigen ländlichen Mobilitätsmarkt relevant sein könnten. Mit Ausnahme der sich bereits im Einsatz befindlichen Shuttle-Busse handelt es sich bei den vorgestellten Fahrzeugen um Prototypen bzw. reine Designstudien.

Pods (bzw. auch Mini-Pods): Hierbei handelt es sich um automatisierte Kleinstfahrzeuge, welche für den Transport von ein bis zwei Personen ausgelegt sind. Sie sind ausschließlich als E-Fahrzeuge und hauptsächlich für den Einsatz in urbanen Räumen konzipiert. Der Verzicht auf einen Verbrenner-Antrieb erlaubt eine sehr kompakte Bauweise, welche die Abmessungen eines herkömmlichen Kleinwagens deutlich unterschreitet. In ländlichen Regionen könnten automatisierte Pods für Einzelfahrten auf kleinen und mittleren Distanzen eingesetzt werden.

Obwohl diese Fahrzeugklasse noch nirgendwo im Regelbetrieb eingesetzt wird, gibt es bereits etliche Prototypen und Entwürfe. Beispiele für solche Fahrzeuge sind u. a. das Google Car (Abb. 18.1), der Prototyp POD ZERO des britischen Unternehmens Aurrigo/RDM (Abb. 18.2) oder die Konzeptstudie Chevrolet EN-V von General Motors (Abb. 18.3).



Abbildung 18: Pods (Quellen: 18.1 – Wikimedia Commons – Grendelkhan – CC BY-SA 4.0 / 18.2 – flickr – Brown – CC BY-NC-SA 2.0 / 18.3 – flickr – LotPro Cars – CC BY-NC-SA 2.0)

Robo-Taxis: Dieser Fahrzeugtyp lässt sich in seinen Eigenschaften nicht gänzlich von anderen Fahrzeugklassen abgrenzen. Grundsätzlich handelt es sich um Fahrzeuge, welche meist eine recht konventionelle Auslegung aufweisen oder sogar auf bestehenden Fahrzeugmodellen basieren. Sie bieten circa vier bis sechs Passagieren Platz und eignen sich sowohl für Einzelfahrten als auch für Sammelverkehre.

Als Robo-Taxis können beispielsweise die Fahrzeuge des automatisierten Fahrdienstes Waymo bezeichnet werden, welche auf dem konventionellen Chrysler-Modell Pacifica basieren (Abb. 19.1, S. 68). Das AUTONOM CAB von Nava (Abb. 19.2) und der VW-Prototyp Cedric (Abb. 19.3) sind dagegen Fahrzeuge, welche von vornherein als Robo-Taxis konzipiert wurden.

Einen Sonderfall stellen Fahrzeugstudien wie der fahrerlose Volvo 360c dar (Abb. 19.4). Es handelt sich um komfortabel ausgestattete E-PKWs, welche für längere Fahrten ausgelegt sind. Solche Fahrzeuge könnten zukünftig auf Langstrecken als Robo-Taxis eingesetzt werden.

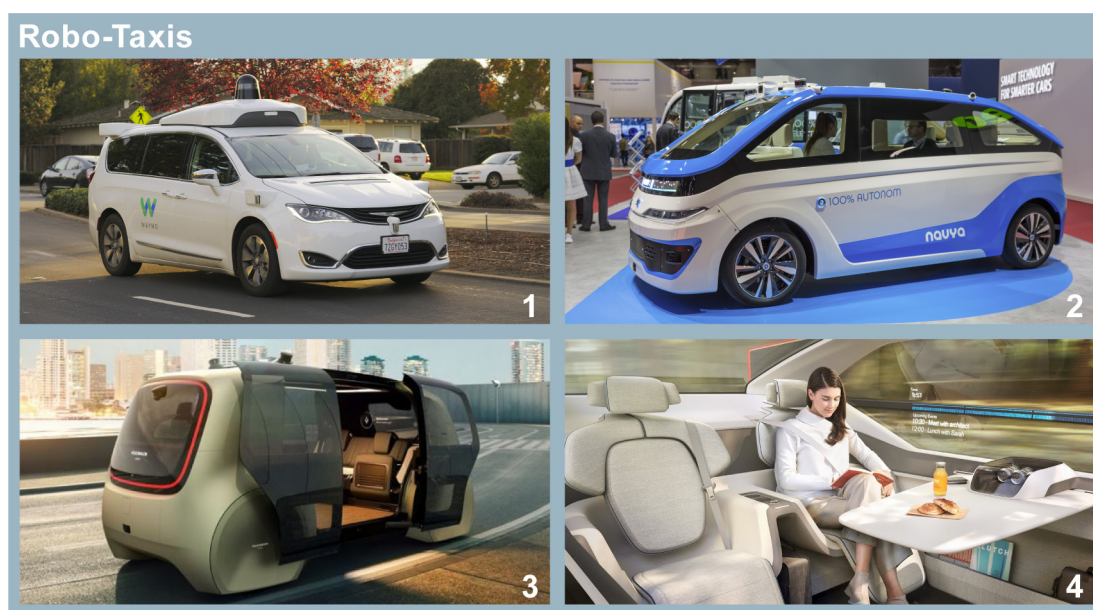


Abbildung 19: Robo-Taxis (Quellen: 19.1 – Wikimedia Commons – Daniel L. Lu – CC BY-SA 4.0 / 19.2 – Wikimedia Commons – Blume – CC BY-SA 4.0 / 19.3 - © Volkswagen AG / 19.4 - © Volvo Car Corporation)

Automatisierte Shuttles: Diese fahrerlosen Kleinbusse bilden eine neue Fahrzeugklasse. Sie sind für Geschwindigkeiten bis circa 40 km/h ausgelegt und bieten Platz für bis zu 15 Personen, welche sowohl sitzend als auch stehend befördert werden. Automatisierte Shuttles eignen sich vorwiegend für kurze und mittlere Strecken und können sowohl als Sammelverkehre als auch im Pendel- und Linienverkehr eingesetzt werden.

Beispiele für diese Fahrzeugkategorie sind der EZ10 von Easymile (vgl. Abb. 9), der AUTONOM Shuttle von Nava (Abb. 20.1) und Olli von Local Motors (Abb. 20.2).

Automatisierte Shuttles

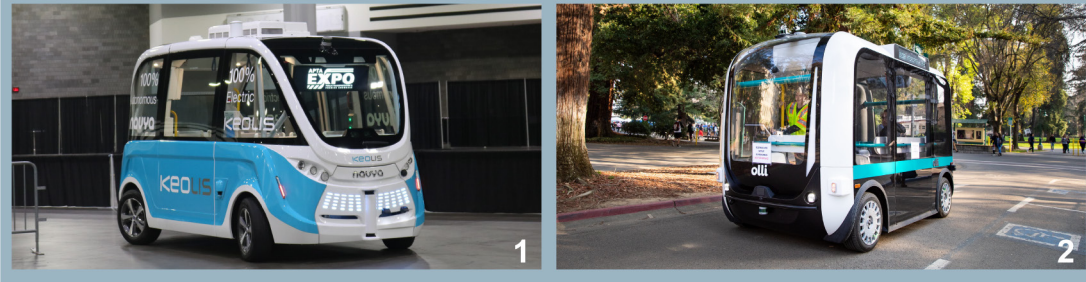


Abbildung 20: Automatisierte Shuttles (Quellen: 20.1 – flickr – Baty – CC BY-SA 2.0 / 20.2 – flickr – Sac State/Vernone – CC BY-NC 2.0)

Automatisierte Busse: Auch wenn die Automatisierung größerer Busse im ländlichen Kontext eher nachrangig ist, gibt es auch hierzu Prototypen, wie beispielsweise den mittelgroßen Bus NXT von Scania (Abb. 21.1) oder den Future Bus von Mercedes-Benz (Abb. 21.2). Im ländlichen Raum könnten solche Fahrzeuge im Linienverkehr auf den Hauptachsen eingesetzt werden.

Automatisierte Busse



Abbildung 21: Automatisierte Busse (Quellen: 21.1 - © Scania CV AB (publ) / 21.2 - © Daimler Truck AG)

Sonderformen des automatisierten ÖPNV/ÖIVs: Es gibt auch eine Reihe unkonventioneller Konzepte, die derzeit angedacht sind oder sich bereits in der Entwicklung befinden. So hat der Schweizer Kleinserienhersteller Rinspeed die Studie Microsnap vorgestellt, bei der das Fahrzeug bedarfsabhängig mit unterschiedlichen Modulen – beispielsweise für den Personentransport oder die Auslieferung von Waren – bestückt werden kann (Rinspeed AG 2019; Abb. 22.1). Oberndörfer (ehem. Hunold) entwarf im Rahmen ihrer Design-Masterarbeit zum Thema rurale Mobilität selbstfahrende modulare „Transportboxen“, welche sowohl zum Personen- als auch zum Warentransport in ländlichen Räumen eingesetzt werden sollen (Hunold 2016; Abb. 22.2). Das Start-Up CabiBUS will dagegen mit seinem Entwurf dem gesteigerten Bedürfnis nach Privatsphäre Rechnung tragen. Ziel ist die Entwicklung eines fahrerlosen Kleinbusses, bei dem die Fahrgäste in separierten Einzelabteilen sitzen (Abb. 22.3).

Bereits in der Entwicklung befindet sich das Transportsystem „next“, bei dem sich mehrere Fahrzeugmodule koppeln lassen (Abb. 22.4). Auf diese Weise soll einerseits die Kapazität des Systems flexibel an den aktuellen Bedarf angepasst werden. Andererseits soll auch ein Umstieg während der Fahrt ermöglicht werden.

Dies geschieht, indem Reisende von einem zum anderen Modul wechseln. Anschließend teilt sich die „Fahrzeugkette“ und die einzelnen Module steuern separate Ziele an.



Abbildung 22: Sonderformen des automatisierten ÖPNV/ÖIVs (Quellen: 22.1 © Rinspeed AG / 22.2 © Oberndörfer, ehem. Hunold / 22.3 © CabiBUS Sustainable Mobility AB & CAMAL Studios / 22.4 © NEXT Future Transportation, Inc.)

Automatisierte Logistik: Im Logistikbereich werden derzeit mehrere Konzepte verfolgt. So befinden sich kleine automatisierte Fahrzeuge in der Entwicklung, die zukünftig zur Lieferung von Lebensmitteln oder Waren des täglichen Bedarfs eingesetzt werden sollen. Ein Beispiel hierfür ist das Fahrzeug des U.S. Start-Ups Nuro (Abb. 23.1). Das Unternehmen Robomart entwickelt dagegen einen selbstfahrenden Minimarkt. Der Kunde bestellt das Fahrzeug und kann nach dessen Ankunft die benötigten Waren aus einem vordefinierten Sortiment entnehmen (Abb. 23.2). Weiterhin existieren u. a. auch Konzepte für selbstfahrende Paketstationen, so z. B. eine Variante der Designstudie EZ-PRO von Renault (Abb. 23.3). Im Rahmen seiner Masterarbeit im Fach Produkt-Design entwarf Kutz eine selbstfahrende Fahrzeugplattform für den Einsatz in ländlichen Regionen. Diese kann mit verschiedenen Modulen versehen und somit flexibel eingesetzt werden. Das Einsatzspektrum reicht von der Warenauslieferung bis zum Einsammeln von Wertstoffmüll (Kutz 2014; Abb. 23.4).



Abbildung 23: Automatisierte Logistik (Quellen: 23.1 - © Nuro / 23.2 - © Robomart, Inc. / 23.3 – Wikimedia Commons – The supermat – CC BY-SA 4.0 / 23.4 - © Kutz)

3.5 Betrieb ländlicher automatisierter ÖPNV-Dienste

Leitfaden – Frage III: „Sie sind Geschäftsführer eines ländlichen Mobilitätsanbieters und gerade dabei Ihre Flotte auf automatisierte Fahrzeuge umzustellen. – Was müssen Sie beim Umstellungsprozess und beim anschließenden Regelbetrieb beachten?“

Die Einführung eines automatisierten ÖPNV/ÖIVs könnte zu einem radikalen Wandel des ländlichen Mobilitätsmarktes führen. In einem solchen extremen, jedoch durchaus möglichen Szenario würde eine völlige Neuorganisation des ÖPNVs stattfinden, von der insbesondere große, privatwirtschaftlich geführte Mobilitätsanbieter profitieren. Hierbei würde digitalen Buchungsplattformen, über welche die zukünftige ländliche Mobilität organisiert wird, eine zentrale Rolle zukommen.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Aspekte eines zukünftigen ländlichen Mobilitätsmarktes erörtert werden.

3.5.1 Nachfrage und Angebot

Wie bereits in den Abschnitten 2.3 und 3.4.4 ausführlich erläutert, führt der anhaltende Bevölkerungsschwund in ländlichen Räumen zu einem Rückgang des Fahrgastaufkommens im ÖPNV. Besonders ins Gewicht fällt hierbei die sinkende Zahl an Schülern, welche bisher die Hauptnutzer des ländlichen Nahverkehrs waren (Mörner 2018, S. 1). Die Folgen dieser Entwicklung sind eine Streuung der Nachfrage, da weniger Menschen auf der gleichen Fläche leben, und das Abflachen typischer Morgen- und Abendspitzen, aufgrund geringerer Pendlerzahlen. Für die

ländlichen ÖPNV-Betreiber schwinden somit zunehmend Bündelungspotenziale, wodurch die Finanzierung eines herkömmlichen Linienverkehrs erschwert wird. Der alternative Einsatz von herkömmlichen On-Demand-Verkehren, wie beispielsweise Rufbussen, führt ebenso zu hohen Kosten, da mehr (kleinere) Fahrzeuge und Fahrer vorgehalten werden müssen (Mörner 2018, S. 25ff.). Diese Ausgangssituation lässt zwei wichtige Schlussfolgerungen über die zukünftige Ausgestaltung ländlicher automatisierter Mobilitätsdienste zu.

Einsatz kleinerer Fahrzeuge: Der Betrieb automatisierter Mobilitätsdienste wird voraussichtlich mit Fahrzeugen stattfinden, die kleiner sind als die derzeit eingesetzten Shuttle-Busse (GAMMA, 00:04:10). EPSILON geht auf Grundlage eigener Simulationen vom Einsatz gemischter Fahrzeugflotten aus, die sich zu circa 80% aus viersitzigen und kleineren Fahrzeugen zusammensetzen werden. Der restliche Teil könnte aus größeren Einheiten mit bis zu acht Sitzplätzen bestehen, welche in Spitzenlastzeiten und womöglich im Schülerverkehr zum Einsatz kommen (EPSILON, 00:06:46 – 00:07:16).

Zusätzlich werden die Betreiber einige Fahrzeuge vorhalten müssen, die speziell für bewegungseingeschränkte und rollstuhlfahrende Personen ausgelegt sind (EPSILON 00:13:02).

Ausdifferenzierung des Angebots: Automatisierte Mobilitätsdienste werden unterschiedliche Beförderungsoptionen anbieten, welche sich z. B. hinsichtlich des Komforts und des Preises unterscheiden. So könnten sowohl Einzel- als auch Ride-Hailing²⁵-Fahrten angeboten werden. Zusätzlich könnte es auch tageszeitabhängige Unterschiede in der Preis- und Angebotsgestaltung geben (ZETA, 00:07:22). Möglicherweise werden bewegungseingeschränkte oder hilfsbedürftige Personen auch einen Begleitservice hinzubuchen können (ZETA, 00:09:11).

3.5.2 Zukünftige Marktsituation

Gerade in ländlichen Räumen könnte die Einführung automatisierter Fahrzeuge ein hohes disruptives Potenzial entfalten und so zu einem radikalen Wandel der Marktsituation führen. Folgend sollen ausgewählte Aspekte eines zukünftigen ländlichen Mobilitätsmarktes erörtert werden.

Konkurrenz durch neue Mobilitätsanbieter: Der Durchbruch des automatisierten Fahrens könnte insbesondere die wirtschaftliche Existenz regionaler Taxi- und Busunternehmer bedrohen, vermutet Expert/-in ZETA (ZETA), denn deren Geschäftsmodell beruhe oftmals auf zwei Säulen: Dem Betrieb eigener Instandhaltungswerkstätten und einem Pool zuverlässiger Fahrer (ZETA, 00:16:05).

Infolge der Automatisierung könnten die Fahrzeuge allerdings so komplex werden, dass die Wartung nicht mehr in den eigenen Werkstätten erfolgen kann. Außerdem könnte der Wegfall menschlicher Fahrer zur Folge haben, dass neue Wettbewerber in den Markt drängen. Die Gefahr für lokale Anbieter ginge insbesondere von überregional agierenden Mobilitätsanbietern aus, die dazu im Stande wären, mit großen Fahrzeugflotten Skaleneffekte zu erzielen und zur

25 Ride-Hailing (engl. *to hail* = „herbeirufen“): Taxi-Dienste bei denen Fahrten kurzfristig via Smartphone-App gebucht werden. Ankunftszeit und Position des Fahrers werden hierbei in Echtzeit angezeigt. Als Ridehailing-Anbieter gelten z. B. Uber, Lyft und Didi (Asien).

Bereitstellung ihrer Dienste nicht mehr vor Ort präsent sein müssten (ZETA, 00:17:05). Durch diese Dynamik würden auch örtliche Netzwerke an Bedeutung verlieren, da die Notwendigkeit entfielen, die eigene Kundschaft besonders gut zu kennen.

Die Angebotsgestaltung würde nunmehr von Algorithmen übernommen (ZETA, 00:18:08; vgl. auch Abschnitt 3.5.3). In diesem Szenario bliebe den lokalen Taxi- und Busunternehmern womöglich nur die Option, als Subunternehmer für die überregionalen Anbieter zu arbeiten – z. B. im Bereich der Fahrzeuginstandhaltung (ZETA, 00:18:49).

Finanzierung eines ländlichen automatisierten ÖPNVs: Eines der Hauptargumente, das von Befürwortern eines ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIVs vorgetragen wird, ist, dass sich der ländliche Verkehr durch eine wesentliche Reduzierung der Personalausgaben zukünftig selbst tragen könnte (Bernhart et al. 2018, S. 13). Die Auswertung der Interviews ergab diesbezüglich kein einheitliches Bild, zumal die Frage der Selbstfinanzierung in engem Maße mit dem Reifegrad und der Zuverlässigkeit der Technik verknüpft ist.

Expert/-in GAMMA (GAMMA) geht davon aus, dass sich auch ein automatisierter ÖPNV/ÖIV auf dem Land niemals selbstständig tragen könnte, da hierzu die Siedlungsstruktur zu dispers sei und entsprechend auch die Nachfragedichte zu niedrig (GAMMA, 00:20:56). Gleichwohl hält sie es für möglich, dass die Bezuschussung durch die öffentliche Hand bei einem automatisierten Verkehr niedriger ausfallen könnte, als es heute der Fall ist (GAMMA, 00:21:59).

Diese Meinung teilt auch EPSILON, jedoch kann er sich neben einer direkten Bezuschussung der Mobilitätsanbieter auch ein anderes Modell vorstellen, bei dem der ansässigen Bevölkerung entweder Freifahrten zugeteilt oder Kilometerpauschalen ausgezahlt werden (EPSILON, 00:25:41; Karl und Canzler 2011, S. 8). Auch geht EPSILON davon aus, dass automatisierte Fahrzeuge in der Anschaffung deutlich teurer sein werden als konventionelle. Er vermutet daher, dass die Betreiber, um die Betriebskosten zu senken, keine eigenen Flotten mehr besitzen werden, sondern die Fahrzeuge bei den Herstellern leasen (EPSILON, 00:22:16).

Für Expert/-in BETA (BETA) hängt die Frage der Selbstfinanzierung davon ab, welchem Zwecke die Automatisierung letztlich dienen sollte. Ginge es hauptsächlich darum, die Betriebsausgaben zu senken oder, im Sinne einer Verbesserung der Daseinsvorsorge, auch darum, das Angebot zu verbessern? Um letzteres zu gewährleisten, seien die Aufgabenträger des ÖPNVs – die Landkreise und Kommunen – gefragt. Diese müssten in ihren Ausschreibungen entsprechende Zielvorgaben formulieren und im Zweifelsfalle auch bereit sein, die ÖPNV-Betreiber weiterhin zu bezuschussen (BETA, 00:15:14).

ZETA vertritt dagegen die Meinung, dass ein ländlicher automatisierter ÖPNV/ÖIV unter günstigen Bedingungen eigenwirtschaftlich betrieben werden könne. Dies sei ja schließlich auch beim heutigen Taxigewerbe oft der Fall. Voraussetzung für die Eigenwirtschaftlichkeit sei allerdings, dass die Fahrpreise nicht künstlich gesenkt werden. Solche oft aus umweltpolitischen Erwägungen geforderten Maßnahmen hält ZETA generell für riskant, da sie zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens führen können. Zudem steht zu befürchten, dass sich die Fahrgäste angesichts allzu preisgünstiger Tarife vermehrt für Einzelfahrten entscheiden. Folglich würde auch die Zahl der Versetzungsfahrten steigen, bei denen keine Fahrgäste befördert werden, und dadurch die Effizienz gegenüber Privat-PKWs deutlich herabgesetzt (ZETA, 00:23:08).

Im deutlichen Kontrast zu der Meinung der anderen interviewten Expertinnen und Experten steht THETA. Er hegt grundsätzliche Zweifel daran, dass automatisierte Fahrzeuge ein wirkliches Einsparungspotenzial bieten könnten. Zwar würden Personalkosten beim Fahrer eingespart, jedoch ginge dieser Vorteil durch die intensivere Wartung der Fahrzeuge verloren (THETA, 00:41:07). Auch glaubt THETA nicht daran, dass es in absehbarer Zeit zu einem flächendeckenden Einsatz automatisierter Fahrzeuge kommen könne. Dies wäre – wenn überhaupt – im ländlichen Raum nur möglich, wenn man die Höchstgeschwindigkeit auf Landstraßen auf Tempo 50 herabsetzten würde. Die Bereitschaft, solche Maßnahmen zu ergreifen, sehe er aber derzeit weder auf gesellschaftlicher noch auf politischer Ebene.

„Wenn Sie eine ländliche Gemeinde finden die sagt, [...] bei uns auf allen Straßen oder im ganzen Kreis gilt nur noch Tempo 50 und das setzen wir auch rigoros durch [...], dann könnte daraus durchaus etwas werden. Aber das ist im Moment nicht die Tendenz die ich auf dem Lande sehe [...]. Wenn Sie als Bürgermeister morgen sagen, hier Tempo 50 im ganzen Kreis, dann bereiten Sie sich auf Ihre Abwahl vor. Damit ist also so ein Radikalkonzept – pro autonomes Fahren – kaum durchsetzbar.“ (Expert/-in THETA, 00:44:10 – 00:45:09)

Automatisierte Verkehre könnten höchstens in Einzelfällen eingesetzt werden, beispielsweise um abseits gelegene touristische Orte, wie Zeltplätze, mit dem regulären ÖPNV zu verbinden (vgl. Abb. 15 [C], S. 60). Es handelt sich jedoch um Use Cases, welche sich wirtschaftlich nicht selbstständig tragen würden (THETA, 00:42:02).

Organisation eines ländlichen automatisierten ÖPNVs: Je nachdem, welchen Automatisierungsgrad ländliche Mobilitätssysteme erreichen und welche Organisationform einem zukünftigen Nahverkehr zu Grunde liegen wird, sind verschiedene Ausprägungen eines automatisierten ländlichen ÖPNV/ÖIVs denkbar.

In diesem Zusammenhang, so ZETA, ist insbesondere die Frage interessant, wie die Vergabe von ÖPNV-Konzessionen in Zukunft ablaufen soll. Das Verfahren könnte wie heutzutage über die Aufgabenträger des ÖPNVs laufen, oder aber zukünftig über den freien Markt geregelt werden. In letzterem Fall würden Mobilitätsdienste womöglich über konkurrierende digitale Buchungsplattformen Zugang zum Markt erhalten. Schließlich könnte es zu einem Verdrängungswettbewerb kommen, bei dem sich eine der digitalen Buchungsplattformen am Markt durchsetzt.

Entscheidend für die Entwicklung eines automatisierten ÖPNVs wird laut ZETA auch die anstehende Neugestaltung des Personenbeförderungsgesetzes (PbefG) sein und insbesondere die Frage, wie darin die zukünftigen automatisierten Mobilitätssysteme reguliert werden.^{26 27} Besonderes Augenmerk müsse in diesem Zusammenhang auch auf die Regulierung der

26 Für eine ausführliche Darstellung zum Reformbedarf im PbefG, siehe Knie und Ruhrort (Knie und Ruhrort 2019).

27 Anfang August 2021 trat die lange geforderte Novelle des PbefG in Kraft. Darin wird erstmals eine verbindliche Rechtsgrundlage für neue digitale Mobilitätsangebote - wie bspw. App-basiertes Ridesharing und Ridehailing - geschaffen (BMVI 2021b). Die von vielen Mobilitätsexpert/-innen geforderte Aufhebung der Trennung von Taxi- und Mietwagendiensten bleibt jedoch ebenso bestehen wie die Rückkehrpflicht für Letztere (Knie 2021) Auch geht die aktuelle PbefG-Novelle nicht explizit auf fahrerlose Mobilitätsangebote ein.

Buchungsplattform gelegt werden. Hierbei seien verschiedene Fragen zu klären. Z. B., wer für deren Betrieb zuständig ist oder wie mit den persönlichen Daten der Fahrgäste umgegangen wird. Hinsichtlich der auf der Plattform organisierten Mobilitätsanbieter müsse weiterhin festgelegt werden, ob diese besonderen Anschlusspflichten unterliegen oder ob sie sich, bei einem Wettbewerb mehrerer Buchungsplattformen, für eine Plattform ihrer Wahl entscheiden dürfen (ZETA, 00:19:18). Schließlich müssten auch verpflichtende Zielvorgaben hinsichtlich der Daseinsvorsorge festgelegt werden.

Im Extremfall könnte das eben beschriebene Modell zu einem radikal kundenorientierten Mobilitätsmarkt führen, auf dem etliche automatisierte Mobilitätsdienste um die Gunst der Kunden konkurrieren. Für ZETA wäre dies kein erstrebenswerter Zustand. Denn wohin eine solche Entwicklung führt, könne man derzeit in den USA beobachten. Dort hat die Einführung von Fahrdiensten wie Uber oder Lyft tatsächlich zu Verlagerungen zu Lasten des ÖPNVs geführt und dadurch auch zu einer Zunahme des städtischen Verkehrs. Dies liege natürlich auch daran, dass Kunden Direktverbindungen dem mehrmaligen Umsteigen vorziehen würden. Letztlich sei ein politischer Entscheidungsprozess erforderlich, in dem festgelegt wird, wie das zukünftige ÖPNV-System gestaltet werden soll. Hierbei seien unternehmerische Gestaltungsspielräume gegen das öffentliche Interesse abzuwägen (ZETA, 00:25:20).

BETA skizziert hinsichtlich der Entwicklung eines ländlichen automatisierten ÖPNVs zwei Extremszenarien. So könnten Robo-Taxis und automatisierte Sammelverkehre im Falle einer kompletten Marktliberalisierung alle weiteren Verkehrsmittel im ländlichen Raum verdrängen. Denn ginge man von den heutigen Betriebskosten eines Taxis in Höhe von circa 1,50€ / km aus und ziehe davon rund 70% Personalkosten ab, erhielte man ein Verkehrsmittel, welches günstiger ist als jede andere ÖPNV-Form (BETA, 00:17:06).

Auch der Weiterbetrieb des Schienenverkehrs, welcher Betriebskosten von circa 15€ / km aufweist, wäre auf dem Land unter diesen Voraussetzungen nicht mehr zu rechtfertigen²⁸. Die Automatisierung des Schienenverkehrs würde an diesem Umstand ebenso wenig ändern, da einerseits die Personalkosten im Schienenverkehr nicht so stark ins Gewicht fallen und andererseits hohe Kosten für die Anpassung der Bahninfrastruktur erforderlich wären (BETA, 00:18:41). Die Frage sei also letztlich, ob die Aufgabenträger in einem solchen extremen Szenario noch bereit wären, den konventionellen ÖPNV zu fördern, „wenn der Markt ohne Zuschüsse ein billigeres und besseres Verkehrsangebot bietet“ (BETA, 00:20:08). Unter diesen Bedingungen sei es auch möglich, dass mehrere Mobilitätsanbieter am Markt erscheinen, die gegeneinander konkurrieren (BETA, 00:21:30).

28 Dem widerspricht die Studie von Sonderegger et al. Modellberechnungen für die Region Tösstal (CH) ergaben, dass der komplementäre Betrieb von automatisierten Sammelverkehren und S-Bahnen unter günstigen Bedingungen selbsttragend sein könnte (Sonderegger et al. 2018, S. 71f.). Der alleinige Betrieb automatisierter Sammelverkehre wäre womöglich noch wirtschaftlicher, würde jedoch in Spitzenlastzeiten zu einer Überlastung des Straßennetzes führen (Sonderegger et al. 2019, S. 59).

Das andere Extrem sei, so BETA, ein Szenario, in dem automatisierte Mobilitätsdienste nur mit hohen Defiziten zu betreiben sind. In diesem Falle müsste der Staat den Betrieb bezuschussen und würde auch eher regulierend eingreifen – beispielsweise indem er die Daseinsvorsorge stärker berücksichtigt und Mindeststandards für den ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIV setzt. In einem solchen Szenario wäre das ÖPNV-Netz hierarchisch organisiert und automatisierte Mobilitätsdienste würden eher die Rolle von Zubringern für einen leistungsstarken Linienverkehr übernehmen (BETA, 00:23:09).

3.5.3 Buchungsplattformen

Wie in Abschnitt 3.5.2 bereits umrissen, hängt der Erfolg ländlicher automatisierter Mobilitätsdienste ganz wesentlich von der Integration leistungsfähiger Buchungsplattformen ab. In diesem Abschnitt sollen Aufbau und Funktionsweise eines solchen Buchungssystems erläutert werden.

Kundenschnittstelle: Um die größtmögliche Zugänglichkeit zu gewährleisten, wird es voraussichtlich mehrere Schnittstellen zur Buchungsplattform geben. So gehen ALPHA und ZETA davon aus, dass es auch zukünftig möglich sein wird, Fahrtwünsche telefonisch in einem Servicecenter abzugeben. Dies sei in Anbetracht einer überwiegend älteren und entsprechend nicht besonders IT-affinen Kundschaft wichtig (ZETA, 00:01:51; ALPHA, 00:33:42). Es ist jedoch davon auszugehen, dass die meistbenutzte Schnittstelle eine digitale App sein wird und dass im betrachteten Zeitraum 2025-2035 auch eine zunehmende Zahl älterer Menschen mit diesem Medium vertraut sein wird (IOTA, 00:28:08). Auch wird es voraussichtlich die Möglichkeit geben, die Buchungssapp mit einer Sprachsteuerung zu bedienen oder sie mit einem digitalen Home-Assistenten zu verknüpfen (EPSILON, 00:01:36). BETA weist schließlich darauf hin, dass sich in den kommenden Jahren noch andere Personal Devices, wie z. B. Datenbrillen oder Smartwatches, möglicherweise durchsetzen werden (BETA, 00:04:21), mit denen die Buchung vorgenommen werden könnte. Grundsätzlich sollte dies jedoch nichts am grundlegenden Funktionsprinzip der Buchungsplattformen ändern.

Fahrtbuchung: Um im ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIV einen effizienten Ressourceneinsatz zu erreichen, müssen die eingesetzten Fahrzeuge optimal ausgelastet und die Flotten möglichst klein gehalten werden. Da dies nur durch die Bündelung möglichst vieler Fahrten gelingen kann, muss das Preissystem so gestaltet werden, dass eine frühzeitige und zeitlich flexible Buchung belohnt wird (ZETA, 00:02:36). Ergänzend könnte auch die Möglichkeit bestehen, kurzfristig Mitfahrten zu buchen. Diese wären günstiger, jedoch nur verfügbar, wenn ein Fahrzeug gerade auf der gewünschten Route verkehrt und noch Sitzplätze frei sind. Um die Auslastung weiter zu optimieren, könnte den Nutzern des Systems auch die Option angeboten werden, sich automatisch über spontane Mitfahrgelegenheiten informieren zu lassen. Entsprechende Vorschläge könnten auf Grundlage persönlicher Mobilitätsroutinen generiert werden (ZETA, 00:03:17).

DELTA geht bei der Buchung von einer optimalen Vorlaufzeit mehrerer Tage aus. Wolle man möglichst günstig unterwegs sein, werde man sich außerdem von festen Abfahrts- oder

Ankunftszeiten verabschieden müssen (DELTA, 00:24:06). Der Nutzer werde im Buchungssystem ein gewünschtes Zeitfenster angeben und womöglich erst kurz vor Beginn der Fahrt die genaue Abfahrtszeit zugewiesen bekommen, so DELTA weiter. Dadurch könne Zeit gewonnen werden, um unter Berücksichtigung weiterer eingehender Fahrtwünsche eine optimale Route zu berechnen (DELTA, 00:22:45). Zu einem späteren Zeitpunkt wäre es sogar denkbar, die Buchungsplattform mit besonders nachgefragten Fahrzielen, wie z. B. Behörden, Ärzten oder sonstigen Einrichtungen, zu vernetzen. So könnte das System auf Anfrage nach freien Terminen suchen und diese mit der Buchung der Fahrt verknüpfen (DELTA, 00:25:35).

Neben der hier beschriebenen Buchung von Sammelfahrten wird selbstverständlich die kurzfristige Buchung von Einzelfahrten weiterhin möglich sein. Preislich würden diese vermutlich einer heutigen Taxifahrt entsprechen. Des Weiteren müssten auch spezielle Buchungsoptionen für Menschen mit Behinderung bedacht werden, mit denen beispielsweise spezielle Fahrzeuge oder ein Begleitservice angefordert werden können. Um den Buchungsprozess zu erleichtern, könnten entsprechende Informationen auch in den Benutzerprofilen betroffener Kunden hinterlegt werden (IOTA, 00:30:56).

Wie auch immer ein solches Buchungssystem letztlich aussehen wird, seine Umsetzung dürfte aufgrund der vielen zu berücksichtigenden Parameter eine komplexe Herausforderung sein. So müsste ein solches System bei der Zusammenstellung der Fahrten die verfügbaren Kapazitäten, verschiedene Arten von Sitzplätzen und möglicherweise auch die Mitnahme von Gepäck oder Fahrrädern berücksichtigen. Zudem müssten die Routen so berechnet werden, dass keine Zielkonflikte entstehen – beispielsweise im Sinne, dass geplante Anschlussverbindungen auch dann eingehalten werden, wenn sich die Fahrt aufgrund der Mitnahme weiterer Personen verlängert (ZETA, 00:09:48). Der Komplexitätsgrad würde sich außerdem noch erhöhen, wenn mehrere Anbieter in das System integriert werden müssen (BETA, 00:04:21).

DELTA weist abschließend noch auf das Risiko hin, welches von einer Kommerzialisierung der Buchungsplattformen ausgehen könnte. Eine solche Entwicklung wäre nicht nur hinsichtlich des Datenschutzes bedenklich, sondern würde auch Manipulationen Tür und Tor öffnen sowie – aus Kundensicht – zu einer Einschränkung der Wahlfreiheit führen. Es gelte daher unbedingt zu vermeiden, dass Buchungsplattformen zukünftig von großen werbefinanzierten Internetkonzernen betrieben werden (DELTA, 00:27:29).

3.5.4 Fahrgastkommunikation

Aufgrund des entfallenden Fahrpersonals wird sich die Notwendigkeit ergeben, eine zuverlässige Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrgast und Fahrdienstbetreiber zu etablieren. Diese wird im Wesentlichen zwei Funktionen erfüllen: Zum einen wird sie der Bereitstellung wichtiger Fahrgastinformationen dienen, zum anderen wird sie die Verbindung zu einer menschlich besetzten Service-Zentrale ermöglichen.

Kommunikationsschnittstelle: Die Bereitstellung allgemeiner und personalisierter Fahrgastinformationen wird voraussichtlich über Touchscreens im Fahrzeug oder direkt über eine digitale App erfolgen (GAMMA, 00:07:44). Interessanter Weise halten dagegen die meisten

interviewten Expertinnen und Experten die Möglichkeit einer direkten Sprachkommunikation mit dem Fahrzeug (mittels eines intelligenten Sprachassistenten) weder für wahrscheinlich noch für wünschenswert. Diese Form der Kommunikation würde von den Fahrgästen voraussichtlich als störend empfunden und stelle letztlich auch keinen Mehrwert dar (GAMMA, 00:07:20; IOTA, 00:33:54), sie sei daher höchstens in Notfällen eine Option (IOTA, 00:32:56). Auch sollte es keine permanente Verbindung zu einer Service-Zentrale geben, sondern diese nur bei Bedarf hergestellt werden – beispielsweise über einen herkömmlichen Rufknopf (IOTA, 00:32:10).

In bestimmten Situationen, so DELTA, müsse auch die Möglichkeit bestehen, dem Fahrgast persönliche Benachrichtigungen zu übermitteln – so beispielsweise, um diesen über einen verpassten Anschluss und die Bereitstellung eines alternativen Verkehrsmittels zu informieren (DELTA, 00:32:18). Gehe man außerdem von einer umfassenden digitalen Vernetzung aus, bei der Behörden, Ärzte und andere Einrichtungen mit der Buchungsplattform verknüpft sind, sei es denkbar, dass auch hier ein automatisierter Informationsaustausch stattfindet. Ein konkretes Beispiel könnte sein, dass eine Arztpraxis vom Buchungssystem über die verspätete Ankunft eines Patienten informiert werde (DELTA, 00:32:18). Schließlich könnten auch Situationen auftreten, bei denen der Fahrgast um Einwilligung gebeten werden muss, beispielsweise wenn das Fahrzeug wegen eines Staus eine alternative Route fahren möchte (DELTA, 00:33:26).

Service-Zentralen: In einem ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIV werden die Service-Zentralen einen hohen Stellenwert besitzen, da sie für die Fahrgäste die einzige Möglichkeit sind, mit menschlichem Personal in Kontakt zu treten. Auch dürften sie in der Einführungsphase eine entscheidende Rolle bei der Vertrauensbildung und Förderung der Akzeptanz für automatisierte Mobilitätssysteme spielen.

ALPHA geht davon aus, dass die Service-Zentralen der Mobilitätsanbieter auch zukünftig mit Menschen besetzt sein werden und dass diese lokal, in den Geschäftsgebieten der jeweiligen Mobilitätsanbieter, verankert sein werden. Denn „gerade für solche feinerschließenden Angebote“ wird auch Ortskenntnis erforderlich sein (ALPHA, 00:34:50). In Ergänzung zu den menschlichen Service-Mitarbeitern wird jedoch auch die Kommunikation über menschenähnliche Sprachassistenten und digitale Avatare weiter zunehmen (ALPHA, ebd.).

Auch IOTA geht davon aus, dass die Service-Zentralen regional verortet sein werden. Ein besonders kundenfreundlicher und regional verbundener Service sei schließlich auch eine Möglichkeit, sich im Wettbewerb zu profilieren. Aber auch die Verfügbarkeit eines schnellen „physischen“ Supports – beispielsweise bei Fahrzeugpannen – sei in diesem Zusammenhang wichtig (IOTA, 00:34:50).

BETA dagegen vermutet, dass sich in den Service-Zentralen ein zweistufiges System etablieren wird, in dem häufig gestellte Fragen durch automatisierte Sprachassistenten beantwortet werden und die Weiterleitung an menschliche Mitarbeiter erst bei komplexeren Sachverhalten erfolgt. Letztlich werde „die Kommunikation mit [einer] vertrauensbildenden Stelle [...] wichtig sein“, denn „die Bereitschaft so ein System zu nutzen hat viel mit Vertrauen zu tun“ (BETA, 00:10:19). EPSILON schließt sich der Meinung BETAs weitgehend an, geht jedoch nicht davon aus, dass die Service-Zentralen in den Regionen verortet sein werden (EPSILON, 00:13:58).

3.5.5 Fahrzeugwartung und -instandsetzung

Eine weitere wichtige Frage ist, wie zukünftig die Wartung und Instandsetzung automatisierter Fahrzeugflotten organisiert werden soll.

Dezentralisierung der Wartung und Instandhaltung: EPSILON erwartet, dass die Anbieter ländlicher automatisierter Mobilitätsdienste keine großen zentralisierten Depots betreiben werden. Er führt hierfür im Wesentlichen zwei Gründe auf. Zum einen sei in Zukunft von batterieelektrisch betriebenen Flotten auszugehen und somit von geringeren Reichweiten der Fahrzeuge. In dieser Hinsicht wären lange Anfahrtswege von Nachteil. Zum anderen bietet der E-Antrieb den Vorteil, dass viel weniger Verschleißteile anfallen. Dadurch wären auch geringere Lager- und Werkstattkapazitäten erforderlich. Entsprechend geht EPSILON von einer Dezentralisierung der Wartung und Instandhaltung aus. Anstelle von Depots würden kleine Betriebshöfe treten, welche im gesamten Geschäftsgebiet verteilt sind. In diesen könnte jeweils eine kleine Anzahl von Fahrzeugen aufgeladen, gewartet und gereinigt werden (EPSILON, 00:28:04).

Reinigung der Fahrzeuge: Insbesondere die Reinigung wird vorerst ein personalintensiver Posten bleiben, da eine Automatisierung wohl zu komplex wäre. Hier stellt sich auch die Frage, wie zukünftig der Reinigungsbedarf eines Fahrzeugs festgestellt werden soll. EPSILON geht diesbezüglich davon aus, dass es festgelegte Reinigungszeitpunkte geben könnte – beispielsweise nach Einsätzen im Schülerverkehr –, jedoch seien auch KI-basierte Lösungen denkbar, bei denen die Fahrzeuge selbständig Reinigungsbedarf anmelden (EPSILON, 00:29:45). GAMMA weist darauf hin, dass sich die Fahrzeuge ja ohnehin nicht rund um die Uhr im Einsatz befinden werden.

Laden während der Einsatzzeiten: Voraussichtlich werden E-Fahrzeuge auch zukünftig noch geringere Reichweiten als Verbrenner aufweisen. Entsprechend wäre es zur Verlängerung der Einsatzzeiten von Vorteil, ÖPNV-Fahrzeuge auch außerhalb der Betriebshöfe aufladen zu können. Hierzu müssten im Vorfeld zwei Fragen geklärt werden: Zum einen, wo der Ladevorgang außerhalb der Betriebshöfe stattfindet, und zum anderen, ob eine Automatisierung des Ladeprozesses möglich ist.

GAMMA schlägt vor, dass die Betreiber der Mobilitätsdienste Ladepunkte an vorhandene Infrastrukturen „andocken“ könnten. Als Vorbild nennt sie die Kooperation zwischen dem VW-Carsharing-Dienst „WeShare“ und dem Discounter Lidl, der auf seinen Parkplätzen Ladepunkte für die VW-Flotte installiert hat (GAMMA, 00:23:07). BETA dagegen könnte sich spezielle, für Mobilitätsanbieter und andere öffentliche Dienste reservierte Ladeparkplätze vorstellen, auf denen die Fahrzeuge über Induktion aufgeladen werden. Diese könnten sich beispielsweise „an Bahnhöfen und zentralen Haltestellen“ befinden (BETA, 00:30:19 – 00:30:46).

Wartungs- und Instandhaltungskosten: Bezüglich der zu erwartenden Wartungs- und Instandhaltungskosten automatisierter Fahrzeuge vertreten die interviewten Experten und Expertinnen unterschiedliche Meinungen.

GAMMA geht davon aus, dass die Wartungskosten aufgrund des einfacheren Aufbaus des Elektroantriebs und des damit einhergehenden geringeren Verschleißes sinken werden. Es könne aber sein, dass die Fahrzeugsensoren und Kameras der Fahrzeuge häufiger gereinigt werden müssten (GAMMA, 00:27:16). Dieser Meinung schließt sich auch EPSILON an.

Er vermutet jedoch, dass die Reinigung der Sensoren ebenso automatisiert werden könnte (EPSILON, 00:53:19).

BETA betont dagegen, dass man letztlich noch keine Aussage über die zu erwartenden Kosten treffen könne, führt aber gleichzeitig ins Feld, dass die Automatisierung zu einem geringeren Verschleiß der Technik führen wird – beispielsweise durch den „entspannteren“ Fahrstil automatisierter Fahrzeuge oder durch die Vermeidung unnötig starker Beschleunigungen. Zudem werden die Fahrzeuge die Fähigkeit haben, sich selbst zu überwachen und bereits im Falle kleinster technischer Auffälligkeiten Wartungsbedarf anzumelden. Auf diese Weise könne man teure Folgeschäden vermeiden (BETA, 00:26:00 – 00:26:48).

THETA ist als einziger der interviewten Experten der Meinung, dass die Wartungs- und Instandhaltungskosten automatisierter ÖPNV-Fahrzeuge steigen werden. Er begründet dies damit, dass die Fahrerinnen und Fahrer bisher mit wichtigen Wartungsaufgaben betraut waren, welche nun von zusätzlichem Personal übernommen werden müssten. Zudem sei bei solchen hochkomplexen Systemen davon auszugehen, dass regelmäßige Routine- und Sicherheitschecks häufiger werden. Schließlich seien die Fahrzeuge während ihres Einsatzes dauerhaft auf sich selbst gestellt und dürften daher keine sicherheitsrelevanten Fehlfunktionen aufweisen (THETA, 00:47:56).

3.6 Gesellschaftliche Aspekte

Leitfaden – Frage V: „Welche sozialen Folgen – im Positiven wie im Negativen – könnten die Automatisierung des ÖPNVs und der Logistik in peripheren ländlichen Räumen haben?“

Neben den technischen und organisatorischen Aspekten eines ländlichen automatisierten ÖPNVs müssen auch die gesellschaftlichen Auswirkungen bedacht werden, die mit der Einführung fahrerloser Verkehre einhergehen könnten.

So ist zum einen die Frage nach der Akzeptanz eines automatisierten ÖPNV/ÖIVs wichtig. Denn auf dem Land sind Menschen gegenüber Innovationen oftmals verschlossener als in Städten. Zum anderen müssen auch die Sicherheitsaspekte eines fahrerlosen Betriebs bedacht werden, welche sich teils von denen in urbanen Räumen unterscheiden. Schließlich muss auch eine Betrachtung der Chancen und Risiken erfolgen, die sich aus dem fahrerlosen ÖPNV-Betrieb für die betroffenen Regionen ergeben.

3.6.1 Akzeptanz eines ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIVs

Das größte Akzeptanzhemmnis für automatisierte Fahrzeuge im ländlichen ÖPNV/ÖIV stellt die Abwesenheit des Fahrpersonals dar. Hierbei scheint nicht das mangelnde Vertrauen in die Fahrzeugtechnik ausschlaggebend zu sein, sondern vielmehr das Fehlen einer vertrauensfördernden Kontrollinstanz, welche den Fahrgästen ein subjektives Sicherheitsgefühl vermittelt.

DELTA weist auf eine mögliche Korrelation zwischen Fahrzeuggröße, Mitfahreranzahl und subjektives Sicherheitsgefühl hin. Je kleiner die Fahrzeuge und je weniger Mitfahrer sich darin

befinden, desto größer könnte für manche Personen die Hemmung sein, ein solches Verkehrsmittel zu benutzen. Dieses Phänomen sei beispielsweise von Seilbahnen in Skigebieten bekannt (DELTA, 00:28:43).

Zwar werde das Problem womöglich dadurch abgemildert, dass sich Menschen auf dem Land oftmals untereinander kennen, jedoch sei mittlerweile auch in ländlichen Regionen eine gegenläufige Tendenz zu beobachten. Die gesellschaftliche Offenheit gehe zunehmend verloren (DELTA, 00:29:29).

Jedoch könnte laut EPSILON ein intelligentes Innenraumdesign der Fahrzeuge solchen Hemmschwellen entgegenwirken. Beispielsweise durch halboffene Sitzlandschaften und flexible Trennelemente, welche ein Mindestmaß an Privatsphäre garantierten (EPSILON, 00:10:19)²⁹.

Ein weiteres mögliches Akzeptanzhemmnis nennt ZETA. Er sieht die Gefahr, dass gerade ältere Menschen fahrerlose on-demand Systeme ablehnten, da sie diese als „Hilfsmittel für Bedürftige“ missverstehen könnten. Hierbei würde auch die Scham vor dem eigenen sozialen Umfeld eine Rolle spielen – gewissermaßen nach dem Motto: „dann sehen die Nachbarn, dass ich abgeholt werde ...“ (ZETA, 00:12:30). Ferner könnte auch ein diffuses Gefühl des Kontrollverlusts bzw. des „ausgeliefert seins“ gegenüber dem Fahrzeug zu Nutzungshemmungen führen. ALPHA erinnert in diesem Zusammenhang, dass die ländliche Bevölkerung laut Untersuchungen auch weniger technikaffin sei und zudem weniger intensive Nutzungserfahrungen mit digitalen Technologien vorweisen könne (ALPHA, 00:26:42).

Diesen Befürchtungen widerspricht BETA deutlich. Er habe bei Probeverkehren mit automatisierten Fahrzeugen die gegensätzliche Erfahrung gemacht. Gerade ältere Menschen würden solche Fahrzeuge befürworten, da sie derzeit „im Status Quo“ keine vergleichbaren Beförderungsoptionen hätten (BETA, 00:11:57).

Letzten Endes aber – so DELTA – hänge die Akzeptanz hauptsächlich von den Rahmenbedingungen ab. Beispielsweise von der Attraktivität des Angebots, seiner Zugänglichkeit und insbesondere von der Zuverlässigkeit des Systems (DELTA, 00:37:32). Im Grunde genommen also von den gleichen Faktoren, die auch für ein herkömmliches ÖPNV-Angebot relevant sind. Akzeptanz könne zudem auch durch Mehrwert generiert werden – so ALPHA –, z. B. wenn die Fahrzeuge so ausgestattet sind, dass Pendler die Fahrzeit zum Arbeiten nutzen können (ALPHA, 00:31:10).

Abschließend muss aber auch deutlich konstatiert werden, dass der durch fehlende Mobilitätsalternativen verursachte Leidensdruck die Akzeptanz autonomer Systeme schlicht erzwingen könnte (ZETA, 00:12:30).

Mehrere der Interviewten ziehen zudem einen historischen Vergleich. Tatsächlich gäbe es mit dem Fahrstuhl bereits seit über 100 Jahren ein „vertikales autonomes On-Demand-Fahrzeug“ (THETA, 00:25:11). Dieses hätte sich letztlich auch in kurzer Zeit etabliert und werde heutzutage von nahezu allen Menschen ohne Vorbehalte genutzt.

29 Sicherheitstechnische Anforderungen an fahrerlose ÖPNV-Fahrzeuge sowie deren erforderliche Ausstattungsmerkmale wurden von Arndt zusammengefasst (vgl. Arndt 2017, S. 14ff).

3.6.2 Sicherheitsaspekte eines fahrerlosen Betriebs

In Bezug auf die Betriebssicherheit kristallisierten sich im Laufe der Interviews zwei für einen ländlichen automatisierten ÖPNV besonders relevante Problemstellungen heraus. Zum einen die Frage, wie der Belästigung von Fahrgästen durch mitfahrende Personen vorgebeugt werden kann, und zum anderen, was im Falle einer Fahrzeugpanne auf freier Strecke passiert.

Vorfälle wie Übergriffe oder Belästigungen könnten gerade in der Einführungsphase verheerende Auswirkungen auf die Akzeptanz fahrerloser Verkehre haben und deren Durchsetzung erschweren (EPSILON, 00:14:58). Da sich solche Vorfälle innerhalb der Fahrzeuge jedoch nicht völlig ausschließen lassen und eine komplette Abkapselung der Fahrgäste weder realisierbar noch erstrebenswert erscheint, muss vornehmlich auf Prävention gesetzt werden (vgl. auch Arndt 2017, S. 15).

EPSILON spekuliert, dass Nutzer automatisierter ÖPNV-Systeme zukünftig dazu verpflichtet werden könnten, ein digitales Profil anzulegen. Ähnlich wie bei Uber bestünde so die Möglichkeit andere Fahrgäste zu bewerten. Jeder könne sich dann vor Fahrtantritt über seine Mitreisenden informieren und sich im Falle schlechter Bewertungen für alternative Mitfahrgelegenheiten entscheiden (EPSILON, 00:14:58).

Freilich wäre ein solches Rating-System aus Sicht des Persönlichkeits- und Datenschutzes hochproblematisch. Es bestünde ferner das Risiko, dass bestimmte Gruppen durch vorurteilsbehaftete Bewertungen diskriminiert werden. Auch bleibt die Frage offen, wie negativ bewertete Personen sanktioniert werden könnten, da Sperrungen oder hohe Geldbußen aufgrund des geltenden Daseinsvorsorgeauftrags ausgeschlossen sein sollten (EPSILON, 00:16:53).

Ein Fahrzeugausfall auf offener Strecke wäre ein weiterer Worst Case, welcher sich negativ auf die Akzeptanz auswirken könnte. Solche Komplettausfälle dürften – so EPSILON – nicht passieren, da sie mit „richtig böser Publicity“ für die Betreiber einhergingen (EPSILON, 00:19:35). Sollte es doch so weit kommen, müsse zumindest ein Kommunikationsweg offenbleiben, um einen Notdienst kontaktieren zu können.

IOTA betont in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit eines lokalen Supports, der bei Bedarf schnell intervenieren könne. Um einen solchen zu gewährleisten, müsse ein valides Sicherheits- und Notfallkonzept erarbeitet und ausreichend Personal vorgehalten werden (THETA, 00:26:11). Derweil könnten bis zum Eintreffen des Pannendienstes bzw. eines alternativen Verkehrsmittels die Fahrgäste über eine Live-Video-Schaltung von Support-Mitarbeitern betreut werden (IOTA, 00:37:59). In Bezug auf das Notfallmanagement zeige sich hier wieder eine Analogie zu Fahrstühlen und entsprechenden Fahrstuhlpannendiensten (THETA, 00:25:11).

3.6.3 Chancen und Risiken für ländliche Regionen

Die Einführung automatisierter Verkehre könnte gesellschaftliche Veränderungen zur Folge haben, die weit über das Verkehrswesen hinausgehen. Einige der in den Interviews geäußerten Hoffnungen und Befürchtungen sollen folgend erläutert werden.

Entlastung für Ältere, Familien und Frauen: ZETA sieht in ländlichen automatisierten Verkehren zunächst eine große Chance für Ältere, Jugendliche und Kinder. Denn ein rund um die

Uhr betriebener automatisierter ÖPNV/ÖIV könnte sehr viele Probleme dieser Bevölkerungsgruppen lösen (ZETA, 00:29:38). Zudem würde der Wegfall von Begleitfahrten Eltern und insbesondere Frauen entlasten. Letztere würden nämlich auf dem Land die meisten Fahrdienste für Kinder und Angehörige übernehmen (ZETA, 00:34:00; EPSILON, 00:43:53). ALPHA betont zudem, dass es auch wichtig sei, Erwerbstätige zu berücksichtigen – z. B. durch die Einrichtung gut abgestimmter und verlässlicher Halbstunden- oder Stundentakte, mit denen „man auch ohne eigenes Auto unterwegs sein kann“ (ALPHA, 00:25:16).

Auswirkungen auf die Verkehrssituation: Ein flächenerschließender automatisierter ÖPNV/ÖIV könnte zu einer Reduzierung des ländlichen Autoverkehrs führen und somit auch zu einer umweltfreundlicheren Mobilität (ZETA, 00:29:38). Allerdings bestünde ebenso das Risiko einer gegenteiligen Entwicklung – beispielsweise, wenn das Pooling der Fahrzeuge nicht funktioniere (EPSILON, 00:34:31) oder wenn Mobilität zu günstig und zu bequem würde (ZETA, 00:31:18). In letzterem Falle könne es in ländlichen Räumen durch die Zunahme von Pendel-, Einkaufs- und Freizeitverkehren zu einem Rebound-Effekt kommen (ZETA, 00:31:44; GAMMA, 00:12:33; vgl. auch Perret et al. 2018, S. 36). BETA weist zudem darauf hin, dass das automatisierte Fahren womöglich zu einer Verlängerung der Pendeldistanzen und dadurch zu einer weiteren Steigerung der Verkehrsbelastung führen könnte. Da die Zeit im Auto beispielsweise zum Arbeiten oder Schlafen genutzt werden könne, entfele der Anreiz, längere Strecken mit der Bahn oder anderen Fernverkehrsmitteln zu fahren. Zudem würde die Bereitschaft steigen, in größerer Entfernung zur Arbeitsstätte zu leben (BETA, 00:47:54).

Abschaffung des Fahrpersonals: Die wohl offensichtlichste Veränderung, die mit einer Automatisierung des ÖPNV einherginge, wäre die Abschaffung des Fahrpersonals. DELTA befürchtet, dass somit ein weiterer verantwortungsvoller Beruf im unteren Ausbildungssegment verschwinden würde, um – wenn überhaupt – durch schlechter bezahlte Jobs ersetzt zu werden (DELTA, 00:45:26). Er hofft jedoch, dass gleichwertige Jobs im Bereich ländlicher ÖPNV-Hubs entstehen könnten (DELTA, 00:48:36). EPSILON weist dagegen darauf hin, dass Fahrpersonal bereits heute händierend gesucht wird und eine Automatisierung somit eher zu einer Entspannung am Arbeitsmarkt führen würde. Er geht ebenso davon aus, dass neue Jobs im Wartungsbereich entstünden (EPSILON, 00:50:40). ALPHA teilt diese Meinung, fragt sich jedoch, wie DELTA, welche Jobs zukünftig für geringqualifizierte Menschen übrigblieben. Womöglich würden – fährt ALPHA fort – im Zuge der Automatisierung und des fortschreitenden demografischen Wandels Care-Tätigkeiten an Bedeutung gewinnen und somit eine gesellschaftliche Aufwertung erfahren (ALPHA, 00:22:28).

Entfallende soziale Rolle des Fahrpersonals: In diesem Zusammenhang lohnt auch ein Blick auf die soziale Rolle von Fahrerinnen und Fahrern im ländlichen ÖPNV. Zwar waren sich die Interviewten darin einig, dass die Bedeutung des Fahrpersonals im ländlichen Kontext nicht überhöht werden sollte – der Busfahrer sei schließlich nicht mit einem Pfarrer oder einer Ärztin vergleichbar (ZETA, 00:34:00) – , unbestritten sei jedoch, dass Fahrerinnen und Fahrer neben ihrer Hauptfunktion auch weitere wichtige Aufgaben übernehmen, die bei einem automatisierten Betrieb entfielen. Insbesondere ist hier die Unterstützung von älteren und/oder mobilitäts-eingeschränkten Menschen beim Ein- und Ausstieg zu erwähnen.

„Was oft Rufbusfahrer [...] machen sind diese netten kleinen Gesten, also Tür aufhalten, beim Einstieg die Hand reichen und so, was ja etwas [...] ist, was natürlich zwischenmenschlich auch was ausmacht – Das würde ja wegfallen bei automatisierten Fahrzeugen. Wenn man sich dann vorstellt, da sitzen vier gebrechliche Seniorinnen drin, dann ist da niemand mehr, der sie so ein bisschen hofiert und ihnen das Gefühl von Unterstützung gibt ...“ (Expert/-in ALPHA, 00:19:18)

Könnten solche Betreuungsaufgaben zukünftig von ehrenamtlich tätigen Personen übernommen werden? Solche Vorschläge sehen DELTA und ALPHA kritisch. Zum einen werde das Ehrenamt auf dem Land bereits heute „überstrapaziert“, da immer mehr Tätigkeiten an Freiwillige delegiert werden, und zum anderen würden Ehrenamtliche nicht durchgehend zur Verfügung stehen (DELTA, 00:52:31; ALPHA, 00:14:48). EPSILON entgegnet jedoch, dass mit fortschreitender Automatisierung und dem weiteren Rückgang von Erwerbsarbeit auch ein Wandel der Gesellschaft einhergehen könne, bei dem möglicherweise ehrenamtliche Tätigkeiten wie die Begleitung von hilfsbedürftigen Personen an Bedeutung gewinnen (EPSILON, 00:47:16).

Aufwertung ländlicher Regionen: Eine weitere interessante Frage ist schließlich, ob die Einführung automatisierter Verkehre zu einer Aufwertung ländlicher Räume führen könnte - oder in manchen Regionen sogar zum Erliegen der Abwanderung.

Die befragten Expertinnen und Experten waren sich diesbezüglich einig, dass die Verbesserung der Erreichbarkeit zwar ein wichtiger Faktor sei, jedoch keinesfalls isoliert betrachtet werden dürfe.

Es müsse zunächst die Frage gestellt werden, wer überhaupt aus ländlichen Regionen abwandert (GAMMA, 00:16:11). Dies seien überwiegend junge Menschen, die auf dem Land keine ansprechenden Jobs bzw. Ausbildungsplätze fänden. Demnach spiele bei der Bevölkerungsentwicklung die wirtschaftliche Struktur der Regionen eine wichtigere Rolle als deren Erreichbarkeit (ALPHA, 00:16:27). Eine Trendwende wäre gegebenenfalls denkbar, wenn sich die Wohnungsmarktlage in den Ballungsräumen weiter verschärft oder Telearbeit im Zuge der Digitalisierung an Bedeutung gewinnt (ZETA, 00:36:15; EPSILON, 00:48:40). Freilich wäre zur Förderung der Telearbeit ein intensiver Ausbau der ländlichen Digitalinfrastruktur erforderlich.

Mögliche negative Auswirkungen, die durch eine bessere Anbindung mit automatisierten Verkehrsmitteln verursacht werden könnten, wären laut BETA eine zunehmende Suburbanisierung bzw. Zersiedelung (vgl. auch Perret et al. 2018, S. 36; Sonderegger et al. 2019, S. 60). Außerdem ein verschärfter Wettbewerbsdruck zwischen ländlichen Regionen. Während attraktive und verkehrstechnisch günstiger gelegene Landstriche eine weitere Aufwertung erfahren und sich womöglich sogar verdichten würden, könnte der Niedergang sehr peripherer Regionen weiter beschleunigt werden (BETA, 00:49:34).

Umfassende Übersichten über die Chancen und Risiken automatisierter Verkehre wurden von Dangschat und – insbesondere in Bezug auf ländliche Räume – Trauner zusammengestellt (Dangschat 2017, S. 496ff.; Trauner 2018, S. 55). Die wichtigsten den ländlichen Raum betreffenden Punkte werden in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tab. 7: Chancen & Risiken eines ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIVs

Chancen und Risiken eines ländlichen automatisierten ÖPNV/ÖIVs	
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Erhebliche Verbesserung des Mobilitätsangebots in der Fläche - insbesondere in den Randzeiten • Verbesserte Erschließung entlegener Ortslagen • Erreichbarkeit zu jeder Tages- und Nachtzeit kann durch bedarfsgesteuerte Angebote gewährleistet werden • Flexibilisierung und Personalisierung des Mobilitätsangebots möglich • Verbesserte Mobilität für bisher benachteiligte Gruppen wie bspw. Kinder, Jugendliche, Senioren oder Menschen mit Behinderung • Entlastung von Familien und insbesondere Frauen durch Wegfall von Begleitfahrten • Reduzierung des privaten PKW-Bestandes (weniger Ressourcenverbrauch), womöglich auch Reduzierung des allg. Verkehrsaufkommens • Reduzierung von Verkehrsunfällen • Attraktivitätssteigerung ländlicher Regionen durch bessere Erreichbarkeit • Zeit während der Fahrt kann besser genutzt werden - bspw. zur Erholung oder zum Arbeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrszunahme durch Rebound-Effekte - Mehr Pendel-, Einkaufs- und Freizeitverkehr • Verlängerung von Pendeldistanzen • Nachhaltige Verkehrsträger wie Bahn, Bus oder Fahrrad verlieren an Attraktivität • Gesteigerte Bereitschaft zur Annahme von Arbeitsstellen, welche in weiter Entfernung zum Wohnsitz liegen • Zersiedelung bzw. Suburbanisierung ländlicher Regionen aufgrund besserer Erreichbarkeit • „Tod“ des klassischen ÖPNVs bzw. Verhinderung nachhaltiger multimodaler ÖPNV-Konzepte durch unterlassene Regulierung automatisierter Fahrdienste • Überlastung der Verkehrswege in Spitzenlastzeiten durch ausschließlichen Einsatz automatisierter Fahrdienste • Verschärfter Wettbewerb zwischen ländlichen Regionen und dadurch beschleunigter Niedergang unattraktiver Landstriche

(Quellen: u. a. Dangschat 2017; Trauner 2018)

3.7 Zwischenfazit

Zum Abschluss des dritten Kapitels soll eine Auswahl der Kernfragen vorgestellt werden, die auf Grundlage der Interviewanalyse identifiziert wurden. Sie sollen in der anschließenden Delphi-Befragung vertiefend erörtert werden. Ebenso wurden potenzielle Einflussfaktoren abgeleitet, welche zukünftig die Entwicklung ländlicher automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme beeinflussen könnten. In der Delphi-Befragung werden diese auf ihre Relevanz hin beurteilt.

3.7.1 Identifizierung von Kernfragen

Folgend sollen beispielhaft einige der Kernfragen vorgestellt werden, welche im Rahmen der Interviewanalyse identifiziert wurden:

Abhängigkeit vom 5G-Mobilfunk-Standard: Es herrscht unter den interviewten Expertinnen und Experten keine eindeutige Meinung darüber, ob und inwieweit der Betrieb fahrerloser Fahrzeuge vom 5G-Mobilfunk-Standard abhängig sein wird. Generell wird jedoch davon ausgegangen, dass zumindest komplexe ÖPNV-Betriebsformen auf eine solche Infrastruktur angewiesen sein werden (vgl. Abschnitt 3.3.4.).

→**KF1: Inwieweit ist der 5G-Standard für den Betrieb fahrerloser Fahrzeuge erforderlich?**

Ansprüche an die zukünftige Straßeninfrastruktur: Unter den interviewten Expertinnen und Experten besteht der Grundkonsens, dass sich ländliche automatisierte Mobilitäts- und Logistiksysteme nur dann umsetzen lassen, wenn die Abhängigkeit von unterstützenden Infrastrukturen gering bleibt (vgl. Abschnitt 3.3.1).

→**KF2: Wie hoch ist der effektive Anpassungsbedarf der Straßeninfrastruktur?**

Zugelassene Straßentypen: Welcher Straßentyp befahren werden kann, wird maßgeblich vom Automatisierungsgrad der Fahrzeuge abhängen. Es soll folglich untersucht werden, wann welcher Straßentyp in Zukunft für automatisierte Fahrzeuge freigegeben werden könnte (vgl. Abschnitt 3.2.5).

→**KF3: Auf welchen Straßentypen wird zukünftig der Betrieb fahrerloser Fahrzeuge möglich sein?**

Betriebsformen: Die in Abschnitt 3.4 erörterten Betriebsformen für ländliche automatisierte Mobilitäts- und Logistikanwendungen sollen hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und ihres möglichen Umsetzungszeitraums untersucht werden.

→**KF4: Welche Betriebsformen für ländliche automatisierte Mobilitäts- und Logistikanwendungen könnten sich etablieren? In welchem Zeitraum ist mit ihrer Einführung zu rechnen?**

Fahrzeugkonzepte: Die in Abschnitt 3.4.5 vorgestellten Fahrzeugkonzepte sollen hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und ihres möglichen Umsetzungszeitraums untersucht werden.

→**KF5: Welche Fahrzeugkonzepte könnten sich etablieren? In welchem Zeitraum ist mit ihrer Einführung zu rechnen?**

Flottenbetreiber: Im Rahmen der Interviews wurde insbesondere von ZETA die Meinung vertreten, dass der ländliche Mobilitätsmarkt durch neue Akteure aufgemischt werden könnte (vgl. 3.5.2).

→**KF6: Welche Akteure werden in Zukunft den ländlichen ÖPNV betreiben?**

3.7.2 Ableitung von Einflussfaktoren

Die ausgewählten Einflussfaktoren beruhen größtenteils auf den Ergebnissen der Interview-Auswertung und teilweise auf weitergehende Recherche. Sie wurden nach dem Prinzip einer einfachen STEP-Analyse in vier Kategorien eingeteilt (siehe folgende Seite).

Gesellschaftliche (bzw. soziokulturelle) Einflussfaktoren sind z. B. persönliche Lebens- und Wertvorstellungen der Fahrgäste, die sich auf die Ausgestaltung des Mobilitätsangebots auswirken (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Gesellschaftliche Einflussfaktoren

Gesellschaftliche Einflussfaktoren	
G1	Akzeptanz des automatisierten Fahrens
G2	Akzeptanz neuer Mobilitätsformen
G3	Alterung der Gesellschaft
G4	Stellenwert der Privatsphäre
G5	Stellenwert des Komforts
G6	Stellenwert des Privat-PKWs
G7	Stellenwert des subjektiven Sicherheitsgefühl
G8	Umweltbewusstsein

Technische Einflussfaktoren wirken sich unmittelbar auf die Umsetzbarkeit automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme aus (vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Technische Einflussfaktoren

Technische Einflussfaktoren	
T1	Anpassungsbedarf der Straßeninfrastruktur
T2	Ausbaugrad der digitalen Infrastruktur
T3	Automatisierungsgrad der Fahrzeuge
T4	Befahrbare Straßentypen
T5	Leistungsfähigkeit des Buchungssystems
T6	Technische Zuverlässigkeit der Fahrzeuge
T7	(Un)abhängigkeit der Fahrzeuge von der digitalen Infrastruktur
T8	(Un)abhängigkeit der Fahrzeuge von der Straßeninfrastruktur
T9	Zugelassene Fahrzeuggeschwindigkeit

Betriebswirtschaftliche (bzw. ökonomische) Einflussfaktoren wirken sich insbesondere in finanzieller Hinsicht auf den Mobilitätsmarkt, die Betreiber sowie die Endverbraucher aus (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Betriebswirtschaftliche Einflussfaktoren

Betriebswirtschaftliche Einflussfaktoren	
B1	Anschaffungskosten für Fahrzeuge
B2	Betriebskosten
B3	Mobilitätskosten für Endverbraucher
B4	Verfügbarkeit automatisierter Fahrzeuge auf dem Markt
B5	Wirtschaftlichkeit des automatisierten Betriebs

Politische Einflussfaktoren sind z.B. Gesetzgebungs-, Regulierungs- oder Förderungsaktivitäten seitens politischer Akteure (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: Politische Einflussfaktoren

Politische Einflussfaktoren	
P1	Förderung des ÖPNVs / Subjektförderung
P2	Regulierung des Mobilitätsmarktes
P3	Staatliche Verantwortung für die Daseinsfürsorge
P4	Standards zur Datensicherheit / Schutz persönlicher Daten
P5	Umweltauflagen

4. Vertiefende Phase - Delphi-Befragung

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der zweistufigen Delphi-Befragung vorgestellt, welche im Mittelpunkt der vertiefenden Phase dieser Arbeit stand. Die Befragung, an der sich 35 Expertinnen und Experten beteiligten, fand zwischen dem 13.03.2020 und dem 01.04.2020 statt. Das Kapitel ist folgendermaßen gegliedert:

Zunächst soll die der Delphi-Befragung zugrundeliegende Methodik erläutert werden (4.1). Daraufhin folgt die Vorstellung ausgewählter Umfrage-Ergebnisse (4.2). Hierbei wird exemplarisch auf die zukünftige Verkehrsinfrastruktur, mögliche Betriebskonzepte und ÖPNV-Betreiber sowie auf die zuvor ermittelten Einflussfaktoren eingegangen.

4.1 Methodisches Vorgehen

Nachdem in der explorativen Phase dieser Arbeit eine weitgefaste, vorwiegend deskriptive Analyse des Untersuchungsgegenstands vorgenommen wurde, sollten in der vertiefenden Phase konkrete Prognosen zu ausgewählten Teilaspekten des Themas erstellt werden. Hierzu wurde die Delphi-Methode als Prognoseinstrument ausgewählt.

Das Delphi-Verfahren gilt als die derzeit meistgenutzte Methode für Zukunftsvorhersagen und

hat sich als anerkanntes Prognose-Tool etabliert (vgl. Häder 2014, S. 21f.). Es vereint explorative, prognostische und auch normative Elemente und liefert sowohl qualitative als auch quantitative Ergebnisse (Cuhls 2012, S. 140). Vorwiegend wird Delphi dazu genutzt, um Entwicklungen mit einem Zeithorizont von bis zu 30 Jahren zu bewerten (Cuhls 2009, S. 213).

Auch wenn es etliche Varianten von Delphi-Befragungen gibt, so bleibt doch der zugrundeliegende Prozess bei allen Spielarten identisch: Fachexpertinnen und -experten werden in einem anonymen rundenbasierten Verfahren zu einem diffusen Sachverhalt befragt, wobei die Umfrage-Ergebnisse unmittelbar bzw. nach Ende der ersten Umfragerunde von allen Teilnehmenden eingesehen werden können. Somit erhalten diese in den folgenden Runden die Möglichkeit ihre Einschätzungen zu revidieren und gegebenenfalls anzupassen (Cuhls 2012, S. 140). Häder und Häder definieren die Methode zusammenfassend wie folgt:

„Die Delphi-Methode ist ein vergleichsweise stark strukturierter Gruppenkommunikationsprozeß, in dessen Verlauf Sachverhalte, über die naturgemäß unsicheres und unvollständiges Wissen existiert, von Experten beurteilt werden.“ (Häder und Häder 1995, S. 12)

Die wesentlichsten technischen Designmerkmale von Delphi-Befragungen wurden durch Gönder treffend zusammengefasst (vgl. Gönder 2014, S. 33):

- Die Befragung der Expertinnen und Experten erfolgt mithilfe eines formalisierten Fragebogens.
- Zur Erreichung eines Konsenses wird eine statistische Gruppenantwort ermittelt und an die Expertinnen und Experten rückgemeldet. Dabei bleibt die Anonymität der Befragten und ihrer Urteile gewahrt.
- Die Befragung wird (mehrfach) wiederholt.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Delphi-Verfahren zum einen dafür eingesetzt, um die Wahrscheinlichkeiten und Eintrittszeiträume bestimmter Parameter zu prognostizieren und zum anderen, um Einflussfaktoren zu bewerten.

4.1.1 Fragensauswahl und Vorbereitung der Delphi-Befragung

Als Grundlage für die Delphi-Befragung dienten die im Kontext der Interviewanalyse identifizierten Kernfragen und Einflussfaktoren. Diese wurden bereits in Abschnitt 3.7 vorgestellt. Die generisch gehaltenen Kernfragen (KF) wurden für die Delphi-Umfrage in geschlossene Fragen umgewandelt. Die neuen Fragestellungen wurden so formuliert, dass jeweils Wahrscheinlichkeiten und Eintrittsräume abgefragt werden konnten. Dagegen sollte bei den Einflussfaktoren eine Bewertung der Wichtigkeit vorgenommen werden. Eine Zuordnung der Delphi-Fragen zu den jeweiligen Kernfragen findet sich in Tabelle 12 (S. 101).

Für die Umsetzung des Online-Fragebogens wurde die Anwendung Survalyzer genutzt. Dank freundlicher Vermittlung durch Helga Jonuschat konnte der Autor auf die Software-Lizenz sowie

die Online-Ressourcen der Dornier Consulting International GmbH zurückgreifen. Im Gegenzug wurde die Umfrage in das thematisch verwandte Dornier-Projekt „HUB Chain“ eingebettet und ein Nutzungsrecht für die Umfrageergebnisse vereinbart.

Da es sich bei Survalyzer um kein originäres Delphi-Tool handelt, bestand keine Möglichkeit die Umfrage als Real-Time-Delphi umzusetzen. Entsprechend wurde ein Forschungsdesign mit zwei unabhängigen Befragungsrunden gewählt, wobei für die zweite Welle ein neues, um eine Frage erweitertes Formular genutzt wurde (vgl. Abschnitt 4.1.3). Die Umfrage wurde aus zeitökonomischen und praktischen Erwägungen auf zwei Runden beschränkt. Generell hat sich bei der Durchführung von Delphi-Befragungen „herausgestellt, dass [...] nach der zweiten Runde kaum noch Änderungen stattfinden“ (Cuhls 2009, S. 213).

Tab. 12: Zuordnung der Delphi-Fragen zu den Kernfragen (KF)

Zuordnung der Delphi-Fragen zu den Kernfragen (KF)		Regelbetrieb / Zeitraum	Wahrscheinlichkeit	Kommentar
		Regelbetrieb / Zeitraum	Wahrscheinlichkeit	Kommentar
		Regelbetrieb / Zeitraum	Wahrscheinlichkeit	Kommentar
		Regelbetrieb / Zeitraum	Wahrscheinlichkeit	Kommentar
		Regelbetrieb / Zeitraum	Wahrscheinlichkeit	Kommentar
KF1:	Inwieweit ist der 5G-Standard für den Betrieb fahrloser Fahrzeuge erforderlich?			
	Wird der Betrieb von fahrlosen Fahrzeugen auch ohne eine leistungsfähige Mobilfunk-Infrastruktur (5G) möglich sein?	●		
KF2:	Wie hoch ist der effektive Anpassungsbedarf der Straßeninfrastruktur?			
	Wie wird Ihrer Meinung nach voraussichtlich der Ladeprozess fahrloser Fahrzeuge zukünftig erfolgen?	●		
	Können Sie sich andere technische Lösungen des Ladens vorstellen oder möchten Sie eine der vorgeschlagenen Lösungen kommentieren?			●
	Welche infrastrukturellen Anpassungen werden für den Betrieb fahrloser Fahrzeuge im ländlichen Raum nötig sein?		●	●
	Wann werden Ihrer Meinung nach die folgenden infrastrukturellen Herausforderungen beim fahrlosen Betrieb gelöst sein?			●
KF3:	Auf welchen Straßentypen wird zukünftig der Betrieb fahrloser Fahrzeuge möglich sein?			
	Auf welchen Straßentypen wird in Zukunft der Betrieb fahrloser Fahrzeuge üblich sein?	●		
KF4:	Welche Betriebsformen für ländliche automatisierte Mobilitäts- und Logistikanwendungen könnten sich etablieren? In welchem Zeitraum ist mit ihrer Einführung zu rechnen?			
	Welche Betriebsform ist für fahrlose Mobilitätsangebote im ländlichen Raum geeignet?		●	●
	Welche Betriebskonzepte sind für den Güter- und Versorgungsverkehr im ländlichen Raum geeignet?		●	●
KF5:	Welche Fahrzeugkonzepte könnten sich etablieren? In welchem Zeitraum ist mit ihrer Einführung zu rechnen?			
	Welche automatisierten Fahrzeuge eignen sich für den Personenverkehr im ländlichen Raum für die jeweiligen Streckenlängen?		●	●
	Können Sie sich andere Fahrzeugkonzepte vorstellen oder möchten Sie eine der vorgeschlagenen Lösungen kommentieren?			●
	Wie erfolgt voraussichtlich der Zugang zum Fahrzeug?	●		
	Wie wird bei fahrlosen Fahrzeugen die Barrierefreiheit garantiert?	●		
KF6:	Welche Akteure werden in Zukunft den ländlichen ÖPNV betreiben?			
	Wer wird Ihrer Meinung nach in Zukunft fahrlose Fahrzeuge im ländlichen Raum betreiben?	●		
	Können Sie sich noch weitere Anbieter vorstellen? Wenn ja, welche?			●

4.1.2 Rekrutierung der Teilnehmenden

Die Gewinnung potenzieller Kontakte für die Delphi-Befragung erfolgte im Wesentlichen über drei Kanäle:

- ... über das vorbestehende berufliche Netzwerk des Autors
- ... über die Interviewpartner
- ... über eigene Internetrecherche

Die Auswahlkriterien entsprachen dabei weitgehend jenen, die bereits zuvor bei der Suche nach Interviewpartnern angewendet wurden (vgl. Abschnitt 3.1.2), zudem wurde die Suche auch diesmal auf den deutschsprachigen Raum begrenzt. Die Rekrutierung erfolgte u. a. über die Websites von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Fachbereichen von Universitäten und Instituten, Verkehrsplanungsbüros, Verkehrsbetrieben sowie über Mobilitätsblogs. Auch konnten einige weitere Kontakte über Fachartikel ermittelt werden.

Letztlich gelang es auf diese Weise, die Kontaktadressen von 85 Expertinnen und Experten ausfindig zu machen. Hierbei wurden auch die in der ersten Phase der Arbeit interviewten Personen erneut einbezogen.

4.1.3 Durchführung der Delphi-Befragung

Die Einladungsschreiben für die Delphi-Befragung wurden am 13.03.2020 via eMail versendet. Um die Antwortbereitschaft der angeschriebenen Personen zu erhöhen, wurden die Einladungen durch direkte Anrede personalisiert. Hierzu wurde der erhöhte Aufwand einer Einzelversendung in Kauf genommen. Zusätzlich wurde über einen eMail-Verteiler eine generische Einladung an fachkundige ehemalige Arbeitskollegen des Autors versendet. Der Link zur Umfrage wurde nicht personalisiert und durfte entsprechend weitergeleitet werden. Der Umfragezeitraum für die erste Befragungsrunde betrug sieben Tage (13.03.2020 - 19.03.2020).

Insgesamt beteiligten sich 27 der 85 unmittelbar angeschriebenen Personen an der ersten Befragungsrunde, was einer primären Rücklaufquote von 32% entspricht. Da heutzutage für internetbasierte Umfragen bereits Rücklaufquoten von 20% als „gut“ gelten, erscheint der erzielte Wert somit mehr als befriedigend (vgl. Cuhls 2009, S. 213). Hinzu kamen weitere acht Personen, welche entweder der generischen Einladung folgten oder über eine Weiterleitung von der Umfrage erfuhren. Die Gesamtzahl der Teilnehmenden betrug somit 35 Personen. Da dieser Wert deutlich über der Schwelle von 20 Personen liegt, kann die Befragung als statistisch relevant angesehen werden (Cuhls 2012, S. 149). Vier der 35 Teilnehmenden beantworteten den Online-Fragebogen allerdings erst nach Verstreichen der Teilnahmefrist und mit deutlicher Verspätung. Sie konnten daher nicht mehr zur zweiten Befragungsrunde eingeladen werden. Ihre Angaben wurden jedoch in der Endauswertung berücksichtigt.

Nach Auswertung und Aufarbeitung der ersten Ergebnisse wurde am 26.03.2020 die zweite Befragungswelle gestartet. 31 Personen erhielten via eMail eine personalisierte Einladung zur zweiten Befragungsrunde sowie eine PDF-Präsentation mit den Zwischenergebnissen.

Der Umfragezeitraum betrug ebenfalls sieben Tage (26.03.2020 - 01.04.2020).

Das Online-Formular für die zweite Befragungsrunde war im Wesentlichen mit jenem der ersten identisch. Jedoch wurde auf das Feedback eines Teilnehmenden reagiert, welcher bemängelte, dass es aufgrund des Fragebogendesigns kaum möglich sei, eine kritische Haltung gegenüber dem Untersuchungsgegenstand zum Ausdruck zu bringen. Entsprechend wurde eine Fragenbatterie hinzugefügt, mit welcher die persönliche Haltung der Befragten zum Untersuchungsgegenstand abgefragt werden sollte (vgl. Abb. 26).

An der zweiten Befragungswelle nahmen zwölf Personen teil, was - bezogen auf die 31 zuvor versendeten Einladungen - einer Rücklaufquote von 39% gleichkommt. Dieser Wert entspricht den heute üblichen Rücklaufquoten für Zweitrunden bei Online-Delphi-Befragungen (Cuhls 2009, S. 213).

4.1.4 Endauswertung

Da Survalyzer, wie zuvor bereits erwähnt, keine originäre Delphi-Unterstützung bietet, mussten die Datensätze der beiden Befragungswellen manuell aggregiert werden. Dies stellte sich als relativ einfaches, dafür aber sehr umständliches Unterfangen heraus.

Um eine Zuordnung der Ergebnisse aus den beiden Befragungswellen zu ermöglichen, wurden die Teilnehmenden darum gebeten, in beiden Fragebögen eine eMail-Adresse zu hinterlassen (diese wurde ohnehin für die Rücksendung der Ergebnisse benötigt). Für die Auswertung wurden zunächst Excel-Datensätze für beide Befragungsrunden aus Survalyzer exportiert. Daraufhin wurden die Daten aus der zweiten Befragungsrunde in den ersten Datensatz integriert. Dies geschah, indem im ersten Datensatz die Werte der Zweitrundenteilnehmenden mit den jeweiligen Daten aus der zweiten Runde überschrieben wurden. Schließlich mussten die Umfrageergebnisse mit Excel neu errechnet werden, um das Gesamtergebnis zu erhalten.

4.2 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Ergebnisse der Delphi-Befragung vorgestellt. In den dargestellten Diagrammen wurden die Daten beider Befragungsrunden bereits aggregiert (vgl. 4.1.4).

4.2.1 Zusammensetzung des Panels

Zu Beginn der Online-Umfrage wurden die teilnehmenden Expertinnen und Experten gebeten, ihre Arbeitsstätte (vgl. Abb. 24, S. 106) sowie ihr Tätigkeitsfeld anzugeben (vgl. Abb. 25, S. 106). Beide Fragen wurden von sämtlichen Teilnehmenden beantwortet.

Die meisten Befragten gaben an, in Beratungsunternehmen (31% / elf Personen), wissenschaftlichen Instituten (20% / sieben Personen), kommunalen Verkehrsbetrieben (14% / fünf Personen) sowie bei neuen Mobilitätsanbietern und überregionalen Verkehrsunternehmen tätig zu sein

(jeweils 6% / bzw. zwei Personen). Ferner gaben 6% (zwei Personen) an, als Freiberufler tätig zu sein. Kritisch anzumerken ist, dass lediglich eine Person angab, unmittelbar im Fahrzeugbau tätig zu sein. Ein höherer Anteil wäre hier wünschenswert gewesen.

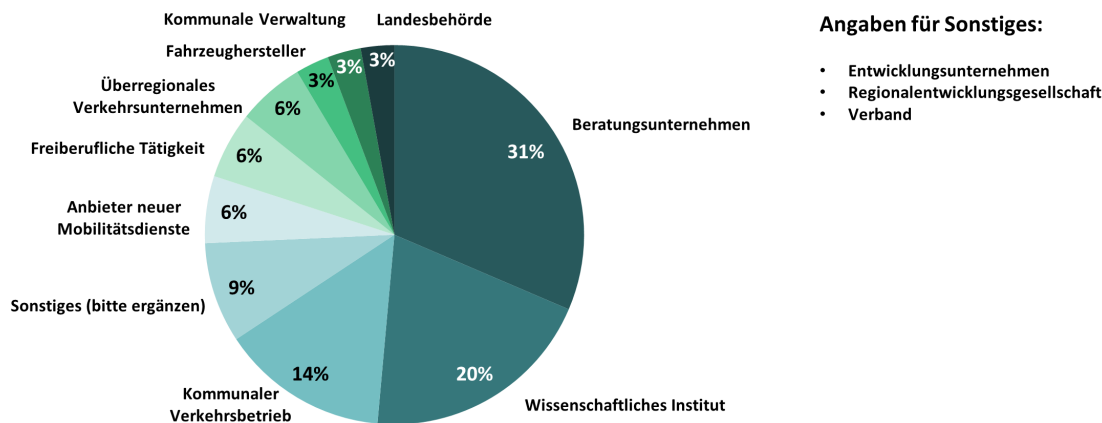


Abbildung 24: Angaben zur persönlichen Arbeitsstätte (n=35)

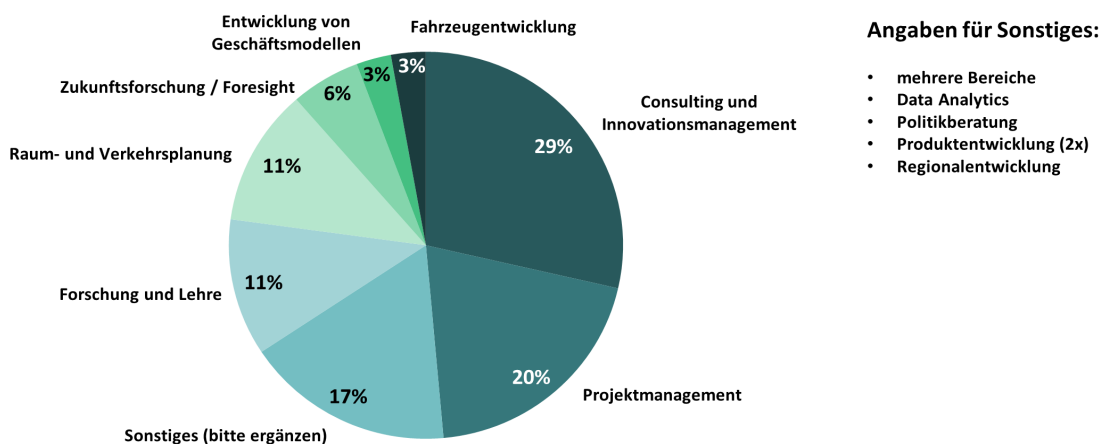


Abbildung 25: Angaben zum persönlichen Tätigkeitsfeld (n=35)

Als Tätigkeitsfelder wurden von den meisten Teilnehmenden Consulting und Innovationsmanagement (29% / zehn Personen), Projektmanagement (20% / sieben Personen), Forschung und Lehre sowie Raum- und Verkehrsplanung (jeweils 11% / bzw. vier Personen) genannt. Diese Personengruppe bildete knapp $\frac{3}{4}$ des Panels ab. Ferner wurden die Tätigkeitsfelder Zukunftsforschung / Foresight und Produktentwicklung (jeweils 6% / bzw. zwei Personen) mehrfach genannt.

In Reaktion auf das kritische Feedback eines Teilnehmenden wurde der Fragebogen der zweiten Befragungsrunde um eine Fragenbatterie ergänzt (vgl. Abb. 26). Hierbei sollten die Befragten fünf allgemeine Aussagen zum Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum bewerten, indem sie ihre Zustimmung bzw. Nichtzustimmung angaben. Ziel war es einerseits, die persönliche

Einstellung der Teilnehmenden gegenüber dem Untersuchungsgegenstand zu ermitteln und andererseits, grundsätzliche Kritik im Rahmen der Umfrage zu ermöglichen.

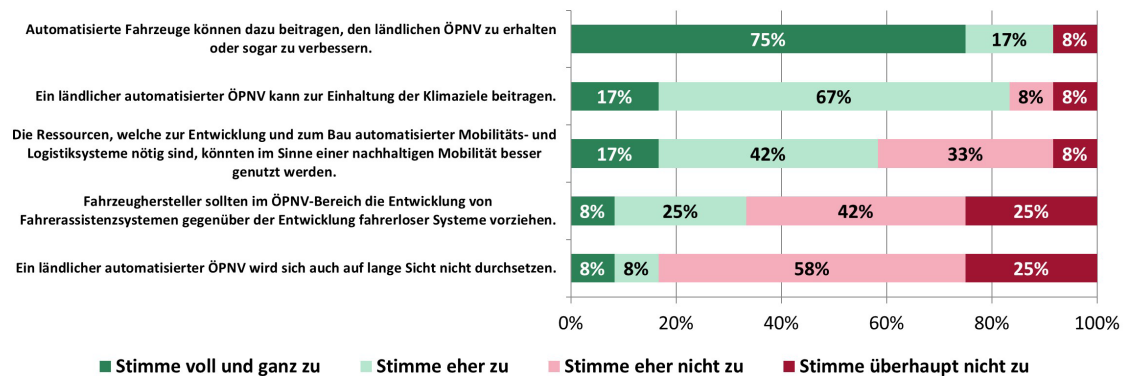


Abbildung 26: Persönliche Einstellung zum Untersuchungsgegenstand (n=12)

Zwölf Teilnehmende beantworteten die Fragenbatterie. Es stellte sich u. a. heraus, dass sich die Mehrheit der Befragten durchaus vorstellen kann, dass automatisierte Fahrzeuge zu einer Verbesserung des ländlichen ÖPNVs beitragen könnten (92% / elf Personen). Auch gingen 83% (zehn Personen) davon aus, dass sich ein ländlicher automatisierter ÖPNV mittel- bis langfristig durchsetzen wird. Im Gegensatz dazu wurde der Ressourcenverbrauch von vielen kritisch gesehen. 59% (sieben Personen) stimmten der Aussage zu, dass die Ressourcen, welche zur Entwicklung und zum Bau automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme nötig sind, im Sinne einer nachhaltigen Mobilität besser genutzt werden könnten.

4.2.2 Verkehrsinfrastruktur

Ob sich fahrerlose ÖPNV- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen durchsetzen werden, hängt entscheidend davon ab, wie stark die Verkehrsinfrastruktur für den automatisierten Betrieb modifiziert werden muss. Denn ein großflächiger Um- bzw. Ausbau des ländlichen Straßennetzes wird kaum finanzierbar sein. Ferner dürfte auch eine Rolle spielen, inwieweit die Fahrzeuge zukünftig auf den 5G-Mobilfunkstandard angewiesen sind.

Im Rahmen dieses Themenkomplexes sollten die Teilnehmenden zunächst angeben, ob ihrer Meinung nach ein zukünftiger fahrerloser Betrieb auch ohne leistungsfähige Mobilfunkinfrastruktur (5G) möglich sei (vgl. Abb. 27). 33 Personen beantworteten die Frage, wobei eine Mehrheit diese bejahte. Ein Großteil der Befragten (45% / 15 Personen) ging davon aus, dass ein Betrieb ohne 5G mit geringen Einschränkungen möglich sein wird. Lediglich 12% (vier Personen) waren der Meinung, dass ein Betrieb unter diesen Voraussetzungen nicht möglich sei. Im Nachhinein betrachtet wäre diesbezüglich auch die Frage interessant gewesen, welche expliziten Einschränkungen bei einem Betrieb ohne 5G-Unterstützung erwartet werden.

Bei einer weiteren Frage sollten die Expertinnen und Experten den erforderlichen Anpassungsbedarf der Verkehrsinfrastruktur einschätzen (vgl. Abb. 28). Alle 35 Teilnehmenden beantworteten diese Frage. Mit 71% (25 Personen) ging eine Mehrheit davon aus, dass eine

mittlere Anpassung der Infrastruktur nötig sei. Eine mittlere Anpassung würde beispielsweise mit der Installation von Baken oder sogenannten Landmarks am Straßenrand einhergehen und eine Herabsetzung des Tempolimits erfordern (vgl. hierzu auch Abb. 13).

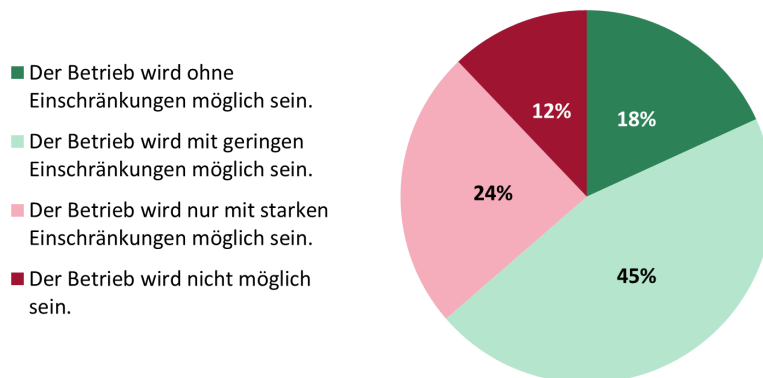


Abbildung 27: Bedeutung des 5G-Mobilfunkstandards für den automatisierten ÖPNV (n=33)

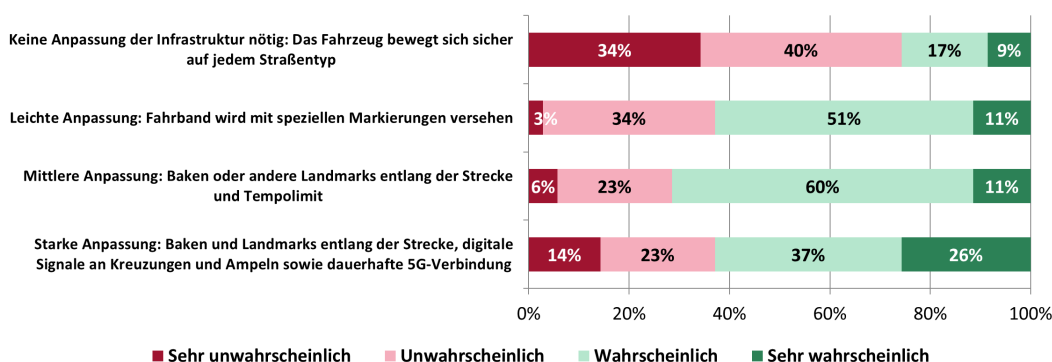


Abbildung 28: Einschätzung zur erforderlichen Anpassung ländlicher Verkehrsinfrastrukturen (n=35)

Im Rahmen derselben Fragestellung sollte der Anpassungsbedarf der Infrastruktur auch in einen zeitlichen Kontext gesetzt werden. Hierbei schätzten die Teilnehmenden, dass der Anpassungsbedarf (aufgrund der fortschreitenden Fahrzeugtechnik) immer weiter abnehmen wird. Lediglich bei der Frage, ob perspektivisch auch ein Betrieb ohne infrastrukturelle Anpassungen möglich sei, zeichnete sich kein eindeutiges Meinungsbild ab.

Schließlich wurde abgefragt, für welche Straßentypen fahrerlose Fahrzeuge zukünftig zugelassen werden (vgl. Abb. 29). Dieser Punkt ist wichtig, da gerade in ländlichen Regionen der Erfolg automatisierter Betriebskonzepte davon abhängen wird, ob Fahrzeuge auch auf Haupt- und Landstraßen eingesetzt werden können. Laut Ansicht der meisten Expertinnen und Experten könnte dies bei beiden Straßentypen zwischen 2030 und 2040 der Fall sein: 40% (14 Personen) rechnen in diesem Zeitraum mit einer Zulassung der Fahrzeuge auf Hauptstraßen, 49% (17 Personen) mit einer Zulassung auf Landstraßen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Höchstgeschwindigkeit bei Letzteren herabgesetzt sein wird. Die Frage wurde von allen 35 Teilnehmenden beantwortet.

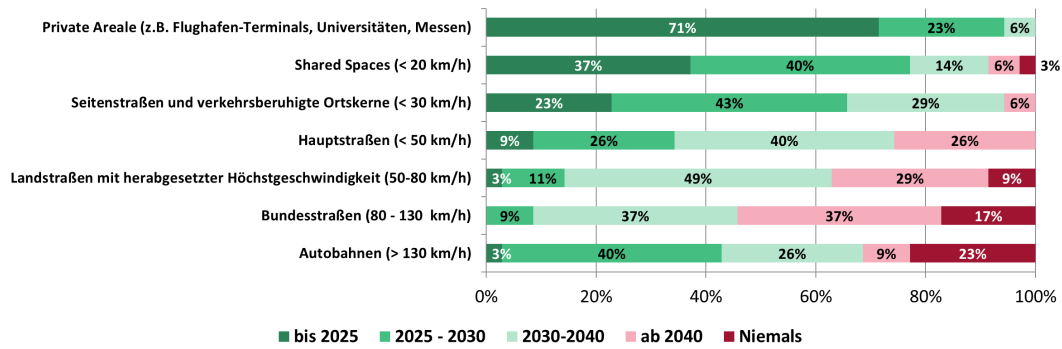


Abbildung 29: Einschätzung zur Freigabe verschiedener Straßentypen für fahrerlosen Verkehr (n=35)

4.2.3 Betriebskonzepte und zukünftige Betreiber

Ein weiterer Schwerpunkt der Umfrage lag in der Untersuchung möglicher automatisierter ÖPNV-Betriebsformen im ländlichen Raum. In diesem Kontext wurden auch verschiedene automatisierte Fahrzeugtypen behandelt, welche zukünftig im ÖPNV und der Logistik zum Einsatz kommen könnten.

Zunächst sollten die Teilnehmenden die Zeiträume abschätzen, in denen die untersuchten Betriebsformen eingeführt werden könnten (vgl. Abb. 30). Alle 35 Teilnehmenden gaben hierzu eine Einschätzung ab. Hierbei stellte sich heraus, dass die meisten Befragten „einfache“ Betriebsformen wie Pendel- und Linienverkehre mit festem Fahrplan bis spätestens 2030 erwarteten (jeweils 51% und 45% / bzw. 18 und 16 Personen). Auch „on-demand“ Pendelverkehre könnten womöglich noch in diesem Zeitraum umgesetzt werden (43% / 15 Personen). Die weiteren aufgeführten Betriebsformen sind bedarfsgesteuert und werden daher einer komplexeren digitalen Infrastruktur bedürfen. Tendenziell rechneten die meisten Befragten mit einer Einführung zwischen 2030 und 2040. Im Falle der individuellen Tür-zu-Tür-Bedienung ergab sich kein eindeutiges Bild. Zwar rechneten 40% (14 Personen) ebenso mit einer Einführung bis 2040, jedoch war auch der Anteil derjenigen hoch, die diese Betriebsform erst nach 2040 sehen (31% / elf Personen) oder sogar ausschließen (17% / sechs Personen).

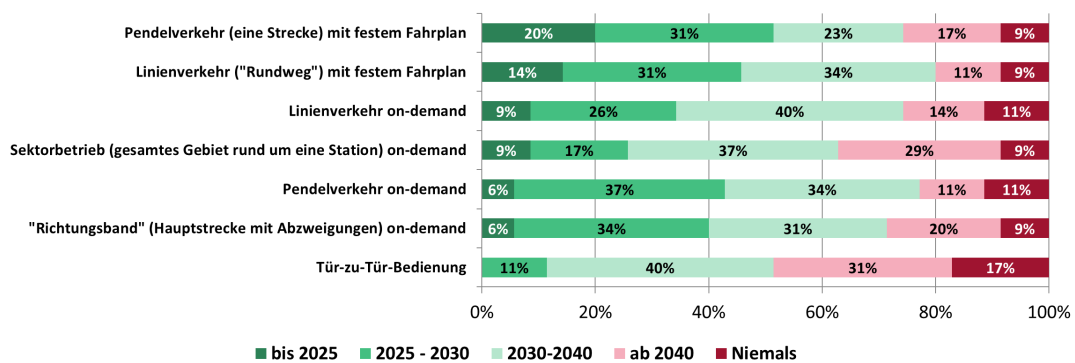


Abbildung 30: Erwarteter Zeitraum für die Einführung verschiedener ÖPNV-Betriebsformen (n=35)

Ferner sollten verschiedene Fahrzeugklassen hinsichtlich ihrer Eignung für den ländlichen ÖPNV bewertet werden (vgl. Abb. 31). Die Mehrheit der Befragten (über 80%) hielt diesbezüglich den Einsatz fahrerloser Kleinbusse (sogenannter Shuttles) oder automatisierter Robo-Taxis für wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich. Je nach Konfiguration würden diese Fahrzeuge über 4 bis 16 Sitzplätze verfügen und auf Strecken zwischen 2 und 15 Kilometer verkehren. Als tendenziell unwahrscheinlich bzw. sehr unwahrscheinlich wurde dagegen der Einsatz automatisierter Linienbusse angesehen. Vermutlich würden bei ausreichender Auslastung die Einsparungen durch Automatisierung hier kaum ins Gewicht fallen. Als noch unwahrscheinlicher wurde schließlich der Einsatz von Pods mit „Platooning“-Option eingeschätzt. Lediglich 26% (neun Personen) hielten den Einsatz solcher Fahrzeuge im ländlichen Raum für wahrscheinlich.

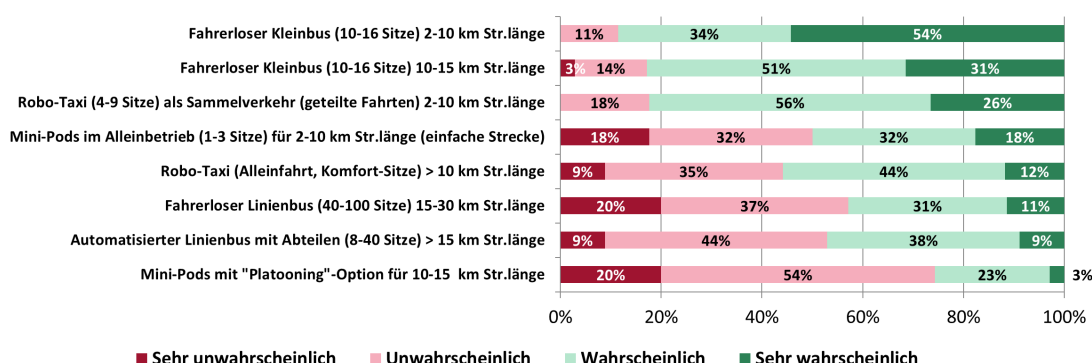


Abbildung 31: Verschiedene Fahrzeugtypen - Eignung zum Einsatz im ländlichen Raum (n=35)

Neben mehreren ÖPNV-Formen wurden auch verschiedene automatisierte Logistik- und Versorgungskonzepte auf ihre Eignung im ländlichen Raum untersucht (vgl. Abb. 32). Von den sechs vorgestellten Ideen wurden zwei von den 35 Befragten deutlich favorisiert: 71% (25 Personen) hielten teilautomatisierte Müllfahrzeuge und 69% (24 Personen) Shuttlebusse mit Frachtmodulen für wahrscheinliche oder sehr wahrscheinliche Betriebsformen. Dagegen überzeugte das Konzept eines fahrerlosen Kranken-transports (mit Personal zur medizinischer Betreuung) nicht. Nur 12% (vier Personen) hielten eine solche Betriebsform zukünftig für wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich.

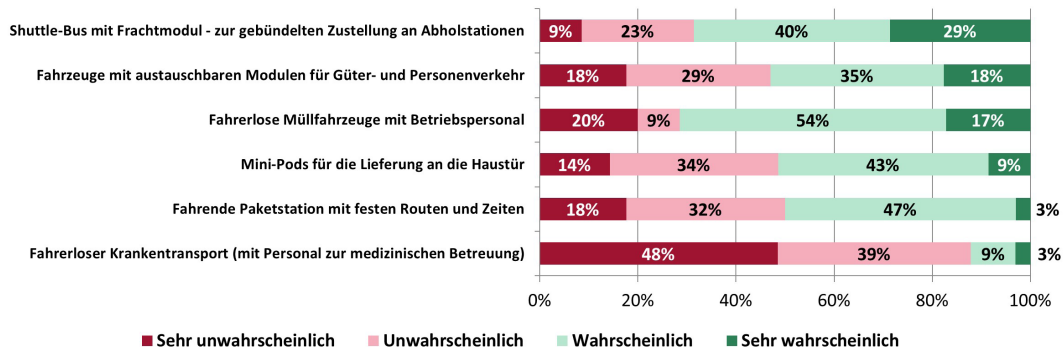


Abbildung 32: Eignung von Betriebskonzepten für die ländliche Logistik und Versorgung (n=35)

Eine weitere zentrale Frage ist die nach der zukünftigen Betreiberstruktur eines ländlichen automatisierten ÖPNVs. Im Rahmen der im Vorfeld geführten Interviews wurden oftmals neue Mobilitätsanbieter wie Uber oder Waymo als mögliche Betreiber genannt, welche die bisherigen ländlichen Mobilitätsanbieter verdrängen könnten. Dieses Bild bestätigte sich in der Delphi-Befragung nicht (vgl. Abb. 33). Eine deutliche Mehrheit der 35 Befragten hielt es für wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich, dass die heutigen Betreiber auch zukünftig die Hauptrolle auf dem ländlichen Verkehrsmarkt spielen werden. Regionale oder lokale Verkehrsunternehmen und -Verbünde (88% / 31 Personen), überregionale Verkehrsunternehmen (71% / 25 Personen) sowie Kommunen oder Landkreise (57% / 20 Personen) wurden am ehesten als Anbieter fahrerloser Mobilitätsdienste erwartet. Dagegen wurden Carsharing-Marken etablierter Autohersteller sowie Mobilitätsdienste von Digitalunternehmen als eher nachrangig betrachtet. Jeweils 43% (15 Personen) hielten diese für potenzielle Betreiber im ländlichen Raum.

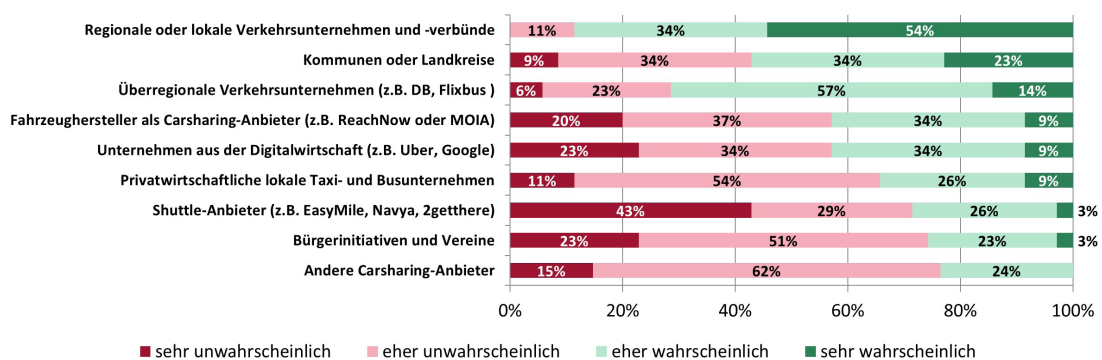


Abbildung 33: Potenzielle Betreiber eines ländlichen automatisierten ÖVs (n=35)

4.2.4 Einflussfaktoren

Im Rahmen der Delphi-Befragung wurden die Teilnehmenden aufgefordert, die in der Interviewanalyse identifizierten Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Relevanz zu bewerten. Es stellte sich heraus, dass die meisten Einflussfaktoren von den 35 Befragten als wichtig oder sehr wichtig erachtet werden.

Gesellschaftliche Einflussfaktoren (Abb. 34): Folgende Einflussfaktoren wurden von einer deutlichen Mehrheit der Teilnehmenden als wichtig oder sehr wichtig erachtet: das subjektive Sicherheitsgefühl (97% / 34 Personen), die Akzeptanz des automatisierten Fahrens (94% / 33 Personen) sowie die Akzeptanz neuer Mobilitätsformen (91% / 32 Personen). Als eher nachrangige Faktoren wurden mit Zustimmungswerten von 49% (17 Personen) und 46% (16 Personen) das Umweltbewusstsein sowie die Alterung der Gesellschaft betrachtet.

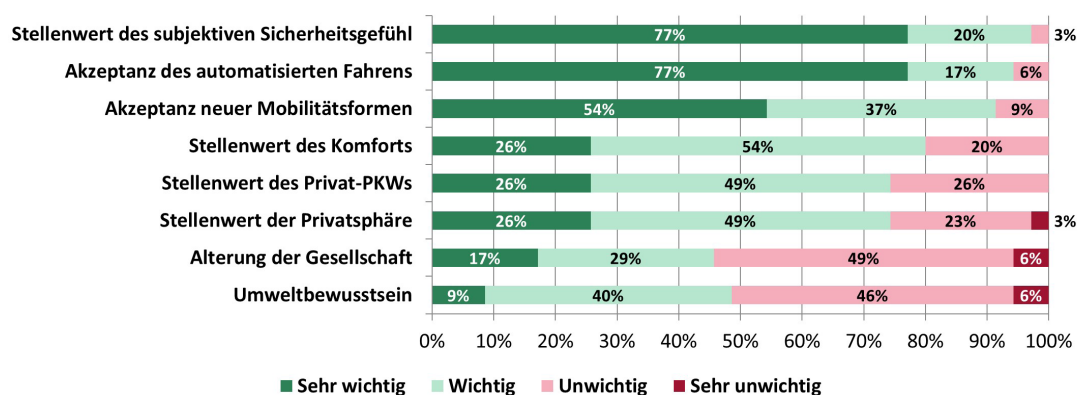


Abbildung 34: Bewertung der gesellschaftlichen Einflussfaktoren (n=35)

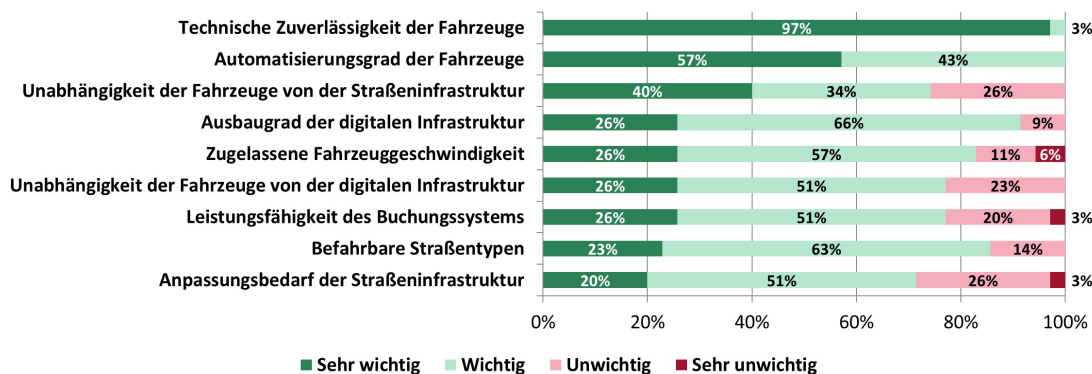


Abbildung 35: Bewertung der technischen Einflussfaktoren (n=35)

Technische Einflussfaktoren (Abb. 35): Sämtliche genannten Einflussfaktoren wurden von den Teilnehmenden als wichtig oder sehr wichtig erachtet. Die beiden Faktoren „technische Zuverlässigkeit der Fahrzeuge“ sowie „Automatisierungsgrad“ erreichten einen Zustimmungswert von 100%. Hierbei wurde die technische Zuverlässigkeit von 97% (34 Personen) sogar als „sehr wichtig“ erachtet. Die geringste, wenngleich immer noch sehr hohe Zustimmung erlangte der Einflussfaktor „Anpassungsbedarf der Infrastruktur“ mit 71% (25 Personen).

Jedoch hielten von den 71% lediglich 20% (7 Personen) diesen Punkt für „sehr wichtig“.

Betriebswirtschaftliche Einflussfaktoren (Abb. 36): Auch in diesem Falle wurden alle genannten Faktoren als wichtig oder sehr wichtig erachtet. Der Einflussfaktor „Wirtschaftlichkeit des automatisierten Betriebs“ erhielt 100% Zustimmung, dicht gefolgt von den Faktoren „Verfügbarkeit automatisierter Fahrzeuge“ und „Betriebskosten“ mit jeweils 97% (34 Personen). Als geringfügig unwichtiger wurden die Mobilitätskosten für Endverbraucher und die Anschaffungskosten der Fahrzeuge erachtet. Jeweils 83% bzw. 82% (entspricht 29 Personen) befanden diese Faktoren als insgesamt wichtig. Die Anschaffungskosten hielten jedoch nur 31% (elf Personen) von 83% für „sehr wichtig“.

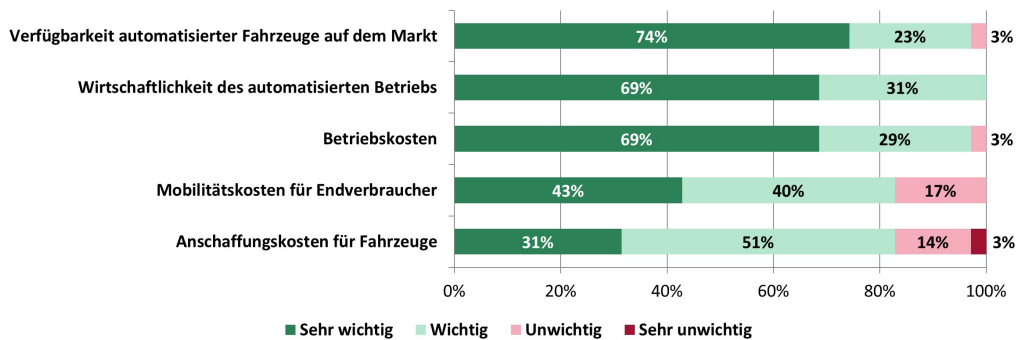


Abbildung 36: Bewertung der betriebswirtschaftlichen Einflussfaktoren (n=35)

Politische Einflussfaktoren (Abb. 37): Ebenso wurden die politischen Einflussfaktoren von den Teilnehmenden als durchweg wichtig oder sehr wichtig bewertet. Die Faktoren „staatliche Verantwortung für die Daseinsfürsorge“ sowie „ÖPNV- bzw. Subjektförderung“ erhielten jeweils Zustimmungswerte von 97% (34 Personen) und 92% (32 Personen). Der Faktor „Umweltauflagen“ wurde im Gesamtvergleich als am unwichtigsten erachtet. 63% (22 Personen) befanden diesen als wichtig und davon lediglich 20% (7 Personen) als „sehr wichtig“.

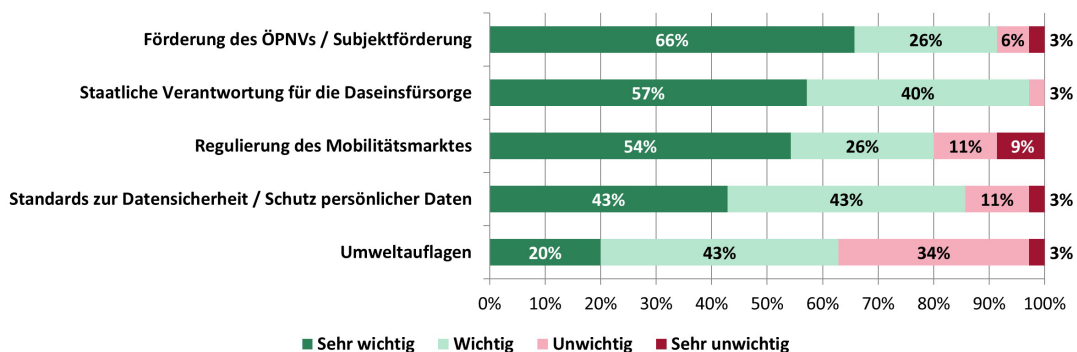


Abbildung 37: Bewertung der politischen Einflussfaktoren (n=35)

5. Fazit

Bevor abschließend auf einzelne Erkenntnisse aus der Untersuchung eingegangen wird, können zunächst folgende grundlegende Feststellungen getroffen werden: Die Mehrheit der interviewten Expertinnen und Experten erachtet den zukünftigen Einsatz ländlicher automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme als realistisch und bewertet diesen grundsätzlich positiv. Ein ähnliches Bild kristallisierte sich auch im Rahmen der Delphi-Befragung heraus. Allerdings waren hier auch kritische Stimmen zu vernehmen. So stimmten z. B. viele Teilnehmende der Aussage zu, dass die Ressourcen, welche zur Entwicklung und zum Bau fahrerloser Mobilitäts- und Logistiksysteme nötig sind, im Sinne einer nachhaltigen Mobilität besser genutzt werden könnten.

Im Rahmen der nun folgenden Endbetrachtung sollen die wichtigsten Erkenntnisse der Studie rekapituliert werden. Als Grundlage und Orientierung dienen die zu Beginn der Arbeit formulierten Forschungsfragen (siehe Abschnitt 1.1).

Zunächst werden in Abschnitt 5.1 die Voraussetzungen, welche nach Meinung der interviewten Expertinnen und Experten für den Betrieb ländlicher automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme erforderlich sind, zusammengefasst. Im folgenden Abschnitt 5.2 werden mögliche Szenarien eines automatisierten Betriebs im ländlichen Raum skizziert. Schließlich wird auf Grundlage der Delphi-Ergebnisse der mögliche Zeithorizont für die Einführung ländlicher automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme dargelegt (5.3). Die Untersuchung endet mit einer kritischen Reflexion des Autors über diese Arbeit (5.4) und mit einem abschließenden Verweis auf mögliche Anknüpfungspunkte für die weitere Forschung (5.5).

5.1 Voraussetzungen für automatisierte Verkehre

„Welche technischen, infrastrukturellen und organisatorischen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit der Betrieb straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen möglich wird?“

Bevor fahrerlose Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen eingesetzt werden können, müssen noch etliche Hürden überwunden werden. Diese betreffen insbesondere die Fahrzeugtechnik, die physische und digitale Straßeninfrastruktur sowie die Verkehrsgesetzgebung und -regulierung.

5.1.1 Technische Voraussetzungen

Aus technischer Sicht müssen Sensorik und KI der Fahrzeuge so weit verbessert werden, dass ein sicherer Betrieb ohne begleitenden Operator möglich wird. Für den regulären Einsatz im ÖPNV muss zudem die Barrierefreiheit gewährleistet sein, was bei den aktuell im Einsatz befindlichen Fahrzeugen noch nicht der Fall ist. Auch muss geklärt werden, wie die Interaktion zwischen Fahrgast und Fahrzeug organisiert wird.

Hierzu sind entsprechende Mensch-Maschine-Schnittstellen nötig. Schließlich muss auch die Fahrzeuggeschwindigkeit auf circa 40 bis 60 km/h gesteigert werden, um im ländlichen Kontext sinnvoll operieren zu können.

Weiterhin sind auch viele grundsätzliche Fragen zu technischen Lösungen und Fahrzeugstandards nicht abschließend geklärt. So ist beispielsweise noch nicht absehbar, welches Verfahren sich für die Nahbereichsnavigation und Standortbestimmung automatisierter Fahrzeuge durchsetzen wird. Derzeit werden in diesem Bereich zwei Ansätze verfolgt. Die Weiterentwicklung des aktuell eingesetzten Verfahrens basiert auf hochauflösende digitale Umgebungskarten, welche zukünftig im Rahmen des sogenannten SLAM-Verfahrens auch in Echtzeit - also während der Fahrt - aktualisiert werden können. Andererseits werden Systeme erprobt, bei denen sich die Fahrzeuge weitgehend an der Fahrbahn bzw. an Straßenmarkierungen orientieren, ohne auf Kartenmaterial zurückzugreifen. Ebenso offen ist, wie zukünftig der Daten- und Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen (V2V) und mit der Straßeninfrastruktur (V2I) erfolgen soll. Es fehlen branchenübergreifende Standards, welche die Kommunikations- und Vernetzungsfunktionen der Fahrzeuge definieren.

5.1.2 Infrastrukturelle Voraussetzungen

Eine Anpassung ländlicher Verkehrsinfrastrukturen wird wohl unumgänglich sein, allerdings ist aktuell noch nicht absehbar, welche Maßnahmen erforderlich sind. Denkbar wären beispielsweise die Installation sogenannter Landmarks entlang der Straßen und/oder das Anbringen spezieller Fahrbahnmarkierungen zur Orientierung der Fahrzeuge. Eine leistungsfähige Mobilfunkinfrastruktur (5G) wird nach Ansicht der meisten Expertinnen und Experten nur für komplexe ÖPNV-Betriebsformen benötigt, wie etwa automatisierte on-demand Sammelverkehre. Konsens herrscht im Allgemeinen darüber, dass sich ländliche automatisierte Verkehre nur dann durchsetzen werden, wenn die zusätzlichen Kosten für die Verkehrsinfrastruktur gering bleiben. Im Rahmen der Untersuchung wurde auch die Idee erörtert, stillgelegte Bahntrassen oder Wirtschaftswege für den Betrieb eines automatisierten ÖPNVs zu nutzen. Im ersteren Fall muss allerdings bedacht werden, dass nur wenige ehemalige Bahntrassen für eine Umnutzung in Frage kommen, da oftmals Streckenabschnitte bereits umgewidmet oder überbaut wurden. Außerdem käme der bauliche Aufwand, der für eine Umwandlung betrieben werden müsste, dem Bau einer neuen Straße nahe. Bei gut erhaltenen Bahntrassen könnte daher sogar der Einsatz automatisierter Schienenbusse eine sinnvollere Alternative darstellen. Asphaltierte Wirtschaftswege sind dagegen in vielen ländlichen Gegenden vorhanden, jedoch aufgrund ihrer geringen Fahrbahnbreite nur eingeschränkt für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge nutzbar.

Ein weiterer offener Punkt ist die benötigte Infrastruktur für die Reinigung, Instandhaltung und das Aufladen der Fahrzeuge. Sofern man hier vom wahrscheinlichsten Fall ausgeht, dass zukünftig batterieelektrische Fahrzeuge zum Einsatz kommen, erscheint eine Dezentralisierung der Wartungsinfrastruktur plausibel, da die Anfahrtswege von einem Zentraldepot zu viel Akkukapazität bzw. Reichweite in Anspruch nehmen würden. Es könnten also kleine, über das gesamte Geschäftsgebiet verteilte Betriebshöfe entstehen, welche idealer Weise an ländlichen

Mobilitäts-Hubs angegliedert wären. Letztere könnten als „Mobilitätsdrehscheiben“ dienen und die Verbindung zum Hochleistungs-ÖPNV³⁰ sicherstellen. Zusätzlich könnten diese regionalen Knotenpunkte durch die Ansiedlung von Versorgungseinrichtungen und Dienstleistungen, wie beispielsweise Paketstationen, Shops oder Gastronomie, aufgewertet werden, was zu einer weiteren Attraktivitätssteigerung des ländlichen ÖPNVs führen würde.

Schließlich soll noch auf die Notwendigkeit leistungsstarker Buchungssysteme hingewiesen werden, welche für den Betrieb eines fahrerlosen ländlichen on-demand ÖPNVs perspektivisch unerlässlich sind. Die Einrichtung solcher intelligenter Buchungsplattformen wird eine große technische Herausforderung darstellen, da sowohl Fahrten mit großem zeitlichem Vorlauf als auch spontane Fahrtwünsche bei der Routenplanung zu berücksichtigen sind. Außerdem werden auch externe Parameter wie real-time Ankunfts- und Abfahrtszeiten herkömmlicher Verkehrsmittel in das System einfließen müssen - beispielsweise, um Anschlussverbindungen an Umstiegsstationen einhalten zu können. Dieser hohe Komplexitätsgrad wird weiter steigen, wenn mehrere Anbieter automatisierter Verkehre in eine Buchungsplattform integriert werden müssen. Solche komplexen und datenintensiven Dienstleistungen, welche mit einer Echtzeit-Aktualisierung der Routen einhergehen, werden nach aller Voraussicht nur mit dem 5G-Mobilfunkstandard zu realisieren sein.

5.1.3 Regulatorische Voraussetzungen

Bezüglich der regulatorischen Voraussetzungen für automatisiertes Fahren sind seit Abschluss der Expert/-innen-Interviews und der Delphi-Befragung wichtige gesetzliche Änderungen wirksam geworden.

In der vormaligen, während des Untersuchungszeitraums geltenden Fassung des StVGs war – unabhängig vom Automatisierungsgrad – die Anwesenheit einer überwachenden Person im Fahrzeug zwingend vorgeschrieben. Diese stellte laut Gesetzestext den „Hauptbezugspunkt“ im Fahrzeug dar, womit der Fahrzeugarchitektur enge Grenzen gesetzt wurden und eine öffentliche fahrerlose Personenbeförderung faktisch ausgeschlossen war. Ebenso führte die fehlende Rechtssicherheit dazu, dass in Deutschland nur Einzelzulassungen automatisierter Fahrzeuge möglich waren. Hierbei unterschieden sich die Kriterien der Zulassungsbehörden von Bundesland zu Bundesland erheblich. Diese ungünstigen Rahmenbedingungen führten dazu, dass Testbetrieben mit automatisierten Fahrzeugen sehr enge Grenzen gesetzt waren.

Das im Mai 2021 von Bundestag und Bundesrat beschlossene und am 28. Juli 2021 in Kraft getretene neue Gesetz zum autonomen Fahren (BMVI 2021a) wird von Expertinnen und Experten als ein großer Schritt zur Lösung der bisherigen regulatorischen Probleme betrachtet (vgl. u. a. Knie 2021). So erlaubt der Gesetzgeber nun erstmals einen fahrerlosen betrieb, sofern das Fahrzeug von einem externen (menschlichen) Operator überwacht wird (Fahrenholz 2021). Es werden außerdem die technischen Anforderungen für „den Bau, die Beschaffenheit und die Ausrüstung“ automatisierter Fahrzeuge definiert und verbindliche Zulassungsregeln festgelegt

30 Darunter fallen beispielsweise Regionalbahnen oder dichter getaktete Überlandbusse, welche ländliche Regionen mit Mittelzentren und benachbarten Städten verbinden.

(BMVI 2021a). Es wird erstmals ein „Rechtsrahmen geschaffen, damit autonome Kraftfahrzeuge [deutschlandweit] in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr im Regelbetrieb fahren können“ (ebd.). Automatisierte Mobilitätsangebote sind also im Zuge der Neuregelung zulassungsfähig, sofern die eingesetzten Fahrzeuge die nötigen Anforderungen in Bezug auf Technik und Sicherheit erfüllen.

Viele relevante Aspekte sind in der Gesetzesnovelle noch nicht abschließend geregelt oder werden bewusst offen gelassen (Fahrenholz 2021). Das BMVI betont ausdrücklich, dass es sich beim aktuellen Gesetz um eine nationale Übergangslösung handelt, welche so lange in Kraft bleibt „bis auf internationaler Ebene harmonisierte Vorschriften vorliegen“ (BMVI 2021a).

Handlungsbedarf besteht weiterhin beim PBefG. Zwar wurde auch hier im März 2021 von Bundestag und Bundesrat eine Novelle verabschiedet (DStGB 2021), jedoch blieb die Regulierung zukünftiger automatisierter ÖPNV und ÖIV-Formen aus. Ebenso fehlen weiterhin verbindliche Standards, welche die Kommunikations- und Vernetzungsfunktionen automatisierter Fahrzeuge reglementieren. Diese sind insbesondere für die mit der Fahrzeugentwicklung befassten Hard- und Software-Spezialisten von größter Bedeutung.

5.2 Mögliche Szenarien eines automatisierten Betriebs

„Wie wird die Einführung straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme den öffentlichen Verkehr und die Logistik in ländlichen Räumen verändern?“

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrere mögliche Ausprägungen eines ländlichen fahrerlosen ÖVs bzw. einer ländlichen automatisierten Logistik erörtert. In Bezug auf die zukünftige Entwicklung des ländlichen ÖVs lassen sich zwei Haupthypothesen ableiten, welche folgend als disruptive und evolutionäre Hypothese bezeichnet werden. Sie sollen an dieser Stelle in Form zweier skizzenhafter Szenarien vorgestellt werden³¹.

Die Szenarien beschreiben zwei antagonistische Entwicklungen, welche selbstverständlich auch in abgestuften Mischformen auftreten könnten. In Anbetracht unterschiedlicher regionalspezifischer Ausgangslagen ist auch ein gleichzeitiges Eintreten beider Szenarien denkbar.

Vor dem Hintergrund der zuvor in Abschnitt 4.2 vorgestellten Delphi-Ergebnisse erscheint insgesamt die evolutionäre Hypothese plausibler.

31 Die dargestellten Szenarien resultieren nicht aus einem Szenario-Prozess - Sie sind vielmehr als bildhafte Skizzen zur Erläuterung der beiden Hypothesen zu verstehen. Als Grundlage für die Kurzbeschreibungen diente die Auswertung der Expert/-innen-Interviews (Siehe insbesondere Abschnitt 3.5).

5.2.1 Disruptive Hypothese

Automatisierte Mobilitätssysteme werden mittel- bis langfristig eine so hohe Zuverlässigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit erreichen, dass sie andere ländliche ÖPNV-Formen weitgehend verdrängen. Dies könnte insbesondere in peripheren ländlichen Regionen geschehen, welche fernab größerer Ballungszentren liegen.

Ausgangslage: Aufgrund des fortschreitenden Bevölkerungsrückgangs und einer weiteren Verschiebung in der ländlichen Bevölkerungsstruktur (weniger erwerbstätige Personen, kaum noch Schüler) schwinden die Bündelungspotenziale im ländlichen ÖPNV. Die Finanzierung eines herkömmlichen Linienverkehrs wird somit immer schwieriger und auch regionale ÖV-Betreiber können trotz Bezuschussung nicht mehr wirtschaftlich operieren. Ein weiteres Problem besteht darin, dass lokale Mobilitätsanbieter kaum noch qualifizierte Fahrer gewinnen können.

Zukünftige Organisationsform des ländlichen ÖVs: Der ÖV wird zunehmend auf Robo-Taxis bzw. selbstfahrende Pods umgestellt, welche zur Einzelpersonenbeförderung oder in Sammelverkehren eingesetzt werden. Der herkömmliche Linienverkehr wird schrittweise eingestellt. Ebenso werden – sofern noch vorhanden – Nebenstrecken im Schienenverkehr stillgelegt.

Im Zuge dieser Entwicklung könnten kleine regionale ÖV-Betreiber durch überregionale Mobilitätsanbieter – wie beispielsweise Uber oder Waymo – verdrängt werden, welche im Gegensatz zu den lokalen Anbietern mit großen automatisierten Fahrzeugflotten Skaleneffekte und somit Kostenvorteile erzielen können.

Wartung und Infrastruktur: Womöglich könnten regionale ÖV-Betreiber (wie Taxi- und Busunternehmer) überleben, indem sie als Subunternehmer im Auftrag überregionaler Mobilitätsanbieter agieren – z. B. im Bereich der Wartung und Fahrzeuginstandhaltung. Hierzu können sie ihre bestehenden Infrastrukturen nutzen.

Finanzierung: Auch wenn ein ländlicher automatisierter ÖV kostengünstiger wäre, müsste dieser wahrscheinlich durch die öffentliche Hand bezuschusst werden. Im Falle einer weiteren Liberalisierung des Mobilitätsmarktes wären aber auch andere Kofinanzierungsmodelle denkbar - beispielsweise über Werbung in Fahrzeugen, der Verknüpfung von Mobilitätsdienstleistungen mit eCommerce-Angeboten oder der Verwertung der Fahrgastdaten für kommerzielle Zwecke.

Chancen und Risiken: Durch einen flächendeckenden, auf Einzelpersonenbeförderung oder Sammelverkehren basierenden ÖPNV/ÖIV auf Grundlage automatisierter Fahrzeuge könnte das Mobilitätsangebot in ländlichen Regionen radikal verbessert werden. Mobilität wäre auch ohne eigenes Fahrzeug rund um die Uhr verfügbar. Insbesondere jene Bevölkerungsgruppen, die keinen eigenen Führerschein besitzen oder aufgrund körperlicher Einschränkungen nicht mehr fahrtüchtig sind, würden profitieren.

Es könnte allerdings zu Rebound-Effekten wie einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens durch mehr Pendel-, Einkaufs- und Freizeitfahrten kommen oder zu einer Überlastung der Verkehrswege in Spitzenlastzeiten. Die bessere Erreichbarkeit könnte ferner zu einer Zersiedelung bzw. Suburbanisierung mancher Regionen führen. Pendelstrecken könnten sich aufgrund der Möglichkeit, im Fahrzeug zu arbeiten, verlängern und somit das Verkehrsaufkommen weiter erhöhen.

5.2.2 Evolutionäre Hypothese

Automatisierte Systeme ergänzen bzw. erweitern das bestehende ÖPNV-Netz. Hierbei dienen fahrerlose Sammeltaxis – bzw. in Spitzenlastzeiten etwas größere Shuttle-Busse – als Zubringer für ländliche ÖPNV-Hubs, an denen der Umstieg zum herkömmlichen Linienverkehr erfolgt.

Ausgangslage: Bestimmte Entwicklungen, wie beispielsweise steigende Immobilienpreise in urbanen Agglomerationen oder ein sich verstetigender Trend zur Telearbeit, könnten in vielen ländlichen Gebieten zu einer Stabilisierung bzw. sogar zu einem leichten Anstieg der Bevölkerungszahlen führen. Betroffen wären insbesondere solche Regionen, die über eine gute Anbindung an wachstumsstarke Ballungsräume oder Mittelzentren verfügen. Unter diesen Voraussetzungen könnte eine Verkehrspolitik, welche den ÖV im Sinne des Klima- und Umweltschutzes stärker in den Fokus rückt, zu einer Stärkung des ländlichen ÖPNV/ÖIV führen.

Zukünftige Organisationsform des ländlichen ÖVs: In diesem Szenario liegt der Fokus nicht ausschließlich auf der Wirtschaftlichkeit des ländlichen ÖVs, sondern vielmehr auf dessen Effizienz. Hierbei werden Aspekte wie Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung stärker gewichtet.

Die Hauptachsen des regionalen Busverkehrs sowie die Nebenstrecken im Schienenverkehr bleiben erhalten oder werden – hinsichtlich der Taktung – ausgebaut. An wichtigen Knotenpunkten entstehen ländliche ÖPNV-Hubs, welche nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip³² von automatisierten Sammelverkehren bedient werden. In den Randzeiten gewährleisten Robo-Taxis und selbstfahrende Pods eine durchgehende ÖPNV-Abdeckung.

Die heutige Betreiberstruktur bleibt erhalten, gegebenenfalls werden aber auch neue Mobilitätsanbieter in das System integriert.

Wartung und Infrastruktur: Die Reinigung, Wartung und Instandhaltung der in den Sammelverkehren eingesetzten Fahrzeuge könnte an den Standorten der ländlichen ÖPNV-Hubs konzentriert werden. Zusätzlich könnte die dortige Ansiedlung von Dienstleistungen und Versorgungseinrichtungen (z. B. Geschäfte oder Paketstationen) dazu beitragen, die Attraktivität des ländlichen ÖPNVs zu steigern.

Finanzierung: Das hier beschriebene System könnte in bestimmten Regionen womöglich selbsttragend sein (vgl. Sonderegger et al. 2018, S. 71f.). Dennoch ist es insgesamt wahrscheinlicher, dass Zuschüsse durch die öffentliche Hand weiterhin erforderlich sind. Dank der (Teil)automatisierung und einer Erhöhung der Fahrgastzahlen könnte aber das ländliche ÖV-System bei konstant bleibenden Kosten erweitert werden.

Chancen und Risiken: Grundsätzlich eröffnen sich in diesem Szenario dieselben Chancen und Vorteile wie bei dem in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen System, welches ausschließlich auf Robo-Taxis oder Pods basiert. Die im evolutionären Szenario beschriebene Lösung könnte jedoch hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung zusätzliche Vorteile bieten, da weniger Fahrzeuge in der Fläche benötigt werden.

32 Unter *Hub and Spoke* (engl. für Nabe und Speiche) versteht man im Verkehrswesen eine sternförmige Anordnung von Transportwegen, welche alle von einem zentralen Knotenpunkt (*Hub*) ausgehen bzw. zu diesem hinführen. Am Knotenpunkt erfolgt der Übergang zu einem anderen Verkehrsmittel.

Dadurch würde, wenn das System von der Bevölkerung angenommen wird, auch die Verkehrsbelastung sinken.

Ein Risiko könnte womöglich darin bestehen, dass ein Hub and Spoke System Umstiege erfordert. Hier stellt sich die Frage, ob die Nutzer bereit wären, mehrmals das Verkehrsmittel zu wechseln oder ob sie doch Direktverbindungen (z. B. mit dem Privat-PKW) den Vorzug geben würden. Ein weiteres Risiko könnte in einem verschärften Konkurrenzdruck zwischen ländlichen Regionen liegen. Während verkehrstechnisch günstiger gelegene Landstriche eine Aufwertung erfahren und sich womöglich sogar verdichten würden, könnte der Niedergang sehr peripherer und unattraktiver Regionen beschleunigt werden.

5.2.3 Ländliche automatisierte Logistik

Sehr viel diffuser sind die Erkenntnisse hinsichtlich möglicher Formen einer automatisierten Logistik. So wäre einerseits der Einsatz automatisierter Liefer-Pods im Rahmen regionaler Versorgungssysteme denkbar, wo diese zur Feinverteilung von Gütern und Waren des täglichen Bedarfs eingesetzt werden könnten. Andererseits wäre auch ein kombinierter ÖPNV- und Logistikbetrieb eine Option. Waren könnten so im regulären ÖPNV-Betrieb zu vordefinierten Abholstationen geliefert werden, wo sie von den Empfängern abgeholt werden können.

5.3 Zum möglichen Zeithorizont

„Bis wann werden voraussichtlich die Voraussetzungen für den Betrieb straßengebundener automatisierter Mobilitäts- und Logistiksysteme in ländlichen Räumen erfüllt sein?“

Welche Betriebsformen und welche Fahrzeuge werden zu welchem Zeitpunkt verfügbar sein?“

Anhand der Ergebnisse der Delphi-Befragung lässt sich folgende zeitliche Prognose zur Einführung automatisierter Verkehre ableiten:

Die meisten Expertinnen und Experten rechnen ab Mitte der 2020er Jahre mit ersten automatisierten ÖPNV-Angeboten im ländlichen Raum. Hierbei könnte es sich beispielsweise um einfache Pendelverkehre handeln, mit denen periphere Ortsteile an einen Hauptort angebunden werden. Denkbar wären solche Verkehre auch, um touristische Hotspots zu erschließen oder – wie es derzeit im Testfeld Bad Birnbach erprobt wird –, um dezentrale Bahnhaltepunkte mit einem Ortskern zu verbinden. Pendelverkehre könnten auf verkehrsberuhigten Straßen bei Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h operieren. Eingesetzt würden vornehmlich automatisierte Shuttlebusse, wie sie bereits heute in vielen Testfeldern betrieben werden.

Zu Beginn der 2030er Jahre könnten allmählich komplexere Betriebsformen wie on-demand Linienverkehre oder Richtungsbandbetriebe in den Fokus rücken. Voraussetzung hierfür wäre, dass die Geschwindigkeit der eingesetzten Fahrzeuge erhöht wird, damit auch Haupt- und Landstraßen befahren werden können. Gegebenenfalls müsste auf den befahrenen Strecken auch das allgemeine Tempolimit herabgesetzt werden.

Neben Shuttle-Bussen könnten im Rahmen der genannten Betriebsarten vornehmlich kleinere Robo-Taxis für bis zu neun Fahrgäste eingesetzt werden.

Um 2040 könne es schließlich zur Einführung automatisierter Sektorbetriebe kommen, bei denen z. B. größere Räume an einen ländlichen ÖPNV-Hub angebunden werden. Auch Tür-zu-Tür-Bedienformen wären zu diesem Zeitpunkt gegebenenfalls möglich. Voraussetzungen hierfür wären die Anpassung des gesamten Straßennetzes an den automatisierten Verkehr und – möglicherweise – der Aufbau einer flächendeckenden und leistungsfähigen Mobilfunkinfrastruktur zur Unterstützung von V2V und V2X Funktionalitäten. Als Fahrzeuge würden vornehmlich Shuttle-Busse, Robo-Taxis und eventuell Pods für bis zu drei Fahrgäste eingesetzt.

5.4 Kritische Reflexion der eigenen Arbeit

Aus Sicht des Autors hat sich das gewählte Forschungsdesign grundsätzlich bewährt. Durch die Kombination einer Interviewstudie mit einer anschließenden Delphi-Befragung konnten die gestellten Forschungsfragen angemessen erörtert und schließlich valide Erkenntnisse erlangt werden.

Im Rahmen der explorativen Interviews gelang es, den Untersuchungsgegenstand umfassend und aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten. Als besonders hilfreich erwies sich hierbei die gewählte Leitfadensform (vgl. Abschnitt 3.1.1), mit welcher die gewünschte Balance zwischen offenem Gespräch und strukturierter Befragung erzielt werden konnte. Wie erhofft gelang es durch das modulare Fragebogendesign die Vergleichbarkeit der Antworten zu gewährleisten. Zugleich wurde den Interviewten genug Freiraum gegeben, um sich im Gespräch frei zu entfalten. Dadurch konnten im Laufe der Gespräche auch einige Aspekte aufgedeckt werden, die der Autor im Vorfeld nicht bedacht hatte. Diese neu identifizierten Themen wurden in den Folgeinterviews wieder aufgenommen und weiter vertieft. Einzig zum Themenkomplex automatisierte ländliche Logistik gelang es nicht im gewünschten Maße Erkenntnisse zu gewinnen, da leider keine ausgewiesenen Expertinnen bzw. Experten für die Interviews ausfindig gemacht werden konnten. Hervorzuheben ist schließlich auch, dass sich die Gesprächspartner in Bezug auf die gewählte Befragungsform ganz überwiegend positiv äußerten und sich mit Ausnahme einer Person alle interviewten Expertinnen und Experten mit dem Interviewformat gut zurechtfinden.

In der folgenden Interviewanalyse konnten wie beabsichtigt wichtige Kernfragen und Einflussfaktoren identifiziert werden. Rückblickend wäre jedoch bei der Auswertung eine systematischere bzw. strukturiertere Vorgehensweise wünschenswert gewesen. So hätten beispielsweise die Aussagen und Standpunkte der interviewten Expert/-innen in einer Matrix erfasst und gegenübergestellt werden können. Dadurch wären womöglich noch einige interessante Aspekte zur Geltung gekommen, die bei der Auswertung nur unzureichend gewürdigt oder gar übersehen wurden. Eine weitere interessante Möglichkeit wäre in diesem Zusammenhang die Anwendung eines Textanalyse-Tools wie beispielsweise MAXQDA gewesen.

Eventuell hätten durch ein systematischeres Vorgehen auch noch weitere Kernfragen und Einflussfaktoren identifiziert werden können, welche für den folgenden Teil der Untersuchung von Relevanz gewesen wären.

Durch die abschließende Delphi-Befragung wurden die gewonnenen Erkenntnisse schließlich konkretisiert und validiert. Dieser Prozess hat insgesamt gut funktioniert und wertvolle Ergebnisse geliefert. Im Nachhinein betrachtet hätten aber zwei Punkte besser umgesetzt werden können: Zum einen wäre es sinnvoll gewesen, die persönliche Haltung der Teilnehmenden bezüglich des Untersuchungsgegenstands bereits in der ersten Befragungsrunde abzufragen, zum anderen hätte man in der zweiten Runde stärker von der Möglichkeit Gebrauch machen können, bestimmte Aspekte zu vertiefen - beispielsweise durch ergänzende, sich auf die Ergebnisse der ersten Runde beziehende Fragen.

Durch die anfängliche Abfrage der persönlichen Haltung der Teilnehmenden, eventuell auch durch die Option ergänzt, einen Kommentar zu verfassen, hätte sich dem Autor die Möglichkeit geboten, die eigene Positionierung gegenüber des Untersuchungsgegenstands nochmals kritisch zu hinterfragen. Denn trotz allen Bemühens um Objektivität ist eine gewisse - auch unbewusste - Vereinnahmung des Forschenden durch sein Forschungsobjekt oftmals unvermeidbar. Ein kritisches Feedback der Teilnehmenden hätte somit wertvolle Hinweise für die zweite Befragungsrunde liefern können. Es hätten sich womöglich neue interessante Fragen herauskristallisiert, bestimmte kritische Anmerkungen der Teilnehmenden hätten weiter erörtert sowie bereits gestellte Fragen präzisiert werden können. Letztlich hätten somit die Qualität der Befragung und die Güte der Ergebnisse noch ein wenig gesteigert werden können.

5.5 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Untersuchung bewegt sich im Kontext eines sehr dynamischen Forschungsumfelds. Zum Veröffentlichungszeitpunkt waren die technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen für den Betrieb ländlicher automatisierter ÖPNV- und Logistiksysteme noch nicht gegeben. Entsprechend basieren die meisten der in dieser Arbeit vorgestellten Erkenntnisse auf spekulativen, jedoch fundierten und faktenbasierten Annahmen. Diese werden einer eingehenden Überprüfung bedürfen, sobald sich die zugrundeliegenden technischen und regulatorischen Bedingungen ändern. Darüber hinaus ergeben sich einige Anknüpfungspunkte für vertiefende Untersuchungen, welche an dieser Stelle vorgestellt werden sollen:

- Auf Grundlage der in dieser Arbeit identifizierten und bewerteten Einflussfaktoren könnte im Rahmen einer Nachfolgestudie ein Szenarioprozess initiiert werden.
- Es besteht weiterhin Forschungsbedarf hinsichtlich der Akzeptanz automatisierter ÖPNV-Systeme in ländlichen Räumen. Dieser Aspekt wurde im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande behandelt.
- Auch existieren nach Wissen des Autors noch keine Forschungsarbeiten, die sich explizit mit automatisierter Logistik in ländlichen Räumen auseinandersetzen.

Spätestens wenn fahrerlose ÖPNV-Systeme über eine größere Praxistauglichkeit und Einsatzreife verfügen, werden ferner wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen – wie beispielsweise zur Gestaltung von Preis- und Geschäftsmodellen – in den Fokus rücken.

Literaturverzeichnis

- ADAC (2016): Mobilitätssicherung im ländlichen Raum. Herausforderungen, Handlungsfelder, Empfehlungen. Positionspapier. Unter Mitarbeit von Christian Laberer und Ronald Winkler. Hg. v. ADAC. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. München. Online verfügbar unter https://www.adac.de/_mmm/pdf/fi_Mobilit%C3%A4tsicherung_1%C3%A4ndlicher_Raum_0216_257264.pdf, zuletzt geprüft am 10.03.2019.
- Arndt, Markus (2017): Fahrzeugkonzepte für fahrerlose Sammelverkehre. Bachelorarbeit. Technische Universität Darmstadt. Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. Online verfügbar unter https://www.verkehr.tu-darmstadt.de/media/verkehr/fgvv/beruf/bachelorarbeiten/Arndt_MA_2017.pdf, zuletzt geprüft am 29.06.2020.
- AutoNV_OPR (2019): AutoNV_OPR. Forschungsprojekt zu automatisiertem Nahverkehr in Ostprignitz-Ruppin. Unter Mitarbeit von Arne Holst, Alexander Egoldt und Carsta Hinz. Hg. v. REG Regionalentwicklungsgesellschaft Nordwestbrandenburg mbH. Neuruppin. Online verfügbar unter <https://www.autonv.de/>, zuletzt geprüft am 06.07.2020.
- Bähr, Jürgen (2011): Einführung in die Urbanisierung. Online-Handbuch Demografie. Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung. Online verfügbar unter https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Baehr_Einfuehrung_Urbanisierung_2011.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2019.
- BBSR (2010): Laufende Raumbearbeitung - Raumabgrenzungen. Raumtypen 2010. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbearbeitung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/Raumtypen2010_vbg/Raumtypen2010_LageSied.html?nn=2544954, zuletzt geprüft am 08.07.2020.
- Becker, Udo; Bormann, René; Clarus, Elke; Faber, Werner; Herget, Melanie; Holzapfel, Helmut et al. (2018): Mobilität im ländlichen Raum sichern. Perspektive entwickeln, Identität ermöglichen, Freiräume schaffen, Kostenwahrheit angehen. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik (WISO-Diskurs, 08/2018).
- Bernhart, Wolfgang; Kaise, Hitoshi; Ohashi, Yuzuru; Schönberg, Tobias; Schilles, Laurianne (2018): Reconnecting the rural. Autonomous driving as a solution for non-urban mobility. Hg. v. Roland Berger. ROLAND BERGER GMBH. Frankfurt a. M. (Focus). Online verfügbar unter https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_reconnecting_the_rural_1.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2019.
- Blechner, Notker (2021): Verpassen VW, Daimler & Co. den Anschluss? Neben der Elektromobilität gelten selbstfahrende Autos als Zukunftsgeschäft der Branche. Digitalkonzerne wie Google geben den Takt an. Wie weit sind die deutschen Hersteller? Hintergrund Autonomes Fahren. In: *Tagesschau.de*, 16.03.2021. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/verpassen-vw-und-co-den-anchluss-101.html>, zuletzt geprüft am 17.04.2021.
- BMEL (2019): Ländliche Regionen verstehen. Fakten und Hintergründe zum Leben und Arbeiten in ländlichen Regionen. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/LR-verstehen.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 01.10.2019.
- BMVI (Hg.) (2015): Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.
- BMVI (2017): Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr. Herausforderungen für die zukünftige Verkehrspolitik. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/wissenschaftlicher-beirat-gutachten-2017-1.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.10.2019.
- BMVI (2021a): Gesetz zum autonomen Fahren tritt in Kraft. Hg. v. BMVI. BMVI. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2021, zuletzt geprüft am 16.10.2021.

- BMVI (2021b): Moderne Personenbeförderung – fairer Wettbewerb, klare Steuerung. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/personenbefoerderungsgesetz.html>, zuletzt aktualisiert am 12.01.2022, zuletzt geprüft am 12.01.2022.
- Bogner, Alexander; Littig, Beate; Menz, Wolfgang (2002): Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-93270-9>.
- Canzler, Weert; Knie, Andreas (2019): Autonom und Öffentlich. Automatisierte Shuttles für mehr Mobilität mit weniger Verkehr. *böll.brief*. Hg. v. Heinrich Böll Stiftung e.V. Berlin (Grüne Ordnungspolitik, 13). Online verfügbar unter https://www.boell.de/sites/default/files/2019-10/13_Gr%C3%BCne-Ordnungspolitik_Autonomes-Fahren.pdf?dimension1=division_stift, zuletzt geprüft am 30.06.2020.
- Crössmann, Lorenz (2019): Fahrerlose Shuttle-Busse als Bestandteil eines zukünftigen ländlichen ÖPNVs. Hausarbeit im Modul 6 „Einsatzfeld Technik“ - Masterstudiengang Zukunftsforschung. Wintersemester 2018/19 - FU-Berlin. PDF.
- Cuhls, Kerstin (2009): Delphi-Befragungen in der Zukunftsforschung. In: Reinhold Popp und Elmar Schüll (Hg.): *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis*, Bd. 1. Berlin, Heidelberg: Springer (Zukunft und Forschung, 1), S. 207–222.
- Cuhls, Kerstin (2012): Zu den Unterschieden zwischen Delphi-Befragungen und „einfachen“ Zukunftsbefragungen. In: Reinhold Popp (Hg.): *Zukunft und Wissenschaft. Wege und Irrwege der Zukunftsforschung*, Bd. 2. Berlin, Heidelberg: Springer (Zukunft und Forschung, 2), S. 139–158. Online verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-28954-5_7, zuletzt geprüft am 18.05.2020.
- Dangschat, Jens S. (2017): Automatisierter Verkehr – was kommt da auf uns zu? In: *Z Politikwiss* 27 (4), S. 493–507. DOI: 10.1007/s41358-017-0118-8.
- Deutscher Bundestag (Hg.) (2017): Straßenverkehrsgesetz für automatisiertes Fahren geändert. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2017/kw13-de-automatisiertes-fahren-499928>, zuletzt geprüft am 27.01.2020.
- Donath, Andreas (2021): Tesla fährt autonom von San Francisco nach Los Angeles. Die autonome Fahrfunktion in einem Tesla Model 3 erlaubte eine 600-km-Fahrt fast ohne Hilfe des Fahrers. Full Self Driving. In: *GOLEM.DE*, 04.01.2021. Online verfügbar unter <https://www.golem.de/news/full-self-driving-tesla-faehrt-autonom-von-san-francisco-nach-los-angeles-2101-153128.html>, zuletzt geprüft am 15.04.2021.
- Döring, Nicola; Bortz, Jürgen (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- DStGB (2021): Novelle Personenbeförderungsgesetz. Hg. v. DStGB. DStGB. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.dstgb.de/aktuelles/2021/novelle-personenbefoerderungsgesetz/>, zuletzt aktualisiert am 26.03.2021, zuletzt geprüft am 16.10.2021.
- EasyMile (19.06.2019): EasyMile launches new EZ10 driverless shuttle featuring innovative safety architecture and enhanced passenger experience. Toulouse. Online verfügbar unter <https://easymile.com/easymile-launches-new-ez10-driverless-shuttle-featuring-innovative-safety-architecture-and-enhanced-passenger-experience/>, zuletzt geprüft am 22.01.2020.
- Eckl-Dorna, Wilfried (2019): Diese Stufen müssen Autobauer bei Roboterautos nehmen. Die 5 Level des autonomen Fahrens. In: *Manager Magazin*, 07.03.2019. Online verfügbar unter <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/selbstfahrende-autos-die-5-stufen-des-autonomen-fahrens-erklaert-a-1256773.html>, zuletzt geprüft am 23.10.2019.
- Eckstein, Lutz; Form, Thomas; Maurer, Markus; Schöneburg, Rodolfo; Spiegelberg, Gernot; Stiller, Christoph (2018): *Automatisiertes Fahren. VDI-Statusreport Juli 2018*. Hg. v. VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik. VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf (VDI-Statusreport). Online verfügbar unter www.vdi.de, zuletzt geprüft am 21.01.2020.
- Fahrenholz, Peter (2021): Autonomes Fahren: Das „Ja, aber“-Gesetz von Andreas Scheuer. In: *Süddeutsche Zeitung*, 23.06.2021. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/auto/autonomes-fahren-mobilitaet-zukunft-verkehrspolitik-1.5325240>, zuletzt geprüft am 12.07.2021.

- Floemer, Andreas (2021): Moia macht den Anfang: VW will bis 2025 in Deutschland autonom fahren. In: *t3n Magazin*, 12.05.2021. Online verfügbar unter <https://t3n.de/news/vw-autonomes-fahren-2025-level-4-1378499/>, zuletzt geprüft am 13.07.2021.
- Fockebroek, Dieter; Hanke, Thomas; Koenen, Jens; Menzel, Stefan (2019): Autonome Autos und Flugzeuge: Die Zukunft lässt auf sich warten. Digitale Revolution. In: *Handelsblatt*, 14.05.2019. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/technik/digitale-revolution/digitale-revolution-autonome-autos-und-flugzeuge-die-zukunft-laesst-auf-sich-warten/24194826.html?ticket=ST-34981762-CiFGckxHbY-6eL6NwxplO-ap2>, zuletzt geprüft am 15.10.2019.
- Franzen, Nathalie; Hahne, Ulf; Hartz, Andrea; Kühne, Olaf; Schafranski, Franz; Spellerberg, Annette; Zeck, Holger (2008): Herausforderung Vielfalt - ländliche Räume im Struktur- und Politikwandel. 1. Aufl. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung (E-Paper der ARL / Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 4). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/59893>.
- Gasser, Tom M. (2012): Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe; Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.5409013.01. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wiss (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen F, Fahrzeugtechnik, 83). Online verfügbar unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2012/587/>.
- Gönder, Dominique (2014): KiTa 2030. Eine Delphi-Befragung zur Zukunft von Kindertageseinrichtungen in Deutschland. Berlin: Freie Univ. Berlin, FB Erziehungswissenschaft und Psychologie, Institut Futur (IF-Schriftenreihe, 04/14).
- Häder, Michael (2014): Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer VS (Lehrbuch).
- Häder, Michael; Häder, Sabine (1995): Delphi und Kognitionspsychologie: ein Zugang zur theoretischen Fundierung der Delphi-Methode. In: *ZUMA Nachrichten* 19, 1995 (37), S. 8–34. Online verfügbar unter https://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/zeitschriften/zuma_nachrichten/zn_37.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2020.
- Haider, Tobias; Klementsitz, Roman (2017): Wirkungspotentiale für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum. Ergebnisbericht. Hg. v. UbiGo, Institut für Partizipative Sozialforschung und Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Verkehrswesen). Wien. Online verfügbar unter https://www.sharedautomatedmobility.org/w/images/3/39/SharedAutonomy_Wirkungsanalyse.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2020.
- Hegmann, Gerhard (2020): Flugtaxis werden „voraussichtlich eine Nischenanwendung bleiben“. In: *Die Welt*, 04.02.2020. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article205571325/Flugtaxis-werden-voraussichtlich-eine-Nischenanwendung-bleiben.html>, zuletzt geprüft am 15.05.2020.
- Helferich, Cornelia (2011): Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. 4. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>.
- Herget, Melanie (2013): Mobilität von Familien im ländlichen Raum. Dissertation.
- Herget, Melanie; Hunsicker, Frank (2014): Es geht auch ohne Auto! Unterwegs im ländlichen Raum. In: *Politische Ökologie*, 2014 (137), S. 61–66. Online verfügbar unter https://www.oekom.de/fileadmin/zeitschriften/poe_leseproben/poe_137_Leseprobe_herget-hunsicker_61.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2019.
- Hunold, Julia (2016): Rurale Mobilität. Ein multifunktionales Cluster. Masterarbeit. Weißensee Kunsthochschule, Berlin. Produkt-Design. Online verfügbar unter <https://www.kh-berlin.de/projekt-detail/Project/detail/rurale-mobilitaet-ein-multifunktionales-cluster-julia-hunold-2296.html>, zuletzt geprüft am 26.07.2020.
- Hunsicker, Frank; Schäfer-Stradowsky, Simon; Onnen-Weber, Udo (2016): Vernetzte Mobilität der Zukunft erfahrbar machen. Die Rolle von Reallaboren für einen etwas anderen Ansatz des automatisierten Fahrens. In: *Internationales Verkehrswesen* 2016, 2016 (68), S. 59–61.
- Jonuschat, Helga; Filby, Anna; Deibel, Inga; Crössmann, Lorenz; Power, Max; Steiner, Josephine (2018): Hop-on Hop-off. Sichere Ein- und Ausstiegssituationen für autonome öffentliche Mikromobile. Schlussbericht des InnoZ. Unter Mitarbeit von Stephanie Lindner. Hg. v. InnoZ. Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH. Berlin.

- Karl, Astrid; Canzler, Weert (2011): Innovativer Landverkehr. Subjektförderung durch Mobilitätsgutscheine. Unter Mitarbeit von Frank Hunsicker. Hg. v. InnoZ. Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH. Berlin (InnoZ-Baustein, 9). Online verfügbar unter https://www.innoz.de/sites/default/files/09_innoz-baustein.pdf, zuletzt geprüft am 10.03.2019.
- Klementsitz, Roman; Angerer, Maria; Bauernfeind, Alfons; Haider, Tobias; Haydn, Philipp (2019): Potenziale für den Einsatz gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum. In: Manfred Schrenk (Hg.): *Is this the real world? Perfect smart cities vs. real emotional cities : proceedings of the 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society : Tagungsband : 2-4 April 2019, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe*. Wien: CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning, S. 553–562. Online verfügbar unter https://conference.corp.at/archive/CORP2019_19.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2020.
- Knie, Andreas (2021): Mehr Mobilität für alle mit weniger Fahrzeugen. Kurswechsel: So gelingt die Verkehrswende (6). Hg. v. klimareporter°. Klimawissen e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.klimareporter.de/verkehr/mehr-mobilitaet-fuer-alle-mit-weniger-fahrzeugen>, zuletzt geprüft am 12.01.2022.
- Knie, Andreas; Ruhrort, Lisa (2019): Die Neuordnung des öffentlichen Verkehrs. Grundsätze für eine neue zukunftsorientierte Regulierung im Personenbeförderungsgesetz (PBefG). Diskussionspapier. Hg. v. klimareporter°. Klimawissen e.V. Berlin. Online verfügbar unter www.klimareporter.de/images/dokumente/2019/05/PBefG_Mai2019.pdf, zuletzt geprüft am 11.01.2022.
- Kutz, Peter (2014): goody / cargo transport unit. Masterarbeit. Weißensee Kunsthochschule, Berlin. Produkt-Design. Online verfügbar unter <https://ifworlddesignguide.com/entry/153713-goody>, zuletzt geprüft am 26.07.2020.
- La Rocco, Nicolas (2020): Autonomes Fahren: Waymo One ohne Fahrer öffnet sich der Allgemeinheit. In: *ComputerBase*, 09.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.computerbase.de/2020-10/waymo-one-fahrerloses-autonomes-fahren/>, zuletzt geprüft am 15.04.2021.
- Lehmacher, Wolfgang (2015): *Logistik im Zeichen der Urbanisierung. Versorgung von Stadt und Land im digitalen und mobilen Zeitalter*. Wiesbaden: Springer Gabler (essentials).
- Maier, Jörg (Hg.) (2008): *Ziele und Strategien einer aktuellen Politik für periphere ländliche Räume in Bayern*. Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Hannover: Verl. der ARL (Arbeitsmaterial der ARL, 343).
- Maurer, Markus; Gerdas, J. Christian; Lenz, Barbara; Winner, Hermann (2015): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=18942>.
- Mörner, Moritz von (2018): *Sammelverkehr mit autonomen Fahrzeugen im ländlichen Raum*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. Online verfügbar unter https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/7483/9/M%C3%B6rner_Sammelverkehr_mit_autonomen_Fahrzeugen_im_l%C3%A4ndlichen_Raum.pdf, zuletzt geprüft am 29.06.2020.
- NAF-Bus (2019): *NAF-Bus. Nachfragegesteuerter autonom fahrender Bus*. Unter Mitarbeit von Ralph Hirschberg, Marco Kalkhorst, Sven-Olaf Seddig, Michael Kierek, Holger Michelmann, Matthias Walz et al. Hg. v. EurA AG. Ellwangen. Online verfügbar unter <https://www.naf-bus.de/>, zuletzt geprüft am 06.07.2020.
- Netzwerk Mobilität in der Verbandsgemeinde Speicher: *Die Mitfahrerbank. Das Original*. Unter Mitarbeit von Benjamin Kreis und Ursula Berrens. Speicher. Online verfügbar unter <http://mitfahrerbank.com/>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Nuro (Hg.) (2016): *Delivering the future of local commerce, autonomously*. Nuro. Online verfügbar unter <https://nuro.ai/>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- OECD (2007): *OECD-Prüfbericht zur Politik für ländliche Räume Deutschland*. Paris: OECD.
- Perret, Fabienne; Fischer, Remo; Frantz, Holger (2018): *Automatisiertes Fahren als Herausforderung für Städte und Regionen. Eine interdisziplinäre Analyse denkbarer Anwendungen und Effekte*. In: *TATuP* 27 (2), S. 31–37. DOI: 10.14512/tatup.27.2.31.

- Rehrl, Karl; Zankl, Cornelia (2018): Digibus©: results from the first self-driving shuttle trial on a public road in Austria. In: *Eur. Transp. Res. Rev.* 10 (2), S. 169. DOI: 10.1186/s12544-018-0326-4.
- Reiche, Lutz (2019): „Fahrerloses Auto zu teuer und komplex wie eine Mars-Mission“. Volkswagen-Vorstand dämpft Erwartungen. In: *Manager Magazin*, 06.03.2019. Online verfügbar unter <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/volkswagen-roboterautos-sind-zu-teuer-und-keins-geschaeftsmodell-a-1256467.html>, zuletzt geprüft am 23.10.2019.
- Richter, Stefan; Rehme, Marco (2018): Auto FipS. Automatisiertes fahren in peripheren Siedlungsstrukturen. Potentiale zur Bewältigung demographieinduzierter Immobilität. Hg. v. IVM Institut. IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH. Oberlungwitz. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/328738688_Auto_FipS_-_Automatisiertes_Fahren_in_peripheren_Siedlungsstrukturen_Potentiale_zur_Bewaltigung_demographieinduzierter_Immobilitaet, zuletzt geprüft am 30.06.2020.
- Riener, Andreas; Appel, Alexandra; Dorner, Wolfgang (2020): Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht. 1st ed. 2020. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59406-3>.
- Rinspeed AG (2019): Rinspeed AG - microSNAP. „Liebling, ich habe den „Snap“ geschrumpft!“. Rinspeed AG. Zumikon (CH). Online verfügbar unter https://www.rinspeed.com/de/microSNAP_50_concept-car.html#mehrlesen, zuletzt aktualisiert am 11.01.2022, zuletzt geprüft am 11.01.2022.
- Ritz, Johannes (2018): Mobilitätswende - autonome Autos erobern unsere Straßen. Ressourcenverbrauch, Ökonomie und Sicherheit. Wiesbaden: Springer. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-20953-7>.
- Robomart (Hg.) (2017): Mobile Mini-Marts. Robomart. Online verfügbar unter <https://robomart.co/>, zuletzt geprüft am 14.05.2020.
- Schneider, Jörg Henning (2010): Modellierung und Erkennung von Fahrsituationen und Fahrmanövern für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme. Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2010. Univ.-Verl, Chemnitz.
- Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2018): Methoden der empirischen Sozialforschung. 11. überarbeitete Auflage. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg (De Gruyter Studium). Online verfügbar unter http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783110577327&searchTitles=true.
- Schönduwe, Robert; Schelewsky, Marc; Damrau, Lena; Stolte, Benjamin (2017): Sensortechnologien in autonomen Fahrzeugen. Erstellt im Projekt OpenOlli. Open Data Plattform für autonomen Shuttleverkehr. OpenOlli. Berlin.
- Sonderegger, Roger; Frölicher, Jonas; Imhof, Sebastian; Arx, Widar von; Sträuli, Caspar; Stadler, Jonas et al. (2018): Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr. Neue Geschäftsmodelle für die SBB im ländlichen Raum? Projektbericht. Hochschule Luzern. Online verfügbar unter <https://imp-sbb-lab.unisg.ch/-/media/dateien/instituteundcenters/sbblab/publikationen-sbb-ff/81-schlussbericht-sonderegger-hsluinfraskcwselbstfahrende-fahrzeuge-im-ffentlichen-verkehr.pdf>, zuletzt geprüft am 30.06.2020.
- Sonderegger, Roger; Imhof, Sebastian; Arx, Widar von; Frölicher, Jonas (2019): Selbstfahrende Fahrzeuge im ländlichen Raum. Kombination mit traditionellem öffentlichem Verkehr bietet größte Chancen. Verkehrsplanung & Organisation. In: *Der Nahverkehr* (4), S. 57–61. Online verfügbar unter https://www.wiso-net.de/document/DNV__89b78df9a5a1e1edc603ace4cc5e75d2aa5499d2, zuletzt geprüft am 30.06.2020.
- Statista; OpenSignal (2018): 4G ist in Deutschland immer noch Neuland. Digitales Bild. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/13887/4g-netzabdeckung-in-europa/>, zuletzt geprüft am 04.02.2020.
- Sylvester, Anja (Hg.) (2019): LandLogistik. Die andere Sichtweise: Freie Frachtflächen für regionale Produkte. 12. Zukunftsforum 2019 / Forum 21: Intelligente Mikrologistik. LaLoG LandLogistik GmbH. Online verfügbar unter https://www.regionalbewegung.de/fileadmin/user_upload/2019/Fachforum_IGW_Nr_21/IGW_Zukunftsforum_Nr_21_LandLogistik_AnjaSilvester_24012019.pdf, zuletzt geprüft am 04.05.2020.
- Tesla (2015): Charger prototype finding its way to Model S. YouTube-Video. Online verfügbar unter <https://youtu.be/uMM0IRfX6YI>, zuletzt geprüft am 04.03.2020.

- Thünen - Landatlas: Der Landatlas. Infoportal Zukunft.Land. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und Thünen-Institut. Online verfügbar unter <https://www.landatlas.de/>, zuletzt geprüft am 01.10.2019.
- Trauner, Patricia (2018): Autonomes Fahren im ländlichen Raum. Der Einsatz autonomen Fahrens in unterschiedlichen Typen ländlichen Raums und deren Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Fakultät für Architektur und Raumplanung. Online verfügbar unter <https://permalink.catalogplus.tuwien.at/AC15095217>, zuletzt geprüft am 02.07.2020.
- Reuters USA (18.04.2021): Two dead in Tesla crash in Texas that was believed to be driverless. Autos & Transportation. Houston. Online verfügbar unter <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/two-dead-tesla-crash-texas-that-was-believed-be-driverless-wsj-2021-04-18/>, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- vbw (Hg.) (2018): Zukunft automatisiertes Fahren - rechtliche Hürden beseitigen. Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. München. Online verfügbar unter <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Freizugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Recht/2018/Downloads/vbw-Position-Automatisiertes-Fahren-M%C3%A4rz-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 27.01.2020.
- VDA (Hg.) (2015): Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA Magazin).
- VDV (Hg.) (2020): Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland. Liste Autonome Shuttle-Bus-Projekte. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV). Online verfügbar unter <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>, zuletzt geprüft am 03.07.2020.
- Vogt, Klaus (2019): Steigerwaldbahn: Fahren bald autonome Busse auf der Bahntrasse? Der CSU-Bezirksvorstand möchte die Trasse der stillgelegten Steigerwaldbahn als Teststrecke für autonom fahrende Kleinbusse nutzen. Gespräche in München laufen bereits. In: *Main-Post*, 09.12.2019. Online verfügbar unter <https://www.mainpost.de/regional/schweinfurt/Steigerwaldbahn-Fahren-bald-autonome-Busse-auf-der-Bahntrasse;art769,10367883>, zuletzt geprüft am 30.01.2020.
- Volvo Group (17.05.2017): Volvo pioneers autonomous, self-driving refuse truck in the urban environment. Gothenburg. Sténson, Henry. Online verfügbar unter <https://www.volvogroup.com/en-en/news/2017/may/news-2561936.html>, zuletzt geprüft am 19.02.2020.
- WELT (2021): Das Mysterium des ausgebrannten Tesla. Unfall mit 2 Toten in Texas. In: *WELT*, 11.05.2021. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/vermischtes/article231051003/Unfall-mit-2-Toten-in-Texas-Das-Mysterium-des-ausgebrannten-Tesla.html>, zuletzt geprüft am 12.07.2021.
- White, Joseph (08.10.2020): Waymo opens driverless robo-taxi service to the public in Phoenix. Detroit. Reuters USA. Online verfügbar unter <https://www.reuters.com/article/us-waymo-autonomous-phoenix-idUSKBN26T2Y3>, zuletzt geprüft am 15.04.2021.
- Whole Mars Catalog (2020): Tesla Autopilot FSD San Francisco to Los Angeles with Zero Interventions. YouTube-Video. Online verfügbar unter <https://youtu.be/dQG2lynmRf8>, zuletzt geprüft am 15.04.2021.
- Wittpahl, Volker; Gereon, Meyer (Hg.) (2019): Automatisiertes Fahren in der Smart City. Gesellschaftliche Einschätzungen zur vernetzten Mobilität der Zukunft. Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/automatisiertes-fahren-in-der-smart-city>, zuletzt geprüft am 13.05.2020.
- www.digitale-doerfer.de: Digitale Dörfer. Im Projekt „Digitale Dörfer“ zeigt das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, wie sich durch die Digitalisierung neue Chancen für ländliche Regionen auftun. Hg. v. Fraunhofer IESE. Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE. Kaiserslautern. Online verfügbar unter <https://www.digitale-doerfer.de>, zuletzt geprüft am 05.05.2020.
- www.smile-project.de (Hg.): SMile - Smart Last-Mile Logistik. GoodsTag GmbH. Online verfügbar unter <http://smile-project.de>, zuletzt geprüft am 04.05.2020.

Bildrechte

Die Verwendung der folgenden Bilder und Grafiken erfolgte mit freundlicher Genehmigung der jeweiligen Urheber/Rechteinhaber. Die weitere Vervielfältigung bzw. Bearbeitung ist ohne deren ausdrückliche Einwilligung nicht gestattet.

Abb. 2: Landatlas (www.landatlas.de). Hrsg.:Thünen-Institut für Ländliche Räume - Braunschweig 2021; **Abb.3:** Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) - Bonn 2010; **Abb. 4:** Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) - Berlin 2015; **Abb. 7:** Berrens, Ursula (Netzwerk Mobilität in der Verbandsgemeinde Speicher) - Speicher 2021; **Abb. 8:** Uckermärkische Verkehrsgesellschaft (UVG) mbH - Schwedt 2021; **Abb. 12:** © Qualcomm, Inc. - San Diego (USA) 2021; **Abb. 19.3:** © Volkswagen AG - Wolfsburg 2021; **Abb. 19.4:** © Volvo Car Corporation AB - Torslanda, Göteborg (SE) 2021; **Abb. 21.1:** © Scania CV AB (publ.) - Södertälje (SE) 2021; **Abb. 21.2:** © Daimler Truck AG - Stuttgart 2021; **Abb. 22.1:** © Rinspeed AG - Zumikon (CH) 2021; **Abb. 22.2:** Oberndörfer (ehem. Hunold), Julia - 2021; **Abb. 22.3:** © CabiBUS Sustainable Mobility AB & CAMAL Studio S.L.R. - Göteborg (SE) / Torino (IT) 2021; **22.4:** © NEXT Future Transportation, Inc. - San José (USA) 2021; **Abb. 23.1:** © Nuro, Inc. - Mountain View (USA) 2021; **Abb. 23.2:** © Robomart, Inc. - Santa Monica (USA) 2021; **Abb. 23.4:** Kutz, Peter - Berlin 2021

Bibliographische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

iF-Schriftenreihe Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung 01/22

ISBN: 978-3-98633-001-9

DOI: <http://dx.doi.org/10.17169/refubium-33664>

© 2022 by Institut Futur

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

Die [Online-Publikationen der iF-Schriftenreihe Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung](#) sind auf dem [Dokumentenserver der Freien Universität](#) veröffentlicht.

([DOI: 0.17169/FUDOCS_series_00000000250](https://doi.org/10.17169/FUDOCS_series_00000000250))

Alle Einzelausgaben können kostenfrei als PDF heruntergeladen werden.