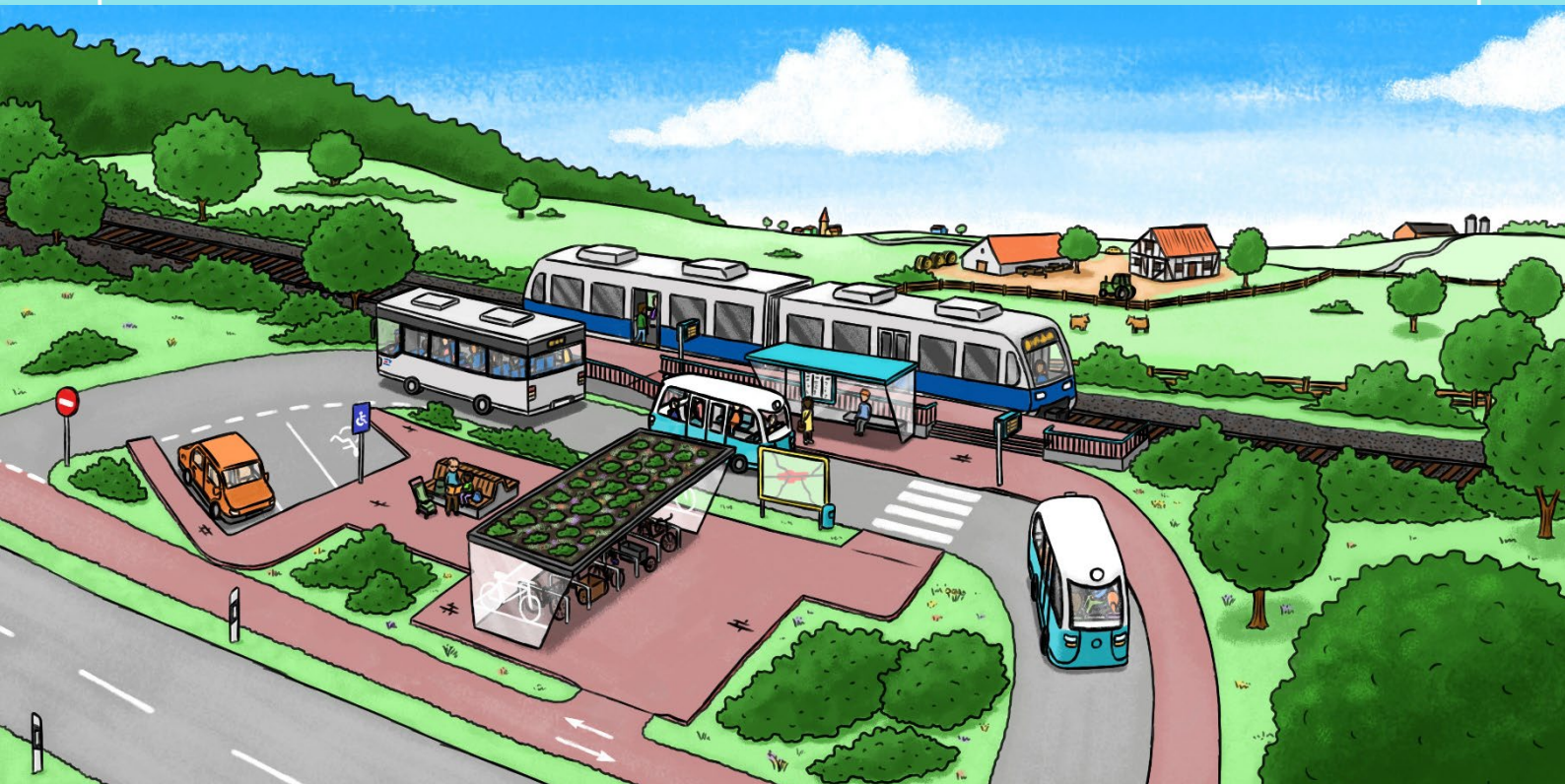


Matthias Grote

Bewertung von neuer Technik in der Mobilität am Beispiel autonomer Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume



Band 26

Harburger Berichte zur Verkehrsplanung und Logistik
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Logistik
Herausgegeben von Heike Flämig und Carsten Gertz
Technische Universität Hamburg

**Bewertung von neuer Technik in der Mobilität
am Beispiel autonomer Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume**

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation (Monografie)

von
Matthias Grote

aus
Hannover

2025

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing Carsten Gertz
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Berger
Tag der mündlichen Prüfung: 25.08.2025

DOI: <https://doi.org/10.15480/882.16196>
HANDLE: <https://hdl.handle.net/11420/58944>
ORCID-ID des Autors: <https://orcid.org/0000-0002-0698-4288>

Creative Commons Lizenzvertrag

Der Text steht, soweit nicht anders gekennzeichnet, unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung 4.0 (CC BY 4.0). Das bedeutet, dass er vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden darf, auch kommerziell, sofern dabei stets der Urheber, die Quelle des Textes und o. g. Lizenz genannt werden. Die genaue Formulierung der Lizenz kann aufgerufen werden unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de>.

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

© 2025 Institut für Verkehrsplanung und Logistik
Alle Rechte vorbehalten

Titelbild: Joscha Thelosen und Matthias Grote
Satz: Institut für Verkehrsplanung und Logistik

Matthias Grote

**Bewertung von neuer Technik in der Mobilität
am Beispiel autonomer Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume**

Band Nummer 26

Harburger Berichte zur Verkehrsplanung und Logistik

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Logistik

Technische Universität Hamburg

herausgegeben von

Heike Flämig und Carsten Gertz

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen	11
Kurzdarstellung	12
Summary	14
Abkürzungsverzeichnis.....	16
1 Einleitung	19
1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen	21
1.2 Vorgehensweise.....	22
1.3 Forschungslücke und Neuartigkeit	23
1.4 Eingrenzung und Zielgruppe	26
1.5 Aufbau der Arbeit.....	28
2 Autonomes Fahren	30
2.1 Grundlagen.....	30
2.1.1 Rückblick.....	30
2.1.2 Automatisiertes, autonomes oder fahrerloses Fahren?	31
2.1.3 Technik der Automatisierung in Fahrzeugen	33
2.1.4 Vorteile, Treiber und Erwartungen	35
2.2 Einsatz im öffentlichen Personenverkehr.....	37
2.2.1 Fahrerloses Fahren im schienengebundenen ÖPNV.....	37
2.2.2 Flexible Angebotsformen außerhalb urbaner Räume.....	37
2.2.3 Kombination fahrerloses Fahren und flexible Angebotsformen	39
2.2.4 Förderprogramme	39
2.2.5 Erprobung im öffentlichen Raum	41
2.3 Zwischenfazit	41
3 Bewertung von Technik	44
3.1 Grundlagen.....	44
3.1.1 Begriff Technik.....	44
3.1.2 Rückblick zur Bewertung von Technik(folgen)	45
3.1.3 Definitionen zur Bewertung von Technik	46
3.1.4 Werte, Ziele und Fähigkeiten.....	48
3.1.5 Reallabore, Testfelder und Feldexperimente	49
3.2 Einordnung im Verkehrswesen.....	51
3.3 Zwischenfazit	54

4	Methodologie für die Bewertung einer Technik im Verkehrswesen	55
4.1	Anforderungen und Suchkriterien	57
4.2	Recherche zu bestehenden Verfahren	58
4.3	Auswahl an Methoden	60
4.3.1	Systemanalyse und -abgrenzung (M1)	60
4.3.2	Verflechtungsmatrix-Analyse und Sensitivitätsmodell (M2).....	62
4.3.3	Relevanzbaum-/Wertbaum-Analyse (M3)	63
4.3.4	Analogiebildung (M4)	63
4.3.5	Methoden mit Beteiligung (M5)	63
4.3.6	Delphi-Methodik (M6)	64
4.3.7	Feldexperimente (M7)	64
4.3.8	Datenanalyse (M8)	65
4.3.9	Szenariotechnik /-gestaltung (M9)	65
4.3.10	Risikoanalyse (M10)	65
4.3.11	SWOT-Analyse (M11)	66
4.3.12	Ergebnisdarstellung (M12)	66
4.4	Diskussion der Erkenntnisse.....	67
5	Entwicklung des eigenen Verfahrens.....	71
5.1	Grundsätze für die Bewertung der Technik	72
5.2	Konkretisierung der Anforderungen und Lösungsansätze	73
5.3	Strukturierung des Verfahrens	78
5.4	Detaillierung des Verfahrens	80
5.4.1	Phase 1: Scoping.....	80
5.4.2	Phase 2: Zielsystem.....	81
5.4.3	Phase 3: Einsatzbedingungen (optional).....	83
5.4.4	Phase 4: Synthese.....	84
5.4.5	Phase 5: Analyse	86
5.4.6	Hauptphase 6: Bewertung	87
5.4.7	Phase der Entscheidung	94
5.5	Gesamtdarstellung des Verfahrens	95
5.6	Zwischenfazit	96
6	Anwendung des eigenen Verfahrens	97
6.1	Phase 1: Scoping.....	98
6.1.1	Schritt 1.1: Zielsetzung und Fragestellung	98
6.1.2	Schritt 1.2: Untersuchungs(raum)abgrenzung	98
6.1.3	Schritt 1.3: Megatrends.....	99

6.1.4	Schritt 1.4: Analyse der Akteure	104
6.1.5	Schritt 1.5: Offenlegung der Abhängigkeiten und Zielgruppe	109
6.2	Phase 2: Zielsystem	111
6.2.1	Schritt 2.1: Ermittlung von Zielen und Fähigkeiten.....	111
6.2.2	Schritt 2.2: Überprüfung einer Ganzheitlichkeit.....	112
6.3	Phase 3: Einsatzbedingungen	114
6.3.1	Schritt 3.1: Rechtliche Machbarkeit (Rahmensetzung).....	114
6.3.2	Schritt 3.2: Technische Machbarkeit	115
6.3.3	Schritt 3.3: Einsatz der neuen Technik	117
6.4	Phase 4: Synthese	118
6.4.1	Analyse-Fall A (Bestand ohne Technik)	118
6.4.2	Analyse-Fall B (Bestand mit der Technik des Versuchsträgers)	118
6.4.3	Zukunftsszenario Z	119
6.4.4	Überblick über die zu bewertenden Systemzustände	121
6.5	Phase 5: Analyse	122
6.6	Hauptphase 6: Bewertung.....	124
6.6.1	Schritt 6.1: Bewertung der Zielerreichung	124
6.6.2	Schritt 6.2: Bewertung der Zusammenhänge.....	153
6.6.3	Schritt 6.3: Bewertung der Risiken.....	162
6.6.4	Schritt 6.4: Analogiebildung.....	183
6.6.5	Schritt 6.5: Zusammenführung der Bewertung und eigene Einordnung.....	197
7	Fazit zum Beitrag fahrerloser Minibusse im ÖPNV.....	217
8	Fazit zur Anwendung des Verfahrens.....	221
8.1	Reflektion anhand des Erkenntnisgewinns	221
8.2	Reflektion anhand der Lösungsansätze	223
8.3	Reduzierte Variante des Verfahrens.....	224
8.4	Gesamteinordnung und Mehrwert.....	228
9	Schlussbetrachtung	229
10	Anlagen.....	235
10.1	Anlage zu Kapitel 4: Auswahl an Verfahren.....	235
10.1.1	Verfahren der Verkehrsplanung	235
10.1.2	Verfahren mit mobilitätsbezogener Betrachtung.....	237
10.1.3	Verfahren mit dem Schwerpunkt autonomes Fahren.....	241
10.1.4	Verfahren mit Schwerpunkt autonomes Fahren im ÖPNV.....	244
10.1.5	Exkurs zu Verfahren mit produktorientierten Ansatz.....	246

10.1.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse Verfahren.....	248
10.2 Anlage zu Kapitel 6.2: Phase 2 Zielsystem: Eingangsdaten und –methoden	249
10.3 Anlage zu Kapitel 6.3: Phase 3 Einsatzbedingungen: Eingangsdaten und –methoden.....	253
10.3.1 Rechtliche Machbarkeit	253
10.3.2 Technische Machbarkeit.....	253
10.3.3 Erkenntnisse zu den Einsatzbedingungen aus dem Einsatz und der Weiterentwicklung des Versuchsträgers im Testfeld („Versuchsträger+“)	258
10.4 Anlage zu Kapitel 6.5: Phase 5 Methodeneinsatz.....	261
10.4.1 Methoden der Beteiligung (M5)	261
10.4.2 Delphi-Methodik (M6)	267
10.4.3 Feldexperimente und -beobachtungen (M7)	267
10.4.4 Datenanalyse (M8)	273
10.5 Anlage zu Kapitel 6.5: Phase 5 Analyseergebnisse.....	275
10.5.1 Analyse der Erschließungsqualität.....	275
10.5.2 Analyse des Beförderungsstandards	284
10.5.3 Handhabbarkeit	298
10.5.4 Sicherheit.....	302
10.5.5 Arbeitsbedingungen	312
10.5.6 Umwelt und Ressourcen.....	313
10.5.7 Effizienz	315
10.5.8 Zeitaufwand.....	316
10.5.9 Wohlstand	318
10.5.10 Realisierbarkeit.....	319
10.5.11 Weitere Fähigkeiten	319
10.6 Anlage zu Kapitel 6.6: Phase 6 Bewertung.....	320
10.6.1 Anlage zu Kapitel 6.6.3: Risikobewertung.....	320
10.6.2 Anlage zu Kapitel 6.6.5.5: Mitwirkende Akteure	327
Abbildungsverzeichnis	329
Tabellenverzeichnis	334
Literaturverzeichnis	337

Vorbemerkungen

Die vorliegende Arbeit greift auf Datenerhebungen aus den Forschungsprojekten *Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa)* und *Kombinierter Personen- und Warentransport in automatisierten Shuttles (TaBuLa-LOG)* zurück, die unter den Förderkennzeichen FKZ 16AVF2152 und FKZ 01MM19013 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr mit 3,71 Mio. € gefördert wurden. Die Ergebnisberichte zu den Förderprojekten sind unter Mitwirkung des Autors publiziert worden:

- Gertz et al. (2021). Endbericht des Projektes TaBuLa. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4536>
- Gertz et al. (2022). Endbericht des Projektes TaBuLa-LOG: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4536>

Einige Forschungsergebnisse, die während dieser Dissertation entstanden sind, wurden in Vorträgen und Publikationen vorab veröffentlicht (Auswahl):

- Grote und Röntgen (2021). Kosten autonom fahrender Minibusse: Literaturanalyse ergänzt um Erfahrungen aus dem Betrieb eines Testprojektes und den Ergebnissen einer Expert:innenbefragung. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.3621>
- Grote, Stargardt und Wolf, 2021a. Infrastruktur im Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *Straße und Autobahn*, 72(12), S. 1025-1028.
- Grote (2021). Infrastruktur für eine automatisierte Buslinie. Erfahrungen aus dem Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *VSVI Information*, (3), S. 14-18. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4789>
- Grote, Stargardt und Wolf, 2021b. Verkehrsgeschehen im Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *Straßenverkehrstechnik*, 65(12), S. 932-934.
- Böckler, Grote, Wolf (2021). Genehmigungsprozesse beim Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg/Elbe. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.3498>

Kurzdarstellung

Mit dem autonomen Fahren im Straßenverkehr werden vielfältige Hoffnungen verbunden. Dazu gehören eine höhere Verkehrssicherheit, eine bessere Teilhabe von Menschen ohne Fahrerlaubnis, eine andersartige Nutzung der gewonnenen Zeit und eine Senkung der Kosten der motorisierten Fortbewegung. Für ländliche Räume besteht die Erwartung einer flexiblen Mobilität für Alle. Hinsichtlich der tatsächlichen Folgewirkungen des autonomen Fahrens existiert derzeit jedoch in vielfacher Hinsicht kein hinreichendes Orientierungswissen.

Ziel der Ausarbeitung ist es, diesem Defizit zu begegnen, indem ein Verfahren genutzt wird, das frühzeitig Wissen in einer ganzheitlichen Bewertung für eine neue Technik in der Mobilität bereitstellt. Dabei sind neben der Feststellung des Stands der Technik und der Potenziale die Risiken und Nebenwirkungen des soziotechnischen Systems zu identifizieren. Bei der konkreten Anwendung des Verfahrens soll der Fokus auf fahrerlosen Minibussen im ÖPNV ländlicher Räume als ein möglicher Anwendungsfall der Technik liegen.

Die zur methodologischen Herausforderung durchgeführte Recherche zu verfügbaren Lösungsansätzen liefert aus der Verkehrsplanung, der Technikfolgenabschätzung und der Technikbewertung heraus zwar kein direkt anwendbares Verfahren, aber hilfreiche theoretische Erkenntnisse. Diese führen zu einer eigenen stark strukturierten Vorgehensweise, die sich für die Bewertung einer Technik in der Mobilität eignet. Die Bearbeitungsphasen gliedern sich dazu in einen Scoping-Prozess, eine Definition des individuellen Zielsystems, eine Überprüfung der Einsatzbedingungen, eine Synthese zu potentiellen Einsatzszenarien sowie eine Analyse und umfassende Bewertung des soziotechnischen Systems. Die entscheidende Phase der Bewertung umfasst die Feststellung der individuellen Zielerreichung, das Verständnis des aktuellen Wirkungsgefüges und eine multiperspektivische Einordnung der Risiken.

Bei der Anwendung des zuvor entwickelten Verfahrens wird unter Einsatz verschiedener Methoden auf das „Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg“ zugegriffen, was eine praktische Erprobung automatisierter Versuchsträger sowie eine Beteiligung von Stakeholdern, Nutzenden und der Bevölkerung ermöglicht.

Im Ergebnis zeigt sich aus der Bewertung, dass durch einen Einsatz fahrerloser Fahrzeuge im ÖPNV die Herausforderungen der Mobilität der vielfältigen ländlichen Räume nicht grundsätzlich gelöst werden können. Die erhofft großen Potenziale fahrerloser Minibusse in Bezug auf Steigerung der Sicherheit, Kostenreduktion bei disperser Nachfrage und uneingeschränkte gesellschaftliche Teilhabe wirken derzeit für den betrachteten Anwendungsfall überbewertet. Aus der Anwendung der Risikoanalyse werden negative Folgen des fahrerlosen Fahrens erkennbar: Als potentielle Gefahren mit einem großen Schadensausmaß sind insbesondere Missbrauch oder Manipulation der Technologie, negative Umfeld-, Umwelt- und Gesundheitseffekte, fehlende Teilhabe sowie hohe Komplexität mit Störungsanfälligkeit und entsprechenden Folgen bei hoher technischer Abhängigkeit zu nennen. Es werden weitere konkrete Risiken identifiziert, die

die gesellschaftliche Akzeptanz und die aktuelle Wahrnehmung der Menschen beeinflussen. Dabei kann über den neu entwickelten Ungerechtigkeitsfaktor zwischen objektiv ungerechten Risiken und subjektiv kritisch empfundenen Risiken differenziert werden. Allerdings wird auch deutlich, dass ein plötzlich auftretendes großes irreversibles Schadensausmaß durch fahrerloses Fahren im Straßenverkehr bislang nicht erkennbar ist.

Insgesamt zeigt sich, dass fahrerloses Fahren nicht grundsätzlich die Lösung im Sinne der definierten Ziele ist. Es sind die übergeordneten Fähigkeiten des Mobilitätssystems mit optimaler Integration und Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel unter Berücksichtigung der individuellen Bedürfnisse im jeweiligen Raum zu betrachten. Dabei spielen Verlässlichkeit, räumliche und zeitliche Flexibilität bei kurzen Zugangswegen sowie einfache Handhabbarkeit und Verständlichkeit eine wichtige Rolle. Fahrerloses Fahren bedarf als *ein* möglicher Bestandteil der übergreifend zu gestaltenden Mobilität weiterer kritischer Betrachtung und Steuerung, damit es ganzheitlich positive Wirkungen entfaltet.

Der Mehrwert dieses Verfahrens resultiert aus der Auflösung der Komplexität einer Technik im Steuerungs- und Kontrolldilemma unter der Produktion von strukturiertem Orientierungswissen. Es stellt sich ein umfassendes soziotechnisches Verständnis für das betrachtete System ein, das in einer Momentaufnahme eine realistische und ganzheitliche Sicht auf die Fähigkeiten und Risiken der Technik ermöglicht. Der gewählte Ansatz motiviert zur Verknüpfung verschiedener Methoden, die die Menschen mit ihren individuellen Bedürfnissen in den Mittelpunkt einer nachhaltigen Entwicklung der Technik stellen.

Summary

There are many hopes associated with autonomous driving in road traffic. These include greater road safety, better participation of people without a driving licence, a different use of the time gained and a reduction in the costs of motorised transport. Flexible mobility for all is expected in rural areas. However, in many respects, there is currently insufficient information available on the specific consequences of autonomous driving.

The aim of this paper is to counter this deficit by using a procedure that provides knowledge at an early stage in a holistic assessment of a new mobility technology. In addition to determining the current state of the technology and its potential, the risks and collateral effects of the socio-technical system are to be identified. In the specific application of the procedure, the focus is to be on driverless minibuses in local public transport in rural areas as a possible area of application for the technology.

Although the research carried out on available solutions to the methodological challenge does not provide a directly applicable procedure from the fields of transport planning, technology assessment and technology evaluation, it does however provide helpful theoretical findings. These lead to a highly structured procedure that is suitable for the evaluation of a technology in mobility. The work phases are divided into a scoping process, a definition of the individual target system, a review of the application conditions, a synthesis of potential application scenarios and an analysis and comprehensive evaluation of the socio-technical system. The decisive valuation phase comprises the determination of individual target achievement, an understanding of the current impact structure and a multiperspective categorisation of the risks.

When applying the previously developed procedure, various methods are used to access the "Test centre for automated buses in the district of Herzogtum Lauenburg", which enables the practical testing of automated test vehicles and the participation of stakeholders, users and the public.

As a result, the evaluation shows that the use of driverless vehicles in public transport cannot fundamentally solve the challenges of mobility in diverse rural areas. The anticipated great potential of driverless minibuses in terms of increased safety, cost reduction with dispersed demand and unrestricted social participation currently appears to be overestimated for the application under consideration. The application of the risk analysis reveals negative consequences of driverless driving: potential dangers with a high level of damage include, in particular, misuse or manipulation of the technology, negative environmental and health effects, lack of participation and high complexity with susceptibility to faults and corresponding consequences in the event of high technical dependency. Further specific risks are identified that influence social acceptance and people's current perceptions. The newly developed injustice factor can be used to differentiate between objectively unjust risks and subjectively critically perceived risks. However, it also becomes clear that a sudden, major irreversible extent of damage caused by driverless driving in road traffic has not yet been recognised.

The overall conclusion is that driverless driving is not fundamentally the solution in terms of the defined objectives. The mobility system's overarching capabilities with

optimised integration and interconnectivity of different means of transport must be considered, taking into account the individual needs in the respective area. Reliability, spatial and temporal flexibility with short access routes as well as manageability and comprehensibility play an important role here. Driverless driving, as a possible component of the overall mobility to be designed, requires further critical consideration and control so that it can have a holistically positive impact.

The added value of this process results from the resolution of the complexity of a technology in the management and control dilemma under the production of structured orientation knowledge. A comprehensive socio-technical understanding of the system under consideration is achieved, which enables a realistic and holistic view of the capabilities and risks of the technology in a situational analysis. The chosen approach motivates the linking of different methods that place people and their individual needs at the centre of the sustainable development of technology.

Abkürzungsverzeichnis

4G/5G/6G	Mobilfunkstandards jeweiliger Generation
A	Analyse-Fall
A _u	Ausmaß
B	Analyse-Fall mit Versuchsträger
bast	Bundesanstalt für Straßenwesen
BBSR	Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (ehemals BMVI)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Ex	Erkenntnis Nr. x
ESP ®	Elektronisches Stabilitätsprogramm
et al.	et alii, et aliae, et alia: „und andere“
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
GAU	„Größter Anzunehmender Unfall“ in Verbindung mit Kernenergie
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GNSS	global navigation satellite system
Gx	Grundsatz
HVV	Hamburger Verkehrsverbund (Eigenschreibweise hvv)
IV	Individualverkehr
Kfz	Kraftfahrzeug
KI	Künstliche Intelligenz
Lx	Lösungsansatz Nr. x
LiDAR	Light Detection and Ranging
M2M	automatisierter Datenaustausch zwischen Endgeräten „Machine-to-Machine“
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Scale (Schweregrad der schwersten Verletzung eines Patienten)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mx	Methode Nr. x
N	Größe der Grundgesamtheit
n	Anzahl der Merkmalsausprägungen
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	öffentlicher Personenverkehr
ÖV	öffentlicher Verkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
SAE ®	Society of Automotive Engineers (SAE International)
sic!	sic scriptum erat: „so wurde es geschrieben“
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
TA	Technology Assessment Technikfolgenabschätzung

TaBuLa	Forschungsprojekt der TUHH: Testzentrum für autonom verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg
TaBuLa-LOG	Folgeprojekt von TaBuLa: Kombiniertes Personen- und Warentransport in automatisierten Shuttles
TUHH	Technische Universität Hamburg
U	Ungerechtigkeitsfaktor
V2I	Verkehrsvernetzung „Vehicle-to-Infrastructure“
V2x	Verkehrsvernetzung „Vehicle-to-Everything“
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
Z	Zukunftsszenario
ZOB	Zentraler Omnibusbahnhof

1 Einleitung

Autonomes Fahren verspricht im bedarfsgesteuerten und kollektiv genutzten Betrieb einen positiven Wandel, der jungen, alten und mobilitätseingeschränkten Bevölkerungsgruppen einen neuen Zugang zu Mobilität im ländlichen Raum ermöglicht (Bernhart et al., 2018b, S. 17).¹ Mit einer größeren Nutzungseffizienz von Fahrzeugen und Infrastrukturen wird verbunden, dass sich unerwünschte Auswirkungen des Verkehrs (z. B. durch Schall- und Schadstoffemissionen oder Flächenverbrauch) und die Kosten der Mobilität deutlich reduzieren.

Kontext und Handlungsbedarf

Allerdings deuten sich auch Zukünfte an, in denen autonomes Fahren in negative gesellschaftliche Auswirkungen mündet: Die fehlende Notwendigkeit eines Fahrzeugführenden könnte (z. B. durch Leerfahrten und neue Zielgruppen) zu mehr motorisierten Individualfahrzeugen auf den Straßen führen und gleichzeitig mit einer neu gewonnenen Attraktivität den öffentlichen Personennahverkehr als Teil des Umweltverbundes kannibalisieren.

Zwischen solchen kontroversen Zukunftsszenarien entsteht mit dem autonomen Fahren in der digitalen Transformation für entscheidende Akteure ein Handlungs- und Spannungsdruck in den Weichenstellungen zur Mobilität der Zukunft (vgl. Herget, Sommer und Gies, 2021, S. 14 f.), der durch den fortschreitenden ökologischen und demografischen Wandel erhöht wird. Während sich die Technik zum fahrerlosen Fahren in kleinen Schritten weiterentwickelt und eine Diffusion in niedrigen Automatisierungsleveln erfolgt, mangelt es bei vielen Akteuren an Informationen und Wissen (Mitteregger et al., 2020, S. VIII–X), um weitreichende Entscheidungen zum Einsatz der Technik zu treffen (vgl. Kapitel 1.3). Damit befinden sich die Akteure in einem Steuerungs- und Kontrolldilemma.

Das „Steuerungs- oder Kontrolldilemma“ nach Wagner-Döbler (1989) oder „Collingridge-Dilemma“ nach seinem Autor Collingridge (1982) benannt, beschreibt den in der Technikentwicklung wiederkehrenden Konflikt zwischen Gestaltungsmöglichkeit und dem (Nicht-) Vorhandensein von Wissen. Es deutet den „Versuch, eine Technologie zu kontrollieren, was schwierig ist, weil in den frühen Stadien, wenn sie kontrolliert werden kann, nicht genug über ihre schädlichen sozialen Folgen bekannt ist, um eine Kontrolle ihrer Entwicklung zu rechtfertigen. Wenn diese Folgen jedoch offensichtlich sind, ist die Kontrolle kostspielig und langsam geworden“ (Collingridge, 1982, S. 19). Grunwald (2010, S. 165) fasst das Problem wie folgt prägnant zusammen: „Wenn man (einigermaßen) sicheres Folgenwissen haben will, hat man keine Gestaltungsmöglichkeiten mehr.“

Steuerungs- und Kontroll-dilemma

Collingridge strebte mit seinen Überlegungen weg von etablierten Interessen hin zu verantwortungsvoller Innovation (Genus und Stirling, 2018, S. 61). Sein Anliegen war grundsätzlich nicht neu und wurde bereits in früherer Zeit benutzt, um die Risiken zu

¹ Bernhart et al. (2018a): Video zum Einstieg in das Thema (externer Link zu Youtube): https://youtu.be/toSve-duN_E?si=wSJ-H18rqgZX_Pms

erkennen und ein besseres öffentliches Verständnis zu erreichen (Genus und Stirling, 2018, S. 61). Grunwald (2010, S. 166) erklärt das Collingridge-Dilemma als bewusst übertriebene Zuspitzung in zwei Richtungen – die lösungsorientiert betrachtet – aufzuheben ist:

- Im Hinblick auf die Erkenntnistheorie kann grundsätzlich in jedem Entwicklungsstadium von Technik etwas zu Folgen ausgesagt werden, je nach Entwicklungsstand mit Unsicherheiten behaftet und wandelnder Belastbarkeit.
- Im Hinblick auf die Gestaltbarkeit der Technik besteht nach Grunwald (2010, S. 166) handlungspraktisch viel Raum „dazwischen“, d. h. in frühen Phasen geht es um ein Schärfen der gesellschaftlichen Wahrnehmung und die grundsätzliche Forschungsagenda, in späteren Phasen um die konkrete Ausgestaltung von Systemen und zuletzt der Umgang mit verbliebenen Risiken in der Weiterentwicklung „ohne dass die Gestaltbarkeit gänzlich verschwindet“.

Im Wesentlichen lautet ein Lösungsansatz, dass das Collingridge-Dilemma überwunden werden kann, wenn Verantwortung in die Entstehung von neuen Technologien eingebettet wird, und zwar in Form von verstärkter Reflexivität unter den Forschenden als ein vorgelagertes Engagement (Fonseca und Pereira, 2014, S. 17).

Wird eine Technologie (wie z. B. die Nuklearenergie) nicht frühzeitig ganzheitlich von Institutionen und interdisziplinären ExpertInnen diskutiert und neben den Vorteilen und Chancen auf Risiken und Nebenwirkungen objektiv analysiert, können sich die Visionen zu unerwartet weitreichenden negativen Folgen wandeln (wie z. B. ein GAU und die Endlagerproblematik mit nuklearen Stoffen mit nachgelagerten Konsequenzen und Kosten). Wenn sich Akteure für eine risikobehaftete Technik entscheiden, sollen Risiken möglichst bekannt und abgewogen sein. Es sollte zudem verankert sein, dass nicht allein die technischen Systeme die moderne Gesellschaft formen, sondern die Gesellschaft die von ihr produzierten und genutzten sogenannten sozio-technischen Systeme formt und zu formen hat. (vgl. Simonis, 2013, S. 10) „Ab einem bestimmten technischen Reifegrad erweisen sich insbesondere die Interessen und Entscheidungen strategisch handelnder Akteursnetzwerke als zentral, weil sie zu einer schrittweisen Verfestigung und Konsolidierung bestimmter technischer Konfigurationen führen“ (Büllingen, 1997, S. 253). Deshalb ist es wichtig, dass frühzeitig die Wirksamkeit nachhaltig definierter Ziele für die Gesellschaft gewährleistet ist: Dazu sollten nach Pakusch (2020, 224 f.) die sogenannten „windows of opportunity“ in der „technischen Ontogenese“ (Ropohl, 2009, S. 259) des Innovations- und Diffusionsprozesses genutzt werden, in denen möglichst alle Akteure offen für Innovationen und Anpassungen sind und Steuerungsinstrumente und Maßnahmen besser wirken (Pakusch, 2020, S. 123–126).

Zwischenfazit für die Verkehrs- planung

Das Verkehrswesen und seine Mobilität sind mit aktuellen Herausforderungen des Klimawandels, der Digitalisierung, der alternden Gesellschaft und den Urbanisierungsprozessen eng verbunden. In den Zusammenhängen werden neben dem wichtigen Aspekt einer funktionierenden Mobilität viele daraus resultierende Probleme deutlich. Der Verkehr wird dabei in bedeutendem Umfang von politischen Zielen beeinflusst und Weichenstellungen der Vergangenheit wirken weit in die Zukunft (vgl. Skarics, 2002). Nun kommt – getrieben durch Akteure aus der Automobilindustrie, Informationstechnik

und Mobilitätsdienstleister – das fahrerlose Fahren anscheinend unaufhaltsam und überrollt die Gesellschaft mit dem Potenzial, die Mobilität vollständig zu verändern (vgl. Bruns, 2019, S. 2). Es stellt sich die Frage: Ist das eine hilfreiche Technik oder gefährdet es Ziele unserer Gesellschaft? Es entsteht in diesem Kontext das Bedürfnis, Aussagen dazu treffen zu können, ob fahrerloses Fahren einen positiven Beitrag zur Erreichung gesetzter Ziele leisten wird und was zu tun oder zu regulieren ist (vgl. Eisinger et al., 2023, S. 148 f.). Es geht um die Einordnung von nachhaltigen Vorteilen, Risiken und Nebenwirkungen sowie die Informationsunschärfe (Scholz, 2022, S. 2) im Spannungsverhältnis zwischen Technik und Gesellschaft aus dem Blickwinkel der Gesellschaft (Simonis, 2013, S. 12) zu reduzieren, um nachhaltige Weichenstellungen in der Planung durchführen zu können. Aufgrund einer möglichen nachhaltigen Perspektive des geteilten Einsatzes² von fahrerlos fahrenden Fahrzeugen und einer Erwartungshaltung von zeitlich früheren Einsatzmöglichkeiten im ÖPNV „als im motorisierten Individualverkehr, da Betreiberstrukturen einschließlich Leitzentrale vorliegen“ (Deutsch, 2018), sind Akteure im öffentlichen Personenverkehr gefordert ein „window of opportunity“ zum fahrerlosen Fahren jetzt zu nutzen und sich mit dem Stand der Technik auseinanderzusetzen. Aus dieser Problemlage ergeben sich die nachfolgend dargestellte Zielsetzung und die Forschungsfragen.

1.1 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ausgehend von der zuvor beschriebenen Herausforderung wird nach Möglichkeiten zur Bewertung und Einordnung einer neuen Technik in der Mobilität gesucht. Für entscheidende Akteure soll dabei Orientierungswissen entstehen, das Auskunft über den aktuellen Entwicklungsstand ermöglicht und dabei Hinweise auf eintretende unerwünschte und erwünschte Konsequenzen aus der Technik gibt. Die erste Forschungsfrage folgt dem Ziel der Entwicklung einer geeigneten methodischen Vorgehensweise hierzu:

Wie kann frühzeitig eine technische Innovation im Verkehrswesen ganzheitlich bewertet werden?

Im Steuerungs- und Kontrolldilemma eines dynamischen soziotechnischen Systems soll eine Verfahrenssystematik bzw. ein -rahmen dafür entstehen, der eine gesamtgesellschaftliche Perspektive auf den konkreten Stand der Technik ermöglicht. Dabei wird angestrebt, neben der Feststellung des Entwicklungsstandes Defizite und Rückschlüsse auf weiter zu entwickelnde Aspekte aus Sicht der Verkehrsplanung zu finden. Das damit gewonnene Wissen soll es Akteuren ermöglichen, das Steuerungs- und Kontrolldilemma und die Komplexität für den Moment im Teilgebiet aufzubrechen. Zudem soll es die entsprechende Relevanz der Technik und Bedeutung auf ein Verkehrssystem erschließen und mit gewonnener sachlicher Orientierung Weichenstellungen für die weitere

² „Geteilt“ im Sinne von kollektiv genutzten Sammelverkehren mit gleichzeitig verschiedenen Personen im Fahrzeug, die unterschiedliche Start- und Zielorte haben können.

Entwicklung und Anwendung ermöglichen. Die Ergebnisse dienen hierbei in einer frühen Phase der Diffusion den Akteuren, die Rahmenbedingungen definieren (z. B. Politik, Genehmigungsbehörden) oder entsprechende Entscheidungen für die Anwendung einer Technik (z. B. Fördermittelgeber, Betreiber oder Aufgabenträger) im Technikentwicklungsprozess zu treffen. Letztendlich soll mit dem Verfahren Wissen für die Aushandlung möglicher Entwicklungspfade zur Technik bereitgestellt werden, wodurch eine passive Annahme oder Ablehnung einer Innovation vermieden werden soll.

Nach Festlegung der methodischen Verfahrensschritte (als Antwort auf die erste Forschungsfrage) soll der entwickelte Methodikrahmen zur Anwendung an einem konkreten Untersuchungsobjekt in einem spezifischen Umfeld und in einer möglichen Zukunft kommen. Dabei geht es um die Technik von fahrerlosen kleinen Minibussen im Kontext des ländlichen Raumes im Einsatzgebiet des ÖPNV mit der zweiten Fragestellung:

Welchen Beitrag können fahrerlose Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume leisten?

Zur Beantwortung dieser zweiten Forschungsfrage standen Versuchsträger in den Projekten TaBuLa und TaBuLa-LOG zur Verfügung, mit denen anhand des entwickelten Methodenansatzes eine Bewertung als Momentaufnahme des aktuellen Stands der Technik realisiert werden soll, um aus verkehrsplanerischer Perspektive mehr Klarheit darüber zu schaffen, ob die Technik des fahrerlosen Fahrens heute oder später tauglich für den Einsatz im ÖPNV ist. Dabei sollen neben den Potenzialen die Herausforderungen und offene Punkte herausgearbeitet und Innovation mit nachhaltiger Verantwortung verbunden werden.

1.2 Vorgehensweise

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage soll durch ein Verfahren erfolgen, das es erlaubt, eine neue Technik in der Mobilität möglichst ganzheitlich zu bewerten und mit seinen Risiken und Nebenwirkungen einzuordnen. Dazu ist eine allgemeine Einarbeitung in das Thema der Technikbewertung sinnvoll. Über die Literatur wird nach verfügbaren Verfahren und Methoden zur Fragestellung gesucht. Anschließend werden die Erkenntnisse ausgewertet und in einem eigenen Verfahren mit geeigneten Methoden zusammengefügt.

Das neu entstandene Verfahren mit seinen Methoden wird anschließend auf die zweite Forschungsfrage angewendet. Für die Generierung von Wissen stand in dieser Anwendung das Testfeld mit automatisierten Versuchsträgern in Lauenburg/Elbe bereit. Nach Durchführung der vorgesehenen Verfahrensschritte und Ergebnisdarstellung gilt es, abschließend kritisch zu bewerten, ob das durchgeführte Verfahren übertragbar und das gewonnene Wissen hilfreich für Entscheidungen der Akteure und nützlich für die weitere Gestaltung der Technik ist.

1.3 Forschungslücke und Neuartigkeit

Für die Akteure in der Straßenverkehrsplanung gibt es einen umfangreichen Bestand an Regelwerken und Wissensdokumenten – in Deutschland maßgeblich von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen erstellt und von deren Verlag herausgegeben (FGSV Verlag GmbH, 2023). Es finden sich darin keine Vorgaben, wie mit neu entwickelter Technik auf den Straßen umgegangen werden kann. Etablierte und für Verkehrswegeinvestitionen empfohlene Bewertungsverfahren wie z. B. die Nutzen-Kosten-Analyse stellen sich als starre Methoden dar und beleuchten für den Zeitpunkt angesehene Werte – teils auch nur, sofern diese monetarisierbar sind (vgl. Nehring und Steierwald, 2000, S. 79–81). Weitere angewendete Verfahren zur Entscheidungsfindung (wie z. B. Wirkungs- oder Verträglichkeitsanalyse nach FGSV, 2010b) erscheinen ebenfalls nicht auf Technik anwendbar, obwohl seit über 30 Jahren Infrastruktur und Technik immer weiter in der Mobilität zusammenwachsen und in gegenseitiger und gesamtgesellschaftlicher Wechselwirkung stehen (vgl. Prätorius, 1993). Für eine Bewertung der Technik zum fahrerlosen Fahren sind damit bisher verfügbare Regelwerke, Wissensdokumente und Methoden im Bereich der Verkehrsplanung unzureichend, um eine neue Technik in der Mobilität möglichst unter allen Anforderungen einer vielfältigen Gesellschaft und in ihren Zusammenhängen zu bewerten. Aus Sicht einer nachhaltigen Verkehrsplanung, die sich einer Ganzheitlichkeit gesellschaftlicher Interessen verpflichtet fühlt, fehlt es an einem direkt nutzbaren und dynamischen sowie offenen Bewertungsverfahren, das sich neuer Technik auf den Verkehrswegen im integrativen Zusammenspiel der öffentlichen Mobilität als ein System annimmt.

Ansatz der
Straßen-
Verkehrs-
planung

Sobald es um die Technik an sich geht, existieren unzählige Verfahren, um Tauglichkeit von Technik zu bewerten oder unternehmerische Entscheidungen zu treffen (z. B. Technologie-Portfolio-Analyse, Analytischer Hierarchieprozess, House of Technology, ABC-Analyse ...) (vgl. Heubach, 2009, S. 68–76; Rummel, 2014, S. 46–74; Kröll, 2007; Scholz, 2022). Die Verfahren dienen in der Regel der Produktplanung im Sinne einer Absatz- und Gewinnmaximierung (vgl. Jischa, 2002, S. 77 f.), wobei dazu Interessen und Bedürfnisse von (späteren) Nutzenden der Technik und gesetzliche Bedingungen einfließen (Breiing und Knosala, 1997, S. 209–211 und S. 225 f.). Die Verantwortung bei der Einführung von neuer Technik in der Disziplin der Verkehrsplanung kann jedoch weitreichender sein: Sie stellt die Weichen und Rahmenbedingungen für erhebliche Investitionen in Infrastruktur und Mobilität. Daraus erwachsen Chancen und Risiken mit langanhaltenden (Neben-)Wirkungen.

Ansatz der
Produkt-
bewertung

Sobald es um die übergeordnete gesellschaftliche Einordnung einer Technik geht, übernimmt seit vielen Jahrzehnten die Disziplin der Technikfolgenabschätzung diese Verantwortung und bewertet Technik übergreifend in ihren zukünftigen Bedeutungen interdisziplinär und weitreichend (vgl. Kapitel 3.1). Die Diskussionen und Ansätze im Verkehrswesen und der Technikfolgenabschätzung scheinen weitgehend parallel zu verlaufen (vgl. Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021; Steierwald, Künne und Vogt, 2005), dabei stellen laut Steierwald, Künne und Vogt (2005, S. 399) die „[Technikfolgenabschätzung-]basierten Methoden eine gute Ausgangsbasis dar, das Methodenbewusstsein der

Ansatz der
Technikfolgen-
abschätzung

Verkehrsplanung zu schärfen.“ Den Verkehrsplanenden fehlt es neben der Aufgeschlossenheit und Vernetzung der eigenen Institutionen im Straßen- und Schienenverkehrswesen gegenüber der Technikbewertung an einem Grundlagenwerk bzw. einfach anwendbaren Ansätzen. Der Einstieg ist nicht trivial, denn zugleich gibt es neben der Technikfolgenabschätzung die Technikbewertung, die aus den Ingenieurwissenschaften geprägt wird (vgl. Kapitel 3.1). Rapp (1999, S. 5) beschreibt die Diskussionen hierzu als „gelegentlich bis hin zur Unübersichtlichkeit aufgefächert“, Grunwald (2010, S. 14) schreibt, dass „in vielen zentralen Fragen der Technikfolgenabschätzung (...) kein Konsens [besteht]“. Seit den 2000er-Jahren kommt ungemein erschwerend hinzu, dass „die damit verbundene Programmatik (...) teilweise unter anderen Termini“ zu finden ist (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 102). Vieles erscheint nicht so konkret greifbar, wie z. B. IngenieurInnen in der Verkehrsplanung sich dieses wünschen würden, um Technik in der Mobilität mit konkreten Lösungsansätzen gestalten zu können.

Schluss- folgerung für methodisches Vorgehen

Wohlwissend, dass es die *eine* Methode oder das *eine* Verfahren in der Vielfältigkeit und Interdisziplinarität der Technikfolgenabschätzung zur Ermittlung aller Folgen nicht geben kann (vgl. Bullinger, 1994, S. 39), soll diese Ausarbeitung in diese Strukturen eindringen. Für die eigenen Forschungsfragen soll hierbei zielgerichtet nach Leitlinien und einer Struktur im Rahmen einer Bewertung von Technik mit systematischer Wissensaufbereitung gesucht werden.

Unter- suchungs- objekt

Bezüglich der zweiten konkret gefassten fachlichen Forschungsfrage „Welchen Beitrag können fahrerlose Minibusse im ÖPNV leisten?“ werden Erkenntnislücken sowohl aus der Verkehrsplanung als auch aus der Technikfolgenabschätzung aufgezeigt. Seit 2016 werden vermehrt kleine Minibusse als automatisierte Versuchsträger für den Einsatz im ÖPNV eingesetzt (vgl. Kapitel 2.2.5; Antonialli, 2021, S. 14–17), die zum Teil durch Studien begleitet wurden. Es lässt sich für Außenstehende allerdings nur mit umfangreicher Recherche und Austausch mit den jeweiligen Projektbeteiligten ein Bild des Stands der Technik herstellen. Zum Zeitpunkt des Beginns dieser Ausarbeitung im Jahr 2018 schreiben Fleischer und Schippl (2018, S. 14): „Diskussionen zu den wissenschaftlich belegbaren Effekten des automatisierten Fahrens für ein nachhaltiges Mobilitätssystem stehen angesichts vieler Unsicherheiten erst am Anfang. Lienkamp (2021, S. 421) schreibt, dass „eine ehrliche und alle Aspekte umfassende Diskussion über das Robotaxi mit einer Technikfolgenabschätzung bisher noch nicht erfolgt ist.“ Bruns (2019, S. 2) spricht von einer „bisher technologie- und industriegetriebene[n] Diskussion.“ Nikitas, Thomopoulos und Milakis (2021, S. 185) geben in ihrer Literaturrecherche mit Stand Mai 2021 an, dass sich die Diskussion in der Literatur im Wesentlichen außerhalb des öffentlichen Verkehrs bewegt, obwohl dieser ein deutlich höheres Nachhaltigkeitspotenzial aufweist. Im Jahr 2022 erklären Canzler und Knie (2022, S. 195) den weiteren Handlungsbedarf für die Shuttles im ÖPNV in den Themen der Gestaltung, Zugangsmedien sowie Verknüpfungsorte. Sie kritisieren u. a. die bestehenden Strukturen von Verkehrsverbünden, Zweckverbänden sowie Verkehrsunternehmen. Dabei monieren Canzler und Knie (2022, S. 195), dass Innovationen wie das fahrerlose Fahren im öffentlichen Verkehr nicht hinreichend in die jeweiligen Zukunftsstrategien einbezogen werden. Riener et al. (2020, S. 194) weisen auf die große Wissenslücke zwischen angestrebten Zukunftsszenarien fahrerloser Fahrzeuge und dem jetzigen Wissen zu dem Thema hin. Luchmann et al.

(2019a, S. 68) empfehlen zudem weitere „Testbetriebe unter Bedingungen eines späteren Regelbetriebs durchzuführen, denn diese können wichtige Erkenntnisse zu Akzeptanz, Funktionsfähigkeit sowie Einsatzfeldern und Bedienformen liefern“ und fordern: „Für eine erfolgreiche Einführung fahrerloser ÖPNV-Fahrzeuge ist strategisch-planerisches Vorgehen gefragt. Dazu gehören weitere Forschungsaktivitäten und Testmöglichkeiten, die Konkretisierung einer Vision und Zieldefinition mit entsprechender politischer Steuerung...“ (Luchmann et al., 2019b, S. 56) An diesen Wunsch der Konkretisierung und Überprüfung einer Zieldefinition will diese Ausarbeitung, u. a. zur Wissensgenerierung für Aufgabenträger des ÖPNV, ansetzen.

Einzelne vorliegende Forschungsergebnisse zum fahrerlosen Fahren im ÖPNV weisen konkrete Fragen aus: Sonderegger et al. (2019, S. 61) fragen u. a. wie sinnvoll feste Haltestellen bei bedarfsorientierten fahrerlosen Shuttlebetrieben sind und empfehlen weitere Forschung mit Pilotversuchen. Pakusch (2020, S. 232) weist auf den Bedarf hin, im Rahmen weiterer Studien die Gruppe der Menschen mit eingeschränkter Mobilität näher zu betrachten und zu prüfen, ob diese fahrerlose Fahrzeuge nutzen können. Der Großteil der Veröffentlichungen, wie z. B. zu den Kosten des Einsatzes von fahrerlosen Fahrzeugen, ist für Individualverkehr erstellt worden. Für kleine fahrerlose Minibusse im ÖPNV ist eine Forschungslücke zu aktuellen und künftigen Kosten zu schließen. (Grote und Röntgen, 2021) Dazu kommt das Problem, dass sich Untersuchungen zum ÖPNV aus anderen Teilen der Welt aufgrund „völlig anderer“ Nahverkehrsstrukturen nicht übertragen lassen (Canzler und Knie, 2022, S. 194). Clark, Atkinson-Palombo und Garrick (2019, S. 28) schreiben, dass wer sich mit fahrerlosen Fahrzeugen befasst, nicht die mit der Technologie verbundenen Hindernisse und Kosten aus den Augen verlieren darf, um den bestehenden Hype zu durchschauen. Es ergeben sich demnach viele vorgenannte Einzelaspekte, auf die im Rahmen der weiteren Ausarbeitung noch Bezug genommen werden soll.

Welch große Relevanz eine möglichst ganzheitliche und frühzeitige Bewertung einer Technik besitzt und dass dem Grunde nach der umfassenden Generierung von Wissen zu entwickelnder Technik keine Grenzen gesetzt sind, zeigt Kapitel 3.2 mit der Bedeutung der Technikbewertung im Verkehrswesen. Um den Arbeitsumfang auf ein sinnvolles Maß zu begrenzen, wird im folgenden Kapitel eine Eingrenzung und Präzisierung der Aufgabenstellung vorgenommen.

Fahrerloses
Fahren im
ÖPNV

1.4 Eingrenzung und Zielgruppe

Qualifikation

Die Ausarbeitung erfolgt unter der Qualifizierung des Autors als Bauingenieur mit einer Vertiefung in der Verkehrsplanung. Im Rahmen der Bearbeitung sollen und können daher z. B. keine ethischen oder rechtlichen Aspekte sachgerecht vertieft werden. Eine notwendige Interdisziplinarität kann nur sehr begrenzt über Methoden mit Beteiligung von externen Personen und in möglichen Experimenten erfolgen – die Auswertung und Ausarbeitung erfolgt allein durch den Autor aus dem spezifischen, aber weitreichenden Blick der Verkehrsplanung. Ein Vollständigkeitsanspruch erscheint grundsätzlich nicht einlösbar (Grunwald, 2010, S. 163–165), was das Ziel einer möglichst umfassenden und ganzheitlichen Betrachtungsweise allerdings nicht von vornherein mindern soll. Die Ausarbeitung bedient sich eines Rahmens und Methoden, um ein umfassenderes Bild zur neuen Technik zu erhalten und dem Interesse zu folgen „Reflexität in den genannten Dimensionen [Antizipation, Inklusion und Systemdenken] zu erhöhen“ (Bösch et al., 2021a, S. 21). Es handelt sich also bei der Ausarbeitung um keine umfassende Technikbewertung, sondern um eine Wissensgenerierung und Einschätzung zur Technik unter Zurhilfenahme der Empfehlungen und Leitlinien der Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung.

Zielgruppe

Die Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur Bewertung von Technik erfolgt aus der Perspektive der öffentlichen Forschung (hier: Institut für Verkehrsplanung und Logistik der TUHH). Es soll der Forschungsgemeinschaft eine neue Vorlage in der Diskussion um eine strukturierte und ganzheitliche Bewertung von neuer Technik liefern. Im günstigen Falle finden das entwickelte Verfahren oder Teile davon Anwendung und Fortschreibung in anderen Forschungsvorhaben, die z. B. durch Institute oder beratende Institutionen bearbeitet werden. Das aus der Anwendung des Verfahrens entstehende Wissen steht grundsätzlich der Allgemeinheit zur weiterführenden Diskussion über das autonome Fahren zur Verfügung. Insbesondere (aus)handelnden Akteuren im Bereich des ÖPNV (vgl. Kapitel 6.1.4) soll es helfen, die Technik besser einschätzen zu können und sich über mögliche ungewollte Effekte zu informieren.

Mensch und ÖPNV im Fokus

Der Fokus der Analyse selbst richtet sich auf den Menschen im öffentlichen Personenverkehr (ÖPNV) bei Einsatz der Technik des fahrerlosen Fahrens. Ein von vielen genannter möglicher erstrebenswerter Zustand zur Erreichung übergeordneter gesellschaftlicher Ziele ist die vermehrte Nutzung von gemeinsam genutzten Fahrzeugen (vgl. Horn, Kiel und Lojewski, 2018; Givoni, 2018; Canzler und Knie, 2023b; Fehlberg, 2022; Pakusch, 2020; Deutsch, 2018). Dies wird als *eine* mögliche Zukunft aufgegriffen. Als erhebliche Eingrenzung des Themas wird die Bewertung von fahrerlosen Fahrzeugen als private Individualfahrzeuge nicht direkt betrachtet. Die gemeinschaftliche Nutzung von fahrerlosen Fahrzeugen wird als Schwerpunkt vorausgesetzt. Sofern in einzelnen Themen hinsichtlich des fahrerlosen Fahrens kein erkennbarer entscheidungsrelevanter Unterschied zwischen öffentlichen ÖPNV-Fahrzeugen und privatem Individualfahrzeug besteht (z. B. bei Themen wie Lesbarkeit von Fahrbahnmarkierungen oder Sensordatenfusion), besteht im Rahmen der vorliegenden Zielsetzung kein Bedarf einer Vertiefung. Ferner ist es nicht vorgesehen, eine Modellierung des Gesamtsystems der Mobilität vorzunehmen. Es wird eine elektrische Antriebsart zugrunde gelegt.

Der räumliche Fokus der zweiten Forschungsfrage zielt vorrangig auf den Einsatz fahrerloser Minibusse außerhalb urbaner Räume, da hier eine relevante Erschließungs- und Forschungslücke besteht (vgl. Börjesson, Fung und Proost, 2020, S. 11 f.; Sonderegger et al., 2019, S. 61; Richter und Rehme, 2018, S. 115; Könönen et al., 2016, S. 91 f.; Meyer et al., 2016, A-10) und weil die Begleitprojekte TaBuLa und TaBuLa-LOG die Möglichkeit auf die Verwendung von Daten im Kreis Herzogtum Lauenburg in Schleswig-Holstein als ein eher ländliches Beispiel³ ermöglichen.

Kontext in
ländlichen
Räumen

Die Ausarbeitung bildet eine Momentaufnahme des Stands einer konkreten Technik und generiert für diesen Moment Wissen. In der Schnelllebigkeit und aufgrund einer stetig voranschreitenden Technologie – wie dem automatisierten Fahren – erscheint gewonnenes Wissen schnell wieder überholt, wenn die Datengenerierung nicht laufend aktualisiert wird. Insbesondere im Hinblick auf das Steuerungs- und Kontrolldilemma darf dies allerdings kein Argument gegen eine Forschung und Ausarbeitung zu den in Kapitel 1.1 aufgeführten Forschungsfragen sein.

Moment-
aufnahme

³ Der Kreis Herzogtum Lauenburg gilt als Region mit Verstädterungsansätzen nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020). Nach Johann Heinrich von Thünen-Institut (2016) ist der Kreis Herzogtum Lauenburg als „eher ländlich bei weniger guter sozioökonomischer Lage“ zu beschreiben. Die Landesplanung Schleswig-Holstein (2020) definiert den größten Teil des Kreis Herzogtum Lauenburg als ländlichen Raum, in dem gemäß Kreis Herzogtum Lauenburg (2024) in weiten Teilen deutlich unter 150 Personen/km² leben (Ausnahme bilden fünf Städte und Amt Hohe Elbgeest).

1.5 Aufbau der Arbeit

Nachdem in **Kapitel 1** die **Ausgangssituation**, die **Herausforderungen** und die **Forschungsfragen** erläutert wurden, wird im **Kapitel 2** das Thema **Autonomes Fahren** auf Grundlage von Literaturrecherche und erfolgten Ortsbesuchen bei automatisierten ÖPNV-Projekten im Realbetrieb erschlossen. Zudem werden die entsprechenden Begrifflichkeiten definiert und die Treiber der Entwicklung aufgezeigt.

Im **Kapitel 3** wird das Thema der **Bewertung von Technik** mittels Literaturrecherche aufbereitet. Dabei erfolgt ebenfalls die Definition von Begrifflichkeiten.

Mit den in den Kapiteln 1 bis 3 gewonnenen Grundlagen, Fragen und Zielsetzungen werden Suchkriterien festgelegt, anhand derer sich eine weitere Recherche und Zusammenstellung in **Kapitel 4** zu **verfügbaren Verfahren und Methoden** in der Bewertung von Technik anschließt. In diesem vierten Kapitel werden Empfehlungen abgeleitet, wie bei der selbst durchzuführenden Bewertung von Technik vorzugehen ist und welche konkreten Methoden dafür hilfreich sein können.

Im **Kapitel 5** erfolgt auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse die **Entwicklung** des eigenen Verfahrens, um damit einen Vorschlag zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage zu schaffen: „Wie kann frühzeitig eine technische Innovation im Verkehrswesen ganzheitlich bewertet werden?“ Gleichzeitig wird hier der Rahmen und das Vorgehen samt Methoden systematisch und strukturiert aufbereitet, um die zweite Forschungsfrage im darauffolgenden Kapitel zu beantworten.

Das entwickelte Verfahren aus Kapitel 5 wird überführt in das **Kapitel 6** zur **Anwendung**, um damit die zweite Forschungsfrage „Welchen Beitrag können fahrerlose Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume leisten?“ beantworten zu können. Unter Erprobung der zuvor festgelegten Verfahrensschritte und identifizierten Methoden wird Wissen zu vielfältigen Aspekten generiert und verknüpft. Dieses Kapitel stellt den Hauptbeitrag dieser Ausarbeitung und liefert die Zuarbeit zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen.

Die konkrete **Beantwortung der Forschungsfragen** erfolgt in den **Kapiteln 7 und 8**.

Das **Kapitel 9** reflektiert in der **Schlussbetrachtung** zusammenfassend gewonnene Erkenntnisse und Wissen sowie die Übertragbarkeit mit einem Ausblick auf weiteren Handlungs- und Forschungsbedarf.

Die Abbildung 1-1 stellt das Vorgehen und den Aufbau der Arbeit in einem Ablaufdiagramm dar.

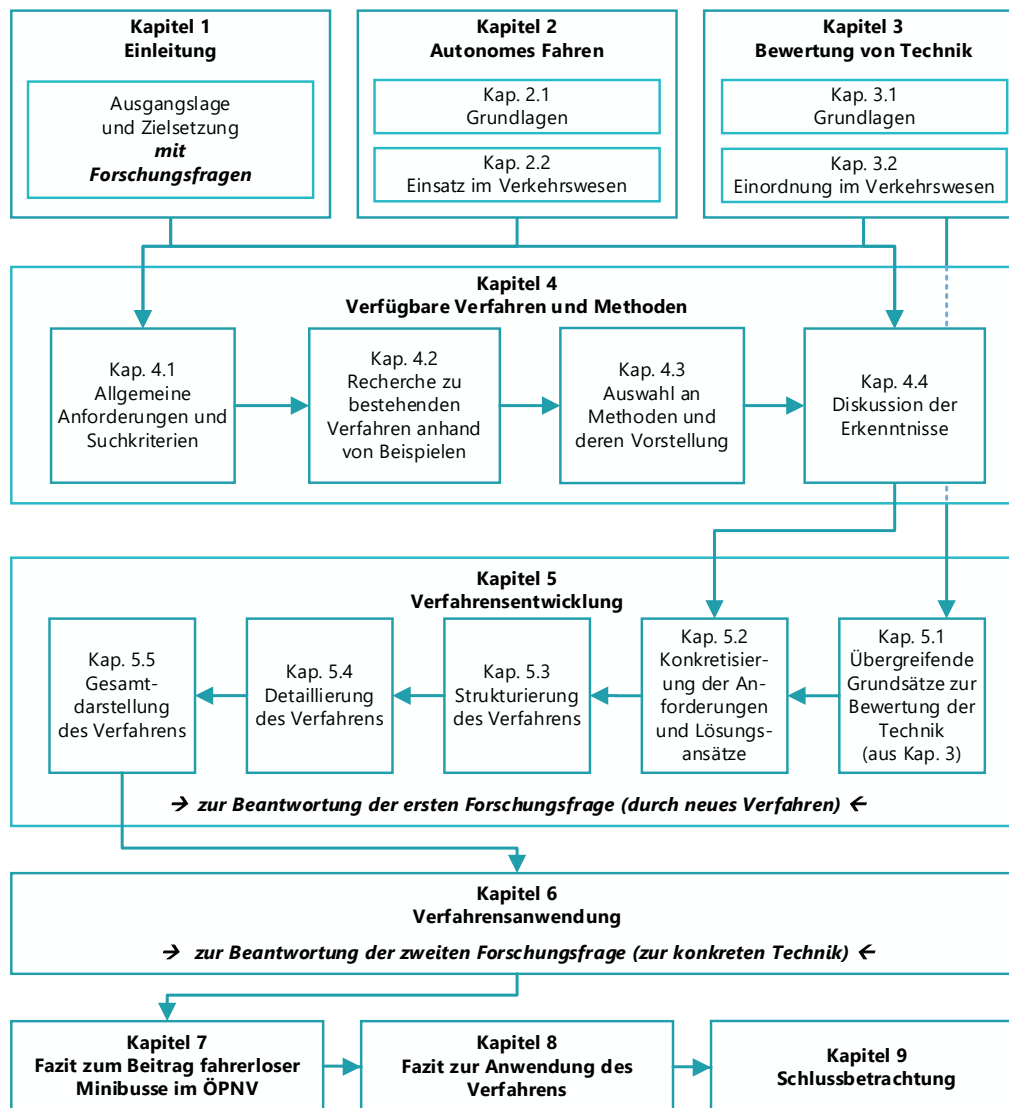


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung)

2 Autonomes Fahren

In diesem Kapitel wird ein Grundwissen zum autonomen Fahren erarbeitet, das für die folgenden Kapitel ein Verständnis der weiteren Ausarbeitung ermöglicht.

Ausgehend von den Grundlagen und der Definition des autonomen bzw. fahrerlosen Fahrens in Kapitel 2.1 werden in Kapitel 2.2 Einblicke zum Einsatz im ÖPNV gegeben und dabei die aktuellen Herausforderungen jeweils kurz erläutert.

2.1 Grundlagen

In diesem Unterkapitel erfolgt nach einem kurzen Rückblick über die Entwicklung der Automatisierung in Kapitel 2.1.1 die Begriffsdefinition des autonomen Fahrens in Kapitel 2.1.2. Für die weitere Bearbeitung ist es zudem von Bedeutung, dass ein grundsätzliches Verständnis der verwendeten Technik und Sensorik in Kapitel 2.1.3 geschaffen sowie ein Einblick in die Vorteile und Treiber der Automatisierung in Kapitel 2.1.4 gegeben wird, um damit in das nachfolgende Kapitel 2.2 zum Einsatz des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV überzuleiten.

2.1.1 Rückblick

Von der Mechanisierung zur Automatisierung entstand ein fließender Übergang von einfacher Steuerungstechnik bis hin zur elektronischen Computersteuerung, welche in den letzten Jahrzehnten maßgeblich durch eine immense Zunahme der Leistungsfähigkeit elektronischer Bauelemente bestimmt wurde (vgl. Weck und Brecher, 2006, S. 2 ff.). In der Automobilindustrie entwickeln sich Ideen und Konzepte von unterstützenden Systemen seit langer Zeit. In den 1960er Jahren waren es Systeme wie die Zentralverriegelung, in den 1990er Jahren konnten fahrsicherheitsrelevante Systeme wie z. B. das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) und automatisch dimmende Spiegel in die Fahrzeuge integriert werden (vgl. Abbildung 2-1).

1910	1950	1980	2000	2010
1912 Automatische Zündungssteuerung	1953 Knautschzone	1981 Service-Intervall-Anzeige	2003 Aktive Vorderachslenkung	2010 Aktiver Toter-Winkel-Assistent
1913 Elektronischer Anlasser	1954 Abblendbare Spiegel	1985 Hydraulische Wegfahrsperre	2003 Adaptiver Tempomat Stop&Go	2011 Notbremsassistent mit Personenerk.
1921 Scheibenwischer	1955 Automatisierte Dreigang-Automatik	1986 Intervallscheibenwischer	2004 Spurhaltewarnsystem	2011 Nachtsichtfunktion
1930 Bremskraftverstärker	1956 Lichtblinker	1987 Antriebsschlupfregelung	2005 Abstandsgeregelter Bremsassistent	2012 Fußverkehrs-Airbag
1940 Automatikgetriebe	1958 Servolenkung	1989 Automatisch abblendbare Spiegel	2005 Kollisionswarnung mit Teilbremsung	2012 Seitensteuerungsassistent
	1958 Dreipunkt-Sicherheitsgurt	1991 Ultraschall-Einparkhilfe	2006 Spurhalteassistent	2012 Querverkehrswarnung
	1963 Zentralverriegelung	1994 Elektronisches Traktions-System	2006 Teilautonome Einparkhilfe	2013 Stauassistent
	1963 Klimaanlage	1994 Navigationssystem	2006 Spurwechselassistent	2014 Automatisierter Parkassistent
	1973 Airbag	1995 Elektronisches Stabilitätsprogramm	2006 Fernlichtassistent	2014 Anhängerassistent
	1975 Tempomat	1995 Scheibenwischer-Regensensoren	2006 Lichtassistent	2014 Autom. Notrufsystem (eCall)
	1977 Geschwindigkeitsabh. Servolenkung	1996 Bremsassistent	2007 Spritsparassistent	2014 Notbremsassistent mit Personen-, Fahrrad- und Tiererkennung bei Nacht
	1978 elektronisches Antiblockiersystem	1998 Telematiksystem	2007 Toter-Winkel-Assistent	
	1978 elektronische Klimaanlage	1998 Dynamische Navigation	2008 Kurskontrolle	2015 Baustellenassistent
		1998 Adaptiver Tempomat	2009 Erkennung von Schläfrigkeit	Einpark- und Autobahn-pilot
			2009 Automatisierte Notbremse	Autom. Fahrspurwechsel im Notfall
1949	1979	1999	2009	

Abbildung 2-1: Entwicklung und Einführung von sicherheitsrelevanten Systemen inkl. Assistenz- und Automatisierungssysteme (Auswahl) bei Kfz (eigene Darstellung auf Grundlage von Sonka (25. August 2022))

Mit dem Loslassen des Lenkrades, z. B. beim Einparkassistenten, sehen viele Nutzende das autonome Fahren durchscheinen. Doch nicht nur bei diesem Assistenzsystem ist die Überwachung der Technik durch den menschlichen Fahrenden noch von entscheidender, sicherheitsrelevanter und rechtlicher Bedeutung. Dabei geht in der Öffentlichkeit von den Begrifflichkeiten vieles durcheinander. Wo beginnt das autonome Fahren?

2.1.2 Automatisiertes, autonomes oder fahrerloses Fahren?

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) hat zu Beginn der 2010er Jahre verschiedene Stufen der Automatisierung ausgearbeitet (Gasser, 2012). Diese Stufen wurden im weiteren Verlauf von der Society of Automotive Engineers (SAE) fortgeschrieben (Shi et al., 2021) und gingen 2014 in einer internationalen Richtlinie „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles“ (J3016:2021) auf und sind als internationaler Standard für die Definition der Automatisierungslevel von Fahrzeugen zu sehen (Jipp und Lemmer, 2022).

Die Level unterscheiden sich maßgeblich darin, welche Funktionen und Aufgaben jeweils dem Fahrenden und dem System zugeordnet werden. Während im Level 0 der Fahrende alle dynamischen Fahraufgaben übernimmt und ggf. durch Systeme wie Anti-Blockier-System unterstützt wird, kann im Level 5 das System alle Fahrmodi übernehmen und Mitfahrende benötigen demnach keine Qualifikation für das Bedienen des Fahrzeuges. Umgekehrt benötigt auch das Fahrzeug keine Person mehr für die Fahraufgaben unter

jeglichen Umgebungsbedingungen. (vgl. Singh et al., 2021; Beck, 2017) Abgeleitet von Donges (2015) ist für diesen Zustand gemäß Wachenfeld et al. (2015, S. 34–37) ein „vollautonomes Fahrzeug“ notwendig. Diese Definition wird von Wachenfeld und Winner (2015) erweitert um die Annahme, dass die Ausführung der Fahraufgabe auf Basis maschinell autonomen Verhaltens, innerhalb eines vorher festgelegten Verhaltensrahmens, geschieht. (Maurer et al., 2015, S. 3 f.)

Für den Laien entsteht vor Erreichen dieses Levels 5 eine sehr unübersichtliche Situation, u. a. dadurch, dass sich ein und dasselbe Fahrzeug je nach Umfeldbedingungen auf verschiedenen Leveln bewegen könnte (Beispiel: Level 4 im Parkhaus, Level 3 auf zweibahnigen Straßen, Level 2 auf Landstraßen und Level 0 im Bereich von Baustellen). Für Zukunftsszenarien des ÖPNV mit dem Menschen im Fokus ist weniger die technische Klassifizierung des Fahrzeuges als eine klare Definition aus Fahrgastsicht von Bedeutung. Für die weitere Ausarbeitung wird deshalb für die Perspektive eines Fahrgastes im ÖPNV eine eindeutige Definition gefunden: Der mit dem autonomen Fahren angestrebte Zustand tritt demnach *für den Fahrgast* (nach der Richtlinie J3016:2021 „passenger“) ein, sobald dieser ohne Qualifikation für die Fahraufgabe ein Fahrzeugsystem nutzen kann *und* sich kein Fahrzeugführender im Fahrzeug befindet. Nach dieser Definition kann *autonomes Fahren* aus Sicht eines Mitfahrenden ebenso im Level 3 oder 4 eintreten, indem ein Fahrzeug

- die Steuerung im Einzelfall durch eine qualifizierte Person (remote driver) per Fernsteuerung für Freigaben oder Fahrfunktion des Fahrzeuges übernommen wird (technisch äußerst anspruchsvoll) oder
- in begrenzten Räumen geringerer Komplexität betrieben wird.

Das System muss sich unabhängig davon immer (auch ohne externen Eingriff) in einen risikoarmen Zustand versetzen können. Dabei ist ohne Bedeutung, ob sich mehrere oder ein oder kein Mitfahrender (Fahrgast) im Fahrzeug befindet. Für die Definition aus Fahrgastsicht wird im weiteren der Begriff **fahrerloses Fahren** verwendet, den Flämig (2015, S. 385) für den Güterverkehr analog definiert. Daraus folgt für die Perspektive eines Mitfahrenden auf autonomes Fahren (dargestellt in Abbildung 2-2):

- Der Begriff *automatisiertes Fahren* wird im Weiteren für den Zustand der Technik verwendet, in dem noch ein Fahrzeugführender oder geschulter Begleitender im Fahrzeug notwendig ist.
- *Fahrerloses Fahren* wird für den Zustand der Technik verwendet, in dem ein Fahrgast ohne Schulung oder Einweisung und ohne Verantwortung für die Fahraufgabe das Fahrzeug nutzen kann, ohne dass eine weitere Person im Fahrzeug sein muss, um das Fahrzeug zu bewegen.
- *Autonomes Fahren* wird für die allgemeine Technologie mit dem Ziel des fahrerlosen Fahrens im übergreifenden Themenkomplex verwendet.

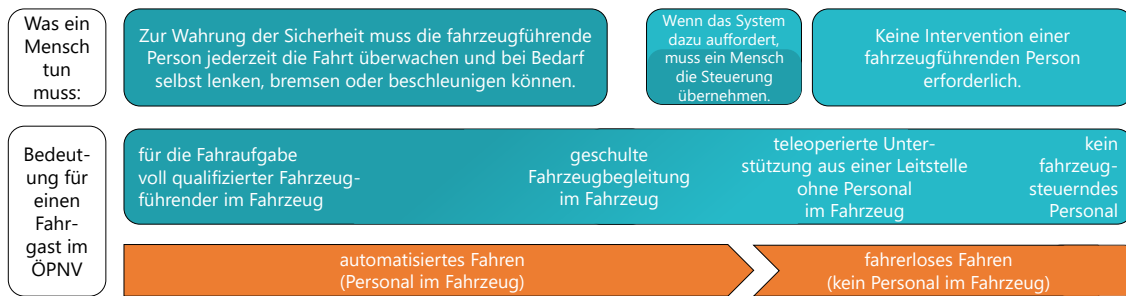


Abbildung 2-2: Definition des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV (eigene Darstellung)

Aktuell ist kein Fahrzeug im Level 5 verfügbar. Ebenso gibt es derzeit weltweit noch kein ÖPNV-Fahrzeug für Level 4 im öffentlichen Mischverkehr, das sich zuverlässig allen Umgebungs- und Umfeldbedingungen anpasst und gleichzeitig ohne besondere Voranmeldung (und dabei Bestätigung von Mitfahrbedingungen oder -risiken) für Mitfahrende zugänglich wäre.⁴ In Deutschland ist seit Frühjahr 2023 das erste Fahrzeugmodell für Level 3 für bestimmte Umgebungsbedingungen im öffentlichen Straßenraum zugelassen worden und für den Endverbraucher käuflich (Gasser, 7. März 2023). Losgelöst von der zuvor beschriebenen Definition ist die Bedingung, dass ein Mitfahrender (ohne Schulung oder Einweisung) in jedem Level immer in besonderen Situationen über einen Notruf und eine leicht bedienbare Notbremse o. ä. in das System eingreifen können muss (vgl. bestehende SPNV-Systeme).

2.1.3 Technik der Automatisierung in Fahrzeugen

Immer bessere und günstigere Sensoren sowie steigende Leistungsfähigkeit von Computer- und Grafikprozessoren ermöglichen den mobilen Einsatz technischer Systeme auf der Straße. Ultraschall- und Radarsensoren befinden sich im breiten Einsatz in Fahrzeugen für Assistenzsysteme wie die Einparkhilfe. Mono- und Stereokameras unterstützen z. B. Spurhalte- und Stauassistenten. Hinzu kommen seit einigen Jahren LiDAR-Sensoren (Abkürzung für „Light Detection And Ranging“), die eine optische Abstandsmessung bei den meisten Außenweltbedingungen durchführen können. Ein LiDAR-System an einem Fahrzeug strahlt Laserimpulse ab und kann aus den Reflektionen den Abstand zwischen Sensor und dem reflektierenden Objekt ermitteln. Im Abgleich mit einer (vorher erstellten) digitalen Karte des Umfeldes kann das System sich orientieren und differenzieren, welche Objekte in der Umgebung dauerhaft bestehen (da identisch mit der digitalen Karte, wie z. B. Gebäude) und welche Objekte in der Momentaufnahme neu in der Umgebung auftreten. Es ist möglich auf Basis der erfassten Punktwolken diese Objekte zu klassifizieren und Trajektorien für die Bewegungsrichtung der Objekte zu ermitteln (z. B. Erkennung eines Kfz und ob sich dieses auf Kollisionskurs befindet). In Verbindung mit einer genauen GNSS-Positionsermittlung ist dies das derzeit maßgebliche System, das in den bisherigen Shuttle-Projekten eingesetzt wurde. Bei höheren Geschwindigkeiten gewinnen vor allem Radar-Systeme an Bedeutung, die über größere Distanzen und eine bessere Geschwindigkeitsauflösung messen können.

⁴ Stand 12/2024

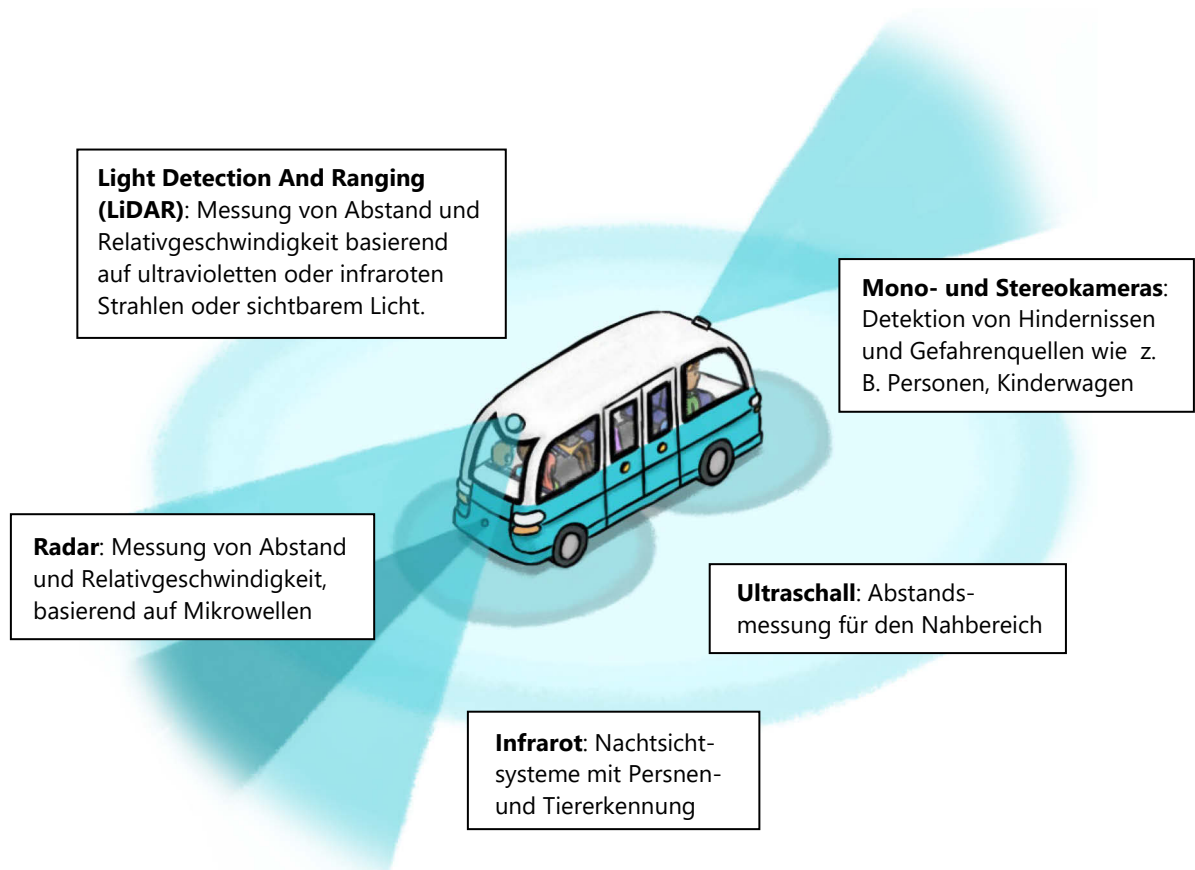


Abbildung 2-3: Sensorsysteme (Auswahl) für das automatisierte Fahren
 (eigene Darstellung auf inhaltlicher Grundlage Eymann (2019)
 und Hintergrundbild von Thelosen (2025))

Die zuvor beschriebene LiDAR-Technik ermöglicht es über Punktwolken das zu verarbeitende Datenvolumen für aktuelle Computersysteme handhabbar zu halten. Die zweite vielversprechende Technik für das autonome Fahren sind Kamerabilder, die bei entsprechenden Außenbedingungen eine deutlich höhere Objektqualität erfassen können (Tiefe, Farbe, Auflösung ...), aber größere zu verarbeitende Datenmengen produzieren.

Eine zuverlässige Objekterkennung und -klassifizierung ist eine wichtige Grundlage für hohe Automatisierungslevel und den Wegfall des Fahrenenden. Um die Verlässlichkeit der Objektklassifizierung deutlich zu erhöhen, arbeiten viele Unternehmen an KI-Algorithmen, um die Leistungsfähigkeit im Umgang mit den vielfältigen Umgebungseinflüssen zu steigern.

Der Mensch wird bei der Nutzung eines Kfz bereits durch viele Assistenzsysteme, die Informationen über Sensoren gewinnen, unterstützt (vgl. Abbildung 2-1). Anspruchsvolle Umgebungsbedingungen wie Schnee- oder Laubfall, Starkregen oder Nebel, Sonneneinstrahlung etc. können allerdings zu Beeinträchtigungen der Qualität der jeweiligen Sensordaten führen. Trotz laufender Weiterentwicklung der einzelnen Sensoren ist die Überlagerung der Eingangsdaten mehrerer Sensoren entscheidend, um

zuverlässige Informationen vom Umfeld zu gewinnen, damit vom System sichere Fahrentscheidungen getroffen werden können. Liefert die beschriebene Sensordatenfusion verlässliche Daten des Umfeldes, obliegt es der Leistungsfähigkeit des Systems im Fahrzeug in Verbindung mit weiteren Informationen (wie Zielangabe, Verkehrslage, Informationen von Infrastruktur oder anderen Fahrzeugen ...) Fahrentscheidungen zu treffen, die sicherer sein sollen als die eines menschlichen Fahrennden. Dabei ist es in der Verantwortung des Menschen entsprechende Vorgaben im System für die Entscheidungen zu implementieren (vgl. Kapitel 2.1.2 zur Definition des autonomen Fahrens).

Die durchgängig zentimetergenaue Ortung der Fahrzeuge ist entscheidend, damit insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten immer gewährleistet ist, dass sich ein Fahrzeug nicht jenseits der zulässigen Straßen und Wege befindet (z. B. im Gegenverkehr) und die Zielführung überhaupt möglich wird. Im Optimalfall läuft diese Positionierung redundant über GNSS inkl. Referenzsignal, Umgebungs-Kartenabgleich, Erfassung von Markierung/Landmarker und Odometrie. Die notwendige Ortungsstabilität stellt, insbesondere bei geringer Satellitenverfügbarkeit und wenig Orientierungspunkten in der Umgebung, bei allen laufenden Projekten noch eine Herausforderung dar. (vgl. Gertz et al., 2021)

Weitere sehr große Herausforderungen des autonomen Fahrens liegen nach eigenen Erfahrungen und Beobachtungen (vgl. Gertz et al., 2021) in komplexen Verkehrssituationen wie dem Einbiegen oder Überholen und Einfädeln im schnellen Verkehr, bei aktuellen Änderungen an der Verkehrsführung auf den Fahrwegen (z. B. Tagesbaustellen), der optimalen Reaktion auf ankommende Rettungsmittel mit Sonder- und Wegerechten und auf Strecken ungünstiger Orientierungseigenschaften (z. B. Waldwege) oder dem Verhalten im Pannenfall.⁵

2.1.4 Vorteile, Treiber und Erwartungen

Die Forschung und Entwicklung der Technik des autonomen Fahrens ist aufwendig und kostenintensiv. Für Unternehmen besteht ein betriebliches Risiko entweder von der Konkurrenz abgehängt zu werden oder dass sich getätigte Investitionen nicht auszahlen (vgl. Kröger et al., 2022, S. 82). Die Strategien der Automobilindustrie und deren Zulieferer von Hard- und Software gehen teils weit auseinander: Während sich einige Hersteller – insbesondere im klassischen ÖPNV-Fahrzeugsektor – derzeit auf die Elektromobilität fokussieren, investieren andere Hersteller Beträge in Milliardenhöhe in die Weiterentwicklung des automatisierten Fahrens. (vgl. Kaleta, 11. Juni 2021; Redaktionsnetzwerk Deutschland, 13. Oktober 2022; Hofer und Holtermann, 18. Oktober 2022; Lierzer und Schumann, 2020; Reuters, atb und dpa, 26. Oktober 2022; Kröger et al., 2022,

⁵ Diese und weitere vertiefende Inhalte zum Thema des autonomen Fahrens sind zu finden in Strijbosch (2018); Schrepfer et al. (2018); Kröger et al. (2022); Wachenfeld und Winner (2015); Winner (2015); Iclodean, Cordos und Varga (2020); Gertz et al. (2021).

S. 10) Warum wird in die Entwicklung des autonomen Fahrens trotz aller Risiken und fehlendem Durchbruch so viel Zeit und Geld investiert?

Nachfolgende erhoffte Vorteile sorgen dafür, dass die Entwicklung des automatisierten Fahrens zum fahrerlosen Fahren weiterverfolgt wird (vgl. Kallmeyer, 2019; Agora Verkehrswende, 2020; Lierzer und Schumann, 2020; Just et al., 2020, Kröger et al., 2022; Kaiser und Malanowski, 2020, S. 18 f.; Klinge, Kallmeyer und Pöstges, 2020, S. 9–11; BMDV, Dezember 2024, S. 3):

- Reduzierung der Kosten für Gütertransport und Personenbeförderung auf dem sehr großen Mobilitätsmarkt.
- Steigerung der Verkehrssicherheit durch Reduzierung der aktuell maßgeblichen Unfallursache des menschlichen Fehlverhaltens.
- Andersartige Nutzung der gewonnenen Zeit für die Mitfahrenden unter Komfortgewinn durch vorab programmierte Fahrweisen.
- Bessere gesellschaftliche Teilhabe von Personen ohne Fahrerlaubnis, Älteren und Menschen mit Behinderung, Medikamentenkonsum o. ä.
- Reduzierung der Umweltauswirkungen durch Optimierung des Verkehrsflusses, eine vorausschauende Fahrweise und systemoptimierte Routen- und Lade-/Betankungsvorgänge sowie eine Reduzierung der Gesamtverkehrsleistung der Kfz (im Falle von geteiltem Fahren).
- Steigerung der Verfügbarkeit und Flexibilität der öffentlichen Verkehre durch bessere zeitliche und räumliche Erreichbarkeit mit Möglichkeiten zur Daseinsvorsorge.
- Flächengewinn durch einen künftig verlagerten Abstellort, optimierte Parkhäuser und/oder Reduzierung der Gesamtzahl der Fahrzeuge (im Falle von mehreren Nutzenden pro Fahrzeug).
- Effektivere Nutzung bestehender Infrastruktur durch Optimierung des Verkehrsflusses, der Reduzierung von Fahrstreifen, der Parksuchverkehre und Parkplatzflächen sowie mögliche Teilung von Fahrzeugkapazitäten unter mehreren Nutzenden mit einer geringeren Anzahl an Fahrzeugen insgesamt.
- Bessere Informations- und Kommunikationslage durch die mit der Automatisierung verbundene Vernetzung.
- Höherer Fahrkomfort und Zufriedenheit bei Mitfahrenden durch weniger Stress während der Fahrt durch Entfall der Fahrtätigkeit.
- Neues Marktpotenzial z. B. für Softwareentwickelnde, Sensorhersteller, Lieferanten digitaler Karten, Mobilitätsmanagement, Entertainment-Branche, neue Fahrzeughersteller und Unternehmen im ÖPNV.
- Begegnung eines Mangels an Berufskraftfahrenden im Personen- und Güterverkehr.

Aus den vorstehenden vielfältigen Gründen heraus sind verschiedenste Akteure am autonomen Fahren interessiert, auf die im späteren Kapitel 6.1.4 explizit eingegangen wird. Auf die Bewertung der Vorteile sowie Hemmnisse und Risiken des automatisierten und fahrerlosen Fahrens wird im Kapitel 6 eingegangen. Eine konkrete Einschätzung zu den vorgenannten Vorteilen, Treibern und Erwartungen erfolgt am Ende von Kapitel 6.6.5.2.

2.2 Einsatz im öffentlichen Personenverkehr

Den bereits funktionierenden öffentlichen Einsatz des fahrerlosen Fahrens im Schienenverkehr mit seinen Vorteilen beschreibt das nachfolgende Kapitel 2.2.1. Mögliche potentielle Einsatzfelder des fahrerlosen Fahrens in flexiblen Bedienformen des öffentlichen Personenverkehrs (ÖPNV) werden in den Kapiteln 2.2.2 und 2.2.3 benannt, Förderprogramme und Testfelder werden in den Kapiteln 2.2.4 und 2.2.5 vorgestellt.

2.2.1 Fahrerloses Fahren im schienengebundenen ÖPNV

In mehr als einem Dutzend Städten in Europa fahren S- und U-Bahnen fahrerlos. Dabei handelt es sich um eigenständige Gleiskörper und Stationen, die üblicherweise zur ersten Inbetriebnahme entsprechend geplant wurden. So sollen laut Allianz pro Schiene diese Systeme 2016 eine Milliarde Fahrgäste pro Jahr transportiert haben. (Mauersberg, 30. November 2016) Während in Kobe in Japan im Jahr 1981 der weltweit erste vollautomatische Betrieb realisiert wurde (Muth, 2019, S. 28), fährt in Deutschland seit 2008 die U-Bahn-Linie U3 in Nürnberg fahrerlos (Stadt Nürnberg, 2022). Im Gegensatz zum Straßenverkehr werden diese Züge auf einem separaten und geschützten Verkehrsweg geführt und es liegt eine schienengebundene Führung vor, was die Komplexität reduziert (vgl. Muth, 2019, S. 27) und keine direkte Automatisierung der Lenkung erforderlich macht. Es entstehen im straßengebundenen Verkehr weit mehr Interaktionen mit externen Akteuren, wie mit dem Fußverkehr oder Tieren durch die freie Zugänglichkeit der Verkehrsräume inkl. der Benutzung durch andere manuell gefahrene Fahrzeuge. (vgl. Lamberg, 2022b) In Anbetracht dieser reduzierten Komplexität wird bei schienengeführten U-Bahn- oder Metrolinien der fahrerlose Betrieb beim Neubau attraktiv, obwohl die Einsparungen der Kosten für Fahrpersonal im Vergleich von Bahn zu einem Linienbus oder Taxi pro Fahrgast marginal sind. Die maßgeblichen und nachweisbaren Vorteile der fahrerlosen Bahnsysteme gegenüber manuell gefahrenen Zügen liegen in der größeren Leistungsfähigkeit bei höherer Taktdichte, flexiblem Fahrzeugeinsatz, höherer Pünktlichkeit, geringerem Energieverbrauch und größerer Sicherheit im Fahrweg (vgl. Singh et al., 2021; Trentesaux et al., 2018).

2.2.2 Flexible Angebotsformen außerhalb urbaner Räume

Während schienengebundene Systeme stark frequentierte Ziele und Quellen von Fahrgästen verbinden und eine große Nachfrage bündeln können, verhält sich die Situation außerhalb der Ballungsräume abweichend und dispers: Bei geringerer Siedlungsdichte lassen sich die Verkehre nicht mehr entsprechend bündeln und andere Angebotsformen im ÖPNV erscheinen notwendig. Bereits seit vielen Jahrzehnten existieren dafür verschiedene flexible Bedienformen im ÖPNV. (vgl. Etschberger, Mueckli und Klamt, 1977; Schmitt, 1978; Mehlert und Schiefelbusch, 2018; Hoffmann, 1993) In Deutschland kam dabei „bisher noch keine bedarfsgesteuerte Personensammelbeförderung (Ridepooling) auf Dauer ohne eine öffentliche Finanzierung [aus]“ (Mehlert und Schiefelbusch, 2018, S. 33). Im Planungsleitfaden zu „Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen“ (BMVI, 2016b) verbindet das BMVI (heute BMDV) flexible Angebotsformen wie Ridesharing mit ehrenamtlichem Engagement und Unterstützung der Bevölkerung vor

Vielfalt der Angebote

Ort (BMVI, 2016b, S. 38) und bilanziert, dass es sich bei öffentlich organisiertem flexiblen ÖPNV „in der Praxis häufig um ‚Mischungen‘ auf der Basis [verschiedener] Genehmigungsformen“ handelt. Die Akzeptanz dieser alternativen Angebotsformen ist im Allgemeinen nicht hinreichend (Mehlert und Schiefelbusch, 2018, S. 33; Dasen und Brändli, 1999, S. 6 und S. 43; Franke und Dettenkofer, 2021; Schramek et al., 2017). Gemäß BMVI (2016b, S. 24) haben viele Verkehrsunternehmen oder Aufgabenträger spezielle „Marketingbegriffe“ eingeführt, sodass inzwischen nicht mehr von einheitlichen Bezeichnungen für dieselbe Angebotsform ausgegangen werden kann, was „besondere Anforderungen in der Marktkommunikation und in der Fahrgastinformation zur Folge hat.“ Der Leitfaden des BMVI erwähnt als Mindestanforderung, dass „die Kunden vor Ort Bescheid wissen“, was insgesamt die verkehrsplanerisch unbefriedigende Gesamtsituation des ÖPNV in den vielfältigen ländlichen Räumen verdeutlicht.

Definition

Als Sammelverkehre werden in dieser Ausarbeitung flexible Bedienformen verstanden, die nicht an Fahrwege und Fahrpläne gebunden sind und im Flächenbetrieb auf konkrete Anforderung eines oder mehrerer Fahrgäste für eine gewünschte Start-Ziel-Relation aktiviert werden. Dabei kann dasselbe Fahrzeug mit weiteren Fahrgästen mit Start- oder Ziel-Orten nahe der Relation gleichzeitig genutzt werden.

Potenzial in ländlichen Räumen

Bezogen auf die aufgezeigten Herausforderungen der ländlichen Räume im Hinblick auf Daseinsvorsorge und Erreichbarkeiten suchen Wehmeier und Koch (2010) nach Lösungen und weisen auf den erheblichen Forschungsbedarf und die Potenziale von Sammelverkehren in diesen Räumen hin: „In diesem Kontext können flexible Bedienungsformen im ÖPNV eine vielversprechende Lösungsmöglichkeit darstellen. (...) Hier ist kreative Verkehrsplanung gefragt, denn vielfach orientieren sich die Verkehrsangebote noch an alten Schulbuslinien. (...) Angepasste Linien- und Angebotsstrukturen können daher Chancen für neue Nutzergruppen eröffnen.“ (Wehmeier und Koch, 2010, S. 464). Lütjens et al. (2018, S. 516) heben das Thema unter der Überschrift „Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs“ hervor: „Diese Beschleunigung bedarfsorientierter Bedienkonzepte wird durch Digitalisierung ermöglicht und stellt eine neue Herausforderung für die Verkehrs- und Mobilitätsforschung dar.“ Bestehende Anbieter und Innovationen mit Bedarfstransporten sollen demnach gestärkt und gefördert werden. Die erheblichen Potenziale und Chancen der differenzierten Bedienung durch Sammelverkehre werden auch von Kloth und Mehler (2018) beschrieben und der Handlungsbedarf hinsichtlich größerer Auseinandersetzung der Entscheidenden und Verantwortlichen mit der Suche nach einer kundenorientierten, integrierten und ganzheitlichen Lösung unter Berücksichtigung von Sammelverkehren im Zuge der Digitalisierung aufgezeigt (dazu auch: König et al., 2016). Gies und Langer (2021) beschreiben, dass sich seit wenigen Jahren moderne Angebotsformen großer Aufmerksamkeit in Fachöffentlichkeit und Politik erfreuen, sodass derzeit viele neue Impulse in der Entwicklung stattfinden und für größere Einzugsgebiete neue Angebote, z. B. mit Freyfahrt (Freyung), hvv hop (Hamburg), MOIA (Hamburg/Hannover) und sprinti (Region Hannover) entstehen.

2.2.3 Kombination fahrerloses Fahren und flexible Angebotsformen

„So wird durch den Wegfall des Fahrpersonals der entscheidende Kostenfaktor eliminiert, der Bedarfsverkehrssysteme plötzlich leistbar bzw. finanziell selbsttragend machen kann.“ formulieren Klementsitz et al. (2019, S. 553) die Hoffnung, die mit dem fahrerlosen Fahren in flexiblen Angebotsformen verbunden wird. So ist bei Taxis und Minibussen in diesen Betriebsformen der Anteil der Personalkosten mit 55 bis 61 % an den Gesamtkosten bisher besonders relevant und der Hebel zur Kostenreduzierung entsprechend hoch (Grote und Röntgen, 2021, S. 20–25). Zudem werden weitere Vorteile erwartet, die in Kapitel 2.2.1 für die bereits in Betrieb befindlichen schienengebundenen Systeme festgestellt wurden. In einer Untersuchung zu Erreichbarkeitswirkungen fahrerloser Fahrzeuge in ländlichen Räumen wird von der ETH Zürich herausgearbeitet, dass in der Landnutzung ein substantieller Erreichbarkeitsgewinn möglich wird, allerdings ein Konkurrenzverhältnis zum heutigen ÖPNV entsteht (vgl. Meyer et al., 2016, S. 10). Eisinger et al. (2023, S. 134 f.) stellen konkrete Mehrwerte heraus, die sich durch die bessere Erschließung von Unternehmensstandorten abseits eines dichten ÖPNV-Netzes oder einer Begegnung der stark schwankenden Nachfrage im Freizeitverkehr ergeben. Einige Teilräume würden nach Eisinger et al. (2023, S. 147) tendenziell besonders von einer verbesserten Erreichbarkeit profitieren wie „Randlagen der urbanen Gebiete (...), Gebiete mit Bahnanschluss (vor allem in peripheren Lagen) und die Umgebung von Zentren der Klein- und Mittelstädte.“ Insgesamt wird eine Symbiose von flexiblen Angebotsformen und dem fahrerlosem Fahren erwartet, wobei viele Konsequenzen nicht prognostizierbar sind und weiterer Forschung bedürfen. (vgl. Bernhart et al., 2018b; Sonderegger et al., 2019; Perret et al., 2020; Mörner, 2018; Bruns, 2019; Dreßler et al., 2019). „Soweit möglich soll dies durch Pilotversuche oder Tests im Vorfeld erfolgen. So können auch Erfahrungen gesammelt und Erkenntnisse zu verkehrlichen, räumlichen und umweltrelevanten Wirkungen gewonnen werden.“ (Perret et al., 2020, S. 202) Neben den bereits beschriebenen Herausforderungen des autonomen Fahrens kommen bei einem Einsatz als fahrerlose Sammelverkehre im ÖPNV noch weitere Forschungsthemen, wie z. B. die Kommunikation mit Fahrgästen, die Nutzung von virtuellen Ein- und Ausstiegspunkten und Herausforderungen an die Barrierefreiheit hinzu. Hier setzt die weitere Ausarbeitung an.

2.2.4 Förderprogramme

Über die Ministerien und deren Förderprogramme werden seitens der Politik seit mehr als zehn Jahren in Deutschland mit Förderbeträgen Anreize für bestimmte Schwerpunkte in der Automatisierung und Vernetzung geschaffen (vgl. Bundesministerium der Justiz, 2023). Ausgehend von den Zielen einer „Steigerung der Verkehrssicherheit, der Verbrauchs- und Emissionsreduzierung, einer mittelfristigen Verbesserung der

Verkehrseffizienz und der nachhaltigen Stärkung des Wirtschafts- und Innovationsstandortes“ startete das BMVI (2016a)⁶ nach verschiedenen offenen Programmen ein umfangreiches Förderprogramm für automatisierte Fahrzeuge, bei denen u. a. nachfolgende Förderrichtlinien seitens des vorgenannten Ministeriums mit einem Volumen von über 250 Mio. Euro entstanden (BMDV, 2020; BMDV, 2022):

- „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ vom 14.12.2016 (BMVI, 2016a)
- „Ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Mobilitätssystem durch automatisiertes Fahren und Vernetzung“ vom 25.02.2019 (BMVI, 2019)
- „Autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehren“ vom 09.09.2022 (BMDV, 2022)

Dabei wurde einer Erprobung im öffentlichen Straßenverkehrsraum große Bedeutung zugemessen und diverse Reallabore geschaffen (vgl. nachfolgendes Kapitel 2.2.5). Im Laufe der Umsetzung der Förderrichtlinien und -projekte, die mit zwei bis drei Jahren kurze Bewilligungszeiträume aufweisen, wurde der Schwerpunkt für die nachfolgende Richtlinie jeweils geschärft und entsprechend der politischen Ziele weiter in Richtung öffentliche Verkehre ausgerichtet (vgl. BMDV, Dezember 2024, S. 34–37), was in den Ergebnissen auch eine Empfehlung der im Rahmen der Richtlinien geförderten Projekte der Technischen Universität Hamburg ist (vgl. Gertz et al., 2021; Gertz et al., 2022). Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021, S. 106) sprechen von einer zunehmenden „Missionsorientierung“ zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen in der nationalen Innovationspolitik. Parallel zu den vorgenannten Richtlinien wurde eine ähnliche Summe in Höhe von 250 Mio. Euro in die Stärkung des ÖPNV über zwölf verschiedene Förderregionen investiert (BMVI, 2021).

Verwandte Themen der Automatisierung werden zusätzlich in weiteren Förderrichtlinien des BMDV behandelt, u. a. im Rahmen des Modernitätsfonds „mFund“. In Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) wurde im Juni 2019 der „Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren“ geschaffen, um die Förderungen besser zu koordinieren (Marx, 2020). Auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt mit der Förderrichtlinie „Resilienz – Widerstandsfähige digitale Systeme“, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz untersucht mit der Förderrichtlinie „Elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus – Technische Aspekte und biologische Wirkungen...“ und das Bundesministerium des Innern und für Heimat stärkt mit der Förderrichtlinie „Cybersicherheit und digitale Souveränität in den Kommunikationstechnologien 5G/6G“ verwandte Themenbereiche. (Bundesministerium der Justiz, 2023) Auch Ministerien der Länder – wie das Ministerium für Verkehr von Baden-Württemberg (2023) – setzen Schwerpunkte für Wissenschaft und Industrie, um im automatisierten ÖPNV Lösungen zu entwickeln. In verschiedenen Clustern zur Erzielung von Klimaneutralität in Europa wurden und werden von der Europäischen Union im Rahmen

⁶ Das BMVI wurde im Rahmen der neuen Legislaturperiode im Jahr 2022 umbenannt in BMDV. Es wird hier die Bezeichnung des Ministeriums vom jeweiligen Veröffentlichungsdatum verwendet.

von „Horizon Europe“ ebenfalls Projekte der Digitalisierung von Verkehr mit Automatisierung im öffentlichen Verkehr gefördert (European Commission, 2021). Auch hierbei kamen Reallabore und -experimente mit automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV zur Anwendung.

2.2.5 Erprobung im öffentlichen Raum

Die Erprobung von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV, zum Teil als Sammelverkehre, war in den letzten Jahren durch vorstehende Förderungen an vielen Orten in Deutschland möglich. Der VDV (2022) führt in Form einer Übersichtskarte und Steckbriefen über 60 Projekte mit automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV in Deutschland auf. Langjährige und relevante Projektregionen sind oder waren u. a. Bad Birnbach (HEAL), Oberfranken (Shuttle-Modellregion Oberfranken), Monheim am Rhein (Monheim-Shuttle), Rackwitz (Flash) und Lauenburg/Elbe (TaBuLaShuttle). Hierbei handelt es sich um automatisiert fahrende Minibusse von verschiedenen Herstellern, die unter Anwesenheit einer Fahrzeugbegleitung bis zu 18 km/h ohne klassischen Fahrersitz und bis zu 50 km/h mit üblichem Fahrersitz betrieben werden. Weltweit werden und wurden weitere Shuttle von rund 20 Herstellern im ÖPNV in Projekten entwickelt oder erprobt. Nach Antonialli (2021, S. 13) haben alle bis auf zwei Hersteller bisher weniger als 10 Fahrzeuge ausgeliefert. 57 % aller in der Recherche ermittelten Projekte finden in Europa statt (Antonialli, 2021, S. 10). Die beiden bislang dominierenden (vergleichsweise kleinen) Hersteller haben sich allerdings mittlerweile aus dem Geschäftsfeld der Personenbeförderung wieder zurückgezogen und der Markt der automatisierten Fahrzeuge im ÖPNV sortiert sich u. a. mit größeren Herstellern aus Fahrzeug- und Softwareentwicklung neu.⁷

Losgelöst vom ÖPNV ist für die technische Entwicklung der Automatisierung die umfangreiche Forschung und Entwicklung der Kfz-Industrie von Relevanz: In diesem Bereich treibt z. B. Waymo die Bereitstellung von Ride-Hailing-Diensten über seine Marke Waymo One in der Region Downtown Phoenix und East Valley in den USA voran, wobei nach eigenen Angaben bis Juni 2024 fahrerlos 22 Millionen Meilen im realen Verkehr zurückgelegt wurden (Waymo LLC, 5. September 2024). Hierbei steht die Schaffung eines Angebotes im Sinne bisheriger Taxi-Dienstleistungen mit Pkws im Vordergrund. Weitere Hersteller mit ähnlichen Ambitionen und Fahrzeugen im Realbetrieb sind z. B. Cruise LLC (USA) und AutoX, Inc. (China).

2.3 Zwischenfazit

Es zeigt sich in der Technologie der Automatisierung eine langsame, aber stetige Weiterentwicklung, was sich durch immer neue Assistenzsysteme bei den aktiv Fahrenden bemerkbar macht. Die Technik des automatisierten Fahrens nutzt maßgeblich Kombinationen verschiedener Sensoren wie LiDAR und Kameras, Satellitenortung und Mobilfunknetz bei einer erheblichen Menge an Datenverarbeitung. Aufgrund vielfältiger

⁷ Stand 12/2024

Herausforderungen ist aktuell kein System für den öffentlichen Straßenverkehr im Level 5 nach SAE verfügbar.

Für diese Ausarbeitung wird fahrerloses Fahren gemäß Kapitel 2.1.2 als Begrifflichkeit für den angestrebten Zustand des autonomen Fahrens definiert: Demnach handelt es sich beim fahrerlosen Fahren um den Zustand der Technik, in dem ein Fahrgast ohne Schulung oder Einweisung das Fahrzeug nutzen kann, ohne dass eine weitere Person an Bord sein muss, um das Fahrzeug zu bewegen (möglich in den Leveln 4 und 5 nach SAE J3016:2021).

Trotz der großen Hürden in der Entwicklung sorgen einige Treiber für eine Forschung und Entwicklung am autonomen Fahren, die Industrie und Förderinstitutionen veranlassen, finanziell hohe Summen zu investieren. Dabei werden wiederkehrend die Vorteile der Wirtschaftlichkeit, Verkehrssicherheit, Teilhabe, Erschließung und Erreichbarkeit, andersartigen Zeitnutzung, Nachhaltigkeit sowie Effizienz in Fläche und Infrastruktur angeführt. Fahrerloses Fahren existiert im Schienenverkehr häufig in separierten Verkehrswegen mit hoher Nachfrage und zeigt sich verlässlich mit entsprechend nachweisbaren Vorteilen.

In weniger dicht besiedelten Räumen versuchen sich seit Jahrzehnten flexible Angebotsformen zu etablieren, doch der Einsatz erfolgt nur sporadisch und hat keinen entscheidenden Anteil im Verkehrsgeschehen, sodass in ländlichen Räumen der motorisierte Individualverkehr maßgebliches Verkehrsmittel ist. Im Zuge der Digitalisierung sind in den letzten Jahren vermehrt moderne und per App buchbare Angebote mit neuen Fuhrparks geschaffen worden, allerdings häufig in Städten mit größerem Potenzial an Nutzenden und parallel zum vorhandenen ÖPNV. Eine Wirtschaftlichkeit der Angebote wird allerdings bisher trotzdem nicht unterstellt.

Vom Wegfall des Fahrzeugführenden versprechen sich die Unternehmen einen entsprechenden Durchbruch in der Wirtschaftlichkeit bei neuen Angebotsformen. Die Verantwortlichen der ländlichen Räume hoffen auf attraktive flexible Angebotsformen in Verbindung mit einem bestehenden leistungsstarken ÖPNV. Während die bekannten Herstellern der Automobilindustrie weitgehend unabhängige Projekte im Individualverkehr erforschen (vgl. Canzler und Knie, 2023b, S. 386), werden in zahlreichen Orten, insbesondere in Europa, Realexperimente mit Prototypen von Minibussen jüngerer Hersteller oder bekannter Automobilzulieferer im ÖPNV durchgeführt. Alle Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen bedürfen derzeit im öffentlichen Raum in Europa einer Fahrzeugbegleitung.

Von den großen Akteuren der weltweiten Automobil- und Softwareindustrie gelangen aufgrund der großen Konkurrenzsituation zwischen den Unternehmen wenige Details über den tatsächlichen Stand der Technik an die Öffentlichkeit. Es bestehen Bedenken, dass durch die weitere Entwicklung der Automatisierung von Individualfahrzeugen gesamtgesellschaftliche und politische Ziele gefährdet werden. Wiederkehrend werden in Europa in diesem Zusammenhang Förderprogramme von öffentlichen Institutionen mit relevanten Fördersummen initiiert, die neben der Automatisierung des Pkw oder Lkw den ÖPNV als Säule einer nachhaltigen Mobilität entsprechend der aktuellen politischen Ziele in den Fokus nehmen. Auf diesem Wege gelingt es den anderen Akteuren aus

Gebietskörperschaften, Verkehrsverbünden und -unternehmen das Thema der Automatisierung unter Einbezug der Öffentlichkeit in Reallaboren zu erschließen. Mit den kurzzeitigen Förderungen ist dabei eine unübersichtliche Forschungs(ergebnis)landschaft entstanden, in der viele Projekte und Reallabore nach kurzer Zeit wieder verschwinden. Es bleiben sehr wenige Projekte, denen es nur mit erheblichen Zuschüssen oder Folgeförderungen gelingt, einen automatisierten Betrieb aufrecht zu halten. Es gestaltet sich für Außenstehende weiterhin schwierig, die Gründe hierfür und eine Verortung des Stands der Entwicklung zu erfassen. An dieser Stelle soll diese weitere Ausarbeitung Unterstützung für die Akteure bieten und dazu die aktuelle Technik des autonomen Fahrens in Form eines Zwischenstandes bewerten. Passend zu der in Kapitel 2.2.4 beschriebenen fortschreitenden Schärfung der nationalen Innovationspolitik wird analog dazu in dieser weiteren Ausarbeitung der Schwerpunkt des autonomen Fahrens mit seinem Einsatz im ÖPNV vertieft betrachtet (vgl. Kapitel 1.3).

3 Bewertung von Technik

In den Kapiteln zuvor wurde das große Erkenntnisinteresse an der Technik des autonomen Fahrens – auch von Akteuren außerhalb der Forschung und Entwicklung – dargestellt. Um Technik umfänglich unter Einbezug gesellschaftlicher Verknüpfungen und Wirkungen einordnen zu können, gibt es die Disziplinen der Technikfolgenabschätzung und -bewertung, auf die in diesem Kapitel eingegangen wird: Ausgehend von einer Definition der verschiedenen Begrifflichkeiten in Kapitel 3.1 wird anschließend eine Einordnung im Verkehrswesen in Kapitel 3.2 vorgenommen und ein Zwischenfazit in Kapitel 3.3 gezogen.

3.1 Grundlagen

Nach einer Begriffsdefinition von Technik in Kapitel 3.1.1 und einem Rückblick zur Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung im Kapitel 3.1.2 werden diese in Kapitel 3.1.3 in ihrer Bedeutung diskutiert. Die weiteren Themen von Werten und Zielen sowie Realexperimenten und -laboren werden in den Kapiteln 3.1.4 und 3.1.5 erschlossen.

3.1.1 Begriff Technik

Während die allgemeinsprachliche Definition von *Technik* laut Kunkel-Razum et al. (2020) ganz allgemein die „Gesamtheit der Maßnahmen, Einrichtungen und Verfahren, die dazu dienen, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften für den Menschen praktisch nutzbar zu machen“ und „in bestimmter Weise festgelegte Art, Methode des Vorgehens, der Ausführung“ beschreibt, wird *Technik* in dieser Ausarbeitung konkreter als ein „*nutzenorientiertes, künstliches, gegenständliches*“ (vgl. VDI, 2000, S. 2) *durch Menschen geschaffenes und veränderbares Gebilde* gefasst, das eine konkrete Existenz und Instrumentalisierung technischer Objekte aufweist (Kröll, 2007, S. 24). Dieses Gebilde kann als *technisches (Sach-)System* als systemtheoretische Beschreibung des technischen Gegenstandes bezeichnet werden (Ropohl, 2009, S. 118). Die Bewertung wiederum bezieht sich nicht nur auf das technische Gebilde selbst, sondern auch die Bedingungen und Folgen der Verwendung von *Technik* (in Anlehnung an Ropohl, 2009). Damit passt die Definition zu den Ausführungen von Scholz (2022): Nach Scholz wird *Technik* als materielles Ergebnis der Problemlösungsprozesse, ihrer Herstellung und deren Einsatz bezeichnet und damit sei *Technik* ein Subsystem von Technologie⁸. In dieser Ausarbeitung geht es also um *Technik*, deren Entwicklung zudem noch nicht als abgeschlossen bewertet werden kann. Ropohl (2009, S. 32) differenziert weiterführend, dass *Technik* ein objektsprachlicher, *Technologie* dagegen ein metasprachlicher Ausdruck ist.

⁸ Eine Technologie ist das Wissen, die Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme, sowie Anlagen, Einrichtungen und Verfahren zur praktischen Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse (aus Scholz (2022, S. 13); siehe zur Unterscheidung von Technik und Technologie auch Kröll (2007, S. 24)).

3.1.2 Rückblick zur Bewertung von Technik(folgen)

Die Begrifflichkeit „Technology Assessment“ (TA) wurde zwischen 1967 und 1972 in den USA entwickelt (Bröchler und Simonis, 1998) und 1972 wurde ein „Office of Technology Assessment“ (OTA) als ein Beratungsbüro für technikpolitische Entscheidungen geschaffen (Scheffczik, 2003). Dieses Büro wurde mit dem Ziel einer regierungsunabhängigen Institution, das forschungs- und technikrelevante Informationen bereitstellt, eröffnet (Steierwald, Küne und Vogt, 2005, S. 385). Der Ursprung der Aufgabenstellungen sollte nicht in der Wissenschaft, sondern vielmehr aus den Wünschen von Parlament und Öffentlichkeit zur Bewältigung von bestimmten gesellschaftlichen Herausforderungen stammen (Grunwald, 2010, S. 15 und S. 17).

In Europa wurde das Thema in den 1970er Jahren in Forschungs- und Beratungsdebatten zu Technik aufgenommen (Grunwald, 2010). Dazu wurden am Europaparlament das Scientific and Technological Options Assessment (STOA) und in den Niederlanden und England ähnliche Einrichtungen installiert, um die Entscheidungsgrundlagen der Parlamente zu verbessern. 25 europäische Institutionen organisieren sich in Europa unter dem EPTA-Netzwerk (European Parliamentary Technology Assessment). In Deutschland gehört das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) in Berlin dazu, das 1989 eingerichtet wurde. 1992 kam das Institut für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg und 1995 die Akademie für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) in Karlsruhe dazu. (Steierwald, Küne und Vogt, 2005, S. 385; Grunwald, 2002, 65 ff.; Hennen et al., 2023, S. 226)

1996 wurde das OTA in den USA auf politischen Druck wieder geschlossen (Steierwald, Küne und Vogt, 2005, S. 385). Gleiches ergab sich in Deutschland im Jahr 2002 für die politiknahe Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg aus Gründen der „schwierigen Haushaltssituation“ des Landes. Die wissenschaftliche Qualität der Arbeiten der Akademie wurde in großen Teilen von einem Wissenschaftsrat positiv evaluiert bei einem Etat von 5,4 Mio. Euro mit 50 Planstellen in 2001. (Fuchs, 2003) Als Konfliktlinien beschreibt Fuchs (2003) verschiedene Themen: Externe Bedenken der Technikverhinderung durch Technikfolgenabschätzung (bei Personen mit falscher Vorstellung von Technikfolgenabschätzung), ein Entfernen weg von der realen Technik(gestaltung) und die Herausforderung zwischen den Interessenten sich der Arbeit selbst zu verpflichten und dass die Arbeit nicht immer den Zielsetzungen der Landesregierung entsprach (Fuchs, 2003), was allerdings nicht die Funktion und Aufgabe der Technikfolgenabschätzung ist. Gleichzeitig sind Verbindungen der Institutionen für Technikfolgenabschätzung zur Wirtschaft gering, da Sorge vor dem „Bedenkenträger“ besteht und der Grundsatz der Technikbewertung, transparent und öffentlich zu arbeiten, im Widerspruch mit den Interessen der wirtschaftlich orientierten und unter Konkurrenz arbeitenden Unternehmen steht (Böschchen et al., 2021a, S. 30). Es zeigt sich das Spannungsfeld, in dem die Institutionen der Technikfolgenabschätzung arbeiten. Weltweit sind aktuell über 30 aktive Institutionen mit der Aufgabe der Technikfolgenabschätzung auf allen Kontinenten zu finden (Ladikas und Hahn, 2022; Hennen et al., 2023, S. 226). In Deutschland sind neben verschiedenen universitären Institutionen und dem Institut für qualifizierende Innovationsforschung und -beratung GmbH des DLR (IQIB)

insbesondere das ITAS und damit verbunden das TAB als Institutionen engagiert. In regelmäßigen Abständen finden in Europa Konferenzen statt (z. B. TA24 und ETAC6). Interessierte können sich in einem offenen „Netzwerk TA“ austauschen und über das Fachportal Technikfolgenabschätzung werden aktuelle Veröffentlichungen gelistet.⁹

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlichte 1991 in der ingenieurwissenschaftlichen Technikbewertung erstmalig die Richtlinie VDI 3780, um „allen Beteiligten ein gemeinsames Verständnis für Begriffe, Methoden und Wertbereiche zu vermitteln“ ohne „gebrauchsfertige Rezepte“ zu liefern (VDI, 2000, S. 2). Reflektierend schreibt Rapp (1999, S. 5), der selbst Teil des Richtlinienausschusses war (König, 2021, S. 448), rückblickend auf die 1990er Jahre, in denen die Richtlinie fortgeschrieben wurde: „Die Diskussion hat sich – gelegentlich bis hin zur Unübersichtlichkeit – aufgefächert...“ Es wird von lebhaftem Interesse und weiter Anerkennung sowie von einer „offenen, vielfältig ausdifferenzierten Diskussion“ gesprochen (Rapp, 1999, S. 7). König (2021, S. 447) beschreibt die „zeitaufwändigen Diskussionsprozesse“ und deutet auf die verschiedenen Pole in der Entstehung der Richtlinie als „Diskussionsbeitrag zur Technikbewertung und konkrete Arbeitshilfe für Industriebetriebe“. Aus den Diskussionen ergibt sich im Jahr 2000 eine Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3780 (VDI, 2000), womit die Bedeutung und Einordnung von Technikbewertung im Ingenieurwesen, insbesondere die Einbeziehung von außertechnischen Werten, betont wurde. (Steierwald, Künne und Vogt, 2005, S. 385) Seitdem ist keine Aktualisierung der Richtlinie erfolgt.

3.1.3 Definitionen zur Bewertung von Technik

Technik- bewertung nach VDI

Technikbewertung bedeutet nach dem VDI (2000, S. 2 f.) das „planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen“, das

- „den Stand einer Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt,
- aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert,
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet (...)

In der Vorbemerkung der Richtlinie VDI 3780 des VDI (2000, S. 2) wird die *Technikfolgenabschätzung* als enthaltener Bestandteil der *Technikbewertung* genannt. Rapp (1999, S. 9) beschreibt im VDI Report 29 die Herausforderungen der beiden Begriffe *Technikbewertung* und *Technikfolgenabschätzung*, die für ihn „als verschiedene Namen für dieselbe Sache zu verstehen“ sind und beschreibt die Problematik, dass die vom VDI (2000) angestrebte Vereinheitlichung unter dem Begriff *Technikbewertung* keinen durchgängigen Erfolg finde. Scheffczik (2003, S. 30 f.), der seine Arbeit der Ausarbeitung eines Lehrkonzeptes für Technikunterricht an allgemeinbildenden Schulen zu dem

⁹ <https://www.openta.net/de/publikationen>

Thema widmet, sieht „keine nennenswerten Differenzen“ zwischen den beiden Begriffen, verwendet diese synonym und entscheidet sich vorzugsweise für den Begriff *Technikbewertung*.

Eine einfache Zusammenführung der beiden Begriffe ist allerdings unter Beachtung der jeweiligen Zielvorstellungen und Hintergründe nicht möglich: Grunwald (2010, S. 201), Leiter des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), schreibt über die Natur- und Ingenieurwissenschaften, bei denen es sich um die maßgeblichen Mitwirkenden der VDI 3780 zur *Technikbewertung* handelt, dass es dieser Disziplin der Natur- und Ingenieurwissenschaften bedarf, die *Technikfolgenabschätzung* aber bei weitem nicht darin aufgeht und darüber hinaus eine interdisziplinäre Synthese über die Disziplin hinaus unverzichtbar ist. Seine Aussagen im Jahr 2010 sind weitreichender: „*Technikfolgenabschätzung* ist zwar auf technisches Wissen angewiesen, aber nicht selbst eine technische Aufgabe“ und es würde „... [die Ingenieure und Naturwissenschaftler] zu ihrer strukturellen und kognitiven Überforderung führen.“ (Grunwald, 2010, S. 200). Simonis (2013, S. 9) fasst die Aufgabe der Technikfolgenabschätzung zusammen: „Es geht darum, unter Mobilisierung möglichst des gesamten, zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen und generierbaren Wissens, Entscheidungen über den Einsatz oder auch Nichteinsatz einer Technologie zu ermöglichen, die das Gemeinwohl bestmöglich fördern.“ Böschen et al. (2021a, S. 15 und S. 21 f.) charakterisiert Technikfolgenabschätzung als „eine spezifisch andere Form von Wissenschaft im Unterschied zu typischen akademischen Disziplinen“ und als „komplexe, heterogene und dynamische Forschungspraxis“. Kornwachs (2018) beschreibt verschiedene existierende Grundrichtungen der Technikfolgenabschätzung: Die wissenschaftliche Beratungspraxis an außerwissenschaftliche Adressaten, das wissenschaftstheoretische Forschen über Technik mit der Grundlage der Systemtheorie und die problemorientierte Forschung als angewandte Forschung. Diese drei Ebenen seien nach Kornwachs noch nicht konsistent in eine Theorie überführt worden, wobei Nentwich (2023, S. 25) für die zentrale Ausrichtung einer „im Kern (...) genuine[n] Politikorientierung“ der Technikfolgenabschätzung plädiert. Die Definition von Böschen et al. (2021a, S. 23 f.) von Technikfolgenabschätzung endet in einer dem „reflexiven Erkenntnisgewinn motivierte Forschungspraxis zur wissenschaftlichen Analyse von dynamischen und komplex sozio-technischen Konstellationen in Politik beratender Absicht.“ Dabei ist festzustellen, dass Technikfolgenabschätzung mit Wissen, Orientierung oder Verfahren, zur Problemlösung beiträgt, aber nicht die Lösung vorgibt, da dies der Gesellschaft obliegt (nach Grunwald in Edelmann und Zimmer, 2014).

Die erkennbare Unübersichtlichkeit und das im Vergleich zu den vielen Verfahren der Ingenieurwissenschaften kaum standardisierte Vorgehen der Technikfolgenabschätzung erschweren das allgemeine Verständnis dieses weitgefächerten Bereichs bis heute, was Technikfolgenabschätzung ist und welche Studien ihr eindeutig zugeordnet werden können (Nentwich, 2023, S. 24). Die anhaltende Diskussion um die Vielfalt im Themengebiet verdeutlicht die Herausforderung, dass „in vielen Fragen der *Technikfolgenabschätzung* (...) kein Konsens [besteht], trotz der Tatsache, dass *Technikfolgenabschätzung* mittlerweile gesellschaftlich weitgehend anerkannt und institutionell stabilisiert ist.“ (Grunwald, 2010, S. 14).

Diskussion
zur Begriffs-
verwendung

Technik in der *Technikfolgenabschätzung* wird nicht als greifbarer Gegenstand betrachtet, sondern als „absent object“ in den „Vorstellungen einer zukünftigen Technik mit Vorstellungen künftiger Anwendungen“ (Grunwald, 2022, S. 128). Die weitere Ausarbeitung bedient sich zeitweise eines konkreten Einsatzes eines Versuchsträgers, nährt sich aus einem normativen und konkreten Anspruch aus den Ingenieurwissenschaften und wird von einer einzelnen Person aus der Verkehrsplanung bearbeitet, womit sie nicht den Anforderungen der *Technikfolgenabschätzung* gerecht werden kann. Aus diesen Gesichtspunkten resultiert, dass für diese Ausarbeitung der unverfängliche Begriff der *Technikbewertung* verwendet wird, der aber nach den Grundsätzen der *Technikfolgenabschätzung* streben soll.

Eigene Definition

Als eigene Definition zur *Technikbewertung* schließt sich in Anlehnung an Simonis (2013, S. 11), Kornwachs (2018) und der obenstehenden Eingrenzung des VDI (2000, S. 2) die eigene Motivation an:

Die Bewertung von Technik verlangt eine mit wissenschaftlichen Mitteln betriebene systematische und nachvollziehbare Mobilisierung möglichst des gesamten, zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen und generierbaren Wissens über den Stand der Technik und eine Abschätzung von unmittelbaren und mittelbaren technischen, wirtschaftlichen, gesundheitlichen, ökologischen, humanen, sozialen und anderen Auswirkungen und Möglichkeiten einer entwickelnden Technik.

3.1.4 Werte, Ziele und Fähigkeiten

Technik darf „nicht als Selbstzweck, sondern muss immer als Mittel zur Erreichung bestimmter Ziele betrachtet werden.“ (VDI, 2000, S. 4) Diese Ziele gilt es im Rahmen des weiteren Verfahrens zu erfassen und für die Technikbewertung zu nutzen, allerdings bedürfen diese Ziele und umfassenden Werte zuerst einer Begriffsdefinition, die im Folgenden vorgenommen wird.

VDI (2000, S. 6) beschreiben **Werte** als das, was anerkannt, geschätzt, verehrt oder erstrebt wird. Sie dienen der Orientierung, was es anzustreben oder vorzuziehen gilt und bilden Rahmenbedingungen (VDI, 2000, S. 6). Es gibt gleichbleibende Werte, aber weitgehend unterliegen Werte einem geschichtlichen Wandel mit verschiedenen Präferenzordnungen (VDI, 2000, S. 6). Der Begriff des Wertes bleibt dennoch unscharf und vielschichtig und kann dazu führen, dass eine Diskussion blockiert wird, insbesondere wenn Werte als unbestreitbar gegen Kritik geschützt werden sollen (Rapp, 1999, S. 19). Dennoch ist zu beachten, dass technische Gebilde in mannigfachen Systemzusammenhängen stehen und zur Zweckbestimmung Ziele und Werte einbezogen werden müssen (VDI, 2000, S. 4). Die Wertdimension wird dafür als eine von technischen Bedingungs-zusammenhängen losgelöste (hilfreiche) Dimension gesehen. (Rapp, 1999, S. 22). In der der Verkehrsplanung nahestehenden Soziologie werden nach Beckers (2018, S. 507) unter Einbezug von Kluckhohn (1951) Werte als „Zielmaßstäbe oder ‚abstrakte Vorstellungen des Wünschenswerten‘ betrachtet. Beckers (2018, S. 507) beschreibt Werte mit einem „geringem Grad der Verbindlichkeit, der Institutionalisierung und der Durchsetzbarkeit sowie als individuell frei wählbar.“ Rapp (1999, S. 20 f.) schildert, dass die in der VDI-Norm 3780 aufgeführten Werte in unterschiedlich gearteter Kritik stehen. Um die

in der VDI-Norm 3780 genannten Werte trotzdem in der Entwicklung des weiteren Verfahrens verwenden zu können, werden diese hier „als relativ stabile Superpräferenzen definiert (...), die in impliziter oder expliziter Weise abstrakte, transsituationale, wünschenswerte Ziele bezeichnen und anderen Handlungsmotiven entweder vorangestellt sind oder diese moderieren“ (Beckers, 2018, S. 508). Um die Werte der VDI-Norm 3780 im Weiteren berücksichtigen zu können, werden diese als (vergleichsweise unkonkrete) Oberziele (vgl. Lohse, 2011, S. 547 ff.) benannt und dienen einer Strukturierung (Cluster) und Ordnung der weiteren Hierarchie aus (konkreten) Zielen und Kriterien. Dabei wird berücksichtigt, dass die Oberziele gesellschaftlich nicht isoliert betrachtet werden können, sondern in Wechselwirkung und Kombination und unter Einbindung der Akteure (vgl. Clark, Atkinson-Palombo und Garrick, 2019, S. 29).

Der zuvor beschriebene Wert konkretisiert sich durch **Ziele**. Gemäß Kunkel-Razum et al. (2020) ist ein Ziel umgangssprachlich etwas, worauf Handeln ganz bewusst gerichtet ist. Genauso beschreibt der VDI ein Ziel (2000, S. 4) „...ein als möglich vorgestellter Sachverhalt, dessen Verwirklichung erstrebt wird; es wird durch eine Entscheidung gesetzt.“ Pleschak und Sabisch (1996, S. 176) beschreiben bei der Bewertung einer Innovation den Schritt der Festlegung der Ziele als den inhaltlich anspruchsvollsten Schritt. Vester (1984) sowie Pleschak und Sabisch (1996, S. 182) weisen darauf hin, dass die Zusammenhänge von relevanter Bedeutung in Systemen sind. Zwischen verschiedenen Zielen liegen Beziehungen vor, die indifferent, konkurrierend oder in verschiedene Richtungen unterstützend wirken. Es erscheint gemäß Riehm (1999) in der Praxis nicht ungewöhnlich, dass eine gefundene „Lösung und Ausgangswerte (...) in einem wechselseitigen Verhältnis stehen“ – was impliziert, dass Werte und Ziele einer gegenseitigen Beeinflussung und Veränderung unterliegen. Es gehört zu den Aufgaben der Technikbewertung, auftretende Zielkonflikte zu verdeutlichen und zu diskutieren, welche Argumente für und gegen eine Technikentwicklung stehen. (VDI, 2000) Ziele werden im Weiteren betrachtet mit variablen **Fähigkeiten** des technischen Systems in seiner Umwelt, wobei eine einzelne Fähigkeit zur Erreichung mehrere Ziele beitragen kann. Transparente Bewertungskriterien zu den Zielen sollen schließlich das Erreichen messbar machen.

3.1.5 Reallabore, Testfelder und Feldexperimente

Der Begriff Reallabore findet sich in der Gesellschaft, der Bewertung von Technik und Veröffentlichungen immer häufiger wieder – vielfach mit experimentellem Hintergrund der Nachhaltigkeit und im deutschsprachigen Raum (Schäpke et al., 2018b, S. 9; Schneidewind, 2014). Glock (2023, S. 2) benennt den fehlenden Konsens um die Begrifflichkeit. Bezogen auf autonomes Fahren, insbesondere im öffentlichen Verkehr, beschreiben u. a. Reichenbach (2021, S. 28) und Bruck (2020, S. 96–98) Reallabore als ein wertvolles hilfreiches Instrument, um die mögliche Mobilitätszukunft und deren Beiträge zu verkehrspolitischen Zielen in einem „zunehmenden Demokratisierungsprozess“ (Berger et al., 2011, S. 1343) konkret zu demonstrieren sowie mit ihren inneren Zusammenhängen zu experimentieren. Im Folgenden werden die Definitionen in Experiment, Testfeld und Reallabor für die weitere Ausarbeitung differenziert.

Feldexperiment als experimentaler Ansatz

Bei den *Feldexperimenten* handelt es sich um konkrete wissenschaftliche Methoden, die im Rahmen eines *Reallabors* oder *Testfelds* stattfinden können. Denkbar sind z. B. natürliche Experimente, reine Beobachtungsstudien von Teilnehmenden oder Feldexperimente. (Bauer, 2015) Für die Methodik soll im Weiteren der Begriff Feldexperiment verwendet werden.

Die Bedeutung der praktischen Erprobung und die vorstehenden Begriffsdefinitionen finden Eingang in die weitere Verfahrensentwicklung in Kapitel 5.

Testfeld als technologischer Ansatz

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022) hat eine eigene Definition gefunden und beschreibt Testfelder als „Testräume für Innovation und Regulierung“, die nach dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Juli 2019) folgende Eigenschaften besitzen:

- Zeitlich und räumlich begrenzte Testräume, in denen innovative Technologien oder Geschäftsmodelle unter realen Bedingungen erprobt werden.
- Es werden rechtliche Spielräume genutzt.
- Es ist mit dem Testraum ein „regulatorisches Erkenntnisinteresse“ verbunden.

Hierbei erfolgt eine anwendungsorientierte praktische Erprobung mit technologischen und regulatorischen Fragen im Mittelpunkt. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Juli 2019) Dieser Ansatz wird im Weiteren als Testfeld bezeichnet.

Reallabor als transformativer und transdisziplinärer Ansatz

Im Jahr 2003 stellt Scheffczik (2003, S. 139) eine Partizipation gesellschaftlicher Gruppen an der Technikbewertung als „marginal“ und „in den Anfängen“ heraus und fordert eine Demokratisierung der Technikbewertung u. a. mit Reallaboren. Im Jahr 2018 arbeiten Schöpke et al. (2018b) heraus, dass die Anzahl von Veröffentlichungen zu Reallaboren seit 2005 stetig zugenommen haben. Glock (2023, S. 3) sieht hinsichtlich der klassischen Stadt- und Verkehrsplanung eine Neuorientierung nach dem „ausbleibenden Erfolg klassischer Planungsansätze und [dem] steigenden Handlungsdruck“. Schneidewind (2014, S. 3) bezeichnet in seiner Definition ein *Reallabor* als „einen gesellschaftlichen Kontext, in dem Forscherinnen und Forscher Interventionen im Sinne von ‚*Realexperimenten*‘ durchführen, um über soziale Dynamiken und Prozesse zu lernen. Die Idee des Reallabores überträgt den naturwissenschaftlichen Labor-Begriff in die Analyse gesellschaftlicher und politischer Prozesse...“ Reallabore stellen transdisziplinäre Infrastrukturen an der Schnittstelle von Wissenschaft und Praxis (vgl. Parodi und Beecroft, 2021, S. 374; Schöpke et al., 2018b). Berger et al. (2017, S. 266) benennen neben der Gewinnung von Transformationswissen als Handlungswissen für die gesellschaftliche Breite die offenen Innovationsumfelder von „Lab-Ansätzen“ als Möglichkeit, eine „Marktdiffusion von Mobilitätsinnovationen zu beschleunigen“.

Der nach Rose et al. (2019, S. 1) junge nachhaltigkeitswissenschaftliche Forschungsansatz des Reallabores wird in Bezug auf Schöpke et al. (2018a) mit vier eindeutigen Eigenschaften benannt:

- Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation
- Experimente
- Transdisziplinarität als zentraler Forschungsansatz
- (gesellschaftliche) Lernprozesse und Reflexivität

Die weiteren notwendigen Eigenschaften Langzeitorientierung, Skalierbarkeit und Transferierbarkeit seien nach Rose et al. (2019) kontrovers diskutiert worden. Mit der kritisch-rationalen Herangehensweise aus der Technikbewertung können Reallabore Orientierung bieten, „welche sozio-technischen Inventionen zu sinnvollen gesellschaftlichen Innovationen werden können und welche nicht.“ (Parodi und Beecroft, 2021, S. 385). Beecroft (2020, S. 41) stellt die drei Lernprozesse im Reallabor in einer Abbildung in seinen Bestandteilen als gesellschaftliche Transformation, wissenschaftliche Transformationsforschung und transformative Bildung dar.

Nach Böschen und Sigwart (2020) darf Technikfolgenabschätzung die Öffentlichkeit nicht als sein Gegenüber betrachten, sondern muss selbst ein Beteiligt-Sein erwirken. Sie sehen für ein kritisch-reflexives Verhältnis die Öffentlichkeit als Interaktionspartner, Adressat von Wissen und als Quelle von Wissen zur Technikfolgenabschätzung im Zuge der Demokratisierung. Parodi und Beecroft (2021, S. 381) diskutieren den Mehrwert von Fallstudien der Technikfolgenabschätzung im Einsatz für das Reallabor und stellen fest, dass solche Studien relevantes Wissen liefern können, aber sich im Reallabor wiederum nur einbauen lassen, wenn diese Labore langfristig genug ausgelegt sind. Womit die Ergebnisse der Fallstudien eher dem übergeordneten Ziel der kritischen Reflexion einer technischen Invention dienen.

Dieser zuvor beschriebene Ansatz wird in der weiteren Ausarbeitung als Reallabor bezeichnet.

3.2 Einordnung im Verkehrswesen

Verkehr mit dem Zweck der „Überwindung räumlicher Entfernungen“ besteht üblicherweise aus Verkehrsträger (z. B. Luft oder Wasser) und Fahrzeug sowie häufig einem Motor (van der Borght, 1894, S. 3 ff.).¹⁰ Für die Personenbeförderung und den Gütertransport bildet sich im Verkehrswesen eine Zusammenführung von Verkehrsträger und Fahrzeugen. Die Abhängigkeit von Technik und Infrastruktur ergibt sich bereits aus der Begriffsdefinition, wobei die Technik auf Infrastruktur angewiesen ist und Verkehrsinfrastruktur ohne Verkehr keine Bedeutung hat. Das Fahrzeug kann eindeutig als Technik definiert werden (vgl. Kapitel 3.1.1).

Die Schaffung von Verkehrswegen für den Einsatz von Technik ist davon geprägt, dass sie neben hohen Investitionen öffentlicher Akteure erheblichen Einfluss auf viele andere

¹⁰ Neben der Ortsveränderung von Personen und Gütern erwähnen van der Borght (1894) ebenso wie die FGSV (2020) in der Definition von Verkehr zusätzlich „Nachrichten“. Die FGSV ergänzt zudem noch „Energie“. Beides wird wegen fehlendem Themenbezug nicht weiter vertieft.

Aspekte, insbesondere beim Landweg, ausübt. Beginnend mit Flächen- und Ressourcenverbrauch werden anschließend durch die auf dem Verkehrsweg eingesetzte Technik weitreichende Immissionen im Umfeld (z. B. über Schall-/Luftemissionen und/oder über Lichtwirkung und Wasserableitung) verursacht und eine Betroffenheit von Flora, Fauna und Habitaten ausgelöst. Demgegenüber stehen positive Effekte der schnelleren und besseren Erreichbarkeit und Investitionen, die sich wiederum strategisch positiv auf Wirtschaft und Fortschritt sowie Wohlstand und Sozialleben der Gesellschaft auswirken kann. (vgl. Ebel, 2013; Laschet, Witte und Voigt, 1978; FGSV, 2010b, S. 12–14) Geschaffene Infrastrukturen erscheinen zwar auf den ersten Blick reversibel, Investitionen werden jedoch gemäß FGSV (1997) für 10 bis 100 Jahre getätigt, wodurch mit gebauten Verkehrswegen und dem davon abhängigen Einsatz von Fahrzeugen von einer „Zukunftsbindung in der Gegenwart“ (Bösch et al., 2021a, S. 33) gesprochen werden muss.

Die Bewertung einer vom Verkehrsweg abhängigen Technik, z. B. die des Pkw, lässt sich demnach in der vollständigen und weitreichenden Dimension (wie zuvor beschrieben) erst systemisch unter Hinzunahme des Einsatzgebietes der Technik *mit* zugehörigen Verkehrswegen beurteilen. Durch die Abhängigkeit der Technik vom Verkehrsweg, über den wiederum maßgeblich – wegen der erheblichen öffentlichen Investitionssummen – öffentliche Akteure entscheiden (vgl. Wängler, 2023), liegt große Verantwortung mit entsprechendem Beratungs- und Entscheidungsbedarf in der öffentlichen Hand. Damit ist Verkehrswegebau ein strategisches Instrument der Verkehrspolitik und überall auf der Welt eng verwoben (vgl. Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 97; Givoni, 2018) mit entsprechend weitreichenden Gestaltungsoptionen für die Gesellschaft. Die Stellschrauben zeigen sich hier in ganz erheblichen Umfang außerhalb der Technik des Fahrzeuges.

Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021) setzen sich in ihrem Artikel „Mobilität und Technikfolgenabschätzung“ mit dem Thema im Mobilitätssektor intensiv auseinander. Es wird festgestellt, dass (anders als in anderen Technikfeldern) ein „stabiles Akteurs-Netzwerk“ und „Institutionen und Verfahren der wissenschaftlichen Politikberatung im Verkehrsbereich bereits vor der Geburt der Idee der Technikfolgenabschätzung etabliert waren.“ (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 97) Als beratende Institution – ähnlich zum späteren Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) – existiert seit 1951 die Bundesanstalt für Straßenbau (später umbenannt in Bundesanstalt für Straßenwesen (bast)). Die zudem den deutschen Straßenverkehr prägende Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen wurde (mit der Vorgängerorganisation) 1924 gegründet. Außerhalb dieser Kreise beschäftigte sich die baden-württembergische Akademie für Technikfolgenabschätzung u. a. kritisch mit Bewertungsverfahren im Verkehrswesen und der Möglichkeit einer effizienten Umstrukturierung des ÖPNV. Die nicht übliche Verwendung einheitlicher Termini für der Technikfolgenabschätzung verwandte Programmatik, mache es nach Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021, S. 102) schwierig, sich einen vollständigen Überblick über die zurückliegenden Projekte dieser Art zu verschaffen.

In der Zusammenfassung schreiben Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021, S. 109 f.), dass ein ingenieurwissenschaftlich-technischer und ein wirtschaftswissenschaftlicher Zugang zu den Herausforderungen des Verkehrs dominiere, bei gleichzeitig wachsender Interdisziplinarität und Öffnung für die Zivilgesellschaft. Die Nichtverwendung des Begriffes Technikbewertung oder -folgenabschätzung führen die Autoren auch auf Unsicherheiten der Definition der Begriffe in diesem Bereich zurück und stellen die Frage, welchem Zweck überhaupt gedient wäre bei klaren Zuordnungen zur Technikbewertung im Verkehrswesen. (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021)

Am Ende des 20. Jahrhunderts kam auf der Seite des Verkehrsweges vermehrt Technik in Form von digitaler Verkehrstelematik in der Mobilität zum Einsatz (vgl. Canzler, 1999, S. 89 f.). „Im Bereich der Verkehrstelematik brachte das europäische Forschungsprogramm PROMETHEUS, das 1987 ausgeschrieben worden war, den Stein ins Rollen. PROMETHEUS folgten viele Forschungsprojekte innerhalb der Triade“ (Willke, 1997, S. 227). Im Verkehrswesen ist damit nicht mehr allein Technik als Mittel zur Überwindung räumlicher Distanzen unter Nutzung der Infrastruktur zu bewerten. Es ist zusätzlich auch infrastrukturseitig vermehrt entstehende Technik, die mit den eingesetzten Fahrzeugen in Vernetzung tritt, im größeren sozio-technischen Kontext zu bewerten. Insgesamt zeigen sich die (aus ähnlichen Bedürfnissen heraus entstandenen) Parallelen der allgemeinen Technikbewertung und dem Vorgehen im Verkehrswesen in Zusammenhang mit soziotechnischen Systemen mit bedeutendem Einfluss von Technik im Verkehrswesen in einem größeren Gefüge von Akteuren (vgl. hierzu Kapitel 2.1.4).

Eine Einteilung der Methoden der Technikfolgenabschätzung in der (Stadt-)Verkehrsplanung erfolgt nach Steierwald, Künne und Vogt (2005, S. 387), in

- a) konzeptionelle Methoden wie z. B. räumliches Modell (z. B. Kartierungen, Funktionsanalysen ...), zeitliches Modell (z. B. Analyse historischer Entwicklungen ...) oder Prozess-Modell (z. B. Entscheidungs-Analysen ...) und
- b) diskursive Methoden wie z. B. Multikriterielle Prognosen (z. B. Szenariotechnik ...) oder Diskurse (z. B. Gruppenbewertungen, Partizipation ...).

Steierwald, Künne und Vogt (2005, S. 386) resümieren über die Technikfolgenabschätzung in der Verkehrsplanung, dass hier entsprechende tradierte Modelle zur Entscheidungsfindung auf Basis von festen Kriterien existieren. Sie sehen eine Chance in der weiteren Anwendung von Methoden der Technikfolgenabschätzung, indem das Denkmodell mit Wirkungsmechanismen nach Relevanz erweitert werden kann und quantitative in nachvollziehbare qualitative Größen umgewandelt werden können, was derzeit z. B. gegenteilig in einer Nutzen-Kosten-Bewertung erfolgt. Zudem würden integrierte Konzepte zu multikriteriellen Strategien erweitert, die mehr Kommunikation (Partizipation) in die Planung aufnehmen. Insgesamt ist demnach die Verkehrsplanung (mit seinen Folgewirkungen der Entscheidungen von großer gesellschaftlicher Relevanz) als ein Nutzer, Tester und Entwickler von Technikfolgenabschätzung zu sehen, auch wenn der Begriff selbst keine Anwendung findet. (Steierwald, Künne und Vogt, 2005)

3.3 Zwischenfazit

Als Technik wird ein nutzenorientiertes, künstliches, gegenständliches Gebilde angesehen, für dessen Bewertung die Bedingungen und umfassenden Folgen der Verwendung berücksichtigt werden (sollten). Dazu hat sich Technikfolgenabschätzung (Technology Assessment) in vielen liberalen Demokratien etabliert, um Entscheidenden forschungs- und technikrelevante Informationen zur Bewältigung von gesellschaftlichen Herausforderungen bereitzustellen.

Für den Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Bewertung hat der Verein Deutscher Ingenieure die Richtlinie VDI 3780 veröffentlicht, die sich Begriffen, Definitionen und Vorschlägen für Methoden einer Technikbewertung annimmt. Bei der Bewertung von Technik handelt es sich um eine mit wissenschaftlichen Mitteln betriebene systematische und nachvollziehbare Mobilisierung möglichst des gesamten, zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen und generierbaren Wissens über den Stand der Technik und eine Abschätzung von unmittelbaren und mittelbaren (...) Auswirkungen und Möglichkeiten einer entwickelnden Technik (vgl. Kapitel 3.1.3).

Das gemeinsame Ziel verschiedener involvierter Disziplinen der Bewertung von Technik ist es, über einen umfangreichen Erkenntnisgewinn bei der Entwicklung und dem Einsatz von Technik das Gemeinwohl bestmöglich zu fördern. Dabei wird übergreifend unter dem Begriff der Technikfolgenabschätzung interdisziplinär Wissen, Orientierung und Verfahren in (vorrangig) Politik beratender Absicht bereitgestellt.

Technik in Form von Fahrzeugen nimmt bei ihrem Einsatz auf den Verkehrswegen relevanten gesellschaftlichen Einfluss. Es entstehen für die Verkehrspolitik starke Stellschrauben und eine Verantwortung mit entsprechendem Beratungs- und Entscheidungsbedarf in der öffentlichen Hand. Für die Investitionen in Verkehrswege wurden bereits frühzeitig Verfahren entwickelt, die einer möglichst weitreichenden Bewertung von verkehrlichen Maßnahmen dienen.

Ein Zusammenspiel von Ideen und Ansätzen der Verkehrsplanung, Technikfolgenabschätzung und -bewertung ist für die definierten Forschungsfragen ebenso vielversprechend wie ein Erkenntnisgewinn über ein Testfeld unter Partizipation gesellschaftlicher Gruppen. Die Ausgangslage unterstreicht den Bedarf einer solchen systematischen Bewertung des autonomen Fahrens im öffentlichen Verkehr.

4 Methodologie für die Bewertung einer Technik im Verkehrswesen

Um der Forschungsfrage aus Kapitel 1.1 zur ganzheitlichen Bewertung einer technischen Innovation im Verkehrswesen zu begegnen, wird mit dem gewonnenen Wissen aus Kapitel 2 und 3 in diesem Kapitel 4 eine Auswahl bereits angewendeter Verfahren in der Literatur gesichtet. Dabei werden auf das eigene Verfahren übertragbare Vorgehensweisen, vielversprechende Einzelmethoden und hilfreiche Erkenntnisse gesammelt.

Zuerst werden dazu im Unterkapitel 4.1 Anforderungen als Suchkriterien für die nachfolgende Recherche definiert. Mit Hilfe dieser Suchkriterien erfolgt eine Literaturanalyse zu existierenden Verfahren mit dem Ergebnis einer tabellarischen Übersicht in Kapitel 4.2. Im daran anschließenden Kapitel 4.3 werden die für den eigenen Ansatz nutzbaren Methoden vertieft. Abschließend können gewonnene Erkenntnisse in Kapitel 4.4 diskutiert werden, um das gewonnene Wissen zur Entwicklung des eigenen Verfahrens in das Kapitel 5 zu überführen. Die Abbildung 4-1 stellt das Kapitel 4 mit seinen Arbeitsschritten dar.

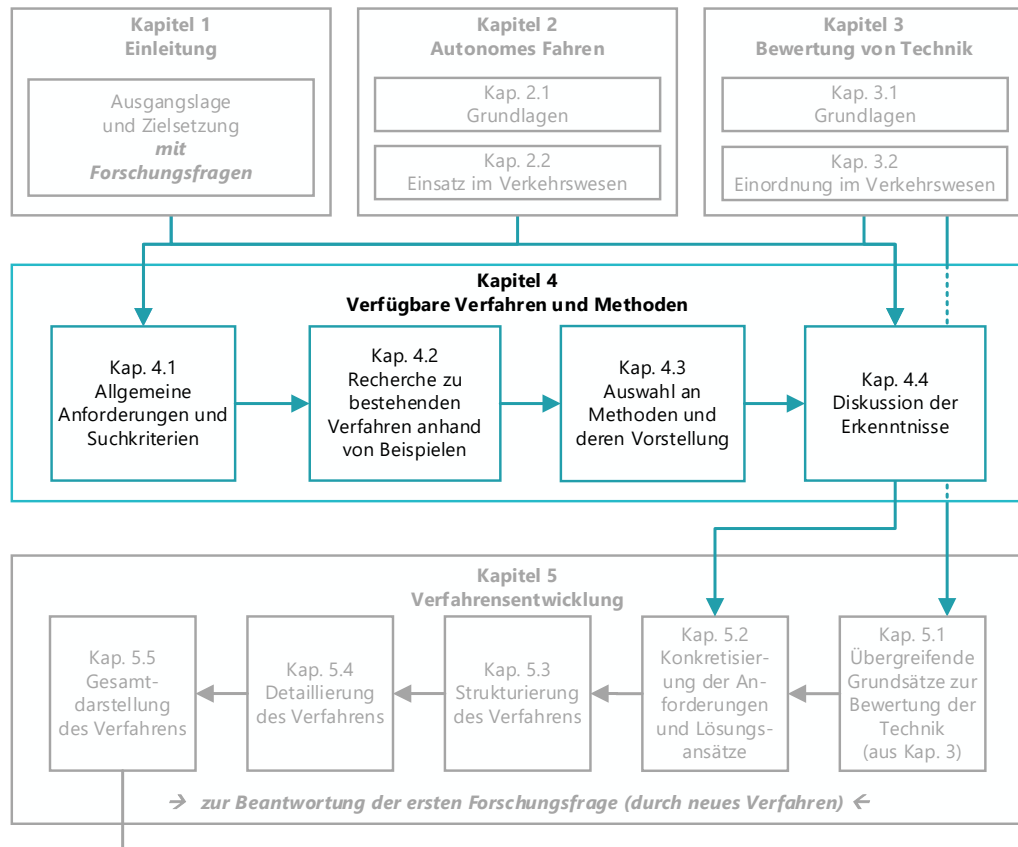


Abbildung 4-1: Gliederung des vierten Kapitels
(erweiterter Ausschnitt aus Abbildung 1-1)

Als Verfahren wird die jeweils individuell gewählte Vorgehensweise verstanden, die sich üblicherweise aus verschiedenen Einzelmethode zusammensetzt, um z. B. die Bewertung einer Technik durchzuführen.

4.1 Anforderungen und Suchkriterien

Die Aufgabenstellung zur Bewertung und Weiterentwicklung von neuer Technik (Kapitel 1) sowie die Erkenntnisse zum autonomen Fahren (Kapitel 2) und zur Technikbewertung (Kapitel 3) lassen vielseitige Eigenschaften und Anforderungen von Verfahren zur Bewertung von Technik erkennen, die als Suchkriterien in Tabelle 4-1 zusammengefasst sind.

Tabelle 4-1: Übersicht über die Suchkriterien zur Auswahl der Verfahren und Methoden in der Literaturrecherche (eigene Darstellung)

Hauptfokus	Kontext des Einsatzes	Integrierbarkeit
• Systemverständnis • Technikanalyse • Technikbewertung • Zukunftswissen • Wirkungen und Risiken • Technikgestaltung und Konstruktion	• Beratung • Beteiligung ExpertInnen und Stakeholder • Beteiligung Öffentlichkeit	• ganzheitliche Sichtweise • kombinierbare Methoden und Ansätze

Ergebniseinordnung	Einsatzgebiet/-objekt	Anwendbarkeit
• Wechselwirkungen • Risiken • Zielerreichungsgrad • Folgen	• Einbezug der bestehenden Situation • Verkehrswesen • Verkehrsmittel/-technik • neue Technik • Versuchsträger	• keine Daten vorab notwendig • geringer Aufwand (freundlich für Nutzenden) • geringe Komplexität • Flexibilität

Die in Tabelle 4-1 aufgeführten Aspekte werden als Suchkriterien für die nachfolgende Methoden- und Verfahrensauswahl in Anlehnung an das methodische Vorgehen der „question-method matrix“ nach Blessing und Chakrabarti (2009) verwendet. Die Kriterien helfen in der Literaturrecherche bereits verfügbare Verfahren und Methoden hinsichtlich Kompatibilität und Übertragbarkeit zur Beantwortung der eigenen Forschungsfrage zu suchen und gleichzeitig eine bessere Übersichtlichkeit bei der Vielzahl der Verfahren zu gewährleisten.

4.2 Recherche zu bestehenden Verfahren

Es besteht eine unüberschaubare Vielfalt an Methoden und Verfahren, die sich der Bewertung von Technik in irgendeiner Art und Weise zuordnen (lassen). Es werden 86 Verfahren und Beispiele zu Beginn der Literaturrecherche gesichtet. Im Rahmen der Inhaltsanalyse wird jeweils herausgearbeitet, welche Methodik angewendet wurde und welche der zuvor genannten (Such-)Kriterien erfüllt werden. Mit hoher Übereinstimmung zu den unter Kapitel 4.1 definierten Suchkriterien verbleiben 24 Verfahren. Diese betrachteten Verfahren gewährleisteten keinesfalls eine Vollständigkeit verfügbarer Optionen, vielmehr stellen sie eine Fokussierung auf einige vielversprechende und zugleich fachlich interessante Verfahren im Hinblick auf die Mobilität in der Vielfalt der Bewertung von Technik dar. Die Verfahren werden in Anlage 10.1 jeweils einzeln vorgestellt. Vielversprechende Erkenntnisse und hilfreiche (Einzel-)Methoden werden dabei durch eine Indexnummerierung gekennzeichnet („*Ex*“ für *Erkenntnisse* bzw. „*Mx*“ für *Methoden*), um in der weiteren Ausarbeitung direkt darauf Bezug zu nehmen. Die Erkenntnisse *Ex* werden im Anhang 10.1 aus den Quellen hergeleitet und in Tabelle 5-2 in Kapitel 5.2 übersichtlich aufgelistet. Die Methoden *Mx* werden in Kapitel 4.3 erläutert und aufbereitet.

Die Tabelle 4-2 bietet die Zusammenfassung der vorgenommenen Auswertung. Das Erfüllen eines Kriteriums ist durch einen ausgefüllten „Harvey Ball“ gekennzeichnet. Welche Bestandteile des Verfahrens Potenzial für die eigene Aufgabenstellung haben, wird stichwortartig in einer weiteren Spalte aufgeführt (siehe dazu auch Anlage 10.1). Mittels eines (teil-)ausgefüllten Würfels wird in der letzten Spalte die eigene Einschätzung zur Relevanz des Verfahrens bzw. der Methodik zur eigenen Aufgabenstellung aufgeführt.

Tabelle 4-2: Auswertung ausgewählter Verfahren (eigene Darstellung)

Verfahren mit Quellengabe			Hauptfokus		Kontext		Integrierbarkeit		Ergebniseinordnung		Einsatzgebiet/-objekt				Anwendbarkeit				Erkenntnisse aus der Literaturanalyse										
	Quelle	Verfahren / Methode	Systemverständnis	Analyse	Bewertung	Zukunftswissen	Wirkungen und Risiken	Technikgestaltung/Konstruktion	Beteiligung Experten/Stakeholder	Beteiligung Öffentlichkeit	ganzheitlich	kombinierbar	Wechselwirkungen	Risiken	Zielerreichungsgrad	Folgen	Verkehrswesen	Verkehrsmittel/-technik	Bezugsfall	Neue Technik	Versuchsträger	keine Daten vorab notwendig	geringer Aufwand (nutzerfreundlich)	geringe Komplexität	Flexibilität	quantitative Summe positiver Kriterien	Relevanz	Erkenntnisse und Methoden (vgl. Anlage 10.1)	qualitative Einschätzung zur Bedeutung der Methode(n) für die eigene Aufgabenstellung
Hauptcluster																													
Verfahren der Verkehrsplanung	FGSV 2010b	Verfahren der multikriteriellen Wirkungsdarstellung																								12	Vorgehensweise, ganzheitliche Betrachtungsweise, gute Nachvollziehbarkeit, zielorientiert	E3, E4, E5, E11	■
Verfahren der Verkehrsplanung	FGSV 2010b	Formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren																							7	Bestreben alle Kriterien mit Einschätzungen zu belegen, zielorientiert	E3, E5, E9, E11	■	
Verfahren der Verkehrsplanung	FGSV 2010b	Nutzen-Kosten-Analyse																							7	anschauliche Vereinfachung der Ergebnisse, zielorientiert	E3, E5, E6, E9, E11	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Pratorius 1993	Umfeldanalyse, Zielvariationsprozess, Labor- und Feldtests sowie Simulationen und Szenarien mit Entwicklungsstrategien aus PROMETHEUS																							13	Flexible (Ober-) Zielorientierung, Einfluss der Interessen der Beteiligten, Grundidee des Zusammen-spiels Technik und Mobilität unter gesellschaft-lichen Zielen, Einfluss	E11, E24, M1	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Keller et al. 2004	Verkehtstelematik-Projekte begleitet von Technikbewertung im Projekt MOBINET																							18	unternehmensbezogener Ziele Szenariobildung, Akzeptanzeffekte, reale Erprobung, Stakeholderbeteiligung, Gesamtkontextbetrachtung	E2, E11, E20, M5, M7, M9	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Kunth 2017	Technikbewertung für die Elektrifizierung																							12	Lebenszyklusbetrachtung der Kosten, Bedeutung des Blickwinkels	E4, E10, E13, M3	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Schippel und Arnold 2020	Multi-Level-Perspektive, Interviews																							16	Systemverständnis, ganzheit-liche Sichtweise, Interview von Personen in Nische	E26, M5	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Nalmpantis et al. 2019	Multikriterielle Analyse																							12	Kreativität durch partizipative Methoden, Identifizierung relevanter Kriterien	E22, M5	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	RNM 2018/2020	Reallabor mit Szenariotechnik, Feldexperimente und -beobachtungen, Befragungen und Interviews																							14	Arbeitsmethoden im Reallabor	E11, E19, M5, M7	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Hahn et al. 2020	Experteninterviews mit Szenariotechnik verknüpft																							9	Wissengewinn über Zukünfte, Zusammenführung von Wissen	E2, E3, E16, M5, M9	■	
Beispiele mobilitätsbezogene Methodenmixe	Kollosche et al. 2022	Online- und Interviewbefragungen, Business Model Canvas, Szenariotechnik, Workshops, Potentialanalyse																							13	Erkenntnisumfang und -tiefe	E11, M5, M9	■	
Beispiele autonomes Fahren	Maurer et al. 2015	Expertenwissen im Projekt Villa Ladenburg																							13	Bedeutung der Expertenbeteiligung	E5, E22, E24, M1	■	
Beispiele autonomes Fahren	Grunwald 2015	Risikobewertung																							14	Strukturierte Risikobereitstellung	E15, E19, M5, M10	■	
Beispiele autonomes Fahren	Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. 2015	Scoping, Expertenworkshop, Szenariotechnik, Fokusgruppen, Laborexperiment mit Laien																							22	Scoping-Phase, Reduzierung auf konkreten Anwendungsfall, Technik- und Probleminduzierte Forschung, (verbesserungsfähige) neutrale Objektivierung des Ergebnisses	E18, E19, E20, E23, E25, M5, M7	■	
Beispiele autonomes Fahren	Pakusch 2020	Szenario-Achsen-Technik, Interviews, Befragungen, Sekundäranalyse von bestehenden Befragungen																							15	Multimethodenmix, Interviews mit Taxifahrenden, Fokussierung	E3, E4, M5, M9	■	
Beispiele autonomes Fahren	Perret et al. 2020	Experteninterviews, Szenariotechnik, Fokusgruppenworkshops mit Laien, Experten und Stakeholdern für qualitative Handlungsempfehlungen																							15	Allgemeiner Wissensgewinn, Aufstellung der Arbeitspakete	E2, E9, E12, E15, M5	■	
Beispiele autonomes Fahren	ASTRA 2022	Szenariotechnik als Verknüpfung verschiedener Disziplinen																							13	Vorab-Szenario-Auswahl als Vorgabe für die Vertiefung	E19, M9	■	
Beispiele autonomes Fahren im ÖPNV	SCHIPPL et al. 2021	Szenariotechnik, Datenerhebungen, Interviews, Indikatorenalyse, Expertenworkshops, Analogiebildung, Verkehrsmodellierung, mehrperspektivische Fallstudie																							14	grundsätzliche Methodenkombination und Einflussanalyse unter Beteiligung von Betroffenen mit verbal-argumentativer Zusammenführung	E24, M4, M5, M8, M9	■	
Beispiele autonomes Fahren im ÖPNV	Friedrich und Hartl 2016	Szenariotechnik, Modellsimulation, Haushaltsbefragungen																							15	Ergebnisse für Modellregion, Kostenprognose, Randbedingungen	E21, E24, M9	■	
Beispiele autonomes Fahren im ÖPNV	Riener et al. 2020	Befragungen, Feldstudien, Fahrtsicherheitsversuche, Akteursbeteiligung, Geodatenanalyse																							19	vielfältige Herangehensweise, Untersuchung neuer Aspekte durch Versuche, Realbetrieb	E4, E6, E20, E24, E26, M7, M8	■	
Beispiele unternehmensbasierte Methodenmixe	Blau et al. 2007	Risikoanalyse, szenariobasierte Architekturbewertung, ABC-Analyse, SOLL-Kriterien, Nominalskala, Befragung, Kennzahlenbewertung																							14	Spezifikationskatalog mit SOLL-Merkmalen und Ordinalskala	E2, E9, E9, E14, M5, M12	■	
Beispiele unternehmensbasierte Methodenmixe	Heubach 2009	Umfeldanalyse, Dekomposition des Analyseobjekts, Checklisten, House of Technology, ABC-Bewertung, Kriterien-/Anforderungskatalog, Fachexpertenforum, Portfolio-Ansatz																							12	Dekomposition, Phasen, Aufteilung Bedarf und Lösung	E3, E6, E9, E26	■	
Beispiele unternehmensbasierte Methodenmixe	Rummel 2014	Leitlinien, Stage-Gate-Prozess, Checklisten, Technologie-Scorecard, Funktionsanalyse, Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio, Lead-User-Methode, Technologieketten, Nutzwertanalyse, Target-Costing und Reifegrad-Aufwands-Portfolio																							6	strukturierte Vorgehensweise, Abhängigkeit zu eigenen Zielen, Kategorien und Kriterien, Systemgrenzen, Bewertungsperspektive	E3, E6, E8, E14, E19, M12	■	
Beispiele unternehmensbasierte Methodenmixe	Scholz 2022	Reifegrad-Aufwands-Portfolio Analytic Hierarchy Process, quantitative Berechnungen																							13	Risikoanalyse, wechselseitige Beziehung Potential und Risiko	E6, E14, E15, E24, E26	■	

Die aus der VDI-Richtlinie 3780 und den recherchierten Verfahren extrahierten und für die Forschungsfrage vielversprechenden Methoden werden im nachfolgenden Kapitel 4.3 einzeln herausgegriffen und vorgestellt. Eine übergreifende Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse aus Verfahren und Methoden folgt im Kapitel 4.4.

4.3 Auswahl an Methoden

Zur Bewertung von Technik wird auf ein breites Spektrum von wissenschaftlichen Methoden als geregelte Vorgehensweisen zurückgegriffen (Simonis, 2013, S. 14). Es werden in den betrachteten Beispielf Verfahren (vgl. Kapitel 4.2) verschiedene Methoden genutzt, die teils aus ganz anderen Disziplinen stammen oder dort etabliert sind. Es gibt kein eindeutig anwendbares oder erschöpfendes Verfahren, mit dem sich das Ideal zur Abdeckung aller wissenschaftlichen Gesichtspunkte erreichen lässt, so sind vereinfachende theoretische Modellvorstellungen notwendig. (VDI, 2000, S. 26)

Um den bestehenden Herausforderungen (vgl. Kapitel 1.1 und 1.3) zu begegnen, werden im Folgenden einzelne – explizit im Rahmen von Technikbewertung und der vorgestellten Verfahren aus Kapitel 4.2 (vgl. Anlage 10.1) erfolgreich eingesetzte – Methoden herausgegriffen und als Bausteine für die nachfolgende Verfahrensentwicklung kurz vorgestellt.

4.3.1 Systemanalyse und -abgrenzung (M1)

Die interdisziplinäre Wissenschaft der Systemtechnik als problem- und handlungsorientierte Forschung stellt Methoden, Verfahren und Hilfsmittel zur Analyse, Planung, Auswahl und optimalen Gestaltung komplexer Systeme bereit und wird im Bereich sozio-ökonomisch-technischer Prozesse angewendet. Mit Methoden der Systemtechnik und -analyse können technische Systeme in ihren Elementen und Eigenschaften untereinander verknüpft werden und zur Vereinfachung des Betrachtungsgegenstandes klare Systemgrenzen zur Umwelt gebildet werden („Kontextabgrenzung“). Dabei ist aus dem Analyseziel hervorgehend die Festlegung einer Grenze, die für das Systemverhalten relevante Elemente eingrenzt – ohne die Funktion einzuschränken – von besonderer Bedeutung. (Pahl et al., 2007, S. 17; Fleischer et al., 2019, S. 51 f.; Poganietz und Lee, 2021, S. 269 f.; Grunwald, 2016; Rupp, 2013; Schmid, 2015, S. 63; Ehrlenspiel und Meerkamm, 2009, S. 21) Schmid (2015, S. 61 f.) beschreibt: „Das Verständnis von Zusammenhängen, Wechselwirkungen, Perspektiven und Bewertungsvariablen ist Voraussetzung, um diese komplexen Abläufe und Zustände zu verstehen, zu beherrschen, im Prozess zu nutzen, weiterzuentwickeln oder zu erschaffen.“ Er benennt als relevante Arbeitsschritte (Schmid, 2015, S. 57 f.):

- Informationserhebung über Zusammenhänge
- Konkretisierung der Aufgabenstellung
- Systemabgrenzung
- Beschreiben der Komponenten, Relationen und Funktionen
- Identifikation wichtiger und kritischer Bedingungen, Anforderungen und Kriterien

In einer Systemsynthese lassen sich mögliche Lösungskonzepte anhand des bis dahin gewonnenen Wissens mit spezifischen Abhängigkeiten und Wirkzusammenhängen bestimmen. Eine aufbauende Systemanalyse eignet sich nach Poganietz und Lee (2021, S. 282) im Rahmen der Bewertung von Technik zur Wirkungsanalyse bzw. zur Folgenabschätzung von Lösungskonzepten (Ropohl, 2009, S. 75 ff.). Dabei sind die Einschätzungen und Wirkzusammenhänge von der begrenzten menschlichen Wahrnehmung abhängig, weshalb der Offenlegung von Verfahren und Zielkonflikten besondere Bedeutung zukommt (Schmid, 2015, S. 63 f.).

Zur Strukturierung des Vorgehens liefert – in die vorstehenden Ansätze hinein – die Konstruktionsmethodik mit konkreten Handlungsanweisungen zum Entwickeln und Konstruieren laut Pahl et al. (2007, S. 10) die inhaltliche und organisatorische „Verknüpfung von Arbeitsschritten und Konstruktionsphasen, die flexibel an die jeweilige Problemlage angepasst werden“ können. In Abbildung 4-2 ist ein strukturiertes Vorgehen nach Pahl et al. (2007, S. 18 f.) dargestellt, in dem hilfreiche Bewertungsbestandteile von Pleschak und Sabisch (1996, S. 175) erkennbar sind und das dem Ziel folgt „komplexe Problemstellungen zweckmäßig in bestimmten Arbeitsschritten“ (Pahl et al., 2007, S. 17) zu lösen.

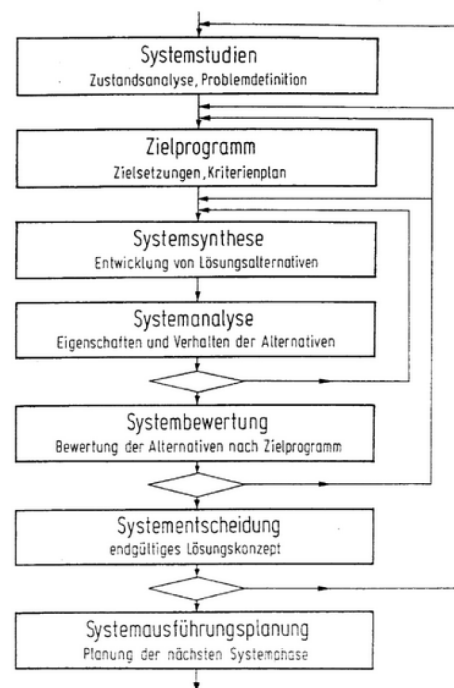


Abbildung 4-2: Phasen in der Systemtechnik in einem systemtechnischen Vorgehensmodell nach Pahl et al. (2007, S. 18 f.)

Neben gewisser Ähnlichkeiten zu Wertsyntheseverfahren nach FGSV (2010b, S. 17–26) konnte keine konkrete Anwendung des beschriebenen Vorgehens unter Bezugnahme auf Pahl et al. (2007) im Verkehrswesen identifiziert werden. Dabei bietet das Vorgehen der Systemanalyse in Verknüpfung mit Konstruktionsphasen für die vorliegende Ausarbeitung die zielgerichtete Struktur, um eine Beschreibung und Einordnung der Arbeitsschritte in sinnvollen Zusammenhängen zu ermöglichen, eine Abgrenzung und

Identifikation kritischer Bedingungen zu erlauben und das gesamte Wissen in einen Systemkontext zu setzen. Es kann ein gleichbleibendes Arbeitsmittel verwendet werden, damit wichtige Beziehungen, Einflüsse, Wechselwirkungen und Auswirkungen im Laufe der ganzen Bearbeitung erfasst werden können, um dem Verfahren Struktur zu bieten. Auf die besondere Bedeutung der Zusammenhänge von Elementen in einem System gehen Pahl et al. (2007) wiederkehrend ein, womit diesem Aspekt mit der nachfolgenden Methodik weitere Aufmerksamkeit gewidmet wird. Pahl et al. (2007) und Rupp (2013) können weitere theoretische Hintergründe entnommen werden.

4.3.2 Verflechtungsmatrix-Analyse und Sensitivitätsmodell (M2)

In VDI (2000, S. 35 f.) wird die Verflechtungsmatrix-Analyse zur Technikbewertung eingeführt, die als hilfreiches Instrument für die notwendige Untersuchung der Wirkungsgefüge zwischen mehreren möglichen Ereignissen dient. Unterschiedliche Ereignisse werden gleichermaßen in den Zeilen und Spalten einer Tabelle eingetragen und die Stärke des Einflusses z. B. mittels Rangziffern gekennzeichnet, um u. a. Interdependenzen gleichzeitiger Entwicklungen überschaubar zu machen. (Scheffczik, 2003, S. 132) Für Anwendungsfälle, in denen rein quantitative und qualitative Wirkmodelle nicht realisierbar sind, weist Klönne (2008, S. 35) auf die Alternative des von Frederic Vester entwickelten Sensitivitätsmodells hin, das beide Systemgrößen unter Anwendung der Methoden der Fuzzy Logik kombinieren kann. Mit dem Grundgedanken des vernetzten komplexen Systems nach Vester (1984) dient die Einflussmatrixanalyse und das Sensitivitätsmodell nach Vester (1990) dazu, tiefgreifende Erkenntnisse zu den gegenseitigen Wechselwirkungen, Abhängigkeiten und möglichen Zielkonflikten nach FGSV (2018, S. 20–22) zu gewinnen. So soll es nach Vester (1991, S. 26) gelingen, die Struktur und die Dynamik eines komplexen Systems einigermaßen zu erfassen. Konkret erfolgt diese mit den Ansätzen eines Sensitivitätsmodells, „um daraus das Muster seiner Sensitivität, seiner Empfindlichkeit, bzw. seine Robustheit zu erkennen und aufzuzeigen. Das Ziel ist, das Verhalten und die Lebensfähigkeit eines komplexen Systems (...) besser kennenzulernen und daraus sinnvolle Strategien zu entwickeln...“ (Vester, 1991, S. 17). Göllinger und Harrer (2020, S. 9) loben die Aktualität und Bedeutung des Ansatzes von Vester für die damaligen wie heutigen (größtenteils gleich gebliebenen) Herausforderungen in Verkehrssystemen, weshalb eine Anwendung im Zuge des eigenen Verfahrens – im Kontext der Verwendung mit der Systemanalyse – vielversprechend ist. Der Ansatz von Vester erfüllt dabei die Anforderung aus der Technikbewertung, dass „die indirekten, oft mit großer Verzögerung eintretenden Effekte“ berücksichtigt werden sollen (Scheffczik, 2003, S. 35). Das genaue Vorgehen dieser Methode kann Vester (2007) und Vester (1991) entnommen werden, wo neben den konkreten Verfahrensschritten andere Beispiele aus der Mobilität anhand dieses Verfahrens bewertet werden.

4.3.3 Relevanzbaum-/Wertbaum-Analyse (M3)

Mit einer problemspezifischen Interpretation einer graphentheoretischen Baumstruktur lassen sich im Rahmen der Relevanzbaum-Analyse Bedingungsgefüge darstellen, aus denen ein Entscheidungsbaum oder (mit einer Zeitachse) Instrumentalbeziehungen repräsentiert werden können. Als Sonderfall tritt der Wertbaum ein, der Hierarchiebeziehungen zwischen Werten, Oberzielen, Zielen, Unterzielen etc. repräsentiert. (VDI, 2000, S. 34 f.) Der Wertbaum kann als eine Basis und Strukturierung für die weiteren formalen Analysen dienen und um verschiedene Szenarien vergleichend mittels Skala zu beurteilen. (Renn, 2015, S. 179–181) Dies dient dazu, dass der „Prozess der Technikfolgenabschätzung (...) intersubjektiv nachvollziehbar sein [muss], indem das Beobachtungs- und Kriterienraster explizit und transparent gemacht [wird].“ (vgl. Popp und Schüll, 2009, S. 200). Das methodische Vorgehen wird von Renn (2015, S. 165–188) beschrieben.

4.3.4 Analogiebildung (M4)

Die Analogiebildung schließt unter Betrachtung des historischen Verlaufs eines Phänomens auf den zu erwartenden Verlauf einer gegenwärtigen Entwicklung, weil diese z. B. anderenorts weiter vorangeschritten ist oder deutlich wird, dass es aufgrund einer Verwandtschaft zu einer Wiederholung oder Analogie in Prozessen oder Zyklen kommen könnte (VDI, 2000, S. 32). Das Einsatzgebiet von Analogien ist grundsätzlich sehr groß (Schulthess, 2012, S. 11 f.). Schwierig wird dies allerdings sobald mehrere Trends ineinandergreifen (Popp, 2020, S. 84 f.). Der Einbezug von Analogien in der Mobilität sollte im Rahmen einer Technikbewertung den Blick schärfen, um den Erkenntnisgewinn aus den Erfahrungen mit anderen Verkehrsmitteln zu erweitern. Die methodische Vorgehensweise zur Analogiebildung kann u. a. Ruppert (2017, S. 65) basierend auf Sternberg (1977) entnommen werden.

4.3.5 Methoden mit Beteiligung (M5)

Insbesondere in den empirischen Sozialforschungen kommen – u. a. zur Akzeptanzanalyse – Datenerhebungen unter Mitwirkung von Außenstehenden über Interviews, Fragebögen sowie ExpertInnen- und Fokusgruppenworkshops als Erhebungstechnik zum Einsatz. Die Durchführung erfordert eine systematische Vorbereitung und Ausarbeitung der Fragen sowie eine entsprechende Personen- oder ExpertInnenanzahl. Die Informationsübermittlung erfolgt z. B. in Form von quantitativen geschlossenen Antworten in einer schriftlichen Befragung oder qualitativen Inhaltseingaben auf offen formulierte Fragen in Umfragen, im Interview oder Gespräch. (Roth und Holling, 1999) Bei Fokusgruppenworkshops findet ein offener Meinungsaustausch statt und Ideen werden häufig mittels Brainstorming gesammelt (Grunwald, 2022, S. 191). Entsprechende begriffliche Definitionen werden in Diaz-Bone (2015) erläutert und die jeweiligen methodischen Vorgehensweisen in Roth und Holling (1999) dargestellt.

4.3.6 Delphi-Methodik (M6)

Mit einer Delphi-ExpertInnenumfrage, die dem Grunde nach den Methoden mit Beteiligung (M5) zugehörig ist, können Ideen und Prognosen systematisch gewonnen werden. Von anderen Befragungen unterscheidet sie sich darin, dass die Ergebnisse einer ersten Runde den Beteiligten einmal oder mehrfach erneut vorgelegt werden, damit die individuelle Auffassung in der Folgerunde nochmals unter dem Licht anderer Personen reflektiert wird. Personen, die an einer Entwicklung beteiligt sind, neigen zu optimistischen Einschätzungen gemäß VDI (2000, S. 33). Insgesamt resultiert ein Ergebnis als Mehrheitsmeinung. Die Einsatzgrenzen definiert Häder (2009, S. 27–37) kritisch und weist auf die Schwierigkeiten undifferenzierter Standards mit Delphi-Umfragen hin. Für eine allgemeine Vorhersage der Zukunft wirkt die Methode ungeeignet, aber dienlich für ein gezielt auf einen Aspekt ausgerichtetes Brainstorming und zur Generierung von Ausgangsdaten, die mittels anderer Methoden weiter geprüft werden müssen (vgl. Häder, 2009, S. 30–37). Wenn der hohe Aufwand für die Durchführung einer solchen Umfrage möglich ist und ein geeigneter ExpertInnenkreis zur Verfügung steht, bietet die Delphi-Umfrage große Chancen auf zusätzliche Ideenaggregation und Vorhersage von konkreten Sachverhalten über Zukünfte. Zudem bietet sich die Möglichkeit einer Konsensfindung, sofern diese konkret und sorgfältig erarbeitet wird. Weitere methodische Hintergründe können Häder (2009) entnommen werden.

4.3.7 Feldexperimente (M7)

Experimente dienen als Grundlage zur Datenerhebung, die entweder auf einer begründeten Fragestellung oder auf dem explorativen Forschungsansatz aufbauen. Versuche in einer natürlichen Umgebung unter möglichen Störeinflüssen stellen Feldexperimente dar (Sarris, 1992, S. 182 f.). Diese können rein mit Technik und Umwelt sowie zusätzlich mit Versuchspersonen stattfinden, die in der Regel nicht wissen, dass sie an einem Experiment teilnehmen (Klapper et al., 2007, S. 59). Verzerrungen in der Validität können sich u. a. durch das Umfeldgeschehen oder aber durch variierende Verhaltensweisen der Versuchsleitenden ergeben (Rack und Christophersen, 2007, S. 28 f.), faktisch können nicht alle Variablen kontrolliert werden (Klapper et al., 2007, S. 59). Die Studien können als quantitative Messungen, Videobeobachtungen oder aber qualitativ z. B. mit einem den Versuch begleitenden Interview erfolgen (Döring und Bortz, 2016, S. 207). Der Aufwand ist insbesondere bei halbstrukturierter Erhebung hoch, drängt sich hier aber im Zuge der Initialisierung des Versuchsträgers in ein reales Umfeld in Kombination mit anderen Methoden auf. Weiteres zur Methodik kann Sarris (1992) und Döring und Bortz (2016) entnommen werden.

4.3.8 Datenanalyse (M8)

Im Rahmen der Technikbewertung kann hinsichtlich des Anwendungsfalls auf vielfältige Primär- und Sekundärdaten zugegriffen werden, die statistisch ausgewertet werden können. Dazu gehört die Ausnutzung des Datenmaterials aus den Methoden zur Beteiligung (M5), den Feldexperimenten (M7) oder externen Quellen. Das methodische Vorgehen zur Auswertung kann Fahrmeir et al. (2016) und Brandt (2013) entnommen werden.

4.3.9 Szenariotechnik /-gestaltung (M9)

Mittels der Szenariobildung „als qualitativ-literarische Methode zur ganzheitlichen Beschreibung möglicher komplexer Zukunftssituationen“ (VDI, 2000, S. 37) können (auch quantitative) Ergebnisse anderer Methoden integriert werden und/oder diese als Erweiterung in anderen Methoden dienen. Die Technik ist daher dem Grunde nach keine eigenständige Methode oder Planungsgrundlage, sondern eine ganzheitliche Beschreibung zukünftiger Geschehnisse und Zustände, die unter vorbestimmten Ausgangsbedingungen eintreten können. Für gewöhnlich werden mehrere verschiedene Varianten an Szenarien wie z. B. ein Best-Case-, Trend- und Worst-Case-Szenario erarbeitet. (VDI, 2000) Die Anwendungen der Szenariotechnik lassen sich häufig in explorative/deskriptive und normative Verfahren einordnen. Während erstere mögliche Auswirkungen durchspielen (Forecasting: „Was wäre, wenn...“), nehmen letztere Werte und Interessen auf und fragen von möglichen Zukünften aus in Richtung Gegenwart (Backcasting: „Wie kommen wir dahin?“), worin sich eine Zielbildungs- und Strategieentwicklungsfunktion befindet. (van Notten et al., 2003; Kosow und Gaßner, 2008, S. 23 f.) Trotz methodischer Einschränkungen und der vorab zu treffenden Auswahlentscheidungen hinsichtlich möglicher Zukünfte ist die Form der Szenariotechnik hilfreich – wie in vielen analysierten Verfahren (vgl. Anlage 10.1) erkennbar – für einen Einsatz in der Untersuchung zum autonomen Fahren. Die Anwendung ist in Bezug auf die Beteiligung Dritter am Projekt nützlich, damit diese sich in ein aufgezeigtes Szenario hineinversetzen können, um als Reaktion darauf relevantes Wissen einzuspeisen (als Forecast). Konkrete Vorgehensweisen zur Szenariotechnik können u. a. Kosow und Gaßner (2008) sowie Ködding und Dumitrescu (2022, S. 124) entnommen werden.

4.3.10 Risikoanalyse (M10)

Die Risikoanalyse kann Elemente der Relevanzbaum-Analyse verwenden, wobei das zentrale Ereignis mit einer bestimmten Versagenswahrscheinlichkeit belegt ist. Gegen dieses Verfahren wird eingewandt, dass die Aussagekraft bei neuartigen Systemen keine verlässlichen Prognosen liefert und das menschliche Versagen nicht zu beziffern ist (VDI, 2000, S. 35). Scholz (2022, S. 19 ff.) stellt verschiedene Definitionen von Risiko in seiner Ausarbeitung dar und definiert Risiko als „Quantifizierung der Unsicherheit einer möglichen negativen Abweichung von einem erwarteten bzw. angestrebten Ziel.“ Scholz verweist für die Grundlagen des Risikomanagements auf das Deutsche Institut für Normung e. V., dessen Zielsetzung die Gestaltung einer Balance zwischen den inhärenten Risiken

bei der Exploration von Chancen und dem diametral entgegenstehenden Ziel der Vermeidung von Verlusten, Unfällen und Katastrophen ist (Aven und Vinnem, 2007, S. 1). Im Zuge einer neuen Bewertung der Technik greift die häufig angewendete reine Multiplikation von vermuteten Eintrittswahrscheinlichkeiten mit Chancen und Risiken deutlich zu kurz, da diese gesellschaftliche Technikkonflikte mit sozialer Brisanz vernachlässigen (Grunwald, 2022, S. 46–50), was sich u. a. bei den Konflikten zu Endlagern für Atom Müll gezeigt hat. Grunwald (2015) geht in seiner eigenen Analyse der Risikokonstellationen für autonomes Fahren dezidiert auf gesellschaftliche Aspekte, Relevanz, Konsequenzen und Empfehlungen zu einer Risikobewertung ein. Konkrete methodische Arbeitsschritte werden hierbei allerdings nicht vorgefunden, weshalb eine weitergehende Methodik zum Vorgehen der Risikoanalyse in Kapitel 5 entwickelt wird, die aufgrund vermeintlicher Technikkonflikte nicht auf Eintrittswahrscheinlichkeiten basiert.

4.3.11 SWOT-Analyse (M11)

Nach Benzaghta et al. (2021, S. 65) sowie Gürel und Tat (2017, S. 994) ist die SWOT-Analyse ein wirksames strategisches Instrument, das effizient und ressourcenschonend eingesetzt werden kann. Stärken (S), Schwächen (W), Chancen (O) und Risiken (T) werden (z. B. für eine Organisation und das Umfeld) ermittelt und für die Entwicklung von Strategien zur Abmilderung von Risiken oder Schwächen verwendet. Seit ihrer Entwicklung in den 1950er Jahren an der Harvard Business School hat die Analyse viele Entwicklungen durchlaufen (Benzaghta et al., 2021, S. 57). Mittlerweile existiert z. B. eine weiterentwickelte Variante in Form einer „Sustainability SWOT“, die von Pesonen (27. August 2007) beschrieben wird. In einer solchen können mittlerweile verschiedene Zeitpunkte im Lebenszyklus und die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (sozial, ökologisch und ökonomisch) Berücksichtigung finden (Tremmel, 2003). Rahman und Thill (2023, S. 5) sowie Skrickij, Šabanovič und Žuraulis (2020, S. 477) wenden die Analyse für vernetzte und fahrerlose Fahrzeuge (im Stadtverkehr) an. Die SWOT-Analyse dient einer Strategieentwicklung, bei der es dem Grunde nach um eine verbesserte Positionierung der angedachten Idee oder des Produktes in dem gegebenen Umfeld geht. Dabei ist in der Methodik kein Abbruchkriterium erkennbar. Die Vorgehensweise der SWOT-Analyse mit Vor- und Nachteilen sowie Verweisen auf weitere Literatur kann Gürel und Tat (2017, S. 994–1006) entnommen werden.

4.3.12 Ergebnisdarstellung (M12)

Eine einfach verständliche Ergebnisdarstellung ist die Ordinalskala nach Müller-Herbers (2007, S. 88 f.), bei der eine Einstufung des Kriteriums erfolgt, die eine Rangordnung und Vergleiche zwischen verschiedenen Ergebnissen ermöglicht, aber keine Angaben zu den Abständen (Rechenoperationen) zwischen den Rangplätzen erlaubt. Beispiele für Ordinalskalen sind Dienstgrade oder Windstärken (Döring und Bortz, 2016, S. 233). Weitere Informationen hierzu können Müller-Herbers (2007) entnommen werden.

Eine andere leicht nachvollziehbare Ergebnisdarstellung ergibt sich aus der Methode der Dualen Bewertung, in der die Erfüllung der Kriterien mit „ja“ oder „nein“ definiert wird (Pleschak und Sabisch, 1996, S. 179). Dies ist z. B. anwendbar bei einer Überprüfung

der Reife von Technik als Ergebnis der Methode von Checklisten, die die Realisierbarkeit und den Stand der Technik bewerten.

Die vorgestellten Methoden werden in die nachfolgende Ergebnisdiskussion (Kapitel 4.4) und in die eigene Verfahrensentwicklung (Kapitel 5) überführt.

4.4 Diskussion der Erkenntnisse

Aus den Analysen vorangegangener Unterkapitel 4.2 (siehe Tabelle 4-2) und 4.3 ergeben sich Erkenntnisse (*Ex*) und Methoden (*Mx*), die in diesem Kapitel zusammenfassend diskutiert, eingeordnet und ins nächste Kapitel überführt werden.

Die Sichtung zahlreicher vorliegender Verfahren (siehe Kapitel 4.2 und Anlage 10.1) führt nicht zu einem Vorzugsverfahren, das direkt im Hinblick auf die eigenen Forschungsfragen im Kapitel 1.1 anwendbar wäre. Dafür existieren jeweils zu viele Randbedingungen und verschiedene Abweichungen zwischen den Verfahren und der hier mit der eigenen Zielsetzung festgelegten Aufgabenstellung. Es zeigen sich zudem spezifische Anforderungen einer Technikbewertung im Verkehrswesen, das in seinem Zustand von vielen dispersen Systemabhängigkeiten geprägt ist.

Alle analysierten Verfahren begrenzen sich thematisch, um den Aufwand handhabbar zu halten, denn ohne einen situativen „Methodenmix“ kommen die Verfahren meist nicht aus. Eine allumfassende Bewertung einer komplizierten Technik erfordert sehr hohen Aufwand und höhere Interdisziplinarität als in den Möglichkeiten der Projekte gewöhnlich finanziell oder personell gegeben sind, verbessert aber den umfassenden Erkenntnisgewinn erheblich (→ *E21*, *E22*). Die meisten der angewendeten Verfahren erweisen sich als zu aufwendig oder kompliziert, als dass sie regelmäßig und einfach wieder von Dritten begreif- und anwendbar wären. Dieser Herausforderung kann durch eine stärkere schrittweise Strukturierung begegnet werden (→ *E4*).

Es wird u. a. über Prätorius (1993) und Nalmpantis et al. (2019) aufgezeigt, dass es keine vollständige Berücksichtigung von Folgewirkungen und nicht für jedes Ziel die optimale Lösung geben kann. Die Folgen einer in Szenarien möglichst richtig ausgewählten Zukunft vorherzusagen, erscheint kaum lösbar. Es wird die Möglichkeit genutzt, diverse Parameter zu analysieren und Hinweise darauf zu geben, wo Einschränkungen und (möglichst alle erdenklichen) Risiken sind (→ *E15*). Grunwald (2015) gelingt in seiner erfahrungsbasierten Diskussion eine relevante Risikobewertung für das autonome Fahren, die für das Aufdecken unerwünschter Entwicklungen einer Technik notwendig ist. Es wird insgesamt deutlich, dass „monokausale Ursache-Wirkungs-Beziehungen zur Erklärung von Folgeerscheinungen oftmals zu kurz greifen. Wirkungen, die an einer bestimmten Stelle entstehen, können wiederum an anderer Stelle unerwartete Folgen nach sich ziehen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, technische Zusammenhänge in einem komplex vernetzten System zu betrachten.“ (Scheffczik, 2003, S. 123 f.) (→ *E14*, *E24*).

Aufgrund unterschiedlicher Hintergründe, Schwerpunkte und Ansätze beschäftigen sich viele Verfahren in ihrem Anwendungsfeld weder mit Werten, wie es nach VDI (2000) in der Technikbewertung vorgesehen ist (→ *E5*), noch mit allen Themenfeldern von Analyse über Bewertung bis hin zu Wirkungen und Risiken (→ *E15*). Wegen der Schwierigkeit

Vielfältige
Anforder-
ungen

Umfang
und
Methodenmix

Folgen und
Risiken in
einem
vernetzten
System

Werte und Ziele

der Erfassung umfassender gesellschaftlicher Auswirkungen von Technik werden häufig Teilaspekte und deren Folgen betrachtet.

Beratung, Kommunikation und Konstruktion

Die aus der Technikfolgenabschätzung mögliche Kontextzuordnung zu *Beratung, Kommunikation und Konstruktion* wird von mehreren Verfahren durchbrochen, d. h. diese widmen sich mehreren Schwerpunkten. Dabei zeigt sich eine steigende Anzahl von Reallaboren (als *Kommunikation*) mit experimentell gewonnenen Erkenntnissen, die wiederum als Fallbeispiel z. B. zur Validierung oder Plausibilisierung von Ergebnissen der *Beratung* dienen können (Parodi und Beecroft, 2021, S. 380).

Methoden (-mix) und örtlicher Bezug

Die Möglichkeiten für weitreichende Anwendungsfelder bieten Verfahren, die auf einen vielfältigen Methodenmix setzen wie Keller, Neuherz und Spangler (2004), Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2015) und Riener et al. (2020). Feldexperimente und -beobachtungen (→ M7) sowie Befragungen, Interviews und ExpertInnen-/Fokusgruppenworkshops (→ M5) zeigen sich dabei als hilfreiche Methoden mit Denkanstößen für die Bewertung von Technik. Immer wieder wird die (zukunftsrelevante) entscheidende Bedeutung der Stakeholder, Entscheider und Verantwortlichen in Ländern und Kommunen (vor Ort) bei mobilitätsbezogenen Themen betont (vgl. Pakusch, 2020; Perret et al., 2020; ASTRA, 2022; ...) (→ E2, E3). So ist laut Nehring und Steierwald (2000, S. 93 f.) die „wichtigste Voraussetzung der Erzeugung ‚effizienter‘ Maßnahmen durch die situative Bewertung (...) ein Kriterienkatalog, aus dem die örtlich/regional relevanten Kriterien ausgewählt werden können, wobei eine weitere Ergänzung des Katalogs grundsätzlich möglich sein“ muss (→ E12, E14). Ein Kriterienkatalog ermöglicht die Bewertung des Stands der Technik und das Aufzeigen von Defiziten.

Relevante Schwerpunkte

Von der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2015) wird die Bedeutung des Benutzer-Fahrzeug-Infrastruktur-Systems (→ E18, E23, E25) und der Wissensgewinn durch Prototypen hervorgehoben (→ E20). Hintergrund ist, dass die Technik nicht an den Anforderungen der Menschen vorbei entwickelt werden darf, da sich ansonsten eine Akzeptanz nicht herstellen lässt. Die *Konstruktion* spielt in unternehmensorientierten Ansätzen eine größere Rolle, dabei finden die Lebenszykluskosten Berücksichtigung. Außerhalb unternehmensorientierter Ansätze wird zur Beratung öffentlicher Institutionen die Tauglichkeit und Schwachstellenanalyse von Prototypen weniger tiefgehend analysiert oder das gewonnene Wissen nicht direkt in die Konstruktion von Technik investiert, was in einem Testfeld möglich ist.

Die Unterschiede der Verfahren zeigen sich in der Sichtweise:

- Wer ist der Auftraggeber und
- welche Disziplin und
- welcher Experte mit
- welchem Hintergrund

Perspektive und
Einordnung

bringt Forschungskompetenz ein. Dabei ist es einleuchtend, dass bei einer Studie im privatwirtschaftlich orientierten Unternehmen die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit einer Innovation im Vordergrund steht. Gebrauchte Verfahren unterliegen nicht immer einer ganzheitlichen Betrachtung, was für eine Anwendung aus gesamtgesellschaftlicher Verantwortung unzureichend ist. (→ E11, E5) Häufig wird nur eine Momentaufnahme abgebildet, die vom Kenntnisstand der beteiligten und bewertenden ExpertInnen abhängt. Sofern in vorliegenden Verfahren viele verschiedene Kriterien analysiert werden, erscheint es deshalb kritisch, diese grundsätzlich vorab mittels einer Gewichtungsmethode zu sortieren oder (aus)filtern zu lassen. (→ E7, E14) Zudem wird bei einer vorzeitigen Gewichtung eine Entscheidung vorweggenommen, die nicht durch einen Bearbeitenden erfolgen sollte (vgl. Kapitel 3.1.3) (→ E19). Eine teils angewandte quantitative Monetarisierung aller Kriterien muss keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern und lässt ggf. individuell notwendige Kriterien außer Acht (→ E2, E19). Eine leichte Kombinierbarkeit von verschiedenen Methoden und Ergebnissen ist nicht grundsätzlich gegeben, häufig bedarf es verbal-argumentativer qualitativer Einschätzungen in der Auswertung (→ E1, E9).

Bei der Prüfung der weiteren Einsatzeigenschaften ergibt sich, dass kein identifiziertes Verfahren mit geringem Aufwand bei geringer Komplexität leistbar ist. Zum Teil wirkt es in vorliegenden Verfahren so, dass Arbeitsschritte, Methoden und Daten sowie Ergebnisse als Anhäufung erst zusammenhanglos entstehen und verbal-argumentativ zusammengefügt werden müssen (→ E9). Dies ist nicht verwunderlich bei der großen Methodenvielfalt und beteiligten Fachdisziplinen, was allerdings aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive mit meist stark strukturierten Verfahrensmustern optimierbar ist (→ E1). Sofern die Daten und Ergebnisse dies ermöglichen, soll ein beherrschbares Verfahren und eine möglichst verständliche Entscheidungsgrundlage abgeleitet werden (→ E4, E8, E17).

Nutzbarkeit der
Ansätze

In der Sichtung der Verfahren zeigt sich, dass ein automatisierter Bus in einem Umfeld im Verkehrssystem in ländlichen Räumen in der Technikbewertung noch nicht hinreichend untersucht wurde (→ E3, E23, E25). Die Vielfalt der möglichen Folgen und Wirkungen ist noch nicht erfasst oder umfassend aufbereitet worden. Ferner besteht in vorliegenden Verfahren kein Einbezug der Ist-Situation, was eine bessere Nachvollziehbarkeit für Entscheidungstragende gewährleistet und für die Realisierbarkeit einer neuen Technik in einem bestehenden Verkehrssystem notwendig ist (→ E6, E12).

Vergleichbare
Untersuchungs-
objekte

Dabei spielt für eine neue Technik in der Mobilität die Integration in der vollständigen Reisekette (Tür-zu-Tür) im Verkehrssystem eine wichtige Rolle. Dafür ist neben dem tatsächlichen Verkehrsweg für das Verkehrsmittel die Reisekette mit Besonderheiten der Nutzbarkeit, der Erreichbarkeit, des Zugangs oder des Umstieges von Personen (bzw. auch Gütern) zu berücksichtigen. Der Integration einer Technik von seinem Teilsystem

Besonderheiten
in der Mobilität

ins Gesamtsystem ist deshalb eine besondere Bedeutung beizumessen (→ E18, E24, E25). Eine Technik in der Mobilität muss demnach in die bereits bestehenden Mobilitätszusammenhänge eingeordnet werden, womit zu einer neuen Technik die prognostizierte Konkurrenz- und/oder Nischensituation sowie Innovationseigenschaften bestimmt werden sollten. Dies kann in Verbindung mit einer zuvor beschriebenen Systemanalyse und der Analogiebildung erfolgen (→ E3, E24, M1, M2, M4).

Hinsichtlich der Bewertung von Verkehrsmitteln ist immer die Infrastruktur aufgrund seiner Bedeutung u. a. in Umfeldauswirkungen und Wirtschaftlichkeit einzubeziehen, aber auch wegen des entscheidenden Hebels politischer und gesellschaftlicher Entscheider (vgl. Kapitel 1 und 6.1.4) (→ E3, E23, E24). Aus verschiedenen anderen Technologien heraus zeigt sich die Bedeutung der Kosten einer Technik, die über den Lebenszyklus immer möglichst umfassend und herstellerunabhängig ermittelt werden sollten (→ E13).

Zwischen- fazit

Insgesamt lässt sich kein bestehendes Verfahren identifizieren oder direkt anwenden, das sich mit dem Thema automatisierter oder fahrerloser Shuttle in ländlichen Räumen unter Einbezug einer Vielzahl von Aspekten aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive nähert und dabei Bezug auf einen konkret vorliegenden Entwicklungsstand der Technik nimmt. Es zeigt sich allerdings, dass Stärken der identifizierten Verfahren und Methoden weiter genutzt und aus Schwächen Anforderungen definiert werden können, um das bestgeeignete Vorgehen für die Zielsetzung gemäß Kapitel 1.1 zu entwickeln. Im übertragenen Sinne liegen mit dem Kapitel 4 und der zugehörigen Anlage 10.1 die Methoden bereit, zu denen im nachfolgenden Kapitel 5 ein eigenes Verfahren geschrieben werden kann. Die Erkenntnisse werden in Tabelle 5-2 überführt.

5 Entwicklung des eigenen Verfahrens

In diesem fünften Kapitel wird unter dem Erkenntnisgewinn der vorangegangenen Kapitel ein Verfahren als Antwort auf die erste Forschungsfrage¹¹ erarbeitet. Die Ausarbeitung des Verfahrens erfolgt eigenständig ohne weitere Akteure. Nach einer Zusammenstellung von übergreifenden Grundsätzen (Gx) an das zu entwickelnde Verfahren in Kapitel 5.1, die sich aus den Grundlagen der Technikbewertung in Kapitel 3 herleiten, werden die über die Literaturanalyse gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse (Ex) anderer bereits existierender Verfahren aus Kapitel 4 in Kapitel 5.2 konkretisiert und zu Lösungsansätzen (Lx) für die eigene Anwendung umgewandelt. Aus den vorangegangenen Erkenntnissen und Bausteinen wird in Kapitel 5.3 ein phasenweises Vorgehen innerhalb einer Struktur entwickelt, die in Kapitel 5.4 mit den vorangegangenen Methoden und Lösungsansätzen gefüllt wird. Der umfassende Verfahrensablauf wird in Kapitel 5.5 in der Abbildung 5-5 dargestellt. Das Kapitel endet mit einem Zwischenfazit bevor eine Anwendung des Verfahrens in Kapitel 6 folgt. Die Abbildung 5-1 stellt die Gliederung des Kapitels 5 dar.

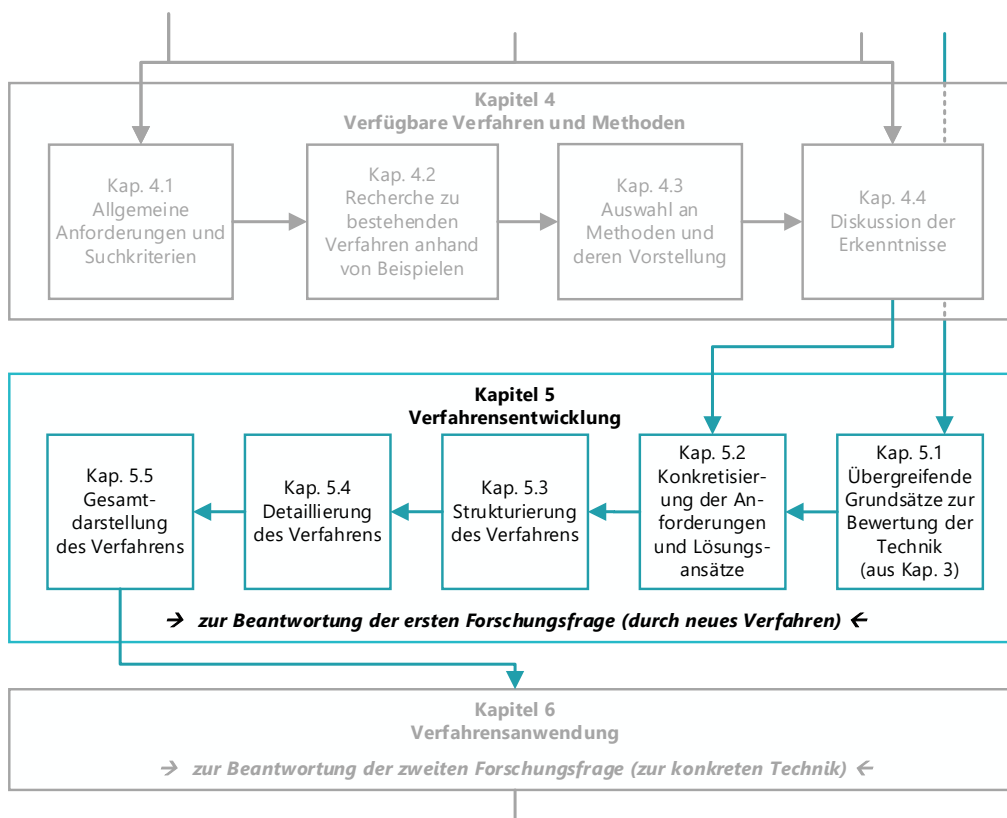


Abbildung 5-1: Gliederung des fünften Kapitels mit Übergang zum Folgekapitel (Ausschnitt aus Abbildung 1-1)

¹¹ Wie kann frühzeitig eine technische Innovation im Verkehrswesen ganzheitlich bewertet werden?

5.1 Grundsätze für die Bewertung der Technik

Aus den Richtlinien und der Literatur der Technikbewertung (vgl. Kapitel 3) werden Forschungsgrundsätze zusammengefasst, denen im weiteren Verlauf entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet wird. Die Grundsätze werden mittels Nummerierung (Gx) indiziert und in nachfolgender Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Dem VDI (2000) folgend werden Grundsätze für die Forschung der Bewertung der Technik gesetzt wie eine offene Fragestellung (G1), Interdisziplinarität (G2), Unabhängigkeit (G3), Offenlegung (G4), Transparenz (G5), Folgerichtigkeit (G6), Vollständigkeit (G7), Unterscheidung empirischer und individueller Werturteile (G8) sowie Entscheidungsoptionen (G9). Die Forderungen des VDI (2000) in der Richtlinie 3780 zur Technikbewertung sind Grundlage wissenschaftlicher Arbeit (vgl. Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2022). Die Richtlinie 3780 gibt keinen Aufschluss darüber, wie ein Verfahren aussieht, nur welche Anforderungen an dieses gestellt werden und mit welchen Methoden gearbeitet werden kann (vgl. Kapitel 3.1.2).

Gemäß Grunwald (2010, S. 136) bezugnehmend auf Decker (2007) ist für die Technologiefolgenabschätzung die Qualitätssicherung von enormer Bedeutung. Neben der wissenschaftlichen Qualität der Arbeit mit Nachvollziehbarkeit (vgl. Popp und Schüll 2009, S. 200) und Reflektion benötigt es für die Ergebnisse die interdisziplinäre Prüfung und einen Wissenstransfer. Folgende Forderungen werden seitens Grunwald (2010, S. 137–139) mit Bezug auf Weingart et al. (2008) zusammenfassend aufgestellt: Inter- und Transsubjektivität (G10), Wissenschaftliche Unabhängigkeit (G3), Transparenz (G4, G5), Pragmatische Kompatibilität (G11), Problemlösekapazität (G12) und Nutzerfreundlichkeit (G13). Es besteht dem Grunde nach im Hinblick auf die technikbedingten Risiken zudem ein Vollständigkeitsanspruch (G14) (Grunwald, 2010, S. 163–165), welcher allerdings nach Grunwald „grundsätzlich nicht einlösbar ist“. Dies ist durch die Randbedingungen der Finanzierbarkeit und des Umfangs einer Untersuchung, den praktischen Gründen der Datenverfügbarkeit und „aus prinzipiellen wissenschaftstheoretischen Gründen“ nicht möglich (Grunwald, 2010, S. 163–165).

Die FGSV (2018, S. 9) definiert für Verkehrsplanungsprozesse folgende allgemeine Anforderungen an die Umsetzung: Effektivität, Effizienz, Korrektheit und Transparenz. Es zeigen sich damit die Übereinstimmungen zu den Anforderungen aus der Technikbewertung (s. o.). Hinzu kommt der Aspekt der Akzeptanz (G15), der darauf abzielt, dass Planungsabläufe und Planungsergebnisse „von möglichst vielen Beteiligten und Betroffenen akzeptiert werden“ (FGSV, 2018, S. 9) und konsensorientiert geplant wird (FGSV, 2013b, S. 43).

Vorstehende und in Tabelle 5-1 dargestellte Ziele sind als Grundsätze allgemeiner Natur, haben aber einen hohen Anspruch an die durchzuführenden Verfahren – insbesondere bei der Anwendung eines Methodenmix, der sich in allen Phasen bis in die Zusammenführung besonderen Gütekriterien stellen muss (Döring und Bortz, 2016, S. 115). Das eigene Verfahren versucht sich an dieser Vielzahl von Forderungen zu orientieren.

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der anzustrebenden Grundsätze zur Bewertung einer Technik (eigene Darstellung)

G1 offene Fragestellung	G6 Folgerichtigkeit	G11 Pragmatische Kompatibilität
G2 Interdisziplinarität	G7 Berücksichtigung aller Einflussfaktoren	G12 Problemlösekapazität
G3 Unabhängigkeit	G8 Differenzierung empirische / argumentative Werturteile	G13 Nutzerfreundlichkeit
G4 Offenlegung des Verfahrens	G9 Darlegung von Entscheidungsoptionen	G14 Vollständigkeitsanspruch
G5 Transparenz	G10 Inter- und Transsubjektivität	G15 Akzeptanz

5.2 Konkretisierung der Anforderungen und Lösungsansätze

Neben den vorangegangenen übergreifenden Grundsätzen gehen aus der Herausforderung und Zielsetzung in Kapitel 1.1 und bestehenden Erfahrungen und Verfahren in Kapitel 4 unter dem Eindruck der Grundsätze (Gx) aus Kapitel 5.1 konkrete Erkenntnisse hervor, die vollständig in der folgenden Tabelle 5-2 in Spalte (Ex) aufgenommen werden. Daraus lassen sich anhand der bisher gewonnenen Erkenntnisse Lösungsansätze (Lx) definieren.

Tabelle 5-2: Zusammenstellung der Erkenntnisse und Lösungsansätze (eigene Darstellung)

Erkenntnis (Ex)	Lösungsansatz (Lx)
aus vorangegangenem Kapitel 4 unter Berücksichtigung der Grundsätze (Gx) aus Kapitel 5.1	für die weitere Bearbeitung in Kapitel 5 und 6 unter Einbezug der Methoden (Mx) aus Kapitel 4.3
E1 Die Arbeitsschritte, Methoden und Ergebnisse sollen nicht als zusammenhanglose Anhäufung und disparate Wissensselemente entstehen.	L1 Es werden Ansätze aus der Systemtechnik ($\leftarrow M1$) als Rahmen der Bearbeitung verwendet – dabei werden die Arbeitsphasen stark systematisch strukturiert.
E2 Das konkrete Einsatzumfeld der Technik und die verantwortlichen Akteure sollen Berücksichtigung finden ($\leftarrow G10, G15$).	L2 Die Ziele der lokal verantwortlichen Akteure werden identifiziert ($\leftarrow M5$) und regionale Daten hinzugezogen ($\leftarrow M8$).

Erkenntnis (Ex)	Lösungsansatz (Lx)
<i>E3</i> Die betrachtete Technik soll nicht isoliert, sondern als integriertes Element mit seinen Fähigkeiten in einem Gesamtgefüge betrachtet werden (← G14).	<i>L3</i> Das Analyseobjekt ist mit seinem Einsatzfeld zu definieren und die Systemgrenzen und Zusammenhänge unter Einbezug von Umfeld und Infrastruktur zu identifizieren und „von außen“ zu analysieren (← M1, M2).
<i>E4</i> Es wird ein nachvollziehbares, strukturiertes Verfahren mit einfachen oder bewährten Ansätzen benötigt, das sich für andere Anwendungsfälle eignet (← G4, G5, G6).	<i>L4</i> Das Verfahren wird phasenweise übersichtlich strukturiert, die Nachvollziehbarkeit wird über entsprechende Erläuterungen gewährleistet, die Eingabedaten oder -methoden sollen dabei austauschbar sein (← M1).
<i>E5</i> Für die Ermittlung des Stands der Technik soll die Bewertung möglichst systematisch und umfassend erfolgen (← G7, G14).	<i>L5</i> Es werden übergreifend Ziele und Kriterien ermittelt (← L2).
<i>E6</i> Der Einbezug eines Vergleichswertes zum Stand der Technik kann hilfreich sein zur Beantwortung der Fragen „Wo stehen wir jetzt“ und „Was wollen wir“, um zu veranschaulichen, wo die Technik in bestehenden Zusammenhängen steht (← G9).	<i>L6</i> Es erfolgt eine Berücksichtigung der Bestandsituation und ein Aufbau eines normativen Szenarios als Bezugsgröße für die Bewertung der Fähigkeiten des betrachteten Systems (← M9).
<i>E7</i> Eine Gewichtung von Kriterien zeigt sich als Momentaufnahme und ist vom Beurteilenden abhängig. Eine Gewichtung von Kriterien und die Entscheidung sollen zeitgleich erfolgen (← G6, G8, G9, G10, G15).	<i>L7</i> Es wird keine Vorab-Gewichtung unter den Kriterien durchgeführt und dem Entscheidenden eine mögliche Gewichtung überlassen, um im Vorfeld alle Kriterien hinreichend zu würdigen (← M9, M12).
<i>E8</i> Es soll deutlich werden, inwiefern ein eingesetzter Prototyp für den vorgesehenen Einsatzzweck brauchbar und geeignet ist (Umfang des Nutzens). Dabei sollen Schwachstellen zur Identifikation	<i>L8</i> Mittels konkreter Methoden soll eine transparente Ermittlung des Entwicklungsstandes anhand zuvor festgelegter Kriterien für die Technik erfolgen (← M3, M7, M12).

Erkenntnis (<i>Ex</i>)	Lösungsansatz (<i>Lx</i>)
von Handlungsoptionen offengelegt werden (← <i>G1, G5, G9, G12</i>).	
<i>E9</i> Verbal-argumentative Zusammenfassungen sollen in ihrer Struktur eine klare Aussage zulassen (← <i>G13, G15</i>).	<i>L9</i> Sofern keine andere Skala durch quantitative Daten möglich ist, soll eine einfache Ordinalskala für qualitative und quantitative Zwischenergebnisse verwendet werden (← <i>M12</i>).
<i>E10</i> Es soll das Potenzial genutzt werden, aus den im Verfahren gewonnenen Erkenntnissen oder beteiligten Akteuren eine direkte Weiterentwicklung der Technik zu ermöglichen (← <i>G11, G13</i>).	<i>L10</i> Aus den im Bewertungs- und Beteiligungsprozess erkannten Defiziten können direkt neue Gestaltungsoptionen für die Technik entwickelt und erprobt werden (← <i>M5, M7</i>).
<i>E11</i> Die Betrachtung hat losgelöst von Einzelinteressen zu erfolgen und ist anhand möglichst ganzheitlicher Werte und Ziele vorzunehmen (← <i>G3, G10, G15</i>).	<i>L11</i> Die Ziele und Kriterien werden aus verschiedenen Quellen zusammengestellt. Neben der Berücksichtigung der Werte der VDI-Richtlinie 3780 als Oberziele erfolgt mittels Sensitivitätsanalyse eine Überprüfung der Ganzheitlichkeit (← <i>M2</i>). Abhängigkeiten und Interessen sind offen zu legen.
<i>E12</i> Kommunale Akteure sollen im Rahmen der Beratungsfunktion des Verfahrens von den Ergebnissen profitieren (← <i>G11, G13, G15</i>).	<i>L12</i> Eine Beteiligung entsprechender Akteure an der Zieldefinition und den Kriterien ist anzustreben, die Ergebnisse sind kompakt anschaulich aufzubereiten (← <i>M5, M12</i>).
<i>E13</i> Die Konsequenzen des Lebenszyklus der Technik sind zu bedenken (← <i>G14</i>).	<i>L13</i> Bei der Ermittlung von Kosten und Folgen werden neben der Implementierung der Technik die Konsequenzen in der weiteren Zukunft betrachtet (← <i>M7</i>).
<i>E14</i> Ein Wandel von Werten und Zielen soll unter Beachtung laufender Wechselwirkungen und sich ändernden Begleitumständen in der Bewertungssystematik möglich sein (← <i>G4, G5</i>).	<i>L14</i> Die Analyse muss eine gewisse Sensitivität prüfen und Ziele müssen für wandelnde Kontextbedingungen flexibel gehalten werden (← <i>M2, M9</i>).

Erkenntnis (Ex)	Lösungsansatz (Lx)
<i>E15</i> Die Risiken, Neben- und Wechselwirkungen der Technik müssen umfassend, u. a. im Hinblick auf mögliche gesellschaftliche Konfliktfelder, gewürdigt werden (← G14).	<i>L15</i> Im Verfahrensablauf erfolgt eine Berücksichtigung durch Prüfung von Abhängigkeiten und Auflistung erkannter Risiken (← M10).
<i>E16</i> Die möglichen Zukünfte sollen für Externe und Teilnehmende von Befragungen vorstellbar werden (← G15).	<i>L16</i> Es erfolgt eine Anwendung der Szenariotechnik für eine eindeutige und nachvollziehbare Definition des Einsatzes und Umfeldes der Technik im Kontext und Verwendung von Visualisierungen (← M9).
<i>E17</i> Aufgrund eines begrenzten Stichprobenumfangs ist eine Unsicherheit oder Einschränkung der Datenqualität von Analyseergebnissen zu beachten (← G5, G6, G8).	<i>L17</i> Es wird eine Einordnung und Überprüfung der eigenen Zwischenergebnisse in ihrer Aussagekraft über die Literatur vorgenommen.
<i>E18</i> Die Bedeutung des Zusammenhangs Benutzende-Fahrzeug-Infrastruktur ist zu berücksichtigen (Verständlichkeit) (← G7, G14, G15).	<i>L18</i> Es werden partizipative Methoden verwendet und Nutzende und Betroffene in die Analyse einbezogen (← M5, M7).
<i>E19</i> Transparenz und Objektivität sind zu gewährleisten (← G8, G10).	<i>L19</i> Es erfolgt eine umfassende Dokumentation sowie Trennung von Analyseergebnissen und der bewertenden Einordnung.
<i>E20</i> Der Stand der Technik ist möglichst praxisnah zu überprüfen.	<i>L20</i> Ein Testfeld mit einem Prototypen als Versuchsträger wird zur Beteiligung und Partizipation, Konstruktion und Wissensgenerierung genutzt (← M7).
<i>E21</i> Ein zu großer Umfang der Studie ist zu vermeiden (← G13).	<i>L21</i> Das Kernelement der Technik ist herauszuarbeiten und abzugrenzen. Dabei kann auf die Untersuchung von Überschneidungen zu anderswo betrachteten Aspekten in anderen Zusammenhängen (z. B. Elektromobilität, Autonomie) verzichtet werden (← M1).

Erkenntnis (Ex)	Lösungsansatz (Lx)
<i>E22</i> Eine interdisziplinäre Bearbeitung verbessert den ganzheitlichen Erkenntnisgewinn ($\leftarrow$ G2, G14).	<i>L22</i> Sofern in der Ausarbeitung keine weiteren Fachdisziplinen beteiligt werden können, sind diese, wo immer möglich, in den angewendeten Methoden zu beteiligen ($\leftarrow$ M5, M6).
<i>E23</i> Die Infrastruktur spielt beim Einsatz von Verkehrsmitteln eine relevante Rolle (Kompatibilität) ($\leftarrow$ G11).	<i>L23</i> In der Systemabgrenzung, Analyse der Technik und den Feldexperimenten wird die Infrastruktur einbezogen.
<i>E24</i> Die Integrierbarkeit der neuen Technik in das bestehende Gesamt(verkehrs)system ist zu ermitteln (Kompatibilität) ($\leftarrow$ G11, G12).	<i>L24</i> Es werden in Verbindung mit der neuen Technik Einsatzszenarien erstellt, die das Umfeld beschreiben und Abhängigkeiten zum Gesamtsystem aufzeigen. Es erfolgt eine Analogiebetrachtung ($\leftarrow$ M4).
<i>E25</i> Der Zu-/Abgang bzw. Umstieg des Nutzenden zum neuen System ist zu berücksichtigen ($\leftarrow$ G7, G14).	<i>L25</i> In der Systemabgrenzung hat die Wegekette des Nutzenden Berücksichtigung zu finden ($\leftarrow$ M1).
<i>E26</i> Die Realisierungsfähigkeit einer Technik soll in Abhängigkeit von anderen Produkten betrachtet werden.	<i>L26</i> Um das aktuelle Marktumfeld und Alternativen zur Technik zu betrachten erfolgt eine Einordnung in die Nischen- und Konkurrenzsituation ($\leftarrow$ M4).

Die in Tabelle 5-2 aufgeführten Lösungsansätze fließen in die weitere Ausarbeitung der Methodik in Kapitel 5.3 und 5.4 ein und werden auf ihre Umsetzungsfähigkeit in Kapitel 6 überprüft.

5.3 Strukturierung des Verfahrens

In den vorangegangenen Kapiteln konnten Ableitungen aus bestehenden Verfahren und Anforderungen für das neue Verfahren gebildet werden, zu denen die Notwendigkeit einer entsprechenden Strukturierung gehört. Die Systemanalyse (beschrieben in Kapitel 4.3) liefert eine Grundlage für einen Ansatz des nachfolgend beschriebenen Vorgehens als strukturellen Rahmen der weiteren Ausarbeitung. Das Verfahren wird darauf aufbauend in folgende Phasen gegliedert (vgl. Abbildung 5-2):

1. Scoping
2. Zielsystem
3. Einsatzbedingungen
4. Synthese
5. Analyse
6. Bewertung
(Entscheidung)

In der ersten Phase des **Scoping** wird der konkrete Untersuchungsgegenstand benannt und abgegrenzt. Es werden maßgebliche Trends und Akteure um die im Fokus stehende Technik identifiziert. Auf Basis der gewonnenen Grundlagen erfolgt die Einordnung der Beteiligten an der Ausarbeitung und die Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes von seiner Umwelt. Die zentrale Frage dieser Phase lautet: *Worum geht es und was ist das Umfeld?*

In der zweiten Phase zum **Zielsystem** werden im Rahmen einer Zielanalyse angestrebte Fähigkeiten zur Technik ganzheitlich zusammengestellt. Dies erfolgt im Abgleich auf Umfänglichkeit mit übergeordneten Oberzielen. Aus dem Zielsystem entsteht ein Zukunftsverständnis. Dabei wird *ein* möglicher Fokus zum Einsatz der Technik gesetzt. Die zentrale Frage dieser Phase lässt sich veranschaulichen in: *An welchen angestrebten Zielen mit welchen Fähigkeiten muss sich das technische System messen?*

In der dritten Phase wird die neue Technik hinzugenommen, die hinsichtlich grundsätzlicher **Einsatzbedingungen** für einen realen Versuchsträger auf seine Verwendbarkeit in der nächsten Phase geprüft werden muss. Es wird die Frage beantwortet: *Welche konkreten Bedingungen **muss** das technische System erfüllen und kann es dies leisten?* Wenn das vorgesehene technische System die Anforderungen nicht erfüllen kann, wäre ein Abbruchkriterium erfüllt.

In der vierten Phase der **Synthese** werden für den Analyse-Fall und für die Zukunft mit der Technik mögliche Systemzustände gebildet. Das begegnet der Frage: *Welche Systemzustände sollen untersucht werden?* Diese Systemzustände sollen in der sechsten Phase im Hinblick auf ihre Zielerreichung, anhand des bereits in der zweiten Phase definierten Zielsystems, bewertet werden.

In der fünften Phase der **Analyse** erfolgt die Methodenauswahl und -anwendung, womit eine „Mobilisierung möglichst des gesamten vorhandenen und generierbaren Wissens“ (vgl. Kapitel 3.1) erzeugt wird. Dies folgt der Fragestellung: *Welches Wissen zu den angestrebten Fähigkeiten des Systems kann produziert werden?* Sofern die Analyse bereits

deutlich macht, dass das technische System die angestrebten Fähigkeiten nicht erfüllen kann, wäre ein Abbruchkriterium erfüllt.

In der sechsten Phase der **Bewertung** erfolgt die Interpretation der Ergebnisse der Systemanalyse und die Ermittlung des Leistungsstandes anhand des Soll-Ist-Vergleiches als eine Zielerreichung mit einer Wirkungsanalyse. Die vorangegangenen Erkenntnisse zu den verschiedenen Fähigkeiten werden zudem in Zusammenhängen bewertet. Außerdem werden Risiken und Nebenwirkungen ermittelt sowie der Bezug zu den Analogien hergestellt. Abschließend werden Empfehlungen diskutiert. *Was bedeutet das Wissen zur Technik in Verbindung mit den angestrebten Fähigkeiten und Zukunftsszenarien?* Die sechste Phase stellt die Hauptphase des Verfahrens dar und soll maßgeblich der Erkenntnisgenerierung dienen. Während der Bewertung kann sich (z. B. bei einer Identifikation von erheblichen Risiken) die weiterführende Bearbeitung und die nachfolgende Phase der Entscheidung erübrigen.

Das gewonnene Wissen kann für die letzte Phase der **Entscheidung** bereitgestellt werden. Die aushandelnden Akteure erhalten über vorangegangene Phasen eine Momentaufnahme des Wissens und die Bewertung einer möglichen Zukunft, die es mit oder ohne die Technik weiter zu gestalten gilt. Bei Veränderungen von Oberzielen, Zielen und Eigenschaften des technischen Systems kann das Verfahren beliebig oft wiederholt werden.

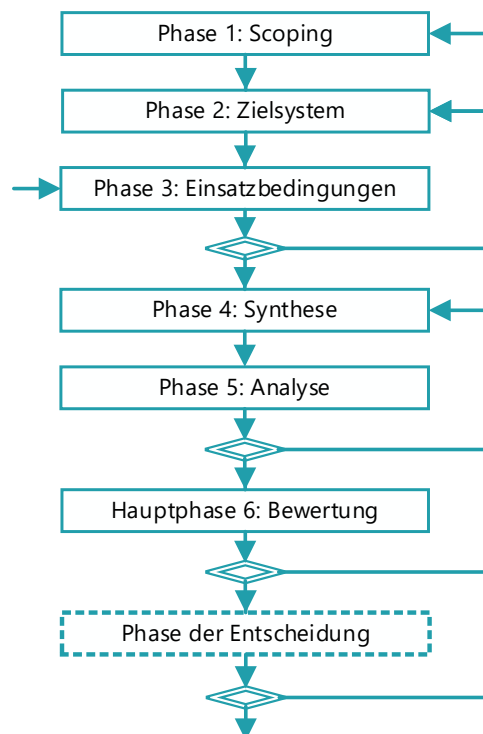


Abbildung 5-2: Struktur des eigenen Verfahrens (eigene Darstellung nach Anpassung der Systemanalyse von Pahl et al. (2007, S. 19) für eine technische Innovation im Verkehrswesen)

Die vorgestellten Phasen werden im nachfolgenden Kapitel 5.4 mit konkreten Arbeitsschritten und Methoden gefüllt.

5.4 Detaillierung des Verfahrens

Auf Grundlage der zuvor in Kapitel 5.3 vorgestellten Struktur wird das Verfahren im Folgenden weiter konkretisiert und die Lösungsansätze ($\leftarrow Lx$) aus Kapitel 5.2 eingebracht. Die Erläuterungen erfolgen je Phase, die übergreifende grafische Veranschaulichung befindet sich im anschließenden Kapitel 5.5.

5.4.1 Phase 1: Scoping

In der ersten Phase des Scoping werden mehrere Schritte bearbeitet, um Hintergründe, Umfang und Schwerpunkt offen zu legen und sich dem Technischen System und seinem Umfeld anzunähern. Hier (und in den beiden nachfolgenden Phasen) werden die Bestandteile einer Situationsanalyse abgebildet. Der Begriff Scoping ist in diesem Falle entlehnt aus der Verkehrs- und Umweltplanung: In dieser wird in der Regel für Vorhaben, die einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach dem UVPG¹² unterliegen, zu Beginn ein Prozess durchgeführt, der den Umfang der vom Bearbeitenden zu erstellenden Untersuchung festlegt. (Riedel et al., 2016, S. 329 f.) Die Phase dient u. a. dazu, dass „durch eine frühzeitige aktive Einladung der möglicherweise Betroffenen (...) das vorliegende Wissen über eine Region effektiv abgefragt werden [kann].“ (Peters, Köller und Pobloth, 2006, S. 292 f.). In der Wissenschaft wird Orientierung über den Stand der Literatur über einen Scoping Review geschaffen, der zum Einstieg nicht die Tiefe einer systematischen Literaturrecherche besitzt (Levac, Colquhoun und O'Brien, 2010; Munn et al., 2018). Die Phase des Scoping wird – wie nachfolgend beschrieben – unterteilt in mehrere Arbeitsschritte.

Schritt 1.1: Zielsetzung und Fragestellung

Zu Beginn wird das zu prüfende Einsatzgebiet und die zu untersuchende Technik benannt. Eine genauere Abgrenzung des technischen Systems erfolgt nach weiteren Arbeitsschritten.

Schritt 1.2: Untersuchungs(raum)abgrenzung

Die Untersuchungsabgrenzung erfolgt in Abhängigkeit des zuvor zu definierenden und übergreifenden Analyseziels der Untersuchung. Um ein schwer überschaubares Themengebiet in seiner Komplexität zu reduzieren, wird über das Analyseziel eine Fokussierung vorgenommen und das mögliche Einsatzfeld der Technik beschrieben ($\leftarrow L24$). Es ist (aus kapazitativen oder wirtschaftlichen Gründen) zu definieren, ob und welche Folgenbereiche mit Breite und Tiefe sowie welche Gruppen von Betroffenen berücksichtigt werden sollen, wodurch sich eine Einschränkung in der Umfänglichkeit der Ergebnisse ergeben kann ($\leftarrow L21$). Dabei wird hinsichtlich des Blickwinkels angestrebt, sich aus dem System heraus auf das definierte System von außen blickend zu bewegen, um ganzheitliche Zusammenhänge objektiv betrachten zu können ($\leftarrow L11$). Es gilt dabei ein

¹² Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

System festzulegen, in dem die für die Aufgabenstellung wichtigen Einflüsse und Wechselwirkungen innerhalb der Untersuchungsgrenzen liegen – unter Berücksichtigung möglicher äußerer Einflüsse.

Aus dieser ersten Phase ergibt sich neben der Feststellung der Beteiligten und des Analyserraums die Umschreibung des technischen Systems, das sich über das gewonnene Wissen in der Technik grob einordnen lässt. Es entsteht eine *räumliche und inhaltliche Systemabgrenzung*.

Schritt 1.3: Megatrends

Anschließend werden die langanhaltenden Entwicklungen identifiziert, die mit der Technik in direkter struktureller und systemverändernder Verbindung stehen können. Diese Entwicklungen sind von großer Bedeutung, da sie unser Umfeld und unseren Alltag graduell und tiefgreifend von innen heraus verändern (Naisbitt, 1986; Horx, 2011). Es erfolgt eine Einordnung der Technik, wo und wie sich das technische System mit diesen Trends identifizieren oder diesen widerstreben könnte. Über die Erkenntnisse hierzu lässt sich die Relevanz der Technik zur Entwicklung der Gesellschaft und das gewählte Einsatzgebiet bewerten.

Schritt 1.4: Analyse der Akteure

In der Analyse der Akteure werden sämtliche Beteiligte an der Technik und dessen Umfeld identifiziert. Die einzelnen Rollen und Interessen werden erkennbar. Dabei kann festgestellt werden, wer fördernd und wer hemmend auf die Technik einwirkt.

Schritt 1.5: Offenlegung der Abhängigkeiten und Zielgruppe

Es werden in diesem Arbeitsschritt Abhängigkeiten, vorhandene Interessenbindungen und Finanzierungen der Beteiligten der Untersuchung offengelegt (← L11), sodass im Innovations-Entscheidungs-Prozess nach Rogers (2003) die soziale Unterstützung bzw. Beeinflussung in der Abwägung zur Übernahmeentscheidung der Beteiligten deutlich wird. Grundsätzlich ist für die Bearbeitung des Verfahrens eine maximale Unabhängigkeit anzustreben. Es wird zudem erläutert, für welche Zielgruppe(n) eine Bewertung der Technik erfolgt. Neben der Zielgruppe sind die verschiedenen relevanten Perspektiven im Themengebiet zu erwähnen. (← L12, L18, L10).

5.4.2 Phase 2: Zielsystem

In dieser Phase werden von der Ausgangssituation startend, strategische und spezifische Fähigkeiten und der Nutzen des betrachteten Systems nach vorgegebenen Wertdimensionen festgelegt. Fähigkeiten und Ziele werden im Weiteren synonym verwendet. Das Zielsystem soll einen Abgleich ermöglichen, um Technik zielorientiert an aktuellen gesellschaftlichen Vorstellungen und den aktuellen Herausforderungen sowie Problemen zu entwickeln. Ausgehend von klar formulierten Zielen (dem Grunde nach Thesen) können im weiteren Verlauf Bewertungen vorgenommen und Maßnahmen vorgeschlagen werden (FGSV, 2013b, S. 43).

Schritt 2.1: Ermittlung von Zielen und Fähigkeiten

Unter Anwendung der Relevanzbaumanalyse ($\leftarrow M3$) werden in einer Ebene Werte als Oberziele (vgl. Ropohl, 2009, S. 151–153) positioniert, die aus der Richtlinie 3780 (vgl. VDI 2000) stammen. Diese sind grundsätzlich erweiterbar und dienen im Verfahren als Strukturierung und zur Gewährleistung der Vollständigkeit (vgl. Schritt 2.2). Für die weiteren Ebenen erfolgt das Sammeln von angestrebten Fähigkeiten für das (mögliche) Einsatzfeld (der Technik) breit über mehrere Quellen unter Berücksichtigung mehrerer Perspektiven als eine vereinfachte qualitative Inhaltsanalyse in Anlehnung an das konzeptionelle Vorgehen nach Mayring (2022) ($\leftarrow L11, L17$):

- Gesetze, Normen und Richtlinien,
- Vorgaben, Konzepte und Hinweise des Bundes, des zugehörigen Bundeslandes und der Kreise,
- Konkrete Leitfäden und Fachliteratur zum Themengebiet

Über Rückkopplung mit der Befragung der jeweils verantwortlichen lokalen Akteure ($\leftarrow L2, L12, M5$) erfolgt eine Vollständigkeits- und Aktualitätsprüfung. Gleichzeitig kann die Akzeptanz der Akteure im Zielbildungsprozess erhöht werden. Für die vielfältigen angestrebten variablen Fähigkeiten lassen sich neutral mehrdimensionale Zielcluster in einer Zwischenebene bilden, über die eine Zuordnung zu den Oberzielen und eine bessere Übersichtlichkeit gewährleistet werden kann. Es ist darauf zu achten, dass diese Fähigkeiten jeweils auf der „passenden Flughöhe“, also gleichen Aggregationsebene nach Vester (2007, S. 213) liegen. Zu den Zielen gehören neben jeweiliger Definition die Indikatoren und externe Einflüsse sowie die Zuordnung der in Phase 1 identifizierten Akteure.

Auch wenn das Verfahren eine Momentaufnahme zum Stand der Technik bildet, sollen die angestrebten Fähigkeiten des Systems nicht fest definiert sein, sondern können sich im Laufe der weiteren Analyse in ihrem betrachteten System durch die Feststellung von neuen Beziehungen oder im Zuge eines Wertewandels verändern ($\leftarrow L14$). Dabei wird nach Vester (1991, S. 17) die Sichtweise von außen „nach innen auf das Verhaltensmuster des betrachteten Systems“ gerichtet, um in folgenden Arbeitsschritten festzustellen, wie das System „unter entsprechenden Ereignissen reagiert, wie robust es ist, wie flexibel, und wie man dieses Verhalten verbessern kann.“ (Vester, 1991, S. 17) ($\leftarrow L3$).

Schritt 2.2: Überprüfung einer Ganzheitlichkeit

Es soll gewährleistet werden, dass mit dem Verfahren ein möglichst ganzheitlicher Blick auf die Technik erfolgt. Dazu wird der Schritt 1.2 für eine Vollständigkeits- bzw. Ganzheitlichkeitskontrolle aller für eine Systembetrachtung wichtigen Fähigkeiten an dieser Stelle eingefügt. Diese Kontrolle erfolgt über zwei Instanzen ($\leftarrow M2$):

- a) Die erste Prüfung erfolgt mit einer Zuordnung der Ziele aus Schritt 1.1 zu den als „Werte im technischen Handeln“ beschriebenen Oberzielen gemäß VDI (2000, S. 12–24):

- Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität
- Gesundheit und Sicherheit
- Umweltqualität
- Wirtschaftlichkeit und Wohlstand
- Funktionsfähigkeit

Ein Anspruch auf Ganzheitlichkeit und möglichst weitreichende Betrachtung ist dadurch erfüllt, wenn zu allen fünf aufgeführten Oberzielen individuell ermittelte Ziele und Fähigkeiten zugeordnet werden konnten.

- b) Die zweite Prüfung erfolgt mittels einer Zuordnung der Ziele aus Schritt 1.1 in die von Vester (1991) entwickelte Kriterienmatrix mit den folgenden vorgegebenen Gruppierungen (vgl. Vester, 1991, S. 67):

- Lebensbereiche (Wirtschaft, Bevölkerung, Flächennutzung, Humanökologie, Naturhaushalt, Infrastruktur, Gemeinwesen)
- Physikalische Kategorie (Materie, Energie, Information)
- Dynamische Kategorie (Flussgröße, Strukturgröße, zeitliche Dynamik, räumliche Dynamik)
- Systembeziehung (öffnet System durch Input, öffnet System durch Output, von innen beeinflussbar, von außen beeinflussbar)

Die Auswertung erfolgt nach Vorgabe von Vester (1991, S. 69): Die Lebensbereiche sollten durch die Ziele aus Schritt 1.1 insgesamt ausgewogen vorhanden sein, wobei eine Betonung des Problembereichs möglich ist. Bei den physikalischen Kategorien sollten in jedem Einfluss-(Werte-)Bereich Ziele vorhanden und in den dynamischen Kategorien insgesamt gleichwertig vertreten sein. Beim Input und Output der Systembeziehungen ist mit den Zielen Ausgewogenheit herzustellen.

Je nach Ergebnis der vorstehenden Überprüfung sollten die Ziele aus Schritt 1.1 geprüft oder erweitert und umgestaltet werden, da ansonsten wichtige Wertebereiche unzureichend abgedeckt sind und kein hinreichendes Gesamtbild für das untersuchte technische System ermöglicht wird. Der Schritt 1.2 ist demnach ggf. wiederkehrend nach Überarbeitungen in Schritt 1.1 durchzuführen, bis sich ein ganzheitliches Bild ergibt. Selbige Wiederholung kann notwendig werden, wenn sich die Oberziele ändern. Insgesamt wird mit diesem Abgleich eine möglichst ganzheitliche – und z. B. unternehmenszielunabhängige – Bewertung ($\leftarrow L5, L11$) und eine Überführung in die nächsten Verfahrensschritte ermöglicht.

5.4.3 Phase 3: Einsatzbedingungen (optional)

Nachdem das System mit seinem Umfeld und die Ziele für den Einsatz der Technik in diesem in den vorangegangenen Phasen festgelegt worden sind, kann in der dritten Phase die zur Diskussion stehende neue Technik konkret hinzugezogen werden. In

dieser Phase erfolgt die Prüfung einer grundsätzlichen Realisierbarkeit anhand verfügbarer Kriterien und Einsatzbedingungen (← L8).

Schritt 3.1: Rechtliche Machbarkeit (Rahmensetzungen)

Die Überprüfung der genehmigungsrechtlichen Anforderungen im Einsatzfeld erfolgt unter ExpertInnenbeteiligung. Entsprechende Stakeholder werden hinzugezogen und die notwendigen Schritte erfasst. Dabei werden möglichst alle rechtlichen Bedingungen und Maßnahmen identifiziert, die für den Einsatz der Technik geprüft oder erfüllt werden müssen.

Schritt 3.2: Technische Machbarkeit

Mit dem Wissen aus der Literaturrecherche der Scoping-Phase findet eine Markterkundung der verfügbaren technischen Systeme für den ebenfalls zuvor definierten Analyse- und potentiellen Einsatzbereich statt.

Nach der Markterkundung werden Bedingungen und Checklisten erstellt, um die Machbarkeit der Realisierung eines Versuchsträgers zu prüfen. Dies kann unter Beteiligung potentieller Hersteller der Technik erfolgen, die ihre Einschätzung zur Machbarkeit abgeben.

Angewendet wird die einfache Duale Bewertung (vgl. Pleschak und Sabisch, 1996, S. 179), in der die Erfüllung der Kriterien mit „ja“ oder „nein“ bewertet wird. Es werden dabei Vetokriterien definiert, die grundsätzlich zwingend zu erfüllen wären (Muss-Kriterien neben Kann-Kriterien). Insgesamt ergibt sich ein Bild über den Entwicklungsstand zu direkten rein technischen Kriterien (← M12).

Hinzu kommt die Feststellung des Bedarfs an Infrastruktur für den Betrieb des Versuchsträgers im öffentlichen Verkehrsraum.

Schritt 3.3: Einsatz der neuen Technik

Sofern der Versuchsträger gemäß Schritt 3.2 als machbar gilt, ist eine Beschaffung und Erprobung denkbar, um aus einem Testfeld zusätzliches Wissen zur Bewertung der Technik im Verfahren zu generieren (← L20). Alternativ ist zu überdenken, ob ohne konkreten Versuchsträger ein Wissensgewinn denkbar ist oder nach anderen Prototypen bzw. Systemen unter neuen Kriterien erneut gesucht werden muss.

Aus dieser Phase gehen vorläufige Anforderungen und Eigenschaften des Technikeinsatzes und (optional) ein Versuchsträger für die weitere Wissensgenerierung zu Fähigkeiten der Technik im System hervor.

5.4.4 Phase 4: Synthese

In der vierten Phase sollen das bestehende lokale Umfeld mit seinen individuellen Besonderheiten, das mittlerweile bereitstehende gegenwärtige Wissen und der Versuchsträger der neuen Technik mit den vorab definierten Zielen und dabei entstandenen Zukunftsvision(en) zusammengefügt werden. Dies erfolgt mittels der Szenariotechnik (← M9). Es erfolgt eine *zeitliche Systemabgrenzung* je Bewertungszustand.

Bildung von zu bewertenden Systemzuständen und Szenarien

Zuerst wird der vorhandene Zustand des bestehenden Systems als ein Bewertungszustand abgebildet. Zusätzlich wird darauf ein weiterer Systemzustand mit der neuen Technik aufgebaut. Für mögliche Zukünfte mit und/oder ohne Einsatz der neuen Technik können Zukunftsszenarien gebildet werden ($\leftarrow L6, L16$). Mit dieser Synthese werden für das weitere Verfahren die Ansätze von Forecast und Backcast verwendet. Das Ziel ist, über den Versuchsträger den Abstand der Unwissenheit zwischen den bestehenden und möglichen angestrebten Systemzuständen mit weiteren Methoden unter Anwendung der Szenariotechnik zu minimieren (vgl. Abbildung 5-3). Dabei entstehen zwischen Forecast und Backcast Erkenntnisse zu einer möglichen Diffusion der Technik. Insbesondere in der Phase des Einsatzes eines Versuchsträgers in einem realen Testfeld bzw. Reallabor können Erkenntnisse zum Ausbreitungspotenzial des Technischen Systems gesammelt werden.

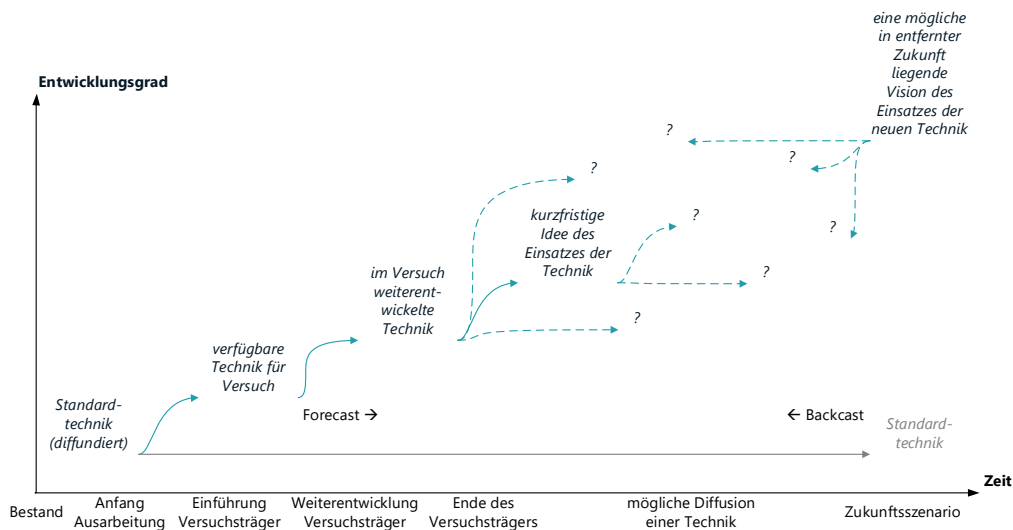


Abbildung 5-3: Angestrebte Vorgehensweise mittels der Synthese mit verschiedenen Systemzuständen (eigene Darstellung)

Als erstes wird ein Systemzustand als *Analyse-Fall* aufbereitet, der der gegebenen Ausgangssituation entspricht. Hierbei wird beschrieben, wie bisher in dem vorgegebenen Untersuchungsraum mit bislang verwendeter Technik die Zielerreichung angestrebt wird. Daraus kann dem Grunde nach ein „Weiter-wie-bisher“-Szenario entwickelt werden.

Das nächste Szenario beschreibt den Systemzustand bei zusätzlicher Anwendung des (ggf. unvollständig entwickelten) technischen Systems im Forecast aus der aktuellen Analyse-Situation heraus gedacht und entwickelt. Je nach Entwicklungsstand der neuen Technik lassen sich daraus positive wie negative Tendenzen der Fähigkeiten gegenüber der Ausgangssituation ableiten. Dieses Szenario gestaltet sich flexibel und mehrfach anpassbar, da hier eine flexible Konstruktion und Weiterentwicklung der neuen Technik erfolgen sollte ($\leftarrow L10, L20$).

Eine mögliche *Ziel-Variante* für die Zukunft ist ein normatives Szenario im Backcast, das über die definierten Fähigkeiten für das technische System ein Wunschscenario darstellt

(eine mögliche SOLL-Situation). Diese Situation kann aus Zielen zu einer Lösung abgeleitet werden, die zuvor im Zielsystem gebildet wurden. Dabei können gegenwärtig noch notwendige technische Randbedingungen des Versuchsträgers ausgeblendet werden und es bleibt die Frage: „Wie komme ich dahin?“ Dieses Wunsch-Szenario kann dabei zu Hilfe genommen werden, um besser beurteilen zu können, wie ausgeprägt die Zielerreichung eines eingesetzten Versuchsträgers ist. Wobei im Zuge der weiteren Analyse und Bewertung für dieses normative Szenario im weiteren Verfahren deutlich werden kann, dass dieses ggf. nicht hinreichend den Zielvorstellungen der Fähigkeiten entspricht.

Weitere Szenarien sind sinnvoll. Die zugrundeliegende Vorstellung der Szenarien der Zukunft wird über definierte Fähigkeiten des Systems offengelegt. Hierbei ist eine Begrenzung der Gestaltbarkeit u. a. durch die Megatrends zielführend. Es ist zudem hilfreich weitere und andere Versuchsträger einzusetzen und diese mit den Szenarien nach jeweils hinzugewonnenem Wissenstand weiter zu entwickeln.

Im Ergebnis der Phase 4 entsteht ein Gerüst mit Szenarien verschiedener Entwicklungsgrade einer Technik für die nachfolgende Analyse und Bewertung.

5.4.5 Phase 5: Analyse

In der Phase der Analyse wird ein Methodenmix angewendet und die Wissensgenerierung erfolgt strukturiert nach den Fähigkeiten und Systemzuständen.

Je nach Szenario und Zielfeld kommen andere Methoden aus dem Methodenmix in Betracht, um möglichst viel (neues) Wissen zu erschließen. In Abhängigkeit der jeweiligen Erfüllung der individuellen Voraussetzungen zur Methode, der verwend- und generierbaren Daten und dem mit verfügbaren Ressourcen Leistbaren, erfolgt eine Methodenauswahl. Dabei wird die Kompatibilität der verschiedenen Methoden untereinander und in Gänze geprüft. Eine Flexibilität bei den Methoden ist in Verbindung mit dem Versuchsträger notwendig ($\leftarrow L14, M7$) – dem Grunde nach sind die Methoden unter vor genannten Randbedingungen austauschbar ($\leftarrow L4$). Eine hohe Interdisziplinarität und Partizipation von Dritten in den Methoden der Beteiligung soll ermöglicht werden ($\leftarrow L19, L20, L22, M5, M6$). Bei der Methodenauswahl sind neben der Analyse der Technik die benötigte Infrastruktur und die Wege des Menschen rund um die Technik zu betrachten ($\leftarrow L23, L25$).

Nach der Auswahl und Vorbereitung erfolgt die Anwendung der Methoden. Besondere Bedeutung hat hierbei der Versuchsträger, der unterstützend zur Datenerzeugung, als Hilfsmittel für Feldexperimente und zur besseren Vorstellungskraft der Beteiligten von künftigen Szenarien beiträgt ($\leftarrow L16, M7$). Es erfolgt in dieser Phase eine reine Auswertung ohne Bewertung und Einordnung der Daten ($\leftarrow M8$).

Im Ergebnis der Phase stehen Daten sortiert nach Zielfeldern und Systemzuständen für die anschließende Bewertung bereit.

5.4.6 Hauptphase 6: Bewertung

Die situative Bewertung erfolgt auf Basis der Ergebnisse aus der Analyse bei Vergleich der Systemzustände. Gemäß der Anforderungen aus der Technikbewertung werden Analyse (in Phase 5) und Bewertung (in Phase 6) voneinander getrennt ($\leftarrow$ L19).

Schritt 6.1: Bewertung der Zielerreichung

Mittels der zuvor gebildeten Zielfelder lassen sich die einzelnen Systemzustände über die Wirkungsanalyse mit einem Status der Zielerreichung (*Soll-Ist-Vergleich*) belegen ($\leftarrow$ L5, L8). Sofern keine quantitativ auswertbaren Daten vorliegen, erfolgt der Vergleich qualitativ. Eine Monetisierung und Gewichtung ist in dieser Phase nicht vorgesehen bzw. alle Aspekte werden gleichwertig aufgeführt ($\leftarrow$ L7).

Bei der Auswertung ist ein vereinfachter Abgleich mit den vorliegenden Ergebnissen aus der Literatur vorgesehen ($\leftarrow$ L17), um die gewonnenen Ergebnisse zu prüfen und zu ergänzen. Eine Zielerreichung der Fähigkeiten des Versuchsträgers lässt sich in Bezug auf die Ziele qualitativ ermitteln und auf einer einfachen Ordinalskala veranschaulichen ($\leftarrow$ L9, M12). Eine Einstufung erfolgt als schwache Ordnung, sodass sich mehrere Systemzustände eine Stufe teilen können. Die Skala selbst wird dreiteilig als Rating aus rot, gelb und grün gebildet, was eine Tendenz zwischen den Systemzuständen in Form eines Rankings erlaubt. Als Bezugsfall dient die Ausgangssituation, die ebenfalls anhand der Erreichung der angestrebten Ziele bewertet wird. Würden weitere Szenarien oder weitere Daten hinzukommen, kann dies eine Erweiterung der Skala erfordern.

Schritt 6.2: Bewertung der Zusammenhänge

Anschließend werden die verschiedenen Beziehungen und Wirkungen als Einflüsse zwischen den Fähigkeiten ausgearbeitet ($\leftarrow$ L5), die sich bilden können zu Instrumental-, Konkurrenz- oder Indifferenzbeziehungen. Dies erfolgt über eine Einflussmatrix-Analyse. (vgl. Kapitel 4.3) Über die (mindestens drei) Systemzustände kann die Sensitivität geprüft werden ($\leftarrow$ M2): Nach Eingabe der Wirkungen der Ziele in der Matrix aufeinander ergibt sich, welche Elemente besonders aktiv, reaktiv, kritisch und puffernd sind (siehe Abbildung 5-4). Dies erlaubt „die Einfühlung in die fluktuierenden Zusammenhänge und in das empfindliche Wechselspiel“ (vgl. Vester (1990, S. 37)). Damit ergibt sich die jeweilige Dominanz oder die Beeinflussbarkeit der Ziele im betrachteten System ($\leftarrow$ L14) (Vester, 1990). Weitere Erläuterungen und Hinweise zum Verfahren finden sich im Kapitel 4.3.

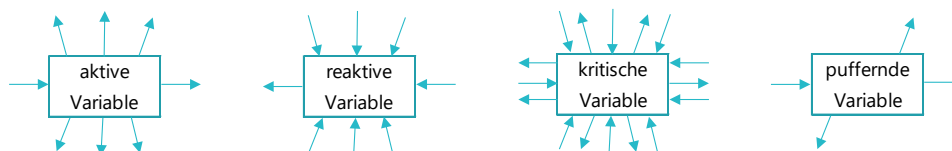


Abbildung 5-4: Rolle der Variablen im System (eigene Darstellung auf Grundlage von Vester, 1991, S. 88 und Studiengruppe für Biologie und Umwelt, 1991, S. EM-5)

Schritt 6.3: Bewertung der Risiken

Aus den vorangegangenen Phasen und Arbeitsschritten geht Wissen zu potentiellen Risiken hervor, die sich durch im Verfahren gewonnene Hinweise zu Risiken aus der Literatur ergänzen lassen ($\leftarrow L15$). Gemäß Deutsches Institut für Normung e. V. (2018, S. 7) stellt sich ein Risiko als eine Auswirkung mit einer Abweichung vom Erwarteten dar, welches positiv (im Weiteren: Chance), negativ (im Weiteren: Gefahr) oder beides sein kann. Ein Risiko wird „verstanden als Möglichkeit, dass ein Schaden lediglich mit einer Gewissheit eintritt, die nicht ausreicht, um das Vorhandensein einer Gefahr zu begründen. Restrisiken schließlich bezeichnen die von der Gesellschaft hinzunehmenden Risiken.“ (Wiedemann, 2010, S. 17–18) Die soziale Akzeptanz wird direkt von der Form dieses Risikos beeinflusst. Eine niedrige Form der Akzeptanz stellt zum Beispiel die Toleranz und der fehlende Widerstand gegen eine Technik dar, sobald die Gesellschaft bereit ist die Risiken in Kauf zu nehmen. (Clark, Atkinson-Palombo und Garrick, 2019, S. 28) Um ein Risikobewusstsein und Analysen aufzubauen, ist es nach Luhmann (1991, S. 235) notwendig, sich in die „Beobachtung zweiter Ordnung“ zu versetzen, um Risiken von mehreren Seiten, aus mehreren und auf mehrere Sichtweisen unterschiedlicher Akteure zu betrachten. ($\leftarrow M10$)

„Formale Risikokonzepte lassen sich als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit und Schadensschwere definieren“ (Renn und Zwick, 1997, S. 87). Risiken können nach Renn und Zwick (1997) kaum als objektive Tatbestände definiert werden: Eine voraussetzungslose Abschätzung ist demnach nicht möglich, weil Fakten und Wertungen sich nicht eindeutig trennen lassen, sodass es keine objektiven und quantitativen Methoden gibt, die Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit von Unfällen zu berechnen. (vgl. Kollert, 1997, S. 29) Gesellschaftliche Risiken sind demnach grundsätzlich kontextabhängig und an wertende Standorte gebunden (vgl. Renn und Zwick, 1997, S. 89). Risiken werden nach Renn und Zwick (1997, S. 90 f.) überschätzt, wenn diese mental verfügbar sind und Assoziationen zu bekannten Ereignissen wecken. Sie werden nach Renn und Zwick (1997, 90 f.) unterschätzt, wenn diese zu kontinuierlichen und gleichförmigen Verlusten ohne direkte katastrophale Wirkung führen. In der Risikowahrnehmung von Laien ist dabei die Risikowahrscheinlichkeit von untergeordneter Bedeutung (Renn und Zwick, 1997, S. 95). Aufgrund der Komplexität des Risikos wird eine Reduktion auf ein geringes Auswertungsniveau gelegt, das sich zudem eindeutig nachvollziehen und anpassen lässt und die Subjektivität minimieren soll.

Für eine Zusammenstellung sämtlicher Risiken werden neben den Eingaben aus der Literatur Befragungen hinzugezogen ($\leftarrow M5$). Dabei werden alle in Befragungen aufgefasste Risiken, die nach Renn und Zwick (1997, S. 95) von dem individuellen Faktor der „Schrecklichkeit“ in der Risikobeurteilung geprägt sein können, als legitim berücksichtigt und der Analyse unterzogen, auch wenn es sich um „subjektiv eingeschätzte Risiken“ nach Grunwald (2015, S. 663) handelt. Identische Risiken werden zusammengefasst und unter den im Zielsystem (vgl. Kapitel 5.4.2) definierten Oberzielen wie Gesellschaftsqualität, Wohlstand etc. gruppiert. Anschließend kann jedes Risiko anhand der Kriterien und angegebenen Methoden in Tabelle 5-3 bewertet werden.

Tabelle 5-3: Kriterien für die Risikobewertung (eigene Darstellung)

- a. Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)
- b. Risikobetroffene (als Opfer der Konsequenz des Risikos)
- c. Vorteilnehmende bezogen auf die Akteursgruppen (mögliche Initiierende des Risikos)
- d. Risikostufe in Form der Ausweichmöglichkeit nach Grunwald (Grunwald, S. 664 f.) bzw. Freiwilligkeit der Risikoübernahme nach Renn und Zwick (1997, S. 92)
- e. Reversibilität bzw. Gewährleistung, dass ein Risiko nicht mehrfach eintreten kann (*optional*)
- f. Betroffenheit von Personen bei Risikoeintritt (Einzelpersonen, spezifische Gruppen, Bevölkerung)
- g. Mögliches Personenschadensausmaß mit einer Skala in Anlehnung an Deutsches Institut für Normung e. V., 2021
- h. Sach- und Umweltzerstörung mit einer Skala unter Berücksichtigung von zeitlicher Dimension und Aufwand zur Beseitigung in Anlehnung an Richter (1958)
- i. Reichweite in der Fläche bei Eintritt (Ubiquität) mit einer Skala in Anlehnung an Richter (1958) (*optional*)
- j. Wahrscheinlichkeit des Eintritts mit einer Skala in Anlehnung an das Schweizer Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003) (*optional*)
- k. Klassifizierung als Risiko mit schleichender (Langzeit-)Wirkung gemäß Renn und Zwick (1997, S. 93) (*optional*)
- l. Betroffenheit künftiger Generationen gemäß Renn und Zwick (1997, S. 93) (*optional*)
- m. Eigene Einschätzung zur Sicherheit der getroffenen Aussagen (*optional*)
- p. Relevanz für Systemzustände in dem Verfahren (*optional*)
- q. Primärquelle des aufgeführten Risikos

Weitere Kriterien, z. B. die Art des Risikos nach VDI (2000), moralische Bedeutsamkeit des Risikos oder Glaubwürdigkeit der Verantwortlichen nach Renn und Zwick (1997, S. 92) lassen sich nicht befriedigend bewerten und beantworten.

Um die zuvor aufgeführten Kriterien im Zusammenhang und in der vom negativen Risiko ausgehenden Gefahr zu beurteilen, werden fünf eigens entwickelte Ansätze im Verfahren angewendet:

1. Das Ausmaß (A_u) des Risikos bei Eintritt wird gemäß eigener Definition über eine Einschätzung zu Personenschäden (g), Sach- und Umweltzerstörung (h) und Reichweite (i) ermittelt. Gleichgewichtet ergibt sich ein extrem hohes Ausmaß bei Schadenseintritt, wenn alle drei Summanden als hoch eingeschätzt sind. Die Formel ergibt sich zu:

$$A_u = g + h + i \quad (1)$$

Es ergibt sich indirekt eine Aussage dazu, ob das Risiko handhabbar ist oder ob sich die Menschheit damit selbst gefährdet. Bei der Bewertung von Personenschäden (g) sowie Sach- und Umweltzerstörung (h) wird der Moment des Ereignisses auf einer Skala von null bis drei bewertet. Das heißt, dass z. B. Überfälle auf Fahrgäste zwar zu vielen Personenschäden führen können, aber dadurch, dass diese vermutlich nicht genau zeitgleich stattfinden, ist ein Eingreifen nach Erkennen der Gefahr denkbar (z. B. verstärkte Überwachung, härtere Strafmaßnahmen). Das Risiko ist handelbarer als z. B. eine plötzliche Flutkatastrophe oder ein spontan auftretender nuklearer Unfall.

2. Die Konstellationsanalyse von Grunwald (2015, S. 664 f.) wird zu einem Ungerechtigkeitsfaktor weiterentwickelt und dazu in eine Formel übertragen, die eine quantitative Einschätzung erlaubt: Aus der Analyse der Betroffenen des Risikos (b) und der Vorteilnehmenden (c) wird über die Risikoklassifizierung (d) mittels der Konstellationsanalyse von Grunwald (2015, S. 664 f.) ermittelt, wie Vorteilnehmende und Betroffene im Verhältnis stehen und ob letztere dem Risiko und/oder Nachteilen ausweichen können. Der Ungerechtigkeitsfaktor U wird danach gemäß eigener Definition festgelegt über die Formel:

$$U = (b - c) \times d \quad (2)$$

Sofern es Betroffene durch das Risiko außerhalb des Kreises der Initiierenden des Risikos gibt, wird $b = 3$ gesetzt. Sofern sich die Risiken auf den Initiierenden auswirken, wird $c = 1$ gesetzt. Die Ausweichmöglichkeit d definiert sich auf einer Skala von $d = 0$ bei Risiken, über die individuell entschieden werden kann (z. B. Extremsportart) bis zu $d = 3$ bei Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (z. B. ultraviolette Strahlung).

Das Ergebnis des hier erstmalig eingesetzten quantitativen Ungerechtigkeitsfaktors U kann Rückschlüsse auf Benachteiligungen, Akzeptabilität¹³ und Akzeptanzprobleme ermöglichen, wenn z. B. die Träger der Risiken andere Gruppen als die Nutzenden der Vorteile der Technik sind (vgl. Grunwald, 2015, S. 664 f.). Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen Risiken, die in der Klassifizierung als „passiv“ und der Risikostufe als Risiken für die Betroffenen *ohne* Ausweichmöglichkeit eingestuft werden (vgl. Grunwald, 2015, S. 664–666). Die Ermittlung erfolgt aus der Multiplikation der Faktoren Risikoklasse und -stufe. Ein hohes Produkt deutet auf ein großes Ungleichgewicht und auf eine geringe Akzeptabilität hin.

¹³ „Hier geht es um Akzeptabilität und nicht um Akzeptanz von Risiken. Während letztere sich als deskriptiver Begriff auf die empirisch feststellbare Billigung von Risiken durch Personen, Gruppen oder eine Gesellschaft bezieht, meint erstere die Forderung, die jeweiligen Risiken zu billigen. Akzeptabilität ist also ein normatives Konzept.“ (Wiedemann (2010, S. 20))

3. Die Häufigkeit n der Nennung von Risiken in den durchgeführten Befragungen ergibt Hinweise auf die zum Zeitpunkt der Erhebung bestehende öffentliche Wahrnehmung und die subjektiv als besonders kritisch empfundenen Ängste. Eine Abgrenzung, wann ein Risiko in absoluter Anzahl der Nennungen als nicht mehr für die Öffentlichkeit relevant einzustufen ist, scheint schwer festzulegen – grundsätzlich kann jedes subjektiv empfundene Risiko in Abhängigkeit des individuellen Erfahrungshorizontes im Hinblick auf die möglichen Zukünfte relevant sein. Im Vergleich mit zeitlich vorangegangenen Befragungen zu Risiken kann jedoch eine bessere Einordnung der öffentlichen Wahrnehmung gelingen.
4. Der qualitative Vergleich der Unterschiede der Risiken eines Zukunftsszenario Z (hier: teilweise fahrerloser ÖPNV) und einem weiteren Szenario x (beispielhaft: MIV und ÖPNV sind fahrerlos) ermöglicht eine weiterreichende Einordnung. Eine solche Einordnung erlaubt das Produkt der Ergebnisfaktoren aus Ansatz 1 und 2 mit anschließender Aufsummierung je Szenario. Zu beachten ist jedoch, dass hierbei (wie bei allen Ansätzen) keinerlei Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigt ist und mehrere Annahmen kombiniert werden, wodurch die Ergebnisse mit Vorsicht einzuordnen sind.
5. Unter Einbezug der konkreten Ergebnisse und Erfahrungen mit einem Versuchsträger im Testfeld erschließen sich weitere konkrete Hinweise auf möglicherweise problematische Entwicklungen, die abschließend in Verbindung mit den vorstehenden Ergebnissen gebracht werden können.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2018, S. 20) macht klare Aussagen, was Einschränkungen der Risikoanalyse sind: Diese „...kann durch unterschiedliche Meinungen, Voreingenommenheit, Risikowahrnehmungen und Beurteilungen beeinflusst werden. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die Qualität der verwendeten Information, die getroffenen Annahmen und Ausschlüsse, jegliche Beschränkungen der Verfahren und die Art von deren Ausführung. Diese Einflussfaktoren sollten berücksichtigt, dokumentiert und den Entscheidungsträgern mitgeteilt werden.“ Anhand des eigens entwickelten Vorgehens entsteht eine entsprechende Transparenz, die den Einschränkungen gerecht wird. Eine Gegenüberstellung mit den ermittelten Chancen (positiven Risiken) kann zusätzlich eine weitergehende Einschätzung erlauben, ob positive und negative Risiken ausgewogen sind.

Zudem werden (der Idee von Wiedemann (2010, S. 22) folgend) Risikomanagement und Risikobewertung als eigenständige Konzepte mit unterschiedlichen Funktionen im Prozess der Risikoregulierung getrennt, weshalb Maßnahmen zum Vorgehen (j) zur Behandlung der Risiken hier nicht behandelt werden.

Die Einschätzungen zur Wahrscheinlichkeit (i) sind aufgrund der bereitstehenden Datenlage äußerst unsichere und unvollständige Werte und werden nicht direkt in die Berechnung vorgenannter Faktoren einbezogen.

Trotz vorgenannter Einschränkung ergibt sich aus den gewählten Bearbeitungsansätzen eine umfassende Einordnung der Risiken und Begleiterscheinungen zur eingesetzten Technik.

Schritt 6.4: Analogiebildung (optional)

Nach Rogers (2003) hängt die tatsächliche Verbreitung einer Innovation neben dem Risiko von der Kompatibilität, dem Nutzen, der Verständlichkeit und der Einzigartigkeit ab. Um dies für eine neue Technik in der Mobilität besser in den bereits bestehenden Mobilitätszusammenhängen bewerten zu können, kann der Blick über die Erfahrungen und Entwicklungen anderer Technik in der Mobilität geweitet werden. Dadurch wird mittels der Analogiebetrachtung die prognostizierte Konkurrenz- und/oder Nischensituation sowie Innovationseigenschaften einer neuen Technik besser eingeordnet.

Im Rahmen der Analogiesuche erfolgt eine Bestimmung der relevanten Merkmale („Encoding“) der beteiligten Objekte und Zusammenhänge („Inference“). Darauf aufbauend folgen in diesen Arbeitsschritten angelehnt an Ruppert (2017, S. 65) basierend auf Sternberg (1977) die Analogiebildung (← M4):

- Bestimmung der relevanten Zusammenhänge zwischen einem Analogieobjekt und dem Untersuchungsobjekt (Mapping)
- Übertragung des Zusammenhangs der Analogieobjekte auf die Untersuchungsobjekte (Application)
- Überprüfen der Alternativen für das Untersuchungsobjekt (Justification)
- Entscheidung und Kontrolle (Preparation-Response)

Besondere Einflüsse von außen auf das System können damit aufgedeckt und die Durchsetzungsfähigkeit einer neuen Technik besser bewertet werden (← L26).

Schritt 6.5: Zusammenführung der Bewertung und Einordnung

Zum Abschluss der Phase erfolgt eine Gesamteinordnung der Ergebnisse, des Entwicklungsstandes der neuen Technik und das Aufzeigen der verbliebenen Lücken und Einschränkungen in der Aussagekraft. Aus der Zusammenfassung können allgemeine weiterführende Maßnahmenoptionen abgeleitet werden. Dazu werden die Ergebnisse aus den relevanten Megatrends (Phase 1, Schritt 1.2) mit der Bewertung der Zielerreichung, den Zusammenhängen, den Risiken und den Erkenntnissen aus der Analogiebildung (Phase 6, Schritte 6.1-6.4) verknüpft. Dies erfolgt „vertikal und diagonal“:

Die Ergebnisse aus den einzelnen Schritten werden den Zielfeldern entsprechend zugeordnet und dazu in Spalten eingetragen. Diese Darstellung vereinfacht die Verknüpfung und verdeutlicht die Wirkungen auf das Zielfeld. Es erfolgt eine verbal-argumentative Erörterung je Zielfeld.

Im zweiten Schritt erfolgt eine diagonale Verknüpfung des Wissens (über die Zielfelder hinweg), angelehnt an das Vorgehen einer SWOT-Analyse (vgl. Kapitel 4.3.11):

- Dazu werden in den zwei oberen Quadranten die Ergebnisse aus der Bewertung des Zukunftsszenarios eingetragen. Links die positiv bewerteten Zielfelder (als Stärken), mittig die teilweise realisierbaren Aspekte und rechts die unklaren sowie kritischen Punkte (als Schwächen). Die Zielfelder, die gemäß der Analyse der Zusammenhänge eine relevante Hebelwirkung im betrachteten System haben, werden weiter außen positioniert. Neutrale Zielfelder mittig

Vertikale
Verknüpfung
(innerhalb
Zielfelder)

Diagonale
Verknüpfung
(über Zielfelder
hinweg)

und Indikatoren weiter innen. Mögliche sogenannte „Wölfe“ nach Vester (1991) werden kenntlich gemacht.

- In den beiden unteren Quadranten werden links Treiber und Erwartungen zur Technologie, unten links zugehörige Megatrends (als Chancen) und rechts die ermittelten Risiken eingetragen. Risiken (als Gefahren) mit möglicherweise hohem Schadensausmaß und hoher Risikowahrnehmung werden außen positioniert.

Insgesamt ergibt sich eine kompakte aussagekräftige Grafik über die Zwischenergebnisse aller vorangegangenen Phasen und Arbeitsschritte. Nachdem die Einflussmatrix ausgefüllt wurde, ist der gesamte Prozess bis zu dieser Ergebnisdarstellung dem Grunde nach automatisierbar. Aus der entstandenen Grafik lassen sich weitere Schlussfolgerungen ziehen, indem die Quadranten analog zur SWOT-Analyse miteinander verknüpft werden (Stärken – Chancen, Stärken – Risiken, Chancen – Schwächen, Schwächen – Risiken), womit mögliche verstärkende oder sich aufhebende Wirkungen deutlich werden. Entgegen einer SWOT-Analyse wird dabei nicht grundsätzlich das Ziel einer Strategieentwicklung verfolgt, sondern der Fokus auf die Positionsbestimmung und Erkenntnisgenerierung zur Technik gelegt. Der Schwerpunkt liegt auf den in der Grafik weit außen stehenden Aspekten, da diese den größten Hebel oder die größte Auswirkung haben.

Aus den gewonnenen Ergebnissen kann eine Einschätzung zu den Treibern und Erwartungen generiert sowie mögliche weiterführende Maßnahmen abgeleitet werden. Zudem lässt sich ein detaillierter Bezug zu den Akteuren herstellen. Dazu wird in der Einflussmatrix der Einfluss jedes Akteurs auf jedes einzelne Ziel festgelegt (Skala 1-3 nach Stärke des Einflusses). Daraus ergeben sich mehrere Erkenntnisse:

Mitwirkende
Akteure

- Die Anzahl der auf jedes einzelne Ziel einflussnehmenden Akteure.
- Die Anzahl der Ziele, auf die ein Akteur einwirken kann.
- Bei Gewichtung der Stärke jedes einzelnen Einflusses und unter Berücksichtigung der Wirkungen im System (aus Schritt 6.2) ergibt sich mittels Sensitivitätsanalyse eine mögliche Größe des Einflusses des jeweiligen Akteurs.
- Aus einer Separierung der Größe der Einflüsse auf die einzelnen Quadranten der SWOT-Analyse des Systems kann ermittelt werden, welche Akteure eher Einfluss auf Stärken und Schwächen nehmen können.

Darüber gelingt eine Verknüpfung der Fähigkeiten mit den zuvor identifizierten Zusammenhängen und dem potentiellen Einfluss der Akteure. Der Einfluss ist nicht mit Macht gleichzusetzen, die abweichend vom bestehenden Einfluss sein kann. Es werden über den hier gewählten Ansatz vielmehr potentielle Mitwirkende für die verschiedenen Fähigkeiten identifiziert.

Insgesamt resultiert aus der vorgestellten systematischen Vorgehensweise eine umfangreiche Momentaufnahme des Wissens und der Risiken zur untersuchten Technik und zu den betrachteten Einsatzszenarien. Es kann die dem Verfahren vorangestellte Fragestellung beantwortet und das Ergebnis relevanten Akteuren zur Entscheidung bereitgestellt werden.

5.4.7 Phase der Entscheidung

Weiterführende Entscheidungen zum Umgang mit der Technik sind von entsprechenden Akteuren zu treffen. Dazu liefern die vorangegangenen Phasen eine umfassende Aufbereitung des Wissens und durchbrechen das Steuerungs- und Kontrolldilemma für den Moment, indem (Aus-)Handlungswissen bereitgestellt wird. Als ein Ergebnis kann hervorgehen, dass eine neue Technik direkt zur Anwendung kommt, ob weitere Szenarien betrachtet werden müssen oder unter welchen Randbedingungen eine Weiterentwicklung der Technik erfolgen muss. Ein Ergebnis kann auch sein, dass die Technik nicht weiter zu verfolgen ist. Anhand der entstandenen Ergebnisse kann z. B. der Hersteller der Technik seine Forschung und Entwicklung nachhaltig ausrichten oder die öffentliche Hand zielgerichtet Anreize über Förderrichtlinien schaffen.

5.5 Gesamtdarstellung des Verfahrens

In der Abbildung 5-5 wird das in den Kapiteln 5.3 und 5.4 beschriebene Verfahren dargestellt.

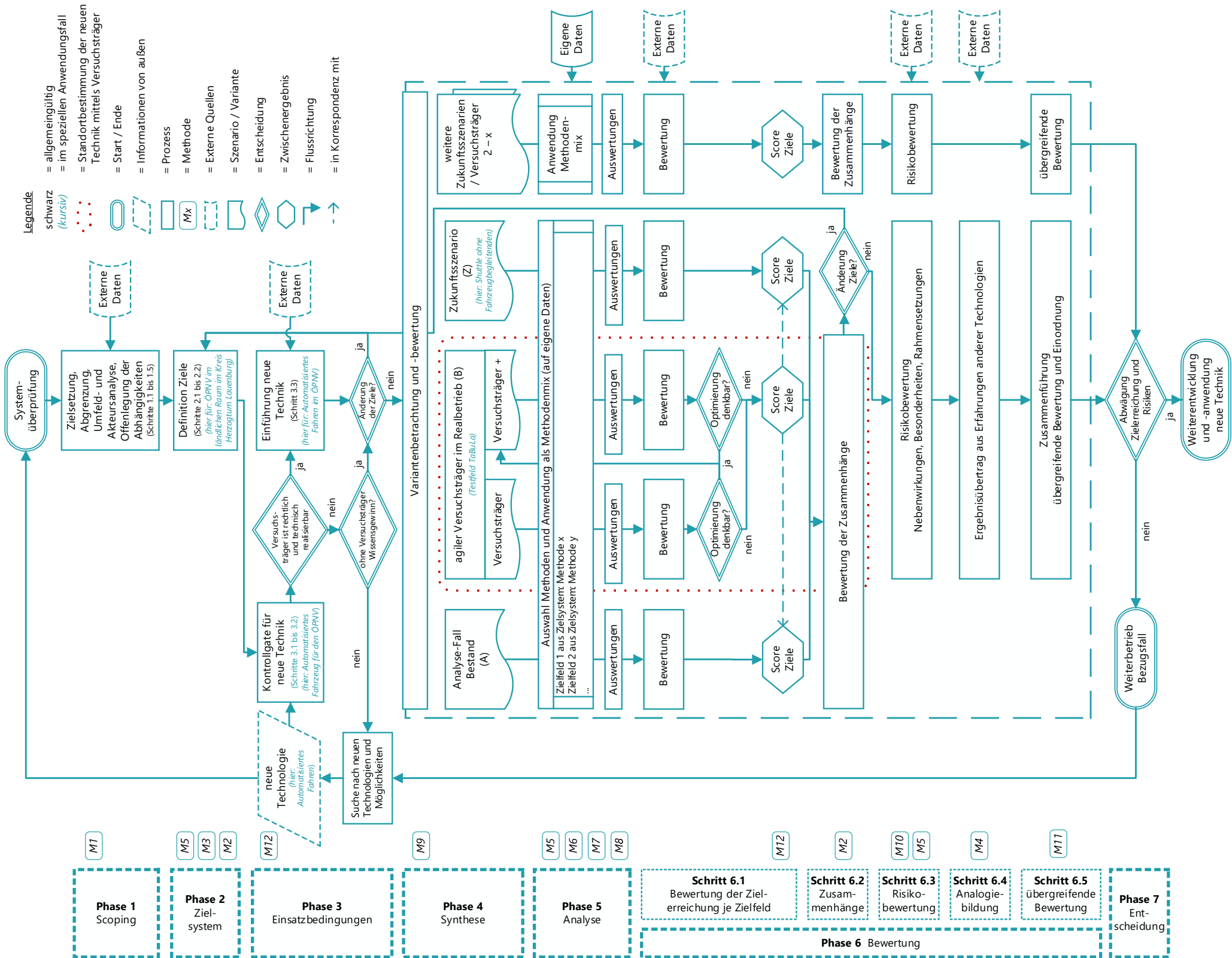


Abbildung 5-5: Gesamtüberblick zum Verfahrensablauf zur Analyse und Bewertung neuer Technik (eigene Darstellung)

5.6 Zwischenfazit

Vielfältige Ziele werden in der einschlägigen Literatur von Technikfolgenabschätzung und -bewertung als Vorgaben zur Durchführung einer Bewertung von Technik benannt. VDI (2000) gibt Grundsätze u. a. zur Offenheit, Transparenz und Nachvollziehbarkeit vor. Übergreifend werden Anforderungen aufgestellt, die neben der Interdisziplinarität einen größeren Fokus auf Inter- und Transsubjektivität der Bewertung einer Technik mit einem gewissen Vollständigkeitsanspruch legen. Dazu wird die Notwendigkeit einer pragmatischen Kompatibilität, Problemlösekapazität und Nutzerfreundlichkeit beschrieben. Seitens der Verkehrsplanung kommt der Aspekt einer notwendigen Akzeptanz des Verfahrens hinzu, da darauf basierende Entscheidungen häufig im besonderen öffentlichen Fokus stehen.

Zu diesen übergeordneten und anspruchsvollen Vorgaben steht die Verfahrensentwicklung unter dem Eindruck zuvor analysierter Literatur und der Erkenntnisse daraus. Hierzu werden potentielle Lösungsansätze beschrieben, die in einem stark strukturierten eigenen Vorgehen münden, das sich zur Bewertung der Technik in mehrere zu bearbeitende Phasen gliedert: Scoping, Zielsystem, Einsatzbedingungen, Synthese, Analyse und Bewertung. Die beschriebene phasenweise Strukturierung versucht die vielen Aufgaben in beherrschbare Einheiten zu gliedern und gleichzeitig die Problematik zusammenhangloser Einzelergebnisse zu lösen. Insgesamt verfolgt das entwickelte Vorgehen eine gemeinwohlorientierte und ganzheitliche Bewertung.

Die Phasen 1 bis 3 dienen der Einarbeitung, Umfelderkundung und Justierung der Zielvorstellungen vor der Bildung möglicher Systemzustände mit der Technik in Phase 4. In der Phase 5 werden die mittels Methodenmix selbst erhobenen Daten analysiert. Während in dieser Phase der höchste Bearbeitungsaufwand investiert werden kann, stellt die nachfolgende Phase 6 die entscheidende Hauptphase des Verfahrens dar: Die Phase besteht aus einer Bewertung je Zielfeld, einer Identifikation der Wechselwirkungen des technischen Systems, der Diskussion von Risiken und der Einordnung in Analogien.

In diesem insgesamt umfangreichen Ansatz können viele gesammelte Erkenntnisse und Ideen untergebracht werden. Er steht unter individuellen und gleichzeitig vielfältigen Zielen, die es ermöglichen sollen, eine Technik in der Mobilität ganzheitlich zu bewerten. Mit der übergreifenden Bewertung geht aus dem Verfahren eine vielfältige Wissensbasis hervor, an der sich Akteure und Entscheidende zu dem Stand der Technik orientieren können. Als nächstes (Kapitel 6) wird das hier entwickelte Verfahren an einer konkreten Technik beispielhaft eingesetzt.

6 Anwendung des eigenen Verfahrens

In diesem Kapitel 6 erfolgt die Anwendung des unter Kapitel 5 dargestellten Verfahrens am Beispiel fahrerloser Minibusse im ÖPNV. Es handelt sich hierbei um keine gemeinschaftliche Anwendung des eigens entwickelten Verfahrens, sondern eine eigenständige Bearbeitung aller aufgeführten Arbeitsschritte (vgl. Kapitel 6.1.5). Die Phasen 1 bis 4 dienen der Vorbereitung, die Phase 5 der Analyse (der eigenen Daten) und die Phase 6 stellt die Hauptphase mit der Bewertung dar. Nach der Anwendung des Verfahrens wird in der Zusammenfassung in Kapitel 7 die zweite Forschungsfrage beantwortet. Rückblickend kann im Kapitel 8 das Bewertungsverfahren evaluiert werden. Der Aufbau des sechsten Kapitels ist in der Abbildung 6-1 dargestellt.

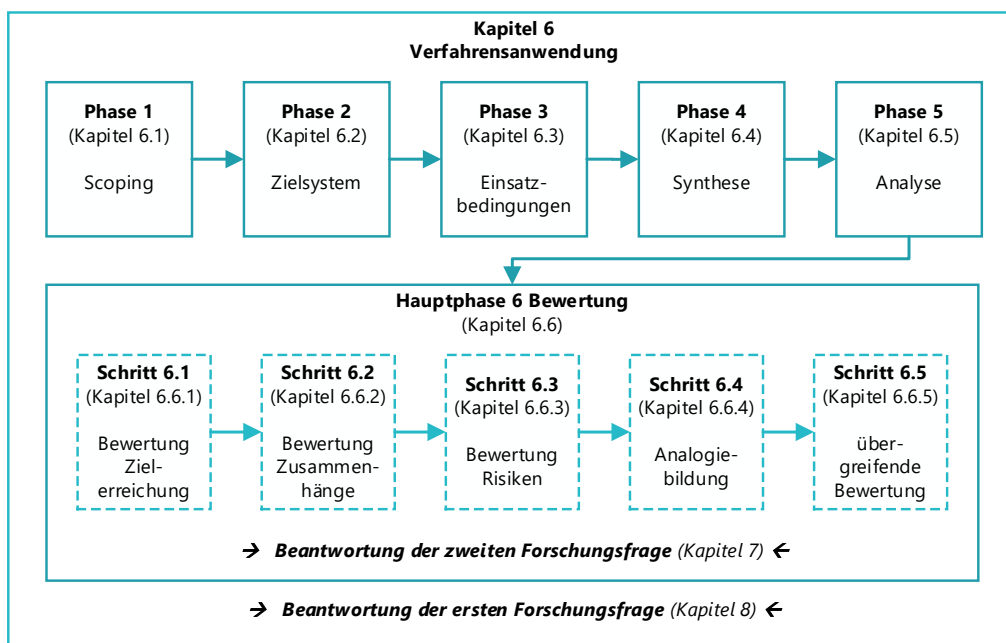


Abbildung 6-1: Aufbau des Verfahrens und der Abschnitte in Kapitel 6 (eigene Darstellung)

6.1 Phase 1: Scoping

In dieser ersten Phase des Scoping werden die in Kapitel 5.4.1 aufgeführten Schritte hinsichtlich des konkreten Anwendungsfalls mit Inhalten gefüllt.

6.1.1 Schritt 1.1: Zielsetzung und Fragestellung

Das Zielobjekt für diese Verfahrensanwendung und sein Einsatzgebiet konnten in Kapitel 1.1 erörtert werden. Dies mündet in der Fragestellung:

**Welchen Beitrag können fahrerlose Minibusse
im ÖPNV ländlicher Räume leisten?**

6.1.2 Schritt 1.2: Untersuchungs(raum)abgrenzung

Das Erkenntnisinteresse dieser Ausarbeitung liegt auf den Menschen beim Einsatz der Technik des autonomen Fahrens im ÖPNV ländlicher Räume (vgl. Kapitel 1.4). Dabei ist nicht allein der Zeitraum des Menschen im Fahrzeug zu betrachten, sondern auch der Zu- und Abgang des ÖPNV als ein maßgeblicher Bestandteil in der Reisekette. Der Gedanke hierbei ist, dass eine Person an Ort A mit seiner Fortbewegung beginnt, um zum Ort Z zu gelangen. Die Orte A und Z können z. B. die Tür des eigenen Haushaltes, einer Arztpraxis oder Supermarktes sein oder aber der Ort zum Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel (Bahnhof, Parkplatz, Fahrradabstellplatz ...). Für diesen Weg zwischen A und Z nutzt die Person in dieser vorliegenden Betrachtung einen automatisiert bzw. fahrerlos fahrenden Minibus. Daraus ergibt sich die Betrachtung der Mobilität als soziotechnisches System unter Einbezug fahrerlos fahrender Minibusse. Diese konkrete Prozesskette ist zu analysieren, wobei Wechselwirkungen mit der Umwelt erfasst werden. Die Umwelt besteht dann z. B. aus anderen Verkehrsteilnehmenden und Mitfahrenden. Insgesamt ergibt sich folgende räumliche Abgrenzung:

- Die Betrachtung des Weges vom Menschen von einem Start- zu einem Zielort
- unter Nutzung des ÖPNV und der Verkehrsinfrastruktur
- mit dem Einsatz automatisierter bzw. fahrerloser Minibusse
- in einem ländlich / kleinstädtisch geprägten Umfeld.

Dabei ist es zur Reduzierung des Untersuchungsumfangs sinnvoll, dass Untersuchungsaspekte ausgeblendet werden, die nicht entscheidungserheblich für die Automatisierung des ÖPNV erscheinen. Dazu gehört beispielsweise eine batterieelektrische Antriebsart – diese wird für alle ÖPNV-Fahrzeuge und Szenarien vorausgesetzt.

Die zeitliche Abgrenzung erfolgt über die Synthese in der Phase 4 (Kapitel 6.4). Zuvor sind im Hinblick auf eine zielgerichtete Bearbeitung noch konkrete Fähigkeiten der Technik zu definieren (Phase 2) und die Einsatzbedingungen mit der Machbarkeit zu überprüfen (Phase 3).

6.1.3 Schritt 1.3: Megatrends

Die betrachtete Technik steht in der Mobilität in relevanten Wirkbeziehungen zu verschiedenen Megatrends, zu denen folgende gehören:

- Ökologischer Wandel
- Digitale Transformation
- Urbanisierung
- Demografischer Wandel

(vgl. Ritz, 2018, S. 207–228; Mitteregger et al., 2020, S. IX und S. 13–20; Linden und Wittmer, 2018 ; Rahmstorf und Schellnhuber, 2007; Müller, 2015; Bergk, Knoerr und Lambrecht, 2017; Jiao, 2021; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2020; Dettling, 2022)

Auf die einzelnen Hintergründe zu den Megatrends und die relevanten Wirkbeziehungen in der Mobilität wird im Folgenden eingegangen. Die Bewertung in Verbindung mit der Technik erfolgt ab Kapitel 6.6.5.2.

Die laufende Erzeugung von Treibhausgasen führt maßgeblich zum verstärkten Treibhauseffekt und den spürbaren Auswirkungen durch die damit global steigenden Temperaturen (Rahmstorf und Schellnhuber, 2007). Infolge dieser reduzieren sich die Eisflächen, was zu einem steigendem Meeresspiegel und erhöhten Reflexionen führt, woraus wiederum eine Erhöhung der Temperaturen erfolgt (Petersen und Rausch, 2021, S. 10). Zu den entscheidenden negativen Folgen gehören nach Petersen und Rausch (2021, S. 13) das Überflutungsrisiko durch den Anstieg des Meeresspiegels, entstehende Schäden durch die Zunahme von Wetterextremen, die Zunahme von hitzebedingten Erkrankungen und die Folgen für die Ökosysteme. Während sich im globalen Norden auch Vorteile ergeben können, sind vorgenannte Risiken im globalen Süden voraussichtlich umso ausgeprägter, wodurch sich dort erhebliche Herausforderungen überlagern (Müller-Mahn, 2014, S. 103; Petersen und Rausch, 2021, S. 13).

Ökologischer
Wandel

Damit die Klimaschutzziele des Pariser Abkommens (United Nations, 2015) und der Europäischen Union zur Begrenzung der Klimaerwärmung erreicht werden können, hat die Bundesregierung in Deutschland im Jahr 2019 das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) beschlossen, mit dem umfassende Minderungen von Treibhausgas-Emissionen in allen wirtschaftlichen Sektoren vorgegeben werden (Bergk, Knoerr und Lambrecht, 2017). Einen ganz erheblichen Anteil an den sektoralen Treibhausgasemissionen, maßgeblich Kohlendioxid (CO₂), trägt der Verkehr in Deutschland mit einem Anteil von 18 % bei (Jeremias und Mertzsch, 2021, S. 41). Levi et al. (2021, S. 1) unterziehen das aktuelle deutsche Vorhaben der Zielerreichung zur Reduzierung der Emissionen im Verkehr einer Bewertung und stellen fest, „dass die Erreichung der Klimaziele 2030 ohne kontroverse Maßnahmen wie höhere CO₂-Preise oder einer flächendeckenden Maut unwahrscheinlich ist.“ (siehe hierzu auch Schwedes, 2021, S. 160). Dass die bisherigen Maßnahmen der am Pariser Abkommen beteiligten Staaten zusammengerechnet bisher nicht ausreichend sind, stellten auch die United Nations (2021) fest und weisen den Bedarf ambitionierterer Maßnahmen aus.

Digitale Transformation

In den letzten Jahren hat die Digitalisierung und Vernetzung das Leihen und Verleihen erfasst, was das Tauschen und Teilen vieler Dinge schnell und komfortabel macht (Schneider, 2013). Passende Geschäftsmodelle stellen einen Trend dar, „welcher das Kauf- und Nutzungsverhalten von Konsumenten grundlegend verändert“ (Schreiner und Kenning, 2018, S. 358). Der wachsende Trend verstärkt sich in der Mobilität: Mittlerweile zeigen sich E-Scooter- und Fahrradverleihsysteme in den Städten, dessen Verleihanbieter auf allen Kontinenten mit starkem Wachstum vertreten sind (Statista, 2023). Die im Zuge der Digitalisierung sich immer weiter entwickelnden Mobilitätsdienste wie Fahrplanauskünfte und intermodale Routingabfragen unterstützen laut Nobis et al. (2019, S. 7) „vor allem hochmobile und ÖV-affine Personen in ihrer Mobilität.“ Die verbreitete Nutzung von Apps vereinfacht zudem eine flexible Nutzung von Pkws, wodurch sich verschiedene Carsharingmodelle in großen Städten entwickelt haben. Auch für ländliche Regionen könnte gemeinschaftsbasiertes Carsharing und spontanes Kurzstrecken-Ride-sharing eine Lösung darstellen (Berger und Dörner, 2018). Was einen individuellen Besitz eines Pkws angeht, gibt es einen „Bedeutungsverlust für jüngere, vorwiegend in urbanen Räumen lebende Menschen“ (Haas, 2018, S. 554), die von Haas (2018, S. 556) als eine Teilgruppe der ab 1981 Geborenen beschrieben wird, die besonders digitalisierungs- und technikaffin sind und einen anderen persönlichen Bezug zum Pkw aufnehmen als vorherige Generationen.

Trotz dieser Entwicklungen ist der individuelle Pkw weiterhin in Deutschland für alle 20- bis 79-jährigen im Modal Split des Verkehrsaufkommens gemäß Nobis et al. (2019, S. 50) das „dominante Verkehrsmittel in der Alltagsmobilität“ (Nobis et al., 2019, S. 3). Pakusch (2020, S. 77) deutet aufbauend auf ihrer Umfrage darauf hin, dass der Besitz eines Autos in Zukunft kein Auslaufmodell sein wird. Givoni (2018) zeigt zudem auf, dass die Digitalisierung mit der Automatisierung von Fahrzeugen eine Technologie mit viel Potenzial im öffentlichen Verkehr ist, aber das kommerzielle Interesse weiterhin individuelle Pkws zu verkaufen die Entwicklung anführt und die individuelle Abhängigkeit sogar steigen könnte. Pakusch (2020) fasst in ihrer zuvor benannten Veröffentlichung zusammen, dass mit der Automatisierung und Flexibilisierung „der öffentliche Verkehr weniger genutzt würde, während der motorisierte Individualverkehr in Form von privaten (automatisierten) Autos oder automatisiertem Carsharing zunehmen würde, wenn die Behörden und die Verkehrspolitik keine Gegenmaßnahmen ergreifen.“¹⁴ (vom Verfasser übersetzt aus Pakusch (2020, S. 216)). Der klassische ÖPNV bleibt trotz eigener Verbesserungen im Zuge der Digitalisierung und Automatisierung weiterhin in erheblichem Konkurrenzdruck durch den Pkw. Walker und Marchau (2017, S. 11) schlagen eine neue Strategie für die Politik vor, die anpassungsfähig auf Grundlage der aktuell gesammelten Informationen die voranschreitende Entwicklung des fahrerlosen Fahrens dynamisch steuert. Die öffentlichen Akteure stehen in Anbetracht der Entwicklungen und der

¹⁴ Originaltext: „This would imply that, as a consequence, public transport would be used less, while motorized private transport in the form of private (automated) cars or automated car-sharing would increase if no countermeasures are taken by authorities and transport policies.“ Pakusch (2020, S. 216).

großen Bedeutung der Mobilität unter Entscheidungs- und Gestaltungsdruck. (Kern und Motzer, 2022; Pakusch, 2020; Bösch et al., 2018; Mitteregger et al., 2020; Canzler, Knie und Ruhrort, 2019; Jiao, 2021, S. 145–148)

Nachdem den Großstädten in Deutschland ein Wachstum als Lebens- und Arbeitsort mit Ausstrahlungseffekten in die Umlandregionen widerfahren ist (vgl. Volgmann et al., 2022, S. 397), stehen viele ländliche Regionen¹⁵ den Herausforderungen von Bevölkerungsalterung und -schrumpfung gegenüber (vgl. Opitz und Pfaffenbach, 2018, S. 172). Weber (2009) weist allerdings darauf hin, dass Abstand davon genommen werden muss, ländliche Räume pauschal als bedürftig und problembehaftet zu präsentieren, sondern nach den Chancen Ausschau zu halten. (siehe hierzu auch Hoppe, 2011, S. 9)

Eine Definition von ländlichen Räumen kann theoretisch über den verkehrlichen Parameter der dominierenden Rolle des privaten Pkw gefunden werden – diese Räume unterscheiden sich erheblich mit ÖPNV-Angebot und -Nachfrage von den Großstädten (Herget, Sommer und Gies, 2021, S. 12; Nobis et al., 2019, S. 4). Heinze (2001, S. 55) schreibt dazu: „Der ÖPNV in der Fläche war schon immer Notbehelf“. Das BMVI (2016b, S. 12) spricht von „Herausforderungen“ und sieht alternativ zum klassischen ÖPNV flexible Angebotsformen als eine Lösung für nachfrageschwache Räume und Zeiten an (vgl. dazu auch Brenner, 2001, S. 122). Kirchhoff und Tsakarestos (2007, S. 20) heben die Bedeutung des ÖPNV in ländlichen Räumen hervor, um die Mobilität der Menschen ohne Möglichkeit der Nutzung eines Pkw zu gewährleisten. Heinze (2001, S. 59) betont zukunftsgerichtet die Bedeutung des von ihm sogenannten „Gemeinschaftsverkehrs“ in den Versorgungspflichten, um die Menschen auf dem Lande zu halten und Zukunftschancen für Wachstum zu bewahren und zu verhindern, dass eine unbefriedigende Situation in die Zukunft fortgeschrieben wird, wo es auch Hoffnungsträger wie Freizeitverkehr und Tourismus in der Fläche gibt (Heinze, 2001, S. 54). Kirchhoff, Tsakarestos und Hanitzsch (2010, S. 12) fordern einen Planungsablauf, der „zielbezogener sein muss als die früher übliche Anpassungsplanung.“ (vgl. dazu auch Heinrich-Böll-Stiftung, 2020, 20 f.)

„Nicht ‚Überbevölkerung‘, sondern unser Umgang mit einer weltweit stark älter werdenden Bevölkerung ist das demografische Thema der Zukunft“ beschreibt Dettling (2022, S. 22) die Herausforderung, dass sich die Zahl der über 80-Jährigen im Jahr 2100 im Vergleich zu heute von 141 Millionen auf 866 Millionen weltweit versechsfachen könnte (Dettling, 2022, S. 22). Auch wenn die Sterbefallzahlen im Jahr 2022 gegenüber den Vorjahren in Deutschland gestiegen sind (Statistisches Bundesamt, 2023) und die Lebenserwartung laut OECD/European Union (2022) in Europa im Jahr 2021 unter direkter oder indirekter Einwirkung der COVID-19-Pandemie um ein Jahr gesunken ist, entfaltet eine

Urbanisierung

Demografischer Wandel

¹⁵ Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020) definiert ländliche Regionen vereinfacht als Regionen, „in denen weniger als 33 % der Bevölkerung in Groß- und Mittelstädten lebt mit einer Einwohnerdichte unter 150 Einwohner/km²“. Bei größerem Prozentsatz und höherer Einwohnerdichte wird von Regionen mit Verstädterungsansätzen gesprochen (vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020)).

über Jahrzehnte niedrige Geburtenrate eine langanhaltende Wirkung als einem Markenzeichen der demografischen Situation einer alternden Bevölkerung. (Nikitina und Renker, 2022, S. 112–114)

Dettling (2022, S. 27–29) spricht unter dem Megatrend Silver Society von einer „Care-Gesellschaft“, in der alte und neue Dienstleistungen im Sozial- und Gesundheitswesen einen großen Wachstumsmarkt bieten. Lierzer und Schumann (2020, S. 16) weisen darauf hin, dass künftig zahlenmäßig mehr Menschen aufgrund altersbedingter Einschränkungen nicht mehr in der Lage sein werden ein Fahrzeug (sicher) zu bewegen. Bezogen auf die Gesamtbevölkerung sind nach Nobis et al. (2019, S. 6) derzeit 13 % von gesundheitlichen Einschränkungen betroffen, bei etwas mehr als der Hälfte (7 %) führt dies zu einer Beeinträchtigung der Mobilität. 9,4 % der Gesamtbevölkerung besitzen im Jahr 2021 eine schwere Behinderung, knapp die Hälfte davon ist im Alter zwischen 55 und 74 Jahren (Statistisches Bundesamt, 2022a). Hoffmann-Wagner und Jostes (2021, S. 9–11) beschreiben, dass „barrierefreie infrastrukturelle Anforderungen an Bedeutung gewinnen“ werden.

Mit einem Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen haben die United Nations (2006) eine Konvention geschaffen, die im Dezember 2008 in deutsches Recht überführt wurde.¹⁶ Hierbei werden – neben der Bekräftigung allgemeiner Menschenrechte – verschiedene Regelungen für den Alltag der Menschen vorgegeben, z. B. dass die Vertragsstaaten „wirksame Maßnahmen [treffen], um für Menschen mit Behinderungen Mobilität mit größtmöglicher Unabhängigkeit sicherzustellen“. In der am 01.01.2013 in Kraft getretenen Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) ist festgehalten, dass gemäß § 8 (3) „für die Nutzung des öffentlichen Personenverkehrs bis zum 01.01.2022 eine vollständige Barrierefreiheit [zu] erreichen [ist]“, Ausnahmeregelungen sollen bis 2026 allerdings weiterhin begründet möglich sein (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2023, S. 78).¹⁷ Das vorgenannte Ziel wurde in 2022 nicht erreicht und erscheint weiterhin für die Kommunen – insbesondere in ländlichen Räumen – als enorme Herausforderung (vgl. Hensiek, 2022, S. 393).

¹⁶ Gesetz zu dem Übereinkommen der Vereinten Nationen vom 13. Dezember 2006 über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sowie zu dem Fakultativprotokoll vom 13. Dezember 2006 zum Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen

¹⁷ Weitergehender Wortlaut gemäß PBefG § 8 (3) „Der Nahverkehrsplan hat die Belange der in ihrer Mobilität oder sensorisch eingeschränkten Menschen mit dem Ziel zu berücksichtigen, für die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs bis zum 1. Januar 2022 eine vollständige Barrierefreiheit zu erreichen. Die in Satz 3 genannte Frist gilt nicht, sofern in dem Nahverkehrsplan Ausnahmen konkret benannt und begründet werden. Im Nahverkehrsplan werden Aussagen über zeitliche Vorgaben und erforderliche Maßnahmen getroffen.“

Bei den im vorangegangenen Exkurs ausgeführten Megatrends werden erhebliche Wirkbeziehungen mit der Mobilität ersichtlich (vgl. Abbildung 6-2). Deutlich werden Überschneidungen in den vier tiefgreifenden Megatrends: Neben der großen Bedeutung der Mobilität (Mitteregger et al., 2020, S. IX) spielt die Verkehrsmittelwahl mit dem Modal Split in allen vier genannten Entwicklungen eine wichtige Rolle. Jeder dieser Trends für sich kann erhebliche Veränderungen bewirken, in ihrem Zusammenwirken entsteht eine transformative Entwicklungsdynamik (Bormann et al., 2018, S. 12).

Zusammenfassung:
Wirkbeziehungen der Megatrends in der Mobilität



Abbildung 6-2: Megatrends mit Wirkung in der Mobilität (eigene Darstellung)

Es zeigt sich, dass sich die vier Megatrends jeweils in einem unterschiedlichen Stadium befinden, aber auch der Stand von politisch veranlassten Maßnahmen verschieden ist. Während z. B. bezüglich der Erreichung einer vollständigen Barrierefreiheit gesetzte Ziele verfehlt wurden (Hensiek, 2022, S. 393), warnen verschiedene Gutachten hinsichtlich des Treibhauseffektes vor der Zielverfehlung (Levi et al., 2021, S. 1; Schwedes, 2021, S. 160; United Nations, 2021). Ziele der Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen werden in der öffentlichen Mobilität von vielen Regionen auf einem Minimum verfolgt (Heinze, 2001, S. 55; Herget, Sommer und Gies, 2021, S. 12), sodass in der Omnipräsenz des Pkw keine attraktive Alternative öffentlicher Verkehre in der Fläche verbleibt (Herget, Sommer und Gies, 2021, S. 12). Hinsichtlich der Digitalisierung und Automatisierung werden wiederkehrend verschiedene Anforderungen angesprochen, aber es deuten sich abseits von Förderrichtlinien keine eindeutigen verkehrspolitischen Konzepte und Ziele an. Es scheint dahingehend noch keine Rolle für autonome Systeme zur Erreichung von Zielen in einem künftigen Mobilitätssystem definiert worden zu sein. (Givoni, 2018; Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 110) Die weitere Verknüpfung der Megatrends mit der Technik autonomer Minibusse erfolgt ab Kapitel 6.6.5.2.

6.1.4 Schritt 1.4: Analyse der Akteure

In diesen gesamtgesellschaftlichen Trends bewegen sich viele Akteure mit unterschiedlichen Interessen, die in relevanter Wechselwirkung mit der weiteren Entwicklung der Technik stehen. Aufbauend auf Just et al. (2020) werden im Rahmen eines eigenen Brainstormings beteiligte Akteure ergänzt und eingeordnet (siehe auch Abbildung 6-3):

- a. Gesellschaft¹⁸
 - 1 Nutzende
 - 2 Betroffene (z. B. Anwohnende der Straßen, andere Verkehrsteilnehmende)
 - 3 Interessensverbände und weitere Stakeholder
 - 4 Weitere Allgemeinheit
- b. Öffentliche Institutionen
 - 1 Gesetzgeber¹⁸
 - 2 Aufgabenträger öffentlicher Verkehre
 - 3 Infrastrukturverantwortliche Straßenbaulastträger¹⁸
(Veranlasser von Infrastrukturbau und -unterhaltung)
 - 4 Weitere Verwaltung, u. a.
 - Länder, Kreise und Kommunen (Gebietskörperschaften¹⁸)
 - Gremien und Ausschüsse
 - Genehmigungsbehörden für Verkehr, Fahrzeuge, Personenbeförderung ...
 - Verantwortliche der Daseinsvorsorge
 - Zuständige der Bauleit- und Bebauungsplanung
 - 5 Rechtsprechung
- c. Anbieterneutrale Vermittler

Verkehrsverbünde („anbieterneutrale Plattformbetreiber für verkehrsmittelübergreifende Wegekettens“) ¹⁸
- d. Privatwirtschaftliche infrastrukturseitige Akteure

Infrastrukturhersteller und -zulieferer
(z. B. Unternehmen der Verkehrstechnik und Bauindustrie)
- e. Privatwirtschaftliche fahrzeugseitige Akteure
 - 1 Hersteller und Zulieferer für Fahrzeuge (Fahrzeughersteller¹⁸, Sensorentwickelnde, Robotik- und Rüstungsindustrie ...)
 - 2 Branche der Informationstechnik
(herausgelöst aus Herstellern und Zulieferern)
 - Softwareentwickelnde
 - (Mobilitäts-)Datenplattformbereitsteller und -verarbeitende
 - Kommunikationsdienste (z. B. Satelliten- und Mobilfunkkommunikation)
 - Kartenhersteller und -verbreitende
 - Unterhaltungsindustrie

¹⁸ vgl. Just et al. (2020).

- Unternehmen der Informationssicherheit
- 3 Mobilitätsdienstleister¹⁸
 - a. Taxiunternehmen
 - b. Autovermietungen
 - c. Ride-Sharing-Unternehmen
 - d. Sharing-Anbietende
 - e. Logistikunternehmen
- 4 Verkehrsunternehmen im ÖPV¹⁸
 - (z. B. Busunternehmen, im öffentlichen Auftrag)
- f. Versicherungen
 - Versicherungsbranche mit Kfz-Versichernden¹⁸ und Gesundheitssystem
- g. Abhängige Wirtschaft
 - 1 Anhängiges Gewerbe (z. B. Werkstätten, Fahrzeughändler, Autohöfe, Motels, Rohstoffbereitstellung)
 - 2 Energiebereitstellende (z. B. Energiekonzerne, Tankstellen)
 - 3 Beratungsunternehmen
 - 4 Konkurrenzunternehmen (z. B. Flugverkehr, Fahrradhandel)
- h. Forschungs- und Prüfinstitutionen einschl. Standardisierung
 - 1 Institutionen der Forschung und Entwicklung (z. B. Hochschulen)
 - 2 Technische Prüfororganisationen (z. B. Sachverständige)
 - 3 Institutionen zur Normierung und Standardisierung (z. B. Deutsches Institut für Normung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.)
- i. Kommunikationsmedien
 - 1 Wissenschaftliche Veröffentlichungen und Fachzeitschriften
 - 2 Berichterstattung und Debatten in Zeitungen, Radio, Social Media ...

Mitteregger et al. (2020, S. 16), Kröger et al. (2022, S. 10) sowie Foljanty und Duong (2016b) benennen als initiiierend und treibend für die Entwicklung des autonomen Fahrens die drei Akteursgruppen (e.1-e.3): Software-Unternehmen, Hardware-Produzenten (mit den Automobilherstellern) und die Betreibenden (Carsharing/Rideselling), die sich mit ihren Innovationen relevante Anteile am Umsatz eines künftigen Mobilitätsmarktes sichern wollen. Foljanty und Duong (2016a) beschreiben die durch das fahrerlose Fahren vielfältige Betroffenheit des alltäglichen Lebens und die großen Machtverhältnisse zwischen und von den vorgenannten Akteuren, für die es der öffentlichen Hand (b) gelingen muss, „die derzeit stark marktgetriebene Entwicklung mit ihren Zielen in Einklang zu bringen.“ (Foljanty und Duong, 2016a) Die Bedeutung dieser vorgenannten Akteure wird auch von Clark, Atkinson-Palombo und Garrick (2019, S. 29) hervorgehoben. Es entsteht ein Zusammenspiel zwischen wirtschaftlichen, technischen und rechtlichen Bedingungen in einem Wettlauf zu einem noch nicht absehbaren Ergebnis für die Gesellschaft (a) in komplexer werdenden Zusammenhängen. Es sei nach Foljanty und Duong (2016a; 2016b) von den benannten Akteuren (e) nicht zu erwarten, dass diese sich aus ihren – naturgemäß wirtschaftlichen – Interessen grundsätzlich für

eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft einsetzen werden (vgl. auch Siebenpfeifer, 2021, S. 191; Parment, 2016; Bardt, 2016), sondern gemäß Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021, S. 98 und S. 109) bei großem Bedarf gesellschaftlicher Aushandlung in zunehmenden Umfang eine staatliche Regulierung über die Verkehrspolitik (b) erfolgt.

Entscheidend für den Erfolg einer Mobilitätsform oder -technik ist zudem die Diffusion bzw. Akzeptanz bei den Nutzenden, für deren Verkehrsleistung aktuell der individuelle Pkw das dominante Verkehrsmittel in der Alltagsmobilität ist (vgl. Kapitel 6.1.3). Die Allgemeinheit (a) erwartet eine grundsätzlich preiswerte, schnelle, pünktliche und funktionierende Mobilität (vgl. Deutsch, 2018, S. 258) sowie keine Einschränkungen der persönlichen Individualität (vgl. Lütge, Kriebitz und Max, 2020), derweil sich öffentliche und genehmigende Akteure (b) den Herausforderungen aus Kapitel 1 stellen (vgl. Deutsch, 2018) und durch Gesetzgebung und Fördermittel ebenfalls als Treiber fungieren (Kröger et al., 2022, S. 10).

Die Aufgabenträger für den ÖPNV (b.2) der öffentlichen Verwaltungen einschließlich der Genehmigungsbehörden (b.4) und die anbieterneutralen Vermittler (wie Verkehrsverbünde (c)) streben eine funktionierende und sichere öffentliche Mobilität unter gesamtgesellschaftlicher Teilhabe und besserer zeitlicher sowie räumlicher Verfügbarkeit an (vgl. Kolloosche et al., 2022, S. 154; Schäffer, 2014). Durch die Schaffung (oder Abschaffung) von öffentlichen Verkehrsangeboten können Aufgabenträger ebenfalls Treiber und Gestaltende des autonomen Fahrens werden, da zumeist im ÖPNV die Verkehrsleistung extern vergeben wird und Verkehrsunternehmen (e.4) beauftragt werden, dies gemäß den Anforderungen zu realisieren. Diese Unternehmen stehen im Zuge der Digitalisierung hinsichtlich der Fahrgastzahlen u. a. in Konkurrenz mit den Mobilitätsdienstleistern (e.3), die Angebotsformen wie z. B. Sammelverkehre und Taxidienste durch digitale Funktionalitäten neu auflegen (vgl. Knie et al., 2020, S. 14 f.; Kolloosche et al., 2022, S. 155).

Die öffentliche Forschung (h.1) widmet sich über die Bereitstellung von Fördermitteln und Sicherung eines Innovationsstandortes vermehrt dem Thema des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV und versucht viele Zukunftsfelder zu bearbeiten und gewonnenes Wissen zu verbreiten (vgl. Kapitel 2.2.4). Technische Prüforganisationen (h.2) treten unterstützend mit Gutachten auf und liefern dabei wichtige Bedingungen für den sicheren Einsatz automatisierter und fahrerloser Fahrzeuge (vgl. TÜV NORD AG, 2019). Einzelne Beratungsunternehmen (g.3) erschließen das Thema des autonomen Fahrens, erarbeiten Prognosen oder beraten und unterstützen Unternehmen, öffentliche Institutionen und Geförderte (vgl. Roland Berger GmbH, 2018). Wissenschaftseinrichtungen als Anstalten öffentlichen Rechts und private Forschungseinrichtungen, Prüforganisationen und Beratungsunternehmen sind dabei auf Finanz- und Fördermittel Dritter angewiesen. Unter diesen und weiteren Akteuren bestehen Zusammenschlüsse zur Schaffung von Richtlinien, Normen und zur Vermittlung des Stands der Technik (h.3).

Vertretende der Versicherungsbranche (f) sehen Chancen in der Reduzierung ihrer Kosten durch weniger Unfälle dank der Automatisierung (vgl. Lierzer und Schumann, 2020, S. 32; Holz, 2020, S. 2 f.).

Infrastrukturverantwortliche (b.3) erhoffen sich eine effizientere Nutzung ihrer Infrastruktur und eine Steigerung der Attraktivität der Städte. Dabei fordern sie eine Nutzbarkeit der bestehenden Straßen ohne relevanten zusätzlichen Aufwand für autonomes Fahren. (vgl. Horn, Kiel und Lojewski, 2018) Einzelne Infrastrukturhersteller (d), insbesondere für die Digitalisierung der Infrastruktur, entwickeln neue Lösungen, um sich im neuen Markt zu positionieren (vgl. Tsukada et al., 2020; Yunex Traffic, 2023). Seitens der klassischen Infrastrukturhersteller im Straßenbau (d), dem anhängigen und konkurrierenden Gewerbe (g.1 und g.4) sowie der Energiebereitstellenden (g.2) werden kaum bis keine Aktivitäten im autonomen Fahren wahrgenommen.

Die Kommunikationsmedien (i) sorgen für Wissensvermittlung und -diskussion. Nach Taddicken et al. (2020, S. 406) kommt den Medien bei ethischen Aspekten selbstfahrender Fahrzeuge „eine besondere Relevanz zu, Debatten über komplexe Themen aufzugreifen und anzustoßen.“ Nach Taddicken et al. (2020) ist den journalistischen Medien die Rolle zuzuweisen über Information und Orientierung eine rechtzeitige gesellschaftliche Aushandlung über eine solche Technologie auszulösen. Hinzu kommen u. a. Soziale Medien, über die eine Meinungsbildung im Austausch mit anderen gestaltet wird (Schmidt et al., 2017, S. 361). Dabei kann es sich nicht nur um Wissensvermittlung, sondern auch um die Verbreitung von Empörung und Manipulation handeln (Kneuer und Richter, 2015, S. 10). Bei der Verbreitung einer Technologie ist der Diffusionsprozess als Kommunikationsprozess entscheidend (Karnowski, 2013, S. 513).

Die Abbildung 6-3 stellt alle vorgenannten Akteure dar und gruppiert diese nach den zuvor erläuterten gemeinsamen Interessenslagen zum autonomen Fahren.

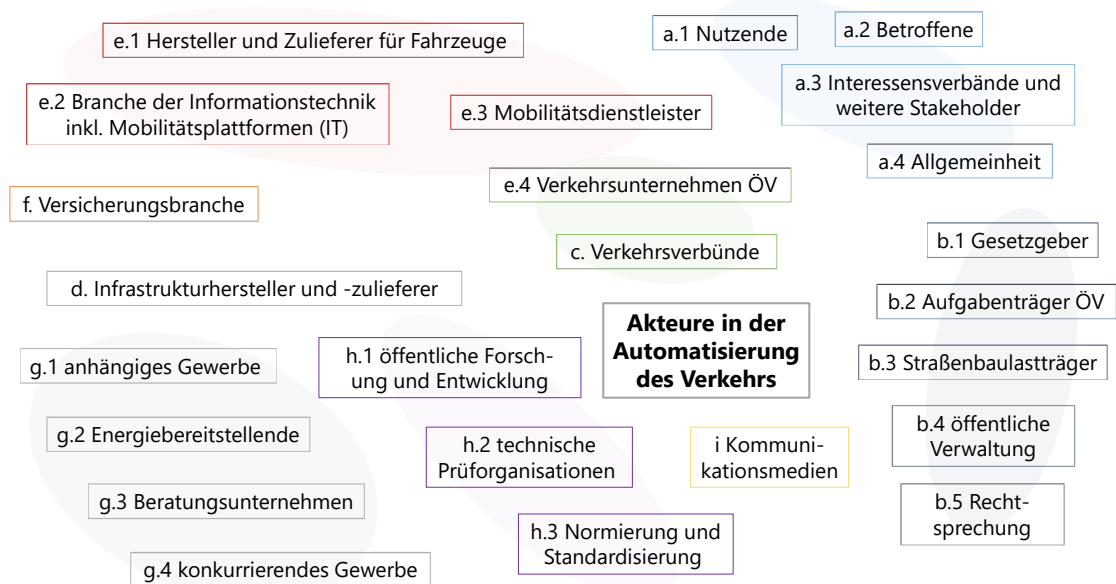


Abbildung 6-3: Übersicht über die Akteure in der Mobilität des autonomen Fahrens (eigene Darstellung)

Der u. a. von Clark, Atkinson-Palombo und Garrick (2019, S. 40), Mitteregger et al. (2020, S. 103–105) und Devine-Wright (2005, 135 f.) beschriebene Dreiklang in gesellschafts-politische, marktgetriebene und gemeinschaftliche Akzeptanz und Einflussnehmende einer Technik findet sich hier wieder in Regierung und Regulierung, Markt und Innovation sowie soziokultureller und öffentlicher Akzeptanz. Dies stärkt die Bedeutung einer vielseitigen und übergreifenden Perspektive, die mit der Aufgabenstellung einhergeht.

6.1.5 Schritt 1.5: Offenlegung der Abhängigkeiten und Zielgruppe

Nachfolgend wird herausgestellt, mit welchem Hintergrund die Bearbeitung erfolgt und wer hinsichtlich der Bereitstellung von Daten und Technik an der Ausarbeitung beteiligt ist und wer die Zielgruppe der Ergebnisse bildet. Es wird eine Transparenz zu den Mitwirkenden der Ausarbeitung hergestellt. Es erfolgt in Klammern (x) die Zuordnung zu den Akteuren in der Automatisierung des Verkehrs. Die Akteure werden in Abbildung 6-3 im vorangehenden Kapitel vorgestellt.

Die Bearbeitung der Ausarbeitung erfolgt durch den Autor unter Zuarbeit von Daten durch weitere wissenschaftliche Angestellte am Institut für Verkehrsplanung und Logistik der Technischen Universität Hamburg (Akteur Kategorie h.1 gemäß Kapitel 6.1.4). Das Institut hat seine Forschungsschwerpunkte in der Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung, der Logistik und Nachhaltigkeit sowie Verkehrs- und Logistikknoten. Als relevante Schwerpunkte des Instituts sind dabei die integrierte Betrachtung von Verkehr und Siedlungsstruktur und die Verknüpfung von Verkehrsträgern mit Weiterentwicklung von Angeboten im ÖPNV zu erwähnen. Der Ausarbeitende Matthias Grote besitzt die Qualifikation des Bauingenieurs mit Schwerpunkt in der Verkehrsplanung und dem Entwurf von Verkehrswegen. Die Entwicklung des Verfahrens erfolgt aus öffentlicher Forschungsperspektive (h.1), die Anwendung aus der Interessenlage eines Aufgabenträgers für den ÖPNV (b.2).

Der Kreis Herzogtum Lauenburg ist in seiner Funktion als ÖPNV-Aufgabenträger, Untere Genehmigungsbehörde, Straßenbaulastträger und Datenbereitstellender (b.2, b.3, b.4) in der Förderung als Projektpartner mit Eigenmitteln an den hier genutzten Testfeldern beteiligt. Der Kreis besitzt ein Erkenntnisinteresse an den Ergebnissen zur Weiterentwicklung des ÖPNV im Zuständigkeitsbereich. Ein Austausch mit Verantwortlichen erfolgt im Rahmen des Testzentrums in Lauenburg/Elbe.

Als weitere Forschungsinstitution wird die Medizinische Hochschule Hannover mit ihrer Abteilung der Verkehrsunfallforschung (h.1) hinzugezogen, die Daten zu Verkehrsunfällen von Bussen in ländlichen Räumen bereitstellt. Als Technische Prüforganisation wird die TÜV Nord Mobilität GmbH (h.2) zur Genehmigung und Beratung zu den Fahrzeugen involviert.

Für die Vernetzung mit bereits bestehenden Förderprojekten in Norddeutschland sowie unterstützend für Fragestellungen mit technischem, betrieblichem und organisatorischem Schwerpunkt wurde in den Projekten TaBuLa und TaBuLa-LOG auf die Erfahrungen der Interlink GmbH (g.3) zurückgegriffen. An dieser Auswertung und Ausarbeitung war das Unternehmen nicht beteiligt, allerdings an Veröffentlichungen aus den Projekten TaBuLa und TaBuLa-LOG, die im Rahmen des Themas zum fahrerlosen Fahren im ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg entstanden sind.

Die folgenden Akteure sind an relevanten Projektbestandteilen beteiligt, aber nicht in den Auswertungen und Bewertungen involviert: Die Stadt Lauenburg/Elbe trat in den beteiligten Projekten als assoziierter Projektpartner auf, welcher das eigene Stadtgebiet als Testregion zur Verfügung stellte und neben dem Kreis als Straßenbaulastträger (b.3)

fungierte. Die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH waren als Betreiber der beiden automatisierten Bus-Shuttle eingebunden (e.4), zudem unterstützen sie mit Eingaben und Erfahrungen zu Fahrzeug-, Betriebs- und Kostenthemen. Die Versorgungsbetriebe Elbe GmbH als assoziierter Partner war an der Rohdatenbereitstellung zu Stromverbräuchen (g.2) beteiligt. An Teilaufgaben waren verschiedene Unternehmen der Informationstechnik (e.2) und Infrastrukturhersteller (d) beteiligt, u. a. Siemens Mobility GmbH (heute Yunex GmbH) und deren Unterauftragnehmer RTB GmbH & Co. KG zur Aufrüstung von Infrastruktur sowie Nexave GmbH & Co. KG zur Schnittstellenentwicklung.

Die Finanzierung der Ausarbeitung erfolgt in Teilen über die Forschungsprojekte „Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa)“ und „Kombinierter Personen- und Warentransport in automatisierten Shuttles (TaBuLa-LOG)“, die unter den Förderkennzeichen FKZ 16AVF2152 und FKZ 01MM19013 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (b.4) mit insgesamt 3,71 Mio. € gefördert wurden. Die übrige Finanzierung erfolgt aus freien und unabhängigen Eigenmitteln des Instituts für Verkehrsplanung und Logistik und des Autors.

Es gibt eine „ganze Reihe von Akzeptanzstudien zum automatisierten bzw. autonomen Fahren“ (Fleischer, Puhe und Schippl, 2022, S. 11), die sich auf VerbraucherInnen, KundInnen, EndnutzerInnen, öffentliche und soziale Akzeptanz beziehen (Fleischer, Puhe und Schippl, 2022, S. 11). In dieser Ausarbeitung wird allerdings die Sicht der Aufgabenträger, die das Angebot des ÖPNV entwickeln, aushandeln und beauftragen, eingenommen und eine möglichst ganzheitliche Betrachtung unter der Forschungsperspektive vorgenommen.

Als Zielgruppe fokussiert sich

- **das Verfahren** mit seinen Methoden auf eine kritische und wiederkehrende Anwendung und Weiterentwicklung in der Forschung (h.1) und
- **das Ergebnis** aus der Anwendung des Verfahrens auf die Bereitstellung von Wissen für aushandelnde Akteure (siehe Abbildung 6-3) und beratend für öffentliche Verwaltungen der Länder, Kreise und Kommunen (b), die mit Entscheidungen zum ÖPNV betraut sind.

6.2 Phase 2: Zielsystem

In dieser zweiten Phase werden die in der Verfahrensentwicklung in Kapitel 5.4.2 beschriebenen Schritte ausgeführt und die angestrebten Ziele und Fähigkeiten für den ÖPNV im Untersuchungsraum ermittelt. Dies erfolgt hinsichtlich der Zielgruppe der Ergebnisse (vgl. Kapitel 1.4) konkretisiert aus der Sicht eines Aufgabenträgers für den ÖPNV mit Blick auf den Menschen bei Benutzung des ÖPNV (Vorgabe aus Phase 1).

6.2.1 Schritt 2.1: Ermittlung von Zielen und Fähigkeiten

Zur Konkretisierung der Ziele und Fähigkeiten für den ÖPNV in ländlichen Räumen wird die in der Anlage 10.2 aufgeführte Literatur ausgewertet. Auf die besonderen Anforderungen der ländlichen Räume wird durch hinzugezogene Literatur und ExpertInnenbeteiligung eingegangen, u. a. über die Erschließungsqualität und die weiteren aufgeführten Ziele.

Die angestrebten Fähigkeiten und Ziele aus der Inhaltsanalyse und die Eingaben der ExpertInnen werden als Variablensatz anhand von Kirchhoff, Tsakarestos und Hanitzsch (2010) gruppiert, die eine umfangreiche Übersicht an Zielen in Kategorien bereitstellen. Das Ergebnis ist in Abbildung 6-4 dargestellt. Die hieraus gebildete Kategorisierung wird in den weiteren Phasen wissensgewinn-leitend und -strukturierend verwendet.



Abbildung 6-4: Ziele und Fähigkeiten für den ÖPNV in der betrachteten Region (eigene Darstellung)

Zur Herleitung und vollständigen Beschreibung sind zu allen Zielen die Definitionen, Indikatoren und externe Einflüsse in der Tabelle 10-3 aufbereitet.

6.2.2 Schritt 2.2: Überprüfung einer Ganzheitlichkeit

Es erfolgt die Überprüfung der Ganzheitlichkeit gemäß der unter Kapitel 5.4.2 beschriebenen beiden Arbeitsschritte:

- a) Die erste Prüfung erfolgt anhand der Auszählung der Ziele aus Kapitel 6.2.1 zu den jeweiligen Oberzielen der „Werte im technischen Handeln“ aus VDI (2000, S. 12–24):
 - Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität: 8 Ziele
 - Gesundheit und Sicherheit: 3 Ziele
 - Umweltqualität: 4 Ziele
 - Wirtschaftlichkeit und Wohlstand: 6 Ziele
 - Funktionsfähigkeit: 2 Ziele
 - Weiteres: 6 Ziele

Es wird erkennbar, dass jedes Oberziel durch mehrere Ziele vertreten wird und damit die Anforderungen nach VDI (2000) erfüllt sind.

- b) Die weitergehende Überprüfung erfolgt über den Eintrag in die Kriterienmatrix nach Vester (1991) mit den vorgegebenen Kriterien aus Lebensbereichen, physikalischen und dynamischen Grundkategorien und Systembeziehungen (nach Vester, 1991, S. 68) in Abbildung 6-5. Es werden alle Ziele in der linken Spalte aufgelistet und es wird jeweils individuell festgestellt, ob dieses Ziel den einzelnen vorgegebenen Kriterien in den Spalten entweder zutreffend, teilweise zutreffend oder nichtzutreffend zugeordnet werden kann. Dies erfolgt nach eigener Beurteilung unter Hinzunahme von ähnlichen Untersuchungsobjekten im Bereich der Mobilität von Tjaden (2023, S. 132), Klönne (2008, S. 46) und Vester (1991, S. 70 f.) zur Plausibilisierung.

		Systemkriterien nach Vester (1991)																	
		Lebensbereiche						Physikalische Kategorie			Dynamische Kategorie			Systembeziehung					
		Wirtschaft	Bevölkerung	Flächennutzung	Humanökologie	Naturhaushalt	Infrastruktur	Gemeinwesen	Materie	Energie	Information	Flussgröße	Strukturgröße	zeitliche Dynamik	räumliche Dynamik	öffnet System durch Input	öffnet System durch Output	von Innen beeinflussbar	von Außen beeinflussbar
Ziele für den ÖPNV (aus Zielprogramm) als Variablen	Gesellschaftsqual. u. Persönlichkeitsentfaltung																		
	zeitliche Verfügbarkeit	●	●		●		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	räumliche Verfügbarkeit		●	●	●		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	kurze Zugangswege		●	●			●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	barrierefreie Erschließung für Alle		●		●		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	Handhabbarkeit	●	●		●		●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Komfort	●	●					●		●			●		●	●	●	●	●
	Attraktivität / Kundenfreundlichkeit		●		●				●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	einfache Verständlichkeit		●		●		●	●			●	●	●		●	●	●	●	●
	Gesundheit und Sicherheit																		
	Verkehrs- / Betriebssicherheit	●	●		●		●	●	●					●	●	●		●	●
	Kriminalprävention		●		●			●			●	●		●	●	●	●	●	●
	Arbeitsbedingungen	●	●		●				●	●	●			●	●	●	●	●	●
	Umweltqualität																		
	Schonung Umwelt und Ressourcen			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Nachfragesteigerung ÖPNV	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	MIV-Reduzierung	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
	nachhaltige Antriebstechnologie	●		●	●			●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
	Wirtschaftlichkeit und Wohlstand																		
	Wirtschaftlichkeit	●							●	●	●			●	●	●	●	●	●
	Effektivität	●						●		●	●	●		●	●	●	●	●	●
	Schnelligkeit		●	●				●			●			●		●	●	●	●
	Verbindungsqualität (Umsteigen etc.)		●					●				●	●			●	●	●	●
	Verlässlichkeit		●								●	●		●	●	●	●	●	●
	Wohlstand	●							●	●	●			●	●	●	●	●	●
	Funktionsfähigkeit																		
	Fähigkeit zum Aus-, Um-, Rückbau			●	●	●	●				●			●	●	●	●	●	●
	Integrierbarkeit / Vernetzung Verkehre	●		●			●		●		●		●	●	●	●	●	●	●
	Weitere Fähigkeiten																		
	Reversibilität			●	●	●	●	●		●				●	●		●		●
	Datensicherheit		●				●			●	●	●	●		●	●	●		●
	Marketing / Image	●	●							●	●	●		●	●	●	●	●	●
	Kundenbindung Jugendliche	●	●						●		●	●		●	●	●	●	●	●
	Einsatz alternativer Bedienformen	●		●				●	●	●		●	●		●	●	●		●
	ganztägige variable Schulbeförderung		●	●				●	●	●	●		●		●	●	●	●	
	fahrerloses Fahren im ÖPNV	●			●			●	●	●	●	●		●	●	●	●		●
Gesamt:		10,5	13,0	5,5	9,5	4,5	11,5	13,0	17,0	12,0	19,0	14,0	17,0	19,0	21,0	19,5	16,0	16,5	20,0
		Prüfhinweise zu den Variablen nach Vester (1991):																	
		Die Lebensbereiche sollten insgesamt ausgewogen vorhanden sein, wobei eine Betonung eines Problembereichs (zu Herausforderungen mit dem System) möglich ist.						Physikalische Kategorien sollten in jedem Einfluss- (Werte-) Bereich vorhanden sein.			Dynamische Kategorien sollten insgesamt gleichwertig vertreten sein.			Input-/Output der Systembeziehungen sollten ungefähr ausgewogen sein.					
		Im Falle der Nicht-Erfüllung sind die Variablen / Ziele zu überarbeiten.																	

Abbildung 6-5: Abgleich der Ziele aus Kapitel 6.2.1 in einer Kriterienmatrix nach Vester (1991) (eigene Bewertung)

Es wird aus der spaltenbezogenen Summierung der Harvey Balls in der letzten Zeile der Abbildung 6-5 deutlich, dass sich alle vorgegebenen Kriterien nach Vester (1991) in den eingetragenen Zielen wiederfinden. Zwischen 4,5 und 20,5 Ziele sind zu den jeweiligen Kriterien zutreffend. Damit gelingt eine umfassende Darstellung aller von Vester (1991) vorgegebenen Bereiche. Das Kriterium des Naturhaushaltes ist (mit 4,5) gering bei den gewählten Zielen repräsentiert. Dies ist plausibel im Hinblick darauf, dass jegliches Ziel zum Verkehr (in Form einer Ortsveränderung) grundsätzlich dem Naturhaushalt entgegenstrebt. Vester (1991, S. 70) selbst hält eine Summe von fünf für den Lebensbereich Naturhaushalt im System Verkehr für hinreichend. Da der ÖPNV bei Bündelungswirkung als umweltverträgliche Verkehrsart gilt (vgl. Eichmann, 2006; Kaiser und Malanowski,

2020, S. 19), ist der Aspekt des Naturhaushaltes übergreifend gewürdigt. Alle drei physikalischen Kriterien sind berücksichtigt, wobei Energie (mit 11,5) leicht unterrepräsentiert ist – als eine „Variable, die vorwiegend Energiecharakter hat (Stromverbrauch, Arbeitskräfte, Energieträger, Finanzkraft, Entscheidungsgewalt etc.)“ (Vester, 1991, S. 68). Die Bedingungen sind nach Vester (1991) zur Fortsetzung des Verfahrens dennoch erfüllt. Die dynamischen Kategorien und Systembeziehungen erscheinen – wie anzustreben – ausgewogen.

Die Ziele können nach erfolgreicher Überprüfung – wie in Abbildung 6-4 aufgelistet – in die weiteren Phasen überführt werden.

6.3 Phase 3: Einsatzbedingungen

In dieser dritten Phase werden die in der Verfahrensentwicklung in Kapitel 5.4.3 dargestellten Schritte durchgeführt, um technische und rechtliche Bedingungen zu ermitteln und einen konkreten Versuchsträger in die Bewertung einzuführen.

6.3.1 Schritt 3.1: Rechtliche Machbarkeit (Rahmensetzung)

Die Einführung der Technik in einen öffentlichen Realbetrieb hängt von der rechtlichen und technischen Machbarkeit ab. Zur rechtlichen Realisierbarkeit des Versuchsträgers werden nach eigener Erhebung folgende Genehmigungen als entscheidend eingestuft:

- Einzelbetriebserlaubnis und Ausnahmegenehmigung gemäß Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) inkl. notwendiger Gutachten
- Fahrerlaubnis gemäß der Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (FEV)
- Genehmigung für das Personenbeförderungsrecht gemäß Personenbeförderungsgesetz (PBefG)
- Ausnahmegenehmigung zur Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft)
- Baugenehmigung gemäß Baugesetzbuch für Haltestellen und Betriebshöfe (BauGB)
- Anordnung gemäß Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)

Das konkrete Vorgehen zur Einführung des Versuchsträgers unter Berücksichtigung vorgenannter Gesetze, Verordnungen des Versuchsträgers in den öffentlichen Raum wurde vorab mit allen Schritten zur Genehmigung vom Autor durchgeführt und erprobt. Die Bestandteile, Besonderheiten und Ergebnisse der Rahmensetzungen wurden dazu vorab detailliert veröffentlicht und sind Böckler, Grote, Wolf (2021) zu entnehmen. Die rechtliche Realisierbarkeit des technischen Systems im ÖPNV kann insgesamt als positiv bewertet werden.

6.3.2 Schritt 3.2: Technische Machbarkeit

Für die technische Machbarkeit müssen unter der vorgenommenen Untersuchungsraumabgrenzung Fahrzeug und Infrastruktur betrachtet werden:

Fahrzeug

Nach der Markterkundung werden im Rahmen eines Beschaffungsverfahrens Bedingungen und Checklisten erstellt, um die Machbarkeit der Realisierung eines Versuchsträgers zu prüfen.

Aus dem durchgeführten ExpertInnenworkshop unter Beteiligung eines Verkehrsunternehmens zu den Anforderungen an automatisierte Versuchsträger entsteht eine Checkliste mit 315 Punkten, die folgende Themenbereiche behandelt:

- Allgemeines (Zulassungsfähigkeit, Funktionsfähigkeit, Serviceleistungen...)
- Hauptabmessungen und Technische Daten
- Einrichtungen für den fahrerlosen Betrieb
- Federung, Zustieg, Lenkung, Räder, Achsen und Bremsen, Bodenrahmen und Aufbau
- Innenausstattung und Versorgungsanlage

Die Grundbedingung ist die Realisierbarkeit eines automatisierten Betriebes (mindestens Level 2 nach SAE) zur öffentlichen Personenbeförderung mit dem bereitzustellenden Fahrzeug. Ein Auszug aus der Checkliste ist der Tabelle 10-4 in der Anlage 10.3.2 zu entnehmen.

Im Zuge der Markterkundung erfolgte eine Beteiligung von sieben Fahrzeugherstellern, von denen zwei im September 2018 eine ausgefüllte Checkliste abgaben. Die Abfrage bei Herstellern wurde nach 20 Monaten im Mai 2020 wiederholt, um die Markterkundung und Funktionalitäten auf Aktualität zu überprüfen. Wiederrum gaben die zwei selben Hersteller die ausgefüllte Checkliste ab (siehe Anlage 10.3.2). Der Erfüllungsgrad bezogen auf die 90 wichtigsten Kriterien betrug im September 2018 bei Fahrzeug A: 85,6 % und bei Fahrzeug B: 70,0 %. Nach 20 Monaten ergibt sich kein signifikanter Unterschied im Erfüllungsgrad der Kriterien der Fahrzeuge, auch wenn in der zweiten Abgabe seitens der beiden Herstellern eine neue Fahrzeuggeneration berücksichtigt wurde. Fahrzeug A kann in der zweiten Abfrage weniger Kriterien erfüllen. Insgesamt sind keine signifikanten Fortschritte in der Entwicklung anhand der gestellten Anforderungen zu erkennen. Es scheint kein Fahrzeug für den Einsatzzweck verfügbar, das in 2018 und 2020 alle MUSS-Anforderungen erfüllt.

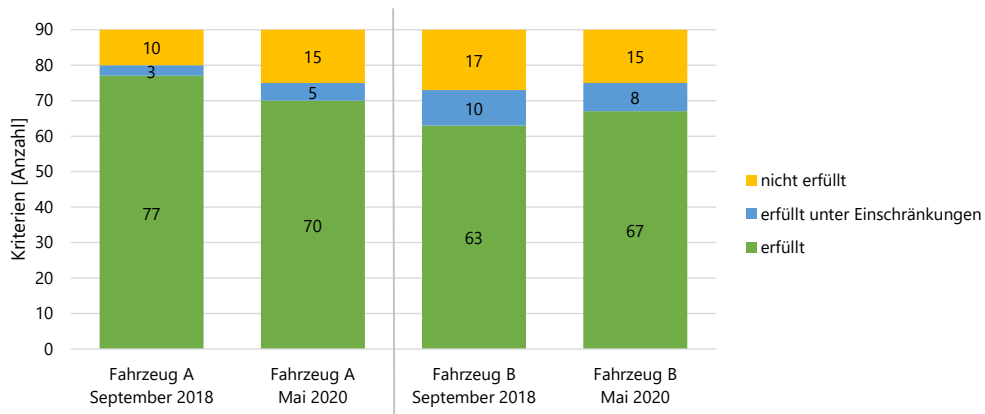


Abbildung 6-6: Erfüllungsgrad der Fahrzeuganforderungen 2018 und 2020 (wichtigste Kann- und Muss-Kriterien, eigene Darstellung auf Grundlage Anlage 10.3.2)

Schwierigkeiten bestanden seitens beider Hersteller bei den Anforderungen des selbstständigen Ausweichens bei Hindernissen im Fahrweg und bei barrierefreien Fahrgastinformationssystemen und -ausstattung innen und außen. Unter Einschränkungen erfüllt sind die Möglichkeiten eine elektrische Rampe und die Türen durch eine externe Steuerung zu erreichen. Jeweils eines der Fahrzeuge kann übliche Standardanforderungen an die Bewältigung von Steigungen größer als 15 % ohne Zurückrollen und einer selbstständig regulierenden Innenraumtemperatur nicht erfüllen. Es zeigen sich zudem Schwierigkeiten, eine Fahrzeugverfügbarkeit von über 80 % der Betriebstage zu garantieren.

Die Auswertung zeigt auf, dass bezogen auf die definierten Anforderungen noch keine ausgereiften Fahrzeuge für die Anforderungen des ÖPNV existieren und keine umfassende Automatisierung der Fahrzeuge bei angefragten Herstellern verfügbar ist.

Infrastruktur

Um einen Versuchsträger im Realbetrieb zu realisieren, werden verschiedene Infrastrukturkomponenten notwendig (vgl. Grote, 2021; Grote, Stargardt und Wolf, 2021a). Hinsichtlich der digitalen Komponenten wurden folgende Elemente identifiziert:

- Mobilfunknetz mit Übertragbarkeit mobiler Daten mittels M2M-Simkarten.
- Gewährleistung einer genauen und zuverlässigen Ortung (Verfügbarkeit von GNSS und Netz-RTK-Messverfahren).
- Zuverlässige Kommunikationsmöglichkeiten mit stationärer dynamischer Infrastruktur (Schranken, Poller, Lichtsignalanlagen), z. B. mittels WLAN ETSI G5-Standard, GSM-Module, etc.

Neben den digitalen Komponenten wird eine für die Fähigkeiten der Technik geeignete Strecke notwendig (vgl. Gertz et al., 2021). Die auf dieser Strecke vorgenommenen Anpassungen werden in Abbildung 6-7 aufgeführt. Hinzu kommen verstärkte Maßnahmen der Straßenunterhaltung wie Schadstellenkontrolle und Freihaltung der Lichtraumprofile.

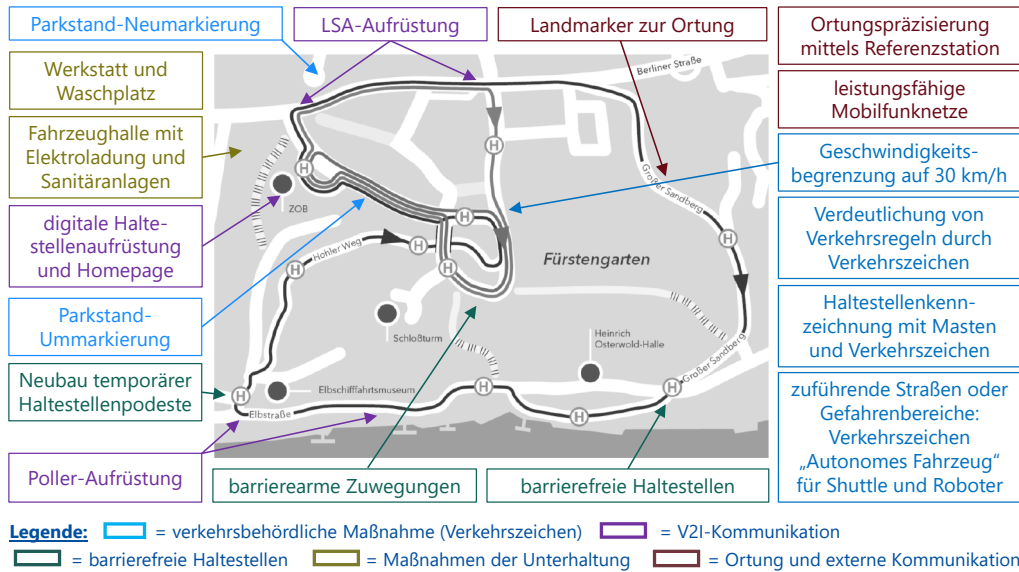


Abbildung 6-7: Infrastrukturmaßnahmen zur Realisierung des Versuchsträgers entlang der Strecken des Testfeldes in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung auf Kartengrundlage boy | Strategie und Kommunikation GmbH)

Es zeigt sich, dass je höher die Richtlinienkonformität und Standardisierung der Verkehrsräume gegeben ist, desto einfacher lässt sich die zügige Befahrbarkeit mit automatisierten Fahrzeugen realisieren (vgl. Grote, 2021). Kompensieren lassen sich Defizite und daraus resultierende Risiken über eine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit.

Unter den aufgezeigten infrastrukturellen Voraussetzungen ist eine Automatisierung der Fahrzeuge möglich. Die Erkenntnisse werden in nachfolgende Kapitel zur Einführung der Technik überführt.

6.3.3 Schritt 3.3: Einsatz der neuen Technik

Während die rechtlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen gewährleistet werden können, erfüllt kein Fahrzeug die ermittelten Anforderungen für einen automatisierten Betrieb eines Minibusses im ÖPNV. Dennoch wird ein Fahrzeug unter den gegebenen Einschränkungen als Versuchsträger ins Testfeld eingeführt. Das Verfahren wird mit einem Fahrzeug (siehe Abbildung 6-8) fortgesetzt, das der weiteren Bewertung unterzogen wird und im Zuge des Einsatzes hinsichtlich der Beseitigung der bestehenden Defizite weiter entwickelt wird. Durchgeführte nachträgliche Erweiterungen des Versuchsträgers in seinem Testfeld gegenüber dem in Kapitel 6.3.2 dargestellten Stand werden in Anlage 10.3.3 aufgelistet.



Abbildung 6-8: Eingesetzter Versuchsträger (Aufnahme: Dominik Pietzko)

6.4 Phase 4: Synthese

In der vierten Phase der Synthese werden Systemzustände für die anstehende Analyse und Bewertung gebildet. In diesem Falle werden (zur Begrenzung des Untersuchungsaufwandes) drei Systemzustände ausgewählt.

6.4.1 Analyse-Fall A (Bestand ohne Technik)

Der Analyse-Fall bildet den Systemzustand mit dem bestehenden allgemeinen Verkehr inkl. des vorhandenen ÖPNV in den Jahren 2017 bis 2020 ab (je nach verfügbarem Datensatz). Fahrerlose Fahrzeuge sind in diesem Systemzustand nicht vorhanden. Fahrzeuge mit automatisierten Assistenzfunktionen für SAE-Level 1 und 2 werden bereits vereinzelt genutzt – diese Funktionen nehmen aber keinen relevanten Einfluss auf die Gestalt der Fahrzeuge inkl. Innenraumgestaltung sowie auf das Verkehrsgeschehen und den ÖPNV.

6.4.2 Analyse-Fall B (Bestand mit der Technik des Versuchsträgers)

Aufbauend auf der im Kapitel 6.3 gewonnenen Technik wird diese Situation im Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg „TaBuLa“ abgebildet. Aufgrund der technischen Einschränkungen (vgl. Kapitel 6.3) ist kein fahrerloser Fahrgastbetrieb des Versuchsträgers ohne Fahrzeugbegleitung möglich. Durch den Aufbau des Versuchsträgers ohne üblichen Fahrersitz kann ein fahrerloser Betrieb im ÖPNV im Realbetrieb für die Fahrgäste teilweise veranschaulicht werden. Der Versuchsträger fährt dazu im öffentlichen Linienbetrieb in der Stadt Lauenburg/Elbe als Ergänzung zu bestehenden Buslinien.

6.4.3 Zukunftsszenario Z

Mit dem Zukunftsszenario wird eine Zielbildungsfunktion verfolgt. Es konkretisiert eine (von unzähligen möglichen) Zielvorstellungen, um ein normatives Bild der Zukunft darzustellen. Dieses Szenario zeigt einen erdenklichen Planfall auf, der aufbauend auf der eingesetzten Technik und den angestrebten Zielen erstrebenswert erscheint.

Das Zukunftsszenario wird als Anwendungsfall wie folgt definiert (siehe Abbildung 6-9): Es besteht die Möglichkeit, dass sich die im Kapitel 6.3.3 vorgestellten Minibusse fahrerlos fortbewegen können, d. h. der reguläre Fahrzeugsteuernde und die Fahrzeugbegleitung – wie im Szenario Analyse-Fall B noch notwendig – entfallen. Der fahrerlos fahrende Minibus ist dabei als geteiltes Fahrzeug und für Alle nutzbar im ÖPNV in einem ländlichen Raum im Flächenbetrieb eingesetzt und ist in der Lage auf allen relevanten Straßen zu fahren. Der Einsatz erfolgt zusätzlich zu den im Bestandsszenario existierenden stark frequentierten Bus- und Bahnlinien. Auf den genutzten Straßen können sich weiterhin nicht automatisierte motorisierte und nicht motorisierte Verkehrsteilnehmende individuell bewegen. Das vorhandene Straßennetz besteht weiterhin fort. Es gibt keine Restriktionen für andere Verkehrsteilnehmende.



Abbildung 6-9: Betrachtetes Zukunftsszenario Z mit fahrerlos fahrenden Minibussen im ÖPNV ländlicher Räume als Ergänzung im Verkehrssystem, rot gestrichelt sind die optionalen Routen und Haltestellen fahrerloser Minibusse gekennzeichnet (eigene Darstellung mit Thelosen, 2025)

6.4.4 Überblick über die zu bewertenden Systemzustände

Die Tabelle 6-1 stellt die Systemzustände im Überblick mit einzelnen Parametern dar. Der wesentliche Unterschied liegt in dem Entwicklungsgrad und Einsatz der Automatisierung der Fahrzeuge im ÖPNV. An den weiteren Umgebungsbedingungen werden keine Veränderungen vorgenommen.

Tabelle 6-1: Betrachtete Systemzustände (eigene Darstellung)

	Bestand ohne Versuchs- träger	Bestand mit Versuchsträger	Weitere Szenarien	Zukunftsszenario
Kurz- bezeichnung	A	B		Z
Status des fahrerlosen Fahrens	fahrerloses Fahren ist nicht möglich			Markt- und Serienreife des fahrerlosen Fahrens ist für Minibusse gegeben ¹⁹
Durchdrin- gung fahrerloser Fahrzeuge im Verkehr	keine fahrerlosen Fahrzeuge			Regeleinsatz fahrerloser Fahrzeuge im ÖPNV
ÖPNV- Fahrzeuge	wie im Bestand	wie im Bestand zzgl. des automatisierten Versuchsträger im ÖPNV („TaBuLa“)		auf Hauptlinien fahren klassische Busse mit Fahrendem zzgl. fahrerloser Minibusse
ÖPNV-Netz	wie im Bestand	wie im Bestand zzgl. Buslinie für automa- tisierten Versuchsträ- ger mit Begleit- personal		nachfragestarke Hauptlinien werden mit klassischen Bussen und Bahnen mit Fahrendem bedient, fahrer- lose Minibusse ergänzen die ÖPNV-Hauptlinien im Flächenbetrieb
ÖPNV- Verfügbarkeit in der Fläche	wie im Bestand	mittels Versuchs- träger wird das ÖPNV-Netz und die -Verfügbarkeit punktuell verdichtet		mittels fahrerloser Minibusse wird das ÖPNV-Netz und die Verfügbarkeit in einem länd- lichen Raum flächenhaft verdichtet
MIV-Fahr- zeuge (nicht fahrerlos) im Verkehr	vorhanden			vorhanden
Straßennetz	wie im Bestand		wie im Bestand ergänzt um zusätzliche Haltestellen	

¹⁹ im öffentlichen Mischverkehr bis zu den üblichen maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

Die Abbildung 6-10 visualisiert die Systemzustände A, B und Z aus der Tabelle 6-1 anhand des Fortschritts von Zeit (x-Achse) und Automatisierung (y-Achse).

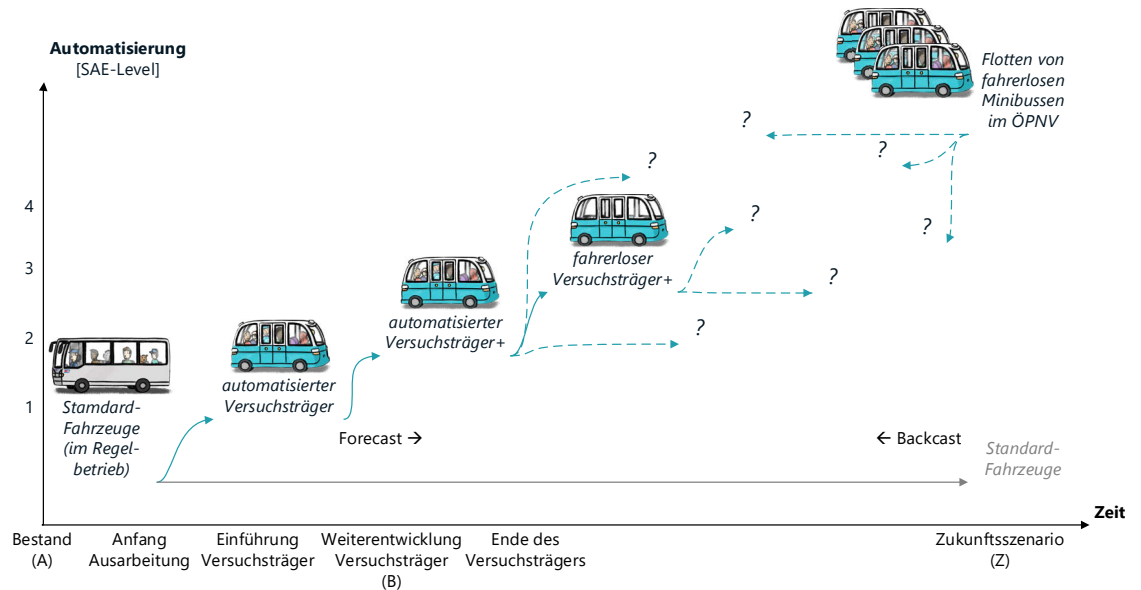


Abbildung 6-10: Systemzustände (eigene Darstellung mit Grafikelementen von Thelosen (2025))

Für jeden der dargestellten Systemzustände A, B und Z wird in der anschließenden Analyse jeweils möglichst viel Wissen generiert, um es abschließend zur Bewertung der Technik verwenden zu können.

6.5 Phase 5: Analyse

In der fünften Phase des Verfahrens werden die für die verschiedenen Systemzustände erhobenen und verfügbaren Daten analysiert. Für die Generierung dieser Analysedaten standen über das vom BMDV geförderte Testfeld zwei automatisierte Versuchsträger in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe zur Verfügung. Zudem konnte auf Daten aus dem Kreis Herzogtum Lauenburg zurückgegriffen werden, die teils um zusätzliche Auswertungen von Unfalldaten aus weiteren Stadtumland-Regionen erweitert wurden. Unter Beteiligung von ExpertInnen wurde die Delphi-Methodik angewendet, um konkrete Aussagen zu heutigen und künftigen Kosten des autonomen Fahrens zu ermitteln. Über die Methoden zur Beteiligung konnten Nutzende und Nichtnutzende befragt und für diese Ausarbeitung Fokusgruppenworkshops mit verschiedenen Personengruppen durchgeführt werden, aus denen sich u. a. die Analysedaten für Beförderungsstandard und Handhabbarkeit des betrachteten Systems ergeben. Über alle eigens erhobenen Daten und deren methodische Auswertung gibt die Tabelle 6-2 mit Verweis auf die jeweiligen Anlagen Aufschluss. Für in Tabelle 6-2 nicht aufgeführte Zielvariablen konnten keine eigenen Daten erhoben werden.

Tabelle 6-2: Vorliegende eigene Analysedaten (eigene Darstellung)

Zielkategorie	Zielvariable	Anlage-Nr. mit eigenen Daten inkl. Analyse		
		Bestand		Zukunfts-szenario Z
		ohne Versuchsträger A	mit Versuchsträger B	
Erschließungsqualität	zeitliche Verfügbarkeit	10.5.1	-	-
	räumliche Verfügbarkeit	10.5.1	-	-
	kurze Zugangswege	10.5.1	10.5.1	10.5.1
Beförderungstandard	barrierefreie Erschließung für Alle	10.5.2	10.5.2	10.5.2
	Komfort	-	10.5.2	-
Handhabbarkeit	Handhabbarkeit	-	10.5.3	10.5.3
	einfache Verständlichkeit	-	10.5.3	10.5.3
	Attraktivität / Kundenfreundlichkeit	10.5.3	10.5.3	10.5.3
Sicherheit	Verkehrs- / Betriebssicherheit	10.5.4	10.5.4	-
	Kriminalprävention	-	10.5.4	10.5.4
Arbeitsbedingungen	Arbeitsbedingungen	-	10.5.5	10.5.5
Umwelt und Ressourcen	Schonung Umwelt und Ressourcen	-	10.5.6	-
	Nachfragesteigerung ÖPNV	-	-	10.5.6
Effizienz	Wirtschaftlichkeit	10.5.7	10.5.7	10.5.7
Zeitaufwand	Schnelligkeit	10.5.8	10.5.8	10.5.8
	Verlässlichkeit	-	10.5.8	-

Die Ergebnisse aus der Analyse werden zur Bewertung und weiteren Einordnung in die nächste Phase 6 im Kapitel 6.6 überführt.

6.6 Hauptphase 6: Bewertung

In der Phase 6 erfolgt die Bewertung nach Zielfeldern, Zusammenhängen, Risiken und Nebenwirkungen sowie mittels Analogiebildung. Abschließend erfolgt eine Zusammenführung der gewonnenen Erkenntnisse. Der Fokus liegt dabei gemäß Kapitel 1.4 weiterhin auf dem konkreten Untersuchungsgebiet im Kreis Herzogtum Lauenburg für die in der Phase 4 im Kapitel 6.4.4 beschriebenen Systemzustände.

6.6.1 Schritt 6.1: Bewertung der Zielerreichung

Nach der Analyse der in Verbindung mit dem Versuchsträger gewonnenen Daten in Kapitel 6.5 werden in diesem Abschnitt die gewonnenen Ergebnisse bewertet und anhand weiterer Literaturquellen eingeordnet. Es geht dabei um entscheidungserhebliche Unterschiede in den Systemzuständen. Die Strukturierung erfolgt analog der Zielfelder und wird jeweils in der Bewertung unterteilt in die Systemzustände (gemäß Vorgabe aus Kapitel 6.4) Bestand (A), Bestand mit Versuchsträger (B) und Zukunftsszenario (Z), die jeweils mit dem Grad ihrer Zielerreichung bewertet werden. Abschließend wird in Kapitel 6.6.1.2 auf Grundlage der Einzelbewertungen ein Resümee zum Versuchsträger (B) und abschließend in Kapitel 6.6.1.3 ein übergreifendes Fazit zur Zielerreichung der Systemzustände gegeben.

6.6.1.1 Bewertung der einzelnen Zielfelder

Gliederung

Die weitere Gliederung der Bewertungsergebnisse erfolgt nach den Zielfeldern:

- Erschließungsqualität (S. 124)
- Beförderungsstandard (S. 128)
- Handhabbarkeit (S. 131)
- Sicherheit (S. 132)
- Arbeitsbedingungen (S. 136)
- Umwelt und Ressourcen (S. 138)
- Effizienz (S. 141)
- Zeitaufwand (S. 144)
- Wohlstand (S. 145)
- Funktionsfähigkeit (S. 145)
- Weitere Fähigkeiten (S. 147)

Die Verwendung eines Ratings in Form einer dreistufigen Ordinalskala in schwacher Ordnung soll die qualitativ beschriebenen Erkenntnisse – wie in der Tabelle 6-3 aufgeschlüsselt – vereinfacht und anschaulich darstellen.

**Ordinal-
skalen**

Tabelle 6-3: Legende für die Bewertung der Zielfelder (eigene Darstellung)

Bedeutung	
	= Ziel wird vollständig erreicht oder eher erreicht.
	= Ziel wird teilweise erreicht.
	= Ziel wird eher nicht oder nicht erreicht.
	= Zu der Zielerreichung ist anhand verfügbarer Daten keine Aussage möglich.
	= Es sind nennenswerte Besonderheiten oder Nebenwirkungen identifizierbar.

Erschließungsqualität

Bestand (A)

Die Erschließungsqualität im ÖPNV wird über die Zu- und Abgangspunkte gewährleistet, deren Analyse des Bestandes zeigt, dass im bestehenden ländlichen ÖPNV-System extreme Anstrengungen notwendig wären, um eine hohe zeitliche Verfügbarkeit herzustellen. Die Taktfrequenz ist abseits der Stadtverkehre niedrig und im Kreis Herzogtum werden 22,7 % der Haltepunkte nur von Schulbuslinien bedient. 52,7 % der Haltepunkte haben an Sonn- und Feiertagen keine Abfahrten. Große Flächen des Kreisgebietes sind nur an eine werktägliche Schulbeförderung angeschlossen und bieten keinen zeitlich verfügbaren Linienbusverkehr. (Anlage 10.5.1.1)

Die räumliche Verfügbarkeit von Haltepunkten des ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg ist unter Betrachtung üblicher Standards bezogen auf die bestehenden Gebäude mit 88,8 % in der Fläche gut. Nicht betrachtet sind dabei die Ziele in der Fläche, die unabhängig von Gebäuden sind, wobei Ziele in der Fläche (ohne Gebäude) vermutlich selten Start oder Ziel einer Wegekette sind. Die Verteilung der bestehenden Haltestellen ist nach den Vorgaben für die Haltestellenradien im Kreis Herzogtum Lauenburg gelungen. (Anlage 10.5.1.2)

Dadurch, dass fast alle Gebäude im Radius von weniger als 600 m Luftlinie zu einer Haltestelle liegen (entspricht etwa 10 Minuten Fußweg), ist gemäß Regelwerken ein hinreichendes Kriterium für kurze Zugangswege erfüllt. Allerdings zeigen die eigens durchgeführten Umfragen (Anlage 10.4.1.1), dass nur 30 % der Befragten eine Entfernung von zehn Minuten annehmen möchten und sich 65 % der Befragten kürze Entfernungen wünschen (Anlage 10.5.1.3). Die gemäß Regelwerken unterschiedliche Festlegung der Einzugsradien für Stadt und Land erscheint im bestehenden ländlichen Straßennetz in Verbindung mit Schülerverkehren praktikabel, ist aber hinsichtlich einer hohen Attraktivität des ÖPNVs für Alle nicht erstrebenswert. Um aus Fahrgastsicht *kurze* Zugangswege zu schaffen, müssten die Wege zwischen Start- bzw. Zielort und dem Zu- bzw. Abgangspunkt des ÖPNV maximal zwei bis fünf Minuten betragen (Anlage 10.5.1.3). Fischer (2020, S. 72) stellt für einen Einzugsradius von 200 m fest, dass damit 51,3 % der Gebäude im Kreis Herzogtum Lauenburg als nicht mehr erschlossen gelten und 2,6-mal mehr Haltestellen (nicht Haltepunkte) als bisher für eine Erschließung notwendig werden würden.

Hinsichtlich der Erschließungsqualität ist demnach insgesamt festzustellen, dass diese im Bestand bei weitem nicht ausreichend ist, um flexibel Ziele zu erreichen. Mit dem bestehenden ÖPNV-Angebot bleiben andere Verkehrsmittel wie das Kfz in der Fläche unverzichtbar. Gemäß Nobis et al. (2019) haben nur 13 % der befragten Haushalte im Kreis Herzogtum Lauenburg kein Kfz. Insgesamt sind die Menschen auf dem Land durchschnittlich zufriedener mit ihrer Mobilität als im Bundesdurchschnitt (vgl. ADAC, 2018), „denn Fahrzeiten lassen sich zuverlässig berechnen, Staus sind eher unbekannt und Parkplätze im Gegensatz zur Großstadt keine Mangelware“ (ADAC, 2018) – allerdings vernachlässigt dies relevante Gruppen der Gesellschaft, die aufgrund ihres Alters oder finanzieller und gesundheitlicher Einschränkungen keinen Pkw selbstständig nutzen können. Schramek et al. (2017, S. 2) beschreiben, dass die heutigen „liniengebundene[n] Angebote, insbesondere im heutigen Regionalbusverkehr, aus Nutzersicht

langfristig weniger attraktiv im Vergleich zu neuen autonomen Angeboten [erscheinen].“

Aufgrund der erheblichen Einschränkungen der Erschließungsqualität des ÖPNV außerhalb des Schülerverkehrs wird die Zielerreichung im Bestand als nicht hinreichend bewertet.

In Lauenburg/Elbe gelingt mit dem kompakten Versuchsträger eine bessere räumliche Feinerschließung von zwei Straßen und einigen neuen Haltepunkten mit kurzen Zugangswegen bei geringer Zugangszeit (Gertz et al., 2021). Die zeitliche Verfügbarkeit ist allerdings aufgrund der Personal- und Linienwegabhängigkeit eingeschränkt (Anlage 10.5.8.3), sodass der Betrieb des Versuchsträgers insgesamt zu sehr geringer Verbesserung gegenüber dem Bestand führt, solange dieser wie der reguläre Linienbusverkehr an fahrzeugbegleitendes Personal gekoppelt ist und kein fahrerloser Betrieb mit größerer Flexibilität in der Fläche möglich ist.

Sobald der Betrieb losgelöst von einer fahrzeugbegleitenden Person funktioniert, wäre eine größere zeitliche und räumliche Flexibilität – u. a. durch Reduzierung der Abhängigkeiten zu Dienstplänen von fahrzeugbegleitendem Personal – vorstellbar. Insbesondere wenn dies im Zukunftsszenario in Verbindung mit Sammelverkehren in der Fläche zu jeder Tageszeit und netzweit erfolgen kann, beginnt das Angebot hinsichtlich der Erschließungsqualität für die Nutzenden attraktiv zu werden und das Ziel einer weitreichenden Erschließung kann erheblich verbessert werden. Das entsprechende Potenzial verbesserter zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeiten bei kürzeren Zugangswegen im Zukunftsszenario zeigen Lamberg (2022a); Mörner (2018) und Meyer et al. (2017) auf.

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-4 dargestellten Zwischenfazit für die Erschließungsqualität.

Versuchs-
träger (B)

Zukunfts-
szenario (Z)

Zwischen-
fazit

Tabelle 6-4: Bewertung des Zielfeldes Erschließungsqualität, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
zeitliche Verfügbarkeit	Betriebszeit	↘	→	↗
	Fahrtenfolgezeit	↘	↘	→
räumliche Verfügbarkeit	erschlossene Gebäude im Einzugsradius	↗	↗	↗
kurze Zugangswege	Nähe zum Ein- und Ausstiegspunkt	→	↗	↗

Beförderungsstandards

Bestand (A)

Die grundsätzlichen Anforderungen an einen für Alle optimal nutzbaren ÖPNV sind als Standards durch verschiedene Regelwerke und Normen veröffentlicht²⁰. Die Berücksichtigung jeglicher menschlichen Einschränkungen ist nicht möglich, z. B. wenn sich die Bedürfnisse aufgrund äußerst spezieller oder gegenteiliger Fähigkeiten verschiedener Gruppen nicht berücksichtigen lassen – entsprechende Beispiele und Hinweise auf Ausnahmen listet der VDV (2015, S. 31–34) auf. Dazu besteht bei Hilfsbedürftigkeit eine Rückfallebene durch Fahrzeugsteuernde oder Fahrgäste als menschliche Unterstützung. Während in den (manuell gesteuerten) Fahrzeugen neueren Baujahrs die Hinweise der Menschen mit Behinderung weitgehend umgesetzt werden und alle Busse im Kreis Herzogtum gemäß Kriterien der SVG Südwestholstein (2022, S. 52–53) als barrierefrei gelten, ergeben sich bei Betrachtung der Wegekette beim Zusammenspiel der Fahrzeuge mit der Infrastruktur erhebliche Einschränkungen: Die wenigen vollständig barrierefrei umgebauten Haltestellen im Bestand schränken das verfügbare ÖPNV-Netz für Menschen mit Seh- oder Gehbehinderung erheblich ein: 24,1 % aller Haltepunkte im Kreis Herzogtum Lauenburg haben gemäß dem Haltestellenkataster aus 2017 keine befestigte Fläche und/oder keinen Bordstein als Abgrenzung zur Fahrbahn (Anlage 10.5.2.1.1) und erscheinen damit vollständig ungeeignet für Menschen mit Seh- und Gehbehinderung. Damit liegt keine vollständige Barrierefreiheit vor. Der Grad der Zielerreichung liegt in ländlichen Räumen deutlich hinter den gesetzten Beförderungsstandards des ÖPNV.

Hinsichtlich des Fahrkomforts spielt für Mitfahrende das Fahrverhalten eine wichtige Rolle. Ein damit verbundenes Problem offenbart sich in der Bewegungskrankheit (Kinetose): So zeigt Heiß (Dezember 2021, S. 45) auf, dass 21 % der von ihr Befragten das Unwohlsein im (Reise-)Bus als häufiges Erlebnis und 27 % als seltenes Erlebnis angeben. Nur 47 % der 500 Befragten geben an, dass bei ihnen bisher niemals Übelkeit aufgetreten ist. Beim Zufahren haben dagegen über 80 % der Menschen nie Probleme mit Kinetose, solange sie in Fahrtrichtung sitzen (Heiß, Dezember 2021, S. 65). Es ergibt sich für viele ein Problem bei der Mitfahrt im bestehenden Linienbusverkehr, der (tendenziell noch mehr als ein Reisebus) einer (durch häufige Beschleunigungswechsel in allen Richtungen) ungleichmäßigen Fahrweise unterliegt, weshalb die Zielerreichung des Komforts im Bestand als eingeschränkt bewertet wird.

Versuchsträger (B)

Mit dem eingesetzten Versuchsträger gelingt es trotz der Erkenntnisse der Analyse mit vorgenommenen umfangreichen Optimierungen am Fahrzeug und den Haltestellen (Anlagen 10.4.3.3 und 10.4.3.4) nicht, einen barrierefreien Status zu erreichen, der das selbstständige Reisen ohne fahrzeugbegleitende Person ermöglichen würde (Anlage

²⁰ vgl. u. a. UNECE (23. Februar 2018); VDV (2015); Deutsches Institut für Normung e. V. (2022); Deutsches Institut für Normung e. V. (2010); Deutsches Institut für Normung e. V. (2009); FGSV (2011); FGSV (2010a); Forschungsinstitut Technologie und Behinderung (2016); Kohaupt und Kohaupt (2015); BKB (o. D.).

10.5.2.1.3). Zusammenfassend formuliert es eine im weiterentwickelten „Versuchsträger+“ (siehe Anlage 10.3.3) mitfahrende Person mit Sehbehinderung und Blindenhund am 09.10.2020: „Dieser Shuttlebus ist für Menschen mit Behinderung nur in menschlicher Begleitung nutzbar.“ Schmidt et al. (2022, S. 277) bestätigen dies, da „vieles noch auf den Betrieb mit Operatoren ausgelegt ist“. Da das begleitende Personal die großen Defizite des Versuchsträgers ausgleicht und auf die Bedürfnisse der Fahrgäste direkt eingeht, erfolgt die Bewertung der Zielerreichung identisch zum Bestand mit teils/teils erreicht.

Hinsichtlich des Wohlfühlfaktors wird der Versuchsträger von den Teilnehmenden der Fahrgastbefragung äußerst positiv bewertet, sofern kein besonderes Vorkommnis wie z. B. eine Zwangsbremmung erfolgt ist (Anlage 10.5.2.2). Auf die Problematik der Kinetose (vgl. oben) weist insgesamt nur ein entgegen der Fahrtrichtung fahrender Rollstuhlfahrender im Versuchsträger hin (Anlage 10.5.2.1.3). Andere Mitfahrende benennen dieses Thema nicht, bei allerdings meist kurzer Dauer der Mitfahrt im Versuchsträger (Anlage 10.4.1.1). Es ist aber auch festzustellen, dass der Versuchsträger (abseits der Zwangsbremmungen) im automatisierten Modus ein sehr langsam ausgelegtes Beschleunigungsprofil entlang einer äußerst gerade ausgebildeten virtuellen Achse ohne ruckartige Lenkbewegungen aufweist (vgl. Rettig et al., 2021), das gegenüber einem regulären Linienbus ausgeglichener ist (vgl. Rettig et al., o. D.) und damit auf das Wohlbefinden während der Fahrt positiv wirken sollte. Durch die verbleibenden unkomfortablen Zwangsbremmungen erfolgt die Einstufung in teils/teils.

Nach dem Forschungsinstitut Technologie und Behinderung (2016) in Bezug auf das PBefG gilt: „vollständige Barrierefreiheit gemäß PBefG ist erreicht, wenn die Auffindbarkeit, Zugänglichkeit und Nutzbarkeit für alle in ihrer Mobilität oder sensorisch eingeschränkten Menschen (das heißt auch für alle Behinderungsarten) in allen städtischen und ländlichen Regionen, für jede Haltestelle (...) gegeben ist.“ Dieses Ziel ist mit bisherigen Anstrengungen in Verbindung mit ausschließlich fahrerlosen Fahrzeugen nicht erreichbar (vgl. Hensiek, 2022, S. 393; Böckler und Musialik, 2022). Allein der bestehende Ausbau von Haltepunkten würde mit bisherigen Fortschritten noch bis in das Jahr 2053 andauern²¹, wobei in diesen Anstrengungen noch nicht die Zuwegungen zu den Haltepunkten und die anzunehmende Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren²² je Haltestelle angesetzt sind, die absehbar zu erhöhtem Unterhaltungsaufwand des neu realisierten Bestandes führt. Der weitere barrierefreie Ausbau und eine mögliche Verdichtung von Haltestellen im Zuge von Sammelverkehren steht in erheblichem Zielkonflikt mit Wirtschaftlichkeit und Umwelt (Versiegelung, Klimabilanz, Flächenverbrauch) und stellt die Verantwortlichen vor erhebliche Herausforderungen. Darüber hinaus stellen elektrisch ausfahrbare Rampen nach aktuell verfügbarem Stand der Technik keine hinreichende

Zukunfts-
szenario (Z)

²¹ Hochrechnung aus durchschnittlich 20,3 ausgebauten Haltestellen pro Jahr zwischen 2017 und 2020 im Kreis Herzogtum Lauenburg.

²² Abgeleitet aus Urteilen zur Lebensdauer von Pflasterflächen gemäß Oberverwaltungsgericht Rheinland-Pfalz (21. August 2007).

Verlässlichkeit (vgl. Lutin, 2018, S. 99) und universelle Einsetzbarkeit sicher. Zudem „verlängert [dies] den Aufenthalt in einer Haltestelle erheblich und erschwert das Einhalten des Fahrplans“ gemäß Böhringer (2020, S. 387). Nicht mehr als ein Viertel der Haltepunkte im Kreis Herzogtum kann (Stand 2020) mit einer für den fahrerlosen Betrieb notwendigen maximalen Neigung von 6 %²³ mittels Rampe oder bei Einhaltung eines geringen Spaltmaßes angefahren werden (Anlage 10.5.2.1.1).²⁴ Hinsichtlich der Wege zum und vom Bus und der barrierefreien Eigenschaften sind noch keine Lösungen für den fahrerlosen Betrieb ersichtlich. Aufgrund der Vielzahl an erkennbaren Einschränkungen der Nutzbarkeit ohne technische Lösungsoptionen (Anlage 10.5.2.1.3) ist das fahrerlose Zukunftsszenario hinsichtlich der Barrierefreiheit kritisch zu bewerten.

Hinsichtlich der Programmierung der Fahreigenschaften und der Innenraumgestaltung bestehen viele Möglichkeiten einer Optimierung und Verbesserung, sodass der Komfort im Zukunftsszenario grundsätzlich nicht als Hindernis betrachtet wird, wenn auf die Bedürfnisse der Nutzenden differenziert eingegangen wird. Durch ein uneingeschränktes Sichtfeld nach vorne und die Perfektionierung der Beschleunigungs- und Verzögerungsparameter ließe sich zudem flottenweit das Wohlfühlgefühl optimieren und wäre losgelöst von den sonst individuellen Fahreigenschaften des Fahrzeugführenden, die beim Mitfahren nicht selten zu Kinetose führt (vgl. Kantusch, 2023; Zou, Logan und Vu, 2022). Insgesamt haben fahrerlose Fahrzeuge im Vergleich zu heutigen Kfz das Potenzial Verbesserungen anhand der zu programmierenden Fahreigenschaften zu erzielen. Ein hoher Komfort während der Fahrt ist grundsätzlich erzielbar.

²³ Maximal 6 % Neigung sind ohne fremde Hilfe zu bewältigen – gemäß FGSV (2011, S. 47) und Forschungsinstitut Technologie und Behinderung (2016).

²⁴ „Sofern ein Überstreichen [des Busses] nicht sicher ausgeschlossen werden kann, beträgt die maximale Bordhöhe 18 cm. Diese Bordhöhe entspricht den derzeit allgemein anerkannten Regeln der Technik für den barrierefreien Ausbau. Nur mit Bordhöhen von über 21 cm kann die Reststufe (...) so geringgehalten werden, dass Rollstuhlfahrer vollkommen selbstständig ein- und aussteigen können. Bordhöhen von 21 cm und mehr eignen sich vor allem bei aufkommensstarken Haltestellen oder an Haltestellen, die regelmäßig von Rollstuhlfahrern benutzt werden.“ Zweckverband Verkehrsverbund Rhein-Neckar (August 2016, S. 16 f.).

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-5 dargestellten Zwischenfazit für den Beförderungsstandard.

**Zwischen-
fazit**

**Tabelle 6-5: Bewertung des Zielfeldes Beförderungsstandard,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Barrierefreie Erschließung für Alle	Ausstattung und Barrierefreiheit der Haltestelle	↘	↘	!
	Ausstattung und Barrierefreiheit der Fahrzeuge	↗	→	!
Komfort	Wohlfühlgefühl der Mitfahrenden	→	→	↗

Handhabbarkeit

Hinsichtlich der Attraktivität und Kundenfreundlichkeit zeigt sich die Hälfte zufrieden mit dem bestehenden ÖPNV in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe. Ein Drittel ist unzufrieden. Grundsätzlich haben viele Nichtnutzende des ÖPNV an der Befragung teilgenommen. Insgesamt ergibt sich eine Situation zwischen enttäuscht bis größtenteils zufrieden, aber nicht weitreichend überzeugt. (Anlage 10.5.3.2) Die Zielerreichung wird insgesamt mit teils/teils bewertet. Es bleibt unklar, ob der Nahverkehr grundsätzlich für alle Mobilitätsanliegen alltagstauglich ist (vgl. Zachow (2018)).

Bestand (A)

Durch Unterstützung eines Fahrzeugführenden werden für die Fahrgäste Defizite in der Handhabbarkeit im bestehenden Busangebot im Kreis Herzogtum Lauenburg beseitigt. Hinsichtlich des Versuchsträgers lassen sich laut Canzler und Knie (2023a, S. 195) die Menschen „nur von einem intermodalen Angebot überzeugen, wenn sie sich in diesen Systemen zurechtfinden und Vertrauen aufbauen.“ Die größte Verunsicherung besteht bei den Nutzenden des Versuchsträgers laut Fahrzeugbegleitenden in erheblichen Maße durch Notbremsungen, was durch die Fahrgastbefragung bestätigt wird (Anlage 10.5.3.1). Hierbei geht es nicht nur um den Komfort, sondern um grundsätzliche Nutzbarkeit. Hier muss eine erhebliche Optimierung der Beschleunigungskurve erfolgen, die neben den Sicherheitsinteressen des Umfeldes auf die Sicherheit und das Wohlbefinden der Insassen eingeht. Ohne die Anweisungen des Fahrzeugbegleitenden zum freiwilligen Anschnallen (in Fahrtrichtung) ist eine solche Situation nicht handhabbar. Ein Großteil der Fahrzeugbegleitenden weist in den Interviews darauf hin, dass Einfachheit der Bedienelemente und der Anschnallgurte des Versuchsträgers verbessert werden muss (Anlage 10.5.3.1). Die befragten Fahrgäste (Anlage 10.5.3.1) bewerten zu 94 % die Bedienung des Shuttles als einfach. 96 % geben allerdings zu, dass sie beim Einstieg in einer Kommunikation mit dem Fahrzeugbegleitenden standen. Dieser ist für zwei Drittel (egal welcher Altersgruppe) in Zukunft weiterhin wichtig, was sich in Umfrageergebnissen in Gertz et al. (2022, S. 94 f.) erneut wiederfindet und auf weiterhin bestehende Sorgen zum fahrerlosen Fahren hindeutet. Eine Einschränkung der Handhabbarkeit geben maßgeblich Menschen mit Behinderung an und können diese konkretisieren (siehe Anlage 10.5.2.1.3). Hier wird unterstellt, dass diese Menschen ein gutes reflektierendes

**Versuchs-
träger (B)**

Gespür für die Schwierigkeiten der Nutzung der Technik haben und wertvolle Hinweise liefern, die allen Nutzenden im fahrerlosen Zustand ohne Fahrzeugbegleitung helfen sollten. Als sehr wichtig wird von Allen die Informationslage bewertet, an Haltestellen (37 % der Befragten) und online abrufbar (80 % der Befragten), um die Handhabbarkeit zu gewährleisten (Anlage 10.5.3.1). In Verbindung mit einer Fahrzeugbegleitung ist die Zielerreichung in der Handhabbarkeit hoch, weil diese die Defizite der Technik auszugleichen versucht – die tatsächliche Zielerreichung hin zum fahrerlosen Fahren wird dadurch allerdings nur bedingt erreicht.

Zukunfts- szenario (Z)

Es ist durch viele offene Punkte (vgl. Absätze zuvor) weitgehend unklar, wie die weitere Entwicklung fahrerloser Fahrzeuge die hohen Erwartungen erfüllen kann. Für weitere Zukunftsszenarien ist keine abschließende Bewertung der Zielerreichung hinsichtlich der Handhabbarkeit und Attraktivität möglich.

Zwischen- fazit

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-6 dargestellten Zwischenfazit für die Handhabbarkeit.

**Tabelle 6-6: Bewertung des Zielfeldes Handhabbarkeit,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Handhabbarkeit	(geringes) Bedürfnis der Mitfahrenden nach Unterstützung	→	→	?
Einfache Verständlichkeit	Einfachheit (Bewertung durch Mitfahrende)	→	→	?
Attraktivität / Kundenfreundlichkeit	Zufriedenheit (Bewertung durch Mitfahrende)	→	→	?
	Erfülltheit von Wünschen (der Mitfahrenden)	→	→	?

Sicherheit

Bestand (A)

In der Auswertung der Verkehrsunfalldaten im Kreis Herzogtum Lauenburg und dem Umland von Hannover und Dresden (Anlage 10.5.4.1.1) wird deutlich, dass im Verhältnis zu allen Unfällen sehr wenige Unfälle mit Personenschäden unter Beteiligung von Bussen erfolgen und wenige Fahrgäste verletzt werden. Gemäß Follmer et al. (2019, S. 36) werden in der Metropolregion Hamburg 21,1 % der *Personenkilometer* mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt. Auch wenn im Kreis Herzogtum Lauenburg ein eher geringer Anteil der *Wege* im ÖPNV zurückgelegt wird (7,0 – 8,5 % gemäß SVG Südwestholstein (2022, S. 117) und Follmer et al. (2019, S. 35)), ist ein Anteil von 1,43 bis 3,26 % Verletzte bei Busunfällen – gemessen an allen Verletzten im Verkehr des Kreis Herzogtum Lauenburg (Anlage 10.5.4.1.1) – signifikant gering. Von diesen Verletzten befanden sich 46 % als Fahrgast im Bus (Anlage 10.5.4.1.1). Laut Vorndran (2011, S. 1087) ist das Fahren im Kraftomnibus bezogen auf die Personenkilometer hinsichtlich

des Risikos verletzt zu werden 3,7-mal geringer als das Fahren im Pkw.²⁵ Tödlich zu verunglücken ist nach Vorndran (2011, S. 1087 f.) im Bus 17,2-mal unwahrscheinlicher als im Pkw. VDV (2019) kommt für einen längeren Untersuchungszeitraum von 2009 bis 2018 zu ähnlichen Ergebnissen²⁶ (vgl. dazu auch Statistisches Bundesamt, 2022b, S. 6). Im eigens untersuchten Datensatz (Anlage 10.4.4.2), der in den drei untersuchten Regionen 431 Busunfälle mit Personenschäden umfasst, konnte kein einziger Vorgang mit der Hauptunfallursache Technischer Defekt und Mängeln am Fahrzeug gefunden werden (Anlage 10.5.4.1.1). Dabei liegt die Vermutung nahe, dass „Hauptgründe hierfür (...) die umfangreicheren Sicherheitsvorkehrungen in öffentlichen Verkehrsmitteln und ein größerer Ausschluss von menschlichem Versagen sein“ dürften. (Vorndran, 2011, S. 1088). Das Mitfahren in Bussen ist demnach überdurchschnittlich sicher.

Die üblichen Unfallstatistiken je Verkehrsmittel beinhalten nicht die Wege zum und vom Verkehrsmittel. Um die vollständige Wegeketten im ÖPNV gemäß Systemabgrenzung (Kapitel 6.1.2) zu betrachten, muss der Weg zur und von der Haltestelle weg betrachtet werden. Hierbei ergibt sich aus der vorgenommenen Auswertung des Umlandes von Hannover und Dresden (vgl. Anlage 10.5.4.1.1) ein zusätzlich relevantes Unfallgeschehen *an Bushaltestellen*, das in den Unfallstatistiken unter Busunfällen nicht gewertet wird (sofern der Bus nicht unmittelbar beteiligt ist). Es sind mit 75 % überdurchschnittlich viele der im Datensatz Verletzten im untersuchten Umland von Hannover und Dresden minderjährig. Dies ist eindeutig signifikant, da von einem deutlich niedrigeren Anteil Minderjähriger an den Fahrgästen ausgegangen werden kann.²⁷ Damit stellen diese an Bushaltestellen offensichtlich eine besondere Risikogruppe dar. Die absolute Anzahl der Verletzten unter Einfluss einer Bushaltestelle ist in der eigenen Auswertung pro Jahr ähnlich hoch wie die Anzahl der Verletzten durch Busunfälle (vgl. Anlage 10.5.4.1.1), was eine Erkenntniserweiterung gegenüber Tsakarestos (2014, S. 53 f.) darstellt, der bereits auf eine gleichmäßige Verteilung der Schulwegunfälle in und außerhalb von Bussen ausging – aber ggf. die Überschreiten-Unfälle an Bushaltestellen in ländlichen Räumen unterbewertet hat. Die vorliegenden Daten deuten für ländliche Räume auf erheblich mehr Schulwegunfälle außerhalb des Busses hin. Die Schwere der Verletzungen außerhalb des Busses (als Zufußgehende) ist zudem höher als die als Fahrgast im Bus. Die besondere Aufmerksamkeitspflicht der anderen Verkehrsteilnehmenden im Umfeld von Bushaltestellen (vgl. Rebler, 2019, S. 583) ist insgesamt nicht hinreichend. In den Daten (vgl. Anlage 10.5.4.1.1) fällt weiterhin auf, dass die Unfallschwere bei Unfallaufnahme durch die Polizei bei Kindern signifikant höher bewertet wird – nach Abschluss der Auswertungen der späteren Unfallberichte der behandelnden Ärzte ist allerdings keine signifikant höhere Verletzungsschwere (nach MAIS) bei Minderjährigen festzustellen als über die Gesamtheit aller verletzten Zufußgehenden in Überschreiten-Unfällen im Einflussbereich

²⁵ im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2009

²⁶ Nach VDV mit Verkehrsmittel Bus 2,8-mal weniger Verletzte bzw. 10,9-mal weniger Getötete je Personenkilometer als mit Pkw.

²⁷ Schüleranteil bei den HVV-Umlandbuslinien im Jahr 2019 bei 28 % nach HVV (15. Juli 2021).

einer Bushaltestelle. Maßgeblicher Unfalltyp an Haltestellen sind grundsätzlich Überschreiten-Unfälle mit Konflikt zwischen Fußverkehr und Pkw. Fast die Hälfte aller dieser Unfälle betrifft die Kollision mit einem der Fahrtrichtung der Bushaltestelle entgegengesetzt fahrenden Kfz. Die gesamte Konfliktlage an Haltestellen ländlicher Räume lässt sich insgesamt damit eingrenzen. Hauptunfallursache an Haltestellen sind das falsche Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn (18,8 % statt durchschnittlich 1,2 %) und das falsche Verhalten gegenüber dem Fußverkehr (15,9 % statt durchschnittlich 0,4 %). Fahrradfahrende haben keine Bedeutung in der Statistik an Bushaltestellen der untersuchten ländlichen Räume. Wird das Unfallgeschehen an Bushaltestellen zusammen mit dem Unfallgeschehen in Bussen addiert, reduziert sich der zuvor beschriebene Sicherheitsvorteil des Busfahrens, bleibt aber weiterhin deutlich unter den Unfallrisiken des Fahrens mit anderen Verkehrsmitteln. (eigene Auswertung der Daten von Medizinische Hochschule Hannover, 16. Juli 2021, vgl. Anlage 10.5.4.1.1)

Kriminelle Übergriffe o. ä. auf Fahrgäste in Fahrzeugen oder an Haltestellen sind kein relevantes Thema im Kreis Herzogtum Lauenburg, was durch die Anwesenheit eines Fahrzeugführenden und vermutlich in dem schwerpunktmäßigen Tagesbetrieb begründet liegen kann. Werden in Analogiebetrachtung Daten zu Übergriffen auf Taxifahrende hinzugezogen, lässt sich für diese ein gemeldeter Vorfall pro 20,25 Mio. Fahrkilometer annehmen.²⁸ Insgesamt wird die Zielerreichung im Feld Sicherheit des ÖPNV im Bestandsszenario als sehr hoch angesehen.

Versuchs- träger (B)

Mit dem automatisierten Versuchsträger ist ein sicherer Betrieb möglich, sobald alle Wege und Vorfahrtsituationen einwandfrei implementiert sind. Aufgrund fehlender Intelligenz des Fahrzeuges müssen z. B. Prioritätszonen für querenden Fußverkehr manuell und für jeden Ort programmiert werden. Sofern sich die programmierende Person nicht mit dem Umfeld auseinandersetzt und hier nicht entsprechend sorgfältig vorgeht, kann es zu Fehlern kommen. Es sind mangels virtueller Testumgebung des Testfeldes viele Fahrten notwendig, bis die Einstellungen optimal erscheinen. Die hohe Bremsverzögerung ist verantwortlich für Unfallrisiken im Fahrzeug und beeinflusst das subjektive Sicherheitsempfinden erheblich. Nachdem die Fahreigenschaften und der Fahrweg optimiert wurden, haben sich 89 von 94 Befragten nach der Fahrt mit Fahrzeugbegleitung keine Sorgen um die eigene Sicherheit gemacht. Die Kombination aus Sensorik mit sehr geringer Geschwindigkeit und einer aufmerksamen fahrzeugbegleitenden Person sorgen dafür, dass es mit dem Stand der Technik des Versuchsträgers zu keinen Verkehrsunfällen kommt. Die begleitende Person gewährleistet indirekt, dass Übergriffe aufs Fahrzeug ausbleiben. Am potentiellen Unfallgeschehen an Haltestellen sollte sich in diesem Szenario nichts ändern. Insgesamt ist das Szenario mit dem Versuchsträger identisch zum Bestandsszenario zu bewerten.

²⁸ Kriminalität gegenüber Taxifahrenden: „Etwa ein Raubüberfall auf 270 Fahrzeuge im Jahr“ (BG Verkehr (2022)), was bei einer Jahresfahrleistung von durchschnittlich 75.000 km nach Chen, Kockelman und Hanna (2016) und Nagel et al. (2018) einem Überfall pro 20,25 Mio. Fahrkilometern entspricht.

Für die Zukunftsszenarien ist zu erwarten, dass im Mischverkehr mit fahrerlosen und klassischen Kfz weiterhin Unfälle eintreten werden. Das menschliche Versagen oder Fehlverhalten als derzeit maßgebliche Ursache im Unfallgeschehen wird weiterhin eine Herausforderung darstellen. Der Mensch wird sich selbst bei hohem Automatisierungsgrad im Kfz-Verkehr weiterhin zu Fuß oder auf dem Fahrrad zwischen den fahrerlosen Fahrzeugen bewegen. Gefahrenquellen wie Sichthindernisse zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmenden können durch LIDAR-, Radarsensoren etc. nicht durchdrungen werden und physikalisch notwendige Bremswege bleiben notwendig, sodass weiterhin mit Kollisionen zu rechnen ist. Fahrerlose Fahrzeuge können bei minimaler Reaktionszeit erheblich verlässlicher sein, denn bisher häufig auftretende Defizite durch Ablenkung, Müdigkeit, Alkoholeinfluss und fehlende Fahrpraxis (vgl. Bruns, 2019) können ausgeschlossen werden. Zudem erlaubt die Sensorik einen 360-Grad-Blick bei Tag und Nacht zu allen Ereignissen rund um das Fahrzeug, die ein Mensch allein nicht leisten kann. Gleichzeitig würde eine steigende Nutzung fahrerloser Fahrzeuge die Übung zum Bedienen manueller Fahrzeuge reduzieren. Daraus kann ein für den Fußverkehr anwachsendes Unfallgeschehen auf dem Weg zur und von der Haltestelle mit steigenden Fahrgastzahlen einhergehen.

Werden die Mitfahrenden gefragt, ob sie sich ohne Fahrzeugbegleitung wohlfühlen würden (vgl. Anlage 10.5.4.2), sinkt die Zustimmung auf rund die Hälfte der Befragten. Dass sich mehr als ein Drittel der 1.050 Befragten unwohl oder eher unwohl ohne Fahrzeugbegleitung im Minibus fühlen würden und dabei sich weibliche Befragte leicht signifikant eher unwohl fühlen²⁹ (vgl. Salonen, 2018, S. 106), zeigt die Bedeutung des Fahrzeugbegleitenden und eine große Herausforderung zum Sicherheitsempfinden künftiger fahrerloser Anwendungsfälle hin. Lienkamp (2021, S. 419) schreibt dazu, dass das „subjektive Sicherheitsempfinden bei einem menschlichen Fahrer sicher sogar höher [wäre], weil ein Robotaxi überfallen werden kann, Mitfahrer übergriffig werden können und auch beim Ausstieg der ggf. kritische Weg zur Haustür nicht überwacht werden könnte – für viele ein Argument für den menschlichen Fahrer.“ Die Fahrzeugtechnik und -kommunikation muss mit einem leicht verständlichen und verlässlich funktionierenden Hilffsystem aufgebaut werden, das jeglicher Kriminalität vorbeugt. Viele technische Aspekte (vgl. Kapitel 6.3.2 sowie Anlagen 10.5.2 und 10.5.3) sowie fehlende Möglichkeiten der Stimmen- und Gestenerkennung sind hierbei trotz der erheblichen Bedeutung noch ungelöst.

Für das Zukunftsszenario stehen in der Automatisierung noch viele Herausforderungen hinsichtlich der Sicherheit der Fahrgäste an, die – um das bisher grundsätzlich hohe Sicherheitsniveau zu halten – ungelöst erscheinen.

²⁹ Signifikanz gegeben bei Verwendung des 95 %-Konfidenzintervalls

Zwischen- fazit

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-7 dargestellten Zwischenfazit für die Sicherheit.

**Tabelle 6-7: Bewertung des Zielfeldes Sicherheit,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator ³⁰	A	B	Z
Verkehrs- / Betriebssicherheit	(geringe) Anzahl der Personenschäden an der Haltestelle	→	→	!
	(geringe) Anzahl der Personenschäden im Fahrzeug	↗	↗	↗
Kriminalprävention	(geringe) Anzahl krimineller Übergriffe	↗	↗	!
	qualitatives Sicherheitsempfinden der Mitfahrenden	↗	↗	!

Arbeitsbedingungen

Bestand (A)

Die Arbeitsbedingungen von Fahrzeugführenden von klassischen Linienbussen sind an viele Randbedingungen gekoppelt: Dazu gehören die hohe Verantwortung für Menschen, unflexible Arbeitszeiten, unattraktive Orte für Stand- und Pausenzeiten, begrenzte eigene Entscheidungsspielräume und Abhängigkeiten von der zentralen Organisation eines getakteten Betriebsablaufes. Auf den Betrieb und das Befinden der Fahrzeugführenden wirken zudem eingesetzte Fahrzeugtechnik und Fahrgastverhalten ein. (vgl. Morvilius, 2022, S. 159–163) Die Wertschätzung der Gesellschaft erscheint gering, wobei in ländlichen Räumen positiv ausgeprägter als im städtischen Umfeld (vgl. Morvilius, 2022, S. 153). In einer Umfrage des VDV (2023) haben 48,9 % der Verkehrsunternehmen zugegeben, dass sie aufgrund von Personalmangel im Jahr 2022 ihren Betrieb zeitweise einschränken mussten. Eine abnehmende Quantität und Qualität der Bewerbungen (VDV, 2023) legt neben dem angespannten Arbeitsmarkt eine unzureichende Attraktivität der Arbeit im Fahrdienst nahe. Zusammen mit steigenden Verkehrsleistungen und altersbedingt ausscheidendem Personal entsteht eine große Personallücke (VDV, 2023; Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen e.V., 23. Februar 2023). Möglichkeiten die Arbeitsbedingungen deutlich positiv zu ändern, erscheinen aufgrund der zahlreichen Randbedingungen tatsächlich schwierig. In der Zielerreichung scheinen optimale Arbeitsbedingungen des Betriebspersonals nur teilweise gegeben.

Versuchs- träger (B)

Fahrzeugführende von Bussen identifizieren sich stark mit ihrer Verantwortung Menschen zu befördern und mit ihrem (großen) zu steuernden Fahrzeug (vgl. Morvilius, 2022, S. 152 f.). Mit der Tätigkeit als Fahrzeugbegleitender des automatisierten Versuchsträgers wurde dem Grunde nach ein ganz neues Arbeitsprofil geschaffen (vgl. Anlage 10.5.5), das in den Anwendungsfällen stärkere Auseinandersetzung mit der

³⁰ Ein Pfeil nach oben (grün) in der Bewertung stellt eine hohe Sicherheit dar, was einer geringen Anzahl an Übergriffen oder Unfällen entspricht.

computergestützten Steuerung des Fahrzeuges und in den betrachteten Testfeldern deutlich gesteigerte Fahrgastkommunikation erfordert. Die Beobachtung des verkehrlichen Umfeldes wird phasenweise im automatisierten Modus zur Nebensache bei gleichzeitig weiterhin hoher Verantwortung für die Sicherheit des Fahrbetriebes. Gleichzeitig wurde durch die gewichtsoptimierte Konstruktion der automatisierten kleinen Minibusse (zulässiges Gesamtgewicht kleiner als 3,5 Tonnen) die Regelung erwirkt, dass zusätzlich Personen mit Führerschein der Klasse B als Fahrzeugbegleitende eingesetzt werden können. Aus den Interviews (vgl. Anlage 10.5.5) zeigt sich (bei geringer Stichprobe) eine Tendenz, dass für diese die Aufgabe anstrengender ist als für regulär im Busbetrieb eingesetzte Fahrende. Neben der geistigen Belastung kommt die Notwendigkeit des dauerhaften Stehens hinzu, da im Sitzen kein hinreichender Blick auf das Umfeld gegeben ist. Die Herausforderungen werden durch die Hinweise der Zulassungsorganisationen bekräftigt, die als Auflagen in Fahrzeugzulassungen für das Personal beim Einsatz im Versuchsträger aufgenommen werden. Wie anspruchsvoll das Überwachen der Fahrzeugfunktionen ist, hängt gemäß Befragung der Fahrzeugbegleitenden maßgeblich vom verkehrlichen Umfeld ab. Im öffentlichen Mischverkehr und höheren Geschwindigkeiten wurde die Tätigkeit als anspruchsvoll wahrgenommen. In anderen Projekten mit hohem Druck durch den übrigen Straßenverkehr gestaltet sich das Finden und Motivieren des Fahrzeugbegleitpersonals als sehr schwierig (vgl. Region Hannover, Fachbereich Verkehr (16. März 2023) und Gertz et al. (2021)). Perret et al. (2020, S. 244) stellen infrage, ob dieses Level des automatisierten Fahrens mit einer Fahrzeugbegleitung wegen der Schwierigkeiten der zahlreichen notwendigen Interaktionen und Risiken in der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine überhaupt sinnvoll ist. Insgesamt zeigt sich für Fahrzeugbegleitende ein unbefriedigendes Anforderungsprofil bei einer Fahrzeugtechnik, die aufgrund ihrer fehlenden Reife störanfällig ist und Risiken birgt, die in der Verantwortung auf den Fahrzeugbegleitenden abgewälzt werden könnten oder diesen zeitweise in große Unsicherheit versetzen. Eine Zielerreichung bezüglich besserer Arbeitsbedingungen wird nicht erreicht.

Unter Beachtung der von Morvilius (2022, S. 152 f.) festgestellten Identifikations- und Motivationsmerkmale von fahrzeugsteuernden Busfahrenden und der Ergebnisse der Befragung der Busfahrenden (vgl. Gertz et al., 2021) ist zu erwarten, dass sich höchstens die Hälfte der Busfahrenden für den Einsatz als fahrzeugbegleitende Person in automatisierten Minibussen oder zur Tätigkeit in einem Kontrollzentrum motivieren lässt. Durch die Integration fahrerloser Fahrzeuge in den bestehenden ÖPNV auf nachfrageschwachen Linien und als Zubringer kann die Lücke an fehlendem Fahrpersonal geschlossen werden und bei den Betreibenden würden vielfältigere Jobs vermehrt bzw. entstehen (z. B. LeitstellendisponentInnen, Fachkräfte für Informatik und Mechatronik, VerkehrsmeisterInnen, Reinigungs- und Sicherheitskräfte) (vgl. Kuratorium für Verkehrssicherheit, 2019; Cacilo und Haag, 2018). Wie insgesamt die Arbeitsbedingungen in diesem neuen Umfeld sein werden, ist noch nicht erkennbar und hängt von vielen Faktoren ab. Das beschriebene Zukunftsszenario könnte allerdings die hohe Arbeitsbelastung der Fahrzeugführenden reduzieren, indem der Personalnotstand entschärft wird und es zur Entlastung des Personals in nachfrageschwachen Tagesrandzeiten kommt, in denen kleine fahrerlose Fahrzeuge den Fahrgastbetrieb ergänzen können. Ob das alternativ

**Zukunfts-
szenario (Z)**

qualifizierte Personal in dem benötigten Umfang zur Verfügung steht, bleibt allerdings unklar. Aufgrund der vielschichtigen Entwicklung verschiedener Arbeitsplätze mit Vor- und Nachteilen je Qualifikation im Zuge der Automatisierung wird die Zielerreichung als teils/teils eingestuft.

Zwischen- fazit

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-8 dargestellten Zwischenfazit für die Arbeitsbedingungen.

**Tabelle 6-8: Bewertung des Zielfeldes Arbeitsbedingungen,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Arbeits- bedingungen	Zufriedenheit und Engagement des Betriebspersonals	→	↘	→

Umwelt und Ressourcen

Bestand (A)

Mit dem Ziel den gesamten ÖPNV im Kreis bis 2032 emissionsfrei zu gestalten (vgl. SVG Südwestholstein, 2022, S. 168) bestehen bei Verwendung von erneuerbaren Energien hinsichtlich der Antriebstechnologie dem Grunde nach keine Unterschiede zwischen den gewählten Systemzuständen der ÖPV-Fahrzeuge. Es ist allerdings die Energieeffizienz zu betrachten: Hinsichtlich des Energieverbrauchs und eines angenommenen durchschnittlichen Auslastungsgrades von 30 % bei Pkw und Linienbus verbraucht der Linienbus nach Helms, Lambrecht und Hanusch (2010, S. 316 f.) im Vergleich ca. 40 % der Energie eines Pkw pro Personen-km. Wobei bei allen Verkehrsmitteln „der spezifische Energieaufwand pro Personen- bzw. Tonnen-Kilometer [deutlich] sinkt mit steigender Auslastung.“ (Helms, Lambrecht und Hanusch, 2010, S. 317). Im Sinne der Schonung von Umwelt und Ressourcen sollte im Personenverkehr das Ziel demnach eine hohe Auslastung des ÖPNV und eine Reduzierung von schwach besetzten Pkw sein. Im ländlichen Räumen fahren Busse allerdings abseits von der Schulbeförderung und den starken Achsen in die Metropolen mit sehr niedrigen Auslastungsgraden. Hinzu kommen Ein- und Aussetzwege als Leerfahrten mit 10-15 % bezogen auf die Fahrzeugkilometer. Die Nachfragesteigerung des letzten Jahrzehnts im ÖPNV der Umlandkreise von Hamburg ist maßgeblich in der Steigerung der Fahrgastzahlen im SPNV begründet (vgl. SVG Südwestholstein, 2022, S. 115 f.). Im Busbereich waren die beförderten Fahrgäste in den zehn Jahren in ihrer Anzahl im Kreis Herzogtum weitgehend gleichbleibend, die Schülerzahlen nahmen allerdings um knapp 20 % ab, sodass in Summe immer weniger Fahrgäste mit Bussen befördert wurden (vgl. SVG Südwestholstein, 2022, S. 119). Insgesamt fahren im Busverkehr in ländlichen Räumen weiterhin zu viele zu leere Busse (vgl. Ahrens, 2023, S. 419; Mörner, 2018, S. 143) und damit ist in schwach besiedelten Regionen rein über die Verkehrsmittelwahl bei einem weiterhin notwendigen MIV über das klassische Buslinienverkehrssystem kein nachhaltiger Wandel sichtbar. Eine Perspektive bieten steigende Heimarbeit mit entfallenden Arbeitswegen, Antriebe mittels erneuerbarer Energien und steigende Mitfahrendenzahlen im ländlichen MIV (vgl. Wittkowsky und Ahlmeyer, 2018, S. 2793–2795), die gemäß Systemeingrenzung (Kapitel 6.1.2) in

dem hier vorgenommenen Vergleich der Systemzustände als parallele und unabhängige Entwicklungsstränge betrachtet werden. Neben der Bereitstellung eines umfangreichen Straßen- und Wegenetzes für alle Verkehrsträger erfolgt darüber hinaus ein Ressourcen- und Flächenverbrauch im Kreis Herzogtum Lauenburg z. B. für die Haltepunkte in einem barrierefreien Standard (Erläuterungen hierzu in Anlage 10.5.2.1.1) in Summe von 7 ha³¹ und für das reine Abstellen der 119.647 Pkw (Anzahl gemäß Metropolregion Hamburg, 2023) mit rund 144 ha³², wenn jedem Pkw nur ein Parkstand zugeordnet werden würde.³³ Eine niedrige Auslastung der Fahrzeuge und der Flächenverbrauch für die Straßeninfrastruktur stellen einen unbefriedigenden Zustand hinsichtlich der Zielerreichung der Schonung von Umwelt und Ressourcen dar.

Der Energieverbrauch des Versuchsträgers (max. 3,5 t) ist selbst unter Berücksichtigung der besonderen Topografie in Lauenburg/Elbe mit durchschnittlich 1 kWh pro km sehr hoch (vgl. Anlage 10.5.6). Dies liegt nah an den durchschnittlichen Verbrauchswerten eines Elektro-Standardlinienbusses (max. 19,5 t bei zwei Achsen) gemäß ÜSTRA (2020) mit ca. 1,5 kWh pro km bzw. gemäß Vado e Torno Edizioni (2022) zwischen 0,8 bis 2,5 kWh pro km. Vado e Torno Edizioni (2022) und Helms, Lambrecht und Hanusch (2010, S. 327) beschreiben Klimaanlagen als Nebenverbraucher mit dem größten Energiebedarf. Dies zeigt sich deutlich in dem Versuchsträger. Das Gefährt ist bisher nicht energieeffizient gestaltet, was unter anderem die Verglasung, Klimatechnik, Programmierung der Türöffnungen und den dauerhaften Stromverbrauch der durchlaufenden Rechneinheiten und Sensoren betrifft. Ferner zeigt sich für den Stand der Technik des Versuchsträgers ein erheblicher technischer Betreuungsaufwand, der nicht allein per Fernwartung bewerkstelligt werden kann und Personal vor Ort – häufig mittels Spezialisten aus dem Ausland – erfordert. 4.664 mit dem Versuchsträger beförderte Fahrgäste auf 7.463 km zeigt zudem die hohe Anzahl an Erprobungs- und Leerfahrten, da selbst auf dem attraktiven kleinstädtischen Linienweg abseits der Touristen keine hinreichende Bündelungswirkung und Auslastung auftritt, womit die Zielerreichung nicht gegeben ist.

Um den Ressourcenverbrauch effizienter zu gestalten, kann eine Steigerung der Auslastung in Zukunftsszenarien helfen: Aus der Fahrgastbefragung (Ergebnisse in Anlage 10.5.6) wird deutlich, dass fast alle interessierten Fahrgäste mit Zeitkarten bereit sind einen fahrerlosen Minibus zu nutzen. Auch die im Versuchsträger mitgefahrenen Befragten ohne ÖPNV-Zeitkarte haben mit über 70 % eine grundsätzlich hohe Nutzungsbereitschaft. Die Hälfte von ihnen gibt an, dass für sie derzeit ein Pkw mangels

Versuchs-
träger (B)

Zukunfts-
szenario (Z)

³¹ Für einen richtlinienkonformen Bus-Haltepunkt entstehen ohne Berücksichtigung von Doppelnutzungen und Busbuchten bei einem Flächenansatz von 2,5 m x 12 m Wartefläche zzgl. 2 m x 10 m Zuwegung jeweils 50 m² versiegelte Fläche - bei 1.395 Haltepunkten im Kreis Herzogtum Lauenburg entstehen rund 7 ha versiegelte Fläche. Notwendige Flächen für Busbetriebshöfe und -abstellflächen sind nicht eingerechnet.

³² Ein einzelner Parkstand eine Größe von ca. 2 m x 6 m gemäß FGSV (2006).

³³ In Realität sind mehr Parkstände pro Fahrzeug notwendig, da am Start- und Zielort jeweils Parkplätze für die unterschiedlichen Ziele bereitgehalten werden müssen.

Optionen alternativlos für ihre Mobilitätsbedürfnisse ist. In der Überlagerung der Fahrgast- mit der zweiten Haushaltsbefragung (mit Nichtnutzenden) arbeitet Mantel (2021, S. 31) heraus, dass 52 % der Befragten den Versuchsträger als Zukunft des Nahverkehrs sehen und bereit sind diesen zu nutzen. Auch wenn eine große Zurückhaltung vorhanden ist³⁴, ergibt sich aus positiv aufgeschlossenen Personen ein relevantes Fahrgastpotenzial bezogen auf die Verkehrsmittelwahl in ländlichen Räumen. Wittkowsky und Ahlmeyer (2018, S. 2796) sehen in den Aktivitäts- und Mobilitätsmustern eine geringe Bündelungsfähigkeit von Fahrtanfragen in ländlichen Räumen. Mörner (2018) führt einen Nachweis zu Bündelungseffekten über eine agentenbasierte Simulation und zeigt in seinen Szenarien für eine ländliche Region einen mittleren Besetzungsgrad von 2 bis 2,5 Personen pro Fahrzeug auf (unter Berücksichtigung notwendiger Leerfahrten). Louen et al. (2024, S. 10) kommen in ihren Netzszenarien dagegen nur auf einen mittleren Besetzungsgrad von 1,5 - 1,8 Personen pro Fahrzeug im verdichteten Raum. Umso geringer die Bevölkerungsdichte ist, umso schwieriger dürfte das Erzielen einer solchen Bündelungsrate – insbesondere im Transformationsprozess – sein. Es wirkt realistisch, dass der durchschnittliche Besetzungsgrad in einem solchen Szenario unweit von dem durchschnittlichen Wert mit 1,4 Personen pro Pkw nach infas et al. (Dezember 2018, S. 43) für „ländliche Region - kleinstädtischer, dörflicher Raum“ liegen wird. Ab einem deutlich höheren ÖV-Anteil als im Bestand mit der Möglichkeit entsprechender Bündelungsraten dürfte ein Vorteil für Umwelt und Ressourcen eintreten (vgl. Rentschler, 2022, S. 223), der zusätzliche Leerfahrten kompensieren kann. Eine weitere Kompensation kann durch ein optimiertes Beschleunigungsprofil für Energieeinsparung und Fahrgastkomfort über ganze Flotten entstehen, zusätzlich ergänzt um vorausschauende Fahrweise durch V2x-Kommunikation (vgl. Helms, Lambrecht und Hanusch, 2010, S. 329). In Verbindung mit einem höheren ÖV-Anteil durch attraktive fahrerlose Angebotsformen besteht wiederum die Möglichkeit den Pkw-Bestand und damit verbundene Infrastruktur zu reduzieren. Insgesamt ergibt sich mit dem beschriebenen Zukunftsszenario eine Tendenz, die zu einer verbesserten Umwelt- und Ressourcenbilanz führen sollte.

³⁴ 27 % der Befragten können sich den Versuchsträger für ihre Mobilität in der Zukunft nicht vorstellen nach Auswertung der Daten von Mantel (2021) Andere aktuelle Forschungsergebnisse weisen ebenfalls auf eine persönliche Ablehnung von ca. einem Drittel der Befragten hin (vgl. onzone, Fountas und Downey (2024, S. 12))

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-9 dargestellten Zwischenfazit für Umwelt und Ressourcen.

**Zwischen-
fazit**

**Tabelle 6-9: Bewertung des Zielfeldes Umwelt und Ressourcen,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Schonung Umwelt und Ressourcen	(geringer) Energieverbrauch der Fahrzeuge	→	↘	→
Nachfragesteigerung ÖPNV	qualitative Bewertung der Nutzungsbereitschaft	↘	↘	→
MIV-Reduzierung	qualitative Bewertung der Nutzungsbereitschaft	↘	↘	→
nachhaltige Antriebstechnologie	Realisierbarkeit eines klimaneutraler Betriebes	→	↗	↗

Effizienz

Im Durchschnitt kostet ein Fahrplankilometer durchschnittlich ca. drei Euro. Die Kostendeckung im Kreis Herzogtum Lauenburg lag im Jahr 2019 bezogen auf die Tarifeinnahmen bei 38,3 %. (vgl. Grote und Röntgen, 2021) Der Differenzbetrag zwischen Tarifeinnahmen und Kosten wird aus weitgehend öffentlichen Mitteln sehr unterschiedlicher Budgets finanziert (vgl. SVG Südwestholstein, 2022). Ein Nachfragewert von durchschnittlich fünf Fahrgästen pro Fahrt wird als Voraussetzung für die Übernahme eines Linienangebotes in das Grundangebot angesetzt (SVG Südwestholstein, 2022, S. 42). Es besteht – wie im ÖPNV in Deutschland üblich – ein hoher Zuschussbedarf für die Bereitstellung des Angebotes in ländlichen Räumen (vgl. VDV, 2019, S. 35). Im Linienbedarfsverkehr wird im regionalen Bereich wegen der größeren Bereitstellungszeiten derzeit von 2,40 Euro pro Fahrplankilometer ausgegangen (vgl. Roland Berger/Intraplan/Florenus, 2021, S. 62). Die Zielerreichung einer hohen Wirtschaftlichkeit und Effektivität ist nicht gegeben.

Bestand (A)

Im Rahmen eines experimentellen Einsatzes eines Prototyps ist kein wirtschaftlich effizienter Betrieb zu erwarten – es wurde zudem auf Fahrgeldeinnahmen verzichtet, um möglichst viele Personen zu gewinnen, die den Versuchsträger erproben und ihre Bewertung abgeben. Trotzdem stellt sich nach erfolgreicher Implementierung die grundsätzliche Frage, ob ein Angebot weiter betrieben wird. Entscheidend war hinsichtlich des Versuchsträgers die Frage, welche Kosten entstehen. Die umfassende Berechnung ergab im optimierten Weiterbetrieb mit den Versuchsträgern und Fahrzeugbegleitung (als realisierbares Szenario) zu hohe Kosten von rund 15 Euro pro Fahrplankilometer (siehe Grote und Röntgen, 2021), weshalb der Betrieb zum Versuchsende eingestellt wurde. Neben einem hohen Betreuungsaufwand ließ sich die realisierte Geschwindigkeit nicht steigern, womit die Kosten pro Kilometer maßgeblich reduziert und die Attraktivität hätte gesteigert werden können. Ohne dass die Fahrzeugbegleitung entfallen und höhere Geschwindigkeiten realisiert werden können, ergibt sich aufbauend auf dem

**Versuchs-
träger (B)**

Zukunfts- szenario (Z)

Versuchsträger keine Möglichkeit eines Regelbetriebes. Die Wirtschaftlichkeit und Effektivität ist sehr gering.

In der vorgenommenen Analyse der Kosten vom regulären ÖPNV und dem Versuchsträger konnten Investitions- und Unterhaltungskosten für ein Zukunftsszenario abgeschätzt werden. Wesentliche Erkenntnis ist, dass die Kosten für den Fahrplankilometer im fahrerlosen Betrieb um 30 bis 40 % gegenüber heute sinken werden. Neben dem Wegfall des Fahrzeugführenden ist von weiteren Einsparungen, aber auch einigen Kostensteigerungen bei den Nebenkosten im Betrieb auszugehen (vgl. Grote und Röntgen, 2021).

Insgesamt wirken bei den hohen Anschaffungskosten eines ÖPNV-Fahrzeuges die zusätzlichen Investitionskosten für Fahrzeugkomponenten für die Automatisierung insgesamt vernachlässigbar. Dem Einbau umfangreicher Sensorik steht zudem der Wegfall eines hochwertigen FahrerInnenarbeitsplatzes gegenüber. Bisher sind reguläre Minibusse im deutschen Raum eher aus Kleinserien im Einsatz – teils als nachträglich erheblich umgebaute Standardfahrzeuge. Die Investitionskosten liegen hoch und unweit der Kosten von Standardlinienbussen. Hier ist ein relevanter Skaleneffekt zur Senkung der Investitionskosten möglich, sollten Minibusse künftig eine deutlich größere Nachfrage erleben (unabhängig von klassisch oder fahrerlos). Ein anderer Hebel die Investitionskosten zu senken wäre rein theoretisch das Abweichen oder Differenzieren von bewährten ÖPNV-Standards in Fahrzeug und Infrastruktur (z. B. Reduzierung der Ausstattung zur Fahrgastinformation und Barrierefreiheit sowie Ausstattungsqualität).

Um relevante Einnahmen zu erzielen, sind hohe Bündelungseffekte von Fahrgästen für eine hohe Auslastung anzustreben (Steinrück und Küpper, 2010, S. 62). Bei den zu erwartenden dispersen Fahrtanfragen im schwach besiedelten ländlichen Räumen ist unter positiv getroffenen Annahmen und Auflösung bestehender Buslinien nach Mörner (2018) eine Auslastung mit einem Besetzungsgrad von 2 bis 2,5 Personen anzunehmen. Nicht subventionierte Kosten von 0,16 bis 0,37 € pro Kilometer für den Fahrgast, wie von Mörner und Boltze (2018, S. 12) geschätzt, werden für ein Angebot in ÖPNV-Standard mit der angegebenen Auslastung als deutlich zu niedrig bewertet. In den verschiedenen Zukunftsszenarien (je mit 12-75 % ÖV-Anteil) sind laut Mörner (2018, S. 101, 143) unter Berücksichtigung der Leerfahrten 130 bis 200 % der Kilometer abrechenbar, das ergäbe bei angenommenen Kosten von 2,51 Euro pro Fahrplankilometer laut Grote und Röntgen (2021, S. 43) umgerechnet Kosten von 1,26 Euro und 1,93 Euro pro km und Fahrgast in ländlichen Räumen. Denkbar sind Kostenoptimierungen durch größere Flotten mit vielen Kilometern pro Fahrzeug bei einer Reduzierung der Investitions- und Unterhaltungskosten. Allerdings könnte der Ansatz von Mörner (2018) mit nur ca. einem Fünftel Leerfahrten zu niedrig gesetzt worden sein. In ländlichen Räumen entstehen erhebliche Wege und Leerfahrten, wenn abseits der Hauptachsen jedes einzelne abgelegene Gehöft und Ziel erreichbar werden soll. Doll und Krauss (2022, S. 58) untersuchen unterschiedliche Szenarien für Ridepooling und stellen fest, dass kein Angebot (mit Fahrzeugsteuerndem) „ein gewinnversprechendes Umsatz-Kosten-Verhältnis oder ein positives operatives Ergebnis“ erreichen kann. Laut Hinkelmann (2022) soll der Betrieb

des Ridepooling-Anbieters MOIA u. a. aufgrund der Kosten und unzureichender Fahrgastbündelung (im urbanen Raum) eine Kostendeckung von 25 % besitzen. Nach Hinkelmann (2022) müssten die Kosten um 50 % sinken, was mit dem fahrerlosen Fahren für einen Taxi-ähnlichen Betrieb nach Grote und Röntgen (2021) grundsätzlich möglich ist. Das dynamisch aufgebaute Preismodell von MOIA mit geschätzten mittleren Kosten für den Fahrgast von einem Euro pro Kilometer liegt über den Kosten eines üblichen privaten Pkw, womit auch nach den Schätzungen von Litman (2023, S. 22) die Kosten des Ridehailing mit notwendigem Fahrzeugführenden kaum gedeckt werden können. Das Erreichen einer kritischen Masse an Fahrgästen und Netzwerkeffekten (vgl. Shapiro und Varian, 1999) erscheint in ländlichen Räumen schwer erreichbar. Ausgehend von ca. 0,50 Euro pro km für kleine Privat-Pkw³⁵ je nach Fahrzeugmodell (vgl. ADAC, 2023) entstehen bei einem durchschnittlichen Besetzungsgrad von 1,4 Personen je Fahrzeug Kosten in Höhe von 0,36 Euro pro Person und Kilometer. Das ÖPNV-Produkt des fahrerlosen Minibusses bei einer niedrigen Auslastung in ländlichen Räumen wirkt nicht konkurrenzfähig oder bleibt von Subventionen abhängig, solange der Pkw-Steuernde seine eigene Zeit nicht berechnet und tatsächliche externe Kosten u. a. durch Emissionen (vgl. Schröder et al., 2023) nicht umgelegt werden. Im Gegensatz zu urbanen Räumen kann bei höheren Bündelungseffekten in der Peripherie nicht von erheblichen Einsparungen durch weniger Verkehrsanlagen ausgegangen werden, da weiterhin grundsätzlich entsprechende Straßenverbindungen zwischen allen Quellen und Zielen notwendig sind. Gleichzeitig können bei einem Verkehrssystem mit umfangreichen Sammelverkehren die öffentlichen Einnahmen durch den motorisierten Individualverkehr sinken (vgl. Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2019), was die weitere Finanzierung von Infrastruktur und ÖPNV für Baulast- und Aufgabenträger erschweren kann.

Um in ländlichen Räumen ein nutzbares und attraktives ÖPNV-Angebot zu schaffen, ist also ein verlässlicher Regelbetrieb fahrerloser Fahrzeuge im Sammelverkehr notwendig (vgl. Luchmann et al., 2019a, S. 37), dessen Betriebskosten gegenüber den Prognosen von Grote und Röntgen (2021) reduziert werden müssten. Auch die künftige Einordnung der Bedeutung externer Kosten und von Zeit als Kostenfaktor (vgl. Vorgehen nach Gemeindefinanzierungsgesetz SGV) spielt durch Beförderungsgeschwindigkeit, Umwegigkeit des Sammelverkehrs und Nutzung dieser während der Fahrt eine bedeutende Rolle hinsichtlich einer objektiven Kosten-Nutzen-Bewertung. In ländlichen Räumen fällt daher die Prognose zur Erreichung einer hohen Wirtschaftlichkeit und Effizienz als teils/teils erreichbar aus.

³⁵ Gemäß ADAC (2023) betragen die Kosten pro Kilometer inkl. aller Nebenkosten für einen Volkswagen Polo 1.0 Life oder Renault Clio TCe 90 Equilibre 0,43 Euro, für einen Golf 1.0 TSI oder Skoda Octavia 1.0 TSI Ambition 0,55 Euro.

Zwischen- fazit

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-10 dargestellten Zwischenfazit für die Effizienz und Effektivität.

Tabelle 6-10: Bewertung des Zielfeldes Effizienz und Effektivität, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Wirtschaftlichkeit	(niedrige) Lebenszykluskosten pro Fahrplankilometer	↘	↘	→
Effektivität	Linienangebot entspricht den Bedürfnissen des Fahrgastes	→	→	↗

Zeitaufwand

Bestand (A)

Ausgehend von einem Werktag zeigt Peter (2021, S. 384) bei der Ermittlung der durchschnittlichen Reisezeit zur nächsten Gelegenheit wie Arzt, Schule, Bahnhof, Apotheke, Supermarkt und Kita für die Metropolregion Hamburg auf, dass der mittlere Reiseaufwand für die berechneten Wege mit dem ÖV zwei- bis dreimal höher ist als mit dem MIV. Hierbei wird nicht mit der Bevölkerungsdichte am Startort gewichtet, sodass diese Erkenntnis Flächen- und nicht Einwohner-bezogen zu betrachten ist.³⁶ Die Berechnung im Rahmen auf Basis des Projektes TaBuLa zeigt auf, welch erhebliche Reisezeiten inkl. Warte- und Gehzeiten außerhalb von Siedlungen auftreten können, die den ÖPNV in der Fläche unattraktiv oder unbrauchbar machen (siehe Anlage 10.5.8). Die Zielerreichung für ländliche Räume ist – unabhängig von der Verlässlichkeit – nicht gegeben.

Versuchs- Träger (B)

Der Betrieb des Versuchsträgers in Lauenburg/Elbe lässt sich in den festgelegten Betriebszeitfenstern in eine „hohe Verfügbarkeit“ bei „eingeschränkte[r] Zuverlässigkeit (größere Abweichungen möglich)“ gemäß Einstufung nach Sommer et al. (2016, S. 17 f.) mit Bezug auf FGSV (2010a) einordnen. Die Verlässlichkeit mit Planbarkeit (nach FGSV, 2017, S. 3) mit dem Versuchsträgers konnte im Projektverlauf deutlich gesteigert werden, auch wenn hierzu die fahrzeugbegleitende Person regelmäßig unterstützt hat und zuletzt ein Ersatzfahrzeug bereitgehalten wurde. Riegel (2020, S. 27–31) bestätigt die Problematik der Störanfälligkeit eines Testfeldbetriebes mit einem Minibus und beschreibt die wiederkehrenden teils ungeplanten Betriebsunterbrechungen. Hirt (2019, S. 76) sowie Grote, Stargardt und Wolf (2021b, S. 932 f.) ermitteln aus den Ergebnissen einer VISSIM-Simulation, dass die langsame Fahrweise des Versuchsträgers zu vernachlässigbaren mittleren Reisezeitverlusten bei den anderen Verkehrsteilnehmenden in Lauenburg/Elbe führt – allerdings bei Pannen des Versuchsträgers große Verlustzeiten auftreten können. Zur Schnelligkeit gibt die Hälfte der Fahrgäste an, dass der Versuchsträger schneller fahren muss, damit sie es im eigenen Alltag nutzen würden. Zu berücksichtigen ist beim Versuchsträger, dass sich die Fahrt über die befahrene Versuchsträger-Strecke selbst bei deutlich gesteigerter Fahrzeugintelligenz aufgrund

³⁶ Bei einer Gewichtung mit der Einwohnerdichte am Startort ergeben sich deutlich geringere Reisezeitdifferenzen.

des anspruchsvollen Umfeldes nicht deutlich schneller sicher zurücklegen lässt – was aber im Großteil des übrigen Verkehrsnetzes möglich ist. Die Zielerreichung ist nicht gegeben, weil mit dem Versuchsträger kein für die allgemeinen Alltagswege verlässlich planbares und zeitoptimiertes Angebot geschaffen werden konnte.

Ein fahrerloses Fahrzeug wird aufgrund einer programmierten und vorgegebenen objektiven Risikoabschätzung auf vielen Streckenabschnitten und in vielen Situationen voraussichtlich langsamer fahren als ein menschlich gesteuertes Kfz. Dies betrifft insbesondere die Übergangsszenarien mit erhöhten Risiken durch viele menschliche Verkehrsteilnehmende im Umfeld. Im dargestellten Zukunftsszenario kann eine hohe flexibel verfügbare Fahrzeugflotte Wartezeiten reduzieren. Diese müsste, neben Tür-zu-Tür-Angeboten im Nahbereich, für weiter entfernte Reiseziele optimale Umstiege auf die Hauptrouten mit hoher Taktfrequenz des ÖPNV anbieten, sodass möglichst wenige Umstiege und geringe Zeit- und Störungsverluste entstehen.³⁷ Hierzu sind weitere Modellbetrachtungen notwendig. Eine Verbesserung gegenüber dem Bestand ist unter erheblichen Umstrukturierungen und Optimierungen allerdings realisierbar (vgl. Agora Verkehrswende, 2023, S. 53–55; Imhof, Frölicher und Arx, 2020; Sonderegger et al., 2019). Der Zeitgewinn für eine andersartige Zeitznutzung gegenüber dem selbständigen Steuern eines Pkw ist theoretisch bereits durch die Möglichkeit der Nutzung des öffentlichen Personenverkehrs gegeben und ist als nicht entscheidungserheblich zu bewerten. Die Zielerreichung ist insgesamt teils/teils gegeben.

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-11 dargestellten Zwischenfazit für das Zielfeld Zeitaufwand.

**Zukunfts-
Szenario (Z)**

**Zwischen-
fazit**

**Tabelle 6-11: Bewertung des Zielfeldes Zeitaufwand,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B		Z
Schnelligkeit	(geringe) Reisezeit und (hohe) Beförderungsgeschwindigkeit	↘	↘		→
Verbindungsqualität	Anzahl an benötigten Umstiegen, Qualität der Umsteigeorte	↘	↘		→
Verlässlichkeit	Zuverlässigkeit des Betriebes, Sicherung des Umstiegs	→	↘		→

Wohlstand

Hinsichtlich des Einflusses auf den allgemeinen Wohlstand der Gesellschaft können im Rahmen dieser Ausarbeitung keine fundierten Aussagen getroffen werden. Grundsätzlich darf dieses Zielfeld allerdings nicht vernachlässigt werden, nehmen fahrerlose Fahrzeuge erheblichen Einfluss auf die Wirtschaft (vgl. Lierzer und Schumann, 2020, S. 30–

³⁷ Bei Verkehrsverbindungen zu Mittel- oder Oberzentren sollen mindestens 80 % der Reisenden nicht mehr als einmal umsteigen müssen. FGSV (2010a, S. 4)

44), Zusammensetzung der benötigten Arbeitskräfte sowie die Effizienz, Effektivität und das Wohlbefinden über die Mobilität. Gleichzeitig können die Innovationen zum fahrerlosen Fahren den Wirtschaftsstandort stärken, aber insbesondere in der tradierten Pkw-Industrie zu erheblichen Arbeitsplatzverlusten führen.³⁸ Mit der Diffusion des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV sind erhebliche Verschiebungen in der Wertschöpfungskette zu erwarten (vgl. Grote und Röntgen (2021, S. 69–71)). Es bedarf hierzu eigenständiger tiefgreifender Analysen.

Tabelle 6-12: Bewertung des Zielfeldes Wohlstand,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Wohlstand	(gute) Wirtschaftslage, Beschäftigung, Wohlbefinden	?	?	?

Funktionsfähigkeit

Bestand (A)

Das bestehende öffentliche Busverkehrssystem ist dem Grunde nach flexibel gestaltbar. Es besteht (im Gegensatz zum Schienenverkehr) eine umfangreiche Straßeninfrastruktur mit Alternativ- und Ausweichrouten, die mit anderen Verkehrsmitteln kombiniert genutzt werden kann. Das Liniennetz mit Fahrbahnen und Haltestellen ist grundsätzlich mittelfristig anpassungsfähig. Ein Ausbau des ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg wird maßgeblich durch wirtschaftliche und personelle Restriktionen sowie ggf. notwendige Zeiträume zur Fahrzeugbeschaffung begrenzt. Die Möglichkeiten zur Verknüpfung mit anderen Verkehrsmitteln (Bahn, Taxi, E-Scooter, Carsharing, Pkw...) sind gewöhnlich begrenzt aufgrund der fehlenden Anbieter in ländlichen Räumen und fehlender übergreifender Vernetzung (z. B. hinsichtlich Tarif, Auskunft und Buchung oder fehlenden geeigneten Abstellmöglichkeiten an Umsteigeanlagen).

Versuchsträger (B)

Das Testfeld hat gezeigt, dass die Integration des Versuchsträgers in den öffentlichen Mischverkehr bei bestimmten Eigenschaften des Straßenraumes gelingt. Auch die Vernetzung mit der Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmenden ist realisierbar. (vgl. Grote, 2021) Aufgrund geringer Geschwindigkeiten, der Abhängigkeit von der virtuellen Schiene und eingeschränkter Möglichkeiten der Sensorik und Programmierung im Umgang mit Hindernissen ist das nutzbare Straßennetz begrenzt. Nach Holst (2022, S. 3) sind „die Shuttles mit der aktuellen Technik auf ca. 2 % des Straßennetzes einsetzbar.“ Der zugleich erhebliche Aufwand zur Vorbereitung, Genehmigung und Realisierung (Böckler, Grote, Wolf, 2021) schränkt die Fähigkeit zum Aus- und Umbau allerdings ein.

³⁸ Bezogen auf den Pkw-Markt in Verbindung mit autonomen Mobility-as-a-Service-Angeboten sehen Cacilo und Haag (2018, S. 9) je angenommenen Szenario Wirkungen, die sich „additiv oder substitutiv auf die Markt- und Wertschöpfungsvolumina“ bei einer „Zunahme der Unsicherheit“ (S. 98) „ambivalent“ (S. 99 f.) für den Automobilstandort Deutschland auswirken. „Die langfristige Tendenz spricht für einen Verlust einer sechsstelligen Zahl von Arbeitsplätzen bis zum Jahr 2030“ (S. 100).

Auch die Einbindung in übergeordnete Auskunftssysteme und eine Anschlusssicherung an die bestehenden Bus- und Bahnlinien gelang im Zuge des Testfeldes nicht. Die Zielerreichung ist unter diesen Umständen nicht gegeben.

Sobald die Fahrzeugbegleitung im Fahrzeug entfällt, ist im Gegensatz zum klassischen Busverkehr entlang aller Routen Verschiedenes über das bestehende Straßennetz hinaus zu gewährleisten: Zuverlässige Fahrzeugtechnik, sichere Ortungsmöglichkeiten, verlässliche Unterhaltung der Infrastruktur, durchgängige Kommunikationsverbindung zwischen Fahrzeug und Leitstelle (mit völlig neuen Aufgaben), die Einhaltung definierter Hilfsfristen zum Erreichen des fahrerlosen Fahrzeuges, Gewährleistung eines möglichst Hilfsmittel-freien Zu- und Ausstieges für Fahrgäste und/oder Roboter etc. Grundsätzlich ist dies alles realisierbar, erfordert aber entsprechende Organisation und gegenüber heute weiterentwickelte Betriebsmodelle mit größeren systembedingten Vernetzungen und Abhängigkeiten. Dazu bedarf es anbieterübergreifender Vermittler, die die Funktionalitäten über verschiedene Fahrzeuge den Fahrgästen erschließen. Je mehr Komponenten auf verschiedene Verantwortliche verlagert werden, desto komplexer wird die Realisierbarkeit und Zuverlässigkeit. Eine gewisse Flexibilität ist gegeben, so dass vorgenommene Änderungen im (öffentlichen) Verkehrssystem grundsätzlich angepasst werden können (im Gegensatz zu einem vergleichsweise starren Bahnsystem). Technisch ist derzeit für die umfassenden Herausforderungen keine verlässliche und flexible Lösung für fahrerlose Busse erkennbar, weshalb die Zielerreichung kritisch bewertet wird (in Tabelle 6-13 gekennzeichnet durch Z = !).

Die vorangegangenen Ausführungen führen zu dem in Tabelle 6-13 dargestellten Zwischenfazit für die Funktionsfähigkeit.

**Zukunfts-
Szenario (Z)**

**Zwischen-
fazit**

**Tabelle 6-13: Bewertung des Zielfeldes Funktionsfähigkeit,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B		Z
Fähigkeit zum Aus-, Um-, Rückbau	Möglichkeiten zur kurzfristigen Veränderung des ÖPNV-Angebotes	↗	↘		!
Integrierbarkeit / Vernetzung Verkehre	Möglichkeit der Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel	↘	↘		!

Weitere Fähigkeiten

Es wurden weitere Fähigkeiten im Zielsystem definiert (vgl. Kapitel 6.2), auf die der Einfluss fahrerloser Fahrzeuge im Folgenden anhand der eigenen Erkenntnisse bewertet wird.

Hinsichtlich dem Ziel der Reversibilität konnten die vorgenommenen Veränderungen für das automatisierte Testfeld in Lauenburg/Elbe (vgl. Kapitel 6.3.3) vollständig zurückgebaut werden oder in die sinnvolle Weiternutzung überführt werden. Das Fahrpersonal und die Fahrzeuge werden in anderen Projekten eingesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse übertragen auf das Zukunftsszenario lassen demnach darauf schließen, dass alle

Reversibilität

für einen automatisierten Betrieb notwendigen Maßnahmen (abgesehen von den Folgen aus Ressourcenverbrauch und Emissionen) trotz einer gewissen Zukunftsbindung reversibel sind (vgl. Grunwald, 2015, S. 680; Böschen et al., 2021b, S. 33).

Daten- sicherheit

Im Hinblick auf die Datensicherheit werden mit dem autonomen Fahren personenbezogene Daten (z. B. durch Bild- und Tonaufnahmen oder die digitale Buchung von Fahrten unter Eingabe von Start- und Zielorten) entstehen, die bisher in begrenztem Umfang durch Ticketkauf, Buchungsanfragen oder Videoüberwachung erfasst werden konnten. Im Zuge der Automatisierung und der Ausweitung der digitalen Verarbeitung von (Umfeld-)Daten sind größere Risiken der Datensicherheit und des Missbrauchs gegeben, die mit entsprechenden Gegenmaßnahmen begrenzt werden müssen. (vgl. Schippl und Hillerbrand, 2021, S. 379; Kleemann und Arzt, 2023, S. 94–96; Kölbl, 2021, S. 598)

Marketing / Image

Ein weiteres definiertes Ziel ist die größere Kundenbindung. Insgesamt ist im betrachteten Kreis Herzogtum Lauenburg einschließlich benachbarter Kreise in Schleswig-Holstein „eine überdurchschnittlich hohe Kundenzufriedenheit“ (SVG Südwestholstein, 2022, S. 114) gegeben, die allerdings Handlungsbedarf bei Taktfrequenz und Preis-Leistungs-Verhältnis aufzeigt (SVG Südwestholstein, 2022, S. 114). Hinsichtlich der Bewertung der Attraktivität und Wirkung des Versuchsträgers ist über die Befragten aus Haushalten in Lauenburg/Elbe (Nutzende wie Nichtnutzende) hinweg eine Verschlechterung nach Einführung des Versuchsträgers eingetreten (vgl. Gertz et al., 2021; Kapitel 6.6.3): Bei den Personen, die das Angebot tatsächlich ausprobiert haben, sind die Differenzen der Vorher-Nachher-Befragung gering. Schwerwiegend ist die Ablehnung bei Nichtnutzenden, die sich zur Hälfte im Freitextfeld über Verkehrsbehinderungen durch den Versuchsträger beschwerten und das Gesamtergebnis negativ beeinflussen. Es ist zum Teil ein Attraktivitätsverlust oder eine Enttäuschung der Erwartungen mit dem Versuchsträger eingetreten, der u. a. in dem eingeschränkten Entwicklungsstand, der geringen Geschwindigkeit und einer unzureichenden Zuverlässigkeit begründet liegt. Die von den befragten Fahrgästen geforderte hohe Flexibilität und Verlässlichkeit kann der Versuchsträger nicht leisten. Die Wirkung des Testfeldes in Lauenburg/Elbe auf das Image des ÖPNV lässt sich objektiv nicht erfassen. Es wurden verschiedene analoge und digitale Marketingmaßnahmen sowie Videoproduktionen für das Testfeld durchgeführt, die grundsätzlich eine positiv aufgeschlossene Wirkung entfalten sollten. Die befragten Personen im Testfeld sind vielfältiger Herkunft und gaben – ebenso wie Fachbesuchergruppen – an, dass sie den ÖPNV-Versuchsträger als positiven Anlass genommen haben, nach Lauenburg/Elbe zu reisen und anschließend das Projekt weiterempfehlen würden (vgl. Gertz et al., 2022). Im Hinblick auf die oben aufgeführten negativen Erfahrungsbereiche der befragten Haushalte in der zweiten Welle, bleibt offen, ob insgesamt regional und lokal ein relevanter positiver Imagegewinn für den ÖPNV eingetreten ist. Für mögliche Zukunftsszenarien lässt sich daraus nichts ableiten.

Kunden- bindung Jugendliche

In Verbindung mit der größeren Kundenbindung steht die Kundenbindung von Jugendlichen. Haas (2018, S. 556) beschreibt die jüngere Generation als besonders digitalisierungs- und technikaffin. Es zeigt sich nach Herrenkind et al. (2019) ein Rückgang des Anteils junger Erwachsener, die einen Führerschein besitzen. In den im Rahmen des Testfeldes erhobenen Daten ist die jüngere Generation unterrepräsentiert, sodass sich hierzu

keine Erkenntnisse generieren lassen. Mantel (2021, S. 28) weist darauf hin, dass die altersbezogenen Einflussfaktoren zur Nutzungsbereitschaft von automatisierten Shuttles unter einer Vielzahl von Studien inkonsistent sei. Es wird dennoch davon ausgegangen, dass sich – in Verbindung mit der von Nobis et al. (2019, S. 57–59) identifizierten wachsenden jungen Gruppe mit multimodaler Alltagsmobilität – fahrerlose Fahrzeuge als Erweiterung des bestehenden öffentlichen Verkehrsangebotes positiv auf die Kundenbindung der Jugendlichen auswirken und die fahrerlosen Fahrzeuge sich mit den neu entstehenden Freiheiten in die Alltagsmobilität integrieren werden. Fahrerlosem Fahren wird daher ein positiver Einfluss auf das Ziel der Kundenbindung bei Jugendlichen unterstellt.

Ein weiteres Ziel ist die Möglichkeit des Einsatzes von alternativen Bedienformen als Teil des ÖPNV. In Verbindung mit dem fahrerlosen Fahren ist kein Widerspruch erkennbar. Die Möglichkeit des Verzichts auf den Fahrzeugführenden ist aufgrund der potentiellen Kosteneinsparungen grundsätzlich interessant für den Güterverkehr (vgl. Tjaden et al., 2022) und das Taxigewerbe (vgl. Grote und Röntgen, 2021). Vielerseits wird das fahrerlose Fahren daher als wechselseitiger Treiber für Konzepte alternativer Bedienformen gesehen (vgl. Litman, 2023, S. 31; Tirachini und Antoniou, 2020, S. 13; Luchmann et al., 2019a, S. 5; Ongel et al., 2019, S. 647–648; Abe, 2019, S. 104; Winter et al., 2018, S. 165 f.), die bei Erreichen einer Fahrerlosigkeit die alternativen Bedienformen im Kreis Herzogtum – auch in Nebenzeiten mit hohen Personalzuschlägen (Nachtstunden sowie Sonn- und Feiertage) – beflügeln können und zu dieser Zielerreichung positiv beitragen.

Das definierte Ziel der Flexibilität in der Schulbeförderung basiert darauf, dass Schulverkehre ein wichtiger Bestandteil des ÖPNV der ländlichen Räume sind und diesen maßgeblich in Netzgestaltung und Angebot beeinflussen (vgl. SVG Südwestholstein, 2022, S. 25). Es besteht nach SVG Südwestholstein (2022, S. 25) die Herausforderung, dass die freie Schulwahl und disperser werdende Zeiten des Unterrichtsschlusses neue Lösungsansätze im ÖPNV erfordern. Fahrerlose Shuttle erscheinen hierbei ein hilfreiches Mittel, um u. a. unabhängig von Schicht- und Dienstplänen von Fahrpersonal auf eine solche zerstreute Nachfrage einzugehen. Der Zielerreichung einer höheren Variabilität in der Schulbeförderung stehen fahrerlose Fahrzeuge demnach nicht entgegen.

alternative
Bedien-
formen

variable Schul-
beförderung

**Tabelle 6-14: Bewertung des Zielfeldes Weitere Ziele,
Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung)**

Zielvariable	Indikator	A	B	Z
Reversibilität	Möglichkeit der Rückabwicklung ohne langanhaltende Umwelt- oder Umfeldschäden	↗	↗	↗
Datensicherheit	Risikopotenzial für Datenabfluss	↗	→	→
Marketing / Image	(positive) Bewertung durch die Fahrgäste	→	→	?
Kundenbindung Jugendliche	Akzeptanz unter Jüngeren	→	→	↗
Einsatz alternativer Bedienformen	Anzahl flexibel eingesetzter Fahrzeuge	↘	↘	↗
ganztägige variable Schulbeförderung	Anteil fahrplanunabhängiger Fahrplankilometer	↘	↘	↗

6.6.1.2 Resümee zum Entwicklungsstand des automatisierten Versuchsträgers (B)

Versuchs- träger

Die vorliegende Analyse liefert Transparenz zum aktuellen Stand der Entwicklung zum fahrerlosen Fahren im ÖPNV mit den zum Zeitpunkt der Ausarbeitung verfügbaren Fahrzeugen und Informationen. Das öffentliche Bild ist geprägt von Schlagzeilen, die eine hohe Erwartungshaltung an den Entwicklungsstand provoziert haben. In der Realität kann der Versuchsträger gemäß Kapitel 6.6 in den Zielfeldern (noch) nicht überzeugen und auf dem Entwicklungsniveau ist im öffentlichen Verkehr derzeit kein fahrerloses Fahren realisierbar. Um das anspruchsvolle Testfeld mit der Technik befahren zu können, wurde ein erheblicher Aufwand betrieben, der unter Randbedingungen (wie z. B. niedrige Geschwindigkeit) das automatisierte Fahren möglich gemacht hat. Auch wenn die Strecken im Testfeld ohne Fahrzeugbegleitung gefahren werden konnte, bleibt diese Person unverzichtbar für die vielfältigen Umfeltsituationen, die eintreten können. Höhere Geschwindigkeiten als beim Versuchsträger sind mit dem konkret eingesetzten Stand der Technik nicht zu verantworten bzw. bedürfen automatisierter Funktionen zum sicheren Anhalten außerhalb des Verkehrsraumes und/oder eines bewährten Fahrerarbeitsplatzes im oder außerhalb des Fahrzeuges. Neben den voranschreitenden Entwicklungen im Forschungsfeld zum Fahralgorithmus in Verbindung mit sicherer Sensor- und Ortungstechnik ist das weitere Forschungsfeld der fahrerlosen Kommunikation mit den Menschen und anderen Fahrzeugen nicht in allen Situationen hinreichend fortgeschritten. Die Weiterentwicklung des Versuchsträgers wird limitiert durch unzureichend zuverlässige Prozesse zwischen verschiedenen technischen Modulen sowie fehlende stabile Ortung und Kommunikation. Aktuell ist noch nicht absehbar, dass diese Defizite – unter Erfüllung der Anforderungen im ÖPNV universell einsetzbar – behoben werden können. Für eine optimale Weiterentwicklung einer fahrerlosen Kundenorientierung werden neue Versuchsträger benötigt, die ohne Begleitpersonal im ÖPNV eingesetzt und erprobt werden können.

6.6.1.3 Zwischenfazit der Einzelbewertungen und zur Zielerreichung

In der Tabelle 6-15 wird ein Kurzüberblick zur Zielerreichung aller Systemzustände gemäß der in Kapitel 6.6.1.1 ausführlich durchgeführten Bewertung gegeben, auf die im Anschluss jeweils zusammenfassend eingegangen wird.

Tabelle 6-15: Kurzübersicht über die Zielerreichung der in Kapitel 6.6.1.1 betrachteten Systemzustände (eigene Darstellung)

	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung			Gesundheit und Sicherheit		Umwelt-qualität	Wirtschaftlichkeit und Wohlstand		Funktions-fähig-keit	Weiteres
	Erschließungs-qualität	Beförderungs-standard	Handhabbarkeit	Sicherheit	Arbeitsbedingungen	Umwelt und Ressourcen	Effizienz	Zeitaufwand	Wohlstand Funktions-fähigkeit	Weitere Fähigkeiten
Bestand (A)	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Versuchsträger (B)	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Zukunftsszenario (Z)	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

Bedeutung	
↘	= Ziel wird vollständig erreicht oder eher erreicht.
→	= Ziel wird teilweise erreicht.
↘	= Ziel wird eher nicht oder nicht erreicht.
?	= Zu der Zielerreichung ist anhand verfügbarer Daten keine Aussage möglich.
!	= Es sind nennenswerte Besonderheiten oder Nebenwirkungen identifizierbar.

Der öffentliche Busverkehr im Kreis Herzogtum Lauenburg erweist sich als ein sehr sicheres Verkehrsmittel, das sich in Linienangebot und Bedienungshäufigkeit im Straßennetz anpassen lässt. In der Kleinstadt Lauenburg/Elbe zeigt sich die Hälfte der Befragten zufrieden mit dem Angebot, auch wenn nicht für alle der vorhandene Standard attraktiv ist. Während fast nur moderne barrierefreie Fahrzeuge eingesetzt werden, erfüllt im Kreisgebiet der Großteil der Haltestellen die vorgesehenen Standards nicht. Ein das Fahrtenangebot begrenzender Faktor ist die Verfügbarkeit von Arbeitskräften, die unter den vorgegebenen Arbeitsbedingungen für einen Ausbau des ÖPNV zur Verfügung stehen. Als problematisch stellen sich die fehlenden Möglichkeiten einer flexiblen Erreichbarkeit in der Fläche aufgrund des in Nebenverkehrszeiten, nachts und am Wochenende nicht vorhandenen oder stark eingeschränkten Angebotes dar. Der Zeitaufwand bei Nutzung des ÖPNV ist für viele Relationen hoch und der private Pkw ist in der Fläche für die meisten Bewohnenden des Kreises Herzogtum Lauenburg unverzichtbar.

Mit dem Versuchsträger ist – trotz des anspruchsvollen Umfeldes im öffentlichen Mischverkehr – unter Randbedingungen und erheblichen Aufwand ein sicherer automatisierter Betrieb möglich geworden. Das Angebot und Fahrzeug werden von den befragten Nutzenden weitgehend positiv als handhabbar sowie einfach nutzbar bewertet, jedoch spielt hierbei die fahrzeuggesteuerte Person die entscheidende Rolle, die dafür sorgt, dass das Angebot für Alle brauchbar wird. Die entstandenen Arbeitsbedingungen sind negativ zu bewerten, da die fahrzeuggesteuerte Person genutzt wird, um alle Defizite

Bestand (A)

Versuchs-
träger (B)

der unausgereiften Barrierefreiheit, Kommunikation und Programmierung auszugleichen und die entscheidende Rolle spielt, ein solches Angebot im Realbetrieb zu betreiben. Die Erschließungsfunktion des ÖPNV in Lauenburg/Elbe konnte minimal verbessert werden – durch die Randbedingungen lässt sich das Angebot allerdings nicht sinnvoll weiter ausweiten. Bei der geringen Geschwindigkeit und den hohen Personalkosten entsteht ein unwirtschaftlicher Betrieb, der nur im Sinne von intensiver Erprobung, Forschung und Weiterentwicklung zu rechtfertigen ist.

Zukunfts- Szenario (Z)

Im dargestellten Zukunftsszenario können fahrerlose Minibusse mit einem bedarfsorientierten Flächenbetrieb sicher einen hohen Zielerreichungsgrad in einer neuen Erschließungsqualität erzielen. Es besteht ein erhebliches Potenzial zeitlich und räumlich flexibel das ÖPNV-Angebot in ländlichen Räumen des Kreises Herzogtum Lauenburg auszudehnen. Beim Ausbau des ÖV-Angebotes mittels fahrerloser Fahrzeuge werden die Arbeitsbedingungen durch die Schaffung neuer Arbeitsplätze vielfältiger, da die Beschäftigungsprofile von sehr einfachen bis höchst verantwortungsvollen Aufgaben variieren können. Die Effizienz eines solchen Betriebes kann gegenüber heutigen Angeboten durch den Verzicht auf mitfahrendes Personal nur gesteigert werden – allerdings ist es in ländlichen Räumen unter bestehenden Randbedingungen unmöglich, die nach heutigem Stand niedrigen Kosten eines privat genutzten Pkw zu unterbieten. Ebenso impliziert eine sichere Fahrweise und eine angestrebte Bündelung mit weiteren Fahrgästen, dass sich Reisezeiten gegenüber der Nutzung des eigenen Pkw verlängern können. Aufgrund zu erwartender geringer Bündelungseffekte von Fahrgästen in ländlichen Räumen bleibt der Hebel zur Verringerung von negativen Umweltwirkungen bei gleichbleibenden individuellen Wegebedürfnissen klein. Insbesondere weil eine Mitfahrt im heutigen ÖPNV bereits eine sehr sichere Fortbewegungsart darstellt, ist es kaum möglich, das Sicherheitsniveau allein durch den Einsatz fahrerloser Busse im Mischverkehr zu steigern, solange menschliches Versagen (z. B. durch andere Verkehrsteilnehmende) oder Fehlverhalten (z. B. durch Übergriffe) von außen nicht ausgeschlossen werden können. Die Attraktivität dieser neuen Angebotsform kann u. a. durch Akzeptanzprobleme anderer Verkehrsteilnehmender im Mischverkehr beeinflusst werden, die ihre individuelle Bewegungsfreiheit durch langsam und sicher fahrende Fahrzeuge gefährdet sehen. Grundsätzlich können – insbesondere in einer Einführungsphase – nicht alle hohen Erwartungen an fahrerlose Fahrzeuge erfüllt werden. Für individuelle Bedürfnisse, zum Beispiel von Menschen mit Behinderungen oder in Sondersituationen, sind bisher keine technischen Lösungen absehbar, die einen allgemeinen Verzicht auf menschliche Unterstützung möglich machen würden.

Das hier angesetzte Zukunftsszenario mit einem ergänzenden universellen fahrerlosen Angebot zum Ausbau des ÖPNV in ländlichen Räumen weist neben den Potenzialen in mehreren Zielfeldern Defizite in der Realisierbarkeit auf. Die Betriebskosten als ein ergänzendes ÖPNV-Angebot in Räumen disperser und geringer Nachfrage sind hoch. Insgesamt bleibt unsicher, wie sich die technischen Herausforderungen und vielfältigen Wünsche und Bedürfnisse der Fahrgäste hinsichtlich der Handhabbarkeit und Sicherheit ohne die Anwesenheit von Personal in ländlichen Räumen berücksichtigen lassen, ob damit das Image des ÖPNV positiv gesteigert werden kann und wie sich fahrerlose Minibusse auf allgemeines Wohlbefinden und den Wohlstand auswirken.

6.6.2 Schritt 6.2: Bewertung der Zusammenhänge

Nachdem die Zielfelder jeweils einzeln bewertet wurden, gilt es in Schritt 6.2 die Zusammenhänge zu bewerten. Hierzu dienen als Grundlage für die Verflechtungsmatrix-Analyse (M2) die in der Phase 2 (Kapitel 6.2) ermittelten Ziele als Variablen für das in Phase 1 (Kapitel 6.1.2) abgegrenzte System. Die Ziele wurden zuvor auf ihre Systemrelevanz überprüft, was im Kapitel 6.2.2 beschrieben wird. Fahrerloses Fahren im ÖPNV wird als eine zusätzliche Variable ergänzt, um die Wirkungen im Einflussgefüge herauszuarbeiten. Neben Erkenntnissen zu den Abhängigkeiten der Ziele untereinander kann dadurch in einer ersten Näherung ermittelt werden, wie groß der Einfluss des fahrerlosen Fahrens auf das betrachtete System des ÖPNV ist. Das Festlegen der Einflüsse erfolgt (Szenario-unabhängig) auf Basis des in den vorherigen Phasen gewonnenen Wissens. Es erfolgt eine Überprüfung anhand von ähnlichen Anwendungen des Verfahrens in der Mobilität (siehe Vester, 1990; Vester, 1991; Wulfhorst, 2003; Tjaden, 2023).

Anhand des in vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Vorgehens werden alle Ziele als Variablen in die Matrix übernommen und der Einfluss (von keiner bis starker positiver oder negativer Einwirkung) der Ziele untereinander für das zuvor definierte System anhand vorangegangener Erkenntnisse bewertet. Das Ergebnis der Eintragungen inkl. der Berechnungen nach Vester (1991, S. 67–95) ist in Abbildung 6-11 dargestellt. Das Ergebnis ist stark abhängig von dem Wissen, den Fähigkeiten und dem Engagement des Eintragenden. Da die Berechnungen offen liegen und nachvollziehbar dargelegt sind, lädt das gewählte Verfahren grundsätzlich ein, beliebig oft wiederholt zu werden, so dass die Ergebnisse mit anderen Ansätzen im Sinne einer weiterführenden Sensitivitätsanalyse überprüft und diskutiert werden können.

Vorgehen mit
Zielen als
Variablen in
Abhängigkeiten

Es ergibt sich ein erster Eindruck der gegenseitigen Einflussstärken in der Matrix in Abbildung 6-11. Bei hoher Aktivsumme (AS) eines Ziels zeigt sich eine starke Wirkung auf das System. Bei hoher Passivsumme (PS) zeigt sich die Empfindlichkeit der Ziele bei Veränderungen des Systems.

Einzel-
wirkung

Mit Blick auf die paarweise direkten Wirkungsgefüge von einzelnen Zielen mit der Variable des fahrerlosen Fahren (bei Ausblendung anderer Wirkbeziehungen) existieren – neben zumeist schwachen wechselseitigen – einzelne stärkere Wirkgefüge: Das fahrerlose Fahren kann zur Schaffung eines größeren Angebotes an Sammelverkehren führen – umgekehrt ergibt sich die gleiche fördernde Wirkung. Für dieses Wirkgefüge besteht eine gleichgerichtete Rückkoppelungsschleife, die zusammen zu einer gegenseitigen Verstärkung der Wirkungen mit einem Aufschaukeln (oder aber beidseitigem Schrumpfen) führen kann. Gleiches gilt für die Variablen fahrerloses Fahren und Kriminalitätsprävention. Je mehr fahrerlose Fahrzeuge eingesetzt werden, desto größer wird der Bedarf an Maßnahmen zur Kriminalitätsprävention (z. B. Videoüberwachung und Sicherheitspersonal). Je mehr Maßnahmen der Gefahrenprävention ergriffen werden, umso besser sind die Ausbaumöglichkeiten des fahrerlosen Fahren gesichert. Es kann sich eine positive aber negative Eigendynamik zwischen solchen Zielen entwickeln bis die Wirkbeziehungen anderer Ziele oder übergeordnete Einflüsse relevante Wirkung entfalten.

Paarweise
Wirkungs-
gefüge

Um den aktiven oder reaktiven Charakter der Ziele im betrachteten System zu ermitteln, werden aus den Aktiv- und Passivsummen die Quotienten Q und Produkte P als Einflussindex ermittelt. In Abbildung 6-12 werden die Q-Werte und in Abbildung 6-13 die P-Werte vom höchsten Wert (mit Variable fahrerlos) absteigend sortiert.

Wirkung im
System

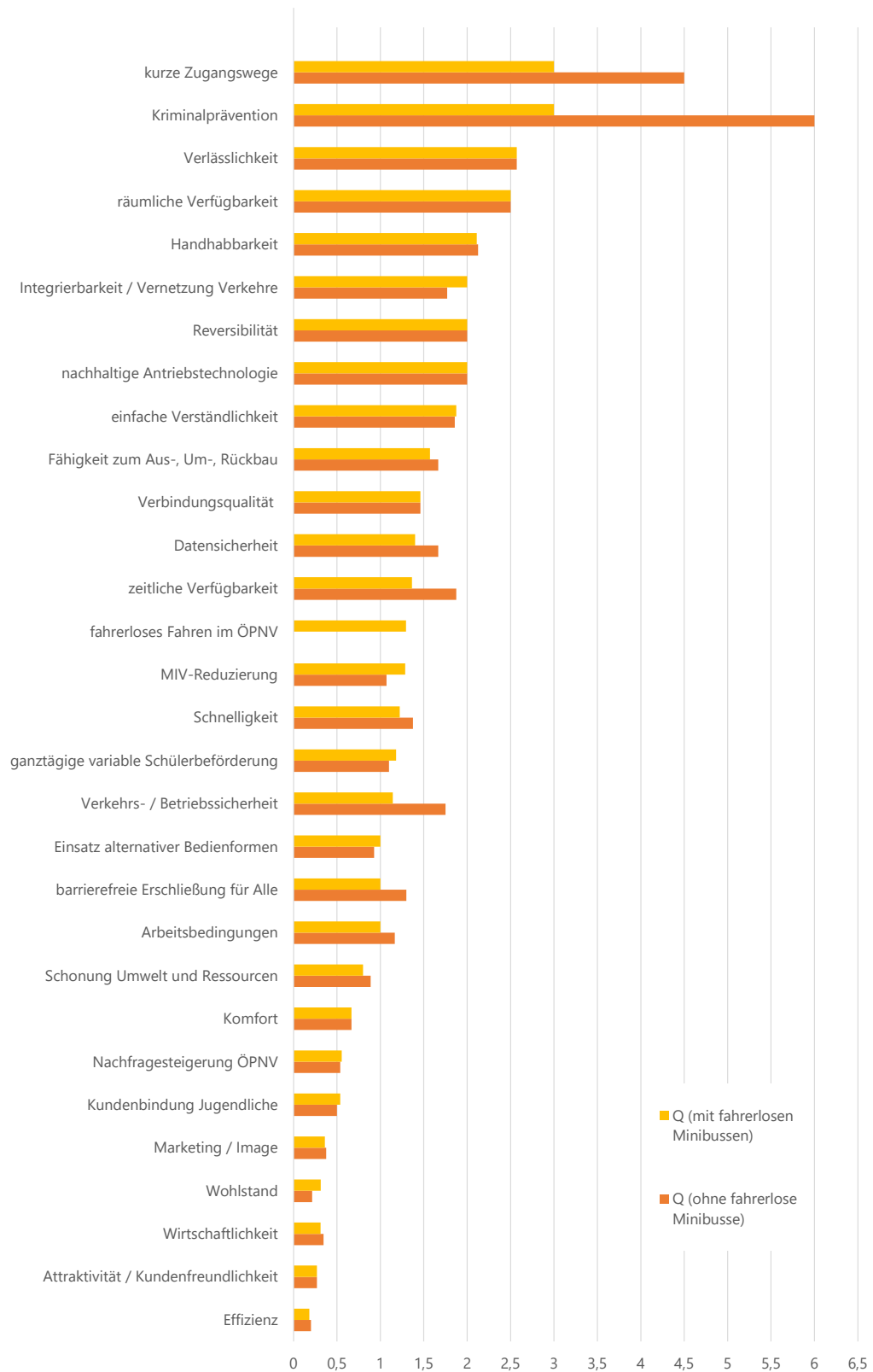


Abbildung 6-12: Auflistung der Q-Werte (orange) in ihrer Rangfolge vom höchsten zum niedrigsten Wert mit und ohne fahrerlosem Fahren als Ziele im betrachteten System (eigene Darstellung)

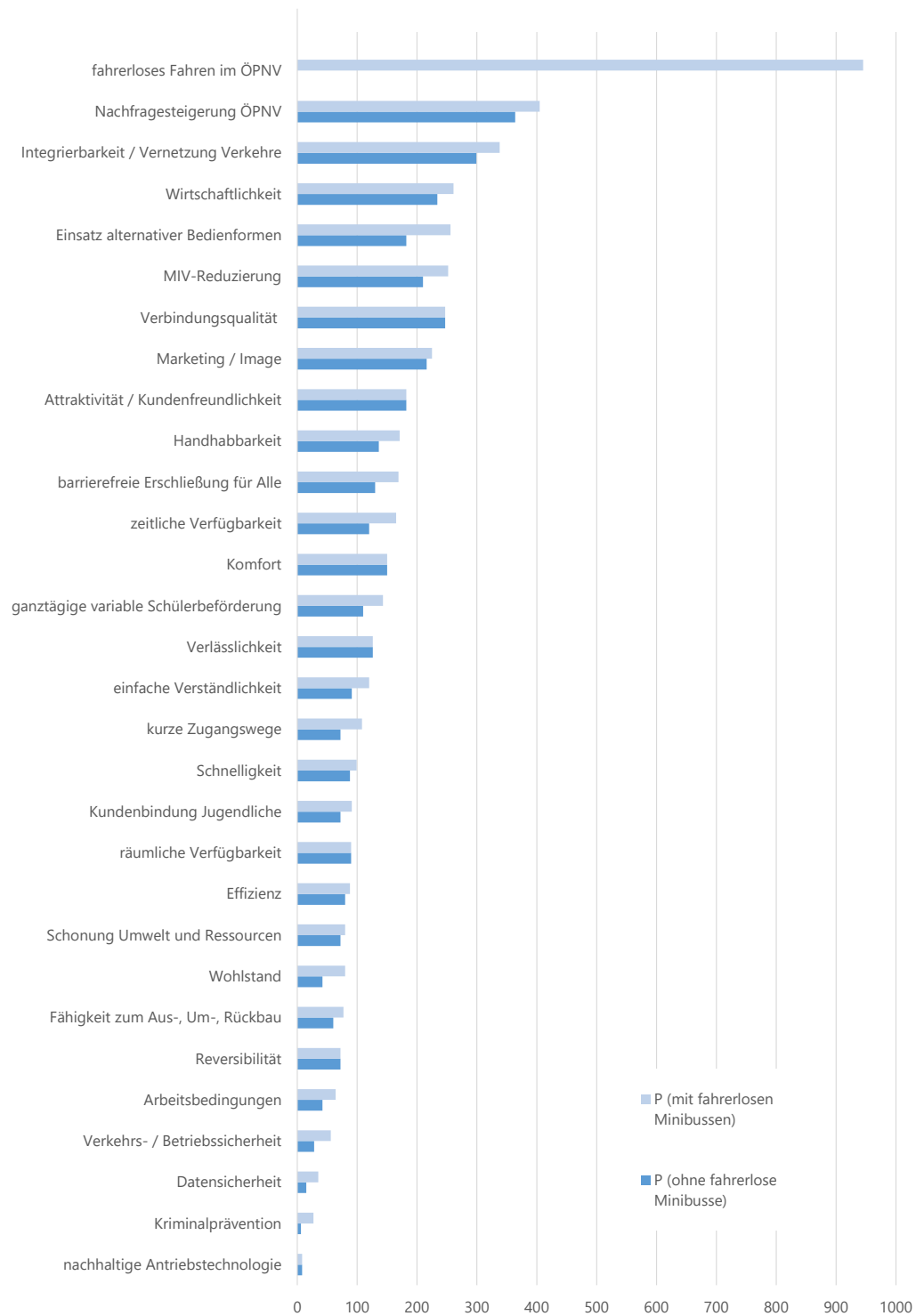


Abbildung 6-13: Auflistung der P-Werte (blau) in ihrer Rangfolge vom höchsten zum niedrigsten Wert mit und ohne fahrerlosem Fahren als Ziele im betrachteten System (eigene Darstellung)

Während der Q-Wert der Aktivität sich bei den Zielen auf der gesamten verfügbaren Skala von hochaktiv bis stark reaktiv ausbreitet, bewegen sich die P-Werte alle im puffernden bis neutralen Bereich (mit P-Werten kleiner als ca. 1.000). Laut Vester (1991, S. 100) entspricht dies dem üblichen System Verkehr, in dem sich die Elemente im „puffernd-neutralen Bereich tummeln“ (Vester, 1991, S. 100) und das sich insgesamt bei Veränderungen träge verhält.

Die Ziele mit den höchsten Q-Werten stellen sich als aktive Elemente dar und beeinflussen viele andere Elemente, werden selbst aber von wenigen beeinflusst. Niedrige Q-Werte weisen auf ein reaktives Verhalten hin, d. h. diese beeinflussen wenige andere, werden aber von vielen anderen beeinflusst.

Die Ziele mit den höchsten P-Werten beeinflussen andere Elemente am stärksten und werden gleichzeitig von ihnen am stärksten beeinflusst. Umgekehrt stellen die Elemente mit den niedrigsten P-Werten Elemente dar, die am schwächsten andere beeinflussen und sehr schwach von anderen beeinflusst werden.

Die Rangfolge der Elemente ist zu der vor dem Einfügen der Einflüsse des fahrerlosen Fahrens in das System sehr ähnlich. Es ergeben sich in den Q- und P-Werten Änderungen durch die vernetzte Wirkung der Variable fahrerlosen Fahrens, womit aktive Ziele etwas gedämpft werden und die puffernde Wirkung vieler Ziele minimal reduziert wird.

Um Aussagen zur Rollenverteilung der Ziele im System treffen zu können, hilft die Visualisierung in einer zweidimensionalen Grafik unter Überlagerung der verschiedenen Eigenschaften (aktiv/reaktiv überlagert mit kritisch/puffernd) in Abbildung 6-14.

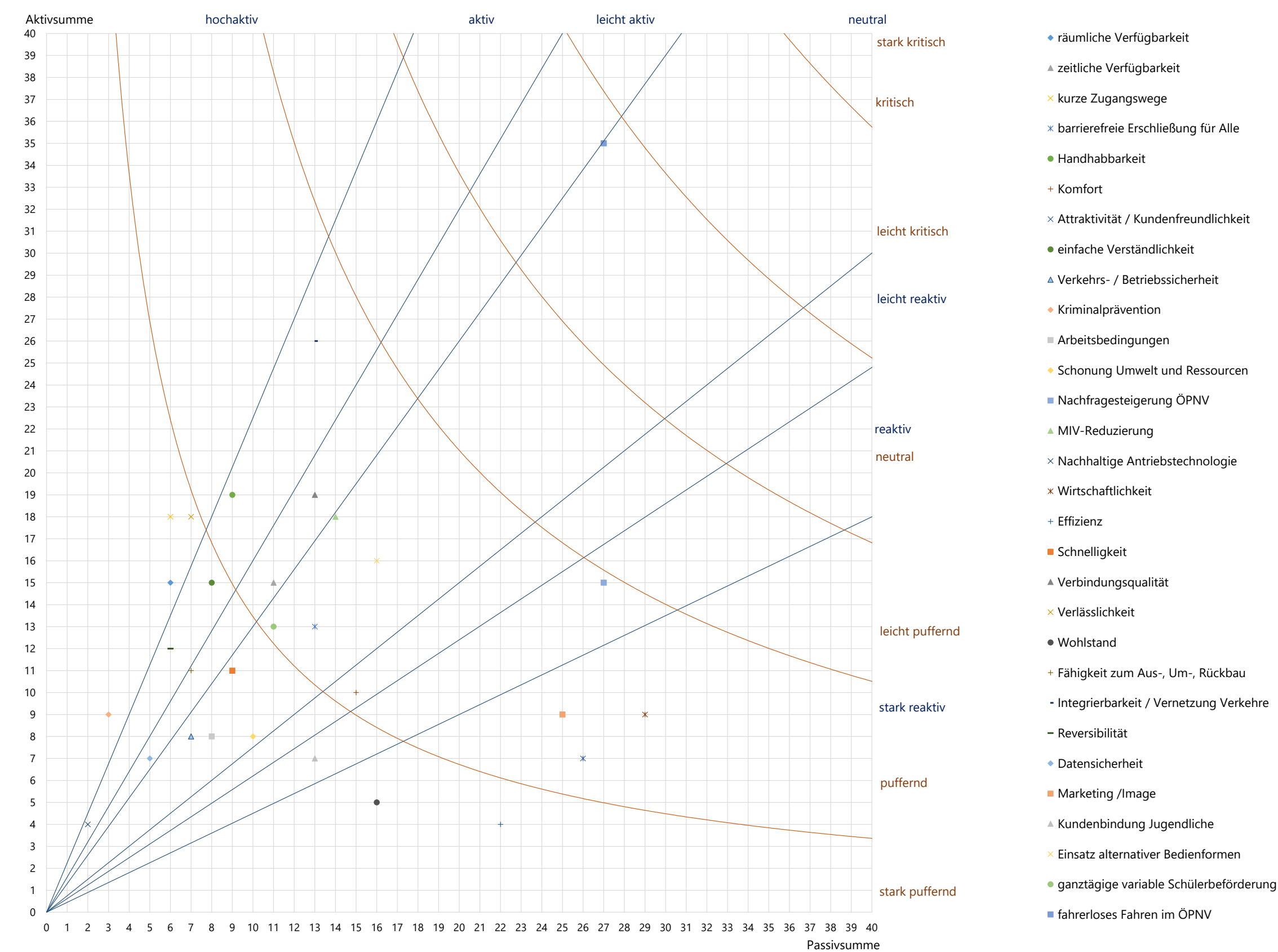


Abbildung 6-14: Die aus den Abhängigkeiten ermittelte Rolle der Ziele im definierten System des ÖPNV des ländlichen Raumes gemäß Kapitel 6.2 (eigene Darstellung basierend auf Vester (1991, S. 101))

Die Interpretation der Abbildung 6-14 erfolgt mit Hilfe der Zuordnung der Variablen nach Vester (1991, S. 101): Demnach lassen sich die Variablen (Ziele) anhand ihrer *Lage in Abbildung 6-14*, die sich aus der jeweiligen Aktiv- und Passivsumme ergibt, jetzt dezidiert in ihrer Rolle im System einordnen:

wirksame Schalthebel

- In leichter Tendenz ergibt sich ein wirksamer Schalthebel über das Ziel der Integrierbarkeit und Vernetzung von Verkehrten (*Lage oben links*). Als schwächer ausgeprägte Schalthebel mit wenig Nebenwirkungen (*Lage links*) zeigen sich kurze Zugangswege, Verlässlichkeit, Verbindungsqualität, Handhabbarkeit, räumliche und zeitliche Verfügbarkeit und einfache Verständlichkeit.

Indikator

- Dem gegenüber wird der Parameter der Nachfragesteigerung im ÖPNV eher von anderen beeinflusst und bietet selbst wenig Möglichkeiten das System tatsächlich zu verändern (*Lage rechts*). Der Status dieses Parameters eignet sich gut als Indikator.

träge Indikatoren

- Die Parameter Wirtschaftlichkeit und Effektivität, Attraktivität/Kundenfreundlichkeit inkl. Image zeigen sich ebenfalls als Indikatoren, die allerdings etwas träger sind (*Lage unten rechts*). Ggf. eignen sich diese Ziele zum Experimentieren.

selbst- regulierende Variablen

- Über die *mittig liegenden* Ziele bzw. Variablen wie MIV-Reduzierung, alternative Bedienformen usw. lässt sich das System kaum aktiv steuern, es reguliert sich über diese Variablen aber selbst.

Schalthebel oder Katalysator

- Fahrerloses Fahren als Ziel und Variable liegt im leicht aktiven Neutralbereich (*Lage oben*). Im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung zeigt sich, dass bereits bei leicht abweichenden Einschätzungen zwei andere Bereiche nicht weit entfernt liegen: Der Bereich der wirksamen Schalthebel (*oben links*), die das System nach erfolgter Änderung stabilisieren, aber auch der andere Bereich der Katalysatoren (*oben rechts*), die Dinge in Bewegung setzen können und zu einem unkontrollierbaren Aufschaukeln und Umkippen im Zielsystem führen können. Katalysatoren lösen viele Veränderungen in den Zielen aus und beeinflussen diese, was „nachhaltige Auswirkungen auf das Verhalten des betrachteten Systems“ (Vester, 1991, S. 98) erwarten lässt. Die Variable des fahrerlosen Fahrens liegt allerdings nicht so kritisch und hoch aktiv, dass diese mit „Samthandschuhen“ angefasst werden müsste, dafür ist das Wirkgefüge und die Einflüsse anderer Variablen relevant groß, sodass aber weiterhin andere Variablen als Hebel zur Optimierung des Systems betrachtet werden müssen.

kein Eingriff sinnvoll; verstecktes Risiko

- Als nicht zielführend für die Verbesserung des betrachteten System gelten gemäß der Definition von Vester (1991) Eingriffe in die (*unten links liegenden*) Variablen Verkehrs- und Betriebssicherheit, Arbeitsbedingungen, Schonung von Umwelt und Ressourcen, Datensicherheit sowie Kundenbindung von Jugendlichen. Es ist aber denkbar, dass diese Ziele bei plötzlichem Überschreiten von Schwellen- oder Grenzwerten ein „Wolf-im-Schafspelz“-Verhalten (Vester, 1991, S. 101) aufweisen, d. h. beim Experimentieren und Überschreiten bestimmter Schwellen- oder Grenzwerte können diese – ansonsten puffernden

und konstanten – Variablen plötzlich relevante Veränderungen (z. B. über aktive und kritische Größen) im System auslösen (Vester, 1991, S. 99).

Die vorstehenden Erkenntnisse der Zusammenhänge der Variablen bzw. Ziele im System werden in die Bewertung im Kapitel 6.6.5 überführt. Für diese Bewertung werden allerdings zuvor die negativen Risiken im Kapitel 6.6.3 ermittelt und ebenfalls jeweils hinsichtlich ihrer individuellen Rolle bewertet.

6.6.3 Schritt 6.3: Bewertung der Risiken

Die über Befragungen, Interviews, Recherche und einen Workshop (vgl. Methodenbeschreibung in Kapitel 4.3 und 5.4.6) gewonnenen Risiken und Nebenwirkungen zum fahrerlosen Fahren werden vorerst ohne Wertung in der Tabelle 6-16 aufgelistet. Nach einer vorangegangenen Zusammenfassung ähnlich gearteter Aspekte verbleiben neben vielen positiven Risiken die aufgelisteten insgesamt 126 Risiken, die im Weiteren diskutiert werden. Bei den im Folgenden genannten Risiken handelt es sich um *negative* Risiken, die als Gefahren bezeichnet werden können.

**Tabelle 6-16: Liste der aggregierten (negativen) Risiken
(ohne Rangfolge, eigene Darstellung)**

Wohlfahrt (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	
	Abhängigkeiten von Monopolen in Software o. ä. mit hoher Marktmacht der Anbieter, geringe Anbietervielfalt nach Konsolidierung
	Arbeitslosigkeit in vergleichsweise niedrigen Qualifikationsniveaus
	Arbeitslosigkeit von u. a. Taxifahrenden, Busfahrenden
	geringe Anreize zum Engagement neuer Mobilitätsdienste, wenn starke Marktregulierung wie im ÖPNV erfolgt
	hohe Digitalisierungskosten
	Risiken aus Umgestaltung der Wertschöpfungsketten
	Schädigung des Fahrbahnaufbaus durch spurtreues Fahren
	sinkende Steuereinnahmen (u. a. Entfall Besteuerung klassischer Fahrzeuge)
	starker Wandel des Automobilsektors bei zunehmender Digitalisierung und Einfluss der Softwarebranche
Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	
	Arbeitsplatzentfall bei Polizei, Rettungsdienst (weniger Aufwand für Unfälle; geringere Verfügbarkeit der Dienste)
	Einschränkung und Reduzierung der privaten Parkplätze
	Fortbewegung wird langsamer (wegen entsprechender programmierter Fahrweise)
	Gefährdung / Herausforderung klassischer Kfz-Werkstätten
	Gefährdung traditioneller Automobilkonzerne und deren Arbeitsplätze
	Gefährdung Versicherungsbranche (bei weniger Unfällen) und deren Arbeitsplätze
	mögliche Insolvenz bei Firmen, die viel Aufwand in Forschung und Entwicklung für fahrerloses Fahren gesteckt haben
	Park- und Bußgeldeinnahmen entfallen für Städte
	starke Regulierung des Mobilitätsmarktes
	steigende Mobilitätskosten, geringere Erschwinglichkeit der Mobilität u. a. durch Digitalisierung
	Verlust von Kunden im öffentlichen Verkehr (einzelwirtschaftlich)
Verkehr	
	Benachteiligung von Level-0-Teilnehmenden im Verkehrsgeschehen (z. B. Radfahrende)
	Rückgang des gebündelten ÖPNV durch neue attraktivere individuelle Angebotsformen

Umweltqualität	
	Emissionen aus Leer- und Mehrfahrten durch Valet-Parking mit entsprechenden Umwelt- und Umfeldauswirkungen
	Fahrverhalten der Fahrzeuge wird analog zu menschlichen Fahrtypen implementiert ohne Nachhaltigkeitsgewinne
	geringere Identifikation mit dem Fahrzeug, weniger Bewusstsein für Energieeinsparung, Sauberkeit, etc.
	gesteigerte Attraktivität von Individualfahrzeugen durch fahrerlose Technik (Verlagerung von Umweltverbund auf MIV)
	große Flächen als Parkplätze für fahrerlose Flotten an neuen Standorten notwendig
	Rebound-Effekte (z. B. weniger Zufußgehende, erhöhter Ressourcenverbrauch, Entsorgen funktionsfähiger Vehikel,...)
	steigender Lkw-Verkehr, Zunahme Güter- und Frachtaufkommen (aufgrund sinkender Kosten), weniger Schienen- und Binnenschiffverkehrsverkehr
	Steigerung des Energieverbrauchs durch Betrieb der Computersysteme und Kommunikationsinfrastruktur
	Steigerung des Energieverbrauchs u. a. durch Leer- und Mehrfahrten
	Veränderung Modal Split (Reduktion von zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren) mit Umweltrisiko
	Verlagerung von Lärmemissionen (durch andere Fahrtwege und Fahrzeuge)
Sicherheit	
	Angst vor Strahlung, unsichtbaren oder unbekannten gesundheitlichen Risiken
	Aufwendige Sicherheitskonzepte, welche ermöglichen, dass das Fahrzeug jederzeit in einen sicheren Zustand gebracht werden kann
	Gefährdung durch Fehler in einem neuen Risikomanagementsystem
	Gefährdung von Datenschutz / -sicherheit
	hohe Dynamik des hybriden Verkehrs (fahrerlose und Level-0-Fahrzeuge im Mischverkehr)
	Manipulation, Sabotage, Hackerangriffe auf einzelne Fahrzeugen oder ganze Flotten
	Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Attentat o. ä.
	Missbrauch der Überwachungsfunktionen, Spionage
	neue Herausforderungen in der (digitalen) Stör- und Unfallanalyse
	Reduzierung der Rettungswachen (weil weniger Unfälle, längere Wartezeiten im Notfall)
	Schwierigkeiten der Evakuierung aus dem Fahrzeug bei Hilfssuchenden (mangels Personal vor Ort, ältere Menschen, Mobilitätseingeschränkte, Hilflöse)
	Sinken der Akzeptanz von Anschnallgurten etc.
	steigende technische Fehlerquote mit steigender Komplexität des Systems / der Vernetzung
	Überfälle auf Personen im fahrerlosen Fahrzeug, Belästigung Fahrgäste, Entführung von Personen im fahrerlosen Fahrzeug
	Unfälle, neue Unfallkonstellationen durch die Komponente "Maschine", Erhöhung der Anzahl von Unfällen mit technischem Defekt oder Mangel
	Vandalismus (im öffentlichen Verkehr)
	Verkehrssicherheitsrisiken in langanhaltender Phase des Mischverkehrs fahrerloser und konventioneller Fahrzeuge – menschliches Verhalten ist nicht grundsätzlich regelkonform – bleibendes Risiko bei Mischverkehr für alle Beteiligten
	Verkehrsteilnehmende verlieren die Übung im Bedienen von Kraftfahrzeugen

	Verständnisprobleme zwischen Verkehrsteilnehmenden und dem fahrerlosen Fahrzeug (und in Folge Unfälle)
Recht	
	Einschränkungen der individuellen Mobilität z. B. durch Beschränkung der Zulassung von MIV
	Lücken in Gesetzgebung zum Datenschutz und Anonymisierung im fahrerlosen Verkehr
	neue noch unbekannte verkehrssicherheitstechnische Probleme
	rechtliche Unsicherheiten im Umgang im vielfältigen Mischverkehr (fahrerlose / automatisierte / assistierte / Level-0-Fahrzeuge)
	Risiken einer gesteigerten Komplexität der Verschuldensfrage im Schadensfall
	unklarer Grad der Regelkonformität der fahrerlosen Fahrzeuge (Vorschriftentreue der Fahrzeuge)
Psychologie	
	Angst vor Kontrollverlust, fehlendes Technikvertrauen (im Fahrzeug / um das Fahrzeug herum)
	bestehende [nicht überzeugende] Fahrassistenzsysteme werden wenig genutzt, was die Akzeptanz des fahrerlosen Fahrens später erschwert
	Risiko durch absolute Unschärfe des Begriffs autonomes Fahren in der Öffentlichkeit
	Verlust des individuellen Fahrstils
Infrastruktur	
	Herausforderungen für die Straßenplanung durch neue und wandelnde Infrastrukturanforderungen
	Mängel im leistungsfähigen Datenaustausch über Mobilfunk / durch fehlendes flächendeckendes Mobilfunknetz
	stärkere Zersiedelung durch verbesserte Erreichbarkeit
	Störungsrisiken mit Unterhaltungsaufwand aus hohem Kommunikationsbedarf mit der Infrastruktur
	Vergrößerung der Verkehrsinfrastruktur für erhöhte Nachfrage bei höherer Verkehrsleistung
Gesundheit	
	im Notfall keine Hilfe im Fahrzeug, kein Bemerken von Notfällen im Fahrzeug, Todesfall unbemerkt im Fahrzeug
	Pandemie o. ä. durch Übertragung über grundsätzlich gemeinsam genutzte Fahrzeuge
	weniger körperliche Bewegung der Menschen durch fahrerlose Systeme (Gesundheit)
Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	
	Ausgrenzung vom System durch Zutrittsbeschränkungen mittels Social Scoring o. ä.
	Barrierewirkung von Straßen verstärkt sich bei autonom dicht fahrenden Kolonnen
	Benachteiligung von Nutzenden und Verkehrsteilnehmenden ohne Vernetzung und ohne Automatisierung
	fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz)
	Gefährdung des Bestands und der Nutzbarkeit von Oldtimern als Kulturgut
	geringerer Komfort als im individuellen privaten Kfz
	Keine Hilfe bei besonderen Bedürfnissen im ÖV (Ältere, Menschen mit Behinderung ...)
	negativer Eingriff ins Stadtbild (hier: Altstadt von Lauenburg/Elbe)

Spaltung der Gesellschaft in Mobile und Nicht-Mobile (wegen steigender Kosten / möglicher Wegfall Individualverkehr oder ÖPNV)
Beeinträchtigung der Privatsphäre in den Fahrzeugen und in der Nähe dieser
digitale (Zugangs-)Barrieren, Unsicherheiten im Umgang mit Technik
geringe Sauberkeit im Fahrzeug bei kollektiver Nutzung
Innovationsträgheit bei Aufgabenträgern führt zur Entscheidungsunfähigkeit bzw. größerer Marktmacht der Industrie
Missbrauch von Minderjährigen im Fahrzeug
Risiken aus sozialem Abhängigkeitsverhältnis zu fahrerloser Mobilität
Unklarheiten in der Verantwortlichkeit bei Haftung mit Risiko eigener Betroffenheit
Verwendung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung für Technik zur Kriegsführung
Widerstand der betroffenen Arbeitskräfte
Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)
allgemeine Risiken durch nicht ausgereifte Technik, technisches Versagen (ohne Begriffe wie Sicherheit, Unfall,...)
allgemeiner Wertewandel führt zur Nichtnutzung aufwendig entwickelter fahrerloser Technik (Bsp. Reisen verliert an Bedeutung, Metaversum)
andere Technologie entsteht als Konkurrenz zum automatisierten Fahren, sodass Investitionen hinfällig sind (Bsp. Beamern ...)
Ausschluss von Personen durch fehlende Möglichkeit des Fahrkartenkaufs und -kontrolle im Fahrzeug
Einfluss und internationale Entwicklungen geben einen Automatisierungstrend ohne Gestaltungsoptionen vor
Entwicklung eines kleinteiligen Marktes mit sehr hohem Abstimmungsbedarf für relevante Institutionen
Fahrzeugüberfüllung und verbundene Betriebsprobleme (genannt hier zu Schülerverkehren)
fehlende Arbeitskräfte bei den Kommunen und Aufgabenträgern, um neue Herausforderungen zu bewältigen
fehlende Einheitlichkeit der Infrastruktur für verschiedene Fahrzeugtypen, Flotten, Systeme
fehlende soziale Kontrolle (in Konsequenz Vandalismus, Überfälle, Angsträum, fehlende Akzeptanz)
fehlendes qualifiziertes Personal für die Schaffung, den Betrieb und die Unterhaltung fahrerloser Flotten (Ausfall der Systeme)
Fehlentwicklung des ganzen Verkehrssystems (ohne genauere Beschreibung)
Fehler in der ständigen Interpretation und Prognose des Umfelds in Echtzeit mit KI
Herausforderung eines Berichts- und Dokumentationswesens für herstellerübergreifende Analysen (vgl. Störfallbericht Atomkraftwerk, Blackbox Flugzeug)
Herausforderungen durch zusätzliche Systemübergänge (häufiges Umsteigen, Komplexität, Verlässlichkeit)
Kompatibilitätsprobleme zwischen fahrerlosen und klassisch gesteuerten Verkehrsmitteln
Konstruktion eines selbstlernenden nicht kontrollierbaren Systems
Nichtakzeptanz der Verkehrsteilnehmenden klassisch gefahrener Fahrzeuge (Missbrauch der defensiven Fahrweise fahrerloser Fahrzeuge)
Nichtkompatibilität / Risiken einer individuellen Regelungsvielfalt (Bsp. Systemwechsel bei Eisenbahn bei grenzüberschreitenden Verkehren)

Risiko fehlender Balance der Steuerung zwischen Push&Pull
Risiko steigender Komplexität für Verkehrsteilnehmende zur Teilhabe (u. a. durch Digitalisierung und Auflösen der Systemgrenzen zwischen ÖV, Sharing etc.)
Risiko von großflächigen Störungen durch Software-/Sensorfehler (ggf. ganzer Flottenbetriebe) mit Einschränkungen der Mobilität
Risiko von systemrelevanten Ausfällen (über vollständige Abhängigkeit Energie- und Mobilfunkversorgung)
Schnittstellenprobleme in der Car-2-X-Kommunikation, Car-2-Car-Kommunikation
steigendes Risiko für Fehlentwicklungen bei wachsender Bedeutung strategischer Entscheidungen
Steigerung der Abhängigkeit zu technischen Systemen
Störungen des Verkehrsablaufs durch Halten zum Ein- und Ausstieg oder Be- und Entladen
Überforderung der Nutzenden wegen fehlendem persönlichen Kontakt, AnsprechpartnerIn und Kontrolle im Bus
Überforderung fahrerloser Fahrzeuge mit Umfeldbedingungen und -ereignissen (bestehende Infrastruktur, Menschen, Tiere,...)
Unsicherheiten für Raumverfügbarkeit im ÖPNV (Kinderwagen, Rollstuhl, Gruppen ...), zu kleines Fahrzeug
Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste
Verkehrsbehinderungen durch Pannen und ungeplante Halte fahrerloser Fahrzeuge, Anforderungen an Reaktionszeiten
Verkehrsgeschehen wird in Abhängigkeit von der Programmierung der Fahrzeugbereitstellenden stehen
wetterbedingte temporäre Störungen der Technik
Ethik
nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmende werden der Gefahr fahrerloser Fahrzeuge ausgesetzt (Rad- und Fußverkehr ...)
Risiko von kritischem ethischen Verhalten von Fahrzeugen
Weiteres
noch offene / ungeklärte Sachverhalte allgemein

Die Liste der Risiken ist sehr umfangreich, kann aber in Anbetracht möglicher Zukünfte längst nicht vollständig sein. In den folgenden Abschnitten wird auf die 126 Risiken die zuvor in Kapitel 5.4.6 entwickelte Methodik angewendet. Die detaillierten Angaben zu den Eingangsdaten in die Berechnung befinden sich in Anlage 10.6.1.

Aktuelle Risikowahrnehmung

Aus 569 als Freitextangaben der Befragten genannten Risiken wurden nach Clusterung die Angaben zusammengestellt, die mindestens fünfmal genannt wurden. Daraus ergeben sich 18 am häufigsten genannte Gefahren, die in ihrer Rangfolge von der höchsten Wahrnehmung absteigend in Tabelle 6-17 aufgelistet sind.

Ergebnisse aus
den Befragungen

**Tabelle 6-17: Von den Befragten am häufigsten genannte Risiken
(Auszug aus Tabelle 10-11, eigene Darstellung)**

	Risiko
1.	Unfälle, neue Unfallkonstellationen durch die Komponente "Maschine", Erhöhung der Anzahl von Unfällen mit technischem Defekt oder Mangel (117 Nennungen)
2.	Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste (105 Nennungen)
3.	Arbeitslosigkeit von u. a. Taxifahrenden, Busfahrenden (79 Nennungen)
4.	Allgemeine Risiken durch nicht ausgereifte Technik, technisches Versagen (ohne Begriffe wie Sicherheit, Unfall ...) (63 Nennungen)
5.	Vandalismus (im öffentlichen Verkehr) (33 Nennungen)
6.	fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz) (23 Nennungen)
7.	Überforderung der Nutzenden wegen fehlendem persönlichen Kontakt, AnsprechpartnerIn und Kontrolle im Bus (14 Nennungen)
	Risiko von großflächigen Störungen durch Software-/Sensorfehler (ggf. ganzer Flottenbetriebe) mit Einschränkungen der Mobilität (14 Nennungen)
8.	steigende Mobilitätskosten, geringere Erschwinglichkeit der Mobilität u. a. durch Digitalisierung (13 Nennungen)
9.	Angst vor Kontrollverlust, fehlendes Technikvertrauen (im Fahrzeug / in der Nähe des Fahrzeugs) (12 Nennungen)
10.	keine Hilfe bei besonderen Bedürfnissen im ÖV (Ältere, Menschen mit Behinderung ...) (10 Nennungen)
	Manipulation, Sabotage, Hackerangriffe auf einzelne Fahrzeuge oder ganze Flotten (10 Nennungen)
	Verkehrsbehinderungen durch Pannen und ungeplante Halte fahrerloser Fahrzeuge, Anforderungen an Reaktionszeiten (10 Nennungen)
11.	Überforderung fahrerloser Fahrzeuge mit Umfeldbedingungen und -ereignissen (bestehende Infrastruktur, Menschen, Tiere ...) (9 Nennungen)
12.	Überfälle auf Personen im fahrerlosen Fahrzeug, Belästigung Fahrgäste, Entführung von Personen im fahrerlosen Fahrzeug (8 Nennungen)
13.	Unsicherheiten für Raumverfügbarkeit im ÖPNV (Kinderwagen, Rollstuhl, Gruppen ...), zu kleines Fahrzeug (7 Nennungen)
14.	im Notfall keine Hilfe im Fahrzeug, kein Bemerkten von Notfällen im Fahrzeug, Todesfall unbemerkt im Fahrzeug (6 Nennungen)
15.	Unklarheiten in der Verantwortlichkeit bei Haftung mit Risiko eigener Betroffenheit (5 Nennungen)

Besonders oft erwähnen die Befragten die aus Unfällen im Verkehr hervorgehenden Risiken. Neben dieser Gefährdung der Gesundheit folgen viele Nennungen der Störungen der bestehenden Mobilität, z. B. durch Verkehrsbehinderungen, die der Einsatz fahrerloser Fahrzeuge verursacht. Zum Zeitpunkt der Analyse haben diese oft genannten Risiken im öffentlichen Fokus eine besondere Bekanntheit und damit eine einhergehende Brisanz in Folge von Ereignissen, die diese Gefahren nähren.

Während die beiden in Tabelle 6-17 erstgenannten Punkte die eigene Unversehrtheit der Befragten betreffen, ist die Sorge vor Arbeitsplatzverlust als drittplatzierte Nennung eine Sorge um maßgeblich Andere. Nach dem Aspekt der Risiken aus technischem Versagen scheint das Thema des Vandalismus zudem präsent zu sein und damit als störend empfunden zu werden.

Fokus auf
Haushalte im
Testfeld
Lauenburg/Elbe

Werden bei der Auswertung nur die Antworten der Haushaltsbefragung in Lauenburg/Elbe *vor* sowie mehrere Monate *nach* der Inbetriebnahme des Testfeldes betrachtet, ergeben sich Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung, die in Tabelle 6-18 aufgelistet sind. Es werden in der Tabelle Risiken aufgeführt, die mindestens 5 % der genannten Gefahren in den Nennungen ausmachen. Die Umfrage wurde vor und nach Inbetriebnahme im selben Gebiet durchgeführt – allerdings heißt das nicht, dass hier dieselben Personen geantwortet haben.

Tabelle 6-18: In den Haushaltsbefragungen in Lauenburg/Elbe
(vorher/nachher) genannte Risiken aus N = 303 (vorher) bzw.
N = 115 (nachher) bezogen auf alle genannten Gefahren,
Sortierung nach Häufigkeit der Nennungen (eigene Darstellung)

Risiken aus der ersten Haushaltsbefragung vor Inbetriebnahme des Testfeldes		Risiken aus der zweiten Haushaltsbefragung nach mehreren Monaten Testfeldbetrieb	
Gefahr	Anzahl Nennungen n	Gefahr	Anzahl Nennungen n
Unfälle, neue Unfallkonstellationen durch die Komponente "Maschine", Erhöhung der Anzahl von Unfällen mit technischem Defekt oder Mangel	77 (25,4 %)	Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste	56 (48,7 %)
Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste	40 (13,2 %)	Allgemeine Risiken durch nicht ausgereifte Technik, technisches Versagen (ohne Begriffe wie Sicherheit, Unfall ...)	10 (8,7 %)
Allgemeine Risiken durch nicht ausgereifte Technik, technisches Versagen (ohne Begriffe wie Sicherheit, Unfall ...)	38 (12,5 %)	Unfälle, neue Unfallkonstellationen durch die Komponente "Maschine", Erhöhung der Anzahl von Unfällen mit technischem Defekt oder Mangel	7 (6,1 %)
Arbeitslosigkeit von u. a. Taxifahrenden, Busfahrenden	29 (9,6 %)	Arbeitslosigkeit von u. a. Taxifahrenden, Busfahrenden	7 (6,1 %)
Vandalismus (im öffentlichen Verkehr)	29 (9,6 %)	steigende Mobilitätskosten, geringere Erschwinglichkeit der Mobilität u. a. durch Digitalisierung	6 (5,2 %)
fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz)	17 (5,6 %)	(...)	
(...)		Vandalismus (im öffentlichen Verkehr)	1 (0,9 %)
		fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz)	0 (0,0 %)

Während vor Beginn des Testfeldbetriebes Bedenken zur Sicherheit des fahrerlosen Fahrens bei 25,4 % der Nennungen in Lauenburg/Elbe im Vordergrund stand, rückten nach mehreren Monaten Testbetrieb die Störungen des Verkehrsablaufs in den Hauptfokus bei der Nennung von Risiken (48,7 %).

Befragung der Fahrzeugbegleitenden

In der separaten Befragung der Fahrzeugbegleitenden werden diese hinsichtlich der Risiken des Einsatzes von fahrerlosen Minibussen befragt. Dabei benennen fünf von neun Fahrzeugbegleitenden die Schwierigkeiten in der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden, Störungen durch Technik, Sensorik und Ortungsverlust sowie durch ungeplante Hindernisse im Fahrweg. Jeweils vier Mal werden fehlende Akzeptanz durch unzureichende Reisegeschwindigkeit für die Mitfahrenden und Verkehrsbehinderung für andere Verkehrsteilnehmende angesprochen. Ferner nennen die Fahrzeugbegleitenden die Probleme der fehlenden Rücksichtnahme im Verkehr und Vandalismus (je drei Nennungen) und Gefährdungen der Mitfahrenden durch starke Bremsungen (zwei Nennungen) sowie Probleme der Regulierung bei Überfüllung (z. B. im Schülerverkehr), Gefährdung von Arbeitsplätzen und unzureichende Hilfe bei Störungen oder Unfällen (je eine Nennung).

Ergänzungen durch ExpertInnen

Im abschließenden ExpertInnenworkshop mit Verkehrsplanenden kamen zu den bereits genannten Risiken noch einige neue Gefahren hinsichtlich fahrerloser Minibusse im ÖPNV hinzu, die von den zuvor Befragten nicht erwähnt wurden:

- Herausforderungen durch zusätzliche Systemübergänge (häufiges Umsteigen, Komplexität, Verlässlichkeit)
- Kompatibilitätsprobleme zwischen fahrerlosen und klassisch gesteuerten Verkehrsmitteln
- fehlende soziale Kontrolle (in Konsequenz Vandalismus, Überfälle, Angstraum, fehlende Akzeptanz)
- fehlende Einheitlichkeit der Infrastruktur für verschiedene Fahrzeugtypen, Flotten, Systeme
- Inkompatibilität / Risiken einer individuellen Regelungsvielfalt (Bsp. Systemwechsel bei der Eisenbahn bei grenzüberschreitenden Verkehren)
- Nichtakzeptanz der Verkehrsteilnehmenden klassisch gefahrener Fahrzeuge (Missbrauch der defensiven Fahrweise fahrerloser Fahrzeuge)
- Ausgrenzung von digitalisierten Transportsystemen durch Zutrittsbeschränkungen mittels Social Scoring o. ä.
- Risiko fehlender Balance der Steuerung zwischen Push&Pull

Auch hier zeigen sich zumeist weitere Einführungsrisiken zur Integration fahrerloser Fahrzeuge in das bestehende klassische Verkehrssystem.

Schadensausmaß der Folgen des negativen Risikos

Basierend auf der Bewertung der Personenschäden (g), Sach- und Umweltzerstörung (h) sowie Reichweite (i) (jeweils auf einer Skala von null bis drei)³⁹ der einzelnen negativen Risiken ergeben sich über die Formel **(1)** insgesamt 25 Gefahren mit dem größten Ausmaß A_u (bei Gleichgewichtung der Bewertungskriterien untereinander). Die nachfolgenden Gefahren haben nach Anwendung der Formel von A_u (siehe Kapitel 5.4.6) auf der verfügbaren Skala von null bis neun mindestens eine Bewertung von drei (Reihenfolge vom größtem Ausmaß $A_u = 6$ absteigend bis $A_u = 3$, siehe Anlage 10.6.1). Kein Risiko erreicht in der vorgenommenen Bewertung das höchste Ausmaß der Stufe neun. Die Anzahl der Sternchen (*/**) hinter einem Risiko gibt die Unsicherheit an, ob und wie viele der drei Summanden als „ungewiss/unklar“ zum jeweiligen Risiko bewertet worden sind.

³⁹ Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt auf Grundlage der in aufgeführten Einstufungen nach Deutsches Institut für Normung e. V. (2021) und Richter (1958).

**Tabelle 6-19: Rangfolge des Schadensausmaßes von negativen Risiken
(Auszug aus Tabelle 10-11, eigene Darstellung)**

A_u	Risiko
A_u = 6	Verwendung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung für Technik zur Kriegsführung
	Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Attentat o. ä.
A_u = 5	Konstruktion eines selbstlernenden nicht kontrollierbaren Systems*
A_u = 4	Emissionen aus Leer- und Mehrfahrten durch Valet-Parking mit entsprechenden Umwelt- und Umfeldauswirkungen*
	Rebound-Effekte (z. B. weniger Zufußgehende, erhöhter Ressourcenverbrauch, Entsorgen funktionsfähiger Vehikel ...)*
	gesteigerte Attraktivität von Individualfahrzeugen durch fahrerlose Technik (Verlagerung von Umweltverbund auf MIV)*
	steigender Lkw-Verkehr, Zunahme Güter- und Frachtaufkommen (aufgrund sinkender Kosten), weniger Schienen- und Binnenschiffverkehrsverkehr*
	Risiko von systemrelevanten Ausfällen (über vollständige Abhängigkeit Energie- und Mobilfunkversorgung)*
	Steigerung der Abhängigkeit zu technischen Systemen*
	Einfluss und internationale Entwicklungen geben einen Automatisierungstrend ohne Gestaltungsoptionen vor*
	Steigerung des Energieverbrauchs u. a. durch Leer- und Mehrfahrten*
	Manipulation, Sabotage, Hackerangriffe von einzelnen Fahrzeugen oder ganzen Flotten
	Steigerung des Energieverbrauchs durch Betrieb der Computersysteme und Kommunikationsinfrastruktur
	Verkehrssicherheitsrisiken in langanhaltender Phase des Mischverkehrs fahrerloser und konventioneller Fahrzeuge – menschliches Verhalten ist nicht grundsätzlich regelkonform – bleibendes Risiko bei Mischverkehr für alle Beteiligten
	Risiko fehlender Balance der Steuerung zwischen Push&Pull
	Veränderung Modal Split (Reduktion von zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren) mit Umweltrisiko
A_u = 3	Risiken aus sozialem Abhängigkeitsverhältnis zu fahrerloser Mobilität**
	Risiko von großflächigen Störungen durch Software-/Sensorfehler (ggf. ganzer Flottenbetriebe) mit Einschränkungen der Mobilität*
	Verlagerung von Lärmemissionen (durch andere Fahrtwege und Fahrzeuge)*
	Fehlentwicklung des ganzen Verkehrssystems*
	Risiko steigender Komplexität für Verkehrsteilnehmende zur Teilhabe (u. a. durch Digitalisierung und Auflösen der Systemgrenzen zwischen ÖV, Sharing etc.)
	stärkere Zersiedelung durch verbesserte Erreichbarkeit
	Beeinträchtigung der Privatsphäre in den Fahrzeugen und in der Nähe dieser
	weniger körperliche Bewegung der Menschen durch fahrerlose Systeme (Gesundheit)
	Störungsrisiken mit Unterhaltungsaufwand aus hohem Kommunikationsbedarf mit der Infrastruktur

Die Anzahl der Sternchen (*/**) hinter einem Risiko gibt die Unsicherheit an, ob und wie viele der drei Summanden als „ungewiss/unklar“ zum jeweiligen Risiko bewertet worden sind (* = eine Variable nicht bestimmbar, ** = zwei Variablen nicht bestimmbar).

Der **Missbrauch** der Technologieentwicklung des fahrerlosen Fahrens für den Verwendungszweck der Gewaltausübung erscheint real, erlaubt es (wie bei unbemannten Drohnen) einen Einsatz ohne den Initiierenden direkt in Gefahr zu bringen. Wobei es grundsätzlich unabhängig vom Mobilitätssektor möglich ist, dass losgelöst die autonome Technologie für einen effizienteren Einsatz von Krieg und Terror weiterentwickelt werden kann und nicht zwingend dabei die Ressourcen der zivilen Entwicklung notwendig erscheinen, es aber beschleunigen können. In einem anderen Zusammenhang kann der vermehrte Einsatz persönlicher Daten und Erkennungstechnologie einen Eingriff in die Privatsphäre mit entsprechenden Missbrauchsrisiken bedeuten.

Ein weiterer Themenblock größeren Ausmaßes ist die steigende **Abhängigkeit von der Funktionsfähigkeit der Technik und die Auswirkungen von Störungen**. Die größere Digitalisierung wird die Notwendigkeit und Verfügbarkeit von Mobilfunk und digitalen Daten steigern, die bei Ausfall zum Stillstand des gesamten Verkehrs (und in Folge von Teilen der Wirtschaft) führen können. Bereits zu Beginn der Einführung des fahrerlosen Fahrens ergibt sich die große Abhängigkeit von stabil funktionierenden Systemen. Mit einer Diffusion der Technik wird sich eine weitere Herausforderung entwickeln, da immer weniger Personen einen Führerschein oder hinreichend Fahrpraxis besitzen, um klassische Fahrzeuge sicher zu bedienen. In diesem Zusammenhang und unter der Berücksichtigung, dass der klassische Kfz-Bestand sich reduzieren wird, ist es bei einer Diffusion des fahrerlosen Fahrens mit jedem Tag schwieriger zurück zum System des manuellen Fahrens zu gelangen. Es ist – insbesondere bei einer langen Parallelexistenz – jedoch nicht ausgeschlossen, sodass die fahrerlose Technik als reversibel gelten kann. Zudem ist (ähnlich zum vorherigen Themenblock) klarzustellen, dass Abhängigkeitsausprägungen im Zuge der laufenden Digitalisierung bereits eingetreten sind (z. B. vom Internet) und fahrerloses Fahren nur als ein Verstärker in die Mobilität diesem Abhängigkeitstrend folgen wird.

Neben der zuvor beschriebenen technischen **Abhängigkeit**, die auch zu einer wirtschaftlichen Abhängigkeit führt, ergibt sich eine soziale Abhängigkeit: Sollten andere Verkehrsmittel nicht mehr in dem Umfang zur Verfügung stehen, wird jeder auf die Nutzung fahrerloser Fahrzeuge angewiesen sein. Sollte sich durch das fahrerlose Fahren der ÖPNV in ländlichen Räumen reduzieren, wird die Daseinsvorsorge für Menschen in diesen Räumen gefährdet. Dies gilt gleichermaßen für viele Personengruppen, falls die fahrerlose Technik zu komplex und nicht barrierefrei nutzbar ist. Sollte die Nutzung des fahrerlosen Fahrens zu teuer werden, besteht ebenfalls das Risiko der Ausgrenzung von Personengruppen.

Durch die potentielle Entstehung von mehr Verkehr im Mobilitätssystem bei einfacher Nutzbarkeit, hoher Attraktivität und fehlender Notwendigkeit einer Fahrqualifikation oder eines Fahrzeugsteuernden ergeben sich durch das fahrerlose Fahren Risiken der negativen **Umwelt- und Umfeldeffekte** oder einer größeren Zersiedelung in ländlichen

Räumen, die eine hinreichende Daseinsvorsorge erschwert. Auch die mögliche vermehrte Nutzung für Wege, die grundsätzlich mit anderen Optionen wie zu Fuß oder mit dem Fahrrad bewältigbar wären, kann zu negativen Effekten führen, die durch Bewegungsreduzierung direkt die Gesundheit der Menschen betreffen.

Ungerechtigkeitsfaktor

Bei der Anwendung der Methodik aus Kapitel 5.4.6 mit der Formel **(2)** zum Ungerechtigkeitsfaktor U von Risiken erhalten neun Risiken den Maximalwert von $U = 9$ und 36 Risiken den Wert von $U = 6$. Die übrigen 50 Risiken werden mit $U \leq 5$ bewertet. Die Gesamtübersicht findet sich in Anlage 10.6.1. Die in Tabelle 6-20 aufgeführten neun Risiken werden als besonders ungerecht eingestuft (ohne Rangfolge, alle mit $U = 9$ bewertet). Alle sind als passive Gefahren eingestuft, d. h. Menschen werden den Gefahren anderer Initiierender ausgesetzt – ohne dass die Initiierenden selbst von der Gefahr betroffen sind. Gleichzeitig haben die genannten Risiken gemeinsam, dass es sich bei allen um zugemutete Gefahren ohne Ausweichmöglichkeit handelt.

Tabelle 6-20: Risiken mit hohem Ungerechtigkeitsfaktor (Auszug für $U = 9$ aus Tabelle 10-11 ohne Rangfolge, eigene Darstellung)

U	Risiko
U = 9	Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Attentat o. ä.***
	Missbrauch der Überwachungsfunktionen, Spionage
	Missbrauch von Minderjährigen im Fahrzeug
	Überfälle auf Personen im fahrerlosen Fahrzeug, Belästigung Fahrgäste, Entführung von Personen im fahrerlosen Fahrzeug
	im Notfall keine Hilfe im Fahrzeug, kein Bemerkten von Notfällen im Fahrzeug, Todesfall unbemerkt im Fahrzeug
	keine Hilfe bei besonderen Bedürfnissen im ÖV (Ältere, Menschen mit Behinderung ...)
	Schwierigkeiten der Evakuierung aus Fahrzeug bei Hilfssuchenden (mangels Personal vor Ort, ältere Menschen, Mobilitätseingeschränkte, Hilflöse)
	Spaltung der Gesellschaft in Mobile und Nicht-Mobile (wegen steigender Kosten / möglicher Wegfall Individualverkehr oder ÖPNV)
	Verwendung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung des fahrerlosen Fahrens für Technik zur Kriegsführung***
*** = bei gleichzeitig hohem Schadensausmaß $A_u = 6$ gemäß Tabelle 6-19	

Die mit drei Sternen (***) versehenen Gefahren werden als Risiken mit hohem Schadensausmaß im vorangegangenen Abschnitt aufgeführt. Allen anderen Risiken mit einem hohem Ungerechtigkeitsfaktor wird ein geringes absolutes Schadensausmaß A_u unterstellt. Dies bedeutet, dass diese Risiken zwar eine große Reichweite entfalten können, aber von einer sehr hohen gleichzeitigen Anzahl an Personenschäden oder Sach- und

Umweltzerstörung nicht auszugehen ist. Dadurch sind bei diesen Risiken (ohne ***) beim Erkennen der aufkommenden Gefahr Gegenmaßnahmen möglich und denkbar.

Die vorgenannten Risiken mit hoher Ungerechtigkeit gefährden Gleichberechtigung und -behandlung oder die Gesundheit des Einzelnen. Gleichzeitig können sie die Akzeptanz der Technik gefährden, da die Risiken vermutlich als besonders ungerecht oder schrecklich empfunden werden. Daraus kann resultieren, dass selbst bei geringem Schadensausmaß eine mediale Beachtung und Verbreitung solcher oder ähnlicher Ereignisse im Rahmen des fahrerlosen Fahrens als wahrscheinlich gelten kann.

Unterschiede der Systemzustände fahrerloser ÖPNV gegenüber fahrerlosem MIV

Der Fokus zur Zusammenstellung der Risiken aus Befragungen und Literatur war hinsichtlich des Szenarios offen. Den Personen wurde kein genaues Szenario umschrieben, aber die Befragung lief im Rahmen des Forschungsprojektes TaBuLa und andere Fragen zielten auf den fahrerlos und automatisiert fahrenden Minibus ab, d. h. es bestand in allen Umfragen ein Fokus auf den ÖPNV und den Versuchsträger.

Bei genauerer Betrachtung der 126 im Rahmen der Analyse gesammelten Gefahren kann unterschieden werden, welche der Risiken insbesondere auf das Zukunftsszenario Z mit **fahrerlosem ÖPNV** (vgl. Kapitel 6.4.3) zutreffen. Dazu gehören (Reihenfolge von hohem Ausmaß zu niedrigem Ausmaß):

- steigende Mobilitätskosten, geringere Erschwinglichkeit der Mobilität u. a. durch Digitalisierung
- keine Hilfe bei besonderen Bedürfnissen im ÖV (Ältere, Menschen mit Behinderung ...)
- geringerer Komfort als im individuellen privaten Kfz
- Einschränkungen der individuellen Mobilität z. B. durch Beschränkung der Zulassung von MIV
- Herausforderungen durch zusätzliche Systemübergänge (häufiges Umsteigen, Komplexität, Verlässlichkeit)
- geringere Identifikation mit dem Fahrzeug, weniger Bewusstsein für Energieeinsparung, Sauberkeit, etc.
- Inkompatibilität / Risiken einer individuellen Regelungsvielfalt (Bsp. Systemwechsel bei Eisenbahn bei grenzüberschreitenden Verkehren)
- Vandalismus (im öffentlichen Verkehr)
- Überforderung der Nutzenden wegen fehlendem persönlicher Kontakt, AnsprechpartnerIn und Kontrolle im Bus
- Überfälle auf Personen im fahrerlosen Fahrzeug, Belästigung Fahrgäste, Entführung von Personen im fahrerlosen Fahrzeug
- Einschränkung und Reduzierung der privaten Parkplätze
- Ausschluss von Personen durch fehlende Möglichkeit des Fahrkartenkaufs und -kontrolle im Fahrzeug
- negativer Eingriff ins Stadtbild (hier: Altstadt von Lauenburg/Elbe)
- Gefährdung traditioneller Automobilkonzerne und deren Arbeitsplätze
- sinkende Steuereinnahmen (u. a. Entfall Besteuerung klassischer Fahrzeuge)
- starke Regulierung des Mobilitätsmarktes
- geringe Anreize zum Engagement neuer Mobilitätsdienste, wenn starke Marktregulierung wie im ÖPNV erfolgt
- fehlende soziale Kontrolle (in Konsequenz Vandalismus, Überfälle, Angstraum, fehlende Akzeptanz)
- Pandemie o. ä. durch Übertragung über grundsätzlich gemeinsam genutzte Fahrzeuge

- Unsicherheiten für Raumverfügbarkeit im ÖPNV (Kinderwagen, Rollstuhl, Gruppen ...), zu kleines Fahrzeug
- geringe Sauberkeit im Fahrzeug bei kollektiver Nutzung
- Missbrauch von Minderjährigen im Fahrzeug
- Schwierigkeiten bei der Evakuierung aus dem Fahrzeug bei Hilssuchenden (mangels Personal vor Ort, ältere Menschen, Mobilitätseingeschränkte, Hilflose)
- Entwicklung eines kleinteiligen Marktes mit sehr hohem Abstimmungsbedarf für relevante Institutionen
- Fahrzeugüberfüllung und verbundene Betriebsprobleme (genannt hier zu Schülerverkehren)

Demgegenüber stehen folgende Gefahren, die insbesondere in einem Szenario mit **fahrerlosem MIV** auftreten können. Dazu gehören (Reihenfolge von hohem Ausmaß zu niedrigem Ausmaß):

- Veränderung Modal Split (Reduktion von zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren) mit Umweltrisiko
- gesteigerte Attraktivität von Individualfahrzeugen durch fahrerlose Technik (Verlagerung von Umweltverbund auf MIV)
- steigender Lkw-Verkehr, Zunahme Güter- und Frachtaufkommen (aufgrund sinkender Kosten), weniger Schienen- und Binnenschiffverkehrsverkehr
- Fehlentwicklung des ganzen Verkehrssystems (ohne genauere Beschreibung)
- Störungsrisiken mit Unterhaltungsaufwand aus hohem Kommunikationsbedarf mit der Infrastruktur
- Vergrößerung der Verkehrsinfrastruktur für erhöhte Nachfrage bei höherer Verkehrsleistung
- Gefährdung des Bestands und der Nutzbarkeit von Oldtimern als Kulturgut
- Barrierewirkung von Straßen verstärkt sich bei fahrerlos dicht fahrenden Kolonnen
- Risiko durch absolute Unschärfe des Begriffs autonomes Fahren in der Öffentlichkeit
- Reduzierung der Rettungswachen (weil weniger Unfälle, längere Wartezeiten im Notfall)
- Sinken der Akzeptanz von Anschnallgurten etc.

Die absolute Anzahl an genannten Risiken im Szenario mit dem ÖPNV ist höher, was damit in Verbindung stehen kann, dass die Umfragen in Verbindung mit der Idee eines fahrerlosen ÖPNV durchgeführt wurden (Antwortende haben den Versuchsträger vor Augen). Wird das Ausmaß der jeweiligen Risiken je vorstehender Listen addiert, ergibt sich trotz der unterschiedlichen absoluten Anzahl der Risiken ein ausgewogenes Verhältnis ($\text{Ausmaß } U_{\text{ÖPNV}} = 25$ zu $U_{\text{MIV}} = 26$). Dies hat mangels Eintrittswahrscheinlichkeiten und Überlagerung von Annahmen allerdings eine kaum verlässliche Aussagekraft.

Erfahrungsbericht unter Einbezug des Versuchsträgers im Testfeld

Im Folgenden werden aus dem Risikopool der 126 Gefahren diejenigen aufgeführt, die tatsächlich im Testfeld in Lauenburg/Elbe in irgendeiner Form eingetreten sind (alphabetisch ohne Rangfolge):

- *Einschränkung und Reduzierung der privaten Parkplätze:* Für den reibungslosen Fahrtablauf musste der Fahrweg von Falschparkenden freigehalten werden. Eine Reduzierung von Parkplätzen fand nicht statt, allerdings eine Anzeige von Falschparkenden, was den Parkdruck in der Altstadt weiter erhöht hat.
- *fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz):* An werktäglichen Vormittagen war die Auslastung des Fahrzeuges teils sehr gering und der Versuchsträger wurde von der anliegenden Bevölkerung in geringem Umfang genutzt (aus vielfältigen Gründen).
- *fehlendes qualifiziertes Personal für die Schaffung, den Betrieb und die Unterhaltung fahrerloser Flotten (Ausfall der Systeme):* Diverse Betriebstage des Versuchsträgers sind ausgefallen, weil kein eingewiesenes Personal aus betriebsbedingten oder gesundheitlichen Gründen zur Verfügung stand. Mehrfach wurden Nachschulungen für zusätzliches Personal durchgeführt, die aber mit einer sehr hohen Abbruchquote verbunden waren, sodass bis zum Ende nicht ausreichend Personal für die notwendigen Tätigkeiten bereitstand.
- *Fortbewegung wird langsamer (wegen entsprechender programmierter Fahrweise):* Die Reisegeschwindigkeit des Versuchsträgers lag geringfügig über der Gehgeschwindigkeit, was maßgeblich im Umfeld und zur Reduzierung des Risikos von Gefahrenereignissen begründet lag.
- *Herausforderungen durch zusätzliche Systemübergänge (häufiges Umsteigen, Komplexität, Verlässlichkeit):* Es bestand ein Ziel den Versuchsträger zeitpassender an den vorhandenen ÖPNV anzubinden, dies gelang aufgrund vieler anderer Abhängigkeiten und Unzuverlässigkeit nicht.
- *hohe Digitalisierungskosten:* Um z. B. die Lichtsignalanlagen mit grundsätzlich günstigen Roadside-Units auszustatten, mussten die PC-Steuergeräte der alten Anlagen aufgrund fehlender Kompatibilität ausgetauscht werden. In diesem Zusammenhang entstanden hohe Umrüstkosten.
- *mögliche Insolvenz bei Firmen, die viel Aufwand in Forschung und Entwicklung für fahrerloses Fahren gesteckt haben:* Das als Hersteller des Fahrzeuges beteiligte Unternehmen meldete einige Monate nach Projektende Insolvenz an, die allerdings durch den Kauf eines Investors aufgehoben werden konnte.
- *negativer Eingriff ins Stadtbild (hier: Altstadt von Lauenburg/Elbe):* Es wurde Kritik geäußert, dass der Versuchsträger als störend im Ensemble des Denkmalschutzes des Stadtgebietes gesehen wird. Aufgrund von Vorgaben der Denkmalschutzbehörde wurden Infrastrukturanpassungen reversibel gestaltet (Bsp. Haltestellen, Landmarker und Beschilderung).
- *Neue Herausforderungen in der (digitalen) Stör- und Unfallanalyse:* Potentiell gefährliche Ereignisse, wie z. B. das Auslösen des Notstopps aufgrund eines ggf. anstehenden Zusammenstoßes, wurden jeweils untersucht. Die

Untersuchung gestaltete sich aufgrund der Datenschutzvorgaben und der Herstellerhoheit über die Dokumentation als aufwendig. Es bestand die Angewiesenheit auf die Analyse von Personen, die nicht vor Ort waren und ihre Aussagen auf bedingt umfassende Sensor- und Videodaten aufbauen mussten.

- *Pandemie o. ä. durch Übertragung über grundsätzlich gemeinsam genutzte Fahrzeuge:* Während der COVID-19-Pandemie zeigte sich das Fahrzeug und dessen Lüftungskonzept als ungeeignet, wodurch der Betrieb mehrfach lange Zeiträume eingestellt werden musste.
- *Risiken einer gesteigerten Komplexität der Verschuldensfrage im Schadensfall / Unklarheiten in der Verantwortlichkeit bei Haftung mit Risiko eigener Betroffenheit:* Mit der Implementierung des Projektes war ein längerer Vertragsverhandlungsprozess verbunden, der von Anwälten begleitet wurde, um u. a. Durchgriffsrechte an Unternehmen und Versicherungen sowie höhere Haftungssummen durchzusetzen.
- *Risiko von systemrelevanten Ausfällen (über vollständige Abhängigkeit Energie- und Mobilfunkversorgung):* Vereinzelte Ausfälle des Mobilfunknetzes führten zu minimalen kurzzeitigen Ausfällen im Fahrzeugbetrieb (ohne sicherheitsrelevante Vorkommnisse).
- *Schnittstellenprobleme in der Car-2-X-Kommunikation, Car-2-Car-Kommunikation:* Es bestand mehrfach ein Problem bei einseitigen Softwareupdates, sodass die eine Kommunikationskomponente ohne Update nicht in der Lage war die Befehle und Informationen der anderen Kommunikationskomponente zu interpretieren, bis entsprechend die Kompatibilität wiederhergestellt war.
- *steigende technische Fehlerquote mit steigender Komplexität des Systems / der Vernetzung:* Durch die Digitalisierung der Infrastruktur und Technik mit u. a. 25 SIM-/M2M-Karten entstand eine unübersichtliche Komplexität der Vernetzung, die im Störfalle zu besonderem Aufwand in der Störungsbeseitigung geführt hat.
- *Steigerung des Energieverbrauchs u. a. durch Leer- und Mehrfahrten:* Es sind im Testfeld TaBuLa 7.463 km Kilometer Fahrten mit 4.664 Fahrgästen entstanden, was im Mittel bei 2,5 km Streckenlänge auf keine große Auslastung des Fahrzeuges hinweist, was auf umfangreiche Einmess- und Erprobungsfahrten zurückzuführen ist.
- *Unsicherheiten für Raumverfügbarkeit im ÖPNV (Kinderwagen, Rollstuhl Gruppen...), zu kleines Fahrzeug / Fahrzeugüberfüllung und verbundene Betriebsprobleme (genannt hier zu Schülerverkehren):* An einzelnen Tagen, insbesondere am Wochenende, war die Nachfrage grundsätzlich höher als die Transportkapazität des kleinen Fahrzeuges, sodass mehrfach Fahrten abgelehnt werden mussten.
- *Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste / Verkehrsbehinderungen durch Pannen und ungeplante Halte fahrerloser Fahrzeuge, Anforderungen an Reaktionszeiten:* Durch die langsame sicherheitsorientierte Fahrweise des Versuchsträgers und

vereinzelte Betriebsstörungen entstanden in Lauenburg/Elbe vereinzelt kurze Behinderungen anderer Verkehrsteilnehmender.

- *Verlagerung von Lärmemissionen (durch andere Fahrtwege und Fahrzeuge):* Mit der gewählten Teststrecke konnte ein Teil von Lauenburg/Elbe neu erschlossen werden, was täglich bis zu 15 Mehrfahrten auf einzelnen Straßen mit dem Elektrofahrzeug mit vereinzelt Hupen oder Klingeln geführt hat.
- *Verständnisprobleme zwischen Verkehrsteilnehmenden und dem fahrerlosen Fahrzeug:* Wiederkehrend hat der Fahrzeugbegleitende Kommunikations-schwierigkeiten zwischen anderen Personen und dem Fahrzeug gelöst, z. B. durch Vorbeiwinken oder warnen von Außenstehenden. Dies führte zu keinem gefährlichen Ereignis, bietet aber Potenzial für Missverständnisse und in Folge möglicherweise Unfälle.
- *weniger körperliche Bewegung der Menschen durch fahrerlose Systeme (Gesundheit):* Das topografische Gelände von Lauenburg/Elbe führte zu einer (nicht konkret quantifizierbaren) höheren Nachfrage, weil die Menschen die körperliche Anstrengung des Anstiegs umgehen wollten.

Zusammenführung und Zwischenfazit

Es bestehen weiterhin – auch nach dem durchgeführten Testfeldbetrieb – viele Unsicherheiten und Risiken in der Einführung des fahrerlosen Fahrens. Dabei ergeben sich aus öffentlicher Wahrnehmung und möglichst objektiv erfassten Risiken des fahrerlosen Fahrens sehr unterschiedliche Blickwinkel auf die möglichen Gefahren.

Die unter großem **Schadensausmaß** aufgeführten Gefahren betreffen insbesondere Missbrauch oder Manipulation der Technologie, Umfeld-, Umwelt- und Gesundheitseffekte, Teilhabe und Komplexität mit Störungsrisiken bei hoher Abhängigkeit. In Anbetracht des Ausmaßes aller aufgeführten Risiken und der eigens vorgenommenen Bewertung ist festzustellen, dass von den Befragten dem fahrerlosen Fahren im ÖPNV keine Risiken zugeordnet werden, die direkt zu einem großen Katastrophenpotenzial führen und damit gleichzeitig und plötzlich viele Menschenleben gefährden. Es ist unwahrscheinlich, dass eine Art von GAU („Größter anzunehmender Unfall“) – wie in der Atomkraft – im fahrerlosen Fahren erfolgt. Grunwald (2015, S. 680) kommt in seiner Analyse der Risikokonstellationen für autonomes Fahren zu dem gleichen Ergebnis, dass eine GAU-Problematik nicht vorliege.

Aus der Analyse der **Ungerechtigkeit** gehen Aspekte der Hilflosigkeit, Benachteiligung, Ausgrenzung und Verletzung hervor. Diese zeigen einen hohen „Schrecklichkeitswert“, der als ungerecht empfunden wird und/oder skandalisiert werden kann. Selbst wenn das absolute monetäre Schadensausmaß bei vielen dieser Aspekte nicht hoch ist, ist diesen Gefahren im Eintrittsfall eine große Aufmerksamkeit mit relevantem Imageschaden und weiteren Konsequenzen sicher. Eine Akzeptierbarkeit der Risiken ist nicht gegeben und gefährdet bei Eintritt – insbesondere in der Übergangsphase zum fahrerlosen Fahren – die gesellschaftliche Akzeptanz. Die Themen von Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Attentat o. ä. und Verwendung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung des fahrerlosen Fahrens für Technik zur Kriegsführung tauchen hier und zuvor mit einem hohen Schadensausmaß auf.

Die (aktuellen) **Sorgen und Ängste** der Menschen hinsichtlich des fahrerlosen Fahrens spiegeln sich in der Häufigkeit der Nennungen in den Umfragen zu den Risiken wieder: Über die Themen Unfälle und technische Störungen, Einschränkungen der individuellen Freiheit oder Gewohnheiten, fehlende Berücksichtigung der individuellen Bedürfnisse und Überforderung, Arbeitslosigkeit und steigende Kosten sowie Vandalismus lassen sich die meistgenannten Punkte (stark vereinfacht) zusammenfassen. Es zeigen sich hierbei ganz andere Schwerpunkte als zuvor bei Schadensausmaß und Ungerechtigkeitsfaktor. Lediglich der Aspekt der technischen Störungen wird bereits bei hohem Schadensausmaß angeführt und der Aspekt der Überforderung hinsichtlich benachteiligter Gruppen taucht zuvor als Ungerechtigkeitsfaktor auf.

Aus den **Erfahrungen** im Testfeldbetrieb mit dem Versuchsträger zeigt sich, dass einige vermutete Risiken tatsächlich eingetreten sind: Einschränkungen des individuellen privaten Freiheitsgefühls erfolgten über die Reduzierung von Parkständen und durch den langsamen Fahrbetrieb des Versuchsträgers, der vereinzelt zu Reisezeitverlängerungen von nachfolgenden Verkehrsteilnehmenden führte. Verkehrsbehinderungen zeigen sich aus dem Testfeld und Umfragen heraus als relevantes Thema, das für die Akzeptanz von Relevanz ist. Grote, Stargardt und Wolf (2021b) untersuchen das Verkehrsgeschehen im Anwendungsfall und weisen nach, dass die Reisezeitverluste im Testfeld in Lauenburg/Elbe für andere Verkehrsteilnehmende rechnerisch sehr gering sind, solange der Versuchsträger nicht im Verkehr mit technischem Defekt liegen bleibt. Dennoch ist das Thema im starken Fokus unter den Befragten, bei denen wenige Sekunden Zeitverlust als Behinderung der eigenen Mobilität empfunden werden. Schippl et al. (2021, S. 61) schreibt: „Die Verlässlichkeit, seinem gewohnten Alltag weiter nachzugehen, scheint ein wesentliches Akzeptanzkriterium (im Sinne einer Nutzungsabsicht) für neue Mobilitätsangebote zu sein.“ Neben diesem bestätigen sich weitere Risiken im Testfeld:

- Die Befürchtung mehrerer Befragter hinsichtlich hoher Initialisierungskosten bewahrheiten sich in der Initialisierung des Testfeldes und mit der Digitalisierung der Infrastruktur, sodass im Erprobungsbetrieb die Betriebskosten pro Fahrplankilometer viel zu hoch sind (vgl. Grote und Röntgen, 2021). Der Energieverbrauch und die Leerfahrten waren dabei ebenfalls hoch. Der Hersteller der Fahrzeuge war wenige Monate nach dem Testfeldbetrieb insolvent.
- Technische Störungen traten in relevantem Umfang auf und erforderten großen Aufwand der Störungsbeseitigung. Eine neue Komplexität zeigte sich in der Vernetzung und Störungsbeseitigung, aber auch in den Verhandlungen zu rechtlichen Aspekten in neuen Abhängigkeiten und Zusammenhängen.
- Bezüglich der Risiken zur Gesundheit zeigte sich die persönliche Bequemlichkeit, indem sich die Fahrgäste dankbar zeigten, dass sie den topographischen Anstieg in Lauenburg/Elbe nicht mit eigener Kraft zurücklegen mussten. Gleichzeitig bestätigte sich die Schwierigkeit, auf jeweils aktuelle Spitzen der Fahrgastnachfrage adäquat einzugehen.
- Als unerwartete Herausforderungen, die so zuvor nicht erfasst wurden, ergab sich im Testfeldbetrieb, dass zu wenig qualifiziertes Personal als Fahrzeug-

begleitender aufgrund akuten Busfahrendenmangels bereitstand, um einen durchgängigen Betrieb zu gewährleisten.

- Die Fahrzeugbegleitenden weisen zudem auf die relevanten Verständnisdefizite zwischen dem Versuchsträger und anderen Verkehrsteilnehmenden und Fahrgästen hin, die sie durch menschliche Kommunikation ausgeglichen haben.
- Weiterhin zeigte sich ein unerwarteter Konflikt zwischen den Anforderungen des fahrerlosen Testfeldebetriebes mit dem Denkmalschutz.

Im Testfeld wurden keine Risiken erkennbar, die einen dauerhaften Abbruch des Betriebes mit dem Versuchsträger grundsätzlich notwendig machten (vgl. akute Risiken aus Versuchsbetrieben von Parodi und Beecroft, 2021, S. 385). Mehrfach wurde der Betrieb zur Analyse von aufgetretenen Problemen aus Sicherheitsgründen unterbrochen, aber nach Klärung wiederaufgenommen (z. B. nach Verletzung eines Fahrzeugbegleitenden, Kompatibilitätsproblem mit der LSA, COVID-19-Pandemie).

Es bestehen viele Risiken für verschiedene Zielgruppen, für die unter (erheblichem) finanziellem und technischem Aufwand Lösungen denkbar sind. Dem Grunde nach sind die aufgeführten und bekannten Gefahren beherrschbar oder aufhaltbar. Im Hinblick auf die relevanten monetären Einsparpotenziale durch den Entfall des Fahrpersonals im fahrerlosen Betrieb, bestehen hier Potenziale höhere Standards zur Risikominimierung anzustreben.

Die hier vorgenommene Betrachtung der Risiken erfolgt isoliert für das fahrerlose Fahren, dabei überlagern sich verschiedene Megatrends und Risiken aus der Überlagerung mit anderen Entwicklungen, die hier nicht umfassend betrachtet werden können. Beispielsweise wird für einen Intelligenzsprung der fahrerlosen Technik vermutlich KI und die weitere Vernetzung notwendig sein, die für sich mit einigen Risiken behaftet sind, die losgelöst vom fahrerlosen Fahren Beachtung erfordern: VDI (2000, S. 22) gibt vor, dass wir dem Ziel „der Beherrschbarkeit der Technik verpflichtet sein [müssen], das heißt, Technik darf sich nicht unkontrolliert und quasi eigengesetzlich entwickeln.“ Durch diese Überschneidungen überlagern sich Risiken aus anderen Bereichen ins fahrerlose Fahren und lassen sich hier nicht abschließend bewerten.

Die ermittelten und aufgeführten Risiken und eine fortschreitende Entwicklung des fahrerlosen Fahrens schließen die Reversibilität dem Grunde nach nicht aus. Es ist möglich – unter mit der Zeit immer weiter steigendem Aufwand – zurück zum „alten“ Verkehrssystem ohne fahrerlose Fahrzeuge zu kommen. So wie Grunwald (2015, S. 680) beschreibt, ist nicht zu erwarten, dass die Einführung des fahrerlosen Fahrens von heute auf morgen, sondern allmählich erfolgt. Dies zusammengefasst ist hinsichtlich der Technik als positiv zu bewerten – auch im Hinblick auf die Nutzung und Anpassungsfähigkeit für und durch künftige Generationen. Dabei muss die Technik aber fortlaufend unter allen Gesichtspunkten unter Beobachtung stehen, um Fehlentwicklungen rechtzeitig vorbeugen zu können. Bei einem Großteil von ca. 70 % der zuvor aufgeführten Gefahren handelt es sich um Einführungsrisiken. Die Diskussion der Risiken muss demnach gerade in der Einführungsphase intensiv fortgeschrieben werden, womit eine hohe Reaktionsfähigkeit mit Einfluss auf die Technikentwicklung möglich bleibt.

Proske (2022, S. 545) schreibt, dass moderne Staaten und die Gesetzgebung unbegrenzten Schutz des menschlichen Lebens versprechen, was aber durch begrenzte Ressourcen nicht einlösbar ist. Grunwald (2015, S. 678) schreibt positiv betrachtet, dass „sobald der Nutzen der Technologie groß ist, sind Menschen auch bereit, mögliche Risiken einzugehen.“ Wenn dagegen kein Nutzen erkennbar ist oder nur Andere vom Nutzen profitieren, werden in der Risikodebatte Akzeptanzprobleme auftreten (vgl. Grunwald, 2015, S. 678). Auch VDI (2000, S. 16 f.) schreibt „das Risiko einer bestimmten Technik allein [sagt] noch wenig über deren Wünschbarkeit aus; vielmehr muss es mit dem erwarteten Nutzen in Beziehung gebracht werden.“ VDI (2000) weist darauf hin, dass hierzu Vergleiche mit ähnlichen Techniken sinnvoll sind, die im folgenden Kapitel 6.6.4 erfolgen.

6.6.4 Schritt 6.4: Analogiebildung

Der in Kapitel 4.3 und 5.4.6 beschriebenen Methodik folgend werden weitere Verkehrsmittel betrachtet, um „von einer vergleichbaren früheren Entwicklung auf den zu erwartenden Verlauf einer gegenwärtigen Entwicklung...“ (VDI, 2000, S. 37 f.) zu schließen. In die Analogiebildung werden als Beispiele Transrapid, Swissmetro, Cabintaxi, Segway und fahrerlose U-Bahn (aus Kapitel 2.2.1) herausgegriffen und in Verbindung zu dem Untersuchungsobjekt des fahrerlosen Minibusses gesetzt.

6.6.4.1 Analogiesuche

Im nachfolgenden Kapitel wird der Blick im Sinne einer Analogiesuche geweitet auf Technik im öffentlichen Verkehr, die seit oder vor vielen Jahren in der Entwicklung, Erprobung oder im Realbetrieb erforscht wurde, aber bis heute keinen relevanten Durchbruch in der Alltagsmobilität erlangt hat. Grundsätzlich wäre eine Betrachtung erfolgreicher Technik in der Mobilität (z. B. Fahrrad, Pkw, Flugzeug ...) sinnvoll, worauf aufgrund des Aufwandes und zugunsten vielversprechender Erkenntnisse aus der „Negativ-Perspektive“ verzichtet wird. Es soll für eine Analogiesuche kurz herausgearbeitet werden, was die Technik beinhaltet und was die Besonderheiten sind, um anschließend im Kapitel eine Einordnung der Technik des autonomen Fahrens herstellen zu können. Es geht in dieser Ausarbeitung nicht um eine Bewertung der Sinnhaftigkeit der jeweils vorgestellten Technik, sondern darum zu erkennen, wo die Hürden bei der Einführung einer neuen Technik in ein bestehendes Mobilitätssystem liegen, um daraus eine sinnvolle Analyse einer anderen neuen Technik erstellen zu können.

Transrapid

Nach dem ersten Weltkrieg wurden in Deutschland Bestrebungen erkennbar, Ideen von berührungsfreien Transporttechniken neu zu beleben und im Jahr 1922 wurde begonnen die elektromagnetischen Kräfte für spurgeführte Fahrzeuge weiter zu erforschen (vgl. Büllingen, 1997, S. 67). Zwölf Jahre später wird ein Patent für eine „Schwebebahn mit räderlosen Fahrzeugen, die an eisernen Fahrschienen mittels magnetischer Felder schwebend entlang geführt wird“, beantragt (Kemper, 1937). Die Idee war von vielfältigen Bestrebungen getrieben eine Beförderung mit immer höheren Geschwindigkeiten als bisher im Bahnverkehr zu ermöglichen (Büllingen, 1997, S. 74), dem es im Jahr 1936

mit einer Dampflokomotive erstmalig gelang eine Geschwindigkeit von 200 km/h zu durchbrechen (Gottwaldt, 1981).

Erst im Jahr 1965 ergab sich eine Industriekooperation für die Magnetschwebbahn, um im Jahr 1970 erste Testfahrten unternehmen zu können (Büllingen, 1997, S. 78 f.). Das ganze erfolgte in einer Zeit, in der die Bahn im deutschen Staatseigentum als „überaltertes und inflexibles“ mit „wachsenden Verlusten“ behaftetes Unternehmen beschrieben wird und die Probleme im „Straßenverkehrssystem auf eine sich zuspitzende, krisenhafte Situation [zusteuerten]“ (Büllingen, 1997, S. 90). Es wurde intensiv nach neuen Lösungen gesucht und u. a. das „allmählich erwachende Bewußtsein für die negativen Umwelteffekte des Straßenverkehrs“ ermöglichte Förderungen für diverse Schnellbahnkonzepte (Büllingen, 1997, S. 96 und S. 104 f.). Die Ergänzung eines weiteren Verkehrsmittels schien laut Büllingen (1997, S. 9) für alle Beteiligten der Weg mit dem geringsten Konfliktstoff als eine restriktive Verkehrspolitik.

Zwei Jahre nach Auflage des Förderprogramms zur Entwicklung der Magnetbahntechnik mit Linearmotor wurde ein Programm zur Erforschung der Grenzen des Rad-/Schiene-Systems aufgelegt, aus dem die Entwicklung des ICE hervorgeht. Zu dieser Zeit wurde deutlich, dass ein neuer Verkehrsträger wie die Magnetschwebbahn „nicht mehr ins Rahmenkonzept“ passt und der Bau einer Großversuchsanlage scheiterte. (Büllingen, 1997, S. 260) Das damalige Bundesforschungsministerium BMFT entschied sich dennoch für weitere Förderungen „mit dem weitgehenden Verlust der Anschlußfähigkeit an die verkehrspolitischen Diskurse“ (Büllingen, 1997, S. 260 f.). In den 1980er Jahren wird die Versuchsstrecke im emsländischen Lathen gebaut und in Betrieb genommen (NDR, 16. September 2021). Zu der Zeit liefen umfangreiche politische Diskussionen unter Einbezug kritischer VerkehrsexpertInnen. Es bestanden „scheinbar unlösbare Problem[e] einer vernünftigen Einbindung in das Gesamtverkehrssystem“ und finanzielle Risiken. (Büllingen, 1997, S. 229) Hinzu kamen Zweifel an der Funktionalität wegen Verzögerungen in der Entwicklung auf der Versuchsstrecke und es wurden immer wieder neue Strecken diskutiert und das Vorhaben wirkte erneut wie eine „Sackgasse“, da es nirgendwo in Deutschland eine genügend hohe Nachfrage ohne gleichzeitige Konkurrenz zur schieneengebundenen Bahn gefunden werden konnte. (Büllingen, 1997, S. 230) Unter Einfluss der Befürworter der Technik und unter den günstigen Bedingungen der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahr 1991 wurde mangels Serienreife des Fahrzeuges die Definition der „Technischen Einsatzreife“ als neue Möglichkeit geschaffen, um damit als ein Projekt in den Bundesverkehrswegeplan aufgenommen zu werden. (Büllingen, 1997, S. 262 f.) Nach Verhandlungen der Industriepartner wurde von der Bundesregierung der Neubau zwischen Hamburg und Berlin mit industrie- und exportpolitischer Argumentation zur Realisierung beschlossen, während ein 15-seitiges Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates beim Bundesverkehrsministerium BMV eindeutig zu dem Schluss kam, dass aus verkehrspolitischen Gründen keine Magnetbahn benötigt wird (vgl. Büllingen, 1997, S. 236; Der Spiegel, 12. Dezember 1993).

Die Grundsteinlegung sollte 1998 in Verbindung mit dem neuen Lehrter Bahnhof in Berlin erfolgen (Mahnke, 9. September 1998) – aufgrund immer höherer Kostensteigerungen, Regierungswechsel und Kritik aus der Bahnbranche wurde das gesamte Vorhaben

der Realisierung der Magnetschwebbahn im Jahr 2000 abgebrochen (NDR, 16. September 2021). Im Jahr 2001 erfolgte aus China eine Beauftragung für den Bau einer 30 km langen Strecke in Shanghai (NDR, 16. September 2021), die seit 2002 als einzige dieser Form weltweit in Betrieb ist (Gieras, 2020). Aktuell bestehen Bestrebungen mit einer in China weiterentwickelten Variante der Magnetschnellbahn zwischen Hangzhou mit Ningbo (China) eine neue 400 km lange Strecke für Geschwindigkeiten von 600 km/h zu bauen (vgl. Gieras, 2020; Zielonka, 2020).

Laut Büllingen (1997) kamen in jeder Phase der Entwicklung der Technik der Magnetschwebbahn (Invention, Innovation, Konsolidierung, Implementation) eine „Reihe ganz unterschiedlicher kultureller, sozialer, ökonomischer, politischer und nicht zuletzt auch technologischer Orientierungskomplexe zum Tragen, die ihrerseits die Akteure und ihr strategisches Handeln zu unterschiedlichen Zeitpunkten beeinflussen.“ In der Historie des Transrapid zeigen sich im Rückblick wechselnde Umfeld- und Randbedingungen bei einer erst stark technik- und anschließend wirtschaftspolitischen Gewichtung der Entscheidungen in einem scheinbar geschlossenen Netzwerk, aus dem wichtige Stakeholder und die Gesellschaft zwischenzeitig abgehängt schienen, während die Nische für das Produkt Transrapid in der Konkurrenzsituation mit dem Rad-Schiene-System über die Jahre immer kleiner wurde.

Die Vor- und Nachteile in der Diskussion um das Magnetbahnkonzept lassen sich grob wie folgt zusammenfassen (vgl. Wissmann und Ewers, 1994; Büllingen, 1997, S. 1–6; Breimeier, 2003):

- Sehr hohe Geschwindigkeiten der Magnetschwebbahn in Konkurrenz zum Luftverkehr, geringer Verschleiß, reduzierte Lärmemissionen, Sicherung des Wirtschaftsstandortes und Innovationsvorteile, neue Transportkapazitäten im wachsenden Verkehrsmarkt, höherer Fahrkomfort gegenüber
- zu geringem Fahrgastpotenzial, unterschätzten Systemkosten (u. a. für Unterhaltung, nachgelagerte Anlagen wie Bahnhöfe, Stromnetze ...), fehlendem Einsatzgebiet in den raumstrukturellen Gegebenheiten in Deutschland, eingeschränkter Kompatibilität und Integration ins Gesamtnetz, notwendigen zusätzlichen Anknüpfungspunkten, anspruchsvoller städtebaulicher Einbindung, kleiner Nische für das Produkt im Umfeld von insgesamt systemkompatiblen Hochgeschwindigkeitssystemen wie ICE oder TGV.

Dem Grunde nach dem Transrapid ähnliche Produkte sind die Swisshmetro und der Hyperloop, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Swisshmetro

Bei der Swisshmetro handelt es sich um eine 1974 weiter entwickelte Magnetschwebbahn in einem Vakuumtunnel, wodurch die Rollreibung und der Luftwiderstand reduziert werden. Die Idee einer „abgedichteten Röhre“ wurde 1938 von dem Patentierenden der Magnetschwebbahn als Lösung für den Luftwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten diskutiert, zurückgreifend auf ein Patent aus 1903 (Büllingen, 1997, S. 69). Die Idee wurde wegen vieler ungelöster Fragen und geringer allgemeiner Akzeptanz verworfen

(Büllingen, 1997, S. 73) und erst einige Jahrzehnte später wieder für die Swissmetro aufgegriffen. Gedacht war die Swissmetro für die Verbindung der urbanen Zentren der Schweiz untereinander mit einem schnellen unterirdischen Transportsystem ohne Umwelt und Umfeld zu beeinträchtigen. Im Jahr 1997 sollte eine Pilotstrecke zwischen Genf und Lausanne gebaut werden, welche aufgrund von verschiedenen Bedenken (Kapazität, Sicherheit, Weichenkonstruktion, Wahl der Pilotstrecke, Finanzierungskonzepte, etc.) nicht realisiert wurde. (SwissMetro-NG, 2022) Hutter (1995, S. 38 f.) listet verschiedene Problemfelder von Energie- und Rohstoffbedarf, Störfallrisiko bis Erdbebengefahren auf. Rebsamen (2001, S. 196–197) ergänzt Akzeptanzprobleme der Nutzenden bei der Fahrt in einer dunklen Röhre mit der benötigten und begrenzten Menge an Luft. Daraufhin wurde eine neue Version der Swissmetro entwickelt, die Bedenken ausräumen soll und in die Diskussion um künftige Mobilität in der Schweiz wieder eingebracht wird (Swiss-Metro-NG, 2022). Weidmann et al. (2006, S. 167–169) weisen auf zahlreiche weiterhin bestehende Herausforderungen hin, wie u. a. eine Evakuierungsproblematik und die relevante Dauer für Ein-/Ausstieg vermeintlich ähnlich zum Flugverkehr. Sie weisen den relevanten Anwendungsfall ausschließlich auf Distanzen von 500 bis 1.000 km mit den Nachteilen der fehlenden Interoperabilität zu anderen Systemen aus (vgl. Weidmann et al., 2006, S. 170). Wirtschaftlich kommen Weidmann et al. (2006, S. 168) unter Betrachtung des Lebenszyklus zu dem Fazit, dass „die generierten Erträge während einer Nutzungsdauer von 100 Jahren nicht ausreichen, um die getätigten Investitionen refinanzieren zu können.“ Zusammenfassend schreiben Weidmann et al., dass „die Relevanz des Systems für Europa als nicht gegeben“ erachtet wird (Weidmann et al., 2006, S. 173). In der Konkurrenz zu schienenengebundenen Systemen bewertet Weidmann (2008) die Swissmetro insgesamt als keine Alternative zu bestehenden Hochgeschwindigkeitstrecken.

Hansen (2020) nimmt eine (technische) Technikbewertung und Systemanalyse für die ähnlich aufgebaute Technik des Hyperloops vor und zeigt auf, dass die Erkenntnisse und Analogien zur Swissmetro in den thematisch punktuell erstellten Studien zum Hyperloop unberücksichtigt bleiben. Mit der Erstellung und Analyse detaillierter Betriebsabläufe und Kapazitäten, Notbremsprozesse und Sicherheitsbetrachtungen, Berücksichtigung der Bahnhöfe und der Ermittlung einer vergleichsweise geringen Transportkapazität stellt Hansen (2020, S. 818) bisherige von beteiligten Unternehmen und Befürwortenden getroffene Annahmen zum Hyperloop infrage und fordert eine transparente Forschung und Bewertung der Technik. Über die technischen Aspekte hinausschauend weist Hansen darauf hin, dass in europäischen Ländern der Bau neuer Infrastrukturen, die die Umwelt und das Umfeld beeinträchtigen können, nicht unterschätzt werden darf und oberirdische Trassen (wie z. B. aufgeständerte Hyperloop-Röhren) – insbesondere mit ihren sehr großen Trassierungsradien – nicht realisierbar erscheinen.

Als ein ebenfalls mit dem Linearmotor entwickeltes Fahrsystem – allerdings mit geringeren Geschwindigkeiten und flexibleren Fahrwegen – wurde das Cabinetaxi konzipiert, auf das im Folgenden eingegangen wird.

Cabinentaxi

Im Sommer 1970 wurde das Coup-System vorgestellt, abgeleitet vom Container-Gedanken übertragen auf den Personenverkehr, indem jedes Transportgefäß (für je 1-2 Personen) mit dem Komfort eines Pkws individuell zum gewünschten Zielort fährt, fahrerlos und nach Möglichkeit gekoppelt mit anderen Kabinen mit verschiedenen Trägersystemen (Dienel und Trischler, 1997, S. 152). 1971 wurde aus diesen Ideen das fahrerlose Cabinentaxi entwickelt, das an einem eigenen schienenähnlichen Fahrweg mit Linearmotoren in sechs bis acht Metern über der Straße hängt und Fahrgäste individuell ohne Zwischenhalt vom jeweils gewünschten Start- zum Zielort bringt (Dienel und Trischler, 1997, S. 154). Bei diesen Systemen wurden laut Dienel und Trischler (1997, S. 159) erstmals Umwelteinflüsse als wichtiges Kriterium benannt, waren diese Vehikel für den Stadtverkehr leise und abgasfrei. Maßgeblich beteiligt war das Unternehmen, das annähernd zeitgleich die erste Magnetschwebbahn im Realbetrieb erprobt hat. Becker (1972) beschreibt das Cabinentaxi mit den Vorteilen bequem, schnell, sauber, leise, sicher und kostengünstig sowie in der flexiblen Zielwahl im ÖPNV als ungebunden und Konkurrenz zum motorisierten Individualverkehr (vgl. Becker, 1972; Volk, 1977). Das Cabinentaxi wurde auf der Transport-Expo in Paris 1973 und auf der Internationalen Verkehrsausstellung 1979 in Hamburg vorgestellt. Die Versuchsanlage bei Hagen wurde allerdings nach Streichung finanzieller Mittel nach knapp acht Jahren Testbetrieb im Jahr 1981 abgerissen (Leiding, 2023b). 1980 wurde ein projektiertes Vorhaben einer Versuchsstrecke im Realbetrieb in der City-Nord von Hamburg nach Entfall von Fördermitteln des Bundes abgebrochen. (Leiding, 2023c) Als Gründe für die Einstellung wird von vorgenannten Quellen die ausgebliebene öffentliche Förderung genannt (Dienel und Trischler, 1997, S. 163; Leiding, 2023c; Leiding, 2023b). Dienel und Trischler (1997, S. 160–166) beschreiben Hintergründe des Scheiterns des Systems eingehender mit ungelösten Problemen der Steuerung und Überwachung, fehlender Integration in den bestehenden ÖPNV mit zusätzlichen Umstiegen sowie städtebaulichen und sozialen Akzeptanzproblemen in kleinen Gefäßgrößen in einer Zeit, in der sich gleichzeitig die „Leitbilder in Verkehrs- und Stadtplanung massiv [änderten]“ (Dienel und Trischler, 1997, S. 164).

In Schwalmstadt in Nordhessen wurde ein solches System desselben Herstellers als hängender „Kabinenlift“ von 1976 bis 2002 eingesetzt, allerdings ohne Weichen als reine Punkt- zu Punkt-Verbindung in Form eines horizontalen Fahrstuhls auf Knopfdruck (Schneider, 2013). Es wurde fahrerlos und barrierefrei für Personen, Betten, Rollwagen und Rollstühle mit max. 20 km/h zwischen zwei 600 m entfernt liegenden Krankenhausgebäuden betrieben. (Leiding, 2023a; Grede, 2012) Von 2002 bis 2003 wurde in Paderborn das fahrerlose Coup-System im verkleinerten Maßstab auf Schienen im Projekt RailCab erprobt (Trächtler, Oktober 2006). Eine neue Teststrecke nach dem Coup-Prinzip in einer hängenden Konstruktion wird laut Schwarz (2022) im Realbetrieb zwischen den Gemeinden Taufkirchen und Ottobrunn bei München unter dem Titel „Ottobahn“ derzeit geplant, in der Region, wo 1971 die erste Magnetschwebbahn abgehoben hat.

**Exkurs:
People
Mover**

Ähnliche Einsätze leisten seit den 1960er Jahren fahrerlose „People Mover“ oder international als „Personal Automated Transport“ bezeichnete Fahrzeuge, die insbesondere in Freizeitparks oder an Flughäfen, zumeist allerdings als Leitschienenbahnen und/oder auf eigenem Linien-Fahrweg geführt nicht als integrierter Bestandteil des ÖPNV erprobt und realisiert werden (vgl. Southeastern Railway Museum, 2019; Reinhardt, 2012, S. 564–577; AEG Westinghouse Transportation Systems, Inc., 1986). So ist auf dem Flughafen Tampa International Airport seit 1971 ein spurgebundenes fahrerloses System im Linienverkehr im Einsatz (Southeastern Railway Museum, 2019) und in London-Heathrow seit 2010 ein straßengebundenes fahrerloses System im bedarfsorientierten Flächenbetrieb auf eigenem Fahrweg in Betrieb (Landers, 2010; Heathrow POD, 2023).

**Exkurs:
Seilgezogene
Kabinen-
bahnen**

Seilgezogene Kabinenbahnen (auch als Gondel- oder Seilbahnen bezeichnet) haben demgegenüber einen größeren Durchbruch in der Mobilität in topografisch anspruchsvollen Gebieten und zur Überwindung von Höhenmetern zumeist mit touristischen Zwecken als Punkt- zu Punkt-Verbindungen erzielt. Ein bedarfsorientiertes System mit verschiedenen frei wählbaren Zielen ist hierbei nicht vorgesehen und technisch aufwendig. Ein Einsatz von seilgezogenen Kabinenbahnen integriert im regulären ÖPNV ist allerdings selten (vgl. Puhe und Reichenbach, April 2014, S. 32), wird aber im Zuge klimapolitischer Ziele und einer Stärkung in Ergänzung des ÖPNV für geeignete Anwendungsfälle wieder vermehrt diskutiert und gefördert (vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Oktober 2022; Puhe und Reichenbach, April 2014, S. 31; Monheim et al., 2010, S. 9). Die Entwicklung der Automatisierung wird auch hier forciert, so werden erste Seilbahnen technisch ausgerüstet ohne die Notwendigkeit von Betriebspersonal an den Ein- und Ausstiegspunkten, z. B. bei der Gondelbahn Kümme am Matterhorn in der Schweiz (Zermatt Bergbahnen AG, 2022).

Segway

Entwickelt in den USA mit der Besonderheit der dynamischen Stabilisierung ist das Segway seit 2001 auf dem Markt verfügbar. Gedacht war dieses laut Hersteller als ein maßgebliches Verkehrsmittel für den innerstädtischen Personentransport (vgl. Clark, Atkinson-Palombo und Garrick, 2019, S. 27). Es wurden verschiedene Gutachten zur Sicherheit während des Einsatzes des Segways durchgeführt, die das Segway nach Kühn und Grabolle (November 2008, S. 14) „prinzipiell unproblematisch in seinem Handling“ beschreiben, aber nur nach einem „speziellen Training im Straßenverkehr“ und unter Versicherungsschutz, da das Gefährt u. a. wegen der relevanten Gesamtmasse den Fußverkehr gefährdet. Nova Scotia (2016, S. 15–17) kam zu ähnlichen Ergebnissen, demnach seien die Fahrzeuge im Großen und Ganzen sicher, wenn sie von Personen über 16 Jahren gefahren wurden, die einen Helm trugen und eine Schulung absolviert hatten. Laut dpa (10. Juli 2020) sollen insgesamt 140.000 Exemplare verkauft worden sein bis zur Einstellung der Produktion mangels Nachfrage im Jahr 2020. Der Hersteller fokussiert sich auf die Bereiche E-Scooter, -Roller und Roboter, die bereits zuvor den maßgeblichen Umsatz gebracht haben (vgl. dpa, 10. Juli 2020; Segway Europe B.V., 2023). Laut Clark, Atkinson-Palombo und Garrick (2019, S. 27) sollen der hohe Preis, die begrenzten Einsatzmöglichkeiten und rechtliche Probleme und damit insgesamt die mangelnde Attraktivität für die Verbraucher ausschlagend für den fehlenden Durchbruch des Segways sein. Zusammenfassend beschreiben Clark, Atkinson-Palombo und Garrick (2019, S. 40) das Segway mit einer Unfähigkeit, sich in das bestehende System einzufügen. Der als vermeintlicher Nachfolger zum Segway zu bewertende E-Scooter zeigt einen größeren Durchbruch, allerdings ebenfalls relevant mit Problemen behaftet (vgl. Gerhard, 15. Dezember 2023).

6.6.4.2 Zusammenfassung mit Gemeinsamkeiten und Unterschieden

Die zuvor vorgestellten Verkehrsmittel werden mit einigen Eigenschaften sowie einer Auswahl an Vor- und Nachteilen zusammengefügt. Mit allen Verkehrsmitteln werden Vorteile in der individuellen Reisekette (hohe Reisegeschwindigkeit für lange Distanzen oder verbesserte direkte Erreichbarkeit der letzten Meile) und durch ihre elektrische Antriebsart umweltrelevante Vorteile verbunden (vgl. Büllingen, 1997; Weidmann et al., 2006; Volk, 1977; Becker, 1972; Dienel und Trischler, 1997; Clark, Atkinson-Palombo und Garrick, 2019). Es wurde versucht, über eine neue Technik eine Lösung zu Problemen herbeizuführen, z. B. über individuelle und gleichzeitig kollektiv genutzte Verkehrsmittel (vgl. Dienel und Trischler, 1997, S. 165 f.).

Tabelle 6-21: Übersicht über verschiedene Verkehrsmittel ohne Relevanz in der Alltagsmobilität (Auswahl) (eigene Darstellung, auf Basis der Recherche und Quellen im Fließtext)

	Transrapid	Swissmetro	Cabintaxi	Segway
Testbetrieb	1971 - 2011	kein Testbetrieb	1973 - 1980	k. A.
Realbetrieb	seit 2002	nicht realisiert	1976 - 2002 (als Linienbetrieb)	2001 - 2020
Hinweise	-	im Testbetrieb seit 2017 im ähnlichen "Hyperloop"-System	als "PRT" mit anderen Hersteller und Antrieben Einzelprojekte realisiert	Hersteller fokussiert sich aktuell auf E-Scooter
Antrieb	Linearmotor	Linearmotor	Linearmotor	Elektromotor
Steuerung	geplant fahrerlos	fahrerlos	fahrerlos	durch Nutzenden
Systemgeschwindigkeit	bis 550 km/h (bisher erreicht 501 km/h)	bis 1.200 km/h (bisher erreicht 467 km/h)	bis 36 km/h	bis 20 km/h
Einsatzzweck	großräumige bis kontinentale Hochgeschwindigkeitsverbindungen		nah- bis kleinräumige Verbindungen	
angestrebte Betriebsform	Linienbetrieb		bedarfsorientierter Flächenbetrieb	
eigenständige Wegeinfrastruktur notwendig	ja			nein
ausgewählte Vorteile	hohe Geschwindigkeit		direkte Erreichbarkeit	
	sehr schnelle planfreie Verbindung, geringer Verschleiß	sehr schnelle Punkt-zu-Punkt-Verbindung, unterirdisch geringer Flächenverbrauch, geringe Reibung	lokal emissionsarm, angestrebte Privatsphäre und Reduzierung von Umstiegen	Elektromotor gestützte zügige Fortbewegung in urbanen Räumen, lokal emissionsarm
ausgewählte Hemmnisse	anspruchsvolle Integration ins bestehende Verkehrssystem, Investitionskosten	anspruchsvolle Integration ins bestehende Verkehrssystem, Investitionskosten	Investitionskosten	hohe Investitionskosten, begrenzte Einsatzmöglichkeiten (rechtliche Einschränkungen und befahrbare Wege)

	Transrapid	Swissmetro	Cabintaxi	Segway
ausgewählte Nachteile und Gründe für nicht erfolgten Durchbruch	Erweiterungen und Anpassungen aufwendig, relevante Nachfrage auf Verbindung notwendig, unflexible oberirdische Trassierung, städtebaulich anspruchsvolle Integration, Unterhaltung Bauwerk	Erweiterungen und Anpassungen aufwendig, subjektives Empfinden Fahrgäste, Evakuierungsproblematik, lange Halte- und Abfertigungszeiten, Unterhaltung Bauwerk	anspruchsvolle Integration ins bestehende Verkehrssystem, Erweiterungen und Anpassungen aufwendig, städtebaulich anspruchsvolle Integration, Unterhaltung Bauwerk, vergleichsweise aufwendige Haltestellen	schwierige Transportmöglichkeiten, (Park)Platz- und Lademöglichkeiten, hohes Eigengewicht von ca. 50 kg, für verschiedene Personengruppen nicht nutzbar (u.a. Kinder und alte Menschen)
Konkurrenz	Flugzeuge, Hochgeschwindigkeitssysteme Rad-Schiene	Flugzeuge, Hochgeschwindigkeitssysteme Rad-Schiene	Pkw, ÖPNV, (Ruf-)Taxi, Fahrrad etc.	Fahrrad, Pedelec, E-Scooter etc.
potentielle Nische	im Neubau eines konkurrenzlosen Schnellbahnnetzes	konkurrenzlose Punkt-zu-Punkt-Relationen großer zahlungskräftiger Nachfrage	Erschließung von Betriebsgelände, Freizeitpark	touristische Aktivitäten wie Stadtrundfahrten etc.

Alle aufgeführten Verkehrsmittel stehen in Konkurrenz zu bereits bestehenden Beförderungsmitteln (Flugzeug, Hochgeschwindigkeitszug, Pkw, Fahrrad etc.). Zum Teil kann die Technik Nischen füllen: Der Transrapid als Flughafenzubringer, das Cabintaxi als innerbetrieblicher waagerechter Fahrstuhl oder das Segway für touristische Aktivitäten. Während z. B. seilgezogene Kabinenbahnen durch ihre spezifischen Vorteile zur Überwindung topografischer Hürden in großer Anzahl für den spezifischen Anwendungsfall eingesetzt werden, gelang den der Tabelle aufgeführten Verkehrsmitteln kein relevanter Durchbruch in der Mobilität. Von den Herstellern wurde die Technik mit radikalen Innovationseigenschaften zum Ersatz von Flugzeug oder Pkw beschrieben (Krauss Maffei Transurban, 1974; SwissMetro-NG, 2022; dpa, 10. Juli 2020) – zum jetzigen Zeitpunkt handelt es sich um nicht durchsetzungsfähige disruptive Innovationen. Im Zuge objektiver Bewertungen der Technik wurden bei allen aufgeführten Verkehrsmitteln hinsichtlich Wirtschaftlichkeit oder Investitionskosten sowie Sicherheit der Fahrgäste/Nutzenden Hinweise auf relevante Risiken aufgezeigt. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung von Ressourcenverbrauch für Fahrwege und/oder Energieverbrauch der Fahrzeuge werden vereinzelt Bedenken geäußert. (vgl. Abschnitte zuvor)

Als Problematik zeigt sich bei den aufgeführten Innovationen, dass in der systemischen Integration und den (wandelnden) Rahmenbedingungen der Technik der aufgezeigten Verkehrsmittel entscheidende Defizite existieren (vgl. Wittkopp, 24. Juni 2021): Für die Nutzenden bestehen Defizite in den teils aufwendigen Zu- und Abgängen zum jeweiligen System, die entweder zusätzliche Umstiege und Wege zu und von den Haltepunkten erfordern bzw. ungelöstem Umgang mit einem Segway am Start-/Zielort oder der Mitnahme des schweren Gefährtes. Für die aufgeführten Verkehrsmittel Transrapid, Swissmetro und Cabaientaxi besteht zudem die Notwendigkeit eines systemeigenen Verkehrsweges als Insellösung, der eine exklusive (herstellerabhängige) Nutzung vorsieht, keinerlei Netzflexibilität (z. B. für den Transport von Gütern oder Nachtzügen aus dem übrigen Netz) ermöglicht und ohne Netzausbau im Falle von Unfällen und Wartungsarbeiten keine Resilienz in Form eines alternativen Fahrweges bietet. Alle genannten Innovationen weisen eine unzureichende Verzahnung in das bestehende Gesamtsystem auf.

Aus der menschlichen Perspektive sind zudem systematische Akzeptanzprobleme erkennbar, da z. B. Bedenken um die Sicherheit der Menschen zu der Beförderung in kleinen Kapseln und Kabinen oder zu Umfeldauswirkungen bestehen. Die eigenständigen Fahrwege der Vehikel verursachen hohe Investitions- und Unterhaltungskosten bei großen Unsicherheiten gegenüber einem bereits funktionierenden bewährten System wie der Bahn und dem Kfz. Diese vorgenannten Aspekte führen zusammen genommen zu keiner hinreichenden Akzeptanz in der Öffentlichkeit und/oder in der Politik für die neuen Systeme. Ähnlich ergeht es den (nach dem Segway) im öffentlichen Fokus zur Mikromobilität stehenden elektrisch angetriebenen Kleinstfahrzeugen wie E-Scootern, für die eine ausreichende Akzeptanz zum Überleben der Technik ebenfalls bisher nicht erreicht wurde. Dies zeigt sich in neueren Entwicklungen z. B. in Paris mit dem Verbot von Verleihsystemen von E-Scootern (Cousin und Alexandre, 3. April 2023), da hier die Gesellschaft die Risiken und Nebenwirkungen nicht toleriert. Die Vorteile erscheinen gegenüber den Nebenwirkungen nicht ausgewogen für die Gesellschaft.

Insgesamt zeigt sich die **Bedeutung der Technikbewertung** unter Berücksichtigung der Systemzusammenhänge und der Risiken, die den aushandelnden Akteuren entscheidendes Wissen bereitstellt. Es bestätigt sich zudem die unter Kapitel 3.1.5 beschriebene Zukunftsbindung von Verkehrswegen im Zusammenspiel mit neuer Technik in der Mobilität.

Eine Technik befindet sich in einem umfassenden und sich wandelnden Umfeld von Akteuren (vgl. für automatisiertes und fahrerloses Fahren in Kapitel 6.1.4), die auf Innovation, Entwicklung und Einsatz (oder Nichteinsatz) der Technik einwirken oder von dieser betroffen sind. Um die Passfähigkeit einer Technik in die Gesellschaft einzuordnen, sind die Kontextbedingungen unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Anforderungen mit Gemeinsamkeiten und Unterschieden zu betrachten.

Es werden die Eigenschaften als Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu den zuvor betrachteten Verkehrsträgern ersichtlich: Dazu gehören u. a. die Notwendigkeit systemeigener Infrastruktur in Form eines eigenen Verkehrsweges (luftdichte Röhre für Swissmetro oder Antriebsschiene für Cabaientaxi und Transrapid), Zielgruppen der

Transportdienstleistung (alle oder ausgewählte Gruppen wie Wohlhabende oder Mobile), fehlender Durchbruch trotz Funktionsfähigkeit, Konkurrenzsituation, Bezug zum ÖPNV, Flexibilität im Fahrweg und eine geplante Fahrerlosigkeit. Einen Vergleich mit weiteren Verkehrsmitteln stellt Tabelle 6-22 dar. Es existieren weitere Gemeinsamkeiten und Unterschiede u. a. in Kosten, Risiken, Fahrgastpotenzial und Akzeptanz, die eingehend in vorangegangenen Kapiteln analysiert werden.

**Tabelle 6-22: Analogiebildung zu anderen Verkehrsmitteln
(eigene Darstellung)**

	Transrapid	Swissmetro	Cabinentaxi	Segway	Fahrrad	E-Scooter	Drohntaxi	(fahrerlose) U-Bahn	fahrerlose Minibusse	fahrerloser Pkw
Kompatibilität zu vorhandener Infrastruktur				x	x	x			x	x
hohe Flexibilität in Routenwahl			(x)	x	x	x	x		x	x
besondere Nische (Auswahl)	x ¹	x ¹			x ²		x ¹	x ³		x ⁴
Fahrerlosigkeit (geplant)	(x)	(x)	x				(x)	x	(x)	(x)
Durchbruch / Diffusion erfolgt					x	(x)		x		
Produkt für Alle			(x)					x	x	(x)
ÖPV-integriertes Verkehrsmittel	(x)	(x)	(x)				(x)	x	x	

Legende:

x = gegeben

(x) = teils gegeben / geplant

1 = Schnelligkeit

2 = kostengünstig

3 = Massentransport

4 = Privatsphäre / Individualisierung

6.6.4.3 Übertragung der Zusammenhänge auf fahrerlose Minibusse im ÖPNV

Für das zuvor in Kapitel 6.4.3 dargestellte Zukunftsszenario lassen sich fahrerlose Minibusse anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus den Analogien wie folgt einordnen:

1. Es handelt sich um ein weitgehend mit der gegebenen (gemeinsam genutzten) Infrastruktur **kompatible** Betriebsform mit
2. einer geplant hohen **Flexibilität** in den Fahrwegen (möglichst auf dem gesamten Straßennetz funktionsfähig).
3. Es wird ein für Alle brauchbares ÖPNV-integriertes Produkt mit eindeutigem Nutzen vorgesehen.
4. Es ist ein mit dem Individualverkehr – insbesondere in ländlichen Räumen – stark in Konkurrenz stehendes Verkehrsmittel.

Zu 1.) Die Nutzung und Instandhaltung von bestehenden Straßen sowie der Erhalt und Ausbau der Kommunikationsinfrastruktur (Mobilfunk- und Satellitenkommunikation) erfordern weitere finanzielle Aufwendungen, die aber auch den Nichtnutzenden des Minibusses Vorteile bringen können und nicht exklusiv zur Einführung der fahrerlosen Minibusse vorgehalten werden müssen. Ausnahmen hiervon bilden Haltestellen und Betriebshöfe. Diese Punkte unterscheiden fahrerlose Minibusse von den anderen im Kapitel 6.6.4.1 vorgestellten Verkehrsmitteln, woraus nachfolgender Punkt resultiert:

Zu 2.) Ein sehr großer Vorteil gegenüber schienengebundenen Fahrzeugen ergibt sich durch die (im Zukunftsszenario angestrebte) flexible Fahrwegewahl, d. h. die Nutzbarkeit der fahrerlosen Fahrzeuge auf sämtlichen Straßen mit der Möglichkeit des optimalen Ausweichens im Falle von Baustellen und Unfällen oder anderen Beeinträchtigungen des Fahrweges. Es ist zwar von Einschränkungen der Flexibilität auszugehen (z. B. mangels Ortung nicht befahrbarer Waldweg, zu schmale Straßen, Straßen mit für den Stand der Technik unverträglichem Geschwindigkeitsniveau), diese sind aber nicht vergleichbar mit den Einschränkungen, die aus der schienengebundenen Angewiesenheit auf Gleise und Weichen hervorgehen.

Zu 3.) Es ist davon auszugehen, dass das im Kapitel 6.4.3 beschriebene Zukunftsszenario durch die grundsätzlich offene und barrierefreie Nutzbarkeit für Alle (ähnlich zu U-Bahn, People Mover und Cabintaxi) eine höhere Akzeptanz in der Bevölkerung erwartet werden kann als beispielsweise bei Segway und Drohnentaxi, die spezifisch einzelne Personengruppen als Zielgruppe fokussieren. Auch ist von einer besseren Integrierbarkeit ins Gesamtsystem als beim Segway oder einem Drohnentaxi auszugehen, wenn ein fahrerloser Minibus sehr nah zu dem Ausstiegsort (Ziel oder Umstiegsstation) vorfahren und anschließend diesen wieder für weitere Fahraufträge selbstständig verlassen kann und dieser zudem nicht mehr in der Abstellverantwortung des Nutzenden liegt. Im ÖPNV integriert erscheinen allerdings zusätzliche nicht attraktive Umstiege (z. B. in ein benachbartes

Busnetz oder zu schienengebundenen Fahrzeugen) notwendig, die zu Zeit- und Attraktivitätsverlusten führen.

Zu 4.) Hinsichtlich der Konkurrenzsituationen zeigen sich große Herausforderungen für neue Verkehrsmittel: Die schnellen und in einem großen bestehenden Verkehrsnetz aktiven Verkehrsmittel des Schienenfern- und Luftverkehrs lassen Transrapid und Swissmetro keinen Markt. Das fast verschwundene Segway konnte sich u. a. gegenüber günstigen und leichten Fahrrädern sowie Pedelecs nicht durchsetzen (vgl. Clark, Atkinson-Palombo und Garrick, 2019, S. 35) und wurde dem Grunde nach abgelöst durch die deutlich umfangreicher verbreiteten Elektro-Scooter, deren langfristiger Fortbestand allerdings ebenfalls nicht gesichert erscheint (siehe Abschnitt zu Segway). Eine relevante Konkurrenzsituation ergibt sich in ländlichen Räumen für den fahrerlosen Minibus, der in starkem Wettbewerb zu dem individuellen Pkw steht. Im Gegensatz zu einer schnellen fahrerlosen U-Bahn im dicht besiedelten urbanen Gebiet, die Vorteile in der Reisezeit gegenüber dem Individualverkehr aufweisen kann, ist dieser Zeitvorteil in einem ländlichen Raum durch fahrerlose Busse in einer sicherheitsorientierten Fahrweise – bei ggf. zusätzlichen umwegigen Zwischenhalten zur Mitnahme weiterer Fahrgäste – nicht zu erwarten. Andere zuvor in Tabelle 6-22 dargestellte Verkehrsmittel als der Pkw kommen für diese ländlichen Wegebedürfnisse nur in Ausnahmefällen in Frage (z. B. Drohntaxi für entlegene Orte oder Inseln). Weitere Alternativen zum fahrerlosen Minibus sind bei geringeren Distanzen kleinere Elektrofahrzeuge oder im Falle vorhandener Linien oder größerer Bündelungseffekte traditionelle ÖPNV-Verkehrsmittel.

Eine besondere Bedeutung kommt relevanten Akteuren zu: Falls z. B. die genehmigenden und finanzierenden öffentlichen Akteure – wie Gesetzgeber und Aufgabenträger (Kategorie b gemäß Kapitel 2.1.4 bzw. Abbildung 6-3) – fahrerlose Minibusse ablehnen, ist der Einsatz dieser Fahrzeuge im ÖPNV aussichtslos. Dies betrifft auch andere Akteure, z. B. wenn seitens der Wirtschaft (Kategorie e) keine Weiterentwicklung und kein Vertrieb fahrerloser Minibusse für den ÖPNV erfolgt.

Weitere Herausforderungen, der in der Analogiesuche betrachteten Verkehrsmittel beinhalten Akzeptanz, Fahrgastpotenzial und Kosten, für die auf die vorangegangenen Abschnitte im Kapitel 6.6.1 verwiesen wird.

6.6.4.4 Zwischenfazit

In der Gesamteinordnung zeigen sich fahrerlose Minibusse mit deutlichen Unterschieden und Vorteilen gegenüber anderen betrachteten und bisher nicht durchsetzungsfähigen Verkehrsmitteln. Die Möglichkeit der Nutzung bestehender oder im Ausbau befindlicher Infrastruktur und die flexible Integration ins Verkehrsnetz sind maßgebliche Gründe, warum sich fahrerlose Minibusse im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln durchsetzen könnten. Die Nutzbarkeit und der Nutzen für Alle kann eine hohe Akzeptanz ermöglichen. Allerdings steht als maßgebliche Konkurrenz und Alternative für Minibusse in ländlichen Räumen der private Pkw zur Verfügung, der durch seinen vergleichsweise kostengünstigen Betrieb (u. a. durch Entfall der Vergütung des Fahrzeugführenden), hohe Flexibilität, Schnelligkeit, Verlässlichkeit sowie Kriminalitätssicherheit und Privatsphäre (Individualisierung) bei leichter Zugänglichkeit für einen größeren Teil der Bevölkerung in ländlichen Räumen relevante Vorzüge gegenüber einem fahrerlosen, geteilten Minibus bietet. Die Konsequenzen aus Umweltauswirkungen und Unfällen werden dabei in Kauf genommen. Abgesehen von den anderen beschriebenen Herausforderungen (vgl. Kapitel 6.6.1) und der fehlenden Serienreife der Minibusse zeigt sich aus den Erkenntnissen der Analogiebildung heraus in dem Aspekt der Konkurrenzsituation ein Durchsetzungsrisiko für fahrerlose Minibusse. Dieses Risiko verstärkt sich in der Konkurrenz zwischen fahrerlosen Minibussen im ÖPNV und **fahrerlosen** privaten oder geteilten individuellen Pkw: Sollte sich das fahrerlose Fahren in privaten Pkw frühzeitig und nicht reguliert bei geringen Kosten für den Nutzenden durchsetzen, wird der fahrerlose Minibus im ÖPNV zu einem teuren und wenig genutzten Nischenprodukt für spezifische benachteiligte Gruppen.

Damit fahrerlose Minibusse als Sammelverkehre im starken ÖPNV gelingen, sollten sie aus den Erkenntnissen der Analogiebildung

- keine vollständig neue Infrastruktur benötigen,
- sich flexibel ins Gesamtsystem integrieren lassen,
- bei den nutzerseitigen Kosten konkurrenzfähig werden und
- zu wenigen Benachteiligten bei vielen Bevorteilten führen.

Insgesamt wird die Durchsetzungsfähigkeit fahrerloser Minibusse stark von seinen Kontextbedingungen und Aushandlungen zwischen den Akteuren, der wirtschaftlichen Lage, der offenen Einbindung der Gesellschaft und der Gewichtung bei den notwendigen Entscheidungen hierzu geprägt sein.

6.6.5 Schritt 6.5: Zusammenführung der Bewertung und eigene Einordnung

In diesem Abschnitt erfolgt die Zusammenführung aus den Einzelbewertungen (Kapitel 6.6.1), den Zusammenhängen (Kapitel 6.6.2), den Risiken und Nebenwirkungen (Kapitel 6.6.3) sowie der Analogiebildung (Kapitel 6.6.4) unter Hinzunahme der Megatrends (aus Kapitel 6.1.3).

Nach einer Zusammenführung der Ergebnisse je Zielfeld werden die Ergebnisse über Zielfelder hinweg miteinander verknüpft. Daran schließen sich der Umgang mit den identifizierten Risiken und mögliche Handlungsoptionen und Rahmenbedingungen an.

6.6.5.1 Vertikale Verknüpfung der Erkenntnisse innerhalb der Zielfelder

Die Tabelle 6-23 zeigt stark vereinfacht, aus welchen vorangegangenen Phasen relevante Erkenntnisse zu welchen Zielfeldern identifiziert wurden. Die Inhalte werden im Nachfolgenden je Zielfeld erläutert.

Erschließungsqualität

Fahrerlose Minibusse im ÖPNV können durch ihre Potenziale der bedarfsgerechten Bedienung (optimierte zeitliche und räumliche Verfügbarkeit bei Verkürzung der Wegelängen) einen relevanten Beitrag für Erschließungsqualität leisten. Gegenüber dem bestehenden ÖPNV besteht viel Potenzial in diesem Zielfeld im geringer besiedelten Raum. Gleichzeitig handelt es sich um einen schwachen – aber wirksamen – Hebel im Gesamtgefüge mit wenig Nebenwirkungen, sodass bei einer Verbesserung der Erschließungsfunktion eine relevante Veränderung des betrachteten Systems erwirkt werden kann. Bei einer Verbesserung der Erschließungsqualität sind im Bereich der erkennbaren Risiken und Nebenwirkungen keine relevanten Probleme hinsichtlich Schadensausmaß, Ungerechtigkeit und aktueller Risikowahrnehmung erkennbar. Mittels der Erschließungsqualität besteht demnach die positive Chance, das Verkehrssystem mittels fahrerlosen Minibussen nachhaltig zu verbessern. Eingeschränkt wird dies für die ländlichen Räume durch den Megatrend der Urbanisierung, der eine Erschließungsqualität in der Fläche zu einer bleibenden anspruchsvollen Aufgabe macht.

- ➔ Eine Chance und ein Hebel im betrachteten System ist die Verbesserung der Erschließungsqualität, mit der sich der ÖPNV nachhaltig stärken lässt.

Beförderungsstandards

Im Zuge des Demografischen Wandels kann die Alterung der Gesellschaft zu der Situation führen, dass über mehr ältere Personen ein größerer Bedarf an Personenbeförderung entsteht – insbesondere, weil diese wachsende Personengruppe aufgrund altersbedingter Einschränkungen nicht mehr selbst fahren kann oder sollte. Hierbei können fahrerlose Minibusse mit ihrer optimalen Erschließungsfunktion helfen. Angestrebte oder etablierte Beförderungsstandards (z. B. Barrierefreiheit oder schnelle Kommunikation mit Personal) durchgängig zu gewährleisten, gestaltet sich in einem fahrerlosen Betrieb allerdings als äußerst anspruchsvoll zu realisieren (vgl. Anlage 10.5.2.1.3). Es ist davon auszugehen, dass insbesondere in einer Einführungsphase die hohen Erwartungen an fahrerlose Fahrzeuge nicht erfüllt werden. Genau für diese Menschen, andere Zielgruppen mit spezifischen Bedürfnissen oder Fahrgäste in besonderen Situationen spontaner Hilfsbedürftigkeit sowie einen allgemeinen Verzicht auf menschliche Unterstützung möglich machen würden. In Verbindung mit einer fehlenden barrierefreien Infrastruktur ist eine uneingeschränkte Nutzung (in ländlichen Räumen) nicht absehbar. Als schwacher Hebel kann sich dieses Zielfeld unter genannten Problemen negativ auf das betrachtete System auswirken. Ein größeres Problem könnte entstehen, da dies (gemäß Kapitel 6.6.3) in der Diffusion der Technik mit vorliegender Ungerechtigkeit zu einem grundsätzlichen Akzeptanzproblem gegenüber fahrerlosen Fahrzeugen führen kann und das Thema bereits in der aktuellen Risikowahrnehmung präsent ist.

- ➔ Ein hinreichender Beförderungsstandard für Alle ist Grundbedingung für einen fahrerlosen ÖPNV, erfordert aber unüberschaubare Investitionen und steckt in technisch ungelösten Problemen.

Handhabbarkeit

Ähnlich zu den Beförderungsstandards verhält sich das Zielfeld der Handhabbarkeit mit der Attraktivität des Angebotes, allerdings in schwächerer Ausprägung. Für die Bewertung eines Zukunftsszenarios fällt es schwer, eine Prognose vorzunehmen, da Befragte in verfügbaren automatisierten Versuchsträgern stark unter Einfluss der anwesenden fahrbegleitenden Person stehen. Als schwacher Hebel mit einigen Risiken ist (nach dem Zielfeld der Beförderungsstandards) diesem Thema entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen. Hilfreich wird das weitere Experimentieren mit einer Evaluation der Fahrgastzufriedenheit in den ersten „echten“ fahrerlosen Minibussen ohne Fahrzeugbegleitung.

- ➔ Die Handhabbarkeit ist ein wichtiger Bestandteil des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV, lässt sich derzeit aber noch nicht abschließend bewerten und steht in der Bedeutung im betrachteten System in der Relevanz hinter den Zielfeldern Sicherheit und Beförderungsstandards.

Sicherheit

Eine Mitfahrt im heutigen ÖPNV ist gegenüber dem Individualverkehr eine sehr sichere Fortbewegungsart, weshalb es kaum möglich ist das Sicherheitsniveau allein durch den Einsatz fahrerloser Busse *im Mischverkehr* relevant zu steigern, solange menschliches Versagen (z. B. durch andere manuell fahrende Verkehrsteilnehmende) oder Fehlverhalten (z. B. durch Übergriffe) von außen nicht ausgeschlossen werden können. Das vielschichtige Thema der Verkehrs-, Betriebs- und Kriminalitätssicherheit ist dennoch eingehend zu betrachten, da Risiken bereits in der Einzelbewertung (in Kapitel 6.6.1) als problematisch identifiziert werden und in der Risikoanalyse (in Kapitel 6.6.3) hervorstechen (unter Schadensausmaß, Ungerechtigkeitsfaktor und hoher öffentlicher Risikowahrnehmung). So ist zwar davon auszugehen, dass von einer verlässlichen fahrerlosen Technik weniger Verkehrsunfälle verursacht werden als heute, aber weitergehende Risiken im Umfeld von Mischverkehr durch andere Verkehrsteilnehmende (z. B. beim Überqueren der Fahrbahn an Haltestellen), durch Missbrauch (z. B. Überfälle oder Verwendung autonomer Technik für Angriffe) entstehen können. Auch wenn diese Risiken unwahrscheinlich wirken, würden sie im öffentlichen Fokus stehen und könnten dem fahrerlosen System insgesamt einen relevanten Schaden zufügen, der eine Diffusion der Technik verhindert.

- ➔ Das Niveau der allgemeinen Verkehrssicherheit hängt maßgeblich von menschlichem Versagen und Fehlverhalten ab. Um zudem Kriminalität in Verbindung mit fahrerlosen Fahrzeugen vorzubeugen, müssen Vorkehrungen entwickelt werden.

Arbeitsbedingungen (im ÖPNV)

Mögliche Arbeitsplatzverluste des Fahrpersonals stehen im öffentlichen Fokus, wenn gleich aktuell ein großer Personalmangel vorliegt und in dem dargestellten Zukunftsszenario (bei Erweiterung des bestehenden ÖPNVs um fahrerlose Busse) ein neuer

Bedarf an vielfältigen Arbeitsplätzen von sehr einfachen bis höchst verantwortungsvollen Aufgaben geschaffen wird. In Verbindung mit dem demografischen Wandel ist zu erwarten, dass sich verfügbares Fahrpersonal weiter reduzieren wird – bei tendenziell steigendem Mobilitätsbedarf einer älteren Generation. Es handelt sich im Hinblick auf die Rolle im betrachteten System um eine Variable, die keine zielführenden Steuerungen des Systems erlaubt – aber im Falle von Schwellenwertüberschreitungen ein Risiko für das System im Fokus der Öffentlichkeit darstellt.

- ➔ Die aktuelle Arbeitsmarktlage und Megatrends fördern das fahrerlose Fahren im ÖPNV durch einen geringeren Bedarf an Fahrpersonal bei gleichzeitig künftig vielfältigen neuen Tätigkeiten.

Umwelt und Ressourcen

Der Ökologische Wandel gibt der Entwicklung des fahrerlosen Fahrens keinen Rückenwind, da diesem dem Grunde nach die Schaffung von Mobilität und Infrastruktur unter der Verwendung von Ressourcen widerstrebt. Zugleich zeigt sich die Variable „Schonung der Umwelt“ in einer puffernden Rolle in der Systembetrachtung des ÖPNV. Allerdings handelt es sich um eine Variable, die als „Wolf im Schafspelz“ bezeichnet wird, da sie bei Veränderung von Schwellen- oder Grenzwerten ihre puffernde Rolle im System verlieren kann. Zu einem ähnlich bedrohlichen Ergebnis kommt die Risikoanalyse, die den Umweltauswirkungen (z. B. wenn fahrerloses Fahren insgesamt zu Mehrverkehr führt oder Verkehrsmittel des Umweltverbundes schädigt) ein großes negatives Ausmaß zuschreibt.

- ➔ Es ist nicht erkennbar, dass allein durch die Implementierung fahrerloser Minibusse in ländlichen Räumen Umwelt und Ressourcen geschont werden können.

Effizienz

Der Aspekt der Kosten taucht als Besorgnis in der öffentlichen Risikowahrnehmung mit möglicher Ungerechtigkeit sowie als Problematik der betrachteten Analogien auf, weshalb sich andere Technologien in der Vergangenheit nicht durchsetzen konnten. Die Kosten stellen ein Realisierungsdefizit für das Zukunftsszenario dar. In schwach besiedelten Gebieten kann davon ausgegangen werden, dass weiterhin Subventionen für ein fahrerloses ÖPNV-Angebot notwendig sind. Dies betrifft insbesondere die Übergangsphase bis ein solch neues System eine kritische Masse an Fahrtanfragen erreicht – was in der Fläche nicht überall möglich sein wird, solange andere Verkehrsmittel wie der Pkw günstig nutzbar sind. Im Wirkungsgefüge stellt die Effizienz keinen effektiven Hebel zur Beeinflussung des betrachteten Systems dar. Über die Fahrgastnachfrage bildet sich allerdings ein träger und einfacher Indikator für die Evaluation von Effizienz und Effektivität.

- ➔ Die Kosten fahrerloser Minibusse im ÖPNV in ländlichen Räumen stellen ein relevantes Realisierungsdefizit im gewählten Zukunftsszenario dar.

Zeitaufwand

Über die Ergebnisse aus dem Testfeldbetrieb ist für das betrachtete Zukunftsszenario nicht erkennbar, dass sich (abseits der besseren zeitlichen Verfügbarkeit) die Reisezeit gegenüber dem Pkw mittels fahrerloser Minibusse reduzieren lässt, wenn diese in den klassischen ÖPNV integriert und eine sichere Fahrweise im Mischverkehr hinterlegt wird. Ein schwacher Hebel mit Entfaltung auf das betrachtete System besteht hingegen vielmehr über die Steigerung der Verlässlichkeit als über die Schnelligkeit für die Nutzenden des Angebotes. Aktuell besteht allerdings ein Schwachpunkt in der unvollständig entwickelten Technik des fahrerlosen Fahrens, die von unbekannten Fehlern behaftet sein kann und mit schlechter Verlässlichkeit als (negativem) Hebel im System wirken kann. Darüber hinaus wird in der erprobten Übergangsphase die Akzeptanz des fahrerlosen Fahrens negativ gefährdet, da die langsame Fahrweise oder die Pannen fahrerloser Fahrzeuge von Anderen subjektiv als erhebliche Verkehrsbehinderung wahrgenommen werden.

- ➔ Es ist nicht erkennbar, dass fahrerloses Fahren in Zukunft zu einer kürzeren Reisezeit führt. Über eine Steigerung der Verlässlichkeit besteht die Möglichkeit eines positiven Hebels, der sich momentan aufgrund unzuverlässiger Versuchsträger negativ auswirkt.

Wohlstand

Hinsichtlich des Wohlstandes ergeben sich keine hinreichenden Erkenntnisse aus der vorliegenden Analyse. Das Ziel wird im System als neutral bewertet. Dies hängt allerdings auch damit zusammen, dass die Relevanz und Abhängigkeiten außerhalb des hier betrachteten Systems liegen. So lassen fahrerlose Fahrzeuge neue Geschäftsmodelle entstehen. Risiken ebenso wie Umsätze und Arbeitsplätze können sich verlagern und es ergeben sich Chancen zur Stärkung von Innovationsstandorten – mit erheblichen Auswirkungen auf die aktuellen Hersteller und alle vom Kfz abhängigen Unternehmen (z. B. Taxifahrende oder Werkstätten, vgl. Abbildung 6-3).

Funktionsfähigkeit

Der entscheidende und stärkste Schalthebel für das betrachtete System ist nach Auswertung in Kapitel 6.6.2 die Integrierbarkeit und die Vernetzung fahrerloser Angebote im Verkehrssystem, um eine funktionsfähige Reisekette herzustellen. Dazu gehört die verkehrsträger- und flottenübergreifende Optimierung intermodaler Wegeketten mit und ohne fahrerlose Fahrzeuge. Aus der Bewertung in Kapitel 6.6.1 zeigen sich diverse offene Punkte, die die technische und verkehrliche Vernetzung fahrerloser Fahrzeuge betreffen. Dies wird bestärkt durch die Analogiebetrachtung, in der für neue Technologien ein hohes Realisierungsrisiko bei fehlender Flexibilität, zu starker Konkurrenz oder mangelhafter Integrierbarkeit aufgezeigt wird. Erhebliche Konsequenzen ergeben sich gemäß der Risikoanalyse in Kapitel 6.6.3 bei zu großen technischen Abhängigkeiten der fahrerlosen Flotten, die ohne Alternativen zu systemrelevanten Ausfällen führen können, was in der aktuellen öffentlichen Risikowahrnehmung teilweise präsent ist.

- ➔ Hinsichtlich der Funktionsfähigkeit müssen sehr viele Randbedingungen betrachtet werden, damit keine Risiken mit großem Schadensausmaß eintreten. In einer funktionierenden intermodalen Reisekette liegt ein großer Hebel für den Erfolg oder Misserfolg des betrachteten Systems im ÖPNV.

Weitere Fähigkeiten

Die weiteren angestrebten Fähigkeiten (wie variable Schulbeförderung, alternative Bedienformen), die sich im Rahmen der Analyse insbesondere aus den regionalen Bedürfnissen ergeben haben, lassen sich über das gewählte Zukunftsszenario weitgehend gewährleisten. Besonderheiten stellen die Datensicherheit und die Akzeptanz unter Jüngeren dar, mit denen keine zielführenden steuernden Eingriffe mit Auswirkungen auf das Gesamtsystem möglich sind – von denen aber bei problematischer Entwicklung eine Gefahr auf das betrachtete System ausgeht, die im Bereich einer unzureichenden Datensicherheit relevante und/oder ungerechte Konsequenzen annehmen kann.

6.6.5.2 Diagonale Verknüpfung der Erkenntnisse über die Zielfelder

In der Abbildung 6-15 werden zentrale Erkenntnisse der vorstehenden Phasen grafisch zusammen gefasst. Im Kreis außenstehend sind die Aspekte aufgeführt, die mit der Eigenschaft als wirksame Hebel im System oder mit einer hohen Risikowahrnehmung oder einem hohen Risikoausmaß belegt sind. Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den unterschiedlichen Feldern miteinander verknüpft – dabei liegt der Fokus auf den im Kreis weit außenstehenden Aspekten.

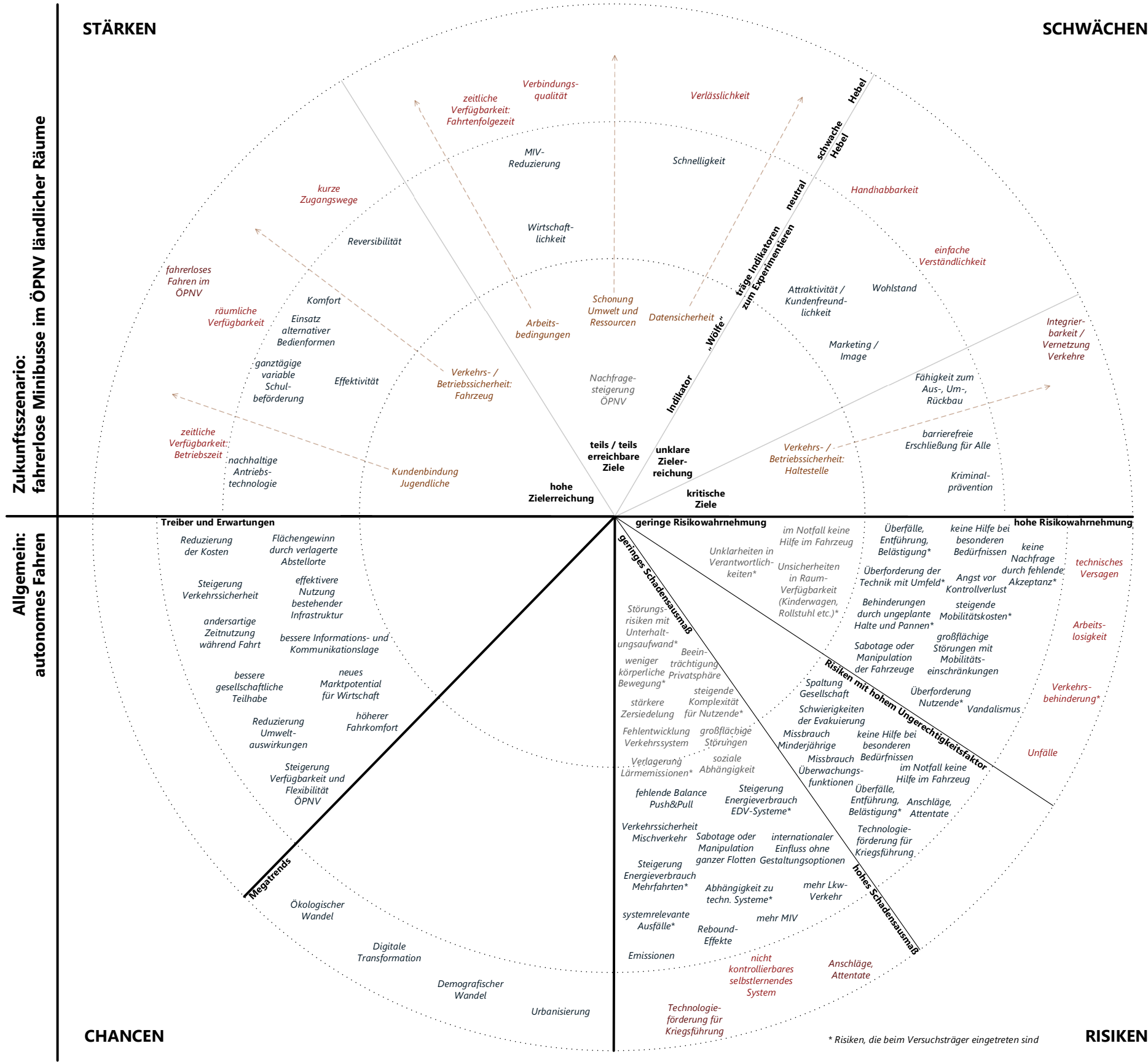


Abbildung 6-15: Einordnung der Systemwirkung der aus den Kapiteln 6.6.1, 6.6.2 und 6.6.3 gewonnenen Erkenntnisse (eigene Darstellung)

Verknüpfung von Stärken und Chancen

Sofern Megatrends und die identifizierten Hebel der Stärken zueinander passen, ist von einer verstärkenden Wirkung auf das betrachtete System auszugehen: Solch eine positive Verstärkung ist über Digitale Transformation und Demografischen Wandel auf das fahrerlose Fahren grundsätzlich zu erkennen. Über fahrerlose Minibusse kann eine optimierte räumliche und zeitliche Verfügbarkeit bei kurzen Zugangswegen als Hebel zu einer höheren Nutzungsbereitschaft im ÖPNV beitragen, was mit dem Rückenwind des Ökologischen Wandels erfolgt.

Es ist dagegen offen, wie fahrerlose Minibusse mit einer verbesserten räumlichen und zeitlichen Erschließungsfunktion die Entwicklungen aus dem Megatrend der Urbanisierung in ländlichen Räumen beeinflussen. Diese beiden Aspekte wirken wechselseitig und sind je nach individueller Raumstruktur differenziert zu betrachten.

Verknüpfung von Stärken und Risiken

Maßgebliche Ursache für Unfälle im Straßenverkehr ist menschliches Versagen – bei einem fahrerlosen Betrieb wird dieser Risikofaktor auf Seiten des Fahrzeuges weitgehend eliminiert, sodass die aktuell hohe Risikowahrnehmung des Gefahrenpotenzials durch fahrerlose Fahrzeuge überbewertet erscheint. Ebenso kann im gewählten Zukunftsszenario zur Stärkung des ÖPNV die Chance bestehen, neue vielfältige Tätigkeitsangebote zu schaffen, die der Furcht vor steigender Arbeitslosigkeit entgegenwirken. Ferner gewährleistet die grundsätzliche Reversibilität eines Systems von fahrerlosen Minibussen eine Korrektur bei Eintritt von unerwünschten Risiken.

Es geht aus der Abbildung 6-15 allerdings hervor, dass den ermittelten Risiken mit einem potentiell hohen Schadensausmaß im untersuchten System keine konkreten Maßnahmen bzw. wirksamen Hebel entgegengesetzt werden.

Verknüpfung von Chancen und Schwächen

Die Integrierbarkeit und Vernetzung von Verkehrsmitteln zeigt sich als ein relevanter Hebel mit akuten Defiziten, der durch den Megatrend der digitalen Transformation mit neuen technischen Möglichkeiten zum Positiven verbessert werden kann. Im Rahmen der Digitalisierung können in Zukunft die Handhabbarkeit und einfache Verständlichkeit fahrerloser Busse verbessert werden, sodass sich diese schwachen Hebel ebenfalls positiv entwickeln können.

Es lässt sich für schwach besiedelte ländliche Räume nicht erkennen, dass mit fahrerlosen Minibussen eine Schonung von Umwelt und Ressourcen im Sinne des Ökologischen Wandels erzielt werden kann. Problematisch ist zudem, dass eine derzeit fehlende einfache Verständlichkeit und Handhabbarkeit im fahrerlosen Fahren in Konflikt mit den Auswirkungen des Demografischen Wandels stehen.

Betrachtung von Schwächen und Risiken

Die akuten Schwächen von fahrerlosen Minibussen, die als Hebel im betrachteten System wirken (Integrierbarkeit/Vernetzung Verkehre, Handhabbarkeit, einfache Verständlichkeit), überlagern sich nicht mit den Risiken aktuell hoher Wahrnehmung oder hohen Schadensausmaßes. Dies wird als vorteilhaft dafür gewertet, fahrerlose Minibusse weiter im Realbetrieb zu erproben.

Allerdings ist in der Übergangsphase eine begrenzte Verlässlichkeit und begrenzte Problemlösekapazität der Technik zu erwarten, was zu technischen Ausfällen und in Folge zu Verkehrsbehinderungen führen kann, die in der öffentlichen Risikowahrnehmung hohe Beachtung finden. Mit einer vermehrten Nutzung fahrerloser Fahrzeuge zwischen weiterhin manuell gesteuerten Fahrzeugen ist mit steigenden Unfallzahlen an Ein- und Ausstiegspunkten (außerhalb des Fahrzeuges) in Verbindung mit menschlichem Fehlverhalten zu rechnen. Dies stände wiederum im negativen öffentlichen Fokus und würde als negativer Hebel auf das System wirken.

Erkenntnisse zu Treibern und Erwartungen für das gewählte Zukunftsszenario

Nachfolgende Treiber und Erwartungen wurden für das autonome Fahren in Kapitel 2.1.4 ermittelt, für die anhand der Analyse der Kapitel 6.6.1 bis 6.6.4 *für das ausgewählte Zukunftsszenario* fahrerloser Minibusse in einem ländlichen Raum eine Einschätzung auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse vorgenommen werden kann:

- *Reduzierung der Kosten:* Durch fahrerloses Fahren sinken die Kosten für Busverkehrsleistungen in ländlichen Räumen gegenüber den aktuellen Kosten pro Fahrplankilometer im direkten Vergleich um voraussichtlich ein Drittel. Es ist nicht erkennbar, dass allein dadurch für schwach besiedelte Räume eine Kostendeckung bzw. eine wirtschaftlich tragfähige Konkurrenz zum privaten Pkw erzielt erreicht werden kann.
- *Steigerung der Verkehrssicherheit:* Mit einer höheren Verlässlichkeit der technischen Systeme gegenüber dem menschlichen Verhalten wird eine Steigerung der Verkehrssicherheit erwartet, allerdings ergeben sich neue Gefahren an Zu- und Abgangspunkten sowie durch Systemfehler und Kriminalität.
- *Andersartige Nutzung der gewonnenen Zeit:* Das Kriterium ist grundsätzlich über das fahrerlose Fahren erfüllbar, allerdings bereits heute durch die Nutzung des öffentlichen Verkehrs (sofern verfügbar) möglich.
- *Bessere gesellschaftliche Teilhabe von Personen:* Eine potentielle Ausdehnung des ÖPNV-Angebotes durch fahrerlose Fahrzeuge würde ein deutliches Steigerungspotenzial in der Teilhabe an der Mobilität ermöglichen – allerdings bestehen derzeit noch erhebliche Entwicklungsdefizite der barrierefreien Nutzbarkeit fahrerloser Minibusse und der Sicherheit für schwächere Personen.
- *Reduzierung der Umweltauswirkungen:* Eine bessere ökologische Bilanz ist im Falle der geteilten Nutzung fahrerloser Fahrzeuge bei Erreichen einer kritischen Masse an Fahrgästen zu erwarten, was für dispers und schwach

besiedelte Räume allerdings eine Herausforderung darstellt. Gleichzeitig besteht über verbesserte Mobilitätsangebote die Gefahr von Rebound-Effekten mit insgesamt steigenden Verkehrsleistungen (und einhergehenden negativen Umweltauswirkungen).

- *Steigerung der Verfügbarkeit und Flexibilität der öffentlichen Verkehre:* Eine Verbesserung des ÖPNV ist durch eine Erweiterung des Angebotes mittels fahrerloser Minibusse als Sammelverkehre möglich.
- *Flächengewinn durch einen künftig verlagerten Abstellort:* Unter Einsatz von Energie ist ein vom Start oder Ziel abweichender Abstellort für fahrerlose Fahrzeuge realisierbar.
- *Effektivere Nutzung bestehender Infrastruktur:* Bei einer geteilten Nutzung fahrerloser Fahrzeuge ist bei Erreichen einer kritischen Masse an Fahrgästen zu erwarten, dass Straßen, Knotenpunkte und Parkplätze kleiner dimensioniert werden können. Dieses Potenzial ist in ländlichen Räumen geringer als in urbanen Räumen, da sich die Verkehrsflächen in ländlichen Räumen maßgeblich aus ohnehin notwendigen ein- bis zweistreifigen Wegeverbindungen zwischen Orten ergeben.
- *Bessere Informations- und Kommunikationslage:* Im Zuge der Digitalisierung und Steigerung der Automatisierung ist bei Nutzung entsprechender technischer Komponenten eine stetig steigende Datenverfügbarkeit zu erwarten.
- *Höherer Fahrkomfort und Zufriedenheit bei Mitfahrenden:* Durch eine zentrale Optimierung und Vorgabe von Fahreigenschaften fahrerloser Fahrzeuge ist ein auf die Mitfahrenden optimal abgestimmter Fahrkomfort möglich. Die Fahrgastzufriedenheit ist allerdings abhängig von vielen weiteren Einflüssen (z. B. Verbindungsqualität, Verhalten anderer Fahrgäste etc.).
- *Neues Marktpotenzial:* Durch eine fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung ergibt sich ein Wandel der Geschäftsmodelle in der Mobilität, der laufend neue Innovationen fordert und großen Einfluss auf eine Wirtschaft mit relevanten Umsätzen und Arbeitsplätzen nimmt.
- *Begegnung eines Mangels an Berufskraftfahrenden:* Diese Erwartung kann erfüllt werden.

6.6.5.3 Allgemeiner Umgang mit identifizierten Risiken und Nebenwirkungen

Strategien

Identifizierte Risiken mit hohem Schadensausmaß sollten unabhängig von ihrer (bisher nicht ermittelbaren) Eintrittswahrscheinlichkeit beobachtet werden, um festzustellen, ob bestehende Entwicklungspfade in diese Risiken münden könnten, so dass rechtzeitig steuernde Anreize oder Vorgaben getroffen werden können. Für die Risiken mit hohem Ungerechtigkeitsfaktor sollten präventiv Maßnahmen entwickelt werden, die die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die Auswirkung minimieren. Die Sorgen und Ängste der Allgemeinheit müssen zudem versachlicht werden, da sie ebenso wie die Ungerechtigkeitsfaktoren großen Einfluss auf die Akzeptanz nehmen können – auch wenn sie einem schnelleren Wandel unterliegen, was die Vorher-Nachher-Befragung im Testfeld des Versuchsträgers ergibt.

Ausgehend von der Analyse und Bewertung in den Kategorien Schadensausmaß, Ungerechtigkeitsfaktor und Risikowahrnehmung werden fünf grundsätzliche Strategien zur Wahrung der vorgegebenen Oberziele sinnvoll:

Risiken mit hohem Schadensausmaß → Gezielte Vorsorge und Steuerung

Risiken mit hohem Ungerechtigkeitsfaktor → Individuelle Prävention

Sorgen und Ängste der Öffentlichkeit → Auseinandersetzung und Diskussion

Einführungsrisiken → Beobachtung

Technische Probleme des Testfeldbetriebes → Förderung der Verlässlichkeit

Diese Aktionen ergeben sich nicht aus den Leitlinien (ISO 31000:2018) zum Risikomanagement nach Deutsches Institut für Normung e. V. (2018, S. 21), die abweichend einen Maßnahmenkatalog aus Optionenprüfung, weiteren Analysen, bestehenden Steuerungen oder Anpassungen der Ziele vorschlägt. Unter den festgesetzten Zielen ist dies nicht anwendbar auf die Versuchsträger und auf das hier entwickelte und angewendete Verfahren, weil z. B. grundlegende Oberziele nicht infrage gestellt werden sollen und noch keine bewährten Steuerungsmethoden für die neue Technik existieren.

6.6.5.4 Weiterführende Maßnahmen, Rahmen- und Randbedingungen

Aus dem Bewertungsverfahren (Abbildung 6-15), den aufgezeigten Risiken und dem durchgeführten Testfeldbetrieb ergeben sich potentielle Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung des fahrerlosen Fahrens. Die nachfolgende Liste liefert einige Anhaltspunkte für weiterführende Entscheidungen und Maßnahmen (mit Zuordnung potentieller Zuständigkeiten der Akteure aus Abbildung 6-3, Auszug ohne Gewichtung oder Rangfolge):

Allgemein

- Grundsatzentscheidungen zur Vermeidung oder Fokussierung und Förderung eines Einsatzes der Technik des autonomen Fahrens sind auf Grundlage unabhängiger Empfehlungen zu treffen. (a, b)
- Das alleinige Betrachten eines Fortbewegungsmittels führt nicht zu einer Lösung für die bestehenden Herausforderungen in der Mobilität. Es müssen die allgemeinen Ursachen und Wirkungen der Mobilität und alle Optionen der Verkehrsmittelwahl sowie Siedlungs- und Raumentwicklung interdisziplinär einbezogen werden. (b, c, h)
- Es besteht die Notwendigkeit der realistischen Einordnung der Chancen und Kosten durch fahrerloses Fahren. (b, c, e, g, h, i)
- Sinnvoll ist eine Fokussierung auf das geteilte fahrerlose Fahren mit wenigen Benachteiligten und vielen Bevorteilten ohne Ausschluss von Bevölkerungsgruppen. (a-i)
- Es sollte eine Förderung von nachhaltigen fahrerlosen Anwendungsfällen erfolgen, die sich ins Gesamtsystem optimal und flexibel integrieren lassen und eine weitreichende Vernetzung in der Mobilität fördern. (b, c, e, h)
- Vorausschauend sollte von einer Parallelexistenz von fahrerlosen und traditionell gesteuerten Fahrzeugen im Mischverkehr ausgegangen werden. (a-i)
- Die Berücksichtigung der Lebenszykluskosten und -emissionen einschließlich physischer und digitaler zentraler und dezentraler Infrastruktur ist notwendig. (b, c, d, e, g, h)
- Fahrerlose Fahrzeuge im ÖPNV führen zu keinem plötzlichen unkontrollierbaren irreversiblen Schadensausmaß und wirken nicht so hoch aktiv im System, sodass weitere Testfelder und Reallabore geschaffen werden können. (a-i)

Organisatorisch

- Politisch veranlasste Maßnahmen mit Push und Pull sollten verhindern, dass durch fahrerloses Fahren erhebliche Mehrverkehre und Rebound-Effekte entstehen oder eine Zersiedelung in ländlichen Räumen eintritt, die eine Daseinsvorsorge weiter erschwert. (b)
- Es sollten verschiedene Flotten fahrerloser Fahrzeuge ermöglicht werden, die unabhängig voneinander funktionieren, um Gesamtausfälle in der Mobilität und größere wirtschaftliche Folgeschäden zu mindern. Um das Risiko fehlender Integrierbarkeit durch mangelnde Kompatibilität verschiedener fahrerloser System zu reduzieren, benötigt es in einer Vielfalt der Betreiber einheitliche, kompatible Standards. (b, c, h)

- Die Mobilität ist bei großflächigem Ausfall von technischen Systemen sicherzustellen. Es muss dauerhaft ausreichend Personen geben, die die Kompetenz besitzen ein Fahrzeug sicher manuell zu steuern (u. a. für Logistik- oder Rettungsaufgaben). (b, c, d, e, g, h)
- Neue Geschäftsmodelle, die vernetzt in die vorhandene Mobilität eingreifen, sind zu entwickeln und zu fördern, sofern sie zu einer nachhaltigen Entwicklung der Mobilität beitragen. (a, b, c, e, h)
- Es sind grundsätzlich sichere Straßen und Wege zu schaffen, die im Um- und Neubau möglichst sämtliche Anforderungen aktueller Regelwerke einhalten sowie Barrierefreiheit und Sichtfelder gewährleisten. (b, d, h)
- Die Automatisierung sollte ohne komplexe (aktive) Technik in der Infrastruktur fokussiert werden, um Abhängigkeiten und Störanfälligkeiten zu minimieren und auf ein austauschbares autarkes Fahrzeug zu verlagern. (b, d, e, h)
- In den Fahrwegen und dem Streckennetz muss eine maximale Flexibilität geschaffen werden. Es sollte kein Fahrweg ausschließlich für fahrerlose Fahrzeuge mit entsprechenden technischen Komponenten neu geplant werden, was in anderen Technologien zum Scheitern dieser führte. Möglichst universell nutzbare Straßen und Wege erlauben eine kombinierte Nutzung für Ver- und Entsorgung sowie fahrerlose Fahrzeuge und andere Verkehrsteilnehmende. (b, d, e, h)
- Notwendig ist die Gewährleistung der Verfügbarkeit von Mobilfunk sowie standardisierte Kommunikationsschnittstellen bei technischer Infrastruktur wie Lichtsignalanlagen. (b, d, h)
- Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit ist die ausschließliche Nutzung ausgewählter sicherer Zu- und Abgangspunkte und Wege zu den Fahrzeugen im Straßennetz sinnvoll. (b, d, e, h)
- Zur Verbesserung des ÖPNV sind die verbesserte räumliche und zeitliche Verfügbarkeit mit kurzen Zugangswegen des fahrerlosen Fahrens als Hebel zu betrachten. (b, c, e, h)
- In der weiteren Entwicklung fahrerloser Systeme im ÖPNV sind grundsätzlich die Reiseketten mit Zu- und Abgang sowie optimale Umstiege mitzudenken und nicht nur das reine Fahrerlebnis in einem autonomen Fahrzeug. (b, c, e, h)
- Es bedarf zur Akzeptanz fahrerloser Fahrzeuge durch Nutzende und andere Verkehrsteilnehmende einer hohen Verlässlichkeit und Sicherheit der Technik. (b, d, e, f, h)
- Es muss gewährleistet werden, dass in jeder individuellen hilfsbedürftigen Lage eines Fahrgastes eine schnelle und lückenlose Hilfe offensiv angeboten wird. Dazu ist eine präventive Erkennung von Hilfsbedürftigkeit bzw. Notsituationen (z. B. Sturz- und Hilferuferkennung, digitale Begleitung von Minderjährigen ...) und umfassende mehrsprachige Kommunikation sinnvoll. (b, e, h)

Infrastruktur

ÖPNV

Fahrzeug

- In weniger dicht besiedelten Räumen besitzt die objektive und subjektive Sicherheit im fahrerlosen ÖPNV und im Zu- und Abgang für Alle eine hohe Bedeutung. Hier kann nicht von einer sozialen Kontrolle ausgegangen werden. Es müssen die Risiken auf der gesamten Wegekette von Tür zu Tür einbezogen werden. (b, c, e, h)
- Erforderlich ist die Beachtung eines aktuell erheblichen Entwicklungsbedarfs bei einer Verbesserung der Handhabbarkeit und einfachen Nutzbarkeit fahrerloser Fahrzeuge im ÖPNV. (e)
- Individuelle Fahrtanforderungen und -abfragen für Menschen mit besonderen Bedürfnissen (eingeschränkte Mobilität; Mitführen von Kinderwagen, Fahrrad oder besonderer Lasten; spezielles Betreuungsbedürfnis z. B. bei alleinfahrenden Kindern oder schwächeren Personen etc.) müssen ermöglicht werden. (b, c, e, h)
- Es sollten zusätzliche Lösungen mit der Möglichkeit menschlicher Betreuung zur Unterstützung bei besonderen Fahrgastbedürfnissen und zur Gewährleistung der Barrierefreiheit mitgedacht werden. Hierzu ist Servicepersonal im gesamten Verkehrsnetz weiterhin notwendig. (b, c, e, h)
- Die *gemeinsame geteilte* Nutzung von Fahrzeugen muss möglichst attraktiv gestaltet werden. (b, c, e, h)
- Eine Sabotage und Manipulation sowie unkontrollierte Entwicklung von Fahrfunktionen muss ausgeschlossen werden. (b, e, h)
- Es sollte ein „Notlauffahrprogramm“ geschaffen werden, das – auch bei Ausfall oder Sabotage von einzelnen Systemen – Insassen sicher und unabhängig vom Zugriff auf Server oder Mobilfunkinfrastruktur weiter befördern kann. (e, h)
- Grundsätzlich ist die redundante Konstruktion der Sensor- und Entscheidungs- sowie Kommunikationssysteme inkl. Dokumentation für eine entsprechende Verlässlichkeit der Systeme zielführend. (e, h)
- Im Falle von größeren Störungen oder Sabotagen müssen alle fahrerlosen Fahrzeuge unabhängig und selbstständig in einen risikominimalen Zustand versetzt werden können. Dabei muss sichergestellt sein, dass wichtige Systeme zur Notfallversorgung (wie Feuerwehr und Rettungsdienst) nicht gefährdet sind. (b, e, h)
- Es bedarf der Entwicklung von Evakuierungskonzepten von fahrerlosen Fahrzeugen ohne Anwesenheit von Personal (unter Berücksichtigung z. B. von Blinden und Kindern). (b, e, h)
- Schwerpunkte bei Herstellern und Entwickelnden sollten sich auf möglichst selbstständig funktionierende Systeme fokussieren und keine umfassende neue Infrastruktur benötigen. Dabei müssen die Systeme sich den besonderen Herausforderungen des Mischverkehrs stellen können, wenn auch vorerst in begrenzten Anwendungsräumen. Die Integration in die übergreifenden Mobilitätsketten und die Verlässlichkeit haben neben der Sicherheit eine große Bedeutung. (d, e, h)

- Zum Bereich der sicheren Ortung sind ggf. noch Maßnahmen entlang von Straßen zu erwarten, die aber keine grundlegende Änderung des Straßenbestandes notwendig machen (sollten). (d, h)
- Eine Rampe am Fahrzeug ist zur Gewährleistung der Barrierefreiheit bisher nicht ausgereift und ist auf Grundlage aktueller Erkenntnisse grundsätzlich nicht hinreichend (unüberschaubare Vielfalt oder fehlende geeignete Infrastruktur zum „Andocken“ der Rampe, mangelhafte Sensorik zum automatisierten Ausfahren ins Umfeld, witterungs- und störungsanfällig). (e, h)
- In der Mobilität spielt Zeit eine wichtige Rolle, weshalb im ÖPNV eine konkurrenzfähige Reisegeschwindigkeit erreicht werden muss. (b, c, e)
- Wegen potentieller Ausfallrisiken und steigender Abhängigkeiten ist eine Herstellervielfalt anzustreben. (b, c)
- Auseinandersetzung mit den Risiken und Handlungsstrategien gemäß der Hinweise aus Kapitel 6.6.3 und 6.6.5.3. (a-i)
- Es muss sichergestellt sein, dass z. B. Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben und die Logistik weiterhin unabhängig von fahrerlosen Fahrzeugen agieren können und dafür dauerhaft ausreichend geschultes Personal zur Verfügung steht. (b, h)
- Ein Prüfsystem sollte geschaffen werden, das im Zuge der Zulassung *und* bei Updates der fahrerlosen Fahrzeuge eine wiederkehrende Überprüfung der Algorithmen der Automatisierung vornehmen kann. (b, e, f, h)
- Es sollte gewährleistet werden, dass u. a. Vandalismus kein relevantes Thema im fahrerlosen Fahren wird und Maßnahmen ergriffen werden, falls z. B. ein Gegenstand ohne Person im Fahrzeug zurückgelassen wurde und ein nächstes Fahrtziel angesteuert wird. (b, e, h)
- Anzustreben ist ein Halt der fahrerlosen Fahrzeuge auf der Straßenseite, die dem Start oder Zielort des Fahrgastes entspricht, um Konflikte und Unfälle durch Überqueren der Fahrbahn zu verhindern. Insbesondere in ländlichen Räumen können dadurch deutlich abweichende (längere) Fahrtrouten notwendig werden, die allerdings das relevante Unfallpotenzial der Fahrgäste auf dem Weg von bzw. zu der Haltestelle reduzieren. (b, c, e, h)
- Datensicherheit und Datenschutz sind zu gewährleisten. (b, c, e, h)
- Schwerpunkte von Förderungen sollten in der Unterstützung von Unternehmen und Arbeitsplätzen liegen, die sich kompatibel zu den Trends der Digitalisierung, des demografischen und ökologischen Wandels verhalten. (b, e, g, h)
- Weitreichende Aufklärung, Kommunikation, Erprobung und Auseinandersetzung mit der Technologie sowie den Chancen und Risiken. (a-i)

Risiko-
vermeidung

Weiteres

6.6.5.5 Mitwirkende Akteure

In dem Kapitel 6.1.4 werden die Akteure vorgestellt und im vorangehenden Kapitel 6.6.5.4 einer Auswahl an konkreten Maßnahmen zugeordnet. Um die Rolle der Akteure im betrachteten System genauer zu verifizieren, wird die Stärke des Einflusses des jeweiligen Akteurs auf die Fähigkeiten in diesem Kapitel ermittelt und mit den Wirkungen der Fähigkeiten im System (Kapitel 6.6.2) verbunden. Nach dem Eintragen der Akteure in die Einflussmatrix wird u. a. deutlich, welche Akteure Einfluss speziell auf Hebel oder Katalysatoren im System haben können. Die entsprechende Einflussmatrix ist mit den Berechnungsergebnissen in Anlage 10.6.2 enthalten.

Die Eingabe der eigenen Einschätzungen für das betrachtete System in die Einflussmatrix ergibt, dass auf alle definierten Fähigkeiten die Aufgabenträger des öffentlichen Personennahverkehrs einwirken können. Auf viele Fähigkeiten haben die Verkehrsunternehmen Einfluss. Auf einzelne Themen nehmen viele Akteure Einfluss, wie z. B. auf Umwelt und Ressourcen, fahrerloses Fahren, Image sowie Verkehrs- und Betriebssicherheit. Bei einer stärkeren Gewichtung der Hebel im System wird deutlich, dass insbesondere Technische Prüforganisationen einen relevanten Einfluss auf wichtige Stellschrauben nehmen können. Bei einer gewichteten Zuordnung der Akteure zu den Stärken und Schwächen des Systems ergibt sich die Darstellung in Abbildung 6-16. Die Stärken des betrachteten Systems mit hoher Zielerreichung liegen im maßgeblichen Einfluss der Aufgabenträger. Auf die Ziele, welche im betrachteten Szenario nur teilweise erreicht werden oder als unklar und kritisch gelten, wirken deutlich mehr Akteure ein. Einen größeren Einfluss auf die Schwächen des Systems kann neben den Aufgabenträgern den Verkehrsunternehmen, der Branche der Informationstechnik (IT), den Verkehrsverbünden und der Normierung und Standardisierung zugeordnet werden. Um Schwächen oder Risiken des betrachteten Systems zu verändern, wären diese Beteiligten gefordert.

Entsprechende Machtverhältnisse und -strukturen sind in dieser Betrachtung unberücksichtigt. Herausfordernd kann eine hohe Zielerreichung bei boykottierenden oder vielen auf eine Fähigkeit einwirkenden Akteuren mit entsprechendem Einfluss werden.

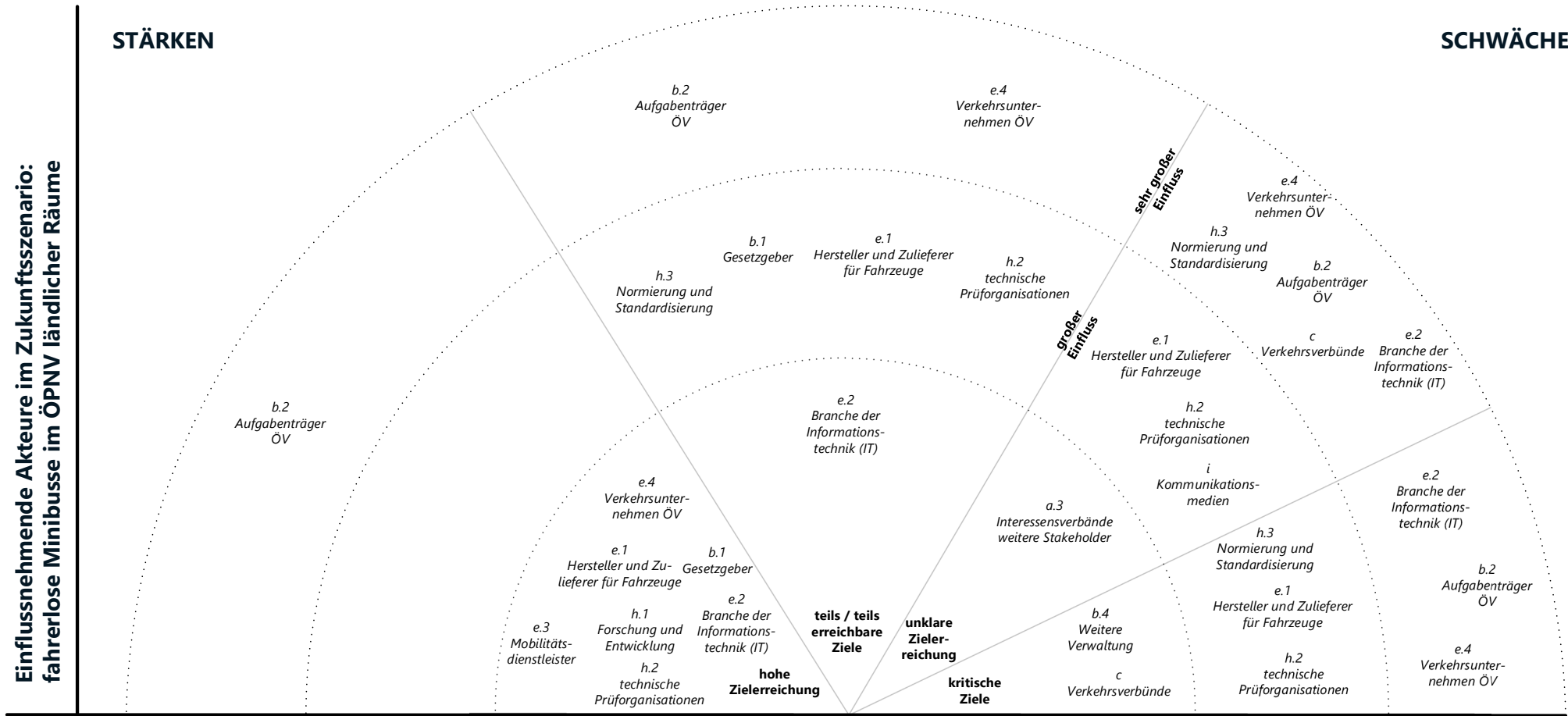


Abbildung 6-16: Mitwirkende Akteure aus Kapitel 6.1.4 im betrachteten System der fahrerlosen Minibusse im ländlichen Raum (eigene Darstellung auf Grundlage der Abbildung 6-3 und Abbildung 6-15 und den Eingaben in Abbildung 10-36)

7 Fazit zum Beitrag fahrerloser Minibusse im ÖPNV

Auf Grundlage der in den vorangegangenen Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse wird die Forschungsfrage beantwortet:

Welchen Beitrag können fahrerlose Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume leisten?

Zum Zeitpunkt der durchgeführten Analyse ist kein fahrerloser Minibus für den öffentlichen Straßenverkehr verfügbar. Alle automatisierten Minibusse bedürfen derzeit im ÖPNV einer Fahrzeugbegleitung. Das größte Defizit hinsichtlich der Automatisierung besteht in der technischen Entwicklung der Fahrzeuge zum Umgang mit sämtlichen Umfeldgegebenheiten bei hoher Verlässlichkeit und ÖPNV-Funktionalität ohne Fahrzeugbegleitung. Dadurch können die verfügbaren Fahrzeuge – beziehungsweise auf die Forschungsfrage – derzeit noch keinen relevanten Beitrag im alltäglichen ÖPNV leisten, sondern dienen vorrangig der Erprobung und Weiterentwicklung als Versuchsträger. Für eine Ergänzung und Optimierung des ÖPNV sind Systeme wie klassische Sammelverkehre derzeit günstiger als die aktuell verfügbaren automatisierten Fahrzeuge ohne Serienreife.

Die Hoffnung auf eine bessere gesellschaftliche Teilhabe von Personen ohne Fahrerlaubnis, Älteren und Menschen mit Behinderung oder Medikamentenkonsum durch fahrerloses Fahren ist berechtigt. Bei verschiedenen körperlichen oder kognitiven Bedürfnissen zeigt sich anhand der durchgeführten Feldexperimente im fahrerlosen Betrieb noch erheblicher Forschungs-, Entwicklungs- und Investitionsbedarf, um dafür geeignete Fahrzeugtechnik und Infrastruktur zu entwerfen. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Mobilität für Alle bei den heterogenen Bedürfnissen in allen Lebenslagen gänzlich ohne menschliche Unterstützung fahrerlos realisierbar ist.

Als weitere Chance werden erhebliche finanzielle Einsparpotenziale durch fahrerloses Fahren bei Entfall des Fahrzeugführenden gesehen: Gemäß der eigenen (auf deutschen Kostenansätzen) durchgeführten Berechnungen kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Einsatz fahrerloser Fahrzeuge im ÖPNV-Standard die Kosten bezogen auf den angebotenen Fahrplankilometer um ein Drittel gesenkt werden können. Allerdings bleibt es damit in ländlichen Räumen bei dispersen Fahrtanfragen mit geringem Bündelungspotenzial eine große Herausforderung, mit den vergleichsweise geringen Kosten eines privaten Pkw zu konkurrieren und ein kostendeckendes ÖPNV-Angebot aufzubauen.

Mit fahrerlosen Fahrzeugen lässt sich die Verkehrssicherheit steigern, da damit die mit Abstand häufigste Unfallursache des menschlichen Versagens ganz erheblich reduziert werden kann. Statistisch pro zurückgelegtem Personenkilometer ist eine Fahrt im ÖPNV mit seinem geschulten Fahrpersonal und gewarteten Fahrzeugen bereits eine deutlich sicherere Fortbewegungsart als der motorisierte Individualverkehr. Bei einer Steigerung der Fahrgastzahlen im ÖPNV der ländlichen Räume muss allerdings (bei einem weiterhin

Fazit zum
heutigen
Beitrag
(vgl. Kapitel
6.6.1)

Überbewertete
Chancen
(vgl. Kapitel
6.6.1)

**Risiken und
Nebenwirkungen
(vgl. Kapitel
6.6.3)**

bestehenden Mischverkehr mit manuell gesteuerten Fahrzeugen) den hohen Unfallrisiken im Zu- und Abgang zum ÖPNV begegnet werden. Als größte relevante Verkehrsunfallgefahr für Fahrgäste eines fahrerlosen Minibusses sind menschlich gesteuerte Fahrzeuge im Umfeld zu nennen.

Zum Zeitpunkt der Analyse betrafen die subjektiv empfundenen Sorgen und Ängste der Menschen insbesondere Unfälle und technische Störungen, Einschränkungen der individuellen Freiheit oder Gewohnheiten, fehlende Berücksichtigung der individuellen Bedürfnisse und Überforderung, Arbeitslosigkeit und steigende Kosten sowie Vandalismus. Bei einem großen Teil der häufig genannten Gefahren handelt es sich um Einführungsrisiken des fahrerlosen Fahrens.

In der objektiven Bewertung werden Risiken als besonders ungerecht eingestuft (unabhängig vom Schadensausmaß und der Eintrittswahrscheinlichkeit), wenn Personen Gefahren anderer Initiierender als Betroffene ausgesetzt sind – ohne dass diese Initiierenden selbst von der Gefahr betroffen sind – und für Betroffene keine Ausweichmöglichkeit existiert. Zu diesen Risiken gehören Situationen von Hilflosigkeit und Unfällen sowie Benachteiligung und Ausgrenzung von bestimmten Personen oder Gruppen. Auch Themen des Missbrauchs der Fahrzeuge für Anschläge, Attentate und Überfälle sind hierbei als Risiken aufzuführen.

Die im Rahmen der Risikoanalyse unter großem Schadensausmaß identifizierten Gefahren betreffen vor allem Missbrauch oder Manipulation der Technologie, negative Umfeld-, Umwelt- und Gesundheitseffekte, fehlende Teilhabe und hohe Komplexität mit Störungsrisiken bei großer Abhängigkeit. Es ist jedoch nicht erkennbar, dass durch den Einsatz der Technik im öffentlichen Verkehr plötzlich ein unkontrollierbares großes irreversibles Schadensausmaß eintritt.

**Fazit aus dem
betrachteten
Zukunftsszenario
(vgl. Kapitel
6.6.1)**

Im durchgeführten Verfahren wurde ein konkretes Zukunftsszenario für einen ländlichen Raum bewertet. Es wird erkennbar, dass mittels fahrerloser Minibusse in einem Flächenbetrieb im ÖPNV eine räumliche und zeitliche Flexibilisierung bei Reduzierung der Personalkosten die Mobilität in ländlichen Räumen verbessern kann. Über die durchgeführte Kostenberechnung wird allerdings deutlich, dass im gewählten Szenario die Kosten eines Angebotes fahrerloser Minibusse im ÖPNV mit den aktuellen Kostenstrukturen eines manuell gefahrenen Pkw nicht konkurrieren können, sofern keine Bündelung von Fahrtanfragen zu einem hohem Besetzungsgrad erfolgen kann. Ein niedriger Besetzungsgrad oder ein hoher Anteil an Leerfahrten würde zudem den Belangen von Umwelt- und Ressourcenschonung widersprechen. Für Menschen, die derzeit in ländlichen Räumen in ihrer Mobilität benachteiligt sind (z. B. Menschen mit Behinderungen oder Minderjährige) und für besondere Vorkommnisse sind in der Entwicklung eines geteilten fahrerlosen Fahrens noch keine technischen Lösungen für individuelle Bedürfnisse erkennbar, sodass erhebliche Mängel in den angestrebten Fähigkeiten eines solchen Szenarios identifiziert werden. Nur wenn aufgeführte Defizite beseitigt, identifizierte Hebel genutzt und die Fahrtkosten gegenüber dem Pkw konkurrenzfähig werden würden, entsteht in ländlichen Räumen in fahrerlosen Minibussen im ÖPNV ein nachhaltiger gesellschaftlicher Beitrag als Teil der Verbesserung der Mobilität. In der Vielfältigkeit der ländlichen Räume wird es Siedlungs- und Bevölkerungsstrukturen mit

hohen und äußerst geringen Potenzialen für den Einsatz fahrerloser Minibusse geben. Weitere Erkenntnisse zu konkreten Rahmen- und Randbedingungen für den Einsatz fahrerloser Minibusse werden in den Kapiteln 6.6.4.3 und 6.6.5.3 f. beschrieben.

Zur grundsätzlichen Gestaltung eines ÖPNV-Systems mit fahrerlosen Fahrzeugen werden in der durchgeführten Analyse der Akteure die umfangreichen Wirkoptionen der Aufgabenträger deutlich. Auf viele Aspekte haben zudem die Verkehrsunternehmen Einfluss. Technische Prüforganisationen besitzen eine besondere Bedeutung, wenn es um die entscheidenden Hebel zum Einsatz fahrerloser Minibusse im ÖPNV geht. Auf die identifizierten Schwächen können neben vorgenannten Akteuren insbesondere die Branche der Informationstechnik (IT), die Verkehrsverbünde und Institutionen der Normierung und Standardisierung einwirken. In der vorgenommenen Betrachtung werden Machtstrukturen bewusst nicht einbezogen. Einige Handlungsoptionen für die Entwicklung und den Einsatz fahrerloser Minibusse können in Zuordnung zu den Akteuren in Kapitel 6.6.5.4 aufgezeigt werden.

Mitwirkende
Akteure
(vgl. Kapitel
6.6.5.5)

Die Megatrends des Ökologischen und Demografischen Wandels geben einer Entwicklung zur Optimierung und zum Ausbau des ÖPNV im Mobilitätssystem dem Grunde nach Rückenwind. Über verlässlich fahrende fahrerlose Minibusse kann künftig eine verbesserte räumliche und zeitliche Flexibilität bei kurzen Zugangswegen zu einer höheren Nutzungsbereitschaft des ÖPNV beitragen. Eine einfache Verständlichkeit und Handhabbarkeit werden dabei vorausgesetzt. Als wichtiger Hebel für eine erfolgreiche Einführung der fahrerlosen Fahrzeuge in das System der Mobilität dient die optimale Integration und Vernetzung unterschiedlicher Verkehre bzw. Verkehrsmittel in der Reisekette zwischen dem tatsächlichen Start- und Zielort der Nutzenden. Im ÖPNV führt der Einsatz fahrerloser Fahrzeuge gemäß Risikoanalyse zu keinem plötzlichen unkontrollierbaren irreversiblen Schadensausmaß und wirkt gemäß Sensitivitätsmodell nicht sofort kritisch ins Gesamtsystem, als dass hierzu nicht weitere Testfelder und Real-labore für eine optimale Erprobung geschaffen werden können.

Chancen
und Hebel
(vgl. Kapitel
6.6.2 und 6.6.5)

Das hier konkret analysierte Zukunftsszenario mit geteilten fahrerlosen Minibussen und Haltepunkten als Ergänzung im bestehenden ÖPNV – *bei ansonsten unveränderten Mobilitätsoptionen* – führt unter den ermittelten Zielvorstellungen für vergleichbare ländliche Räume *nicht* zu einem überzeugenden flächendeckenden Anwendungsfall. Fahrerloses Fahren ist demnach nicht grundsätzlich der Beitrag im Sinne der übergreifend definierten Ziele und steht in einem anspruchsvollen Wirkgefüge der Mobilität. Zur Beseitigung bestehender Defizite sollte keine Fokussierung auf Hoffnungen zum fahrerlosen Fahren erfolgen, sondern der Blick auf ein übergreifendes Konzept zu einem nachhaltigen Siedlungs- und Mobilitätssystem – unter einem optionalen Einbezug der Potenziale des fahrerlosen Fahrens – gerichtet sein. Auf die Entwicklung der Technik des fahrerlosen Fahrens im Straßenverkehr kann verzichtet werden, falls diese nur der Weiterentwicklung des problembehafteten privaten Pkws (ohne Sharing) dient. Einer Steigerung des Verkehrsaufkommens und der Ausgrenzung von Personen, die von der Mobilität abgeschnitten oder auf Unterstützung angewiesen sind, ist entgegenzuwirken. Für diese Personen, wie Menschen mit Behinderung, wird das fahrerlose Fahren von den

Anschließende
Überlegungen

maßgeblichen Herstellern derzeit nicht hinreichend konzipiert. Den fahrtüchtigen Menschen (im Besitz von Fahrerlaubnis und entsprechenden Fahrfähigkeiten) stehen aktuell günstige (Fahrrad, Pkw ...) und/oder in Ballungsräumen sichere Verkehrsmittel (Zug, Bus ...) zur Verfügung. Es sind mit einer notwendigen Objektivität und Offenheit Szenarien und Maßnahmen unter den Akteuren zu diskutieren, die den gesellschaftlichen und regional unterschiedlichen Bedürfnissen an ein künftiges Mobilitätssystem nachhaltig begegnen. Die Automatisierung – als eine Komponente der Evolution des Automobils mit seinen aufgezeigten Chancen und Risiken – kann im Sinne der übergeordneten Ziele dabei unterstützen, wenn es integriert und geteilt für Alle nutzbar entwickelt wird. Neue Potenziale können sich in Strategien zu einer vielfältig vernetzten Mobilität ergeben, die auf individuelle Bedürfnisse eingeht und der hohen Durchsetzungsfähigkeit von individuellen (fahrerlosen) Kfz begegnet, die in ländlichen Räumen weiterhin notwendig sind.

8 Fazit zur Anwendung des Verfahrens

Abschließend stellt sich die Frage, wie es gelungen ist, mit dem eigens entwickelten Verfahren die erste Forschungsfrage zu beantworten:

Wie kann frühzeitig eine technische Innovation im Verkehrswesen ganzheitlich bewertet werden?

Dazu wird das angewendete Verfahren zuerst anhand des Erkenntnisgewinns bewertet (Kapitel 8.1) und anschließend mit den zuvor theoretisch entwickelten Lösungsansätzen aus Kapitel 5.2 abgeglichen (Kapitel 8.2). Darauf aufbauend erfolgt der Blick auf eine vereinfachte Variante des Verfahrens (Kapitel 8.3) und die Gesamteinordnung mit dem Mehrwert des Verfahrens (Kapitel 8.4).

8.1 Reflektion anhand des Erkenntnisgewinns

Die Anwendung eines umfangreichen Verfahrens ist ausschließlich gewinnbringend, wenn sich darüber ein neuer relevanter Erkenntnisgewinn ergibt. Im Folgenden wird dies bezogen auf die einzelnen Phasen der durchgeführten Bearbeitung reflektiert.

Die Situationsanalyse im Rahmen des Scopings führt zur ausführlichen Erkundung des Umfeldes der im Fokus stehenden Technik: Mit der Untersuchungsraumabgrenzung wird eine kapazitätsbedingt notwendige Reduzierung auf wesentliche Elemente eines soziotechnischen Systems verfolgt. Dabei schränkt der betrachtete Anwendungsfall der Technik die möglichen Zukünfte der Technologie zwar ein, stellt die Technik allerdings erfolgreich in einen händelbaren Zusammenhang, der die aufs System wirkenden äußeren Einflüsse über Akteure und Megatrends ermitteln lässt: Die einfache Einordnung in die Megatrends liefert einen guten Eindruck, welchen gesamtgesellschaftlichen Entwicklungen sich die Technik stellen muss. Die oberflächliche Ermittlung der in Verbindung mit der Technik stehenden Akteure ist hinreichend für das Verständnis, wer auf die Zukunft der Technik einwirkt. Dabei gelingt eine neue leicht verständliche Übersicht über alle Akteure, die bisher nicht verfügbar war (siehe Abbildung 6-3). Eine anschließende Offenlegung der Abhängigkeiten der oder des Bearbeitenden gewährleistet die für Dritte wichtige Transparenz. Die Bewertung der Fähigkeiten mittels der durchgeführten Einflussmatrixanalyse stellt eine erste Momentaufnahme der Wirkungen dar, die allerdings in ihrem Wirkgefüge in mehreren Schleifen durchlaufen werden sollte. Der gewählte Betrachtungsfall unter Nutzung der Technik durch den Menschen unter Wechselwirkung mit der Umwelt führt in der anschließenden Analyse zu entscheidenden neuen Erkenntnissen, da Herausforderungen in der tatsächlichen Anwendung der Technik aufgezeigt werden können.

Die Erstellung des spezifischen Zielsystems liefert einen umfangreichen Einblick in potentielle Fähigkeiten, die das betrachtete System aus heutiger Sicht von ExpertInnen und Literatur leisten sollte. Diese unter Oberzielen gruppierten Ziele werden untereinander als gleichwertig betrachtet. Eine Vollständigkeitsprüfung erfolgt überschlägig

anhand allgemeiner Oberziele, Lebensbereiche und Kategorien. Eine Schwierigkeit besteht darin, die treffende „Flughöhe“ als Grad der Konkretisierung und eine passende Anzahl aller relevanten Ziele zu finden. Gleichzeitig schränkt das Zielsystem einen kreativen Einsatzzweck in einer offenen Zukunft ein, da es an Vorstellungen der Gegenwart orientiert ist, die sich in der Zukunft wandeln werden.

Die technische und rechtliche Prüfung der Einsatzbedingungen liefert einen sehr umfangreichen Erkenntnisgewinn, der sich für den hier gewählten Betrachtungsfall des Systems im ÖPNV genehmigungsrechtlich als anspruchsvoll erweist und in ein separates Working Paper ausgelagert ist. Es werden in dieser frühen Phase bereits technische Defizite der Technik deutlich, die sich in der späteren Analyse erneut bestätigen, nämlich, dass die Technik in der bisherigen Form nicht einsatzbereit für den Regelbetrieb im ÖPNV ist (u. a. wegen Defiziten in der Barrierefreiheit, Verlässlichkeit, Geschwindigkeit). An dieser Stelle wäre ein Abbruch des Verfahrens und die Realisierung eines Versuchsträgers abzuwägen. Insgesamt wird die Bedeutung dieser Phase zur Bewertung des Stands der Technik ersichtlich.

Neben den zuvor von außen auf das System einwirkenden Kontinuitäten, u. a. im Zuge der Megatrends, werden in der Synthese potentielle Anwendungsszenarien zur Konkretisierung möglicher Zukünfte mit der Technik gebildet. Damit wird die Technik in ihrem Einsatz verdeutlicht und eine weitere Analyse der Fähigkeiten in den zu bewertenden Szenarien vereinfacht. In der durchgeführten Verfahrensanwendung wird ein einziges Zukunftsszenario für fahrerlose Minibusse betrachtet. Es ist erstrebenswert das Verfahren auf weitere Szenarien auszudehnen und abweichende Einsätze der Technik bewerten zu können.

Die Analyse ist die Wissensproduktion auf Basis eigens erhobener Daten. Strukturiert nach Zielfeldern generiert diese Phase zu vielen Fähigkeiten Wissen mittels durchgeführter Umfragen und Experimente und schließt damit (z. B. bei Kosten, Barrierefreiheit und Verkehrssicherheit) erfolgreich zuvor identifizierte Forschungslücken.

Zur Einordnung und Verbindung des zuvor in der Analyse disparat gewonnenen Wissens dient die Phase der Bewertung im Verfahren. Die Verknüpfung gelingt über eine diagonale und vertikale Verbindung des Wissens über die Einflussmatrix- und SWOT-Analyse. Das Verfahren liefert darüber erstmalig eine neue hilfreiche und umfangreiche Übersicht zu Risiken und Chancen der neuen Technik, die gleichzeitig vorhandene Defizite und offene Punkte im Hinblick auf das Zukunftsszenario veranschaulicht (vgl. Abbildung 6-15). Zuvor gelingt es, umfangreich Risiken zu sammeln und mehrdimensional anhand des potentiellen Schadensmaßes, der Ungerechtigkeit und der aktuellen Wahrnehmung zu ordnen. Das in der Risikoabschätzung übliche Defizit einer kaum abschätzbaren Eintrittswahrscheinlichkeit wird damit überwunden und eine neue gesellschaftlich orientierte Risikobewertung ermöglicht. Die vorliegende Bewertung liefert neben dem Wissen zu möglichen Zukünften der Technik viele Erkenntnisse zum heutigen System. Aus der Zusammenführung des Wissens ergeben sich Erkenntnisse zur Mitwirkung der Akteure und potentielle (alternative) Handlungsoptionen.

8.2 Reflektion anhand der Lösungsansätze

In Kapitel 5.2 (Tabelle 5-2) wurden die Erkenntnisse aus bereits angewandten Verfahren zur Bewertung von Technik mit eigenen Lösungsansätzen (*Lx*) verknüpft. Rückblickend gilt es zu bewerten, inwiefern die Lösungsansätze zur Beantwortung der Problemstellung erfolgreich angewendet werden konnten.

Es ist festzustellen, dass viele der in Tabelle 5-2 ermittelten Lösungsansätze ergebnisorientiert umgesetzt werden konnten:

- Im entwickelten Verfahren ist eine umfangreiche Anzahl an Arbeitsschritten entstanden, die durch ein zu Beginn definiertes System und dessen anzustrebende Fähigkeiten bzw. Ziele über stark strukturierte Phasen erfolgreich zusammengehalten werden (*Kapitel 5.1, 5.3* $\leftarrow$ *L1, L4*).
- Die Technik konnte als soziotechnisches System mit seiner Umwelt betrachtet werden, das in die Wegekette des Menschen integriert betrachtet wurde (*Kapitel 5.4.1* $\leftarrow$ *L3*).
- Die Fähigkeiten bzw. Ziele wurden in Zusammenarbeit mit lokalen Verantwortlichen definiert und auf eine ganzheitliche Umfänglichkeit geprüft. Die Analyse konnte anhand regionaler Datengrundlagen angereichert werden und stellt einen regionalen Bezug her. (*Kapitel 5.4.2* $\leftarrow$ *L2, L5, L11, L12*)
- Mittels der angewendeten Szenariotechnik gelang eine Veranschaulichung einer möglichen Zukunft (*Kapitel 5.4.4* $\leftarrow$ *L6, L16, L24*).
- Bei der Bewertung konnte im Wesentlichen auf eine Gewichtung und vorweggenommene Entscheidung verzichtet werden (*Kapitel 5.4.7* $\leftarrow$ *L7*).
- Mit einem generierten Pool an hilfreichen Methoden konnte entlang der angestrebten individuellen Fähigkeiten bzw. Ziele umfangreiches Wissen generiert und anschaulich bewertet werden (*Kapitel 5.4.5, 5.4.6* $\leftarrow$ *L8, L9*).
- Im Zuge der Anwendung der Technik wurden neue Lösungen entwickelt und in einem Testfeld mit Versuchsträger unter Einbezug von Zu- und Abgang sowie unter Berücksichtigung der Infrastruktur mit entsprechendem Erkenntnisgewinn real erprobt (*Kapitel 5.4.5* $\leftarrow$ *L10, L23, L25*).
- Mittels einer ausführlichen Kosten- und Risikoanalyse unter Einbezug der Öffentlichkeit wurden weitreichende Konsequenzen analysiert (*Kapitel 5.4.6* $\leftarrow$ *L13, L15*).
- Das Vorgehen ist transparent und die Eingangsparameter sowie gewählten Fähigkeiten bzw. Ziele sind austauschbar, sodass eine erneute Durchführung unter anderen Bedingungen oder Erkenntnissen möglich ist (*Kapitel 5.5* $\leftarrow$ *L14*).
- Die eigenen Analyseergebnisse konnten erfolgreich anhand von Erkenntnissen in der Literatur geprüft und ergänzt werden (*Kapitel 5.4.6* $\leftarrow$ *L17*).
- Bei der Analyse und Bewertung des technischen Systems konnte durch Feldexperimente mit einem Versuchsträger und begleitenden Umfragen detailliert auf die Bedürfnisse verschiedener Zielgruppen eingegangen werden (*Kapitel 4.3* $\leftarrow$ *L18, L20*).

- Mittels einer Analogiebildung flossen hilfreiche Erkenntnisse zur Realisierungsfähigkeit und Konkurrenzsituation der Technik in die Bewertung ein (*Kapitel 5.4.6* $\leftarrow$ L24, L26).
- Es wurden über automatisch generierbare Darstellungen (z. B. Zielerreichungstabelle 6-15 oder SWOT-Abbildung 6-15) die Ergebnisse anschaulich vereinfacht aufbereitet (*Kapitel 5.4.6* $\leftarrow$ L12).

Bei einigen Aspekten konnte dem eigenen Lösungsansatz nicht entsprochen werden:

- Die Ausarbeitung und Durchführung des Verfahrens erfolgte in diesem Beispiel durch eine Person. Eine Qualitätssicherung und hohe Objektivität sowie Inferenzqualität des Verfahrens bedarf eines interdisziplinären Bearbeitungsteams und ist in diesem Falle mit dem Einbezug Dritter über Umfragen und Workshops kompensiert worden (*Kapitel 5.4.1, 5.4.5* $\leftarrow$ L19, L22).
- Trotz der Eingrenzung des Untersuchungsobjektes auf ein geschlossenes Teilsystem und der klaren Strukturierung ist der Umfang des gewählten Vorgehens nicht unerheblich (*Kapitel 5.4.6* $\leftarrow$ L21).

Damit können die aus anderen Verfahren in Kapitel 5.2 abgeleiteten Erkenntnisse im angewendeten Verfahren fast vollständig erfüllt werden. Defizite bestehen in der Herausforderung, dass ein solches Verfahren von einem interdisziplinären Team und zur besseren Objektivierung nicht von einer Person durchgeführt werden sollte. Im Falle einer gleichwertig angestrebten Untersuchungstiefe entsteht ein hoher Aufwand mit einer dadurch eingeschränkten einfachen Anwendbarkeit durch Dritte.

8.3 Reduzierte Variante des Verfahrens

Rückblickend ist aus den vielen aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten ein ziel führendes und wissensgenerierendes Verfahren entstanden, das allerdings zu umfangreich für viele Einsatzzwecke erscheint. Weniger Aufwand (und Wissen) kann sich in einer reduzierten Ausführungsvariante des Verfahrens ergeben, das in Abbildung 8-1 dargestellt ist. Die Bearbeitung sollte nach Möglichkeit in einem interdisziplinären Team erfolgen, um die Betrachtung zu objektivieren und die Qualität der Ergebnisse zu steigern.

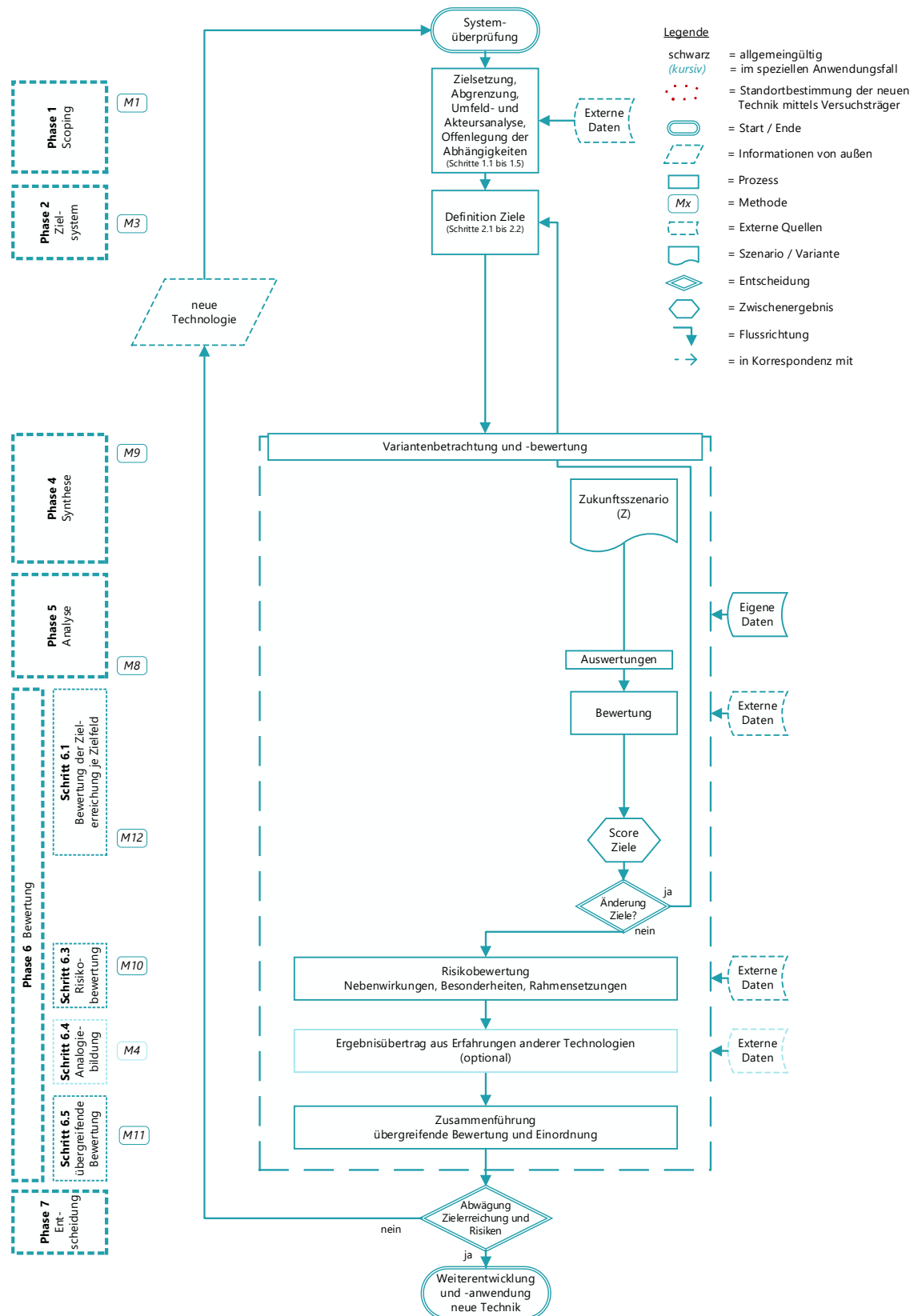


Abbildung 8-1: Aufwandsreduzierte Variante des Verfahrens (eigene Darstellung auf Grundlage des umfangreichen Verfahrens in Abbildung 5-5)

Im vereinfachten Verfahrensverlauf wird zugunsten der Anwenderfreundlichkeit auf aufwendige Arbeitsschritte und komplizierte Methoden verzichtet, was gegenüber dem Verfahren nach Kapitel 5.5 zu einem Verlust an Erkenntnistiefe und -qualität sowie fehlendem Verständnis der Zusammenhänge und des aktuellen Stands der Technik führt, aber dennoch eine verbesserte Einschätzung einer neuen Technik ermöglicht und die Alternative einer unüberlegten und unbegründeten Bewertung (VDI, 2000, S. 31) vermeidet. Nachfolgende Arbeitsphasen sollten dazu in der Anwendung des Verfahrens verbleiben (vgl. Abbildung 8-1):

- **Scoping:** Über die im Fokus stehende Technik sind Informationen zu beschaffen (z. B. Literaturrecherche, ExpertInnengespräche) und ein relevanter Einsatzzweck der Technik mit seinem Umfeld festzulegen (z. B. als Skizze im Rahmen eines Brainstormings). Dabei ist die Rolle des Menschen in Verbindung mit der Technik zu berücksichtigen.
- **Zielsystem:** Für den zuvor definierten Anwendungsfall zur Technik werden angestrebte Ziele und Bewertungsindikatoren (z. B. in tabellarischer Form) gesammelt. Für ein objektives Ergebnis ist es von besonderer Bedeutung diese in einer großen Breite unter verschiedenen übergeordneten (gesellschaftlichen) Zielfeldern zusammenzustellen. Entsprechende Literatur (z. B. Normen und Richtlinien oder Entwicklungs- und Zielsysteme von entsprechenden Institutionen) liefern hierzu Eingangsdaten.
- Die Phase der **Einsatzbedingungen** entfällt, sofern keine spezifischen eigenen oder externen Fachkenntnisse zur Technik zur Verfügung stehen.
- **Synthese:** Für die Technik werden ein oder mehrere Einsatzszenarien gebildet.
- **Analyse:** In der Analyse wird je Ziel in Verbindung mit dem Einsatzszenario recherchiert, inwiefern dieses Ziel erreichbar ist (z. B. über Veröffentlichungen aus der Forschung). Es ist nicht zu vermeiden, dass – wie auch in diesem durchgeführten Verfahren – ohne eigene Erhebungen oder ExpertInneninterviews Lücken in der Analyse bestehen. Parallel dazu können in der Literatur aufgezeigte Risiken in Verbindung mit der Technik für die nachfolgende Bearbeitungsphase gesammelt werden.
- **Bewertung:** Das zuvor in der Analyse dispers gewonnene Wissen wird individuell je Ziel interpretiert und eine einfach abgestufte Zielerreichung je Ziel ermittelt (z. B. vereinfacht in tabellarischer Form). Anschließend werden alle erdenklichen und zwischenzeitig identifizierten Risiken zur Technik (unabhängig vom Einsatzszenario) gemäß dem Vorgehen unter Kapitel 5.4.6 (Schritt 6.3 aus Phase 6) bewertet. Ein zusätzlicher Exkurs in eine Analogiebetrachtung zu dieser oder anderer Technik in vergleichbaren Anwendungsfällen kann zusätzlichen relevanten Erkenntnisgewinn erzeugen. Abschließend wird das gewonnene Wissen mittels der SWOT-Analyse zur abschließenden Interpretation und Entscheidung veranschaulicht (Vorgehen gemäß Schritt 6.5 aus Phase 6 im Kapitel 5.4.6).

Durch diese Verfahrensvereinfachung entfallen Erkenntnisse zu rechtlicher und technischer Machbarkeit, den Stellschrauben und Wirkungszusammenhängen sowie Akteuren zu einer Technik. Dennoch bietet die dargestellte Vereinfachung eine Hilfestellung zur strukturierten breiten Wissensgenerierung.⁴⁰

⁴⁰ Folgende zusätzliche Literatur ist hilfreich im Falle einer Anwendung und/oder Weiterentwicklung des vereinfachten Verfahrens: Zweck (2013, S. 149–158), FGSV (2010b), Pahl et al. (2007, S. 17 ff.) sowie Pleschak und Sabisch (1996, S. 172–183).

8.4 Gesamteinordnung und Mehrwert

Mit dem hier entwickelten und angewendeten Verfahren, das auf einer breiten Generierung von Wissen beruht und dieses unter gesamtgesellschaftlich orientierten Zielen unter Berücksichtigung der potentiellen Risiken verknüpft, gelingt eine frühzeitige ganzheitliche Bewertung einer technischen Innovation. Ein wesentliches übergeordnetes Ziel einer Bereitstellung und Objektivierung des Wissens zum Stand des autonomen Fahrens wird mit dem Verfahren erreicht.

Das Verfahren ist inspiriert von der Technikfolgenabschätzung und legt mit seinem Vorgehen „ein Ohr an die Gesellschaft“ (Bösch et al., 2021a, S. 15), indem es neben den gesamtgesellschaftlich orientierten Zielen die Bevölkerung in einem Testfeld mit Versuchsträger einbezieht und diese neben den Potenzialen nach Risiken befragt. Dabei wurden u. a. Hinweise von Nichtnutzenden und Nutzenden, einschließlich Menschen mit Behinderung aufgenommen, die einen relevanten Beitrag zur Bewertung der Technik beitragen. Die Grundlage für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage ist ein vielfältiger Methodenmix, der mittels übersichtlicher Strukturierung in mehrere Verfahrensschritte und über das Zielsystem zusammengehalten wird. Im Zentrum der Betrachtung steht der Mensch bei Nutzung der Technik in einem abgegrenzten Teilsystem, dessen Wechselwirkungen mit der Umwelt über die Ziele, Risiken, Akteure und Megatrends Berücksichtigung finden.

Der Mehrwert dieses Verfahrens zeigt sich in der Auflösung der Komplexität einer Technologie im Steuerungs- und Kontrolldilemma unter Produktion sortierten Orientierungswissens. Zu diesem Wissen gehören Erkenntnisse zu den Risiken und Chancen. Insbesondere für Anwender dieses Verfahrens selbst stellt sich ein weitreichendes soziotechnisches Systemverständnis für das betrachtete System ein, das als Momentaufnahme einen zufriedenstellenden Überblick liefert. Eine von einzelnen Akteuren (z. B. Herstellern) vermittelte Technikeuphorie (vgl. Mitteregger, 2017, S. 240) kann differenziert betrachtet werden und ein realistischer und ganzheitlicher Blick auf die Fähigkeiten des betrachteten technischen Systems reflexiv geschärft werden. Der gewählte Ansatz motiviert zur Verknüpfung vieler verschiedener hilfreicher Methoden, die die Menschen mit ihren individuellen Bedürfnissen in den Mittelpunkt einer nachhaltigen Technikentwicklung stellen können. Für die Ansätze, die in der Richtlinie zur Technikbewertung der VDI (2000) aufgezeigt werden, liefert das Verfahren ein konkretes Anwendungsbeispiel – für das eine weitere Erprobung und Entwicklung anzustreben ist.

9 Schlussbetrachtung

In dieser Momentaufnahme zum Stand der Technik des autonomen Fahrens wird ein Fokus auf fahrerlose Minibusse für den Menschen im ÖPNV ländlicher Räume geworfen, indem systematisch und transparent Wissen zum heutigen und künftigen Beitrag dieser Fahrzeuge aus der Verkehrsplanung generiert und auf viele Risiken aufmerksam gemacht wird. Um den Forschungsfragen aus Kapitel 1.1 zu begegnen, auf deren Beantwortung in den Kapiteln 7 und 8 eingegangen wird, ist die Entwicklung eines eigenen methodischen Vorgehens notwendig geworden.

Der Aufbau dieses Vorgehens zur Auflösung der Forschungsfragen (Kapitel 1.1) erfolgt auf Basis einer Recherche zum Themengebiet der Bewertung von Technik und aus den Erkenntnissen von bereits in der Vergangenheit angewandten Verfahren anhand der zugehörigen Literatur (Kapitel 4). Nach Auswertung von verschiedenen Verfahren erfüllt keines die eigens definierten Anforderungen für eine frühzeitige und ganzheitliche Bewertung einer technischen Innovation im Verkehrswesen. Allerdings können aus dieser Recherche heraus wichtige Erkenntnisse gewonnen und Einzelmethoden identifiziert werden, mit denen ein neues Verfahren – in einer an der Systemtechnik orientierten Strukturierung – geschaffen wird. Dabei entsteht (in Kapitel 5) ein Zusammenspiel von Ansätzen der Verkehrsplanung, Technikfolgenabschätzung und –bewertung mit einem Methodenpool, um damit ein technisches System im Verkehrswesen und dessen Fähigkeiten und Folgen ganzheitlich analysieren und bewerten zu können.

Wichtiger Bestandteil des entwickelten Verfahrens mit mehreren Phasen ist die vorangestellte Systemanalyse und -abgrenzung des soziotechnischen Systems unter Berücksichtigung eines vollständigen Anwendungsfalls (Beispiel: Nutzung eines fahrerlosen Minibusses einschließlich Zu- und Abgang einer Person an der Haltestelle). Anschließend erfolgt die Zerlegung der hierfür angestrebten Fähigkeiten in quantitativ oder qualitativ messbare Ziele, für die mittels entsprechender Einzelmethoden (Kapitel 4.3) möglichst viele Datengrundlagen generiert werden. Die aus der Datenanalyse gewonnenen Erkenntnisse werden zuerst einzeln je Ziel in verschiedenen Szenarien bewertet und anschließend mittels Eintrag in einer Verflechtungsmatrix wieder zurück in ihr Wirkungsgefüge im soziotechnischen System gesetzt. In dieser Matrix können alle Fähigkeiten bzw. Ziele in ihren Zusammenhängen mittels des Sensitivitätsmodells in Wechselwirkungen, Abhängigkeiten und Zielkonflikten weitergehend betrachtet werden, um mit Verzögerung eintretende Effekte des Systems zu erkennen und darauf aufbauende Strategien zu entwickeln (Methode M2 in Kapitel 4.3). Diese Bewertungsmethodik wird zusätzlich um eine Risikoanalyse ergänzt, die Risiken nicht auf Basis ihrer teils schwer abschätzbaren Eintrittswahrscheinlichkeit, sondern hinsichtlich Schadensausmaß, Ungerechtigkeitsfaktor und öffentlicher Wahrnehmung bewertet (beschrieben in Schritt 6.3 im Kapitel 5.4.6). Abschließend werden alle Ergebnisse mittels einer SWOT-Analyse zusammengeführt: Dabei werden positiv bewertete Ziele (als Stärken) und kritische Ziele (als Schwächen) unter Berücksichtigung der jeweiligen Rolle im Sensitivitätsmodell gegenübergestellt sowie identifizierte Treiber und Megatrends (als Chancen) und die Gefahren aus der Risikoanalyse mit ihrer zuvor ermittelten individuellen

Ausgangspunkt
der Verfahrens-
entwicklung

Theoretischer
Aufbau des
Verfahrens

Wirkung ergänzt (beschrieben in Schritt 6.5 im Kapitel 5.4.6). Über die im Kapitel 5 dargelegten Verfahrensschritte und die abschließende Verknüpfung in der SWOT-Analyse gelingt eine Bereitstellung von systematisch generiertem Wissen über den Stand der Technik und eine belastbare und nachvollziehbare Abschätzung zu resultierenden Folgen.

Ergebnisse aus der Anwendung des Verfahrens

Als ein konkreter Anwendungsfall für das entwickelte Verfahren wird der Beitrag von fahrerlosen Minibussen einschließlich des Zu- und Abgangs als ein technisches System im ÖPNV verwendet (Kapitel 6), um die aufgezeigten Forschungslücken (siehe Kapitel 1.3) zu beheben. Über den aktuellen Stand der Technik wird für den Zeitpunkt der Bewertung festgestellt, dass aufgrund vielfältiger technischer Defizite kein fahrerloser Minibus zur Bewältigung der vielfältigen Herausforderungen im öffentlichen Straßenverkehr und unter den Anforderungen des ÖPNV verfügbar ist.

Das im Rahmen der Bewertung konkret betrachtete Zukunftsszenario mit fahrerlosen Minibussen als Ergänzung des ÖPNV in einem ländlichen Raum (ohne die Änderung äußerer Parameter) führt zudem in der durchgeführten Gesamtbewertung zu keinem überzeugenden Anwendungsfall (siehe Kapitel 6.6.5): Gegenüber verschiedenen Vorteilen (u. a. räumliche und zeitliche Erschließungsqualität) bestehen erkennbare Probleme in einem hinreichenden fahrerlosen Beförderungsstandard (zur diskriminierungsfreien Teilhabe), der Verkehrssicherheit an Haltestellen bei Mischverkehr und der Kriminalprävention sowie des wichtigen Hebels einer verlässlichen Integrierbarkeit und Vernetzung der Verkehre (in einer Reisekette). Es ist zudem aus der Kostenschätzung **nicht** erkennbar, dass mit dem hier betrachteten Szenario in einem ländlichen Raum eine ausreichend hohe Wirtschaftlichkeit und Schnelligkeit gegenüber anderen Verkehrsmitteln – wie dem klassischen Pkw – erzielt werden kann.

Die allgemein erhofften großen Potenziale fahrerloser Minibusse in Punkto Steigerung der Sicherheit, Kostenreduzierung und uneingeschränkter gesellschaftlicher Teilhabe wirken demnach derzeit überbewertet (siehe Kapitel 6.6.5.2). Zudem ist aus dem Wirkungsgefüge heraus ersichtlich, dass allein durch einen Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen im ÖPNV die Herausforderungen der Mobilität der vielfältigen ländlichen Räume nicht gelöst werden können (siehe Kapitel 6.6.1.3 und 6.6.5), da der Parameter der Fahrerlosigkeit gemäß der durchgeführten Verflechtungsmatrix-Analyse eine Variable ist, die so stark in das Wirkgefüge des betrachteten Systems eingebunden ist, dass der Einfluss anderer Variablen weiterhin große Bedeutung hat (siehe Kapitel 6.6.2). Zur Gewährleistung der Mobilität in ländlichen Räumen ist demnach nicht allein die Technik des fahrerlosen Fahrens zu betrachten, sondern die Fähigkeiten des Mobilitätssystems mit verschiedenen Verkehrsmitteln unter einem möglichen Einbezug der Potenziale des fahrerlosen Fahrens unter Beachtung der regionalen oder lokalen Bedürfnisse im jeweiligen Raum. Als wichtiger wirksamer Hebel dient im betrachteten System die optimale Integration und Vernetzung von Verkehren bzw. Verkehrsmitteln zwischen Start- und Zielort. Dabei spielen die Verlässlichkeit und verbesserte räumliche und zeitliche Flexibilität bei kurzen Zugangswegen und die einfache Handhabbarkeit und Verständlichkeit eine wichtige Rolle mit einer mehr oder weniger großen Hebelwirkung (siehe Kapitel 6.6.2).

Bei der Verknüpfung der Hebel mit den Akteuren wird die Bedeutung der Aufgabenträger des ÖPNV mit ihrer Möglichkeit der Einwirkung auf sämtliche Ziele im betrachteten System verdeutlicht (siehe Kapitel 6.6.5.5). Dazu kommt den Verkehrsunternehmen und der Branche der Informationstechnik sowie den Verkehrsverbünden und der Normierung und Standardisierung eine relevante Rolle zu, um im betrachteten System des ÖPNV konkrete Änderungen und Innovationen zu verfolgen. Im Kapitel 6.6.5.4 werden den Akteuren aus den Erkenntnissen abgeleitete Handlungsoptionen zugeordnet.

Aus der Anwendung der entwickelten Risikoanalyse werden potentielle negative Folgen des fahrerlosen Fahrens erkennbar (siehe Kapitel 6.6.3): Als mögliche Risiken mit einem großen Schadensausmaß sind insbesondere Missbrauch oder Manipulation der Technologie, negative Umfeld-, Umwelt- und Gesundheitseffekte, fehlende Teilhabe sowie hohe Komplexität mit Störungsrisiken und entsprechenden Konsequenzen bei hoher technischer Abhängigkeit zu nennen. Es werden weitere konkrete Risiken identifiziert, die die gesellschaftliche Akzeptanz und die aktuelle Wahrnehmung der Menschen beeinflussen. Dabei kann über den entwickelten Ungerechtigkeitsfaktor zwischen objektiv ungerechten Risiken (z. B. Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Missbrauch von Minderjährigen oder Überfälle im Fahrzeug, im Notfall keine Hilfe im Fahrzeug, Missbrauch der Überwachungsfunktionen/Spionage ...) und subjektiv aktuell erhobenen kritisch empfundenen Risiken (z. B. Unfälle, Verkehrsbehinderungen, Arbeitslosigkeit ...) differenziert werden (siehe Kapitel 6.6.3). Insgesamt wird bei der Bewertung der 126 identifizierten Risiken allerdings auch deutlich, dass ein plötzlich auftretendes großes irreversibles Schadensausmaß mit der Einführung des autonomen Fahrens im Straßenverkehr bislang nicht erkennbar ist.

Bei der durchgeführten Bewertung handelt es sich um eine Momentaufnahme, die in vielen Punkten auf den Erkenntnissen des Testfeldes für automatisierte Minibusse in Lauenburg/Elbe aus den Jahren 2019 bis 2021 basiert. Neben der langsam fortschreitenden Entwicklung des autonomen Fahrens verändern sich die Umweltbedingungen (z. B. Werte, Klimawandel, Mobilitätsverhalten, gesetzliche Vorgaben ...), sodass das gewählte Vorgehen dem Grunde nach laufend nach neuen Eingaben und Auswertungen zur Wissensgenerierung verlangt. Mit dem Blick auf die aktuellen Testfelder des automatisierten Fahrens wirkt die Aktualität und Relevanz der Erkenntnisse vier Jahre nach dem öffentlichen Realbetrieb in Lauenburg/Elbe gegeben.

Die Umweltbedingungen des technischen Systems wurden in den betrachteten Szenarien nicht variiert, dadurch stehen die daraus ermittelten Ergebnisse in Abhängigkeit mit den gegebenen Randbedingungen (z. B. Arbeitsmarkt, Subventionen, Steuern ...). Im Hinblick auf das übergreifende Ziel einer allgemeinen Wissensgenerierung und Identifikation von Folgen schränkt dies bei entsprechender Einordnung die Ergebnisqualität allerdings nicht ein, die aus der gewählten mesoskopischen Betrachtung resultiert.

Das aufgezeigte Ergebnis aus einer naturgemäß kapazitiv begrenzten Eigenforschung mit notwendigen subjektiven Relevanzentscheidungen wünscht sich mittels neuer Zielvorgaben und Wirkbeziehungen sowie weiteren Rückkoppelungsschleifen und

Kritische
Reflexion /
Limitationen

Szenarien aus anderen Perspektiven validiert zu werden, insbesondere weil ansonsten die vielfältigen Gesichtspunkte anderer Disziplinen – wie z. B. der Natur-, Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften – nicht hinreichend Berücksichtigung in der Bewertung finden.

Auch die durchgeführte Einordnung der Akteure findet lediglich aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht auf Basis einer vereinfachten makroskopischen Bewertung statt, die u. a. tatsächliche Machtstrukturen und politische Abhängigkeiten in einem sich wandelnden Akteursnetzwerk außer Acht lässt. Sie erzeugt aber erstmalig eine umfassende Übersicht über die Beteiligten im fahrerlosen Fahren im ÖPNV, die sich an der weiteren Entwicklung und Aushandlung des Einsatzes der Technik beteiligen können bzw. sollten.

Letztlich ist das entwickelte Verfahren insgesamt ein zielgerichtetes Komplexitätsmanagement, das viele Einzelerkenntnisse mit ihren Wirkbeziehungen untereinander in eine händelbare Struktur gibt. Es führt zudem eine theoretisch unendliche Wissensgenerierung zu einem (vorübergehenden) Abschluss, der dann eine nachvollziehbare Zwischenbewertung zu einer neuen Technik im vermeintlichen Collingridge-Dilemma ermöglicht.

Übertrag- barkeit

Dieses Verfahren lädt dazu ein in Gänze oder in Teilen für weitere Bewertungen von Technik herangezogen zu werden. Insbesondere können die hilfreichen Elemente – wie die entsprechende Strukturierung, Zerlegung in einzelne Fähigkeiten und Ziele, Analogiebildung und Risikoanalyse – leicht auf jede weitere Anwendung übertragen werden. Das anspruchsvollere Sensitivitätsmodell und die SWOT-Analyse unterstützen zudem deutlich bei der besseren Einordnung der Relevanz der Einzelergebnisse in ihren Zusammenhängen. Dabei sollte eine Anwendung nicht im Alleingang durch eine Person erfolgen, sondern von einem interdisziplinären Team aus verantwortlichen und forschenden Akteuren.

Man darf sich allerdings mit einem solchen Verfahren nach Scheffczik (2003, S. 123) „...nicht der Illusion hingeben, man hätte ein Instrumentarium geschaffen, das eine umfassende Betrachtung und Ermittlung der Technikfolgen und der Wirkungszusammenhänge ermöglicht.“ Es wird aus der gewonnenen Erfahrung deutlich, dass es neben der wichtigen Struktur weiterhin den offenen Baukasten mit verschiedenen Methoden und neuen Ideen braucht, der auf die jeweiligen Herausforderungen individuell angewendet werden kann. Um grundsätzlich – die durchaus anspruchsvolle – Bewertung einer Technik zu vereinfachen, benötigt es seitens der Forschung neben Handbüchern in den Sprachen der relevanten Fachdisziplinen weitere möglichst nachvollziehbare Anwendungsbeispiele wie dieses.

Weiterer Forschungs- bedarf

Neben weiterer Erprobung dieser oder anderer Ansätze zur ganzheitlichen Bewertung von Technik sollten neue Strategien für die künftige Mobilität mit ihren Vor- und Nachteilen von Forschenden, Verantwortlichen in der öffentlichen Verwaltung und Verkehrsverbünden unter Einbezug von Verkehrsunternehmen, Mobilitätsdienstleistern, Öffentlichkeit und Politik (gemeinsam) diskutiert werden. In den Überlegungen hierzu kann die Mobilität deutlich vielfältiger und vernetzt gedacht werden, sowie losgelöst von klassischen Strukturen und Geschäftsmodellen, wie sie derzeit z. B. zwischen ÖPNV-

Aufgabenträgern und Verkehrsunternehmen bestehen. Es sind im Sinne der Nachhaltigkeit Ideen gefordert, die eine weitere Steigerung der Mobilitätsbedürfnisse verhindern und eine Erhöhung der Auslastungsgrade von Fahrzeugen – entgegen des Trends der Individualisierung – fördern. Falls dabei das fahrerlose Fahren in der Personenbeförderung auf der Straße weiter verfolgt werden soll oder muss, sind Vorschläge zu vertiefen, die die Attraktivität einer geteilten Nutzung von Fahrzeugen für Alle steigern. Zusätzlich zu dieser Ausarbeitung, die ihren Schwerpunkt in der angebotsseitigen Betrachtung besitzt, sind weitere nachfrageseitige Analysen bei Vernetzung und Bündelung von Mobilitätsbedürfnissen erforderlich, um z. B. mögliche positive Wirkungen in suburbanen Räumen, Kleinstädten oder touristischen Regionen aufzudecken. Für entsprechende Potenzialräume ist neben der technischen Machbarkeit auch die Verträglichkeit eines fahrerlosen Betriebes auf Mikroebene zu prüfen. Für mögliche Risiken des fahrerlosen Fahrens bedarf es unter den Beteiligten der jeweils individuellen Entwicklung von Maßnahmen der Beobachtung, Diskussion, Prävention und/oder Steuerung, wozu öffentliche Verwaltung, Politik und Gesetzgebung gefordert werden. In der weiteren Erkenntnisgenerierung ist die Partizipation und Kommunikation des Vorgehens und der Ergebnisse als allgemeinverständliche Vermittlung von und zu Adressaten und Nutzenden zu vertiefen, um darauf aufbauende Entscheidungen transparent und mit breiter Akzeptanz umzusetzen.

Mit der hier durchgeführten Forschung konnte für den Moment ein Wissensdilemma in verschiedenen Punkten aufgelöst werden. Es stehen zu verschiedenen Aspekten des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV neue Erkenntnisse und Anknüpfungspunkte bereit, anhand derer mit Offenheit neue Ideen entwickelt werden können. Die kritische Reflexion des Stands der Technik mit zahlreichen Herausforderungen und potentiellen Gefahren hat aus einer Technikeuphorie in eine gewisse Resignation geführt. Dieses nächste Dilemma gilt es mit dem gewonnenen Wissen hin zu einer konstruktiven Gestaltung der Mobilität zu überwinden. Im Hinblick auf das fahrerlose Fahren braucht es das Steuern zum Vermeiden potentieller Risiken (z. B. der Verschärfung bestehender Probleme aus dem Straßenverkehr) und vorbeugende Maßnahmen (z. B. gegenüber Missbrauch und zu hoher Abhängigkeit von der Technologie). Übergreifend erfordert es im Hinblick auf die bestehenden verkehrlichen Herausforderungen die Diskussion und einen weitgehenden Konsens zu übergeordneten Strategien zur Mobilität (s. o.), die auf raumstrukturelle Gegebenheiten eingehen und bei einem Bedarf an Mobilität die Möglichkeit der optimalen (digitalen und analogen) Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel einbeziehen. Daran anschließend stellt sich anhand der benötigten Funktionen die Frage, ob und wo fahrerlose Verkehrsmittel unter Abwägung der aufgezeigten Vor- und Nachteile für welchen Einsatz sinnvoll sind. Fahrerloses Fahren im ÖPNV kann sich dabei gemäß dem Sensitivitätsmodell als wirksamer Schalthebel oder Katalysator herausstellen, der weder zu einem plötzlichen unkontrollierbaren irreversiblen Schadensausmaß führt noch im Systemgefüge so hoch aktiv wirkt, als dass man das fahrerlose Fahren nicht in einem Realbetrieb erproben könnte. Unterstützt werden sollten verschiedene Lösungen, die für die Nutzenden entsprechend attraktiv sind, gesellschaftlich negative Folgewirkungen vermeiden und Bedürfnisse Aller im Fokus behalten.

Ausblick

10 Anlagen

10.1 Anlage zu Kapitel 4: Auswahl an Verfahren

Die im Rahmen der Literaturanalyse zu Kapitel 4 betrachteten Verfahren werden im Folgenden jeweils einzeln vorgestellt. Die angewandten Suchkriterien sind in Tabelle 4-1 in Kapitel 4.1 aufgelistet. Einen Gesamtüberblick über die betrachteten Verfahren inkl. der abschließenden Bewertung liefert Tabelle 4-2 in Kapitel 4.2. Wichtige Erkenntnisse werden hier und im Folgenden durch eine Indexnummerierung kenntlich gemacht ($\rightarrow Ex$) und in das Kapitel 5 überführt, in dem daraus die Anforderungen und Lösungsansätze konkretisiert werden. Es zeigt sich in den Verfahren zudem eine Reihe von hilfreichen (Einzel-)Methoden ($\rightarrow Mx$), die in den betrachteten Verfahren und/oder gemäß VDI (2000) in der Technikbewertung zur Anwendung kommen, die als Methodenpool in das Kapitel 5 für die weitere Bearbeitung überführt werden.

10.1.1 Verfahren der Verkehrsplanung

Die FGSV (2010b) hat Verfahren der Verkehrsplanung in einem Hinweispapier zusammengeführt und beschrieben. Als Einsatzzweck der Verfahren wird dabei die prinzipielle Klärung benannt, ob „die Realisierung eines Handlungsprogramms, eines Maßnahmenbündels oder einer Einzelmaßnahme zulässig oder vorteilhaft im Hinblick auf ein gegebenes Zielsystem ist.“ ($\rightarrow E11$) bzw. um unter verschiedenen Optionen die vorteilhafteste auswählen zu können (FGSV, 2010b, S. 7). Dabei geht es um Planungs- oder Investitionsvorhaben und deren Einordnung von verschiedenen Wirkungen zu einer Gesamtaussage in Form eines „Wertsyntheseverfahren[s]“ (FGSV, 2010b, S. 8). Technik als Bewertungsgegenstand wird dabei weder erwähnt, noch im Rahmen der Verfahren weiter in den Fokus genommen. Es wird von mehreren möglichen Lösungsansätzen ausgegangen, für die eine Entscheidung zugunsten einer Vorzugsvariante angestrebt wird, wobei das Bewertungsobjekt oder die –maßnahme nicht zwingend infrage gestellt wird, sondern in seinem Wert gegenüber anderen Varianten oder gegenüber dem Ist-Zustand bewertet wird ($\rightarrow E6$). Zu den Optionen an Verfahren gehören verschiedene Ansätze – einzelne werden im Folgenden kurz dargestellt:

Das teilformalisierte Verfahren der multikriteriellen Wirkungsdarstellung hat den Zweck originalskalierte Wirkungen einzelner Maßnahmen (z. B. in Machbarkeitsstudien) aufzubereiten, um Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenbündel einzuordnen. Es erfolgt dabei keine Kompensation, d. h. die Einzelaspekte bleiben erkennbar und die ermittelten Werte werden nicht in Kosten- oder Nutzenwerte umgerechnet. Es wird „ein Lernen über den ‚Lösungsraum‘ der Handlungsoptionen möglich“. (Schmitt, 2020, S. 92–95; FGSV, 2010b, S. 16 f.) Es zeigt auf, wie verschiedene qualitative und quantitative Einzelergebnisse zur Entscheidungsfindung strukturiert und nachvollziehbar verwendet werden können ($\rightarrow E4$).

Multikriterielle
Wirkungs-
darstellung

Abwägungs- und Rangordnungsverfahren

Das formalisierte Abwägungs- und Rangordnungsverfahren dient der Bewertung mehrerer Varianten im Grenzbereich von formalisierten und teilformalisierten Verfahren. Dazu werden originalskalierte Wirkungsbeschreibungen in Kaskaden paarweiser Vergleiche von relativen Vorteilen gegenüber relativen Nachteilen durchgeführt. Es wird angestrebt, die Kriterien und Messgrößen anhand ganzheitlicher Maßstäbe festzulegen. Die Bildung einer Rangordnung kann durch Auszählung dieser erfolgen. Damit kann mit entsprechender Dokumentation eine nachvollziehbare Beurteilung von Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündeln oder eine Dringlichkeitsreihung von Projekten vorgenommen werden. Bei mehreren Varianten wird der paarweise Vergleich entsprechend aufwendig. Es besteht die Möglichkeit ordinale Skalen einzusetzen und qualitative sowie quantitative Bewertungen vorzunehmen (→ E9). (FGSV, 2010b, S. 22 f.)

Nutzen-Kosten-Analyse

Die Nutzen-Kosten-Analyse ist ein formalisiertes Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung mehrerer Varianten zur Findung einer rationalen Entscheidung. Dem „Ohne-Maßnahmen-Fall“ kommt eine Bedeutung im Vergleich zu (→ E6). Alle Aspekte werden in positiven und negativen Wirkungen nach Umwandlung quantitativ gegenübergestellt. Die Umrechnung sämtlicher Aspekte erfolgt in monetäre Größen. Neben dem Einsatz in verschiedenen Wirtschaftsbereichen wird das Verfahren zur Bewertung von Verkehrswegen verwendet. (vgl. FGSV, 2010b, S. 24–26; Hanusch, 2011, S. VI–VII) Über das Verfahren wird es möglich, über viele Bewertungsfelder hinweg eindeutige Ergebnisse zu berechnen (→ E9). Die Betrachtung erfolgt dabei für monetär prognostizierbare Parameter und Varianten mit der Vereinfachung andere Parameter, die derzeit nicht wichtig oder anerkannt sind, wegzulassen. (Nehring und Steierwald, 2000, S. 80 f.)

Die vorgenannten Verfahren aus dem Verkehrswesen haben gemeinsam, dass sie zielgerichtet eine Bewertung anhand vorliegender qualitativer und/oder quantitativer Daten vornehmen, die zu einer Entscheidung hinsichtlich verschiedener Optionen unter Berücksichtigung zuvor definierter Ziele beratend helfen sollen. Dabei erfolgt die Betrachtung in Verknüpfung von Verkehrsweg und Fahrzeugen (→ E3) mit angestrebter hoher Ganzheitlichkeit (→ E5). Der Umfang des generierten Zukunftswissens außerhalb vorgegebener Parameter ist begrenzt. Konkrete Methoden für die Eingangsdaten werden nicht vorgegeben. Es wird innerhalb der Verfahren nicht geprüft, ob eine Option grundsätzlich geeignet ist und was außerhalb der gesetzten Parameter die Folgen sein könnten. Die Verfahren sehen keine für das eigene Vorgehen angestrebte Beteiligung Dritter vor. Es ist nicht explizit für Technik oder Versuchsträger entwickelt, gedacht oder erprobt. Die multikriterielle Wirkungsdarstellung erfüllt die Hälfte aller zuvor in Kapitel 4.1 definierten Suchkriterien (12), während die anderen Ansätze deutlich weniger Kriterien erfüllen (7).

Um bei der Suche nach Bewertungsverfahren den Blickwinkel aus der zuvor beschriebenen klassischen Vorhabenplanung im Verkehrswesen herauszulösen und möglichst Verfahren mit größerer Übereinstimmung zu den Suchkriterien zu finden, werden weitere Ansätze mit ihrem jeweiligen Vorgehen analysiert. Hierzu lassen sich Verfahren identifi-

zieren, die aus einer gesellschaftlichen Problemstellung heraus die Mobilität in Verbindung mit innovativer Technik in den Fokus nehmen und im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

10.1.2 Verfahren mit mobilitätsbezogener Betrachtung

Im Kapitel 3.2 wird erläutert, dass dem Grunde nach Methoden und Verfahren der Technikbewertung seit vielen Jahren Anwendung im Bereich der Verkehrs- und Mobilitätsplanung finden. Im Folgenden werden einige Beispiele herausgegriffen, die der Technikbewertung nahestehen und zur vorliegenden Herausforderung Parallelen aufzeigen, aber dabei nicht zwingend aus den Institutionen der Technikbewertung erwachsen sind. Nachfolgend vorgestellte Verfahren greifen die Ausgangslage und den Handlungsbedarf aus Kapitel 1 auf und bewerten Technik bzw. Innovationen beim Einsatz in der Mobilität.

Die Problemlösungspotenziale neuer Technologien – insbesondere durch Verbindung von Verkehrstechnik mit Informations- und Kommunikationsdiensten – waren bei der Untersuchung von integrierten Verkehrskonzepten im EUREKA-Fördervorhaben PROMETEUS maßgeblich. Statt eine infolge von Mobilitätsbedürfnissen immer weiter voranschreitende Optimierung von Straßennetzen zu verfolgen, tritt hier die Option, nicht mittels der Fahrbahn, sondern mittels Technik auf die Mobilität insgesamt zielgerichtet Einfluss zu nehmen (Beispiele aus dem Projekt: Zielführungssysteme mit Fahrtroutenoptimierung mittels RDS/TMC oder Kooperative Verkehrsmanagementsysteme) (→ E24). Über diesen Ansatz soll der Verkehr sinnvoll und sicher gelenkt werden – aber auch übergreifend mit anderen Verkehrsträgern unter Beachtung übergeordneter gesellschaftlicher Ziele optimiert werden (→ E11). Dazu wurde die technische, ökonomische und gesellschaftliche Ebene betrachtet. Das Projekt grenzte sich (selbst) von der Technikbewertung ab, da es nicht den Anspruch erfüllen könne möglichst vollständig Folgen zu ermitteln, sondern beabsichtigte oder in Kauf genommene Folgen im gesellschaftlichen Entstehungs- und Verwendungskontext akzeptiert. In einer Top-Down-Analyse wurden mit einer System- und Umfeldanalyse gemeinsame Interessen und Strategien zu Oberzielen und eine Projektkonfiguration („objektivierte Strukturzusammenhänge“) entwickelt (→ M1). Daraus folgten konkrete Ziele für das Verkehrssystem und die Ergebnisse gingen in die Grundlagenforschung ein. Daraus erwuchsen in der Bottom-up Synthese direkt konkrete thematische Projekte bei den Beteiligten zur Erprobung und Umsetzung, die erfolgreich umgesetzt und langfristig einen Beitrag zur übergeordneten Zielerreichung leisten konnten. (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021; Prätorius, 1993)

Prätorius
1993

Keller et al.
2004

Verkehrstelematik im Rahmen eines Kooperativen Verkehrsmanagements als Hilfsmittel für sämtliche Bereiche der Mobilität war im Projekt „Mobilität im Ballungsraum München“ (MOBINET) ein zentrales Thema. Dabei wurden gesellschaftliche Aspekte – mit dem Ziel verkehrsplanerische und verkehrspolitische Entscheidungen zu verbessern – berücksichtigt (→ E11). Die 25 Einzelprojekte mit Maßnahmen wurden in eine Gesamtbewertung überführt und die Auswirkungen bewertet. Dies erfolgte mittels Szenariotechnik in Gegenüberstellung des Prognosenullfalls mit zwei Planfällen (→ M9). Feldversuche, Befragungen und Simulationen lieferten im Abgleich mit dem bestehenden Verkehrsmodell verkehrliche als auch volkswirtschaftliche Wirkungen (→ M5, M7). Der verkehrswirtschaftliche Nutzen wurde berechnet und einzelne Maßnahmen in den Regelbetrieb überführt (z. B. Sektorsteuerung auf Autobahnen, Parkraummanagement, digitales Fahrplanauskunftssystem von Tür zu Tür). (vgl. Keller, Neuherz und Spangler, 2004; Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021) Im Projekt wurde an verschiedenen Stellen Technik real erprobt und in einem Gesamtkontext diskutiert (→ E20), was bestehende Probleme der Verkehrsteilnehmenden lösen sollte. Durch die reale Erprobung, nachvollziehbar gestaltete Argumentation und die Zusammenführung zu einer gemeinsamen Zukunftsvision konnte die Akzeptanz bei den Nutzenden überprüft und bei den Stakeholdern gesteigert werden (→ E2).

Nalmpantis et al.
2019

Nalmpantis et al. (2019) starteten ohne konkrete Technik mit einem grundlegenden Ziel der Schaffung eines attraktiven innovativen städtischen ÖPNV-Systems der Zukunft. Zur Identifizierung neuer passender innovativer Ideen und Konzepte wurde methodisch ein integrierter Ansatz verwendet, der Ideen aus der Marketing- und Motivationsforschung, dem Crowdsourcing sowie der sozioökonomischen, technologischen und ethischen Bewertung unter Nutzung einer breiten Stakeholder-Plattform berücksichtigt. Die Wissensgewinnung erfolgte über Ideeneingaben, die über eine multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA) mit dem Analytischen Hierarchieprozess (AHP) nach Saaty und Vargas (2006) unter Beteiligung von 97 ExpertInnen zusammengeführt wurden. Der Erkenntnisgewinn gelang durch die Strukturierung und Vereinfachung der unübersichtlichen Fragestellung, die länderübergreifende Kooperation sowie die Partizipation der Öffentlichkeit und vieler ExpertInnen (→ E22, M5).

RNM 2022

Ebenfalls mit der Idee einer breiten Beteiligung wurde das Reallabor für nachhaltige Mobilitätskultur (RNM) in Stuttgart zur Untersuchung des Wandels der Autostadt Stuttgart durchgeführt. Wissenschaft, Verwaltung, Unternehmen und Bevölkerung arbeiteten daran, wie ein Wandel zu weniger Emissionen, Staus und Platzverbrauch erfolgen kann (→ E11). Die hier experimentell gewonnenen Erkenntnisse (Experimente, Feldbeobachtungen, Befragungen und Interviews) lassen sich nach Parodi und Beecroft (2021, S. 380) für die Technikbewertung nutzen, um als Fallbeispiel ein Mobilitätsszenario validieren bzw. plausibilisieren und kalibrieren zu können (→ M5, M7). Dadurch ergaben sich Hinweise auf das Zusammenspiel von Technologien und städtebaulichen Gegebenheiten sowie Nutzerverhalten. Neben verschiedenen vom Reallabor gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnissen ist in der Zusammenfassung der Beteiligungsprozess und die Berichterstattung dominant, die „Denkanstöße, Visionen und konkrete Projekte eines guten und nachhaltigen mobilen Lebens“ (Reallabor für

nachhaltige Mobilitätskultur, Universität Stuttgart, 2022) entwickelt haben und die einzelnen Realexperimente differenziert in ihrem Erfolg bewerten (→ E19).

Mit einem ebenfalls aus dem Megatrend des Klimawandels begründeten Ziel einer klimaneutralen Bundesrepublik Deutschland bis 2045 wurde von 2016 bis 2018 das Forschungsvorhaben ENavi durchgeführt (Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022)). Dabei wurden ausgewählte neue digitale Mobilitätsangebote wie Mobility-as-a-Service auf ihre Attraktivität hin geprüft, ob sie zu einem signifikanten Wandel urbaner Mobilitätsmuster zur Reduzierung des individuellen Pkws beitragen (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 108 f.). Als Methodik wurde die Multi-Level-Perspektive (MLP) nach Geels (2006) eingesetzt. Es wurde untersucht, wie sich die ‚Nische‘ von innovativen Mobilitätskonzepten gegen ein ‚Regime‘ des motorisierten Individualverkehrs in der ‚Landschaft‘ mit äußeren soziotechnischen Einflüssen verhält. Dabei wurden zehn Personen interviewt, die selbst in der Nische aktiv sind. (Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl, 2021, S. 108 f., Schippl und Arnold, 2020) (→ M5). Die Anwendung der Multi-Level-Perspektive dient dem Systemverständnis und bietet Unterstützung zum Verständnis von soziotechnischen Aspekten zu einer Diffusion von Innovationen. Es ergeben sich aus den Ergebnissen Anforderungen an das Nischenprodukt und die Umwelt, die bei einer ganzheitlichen Einordnung einer neuen Technik helfen können (→ E26).

Schippl und
Arnold 2020

Hahn, Pakusch und Stevens (2020) bewerteten ÖPNV-Haltestellen im Rahmen voranschreitender Digitalisierung und sich weiterentwickelnder Angebote wie Mobility-as-a-Service. Dabei sollte ermittelt werden, wie es um die Existenz, Bedeutung und Zukunft von Bushaltestellen steht. Es wurden ExpertInneninterviews durchgeführt, mit denen die Bedeutung der Bushaltestelle in den deutschen Innenstädten und deren zukünftige Entwicklung diskutiert wurden (→ E2). Die Ergebnisse wurden verdichtet und in kurz-, mittel- und langfristige Szenarien gruppiert (→ E16, M9). In der anschließenden Diskussion der Autoren zu den Zukunftsbildern wurden Implikationen für die Verkehrsunternehmen und Relevanz der Haltestelle für die Gesellschaft ermittelt. Mittels ExpertInneninterviews konnten zeitlich versetzte Szenarien mit Vorstellungen der Befragten gefüllt werden (→ M5). Dabei ergaben sich vielfältige Vorstellungen in verschiedenen Abhängigkeiten – womit über die Methodik viele Eindrücke für die Zukunft der Haltestelle gesammelt wurden, die über die reine Funktion als Zu- und Abgangspunkt zum ÖPNV hinausgehen (→ E3).

Hahn
et al. 2020

Ziel von Kollosche et al. (2022) war die sozial-ökonomische Folgenuntersuchung des Wandels der Wertschöpfung durch neue Mobilitätsdienstleistungen unter Berücksichtigung von Akzeptanz, Arbeit und Wohlstand (→ E11). Nach Marktrecherche wurden idealtypische Geschäftsmodelle identifiziert und Online- und Interviewbefragungen durchgeführt (→ M5). Zwischen den zwei betrachteten Extremen wurden Szenarien gebildet (→ M9). Unter Anwendung des Business Model Canvas konnten sozial-ökonomische Folgen der Geschäftsmodelle ermittelt und in einer Potenzialanalyse Ansätze quantifiziert werden. Mit dem gewählten Ansatz und Methodenmix wurden verschiedene Dimensionen und Zusammenhänge erschlossen. Es

Kollosche
et al. 2022

Kunith
2017

gelang, über die breite Recherche zu Beispielen und den Austausch mit vielen Experten, neue Erkenntnisse in der bisher kaum öffentlich erforschten Thematik der Geschäftsmodelle zu gewinnen.

Kunith (2017) untersuchte mit seinem Vorhaben mittels der Bewertung von Technologiealternativen eine nachhaltige und effiziente Flottenumstellung im Rahmen der Elektrifizierung im öffentlichen Busverkehr. Dabei nahm er ein übergeordnetes gesellschaftliches Ziel auf und integrierte dieses in einen unternehmenszielorientierten Ansatz „auf Basis eines Gesamtkostenmodells zur monetären Quantifizierung technologischer und betrieblicher Einflussfaktoren“ (→ M3). Es wurde ein Gesamtkostenansatz (Total-Cost-of-Ownership) und ein Prognoseverfahren (mit Erfahrungskurvenansatz) zur Abbildung potenzieller Kostenentwicklungen (Kostendegression) verwendet. Dazu kam eine Optimierungsmodellrechnung inkl. Sensitivitätsanalysen sowie eine Marktanalyse für die Untersuchung der Kostendegression mit Vergleich zu bestehenden Fahrzeugmodellen. Das aufgebaute Modell lieferte konkrete Hinweise, wie im Zusammenspiel aus Netz, Fahrzeug und Infrastruktur eine Elektrifizierung im Busbetrieb erfolgen kann. Die gewählte Methodik monetarisiert sämtliche Bewertungskriterien für den Lebenszyklus und tritt in die Sichtweise eines Busbetreibers mit vorrangig wirtschaftlichen Interessen unter aktuellen politischen Vorgaben (hier: Nachhaltigkeit) ein (→ E13). Mit dem gewählten Vorgehen wurden Wechselwirkungen mit der Umwelt und in ihrer Komplexität reduziert (→ E4), um eine optimale Lösung für die (vorgegebene) Elektrifizierung eines Linienbusnetzes für den Betreiber zu finden (→ E10).

Mit vielfältigen Methoden begegnen die einzelnen Verfahren den jeweiligen mobilitätsbezogenen Fragestellungen. Dafür wirken alle Ansätze sehr aufwendig. Fast alle dienen einem besseren Systemverständnis und generieren in ihren Schwerpunkten nutzbares Zukunftswissen. Viele Ansätze verfolgen den Zweck einer Beratungsfunktion für Dritte und das Ziel ihr Untersuchungsobjekt unter den gewonnenen Erkenntnissen weiter zu entwickeln. Dafür beschäftigen sich wenige Verfahren mit weiterreichenden Risiken der jeweiligen Technik. Die meisten Suchkriterien (18 von 24) erfüllt das Vorgehen von Keller, Neuherz und Spangler (2004): In diesem Projekt wurde an verschiedenen Stellen Technik real erprobt und in einen Gesamtkontext mit Folgen und Wirkungen gebracht. Die abschließende Umrechnung in volkswirtschaftliche Gewinne liefert einen konkreten Zielerreichungsgrad – wobei die vorgenommene Monetarisierung einige Annahmen erfordert und dazu führt, dass Einzelkonzepte ggf. nicht hinreichend genau gewürdigt werden können. Kollosche et al. (2022), Reallabor für nachhaltige Mobilitätskultur, Universität Stuttgart (2020) und Prätorius (1993) liefern mit Erkenntnisumfang- und -tiefe, Reallabor mit Partizipation und der Grundidee des Zusammenspiels von Technik und Mobilität bei Einordnung in einen gesellschaftlichen Zielkontext hilfreiche und verfolgenswerte Ideen und Methoden.

10.1.3 Verfahren mit dem Schwerpunkt autonomes Fahren

Um noch zielgerichteter für das fahrerlose Fahren Lösungsansätze zur ersten Forschungsfrage zu erhalten, wird der Fokus bei der weiteren Recherche im Bereich des autonomen Fahrens vertieft. Es entsteht ein Einblick in einige wissenschaftliche Projekte, die sich in den Jahren 2015 bis 2022 mit dem autonomen Fahren beschäftigt haben. Dabei folgen die Projekte zumeist den allgemeinen Grundsätzen der Technikfolgenabschätzung (vgl. Kapitel 5.1).

Maurer et al. gaben 2015 ein Sammelwerk heraus, in dem technische, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte des autonomen Fahrens beleuchtet werden (→ E5). Es wurden mittelbare Wirkungen herausgestellt und damit das Collingridge-Dilemma behandelt (→ E24). Ein übergreifendes Autorenteam definiert die (aus ihrer Sicht) akuten zentralen Fragestellungen zum autonomen Fahren und richtet diese an unterschiedliche internationale ExpertInnen, um ein vielfältiges interdisziplinäres Bild zum wissenschaftlichen Stand zu erhalten. Durch die interdisziplinäre Beteiligung von ExpertInnen der Wissenschaft wird ein umfangreicher Stand des Wissens zur Thematik für die Öffentlichkeit bereitgestellt (→ E22), was als Situationsanalyse betrachtet werden kann (→ M1).

Maurer
et al. 2015

In dem zuvor aufgeführten Sammelband von Maurer et al. (2015, S. 661–685) enthalten ist eine Analyse, Bewertung und Einordnung der gesellschaftlichen Risikokonstellation für autonomes Fahren von Grunwald (2015), um „damit zur verantwortlichen und transparenten Organisation des gesellschaftlichen Risikos beitragen“ (Grunwald, 2015) zu können (→ E19). Es wurde dazu strukturiert in aktive Risiken, bei denen eine eigene Betroffenheit der Schäden in Kauf genommen wird und passive Risiken, denen ein Betroffener ausgesetzt wird. Dazwischen wurde abgestuft in individuell entscheidbare Risiken, einfache zugemutete Risiken, komplexe zugemutete Risiken und zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit. Es folgte eine kontextbezogene und differenzierte Konstellationsanalyse entlang von leitenden (verkürzt zusammengefassten) Fragen. Damit entstand eine Zerlegung des abstrakten Risikos in händelbare Einheiten, die einzeln diskutiert und über Vergleiche erschlossen werden können. Die vorgenommene Zerlegung der Risiken und die Auswirkungsanalyse erscheinen hilfreich für die qualitative Auswertung identifizierter Risiken im Rahmen der weiteren Ausarbeitung (→ E15, M10). Dabei betont Grunwald die gegebene Notwendigkeit einer partizipativen Technikgestaltung (→ M5).

Grunwald 2015

Durch einem konkreten Anwendungsfall deutlich greifbarer war das Projekt namens myCopter (Enabling Technologies for Personal Air Transport Systems) unter Koordination des Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2015). Es wurde von verschiedenen Beteiligten untersucht, wie sich luft- und bodengestützte Transportmittel kombinieren lassen, um einer Verkehrsüberlastung am Boden entgegenzuwirken. Das Ziel der Projektpartner war es, im Rahmen einer Technikbewertung die sozialen und technischen Aspekte zu erforschen, dabei insbesondere die Mensch-Maschine-Schnittstelle und Ausbildung, Automatisierungstechnologie und das sozio-technische Umfeld von Personal Aerial Vehicles (PAV). Mit einer Scoping-Phase

Max-Planck-
Gesellschaft zur
Förderung der
Wissenschaften
e. V. 2015

(Literatur und ExpertInnen) zur Definition von Herausforderungen und Problemen sowie einer Festlegung des Anwendungsfalls (Pendelverkehr) durch die beteiligten ExpertInnen wurden zur Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen unterschiedliche Systemzustände auf ihre Machbarkeit überprüft. In Fokusgruppen mit Laien wurden Hinweise und Einwände erfasst und diskutiert (→ M5). Anschließend bestand für Laien in zwei Städten die Möglichkeit mittels eines Flugsimulators das Verkehrsmittel im Laborexperiment zu testen (→ E20, E25, M7). Durch die technische Weiterentwicklung und gleichzeitig soziotechnologischen Überlegungen findet ein Verschmelzen von probleminduzierter (Verkehrsüberlastung) und technikinduzierter (PAV) Technikbewertung statt. Der Ansatz unter Einbezug weiterer Folgewirkungen bietet Potenzial für die Untersuchung von fahrerlosen Shuttles. Zudem zeigt sich an diesem Beispiel nach Zimmer-Merkle, Fleischer und Schippl (2021, S. 107), welche Bedeutung über die eingesetzte Technik hinaus die Betrachtung des umfassenden „Benutzer-Fahrzeug-Infrastruktur-Systems“ hat (→ E18, E23, E25).⁴¹ Abgeleitet vom Fazit des Projektes scheint eine weiterreichende Objektivierung bzw. andere Flughöhe der Ergebnisse erstrebenswert, die die Ausgewogenheit zwischen Technikverhinderung und -euphorie findet (→ E19).

Pakusch 2020

Eine weitere Technikfolgenabschätzung nahm 2020 Pakusch zu einem konkreten Anwendungsfall vor: Sie bewertete die ökologischen und sozialen direkten und indirekten Auswirkungen von autonomen Carsharing-Fahrzeugen, um diese Erkenntnisse in einen Gestaltungs- und Entscheidungsprozess einfließen zu lassen. Der Schwerpunkt lag bei der Nachhaltigkeit auf Verkehrsverlagerungen und im Sozialen bei den Folgen auf Arbeitsplatzverluste im Taxigewerbe (→ E3). Es wurde ein nutzerorientierter, methodengemischter Ansatz gewählt. Nach der Ermittlung des Stands der Technik wurde eine Szenarioanalyse vorgenommen, wobei die möglichen Zukünfte (abhängig von den sozio-technischen Megatrends Sharing und Digitalisierung) Erkenntnisse in den unternehmerischen, individuellen und gesellschaftlichen Ebenen lieferten (→ M9). Die Nutzendenpräferenzen wurden durch persönliche, problemzentrierte, halbstrukturierte Interviews zur Änderung des Mobilitätsverhaltens untersucht. Dies erfolgte mit potentiellen Nutzenden und Berufskraftfahrenden. Eine quantitative Umfrage wurde durchgeführt und eine quantitative Sekundäranalyse zur Taxinutzung in Deutschland aus einer vorliegenden Umfrage aus dem Jahr 2014 hinzugezogen. Mit Hilfe von mathematisch-statistischen Methoden wurden Informationen auf ihre wesentlichen Merkmale reduziert, was zur Beantwortung der zentralen Forschungsfragen beiträgt. Mittels der Verknüpfung von qualitativen und quantitativen Studien zusammen mit der Szenariotechnik gelang es neue Erkenntnisse zum autonomen

⁴¹ Zimmer-Merkle et al. (2021, S. 108) betonen bei ihrem Fazit zur Studie von MyCopter, „dass sich eine Bewertung [von personal air vehicles (PAV)] nicht nur auf das Transportgerät selbst beschränken darf. Stattdessen muss ein umfassendes Benutzer-Fahrzeug-Infrastruktur-System in Betracht gezogen werden.“

Fahren zu ermitteln. Dabei beschränkte sich Pakusch auf Schwerpunkte, in denen Forschungslücken bestehen und ging dort in die Tiefe, z. B. durch Interviews mit Berufskraftfahrenden (→ E4, M5).

Eine ganze Reihe an Studien führte die Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS) zum Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge in der Schweiz durch: Eine umfangreiche Untersuchung veröffentlichten Perret et al. (2020), in der der Technologieeinsatz in der thematischen Breite als transdisziplinäre Technologiefolgenabschätzung inkl. Chancen und Risiken diskutiert wurde, um Akteuren auf allen staatlichen Ebenen, aber auch an Verkehrsunternehmen, Industrie und Branchenverbänden Empfehlungen zu geben. Nach Literaturanalyse und ExpertInneninterviews mit Aufbereitung als Factsheets zu diversen Themen folgte in der Bearbeitung eine Szenariobildung mit unterschiedlichen Graden der Individualisierung bis hin kollektiver Nutzung (→ E9, M9). Qualitative Handlungsempfehlungen leiten sich aus der Aufbereitung von Fokusgruppenworkshops mit Laien, ExpertInnenworkshops (Regulierungsansätze) und Stakeholdern (politischer Handlungsbedarf) ab (→ E2, M5). Prognostizierte Auswirkungen und offene Punkte wurden öffentlichen Akteuren aufgezeigt (→ E12, M5). Durch die vorab gesetzten Schwerpunktfelder gelang durch eine breite Beteiligung eine Analyse des Stands der Technik und der Chancen und Risiken, die sich den Szenarien mit ihren Wirkungen zuordnen ließen (→ E15). Die Ergebnisse sind allgemein gehalten und greifen nicht in die Technikgestaltung der Fahrzeuge durch.

Perret
et al. 2020

Ebenfalls in der Schweiz veranlasste das Bundesamt für Strassen (ASTRA, 2022) mehrere Studien mit dem Ziel des Schaffens von Grundlagen „für Politik, Behörden und relevante Stakeholder, um sich angemessen auf die absehbare Einführung des automatisierten Fahrens in der Schweiz vorzubereiten und diese bei Bedarf auch proaktiv [zu] beeinflussen.“ (ASTRA, 2022) Im ersten Teil erfolgte eine Synthese der Wirkungen, die in zwei Nutzungsszenarien und als allgemeine Folgen der Automatisierung identifiziert wurden. Mittels eines Referenzszenarios und eines Zielsystems erfolgte die Beurteilung der Wirkungen. Im Ergebnis wurde ein Zielszenario hergeleitet, das die gewünschte Nutzung der Automatisierung im Jahr 2050 beschreibt. In den Einzelstudien zeigten sich weiterreichende Erkenntnisse, die zum einen den Stand der Technik und zum anderen Erfordernisse und Ableitungen für die Zukunft aufzeigen (vgl. Oehry et al., 2020; Axhausen et al., 2020; Heimgartner et al., Oktober 2020; Jermann et al., 2020; Busch et al., Oktober 2020; Del Duce, Trachsel und Hoerler, August 2020). Die umfangreichen Untersuchungen und die gewählte Szenariotechnik als maßgebliche Methodik lieferte weitreichende objektive Empfehlungen für die Stakeholder in der Schweiz (→ E19, M9). Im Einzelnen konnten dabei konkrete Defizite im Verkehrssystem und Randbedingungen dazu aufgezeigt werden, wie autonome Fahrzeuge eingesetzt werden sollten. Für die eingesetzten Szenarien wurden zwar viele Annahmen getroffen, aber unabhängig davon halfen diese bei der Ermittlung von Chancen und Risiken.

ASTRA
2022

Alle Verfahren mit Fokus auf das autonome Fahren zielen auf die Generierung von Zukunftswissen sowie Wirkungen und Risiken der Technik ab. Die jeweiligen Strategien hierzu basieren zumeist auf Beteiligungen bestimmter Personen(gruppen), um daraus das benötigte Wissen zu erzeugen. Üblicherweise findet eine anschauliche Aufbereitung von Zukünften über die Kreation von Szenarien statt. Eine sehr hohe Übereinstimmung zu den Suchkriterien (22 von 24) weist das Verfahren von Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2015) auf. Die verwendeten Methoden und die Reduzierung auf einen konkreten Anwendungsfall deuten auf eine hohe Übertragbarkeit zur Anwendung auf die vorliegenden Forschungsfragen hin – unter der zusätzlichen Notwendigkeit, die Systemgrenzen weitreichender zu fassen und das Fazit aus einem anderen gesellschaftlichen Maßstab vorzunehmen. Vielfältig und hilfreich für den eigenen Ansatz nutzt zudem Pakusch (2020) einen Methodenmix, der fokussiert Wissen erschließt und neue Erkenntnisse zu einem definierten Anwendungsfall des autonomen Fahrens liefert. Ähnliche Methoden nutzen Perret et al. (2020) ebenfalls in verschiedenen Arbeitspaketen erfolgreich. Eine besondere Lücke in der betrachteten Literatur schließt zudem Grunwald (2015), indem er aus seiner Perspektive ausführlich Risiken und Folgen des autonomen Fahrens herleitet.

10.1.4 Verfahren mit Schwerpunkt autonomes Fahren im ÖPNV

Neben den vorstehenden Ansätzen zur Technikbewertung zum autonomen Fahren existieren weitere Verfahren, die sich speziell auf den Fokus des Einsatzes im ÖPNV ausrichten. Der Umfang an verfügbarer Literatur zur umfassenden Bewertung dazu ist noch gering (vgl. Kapitel 1.3). Es wurden jedoch einige Studien veröffentlicht, die sich um die Gewinnung von Zukunftswissen sowie Wirkungen und Risiken des Einsatzes fahrerloser Fahrzeuge speziell in Verbindung mit dem ÖPNV bemühen und die im Folgenden in einer Auswahl an Beispielen kurz vorgestellt werden.

Schippl
et al. 2021

Das Ziel der Untersuchung von verschiedenen Teilprojekten, die von Schippl et al. (2021) in einem Sammelband veröffentlicht wurden, war die Erforschung des Wandels der urbanen Mobilität und des Umfeldes im Hinblick auf digital gestützte Alternativen zum privaten Pkw (z. B. autonome Shuttle). Im Methodenmix wurden Szenariotechnik für die Umgestaltung der Verkehrsflächen, eine Parkraumuntersuchung mit Erhebungen, Interviews mit Anwohnenden, Bewertung von Indikatoren mit Einflussanalyse in verschiedenen Zukunftsszenarien und ExpertInnenworkshops, Nutzendenkostenermittlung durch Analogiebildung, Agentenbasierte Verkehrsmodellierung bei Varianz der Verkehrsmittelwahl und eine mehrperspektivische Fallstudie unter Berücksichtigung von Reisezeiten angewendet (→ E24, M4, M5, M8, M9). Die gewählte Methodenkombination und Einflussanalyse unter Beteiligung von Betroffenen liefert ein umfangreiches Zukunftsbild mit kurzer verbal-argumentativer Zusammenführung der Ergebnisse.

Friedrich und
Hartl 2016

Mit dem Ziel „mögliche Wirkungen autonomer Fahrzeuge auf den Verkehr in Stadtregionen mit Hilfe von Szenarien beispielhaft zu untersuchen.“ (Friedrich und Hartl,

2016, S. 7) wurde das Projekt MEGAFON⁴² durchgeführt. Mit einem mikroskopischen Verkehrsnachfragemodell, das mit Haushaltsbefragungen kalibriert wurde, wurden Szenarien in Modellrechnungen betrachtet. Die Szenarien reichten dabei von privaten autonomen Fahrzeugen bis hin zu geteilten autonomen ÖPNV in Kombination mit dem SPNV (→ E24). Anhand von vielen Parametern und einer Betriebskostenrechnung erfolgte die Bewertung unter Zuhilfenahme von Szenarien. Zu Beginn werden verschiedene Randbedingungen getroffen, letztendlich gelingt aber eine weitergehende Verknüpfung der Ergebnisse mit Wirkungen auf die Umwelt und Betriebskosten in Bezug auf die Szenarien (→ E21, M9).

Das Projekt mit dem Realbetrieb eines automatisierten Shuttlebusses in Bad Birnbach hat das Ziel eine wissenschaftlich fundierte Perspektive aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht hinsichtlich des Einsatzes solcher Fahrzeuge im ÖPNV zu schaffen. Der Fokus der Forschergruppen lag 2020 dabei auf der gesamtheitlichen Betrachtung von Kunden, Produkten, Mobilitätsdienstleistern und gesellschaftlichen Kontexten (→ E24). Die Forschung umfasst das tatsächliche Realexperiment mit den Versuchsfahrzeugen und Fahrgast-, Haushalts-, Beherbergungsstättenbefragungen sowie Feldstudien zum Vergleich konventioneller Fahrzeuge mit dem Shuttlebus (→ E6, M7) und zur Interaktion mit dem Fahrzeug. Zur Überprüfung der Fahrzeugsicherheit wurden Erhebungen bei den Begleitpersonen durchgeführt und Fahrsicherheitsversuche vorgenommen. Es erfolgten ferner eine Akteursbeteiligung und Untersuchungen zur gesellschaftlichen Akzeptanz sowie eine Geodatenanalyse zur Übertragbarkeit des Shuttle-Betriebes in andere Regionen (→ E4, M8). Die Methodenvielfalt liefert vielfältigen Erkenntnisgewinn. Der Realbetrieb im ÖPNV begleitet durch verschiedene wissenschaftliche Perspektiven ermöglicht eine gesellschaftliche Einordnung der Nutzbarkeit neuer autonomer Shuttle-Fahrzeuge im ÖPNV (→ E20). Konkrete zusätzliche offene Betrachtungen zu Stand der Technik, Verkehrssicherheit und Übertragbarkeit ermöglichen eine gesellschaftliche Einordnung in den aktuellen und künftigen Gesamtkontext autonomer Shuttlebusse im Verkehrs- und Mobilitätssystem (→ E26).

Riener
et al. 2020

Riener et al. (2020) liefern eine hohe Übereinstimmung mit den Suchkriterien (19 von 24), indem sie unter Beteiligung vieler Gruppen zu allen Teilgebieten der Technikbewertung Erkenntnisse zur Einordnung des Stands der Technik liefern. Durch den Einsatz des Realexperimentes können Interaktionen mit der Technik selbst untersucht werden und zur weiteren Übertragbarkeit bringen Riener et al. (2020) eine Geodatenanalyse ein. Alle aufgeführten Analysen betrachten die Technik in einem übergeordneten Gesellschaftskontext. Sie liefern ein Systemverständnis sowie neues Wissen mit Wirkungen und Risiken. Dazu wird wiederum mehrfach die Szenariotechnik und eine Beteiligung Dritter durch Befragungen oder Interviews eingesetzt.

⁴² MEGAFON = Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs

10.1.5 Exkurs zu Verfahren mit produktorientierten Ansatz

Produzierende Unternehmen können sich in Anbetracht eines schnellen technologischen Wandels ebenso wie Politik und Gesellschaft im Collingridge-Dilemma befinden. Dabei ist von eingesetzten Technologien und Innovationen häufig die Wettbewerbsfähigkeit abhängig (Scholz, 2022, S. ix). Um die erfolgversprechendsten Technologien einzusetzen, sind viele Verfahren und Methoden entwickelt worden, die Aufschluss über Chancen und Risiken neuer Technik geben sollen. Im Folgenden werden einzelne Verfahren beispielhaft herausgegriffen.

Blau
et al. 2007

Mittels der Reifegradermittlung nach Blau et al. (2007) wird eine transparente Aussage über die Reife des aktuellen Entwicklungsstands einer Software ermöglicht. Dabei wird auf die „Reifegrad-Absicherung für Neuteile“ vom Verband der Automobilindustrie (VDA) zurückgegriffen. In einer Vorphase namens Risikoanalyse werden Informationen über ein umfassendes Spezifikationsdokument gesammelt, indem möglichst umfassend alle wichtigen Eigenschaften einer Software beschrieben sind (→ E8, M12). Dabei werden Komponenten identifiziert, die eine wichtige Funktion haben und die einer häufigen Veränderung unterliegen (→ E14). In der daran anschließenden Phase 1 erfolgt eine Szenario-basierte Architekturbewertung (z. B. mittels branchenüblichen Verfahren SAAM oder ATAM) inkl. einer ABC-Analyse zu Komponenten. Verschiedene SOLL-Merkmale einer Komponente werden gemeinsam bewertet und einer Nominalskala zugeordnet, die wiederum in einer Matrix mit der Wichtigkeit der Komponenten überlagert werden. Daraus ergibt sich ein Reifegrad, der mittels Ampel (rot, gelb, grün) verständlich dargestellt wird (→ E9, M12). In der anschließenden Phase des Reifegradcontrollings wird eine weitere (wiederkehrende) Bewertung anhand von Kennzahlen unter Einbezug von Kunden als auch Lieferanten durchgeführt und analog zu Phase 1 die Ergebnisse in ein Ampelgrad-Schema gebracht (→ E2, M5).

Heubach 2009

Abgeleitet von den Fragen, wo Nanotechnologie einsetzbar ist und welche Relevanz diese besitzt entwickelt Heubach (2009) ein Verfahren, mit dem es zunächst um die Frage geht, wo der spezifische Nutzen einer neuen Technologie liegt und mit dem Identifikation, Analyse und Bewertung des Potenzials ermöglicht wird. In der ersten Phase wird das Analyseobjekt definiert sowie Anforderungen und Trends erfasst (→ E3, E6, E26). In der zweiten Phase werden Problemideen identifiziert, die daraufhin in der nächsten Phase mit relevanten Lösungsideen der Nanotechnologie kombiniert und in Phase 4 hinsichtlich Anwendungsreife und dem spezifischen Lösungsbeitrag bewertet werden. In der letzten Phase 5 entsteht eine konkrete Maßnahmenstrategie (ablehnen, verfolgen, umsetzen) (→ E9). Als konkrete Methoden verwendet Heubach u. a. Umfeldanalyse, Dekomposition des Analyseobjekts, Checklisten, House of Technology, ABC-Bewertung, Kriterien-/Anforderungskatalog, FachexpertInnenforum und einen Portfolio-Ansatz, der einmal Nutzen und Erfüllungsgrad sowie einmal Anwendungsreife mit Technologierelevanz verschneidet.

Basierend auf einem systematisch strukturierten Vorgehen nach Pleschak und Sabisch (1996) mit Analyse und Ermittlung von Zielerreichungsgraden baut Rummel (2014) eine Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung auf: Beginnend mit einer Kategorisierung des Konzepts in der Ausgangssituation werden strategische, spezifische und projektbezogene Ziele festgelegt nach verschiedenen Zieldimensionen, sie dienen als spezifische *Sollgrößen* (→ E6). Für den gegenwärtigen Entwicklungsstatus erfolgt ein Stage-Gate-Prozess, dessen generierte Entwicklungsergebnisse die Basis für die Tauglichkeitsprüfung und als *Istgrößen* gesetzt werden. Die Bewertung des Technologiekonzeptes erfolgt in Form eines *Soll-Ist-Vergleichs* mit vielen verschiedenen qualitativen und quantitativen Bewertungsmethoden (→ E8, M12). Dabei werden verschiedene Perspektiven eingenommen (Kunden, Fertigung, Wirtschaftlichkeit...) (→ E19). Die gewählte strukturierte Vorgehensweise mit verschiedenen Einzelmethoden nach Rummel ist hilfreich für eine Einordnung von Technik in Abhängigkeit der eigenen aktuellen Ziele mit dem Bewertungsprozess zur Klärung vordefinierter Entwicklungsziele, auch wenn der Fokus hier auf Produktionstechnologie und -konzepte abzielt. Wichtig erscheint zudem im Verfahren die Berücksichtigung von Systemgrenzen sowie relevanten Funktionen und Zusammenhängen dieses Systems (→ E3, E14).

Rummel
2014

Zur Überwindung von subjektiver Kognitionspsychologie in Kombination mit einem Mangel an Wissen und Information erstellt Scholz (2022) ein Verfahren, das Potenziale und Risiken unter Berücksichtigung spezifischer Charakteristika von Technologien und unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ermitteln soll. Im ersten Schritt werden eigene Potenziale (u. a. Qualität) und Risiken (u. a. Finanzierung) vom Anwenden für das eigene Unternehmen bestimmt: Dazu werden Wirkbeziehungen ermittelt und eine Gewichtung mittels des paarweisen Vergleichs (Analytic Hierarchy Process) durchgeführt, um so einen unternehmensspezifischen Rahmen aufzuspannen (→ E6, E14). Anschließend erfolgt eine Auswahl von zu betrachtenden Technologien (z. B. Wärmerückgewinnung, Reluktanzmotoren ...) und deren möglicher Anwendungskontext (z. B. in Pumpen, Sterilisationssystemen, Frittieranlagen ...). Mittels der Festlegung der Merkmalsausprägung des Anwendungskontextes (z. B. Status der Marktregulation, Wettbewerbsintensität ...) und einer Charakterisierung der Technologien anhand eindeutiger Technologieindikatoren (z. B. TRL-Reifegrad⁴³, keine bis viele Konkurrenztechnologien, geringe bis hohe Umweltverträglichkeit ...) findet eine Einordnung statt (→ E24, E26). Durch die Gewichtung mit den Wirkbeziehungen der Potenziale und Risiken erfolgt die Bewertung mit quantitativem Ergebnis (→ E15). Eine Darstellung in einem Technologieportfolio mit der Überlagerung über die Achsen Realisierungsrisiko und Technologiepotenzial ermöglicht die Ableitung einer Handlungsempfehlung. Das Verfahren liefert quantitative Ergebnisse im Vergleich mehrerer Technologien. Daraus ergibt sich eine hohe Ganzheitlichkeit (in diesem Falle für Unternehmen) und eine sehr konkrete Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse.

Scholz
2022

⁴³ Technology Readiness Level (TRL) (U.S. Government Accountability Office 2021)

Zuvor aufgeführte Verfahren finden deutlich weniger Übereinstimmung mit den Suchkriterien, immanent durch das Verfolgen einer unternehmensabhängigen Produktentwicklung. Das methodisch jeweils konsequent ausgearbeitete Vorgehen liefert konkrete Ergebnisse, die über einen Zielerreichungsgrad bezogen auf individuelle strategische Ziele Entscheidungsvorlagen bieten. Die zielgerichtete und systematische Vorgehensweise mit einer Reflektion des Entwicklungsstandes zeigt sich verfolgenswert und wird als Ansatz die Verfahrensentwicklung übertragen.

10.1.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse Verfahren

Die übersichtliche Zusammenfassung der Erkenntnisse und Verwertbarkeit aller zuvor vorgestellten Verfahren liefert Tabelle 4-2 in Kapitel 4.2.

10.2 Anlage zu Kapitel 6.2: Phase 2 Zielsystem: Eingangsdaten und –methoden

Um die angestrebten Ziele für den ÖPNV in ländlichen Räumen zu ermitteln, wird im Hinblick auf den Anwendungsfall eine Analyse gültiger Gesetze, Landes- und Regionalnahverkehrspläne sowie maßgeblich identifizierter Literatur durchgeführt:

- Landesregierung Schleswig-Holstein: Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Schleswig-Holstein (ÖPNVG)
- Nahverkehrsverbund Schleswig-Holstein GmbH (18. Juni 2021): Landesweiter Nahverkehrsplan
- SVG Südwestholstein: Entwurf des 5. Regionalen Nahverkehrsplans (RNVP)
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2002): Qualitätskriterien öffentlicher Personenverkehr nach DIN EN 13816
- BMVI (2016b): Planungsleitfaden Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen
- Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehr der FGSV (2010a)

Die Inhaltsanalyse der letztgenannten Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ) der FGSV (2010a) bringen keinen weiterreichenden Erkenntnisgewinn, da alle aufgeführten Aspekte bereits über die anderen aufgeführten Werke erfasst werden. Die EAÖ liefern allerdings in der weiteren Bearbeitung Indikatoren für die Ziele.

Um eine möglichst umfassende Betrachtung zu gewährleisten, werden zusätzlich Inhalte interdisziplinärer, fachplanender bzw. lokal verantwortlicher ExpertInnen hinzugezogen:

- Brenner (2001): Interdisziplinärer Workshop am 15.11.2000 im Thema „Verkehr im Spannungsfeld zwischen Fortschritt und Alimentierung“
- Durchgeführter ExpertInnenworkshop in Aukrug am 31.03.2022 mit 14 teilnehmenden Verkehrsplanenden
- Yomi (22. September 2022): Befragung des Fachgebietsleiters des Kreises Herzogtum Lauenburg (siehe Tabelle 10-1)

Die Auswertung erfolgt deduktiv nach der umfassenden Kategorisierung nach Kirchhoff, Tsakarestos und Hanitzsch (2010, S. 15 f.) anhand der Frage: Welche Ziele gibt es für den ÖPNV in einem ländlichen Raum? Die Ergebnisse werden tabellarisch aufbereitet und bestehen aus verschiedenen Zielebenen. Eine Differenzierung nach Leit-, Mittler- und Handlungszielen erfolgt in dieser Auswertung nicht. Ähnliche Ziele werden zusammengefasst auf der Ebene der Mittlerziele als erstrebenswerte Fähigkeiten bezogen auf den ÖPNV im ländlichen Raum im Untersuchungsgebiet.

Die Überprüfung der ganzheitlichen Betrachtung erfolgt – wie in der Verfahrensentwicklung beschrieben – anhand der Zuordnung zu den Oberzielen bzw. Werten nach VDI (2000) und Kriterien nach Vester (1991).

Tabelle 10-1: Ziele für ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg aus Fahrgastsicht (Yomi, 22. September 2022)

Verfügbarkeit (räumlich und zeitlich)
Zugänglichkeit (einfache Nutzbarkeit – beinhaltet auch die Barrierefreiheit, unkompliziertes Angebot z. B. Fahrplanstruktur, Tarif, Reduzierung von Umstiegen und Laufwegen)
Zuverlässigkeit (keine Ausfälle, keine Verspätungen)
Geschwindigkeit (vergleichbare oder nur wenig längere Reisezeiten im Verhältnis zu anderen Mobilitätsangeboten)
Sicherheit (sowohl verkehrlich als auch im menschlichen Umfeld, objektiv und subjektiv)
Behaglichkeit (Komfort/Qualität – Platzangebot, Temperierung, Serviceangebote etc.)
Finanzierbarkeit (was kostet das Angebot im Verhältnis zu anderen Mobilitätsangeboten)

Tabelle 10-3: Zielkategorien, Indikatoren und Externer Einfluss zu den Zielen aus Tabelle 10-2 (eigene Darstellung)

Wertesystem / Oberziel	Zielfeld	Ziel / Fähigkeit	Indikator (*in Anlehnung an Kirchhoff et al. 2010)	Externer Einfluss (Auswahl)
Gesellschaftsqual. u. Persönlichkeitsentfaltung	Erschließungsqualität	zeitliche Verfügbarkeit	Betriebszeit*	Wirtschaftslage
		räumliche Verfügbarkeit	Fahrtenfolgezeit*	Wirtschaftslage
	Beförderungsstandard	kurze Zugangswege	erschlossene Gebäude im Einzugsradius	Straßennetz
		barrierefreie Erschließung für Alle	Nähe zum Ein- und Ausstiegspunkt	Siedlungsstrukturen
Gesundheit und Sicherheit	Handhabbarkeit	barrierefreie Erschließung für Alle	Ausstattung und Barrierefreiheit der Haltestelle*	Flächenverfügbarkeit
		Komfort	Ausstattung und Barrierefreiheit der Fahrzeuge*	Fahrzeugverfügbarkeit
	Sicherheit	Handhabbarkeit	Wohlfühligkeit der Mitfahrenden	subjektiv individuelle Ansprüche
		einfache Verständlichkeit	(geringes) Bedürfnis der Mitfahrenden nach Unterstützung	
Umweltqualität	Umwelt- und Ressourcen	Attraktivität / Kundenfreundlichkeit	Einfachheit (Bewertung durch Mitfahrende)	konkurrierende Verkehrsträger
		Verkehrs- / Betriebssicherheit	Erfülltheit von Wünschen (der Mitfahrenden)	
	Arbeitsbedingungen	Kriminalprävention	(geringe) Anzahl der Personenschäden an der Haltestelle*	Verkehrsteilnehmende, Witterung
		Schonung Umwelt und Ressourcen	(geringe) Anzahl der Personenschäden im Fahrzeug*	Verkehrsteilnehmende, Witterung
Wirtschaftlichkeit und Wohlfand	Effizienz	Nachfragesteigerung ÖPNV	(geringe) Anzahl krimineller Übergänge*	Sicherheitspolitik und Wohlfandgefüge
		MIV-Reduzierung	qualitatives Sicherheitsempfinden der Mitfahrenden*	Arbeitsmarkt
	Wohlfand	Verbindungsqualität (Umsteigen etc.)	Zufriedenheit und Engagement des Betriebspersonals	Topographie, Klimabedingungen
		Schnelligkeit	(geringer) Energieverbrauch der Fahrzeuge*	konkurrierende Verkehrsträger
Funktionsfähigkeit	Funktionsfähigkeit	Verbindungsqualität (Umsteigen etc.)	qualitative Bewertung der Nutzungsbereitschaft des ÖPNV	konkurrierende Verkehrsträger
		Verlässlichkeit	qualitative Bewertung der Nutzungsintensität des ÖPNV	konkurrierende Verkehrsträger
	Weitere Fähigkeiten	Wohlfand	Realisierbarkeit eines klimaneutralen Betriebes	Verfügbarkeit erneuerbarer Energien
		Funktionsfähigkeit	(niedrige) Lebenszykluskosten pro Fahrplankilometer	Investitions- und Betriebskosten
Weitere Fähigkeiten	Funktionsfähigkeit	Effektivität	Linienangebot entspricht den Bedürfnissen des Fahrgastes	konkurrierende Verkehrsträger
		Schnelligkeit	(geringe) Reisezeit* und (hohe) Beförderungsgeschwindigkeit*	Verkehrsgeschehen
	Weitere Fähigkeiten	Verbindungsqualität (Umsteigen etc.)	Anzahl an benötigten Umstiegen, Qualität der Umsteigeorte	Siedlungsstrukturen
		Verlässlichkeit	Zuverlässigkeit des Betriebes, Sicherung des Umstiegs	Allgemeines Verkehrsgeschehen, Personalverfügbarkeit
Weitere Fähigkeiten	Funktionsfähigkeit	Wohlfand	(gute) Wirtschaftslage, Beschäftigung, Wohlbefinden	Arbeitsmarkt und Arbeitskräfte
		Funktionsfähigkeit	Möglichkeiten zur kurzfristigen Veränderung des ÖPNV-Angebotes	Fahrzeugverfügbarkeit, Arbeitsmarkt und Arbeitskräfte, Wirtschaftslage
	Weitere Fähigkeiten	Integrierbarkeit / Vernetzung Verkehre	Möglichkeit der Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel	andere Verkehrsträger
		Reversibilität	Möglichkeit der Rückabwicklung ohne langanhaltende Umwelt- oder Umfeldschäden	
Weitere Fähigkeiten	Weitere Fähigkeiten	Datensicherheit	Risikopotential für Datenabfluss	Kriminalität
		Marketing / Image	(positive) Bewertung durch die Fahrgäste	Mobilitätsmarkt
	Weitere Fähigkeiten	Kundenbindung Jugendliche	Akzeptanz unter Jüngeren	Mobilitätsmarkt
		Einsatz alternativer Bedienformen	Anzahl flexibel eingesetzter Fahrzeuge	Fahrgastnachfrage, Mobilitätsmarkt
Weitere Fähigkeiten	Weitere Fähigkeiten	ganztägige variable Schulbeförderung	Anteil fahplanunabhängiger Fahrplankilometer	Schulsystem
		fahrerloses Fahren im ÖPNV	Anzahl der fahrerlos eingesetzten Fahrzeuge	technische Entwicklung

10.3 Anlage zu Kapitel 6.3: Phase 3 Einsatzbedingungen: Eingangsdaten und –methoden

In Schleswig-Holstein führten Kreis Herzogtum Lauenburg und Technische Universität Hamburg mit verschiedenen Projektpartnern gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) mehrere aufeinander aufbauende Projekte unter dem Akronym TaBuLa als „Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg“ durch. Vom 11.10.2019 bis 30.11.2021 wurde der ÖPNV in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe durch eine weitere rund 2,5 km lange Linie verdichtet, auf der ein automatisiertes Shuttle des Unternehmens NAVYA mit bis zu 18 km/h innerorts verkehrte. Besondere Schwerpunkte waren im Projektverlauf der Erfahrungsaustausch und die -beteiligung im Realexperiment sowie die Kombination aus Personenbeförderung und Gütertransport mittels ebenfalls automatisierter Transportroboter namens LAURA, die längere Strecken in den Shuttles – beladen mit Hauspost der Stadt – mitfahren. Alle Fahrzeuge werden von Begleitpersonen überwacht. (Technische Universität Hamburg, 2022) Die Forschungsprojekte dienten maßgeblich als Grundlage zur Datengenerierung für die Ausarbeitung. In diesen Projekten wurde u. a. die rechtliche und technische Machbarkeit (vgl. Phase 3 des Verfahrens) von verschiedenen Beteiligten mit dem Autor geprüft:

10.3.1 Rechtliche Machbarkeit

Am 27.11.2018 fand ein ExpertInnengespräch statt, zu dem sich Stakeholder zu den Fragestellungen der Genehmigung austauschen. Beteiligt sind das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus und der Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein sowie Vertreter des Kreises Herzogtum Lauenburg, ein Sachverständiger der TÜV Nord Mobilität GmbH und die Technische Universität zusammen mit dem beteiligten Planenden. Es wurde ein grundsätzlicher Ablauf der Genehmigung definiert. Ziel war die Überprüfung und Zulassung eines bzw. mehrerer Versuchsträger, die sich unfall- und störungsfrei im öffentlichen Raum bewegen sollen. Ausgehend von diesem Gespräch wurde das Vorgehen detailliert und nach erfolgreichen Genehmigungsdurchläufen in einer Veröffentlichung „Genehmigungsprozesse beim Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg/Elbe“ von Böckler, Grote, Wolf (2021) dokumentiert.

10.3.2 Technische Machbarkeit

In einem ExpertInnengespräch (M5) mit Verkehrsbetrieben, beteiligten Planern und der Technischen Universität wurden am 25.05.2018 die Anforderungen an einen Versuchsträger auf Grundlage der jeweiligen Erfahrungen und Recherche zusammengestellt. Daraus resultiert eine Checkliste (M12) aus notwendigen und angestrebten Eigenschaften des Versuchsträgers, von denen ein Auszug in Tabelle 10-4 dargestellt ist.

Tabelle 10-4: Kriterien zur technischen Machbarkeit des Versuchsträgers (eigene Darstellung auf Daten aus Gertz et al. (2021))

	Anfor- derungen	Fahrzeug A: September 2018				Fahrzeug A: Mai 2020				Fahrzeug B: September 2018				Fahrzeug B: Mai 2020			
		77	3	10	70	5	15	63	10	17	67	8	15				
	KANN / MUSS Kriterium	Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien					
		zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen	zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen	zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen	zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen	zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen	zur Auslieferung erfüllt	unter Einschrän- kungen				
		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)				
1.1 Grundlagen																	
Fahrzeug ist nach SVZVO zulassungsfähig und erfüllt die geforderten Vorschriften (im Rahmen der Zulassung in Deutschland erforderliche Ein- und Umbauten sind vorzusehen und im Preis enthalten)																	
Niederflur-Bauweise ist berücksichtigt																	
1.2 Herstellerinformationen																	
Folgende Unterlagen werden in deutscher Sprache elektronisch übergeben bzw. bereitgestellt:																	
- eine Betriebsanleitung																	
- Bestuhlungsplan, sofern nicht aus der Projektzeichnung ersichtlich																	
- Messtabelle der Achsmessung, Bremsprotokoll																	
1.3 Anforderungen an Bauteile und Aggregate																	
Fahrzeuge eines Herstellers sind bei Lieferung „schrauben-, schaltungs- und funktionsgleich“ mit identischen Bauteilen																	
Alle Zuliefererle müssen bis 2021 erhältlich sein																	
Verschleißteile werden spätestens 24 Stunden nach der Fehlermeldung, andere Ersatzteile spätestens nach 48 Stunden, ausgetauscht oder instandgesetzt																	
Die Verfügbarkeit eines betriebsfähigen Fahrzeugs wird an 290 Tagen pro Jahr garantiert.																	
1.4 Anforderungen an Funktionsfähigkeit																	
Funktionsfähigkeit ist generell im Bereich von -10°C bis +40°C Umgebungstemperatur gewahrt.																	
Überladung führt nicht zum Ausfall des Systems																	
aktuelles Gewicht wird automatisch gemessen, Überladung wird angezeigt																	
bis zu Steigungen bis 16% folgen keine Einschränkungen																	
das Fahrzeug darf bei der zugesagten Neigung nicht zurückrollen (beim Stehen und Anfahren)																	
starke Licht-Schatten-Wechsel (bspw. durch Bäume) führen nicht zu Einschränkungen der Verkehrssicherheit des Fahrzeuges																	
Erkennbarkeit kontrastarmer Hindernisse ist gewährleistet; ebenso (keine Einschränkungen bei normalen Regen und leichtem Schneefall)																	
Funktionsbereitschaft der Sensoren/Kameras wird angezeigt																	
Funktionsfähigkeit ist bei starkem Niederschlag gewährleistet																	
1.5 Anleitung für die Instandhaltung in deutscher Sprache																	
Anleitungen für die Instandhaltung sind vollständig und in deutscher Sprache verfasst																	
Fehlerspeicher erfüllt die Anforderungen																	
1.6 Qualität, Korrosionsschutz, Aggregatausatz																	
Verwendung von Kunststoffen im Fahrzeugbau und im Innenausbau führen nicht zu unangenehmen Geräuschentwicklungen (Knistern, Quietschen, Kratzen etc.) und Geruchsentwicklungen und haben eine hochwertige Langlebzeitqualität																	
1.7 Schulungen																	
Schulungsmaßnahmen werden in deutscher Sprache angeboten (Operator Einnutzen des Fahrgeweg erfolgt durch den Auftragnehmer)																	
1.8 Umweltanforderungen																	
Fahrzeuge sowie alle eingebauten Komponenten erfüllen sämtliche Umweltanforderungen																	

Fortsetzung Tabelle 10-4 (Teil 2/4)

	Anforderungen	Fahrzeug A: September 2018				Fahrzeug A: Mai 2020				Fahrzeug B: September 2018				Fahrzeug B: Mai 2020			
		57	3	6		50	4	12		46	7	13		49	6	11	
		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien		Erfüllung der Kriterien	
		zur Auslieferung erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt unter Einschränkungen (X)	nicht erfüllt (X)		zur Auslieferung erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt unter Einschränkungen (X)	nicht erfüllt (X)		zur Auslieferung erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt unter Einschränkungen (X)	nicht erfüllt (X)		zur Auslieferung erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt unter Einschränkungen (X)	nicht erfüllt (X)	
2. Hauptabmessungen und technische Daten	2.1 Abmessung und Geschwindigkeit																
	Breite inkl. Anbauten: max. 2,55 m	X				X				X				X			
	Höhe inkl. Aufbauten: max. 3,60 m	X				X				X				X			
	Länge inkl. Aufbauten: max. 5,50 m	X				X				X				X			
	2.2 Motortyp																
	voll elektrischer Betrieb	X				X				X				X			
2.3 Traktionsbatterie und Ladesystem	eine Reichweite von 70 km „unter Berücksichtigung des gegebenen Streckenprofils in Lauenburg mit hohen Steigungen und Neigungen“, wird garantiert, auch unter Einsatz von Klimaanlage und Heizung	X				X				X				X			
	Batterie hat eine Kapazität von min. 30 kWh	X				X				X				X			
	Modularität des Systems und der Austausch einzelner Modulpacks ist uneingeschränkt gegeben	X				X				X		X		X		X	
	Fahrbereitschaft der Fahrzeuge und Ladezustand ist jederzeit abfragbar	X				X				X				X		X	
	3.1 autonomer Betrieb																
3. Einrichtungen für den autonomen Betrieb	3.1 autonomer Betrieb																
	Fahrzeug lässt einen autonomen Betrieb ohne manuellen Eingriff und ohne Begleitpersonal zu	X				X				X				X			
	Fahrzeug kann Hindernissen im Fahrweg selbsttätig in vorgegebenen Grenzen ausweichen			X				X				X				X	
	Fahrzeug setzt Fahrt nach Enttfernung Hindernis selbsttätig wieder fort	X				X				X				X			
	In die Steuerung des Fahrzeugs kann von außen nicht eingegriffen werden	X				X				X				X			
	Funktionsupdates und Aufwendungen für erneute Zulassung sind im Mietpreis enthalten	X				X				X				X			
	Blackbox auf dem Fahrzeug vorhanden	X				X				X				X			
	Angabe, ob Car2Car und Vernetzung mit LTE-5G/W-LAN G5 vorgesehen ist	X				X		X		X		X		X		X	
	On-Board-Unit zur Car2X-Kommunikation W-LAN G5 mit Lichtsignalanlage	X				X				X				X			
	4. Federung und Zustieg																
4.1 Federungskomfort	4.1 Federungskomfort																
	Elastische Verbindungsstelle zwischen den Fahrwerksteilen und allen abgedeckten Massen sorgen für guten Fahrkomfort und eine gute Straßenlage	X				X				X				X			
	4.3 Absenken- bzw. Hebeanlage, Kneeling																
	Stufenloser Einstieg ist durch folgende Einrichtung gewährleistet:	X				X				X				X			
	Fahrzeug wird einseitig abgesenkt			X			X			X				X			
	(Einstieghöhe des Fahrzeugs beträgt max. 250 mm)																
	Fahrzeug wird insgesamt abgesenkt	X				X				X				X			
	Befestigungsmöglichkeit für Rollstuhl vorhanden	X				X				X				X		X	
	Rampe vorhanden																
	Rampe automatisiert elektrisch mit Anforderung auf Knopfdruck am Fahrzeug und über eine externe Schnittstelle über das Internet (inkl. Türöffnung) z. B. via API-Steuerung	X						X		X				X			

Fortsetzung Tabelle 10-4 (Teil 3/4)

	Anfor- derungen	Fahrzeug A: September 2018					Fahrzeug A: Mai 2020					Fahrzeug B: September 2018					Fahrzeug B: Mai 2020				
		36	3	4	31	2	10	26	7	10	31	4	8								
		Erfüllung der Kriterien					Erfüllung der Kriterien					Erfüllung der Kriterien					Erfüllung der Kriterien				
KANIN / MUSS Kriterium	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränkung (X)	nicht erfüllt (X)
5. Lenkung, Räder und Achsen																					
5.1 Lenkung																					
Beide Achsen weisen lenkbare Räder auf																					
5.2 Räder und Reifen																					
Handelübliche und für dieses Fahrzeug zugelassene Winterräder (Reifen und Felgen) eingebaut, vorzugsweise Stahlfelgen																					
Handelübliche und für dieses Fahrzeug zugelassene Sommerräder (Reifen und Felgen), vorzugsweise Stahlfelgen, werden mitgeliefert																					
6. Bremsen																					
6.1 Wartung und Leistung																					
Die Bremsanlage muss für die besonderen topografischen Gegebenheiten (vgl. oben) im Dauerbetrieb ausgelegt sein.																					
Wartungsaufwand der Bremsanlage ist in Zeitintervallen zusammengefasst und in Miete enthalten																					
7. Bodenelemente und Aufbau																					
7.1 Bodenrahmen																					
Keine Trittschufen und Podeste im Fahrgastraum vorhanden																					
7.2 Aufbau																					
Bodenbelag im Fahrgastraum besteht aus rutschhemmenden Material, es dürfen in Abstimmung mit dem Hersteller Führungsschienen angebracht und Folien aufgeklebt werden (zur Befestigung Transportroboter, Markierung oder zur Erhöhung der Reibungskoeffizienten)																					
7.3 Verglasung																					
Es sind Maßnahmen zur Verhinderung des Beschlagens der Frontscheiben vorzusehen und zu beschreiben																					
7.6 Türen																					
7.6.1 Türen – Ausführung																					
Fahrgasttür zweiflügelig an einer Fahrzeugseite vorgesehen, Leichtes Turmaß der Fahrgasttür beträgt jeweils mindestens 1 m																					
Haltegriffe im Einstiegsbereich erforderlich																					
Unbeabsichtigtes Aufdrücken der Türen von Fahrgästen bzw. ein Aufziehen durch den Fahrtwind wird durch die Anlenkung der Türflügel oder die Ausführung des Antriebs verhindert																					
Entsprechende Abdeckungen der Turantriebswellen verhindern ein Einklemmen während der Türbewegung																					
7.6.2 Türen – Antrieb und Betätigung																					
Türöffnung kann auch durch externe Ansteuerung erfolgen																					
Einklemmschutz an der Tür																					
Jeweils ein Notbahn innen und außen für das Öffnen der Tür																					
Toraster mit optischer und taktiler Rückmeldung																					
7.7 Lüftung																					
Ausreichende Frischluftmengen pro Person und Stunde sind sichergestellt																					
Be- und Entlüftung des Fahrzeuges ist elektronisch gesteuert und manuell möglich																					
Klimaanlage vorhanden																					
7.8 Heizung																					
Heizung vorhanden. Regelung der Temperatur erfolgt automatisch mit Eigendiagnose und Fehlermeldung																					
Im Fahrgastraum ist die Einstellung einer gleichmäßigen Wohlfühltemperatur möglich sein																					
Fahrgäste sind den Warm- und Kaltluftströmen nicht direkt ausgesetzt																					

Fortsetzung Tabelle 10-4 (Teil 4/4)

Anfor- derungen	Fahrzeug A: September 2018					Fahrzeug A: Mai 2020					Fahrzeug B: September 2018					Fahrzeug B: Mai 2020				
	17	0	4	Erfüllung der Kriterien		12	2	7	10	6	5	14	1	6						
	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränk- ungen (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränk- ungen (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränk- ungen (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	nicht erfüllt (X)	zur Auslieferung erfüllt (X)	erfüllt unter Einschränk- ungen (X)	nicht erfüllt (X)						
7.9 Fahrgastinformation																				
7.9.1 Außeninformation																				
KANN	X						X					X								
MUSS	X					X			X			X								
KANN	X							X		X		X								
KANN	X							X				X								
KANN			X					X			X			X						
KANN			X					X			X			X						
7.9.2 Inneninformation																				
KANN	X							X			X			X						
KANN	X							X			X			X						
KANN	X							X		X		X								
8. Innenausstattung																				
8.1 Allgemeines																				
KANN	X								X					X						
KANN	X							X		X		X								
8.2 Haltemöglichkeiten, Haltewunschaster und Trennwände																				
KANN	X							X				X								
KANN	X							X		X				X						
KANN			X						X											
KANN	X							X		X		X								
KANN	X							X		X		X								
KANN	X							X		X		X								
8.3 Fahrsichtfeld																				
KANN	X						X		X			X								
8.5 Beschilderung und Beschriftung																				
KANN	X						X			X		X								
8.6 Fußbodengestaltung																				
KANN	X						X					X								
KANN			X					X			X			X						
8.7 Bestuhlung																				
9. Versorgungsanlage																				
KANN	X						X							X						
9.2 Scheibenwischer und Scheibenwaschanlage																				
KANN	X						X							X						

10.3.3 Erkenntnisse zu den Einsatzbedingungen aus dem Einsatz und der Weiterentwicklung des Versuchsträgers im Testfeld („Versuchsträger+“)

Allgemeines

Aus den ExpertInnen- und Fokusgruppenworkshops in Ergänzung mit den Befragungen ist eine umfangreiche Liste anzustrebender Funktionalitäten und Eigenschaften entstanden, die es allen Fahrgästen im ÖPNV vereinfachen würde, fahrerlose Fahrzeuge selbstständig zu nutzen (vgl. Kapitel 10.5.2). Die ermittelten Ergebnisse weisen viele Ähnlichkeiten zu den Erkenntnissen von Miller, Chng und Cheah (2022, S. 209), Mathé et al. (2021), Böckler et al. (2022), Böckler und Musialik (2022) auf. In den durchgeführten Workshops wird zudem die Bedeutung des Fahrzeugführenden zu einer bedarfsgerechten Betreuung für alle deutlich:

- Gewährleistung einer indirekten Kommunikation und Bedürfniserkennung (Sitzen der Fahrgäste, Warten auf Nachkommende, Erkennen von Unsicherheiten, Kommunikation zu anderen Verkehrsteilnehmenden im und neben dem Straßenraum).
- Sofortiges Anleiten von Maßnahmen im Unfall- und Gefahrenfall.
- Gewährleistung der Barrierefreiheit durch Unterstützung und bedarfsgerechte Betreuung der Fahrgäste.
- Übernahme der Kommunikation mit externen Stellen.
- Beantwortung weiterer Rückfragen mit Tarif- und Routenberatung sowie möglicher Fragen zum Umfeld, Umstieg auf andere Verkehrsmittel, konkreten Zielen, touristischen Anliegen etc.
- Gewährleistung einer Zutrittskontrolle.

Viele der von Menschen mit Behinderung aufgezeigten Probleme, insbesondere zur Kommunikation mit dem fahrerlosen Fahrzeug, treffen auf alle Menschen zu. Selbsterklärende Bedienung und Fahrgastbetreuung bei besonderen Vorkommnissen müssen im fahrerlosen Betrieb inkl. der automatisierten Identifikation außergewöhnlicher Vorkommnisse gewährleistet werden.

Einige Funktionalitäten und Verbesserungen wurden an den Versuchsträgern und ihrem Umfeld versuchsweise zum Szenario Versuchsträger+ umgesetzt. Nachfolgend wird auf ausgewählte Untersuchungsobjekte, die insbesondere das Zusammenspiel von Fahrzeug und Infrastruktur gemäß Systemeingrenzung testen, eingegangen.

Haltestellen

Während der Erprobung des Versuchsträgers wurden mehrere Haltestellen dauerhaft und temporär für den Erkenntnisgewinn dieser Ausarbeitung umgebaut, um einen komfortablen und barrierefreien Beförderungsstandard zu gewährleisten. Das optimale Zusammenspiel von Fahrzeugbodenhöhe, Höhe des Seitenraumes in Verbindung mit einer Rampe mit geringer Rampenneigung erweist sich im vielfältigen Umfeld als selten perfekt. Automatisierte Rampen zeigen sich als störanfällig und können nur bei bestimmten Höhenverhältnissen zwischen Fahrzeug und Seitenraum barrierefrei genutzt werden – hier ergibt sich ein dem Fahrzeug nahliegender Podest mit einer Höhe von 16 bis 22 cm als nützlich. Eine Grundfläche von 2,5 x 2,5 m zzgl. flacher Zuwegung hat sich als hinreichend für schwach frequentierte Haltepunkte gezeigt. In der Theorie wäre ein Kneeling

auf höchstens 18 cm⁴⁴ in Verbindung mit einem festen Bord von selbiger Höhe mit geringem Spaltmaß optimal, wozu das Fahrzeug präzise auf weniger als 5 cm Abstand an den Podest fahren können muss.⁴⁵ Damit kann auf eine störanfällige und mit Risiken zum Verunfallen verbundene Rampe verzichtet werden. In Ausnahmen wäre ein schmalerer Seitenraum denkbar, da häufig keine Breite von 2,5 m zur Verfügung steht. Für Einstiegsbereiche ohne erhöhten Seitenraum gibt es noch keine barrierefreie Lösung im (Linien-)Busverkehr, zumal in ländlichen Räumen oft keine Gehwege und Zuwegungen zu Haltestellen existieren.

Der Kunststoffpodest zeigt sich als praktikabel, dauerhaft und rutschsicher, allerdings wurde dieser Podest zum Projektende gestohlen. Der günstig hergestellte Holzpodest wurde von den Fokusgruppen ebenfalls positiv bewertet – die Siebdruckplatten waren stabil und rutschfest, allerdings ist die Dauerhaftigkeit unter ganzjährigen Wettereinflüssen begrenzt. Die Anfahrsicherheit wird bei diesen Formen als kritisch bewertet, d. h. wenn ein Fahrzeug gegen den jeweiligen Podest fährt, kann eine Verschiebung und Gefährdung von Wartenden entstehen. Eine vielseitig feste Verankerung ist notwendig. Im allgemeinen Mischverkehr sollte auf bewährte feste Aufbauten von Buskaps aus Betonstein oder bei Provisorien auf Asphalt gesetzt werden. Im fahrerlosen Betrieb von fahrenden Minibussen ist die Herstellung in deutlich reduzierter Haltestellenlänge denkbar, die bei einer „1-Tür-Lösung“ einer vom Regelwerk abweichenden Lösung hinsichtlich der taktilen Elemente und dem Standort des Haltestellenmastes bedarf, da dieser sonst in Konflikt mit Kinderwagen, Rollstühlen usw. stehen würde (Beispiel in Abbildung 10-3).

Die Kommunikation mittels WLAN diente der sicheren Signalbildübermittlung von den Lichtsignalanlagen an die Versuchsträger, die darauf eingehend programmierte Fahrbefehle ausführten. Nach (aufwendiger) Installation funktionierte dies einwandfrei. Die Implementierung wurde einmalig vom TÜV Nord Mobilität begutachtet. Problematisch erwiesen sich im laufenden Betrieb unterschiedliche Stände von Softwareupdates in Infrastruktur und Fahrzeug und der infrastrukturseitige Ausfall des Mobilfunks, sodass die Versuchsträger grundsätzlich sicher (auch in der Grünphase) an der Haltelinie anhalten und auf weitere Befehle warten. Grundsätzlich ist das System für die Kommunikation aber vielversprechend und mit weiteren Funktionen ausbaufähig, solange einheitliche und sichere Standards gewährleistet sind.

Temporäre
Podeste

WLAN

⁴⁴ Höhenunterschied zwischen Fahrbahn und Fahrzeugboden, möglichst ohne relevantes Kippen des Fahrzeuges

⁴⁵ Die Genauigkeit der Fahrweise automatisierter Fahrzeuge ist grundsätzlich hoch, aus Sicherheitsgründen wird jedoch bisher noch ein größerer Abstand zum Bordstein programmiert (damit das Fahrzeug bei Ungenauigkeiten niemals auf den Bordstein fährt), was sich durch ein Zusatzsystem einer Bordsteinerkennung beheben lässt.

Bluetooth

Aktivitäten ausgelöst durch Befehle via Bluetooth wurden nur für risikolose Interaktionen programmiert (z. B. Aktivierung Sprachansage oder Phasendehnung an Lichtsignalanlage), d. h. es wurden keine Aktionen vorgesehen, die zu einer Erhöhung des Gefahrenpotenzials führen. Die Bluetooth-Kommunikation funktionierte nicht immer verlässlich, insbesondere bei mehreren parallel genutzten Endgeräten und Anforderungen. Das System eignet sich als positive Ergänzung zu bestehenden und bewährten Informationssystemen (Anzeigen und Ansagen), kann diese aber nicht ersetzen.

10.4 Anlage zu Kapitel 6.5: Phase 5 Methodeneinsatz

Im Folgenden werden jeweils konkreter Anlass der Nutzung der Methodik, die verwendeten Eingangsdaten und das Vorgehen zur Anwendung der Methodik beschrieben. Der theoretische Hintergrund zu den Methoden wird in Kapitel 4.3 vorgestellt. Der Fokus liegt dabei gemäß Kapitel 1.4 auf dem Untersuchungsgebiet im Kreis Herzogtum Lauenburg.

10.4.1 Methoden der Beteiligung (M5)

10.4.1.1 Umfragen und Befragungen

Zum Einbezug der Gesellschaft in die Technikbewertung und -entwicklung wird Wissen zur Akzeptanz von Nutzenden und Nichtnutzenden zu allen Zielfeldern nach Kapitel 6.2 generiert, indem verschiedene öffentliche Befragungen im Rahmen des Projektes TaBuLa durchgeführt werden.

Zielsetzung

Die Teilnehmenden, Randbedingungen und Erhebungsformen der einzelnen Befragungen werden in Tabelle 10-5 dargestellt. Die Abwicklung ist Bestandteil des Projektes TaBuLa (siehe Gertz et al., 2021).

Beteiligte

Tabelle 10-5: Zusammensetzung der Befragungen im Zuge des Projektes TaBuLa (eigene Darstell. auf Grundlage Gertz et al., 2021, S. 68)

Erhebung	Bevölkerungs-befragung	Haushalts-befragung		Fahrgast-befragung	Busfahrenden-befragung	
		Teil 1	Teil 2		Teil 1	Teil 2
Ort	Hamburg Rathausplatz	Lauenburg/Elbe		Lauenburg/Elbe	Betriebshöfe: Lauenburg/Elbe, Geesthacht, Bergedorf, Glinde, Billbrook	
Zeitpunkt	Juni 2019	Mai 2019	August 2020	Juni bis Dezember 2020	Mai 2019	Oktober 2020
	vor Einsatz Versuchsträger, ohne Erlebnis	vor Einsatz Versuchsträger, ohne Erlebnis	während Einsatz Versuchsträger	während Einsatz Versuchsträger	vor Einsatz Versuchsträger, ohne Erlebnis	während Einsatz Versuchsträger ⁴⁶
Erhebungsform	Fragebogen vor Ort	Fragebogenpostkarte	Fragebogenpostkarte (optional online)	Online-Fragebogen	Fragebogen per Hauspost	Fragebogen per Hauspost
Adressanten	Veranstaltungsgäste (öffentlich)	Haushalte Lauenburg/Elbe		Fahrgäste TaBuLa-Shuttle	Berufskraftfahrende für Linienbusse	
Umfang Stichprobe Σ 1.050	141	434	240	94	82	59
Teilnahmequote	-	8,7 % der Haushalte	4,8 % der Haushalte	9,6 % der Fahrgäste	15,4 % der Fahrenden	6,0 % der Fahrenden

⁴⁶ 75 % der an der Befragung teilnehmenden Berufskraftfahrenden gaben an, dass sie sich nicht regelmäßig in Lauenburg/Elbe aufhalten und deshalb ggf. nicht in ein Erlebnis in Verbindung mit dem Versuchsträger kamen.

Die Befragungen erfolgen vor und während des Einsatzes des Versuchsträgers in Lauenburg/Elbe und in Hamburg.

Vorgehen

Die Haushaltsbefragung erfolgt mittels Postkartenwurfsendung im gesamten Stadtgebiet Lauenburg/Elbe in zwei Teilen, vor der Inbetriebnahme des Versuchsträgers und nach mehreren Monaten Betrieb. An der zweiten Umfrage ist neben der analogen eine digitale Teilnahme möglich, die über SoSci Survey erfolgt. Bei den Teilnehmenden in Lauenburg/Elbe (Stadtregion – Mittelstadt, städtischer Raum nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2020)) ist der Führerscheinbesitz hoch und der Anteil der über 64-jährigen und Ruheständler überrepräsentiert und der der unter 25-jährigen unterrepräsentiert. Von insgesamt 566 Teilnehmenden nahmen 23 % an beiden Umfragen teil.

Ebenso erfolgt die Busfahrendenbefragung in zwei Teilen mittels Fragebogen in der Hauspost der Beschäftigten und Rückgabe der ausgefüllten Bögen über Urnen.

Zur Fahrgastbefragung werden Mitfahrende mittels Aushang, Flyer und QR-Code oder durch Abgabe ihrer E-Mailadresse bei den Fahrzeugbegleitenden aufgefordert. Die online erstellte Umfrage über SoSci Survey ist gekoppelt an die Teilnahme an einem Gewinnspiel, bei dem Wunschgutscheine im Wert von je 25 Euro verlost werden. In der Fahrgastbefragung ist die Gruppe der 46- bis 65-jährigen überrepräsentiert. Die Stichprobe bleibt durch pandemiebedingte Betriebseinschränkungen mit $N = 94$ klein.

Grundsätzlich kann bei der Fahrgastbefragung – aber auch den anderen Befragungen – aufgrund der Teilnahmebereitschaft davon ausgegangen werden, dass die Befragten positiver und neugieriger gegenüber dem automatisierten Fahrerlebnis eingestellt sind. (vgl. Gertz et al., 2021, S. 69–76)

10.4.1.2 ExpertInnen- und Fokusgruppenworkshops

Um den Versuchsträger, den weiterentwickelten „Versuchsträgers+“ und das Zukunftsszenario hinsichtlich sämtlicher Zielfelder und der Einsatzreife analysieren und bewerten zu können, werden ExpertInnen und Fokusgruppen mit sehr individuellen Anforderungen an den ÖPNV beteiligt.

Zielsetzung

Die beteiligten ExpertInnen sind Vertretende der Gruppen, Verbände, Bildungseinrichtungen oder Firmen, die Technik für Menschen mit Behinderung entwickeln und installieren.⁴⁷ Bei den Fokusgruppen werden Menschen mit Behinderung beteiligt, die über standardisierte Fragebögen in Fahrgastbefragungen mit ihren individuellen Bedürfnissen nicht hinreichend berücksichtigt werden können und wertvolle Sicht- und Hinweise für die allgemein vereinfachte Nutzung des ÖPNV liefern können. Die dazu beteiligten Menschen mit Behinderung weisen unterschiedliche Grade der Behinderung auf, die sich mittelgradig bis schwer nach Einordnung des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2020) auf den Alltag auswirken. Die ausgewählten Fokusgruppen bilden einen

Beteiligte

⁴⁷ Alle Veranstaltungen werden vom Autor dieser Ausarbeitung organisiert, begleitet und analysiert.

Kreis von Menschen mit Behinderung im Alter zwischen 16 und 58 Jahren. Alle zeigen eine gewisse Affinität zum ÖPNV auf, da sie teils alleine, teils in Begleitung den ÖPNV selten bis täglich nutzen. Die Beteiligten und die durchgeführten Workshops werden mit relevanten Parametern in Tabelle 10-6 aufgelistet. Jüngere und Ältere sind als Fokusgruppen unterrepräsentiert mit ihren Bedürfnissen für einen automatisierten und fahrerlosen Betrieb – dies liegt darin begründet, dass entsprechende Fokusgruppenworkshops 2019 zwar vorbereitet, aber aufgrund von Kontaktbeschränkungen pandemiebedingt im verfügbaren Betriebszeitraum nicht durchgeführt werden konnten.

Tabelle 10-6: Übersicht über die durchgeführten ExpertInnen- und Fokusgruppenworkshops (eigene Darstellung)

Workshop	Ex- pert- Innen Bege- hung	Ex- pert- Innen Work- shop	Ex- pert- Innen Work- shop	Rollstuhlfahrende			kogni- tiv Ein- gesch- ränkte	Seheingeschränkte		
				Vorher 1	Vorher 2	Nach- her 1 (V+)		Vorher 1	Nach- her 1 (V+)	Nach- her 2 (V+)
Zeitpunkt	05.11.19	24.08.- 25.08.20	30.03.21	14.09.20	09.10.20	26.06.21	10.08.21	09.10.20	27.10.21	23.11.21
Erlebnis	kurze Test- fahrt	Test- fahrt	Test- fahrt	Testfahrt	Test- fahrt	Testfahrt	Testfahrt	Testfahrt	Testfahrt	Testfahrt
Externe ExpertInnen	1	7	9				1	1	2	1
Betrof- fene	0	0	0	1	1	2	6	1	5	2
Beteiligte Institution	Beauf- tragter, Lauen- burg/ Elbe	Projekt- mitwir- kende Ride- 4All, Soest	Vertre- tende Infra- struk- tur, Verwal- tung, Ver- kehrs- betrieb e				Geest- hachter Werk- stätten	Beauf- tragter, Lauen- burg/ Elbe	Blind und mobil, Ham- burg	Kompe- tenz- zentrum barriere- freies Bauen, Ham- burg
Ge- schlecht ⁴⁸	1 m	3 m 4 w	6 m 3 w	1 m	1 m	2 m	5 m 1 w	1 w 1 Hund	4 m 3 w 1 Hund	3 m 1 w
Bemerkung						gleiche Personen wie Vor- her 1+2			eine Person gleich zu Vorher 1	
Doku- mentation	Proto- koll	Proto- koll	Proto- koll	Tonauf- nahme	Tonauf- nahme	Protokoll	Tonauf- nahmen	Tonauf- nahme	Proto- koll	Proto- koll

⁴⁸ m = männlich, w = weiblich, d = divers

Vorgehen

Wo es vom Ablauf der Erprobung mit ExpertInnen und Fokusgruppen technisch möglich ist und von den Beteiligten eine Einwilligung vorliegt, können Tonaufnahmen gefertigt und transkribiert werden. Es erfolgt eine qualitative Auswertung mittels Codierung entsprechender Schlüsselaussagen. Aufgrund der individuellen Bedürfnisse der beteiligten Menschen mit Behinderung können einmalig genannte Einzelaspekte von Relevanz sein und Berücksichtigung finden. Die Erkenntnisse aus den Workshops fließen jeweils direkt in die Weiterentwicklung und den Umbau des Szenarios mit dem Versuchsträger ein und werden sofern möglich im nächsten Workshop direkt in der Analyse der nachfolgenden ExpertInnen- oder Fokusgruppen berücksichtigt. Die Beteiligten werden vor, während und nach der Fahrt gebeten ihre Eindrücke und Empfindungen zu schildern, um ihre Eindrücke und Gefühle zu erläutern. Dabei werden alle Schritte eines regulären Fahrtablaufes erlebt (u. a. Auffinden des Haltepunktes, Fahrzeug erkennen und einsteigen, Platz finden und mitfahren). Die Fragen aus einem Interviewleitfaden mit 13 Schwerpunkten finden Berücksichtigung in der Mitfahrt. Es wird bei den genannten Anliegen keine Bewertung vorgenommen, ob das genannte Anliegen von allen Beteiligten einer Gruppe mit ähnlichen Einschränkungen genauso empfunden wird, da die Bedürfnisse jeweils sehr individuell sind und alle Einzelinteressen ernst genommen werden sollen. Ferner werden die Betroffenen jeweils zum oder am Ende der Mitfahrt zum Zukunftsszenario befragt, was im Falle des Wegfalls der fahrzeugbegleitenden Person im fahrerlosen Betrieb ihrer Ansicht zu beachten wäre. Hierbei ist davon auszugehen, dass die Personen sich nach der Testfahrt gut in dieses Szenario hineinversetzen können.

10.4.1.3 Qualitative Interviews**Zielsetzung**

Um die Arbeitsbedingungen, die Unterschiede des fahrerlosen Fahrens zum herkömmlichen Betrieb und die Problemfelder sowie Risiken und Chancen der Versuchsträger zu erfassen wird auf Fahrzeugbegleitenden-Interviews in automatisierten Projekten über das Projekt TaBuLa zurückgegriffen.

Beteiligte

Die qualitativen Interviews liefern die Erfahrungen der Fahrzeugbegleitenden, die die meiste Zeit den Regelbetrieb im Mischverkehr und mit Fahrgästen erfahren haben. Sieben von neun Personen waren mit Versuchsträgern unterwegs, die im öffentlichen Verkehr fahren. Alle Fahrzeugbegleitenden waren vor den Interviews mindestens ein halbes Jahr auf den jeweiligen Fahrzeugen von zwei verschiedenen Herstellern eingesetzt.

Vorgehen

Die Leitfaden-gestützten Interviews wurden im Jahr 2020 im Rahmen des Projektes TaBuLa telefonisch mit insgesamt neun Fahrzeugbegleitenden der Testfelder von AutoNV_OPR in Ostpriegnitz-Ruppin (Brandenburg), NAF-BUS Enge-Sande und Keitum und TaBuLa in Lauenburg/Elbe (alle Schleswig-Holstein) geführt, aufgezeichnet und anschließend für die Auswertung transkribiert. (vgl. Gertz et al., 2021, S. 75 f.)

10.4.2 Delphi-Methodik (M6)

Mittels der Delphi-Methodik sollen „konkrete Aussagen über die (...) zu erwartenden Kosten von Beschaffung und Betrieb autonomer Kleinbusse“ ermittelt werden (Grote und Röntgen, 2021, S. 42). Dabei werden die gebildeten Szenarien aus Kapitel 6.4 verwendet. Das detaillierte Vorgehen und die Zusammensetzung der Teilnehmenden der Umfrage kann Grote und Röntgen, 2021, S. 42–50, entnommen werden.

10.4.3 Feldexperimente und -beobachtungen (M7)

Zur Datengenerierung in den Zielfeldern Erschließungsqualität, Beförderungskomfort und Handhabbarkeit werden mehrere Experimente und Aufbauten im Testfeld vorgenommen.⁴⁹ Diese werden im Folgenden in jeweiliger Fragestellung, dem Versuchsaufbau und dem Auswertungsablauf beschrieben.

10.4.3.1 Vermessung der Haltegenauigkeit

Für den Zu- und Abgang des Systems ist eine hohe Haltegenauigkeit des Fahrzeuges hilfreich, um für alle Nutzenden eine Barrierefreiheit gemäß FGSV (2011) herzustellen. Mit einer hohen Haltegenauigkeit kann dem Grunde nach ein geringes Spaltmaß an Haltestellenborden gewährleistet werden und die Auffindbarkeit des Fahrzeuges z. B. für Menschen mit Sehbehinderung vereinfacht werden. Aus diesem Grund wird die Genauigkeit des Haltes des Versuchsträgers in Fahrversuchen ermittelt.

Die Messungen des ersten Versuchsaufbaus erfolgen an den Haltpunkten „Haus der Begegnung“ und „Fürstengarten“ in Lauenburg/Elbe. Die Halte werden im Versuchsträger eindeutig in der fahrzeuginternen hochgenauen Karte definiert. An der vorgesehenen Halteposition wird eine Referenzmarkierung hergestellt. Für die weitere Abstandsmessung wird ein Laser-Entfernungsmessgerät⁵⁰ verwendet.

Das Fahrzeug fährt im automatisierten Modus den regulären Fahrweg auf der programmierten virtuellen Schiene mit der Vorgabe, an den vorgenannten Haltepunkten anzuhalten. Die Messfahrten erfolgen ohne Fahrgäste. Der Abstand in x- und y-Richtung (Abstand zum Bordstein/Objekt und Position auf der Fahrtachse) wird in jeder Runde nach automatisiertem Halt des Fahrzeuges gemessen. In mehreren Durchläufen wird ein störungsfreier Betrieb im Zulauf zur Haltestelle abgebildet. In weiteren Durchläufen wird zusätzlich ein ungeplanter Notstopp ca. 3 m vor dem Haltepunkt simuliert, d. h. bei Erreichen der Markierung 3 m vor der Haltestelle wird manuell der Notstopp betätigt, es erfolgt eine Notbremsung bis zum vollständigen Stillstand des Fahrzeuges und anschließend aus dieser Position eine Freigabe zur automatisierten Weiterfahrt an die vorgesehene Halteposition am programmierten Haltepunkt. Bei den Messungen wird unterschieden, ob die Anfahrt zum Haltepunkt störungsfrei verlief oder ein manueller Notstopp erfolgt ist. Die Messfahrten werden möglichst oft durchgeführt.

Zielsetzung

Versuchsaufbau / verwendete Materialien

Vorgehen

⁴⁹ Alle Experimente werden vom Autor dieser Ausarbeitung organisiert, begleitet und analysiert.

⁵⁰ Laser-Entfernungsmessgerät Bosch GLM 40 Professional

10.4.3.2 Verkehrssituationsanalyse

Zielsetzung

Es soll ermittelt werden, wie sich andere Verkehrsteilnehmende gegenüber den Versuchsträgern verhalten und ob dieses Verhalten Schlüsse auf die Sicherheit, die Fähigkeiten des Versuchsträger und des Zu- und Abgangs des Systems zulässt. Dies betrifft das Fahrverhalten auf freier Strecke und das Verhalten von Fahrgästen an den Haltestellen. Die Erkenntnisse dienen der Entwicklung des Szenarios Versuchsträger+.

Versuchsaufbau / verwendete Materialien

Für die Analyse werden Kameras der Firma Miovision Technologies GmbH an ausgewählten Standorten entlang des Testfeldes von Juli bis Oktober 2020 aufgebaut:

- Entlang der Berliner Straße (vgl. Gertz et al., 2021, S. 102–103) und
- an den Haltepunkten H03 Lösch- und Ladeplatz sowie H06 Kirchplatz.

Vorgehen

Die Aufnahmen erfolgen im Szenario des Versuchsträgers. Für jeweils ein bis fünf Betriebstage wird eine Verkehrssituationsanalyse für verschiedene Teilabschnitte der Strecke durchgeführt, um Besonderheiten in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden festzustellen. Entsprechende Bilder und Grafiken zum grundsätzlichen Versuchsablauf sind der Veröffentlichung zu entnehmen (Gertz et al., 2021, S. 102–105). Die Ergebnisse werden in Teilen für den fließenden Verkehr vorab in Gertz et al. (2021, S. 94–119) und Grote, Stargardt und Wolf (2021b) veröffentlicht. Ergänzend zu den vorgenannten Ausführungen wurden 83 Durchfahrten bzw. Halte am Kirchplatz (28.07. bis 19.08.2020) und 69 Durchfahrten bzw. Halte am Lösch- und Ladeplatz (10.10. bis 22.10.2020) des Versuchsträgers zzgl. der Halte des Regellinienbusses aufgenommen und anhand folgender Kriterien analysiert:

- Klassifizierung der Ein- und Ausfahrt des Versuchsträgers in ungestörten und gestörten Fahrtablauf (anhand der Differenzierung in automatisierte oder manuelle Fahrt),
- Stärke der Einschränkung einer Person bei Ein- oder Ausstieg (anhand der Einstiegsdauer und der Verwendung von Hilfsmitteln) und
- Beobachtung möglicher Verzögerungen beim Einstieg (anhand der Einstiegsdauer, der Direktheit des Weges in das Fahrzeug und der Unterschiede zwischen Versuchsträger und Regellinienbus).

Die Auswertung erfolgt vor den Infrastrukturumbauten und den weiteren Anpassungen zum Versuchsträger+ (vgl. nachfolgende Feldexperimente).

10.4.3.3 Haltestellenaufbau

Zielsetzung

Für den Zu- und Abgang des Systems ist neben der hohen Haltegenauigkeit des Fahrzeuges ein stufen- und spaltloser Übergang sowie eine barrierefreie Gestaltung der Haltestelle notwendig. Die Anforderungen hierzu gehen aus FGSV (2011) und FGSV (2013a) hervor und werden zusätzlich in den Fokusgruppenworkshops (vgl. entsprechender Abschnitt in diesem Kapitel) hinsichtlich des Versuchsträgers überprüft. Es ist zu untersuchen, wie ein barrierefreier Zugang zum automatisierten System mit minimalem Aufwand funktionieren kann.

Für den Versuch stehen im Testfeld Lauenburg/Elbe verschieden ausgestaltete Haltepunkte zur Verfügung, bei denen unterschiedliche Varianten erprobt werden (siehe Tabelle 10-7). Die Auswahl der Umbauvarianten erfolgt in Abstimmung mit der Stadtverwaltung Lauenburg/Elbe als Baulastträger, dem Kreis Herzogtum Lauenburg als Aufgabenträger und den zuständigen Denkmalschutz- und Verkehrsbehörden:

Versuchsaufbau / verwendete Materialien

- Dauerhafter Ausbau mit 12 m Länge unter Erhöhung des Bordes und Herstellung taktilen System (23.000 Euro netto),
- Minimaler bestandsorientierter Umbau,
- Ausrüstung von Haltestellen mit Sprachansagesystem zu Haltestellen- und Linieninformationen, aktivierbar über Bluetooth oder Radartaster
- Errichtung von temporären und kompakten Haltestellenpodesten (Länge < 3 m) mit flacher Rampe in Holz (1.800 Euro netto), Aluminium (4.500 Euro netto) und Kunststoff (3.600 Euro netto, Kosten jeweils inkl. Aufbau)

Für den Umbau erfolgt eine Beteiligung ausführender Firmen, um mit der jeweiligen Materialität möglichst die angestrebten Vorgaben gemäß den vorgenannten Richtlinien zu erreichen und auf die individuellen Eigenschaften der Standorte eingehen zu können. Vor der Realisierung erfolgen Fahrversuche mit verschiebblichen Kunststoffkisten in verschiedenen Positionen und Höhen an den geplanten Standorten.



Abbildung 10-1: Entwickelter Haltestellenpodest am Postverteilzentrum in Lauenburg/Elbe aus Kunststoff (eigene Aufnahme)



Abbildung 10-2: Entwickelter mobiler Haltestellenpodest aus u. a. Aluminium in Lauenburg/Elbe aus Aluminium und Holz (eigene Aufnahme)



Abbildung 10-3: Entwickelter Haltestellenpodest am Kirchplatz in Lauenburg/Elbe aus Holz (eigene Aufnahme)

Der Versuch erfolgt in folgenden Arbeitsschritten:

Vorgehen

- Bestandsanalyse im Szenario Versuchsträger der aufgeführten Haltepunkte mittels ExpertInnen und Fokusgruppen unter Verwendung des Versuchsträgers
- Ermittlung fahrzeugseitiger Parameter (insbesondere Einstiegshöhe und Rampenparameter)
- Variantenentwicklung mit eingesetzten Versuchsträgern
- Variantenabstimmung mit Stadtverwaltung Lauenburg/Elbe als Baulastträger, dem Kreis Herzogtum Lauenburg als Aufgabenträger und den zuständigen Denkmalschutz- und Verkehrsbehörden und dem Beauftragten für Menschen mit Behinderung
- Abstimmung mit ausführenden Firmen und Ausführungsplanung
- Bauliche Realisierung
- Analyse der aufgeführten angepassten Haltepunkte mittels ExpertInnen und Fokusgruppen im Szenario Versuchsträger+ unter Verwendung des Versuchsträgers

Im Szenario Versuchsträger und Versuchsträger+ erfolgt über Fokusgruppenworkshops eine Analyse zur Zu- und Abgangsinfrastruktur vor und nach dem Umbau (siehe separate Methodik). Zudem können aus der Realisierung und dem Betrieb Erfahrungen gewonnen werden und zur Bewertung herangezogen werden.

10.4.3.4 Technikinstallationen rund um den Versuchsträger

Für eine Mitfahrt im Fahrzeug sind Anforderungen der Fahrgäste zu erheben und zu klären, ob diese über technische Installationen befriedigt werden können. Es ist dabei zu untersuchen, wie eine Barrierefreiheit im Fahrzeug gewährleistet werden kann.

Zielsetzung

Für den Versuch standen im Testfeld Lauenburg/Elbe zwei Versuchsträger zur Verfügung. Der Versuch erfolgt unter Verwendung einer zusätzlichen Kommunikationseinheit mit Sensoren, zusätzlicher Mobilfunk- und Ortungsfunktion sowie Bluetooth-schnittstelle und Verwendung von Mobilfunkgeräten.⁵¹

Versuchs-
aufbau /
verwendete
Materialien

Im Fahrzeug:

- Initialisierung von On-Board Units in V2I-Kommunikation mit den Lichtsignalanlagen zur Aktivierung von Fahrbefehlen im Versuchsträger
- Installation Module mit Bluetoothverbindung und für standortabhängigen Sprachansage (gekoppelt an Geokoordinate, Aktivierung mittels Bluetooth, Fahrzeugstandort und Türstatus) zu Haltestellen und anderen wichtigen Punkten und relevanten Vorgängen während der Fahrt und zum Auffinden des Fahrzeuges durch Menschen mit Sehbehinderung bei Halt
- Aussenden einer Fahrzeugkennung zur Identifizierung des Fahrzeugs (inkl. Zielangabe) via öffentlich zugänglicher App LOC.id

⁵¹ In der Apple-Anwendungsumgebung von TestFlight mit der App LOC.id in den Testversionen 2.2.1 und 2.2.2, die im laufenden Prozess und nach Validierung in die üblichen öffentlichen App-Stores überführt werden für die Anwendung in den Fokusgruppenworkshops.

- Standortabhängige V2I-Befehle mittels GSM-Kommunikation
- Standortabhängige V2I-Befehle und Koordinatenübermittlung über Mobilfunkdatenverbindung API-Schnittstelle
- Optimierung der Fahrwege über die virtuelle Schiene und Steigerung der Geschwindigkeiten

An Lichtsignalanlagen:

- Austausch der Steuergeräte der Lichtsignalanlagen an zwei Knotenpunkten
- Installation von Road-Side-Units zur Übertragung von SPaT-/MAP-Daten mit Straßentopologie und Signalbild mittels WLAN im Standard ETSI G5 inkl. Ampelphasenprognose
- Installation einer umfeldabhängigen Blindenakustik mit Bluetooth-Modulen und berührungsfreien Radaranforderungstastern für den Transportroter- und Fußverkehr
- Installation A-Signal zur Kontrolle von Fahrzeuganmeldungen via WLAN

Weiteres (Homepage, Fahrplanaushänge und Flyer):

- Live-Standortanzeige
- Tagesaktuelle Angaben zu Mitnahmemöglichkeiten und Funktionalitäten der Rampen
- Fortgeschriebener Fahrplan mit angepassten Logos (Unterscheidung Menschen mit Geh- und Sehbehinderung, Entfall Elektrorollstuhl)

Anwender-App für Mobiltelefone u. a. für Menschen mit Behinderung:

- Unterstützung der Weiterentwicklung der App LOC.id zur Aktivierung der Blindenakustik an den Versuchsträgern und zum Empfang von Statusinformationen von automatisierten Fahrzeugen (z. B. Fahrziel) sowie umgekehrt zur Übermittlung von Befehlen an den Bus (z. B. Haltewunsch, Nothalt, Türoffnung mit Rampenanforderung) über das Endgerät

Vorgehen

Der Ablauf erfolgt in folgenden Schritten (ähnlich zu der Methodik beim Haltestellen-aufbau):

- Bestandsanalyse des Versuchsträgers mittels ExpertInnen und Fokusgruppen
- Ermittlung fahrzeugseitiger Randbedingungen
- Variantenentwicklung anhand des Beispiels an eingesetzten Versuchsträgern
- Variantenabstimmung mit ExpertInnenteam und dem Beauftragten für Menschen mit Behinderung
- Abstimmung mit ausführender Firma zur Ausführung
- Realisierung und App-Entwicklung
- Analyse des Versuchsträgers mittels Fokusgruppen (Szenario Versuchsträger+)

Im Szenario Versuchsträger und Versuchsträger+ erfolgen über Fokusgruppen-workshops entsprechende Analysen und Bewertungen zur Zielerreichung (siehe separate nachfolgend beschriebene Methodik). Zudem können aus der Realisierung und dem Betrieb Erfahrungen gewonnen und zur Bewertung herangezogen werden.

10.4.4 Datenanalyse (M8)

10.4.4.1 Geodatenanalyse

Um Aussagen zur bisherigen und künftigen Zielerreichung in der aktuellen Erschließungsqualität und zum Zeitaufwand unter Nutzung des ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg generieren zu können, erfolgt eine Analyse der räumlichen Verfügbarkeit im ÖV-Bestandsnetz.

Zielsetzung

Dazu werden Strukturdaten der Servicestelle Geodaten des Kreis Herzogtum Lauenburg (2020) verwendet und hinsichtlich Verkehrsnetz und Bebauung um frei verfügbare Daten von OpenStreetMap-Mitwirkenden (2020) ergänzt. Auf ÖPNV-Linien, Haltepunkte und Fahrplandaten kann über GTFS-Daten des HVV (2020/2023a) zugegriffen werden.

verwendete
Daten

Mittels der Datenverarbeitungssoftware FME erfolgt eine Filterung, Sortierung und Auswertung der Daten. Unter Zuhilfenahme der Geoinformationssystemsoftware QGIS können zudem Visualisierungen und Analysen dieser Daten mit räumlichen Elementen vorgenommen werden. Dabei sind Verschneidungen von unterschiedlichen Flächen und Objekten möglich, um Raumparameter zu ermitteln. Diese Aufbereitung wird für den Untersuchungsraum des Kreises Herzogtum Lauenburg durchgeführt. Für weitere Auswertungen zu den Haltepunkten wird zusätzlich auf das Haltestellenkataster des HVV für den Kreis Herzogtum Lauenburg zurückgegriffen.

Vorgehen

10.4.4.2 Unfalldatenauswertung

Zur Analyse der Verkehrssicherheit bietet sich die Untersuchung von Daten aus vergangenen Unfällen an, um relevante Risiken des heutigen ÖPNV-Systems in ländlichen Räumen und mögliche Rückschlüsse auf einen fahrerlosen Betrieb im ÖV zu ermitteln.

Zielsetzung

Für die Bewertung der Verkehrssicherheit wird auf vergangene Unfalldaten aus zwei Datensätzen zurückgegriffen, um daraus Erkenntnisse für bisherige und künftige Risiken in Verbindung mit dem fahrerlosen Fahren abzuleiten:

verwendete
Daten

- Im ersten Datensatz stehen die Unfälle der amtlichen Unfallstatistik der Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021) des Kreises Herzogtum Lauenburg aus dem Zeitraum 2016 bis 2020 für das gesamte Kreisgebiet zur Verfügung. Es ist allerdings nur eingeschränkt möglich aus der amtlichen Unfallstatistik Informationen zu Entstehung, Ablauf und Folgen zu analysieren (vgl. Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH, 2021) sowie ebenso kaum möglich verlässlich Angaben über einen Zusammenhang zu Wegeunfällen zur und von der Haltestelle zu gewinnen, weshalb ein zweiter Datensatz notwendig wird.
- Im zweiten Datensatz werden aufgenommene Unfälle von der Unfallforschung der Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021) genutzt, die im Rahmen des Projektes German In-Depth Accident Study (GIDAS) seit 1999 eine vertiefte Verkehrsunfalldatenerhebung durchgeführt haben. Für diese Ausarbeitung werden Unfälle mit Personenschäden zwischen 1999 und 2019 im

Großraum Dresden und Hannover⁵² herangezogen. Es werden neben allen Busunfällen die Ereignisse ausgewählt, die im Sinne der unter Kapitel 6.1.2 vorgenommenen Systemabgrenzung in Verbindung mit dem Parameter „Einfluss einer Bushaltestelle“⁵³ stehen. Um die GIDAS-Daten explizit der ländlichen Räume zu erfassen, werden die Vorfälle *außerhalb* der Stadtgebiete Dresden und Hannover mit nur einem durchgehenden Fahrstreifen je Richtung einbezogen, woraus sich 183 Unfälle mit Beteiligung eines Busses und 117 Unfälle unter Einfluss einer Bushaltestelle ergeben. Als Grundgesamtheit stehen die statistischen Daten aller im Rahmen von GIDAS erhobenen Unfälle zur Verfügung und zusätzlich als eine Vergleichsgruppe die statistischen Daten bei einer Unfallbeteiligung von Taxis: Der GIDAS-Datenbestand beinhaltet 495 Taxiunfälle mit Personenschäden, davon 81 außerhalb der beiden Städte bei nur einem durchgehenden Fahrstreifen je Richtung. Zusätzlich werden alle aufgenommenen Unfälle von Ridepooling-Anbietern in Hannover betrachtet, bei denen es sich um eine kleine absolute Menge von sieben Unfallereignissen mit Personenschäden handelt.

Vorgehen

Das Vorgehen zur Analyse der Unfälle wird abgeleitet aus dem Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen von der FGSV (2012). Es finden in der Auswertung – im Hinblick auf das Ziel der persönlichen Unversehrtheit – Unfälle mit Personenschaden Berücksichtigung, was den Unfallkategorien 1 bis 3 nach FGSV (2012) entspricht. In dem Datensatz des Kreises sind verschiedene Auswahlfilter möglich, die für Unfälle mit Bussen genutzt werden, um Erkenntnisse zielgerichtet zu gewinnen: Fahrzeugart, Unfallkategorie mit Anzahl Betroffener inkl. Unfallschwere und Alter, Örtlichkeit mit Lage im Straßennetz, vermutete Rolle der jeweiligen Unfallbeteiligten und Vorgangsbeschreibung. Die Information zur Lage im Einflussbereich einer Haltestelle ist theoretisch über Freitextangaben der Unfallaufnehmenden möglich. Da dies allerdings nicht in Form einer eigenständigen Pflichtvariablen in der Unfallaufnahme erfasst werden muss, ist von einer Vollständigkeit nicht auszugehen.

Die zusätzliche Analyse des zweiten Datensatzes kann dieses Defizit beseitigen: Aus dem GIDAS-Datensatz lassen sich neben der Variable zur Lage der Unfallstelle im Einflussbereich einer Bushaltestelle die Beteiligten und Verletzten z. B. den Unfällen mit der Beteiligung eines Busses zuordnen. Zudem werden Angaben zur Unfallschwere nach Einsicht von Arztberichten gegenüber der Aufnahme am Unfallort eingehend verifiziert. Es erfolgt neben der Gesamtbetrachtung die Vertiefung bei signifikanten Abweichungen über eine Einzelfallanalyse mittels Einsicht in die jeweilige digitale Akte u. a. mit Fotos

⁵² Die Stadt und das Umland von Dresden sowie die Region Hannover sind die dokumentierten Untersuchungsgebiete vom Projekt GIDAS und werden hinsichtlich der Haltestellen im Umland als vergleichbar zum Kreis Herzogtum Lauenburg angenommen.

⁵³ Dieser Parameter wurde explizit ab 2005 in der GIDAS-Unfallaufnahme berücksichtigt.

und den abschließenden Ergebnissen ärztlicher Gutachten zu den tatsächlichen Personenschäden und qualitativer sowie quantitativer Aufbereitung der Erkenntnisse.⁵⁴ Gemäß Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021) ist bei allen Daten zu beachten, dass als Verkehrsunfall üblicherweise Ereignisse mit mehreren Beteiligten aufgenommen werden. Der Sturz eines Fahrgastes im Fahrzeug oder die Verletzung eines Busführenden ohne weitere Beteiligung kann als Betriebsunfall ohne polizeiliche Aufnahme behandelt werden und steht damit ebenso wie die mögliche Dunkelziffer nicht im vorliegenden Datenbestand. Seitens der im Kreis Herzogtum Lauenburg aktiven Verkehrsunternehmen konnten hierzu keine Daten bereitgestellt werden.

10.5 Anlage zu Kapitel 6.5: Phase 5 Analyseergebnisse

10.5.1 Analyse der Erschließungsqualität

Eine Erschließungsqualität im ÖPNV wird neben dem Fahrangebot über die Verfügbarkeit von Zu- und Abgangspunkten gewährleistet. Bei traditionellen liniengebundenen ÖPNV wird dies zumeist über beidseitig ausgebildete richtungsbezogene Haltepunkte einer Haltestelle hergestellt. Um Aussagen zur Erschließungsqualität tätigen zu können, werden hierzu bereitstehende Daten ausgewertet. Zusätzlich wird die Fahrgast- und die Haushaltsbefragung zur Bewertung des Angebotes in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe herangezogen.

10.5.1.1 Analyse der zeitlichen Verfügbarkeit

Für die Ermittlung der zeitlichen Verfügbarkeit werden GTFS-Daten des ÖPNV-Jahresfahrplans 2023 des HVV (2023a) genutzt, die räumlich auf den Kreis Herzogtum Lauenburg reduziert werden. Über Filter zu Betriebstagen- und -zeiten lassen sich alle Linien auf die Haltepunkte zuordnen, zu denen anschließend die Abfahrten pro Tag und Haltepunkt berechnet werden können. Eine Haltestelle setzt sich aus mehreren (in den allermeisten Fällen zwei) Haltepunkten zusammen (je Fahrtrichtung einer).

Insgesamt erfolgen 37.955 Abfahrten an 1.395 Haltepunkten (an einem werktäglichen Dienstag außerhalb der Schulferien) im Kreis Herzogtum Lauenburg, was im Mittelwert 27,2 Abfahrten pro Haltepunkt an einem Dienstag entspricht. Mit der Standardabweichung von 27,5 zeigt sich die Streubreite der Anzahl der Abfahrten. An 27,4 % der Haltepunkte (absolut: 382) erfolgen weniger als 13 Abfahrten pro Tag, an 13,1 % der Haltepunkte (absolut: 183) erfolgen mehr als 48 Abfahrten pro Werktag.

Von den 37.955 vorgenannten Abfahrten sind 8.334 reine Abfahrten von Schulbuslinien. Insgesamt werden 22,7 % (absolut: 317) aller Haltepunkte ausschließlich von Schulbuslinien bedient.

An einem Sonntag erfolgen 11.227 Abfahrten an 664 Haltepunkten (im Mittelwert 16,9 Abfahrten pro bedientem Haltepunkt) bei einer Standardabweichung von 14,4.

⁵⁴ Nach Bereitstellung der Datensätze aus dem GIDAS-Datensatz erfolgt die Analyse der Unfälle durch den Autor dieser Ausarbeitung.

An 52,4 % aller an Werktagen bedienten Haltepunkte erfolgt ganztägig Sonntag keine planmäßige Abfahrt (absolut: 731).

Die dargestellten Grafiken bilden die zeitliche (Abbildung 10-4) und räumliche Verteilung (Abbildung 10-5) der Abfahrtszeiten über einen Dienstag und Sonntag im Bezugsfall ab.

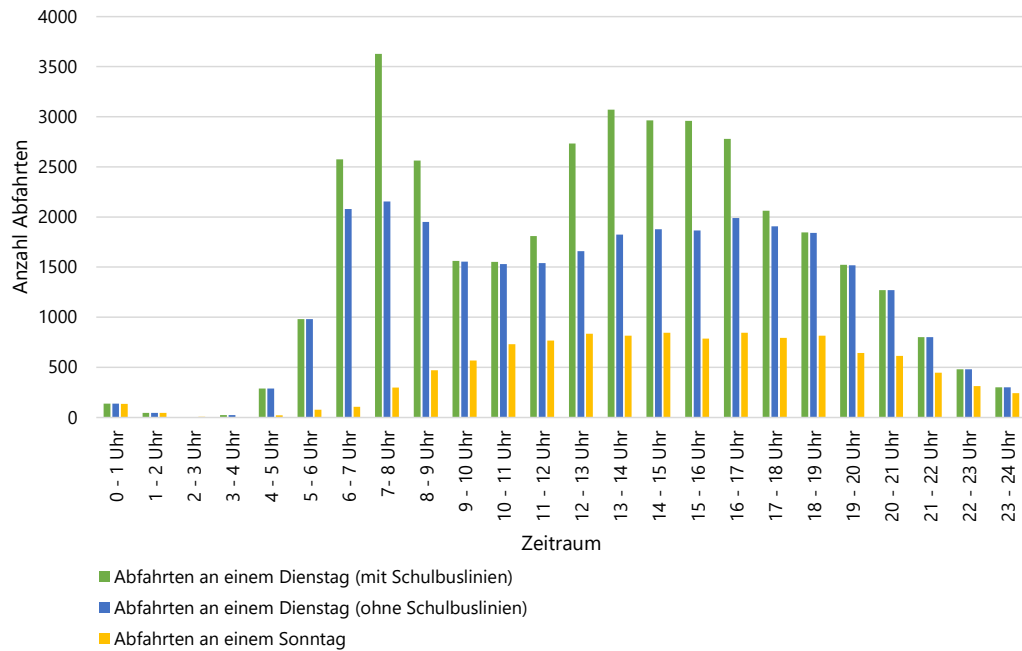


Abbildung 10-4: Anzahl der Abfahrten des ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg im Jahr 2023 an einem Dienstag (mit/ohne Schulbusse(n)) bzw. Sonntag (eigene Darstellung)

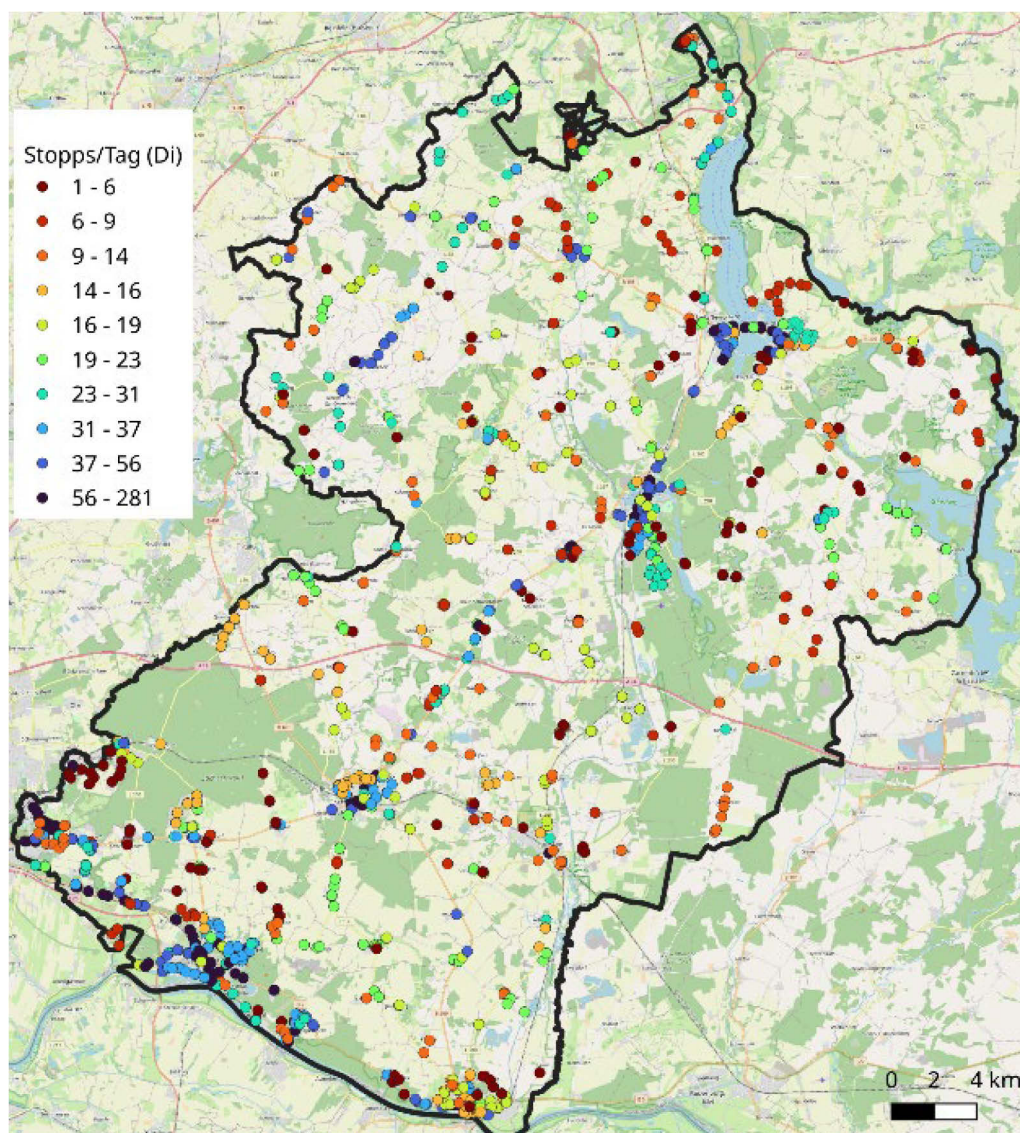


Abbildung 10-5: Räumliche Verteilung aller Abfahrten des ÖPNV im Jahr 2023 an einem Dienstag im Kreis Herzogtum Lauenburg (eigene Darstellung auf Kartengrundlage von OpenStreetMap-Mitwirkende (2020) und Ole Röntgen)

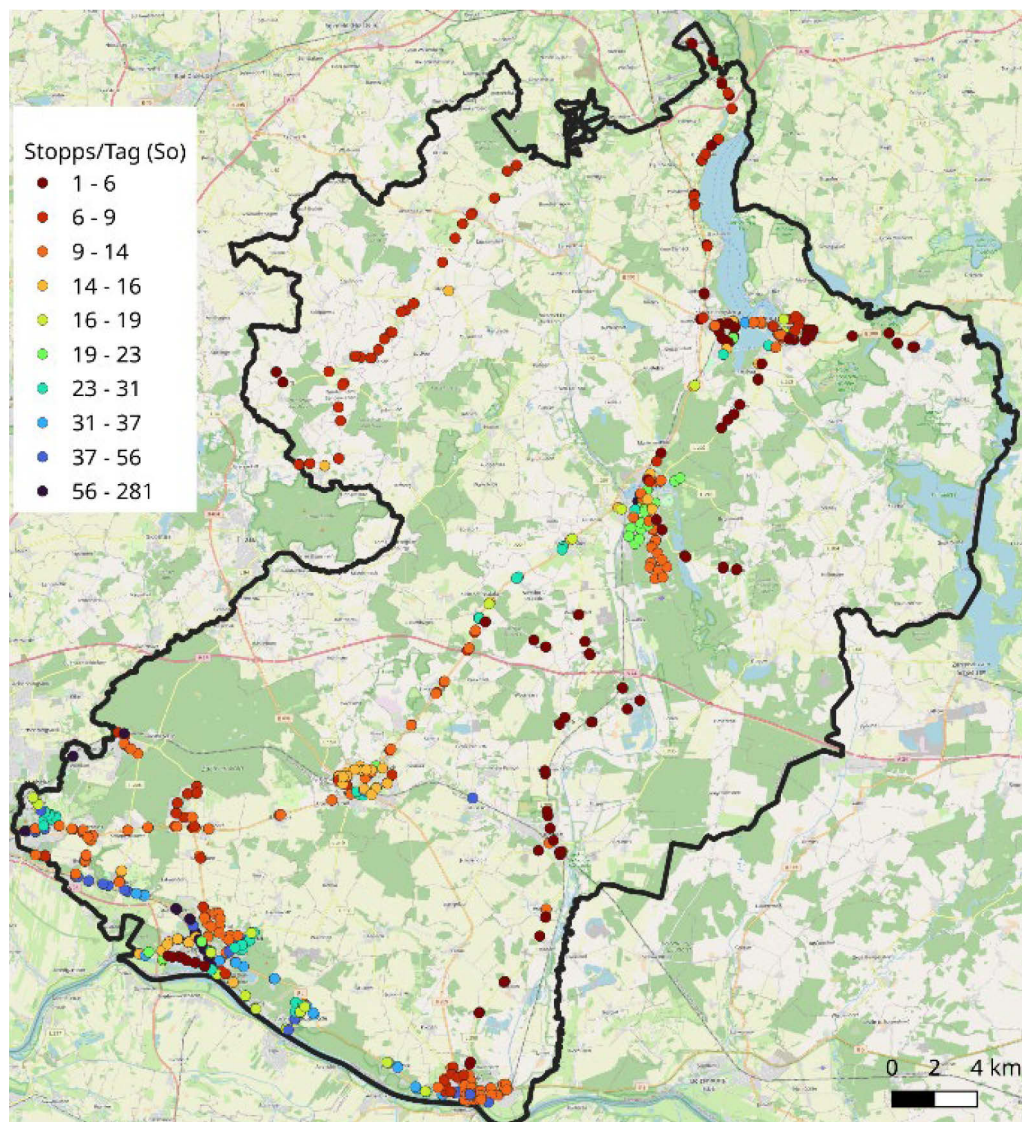


Abbildung 10-6: Räumliche Verteilung aller Abfahrten des ÖPNV im Jahr 2023 an einem Sonntag im Kreis Herzogtum Lauenburg (eigene Darstellung auf Kartengrundlage von OpenStreetMap-Mitwirkende (2020) und Ole Röntgen)

10.5.1.2 Räumliche Verfügbarkeit

Die räumliche Verfügbarkeit des ÖPNV bzw. Erreichbarkeit eines Zu- oder Abgangs kann über den Haltestelleneinzugsbereich ermittelt werden. Dieser ergibt sich nach der FGSV (2010a) in Abhängigkeit der Zentralität des jeweiligen Ortes nach FGSV (2009) bzw. der damit verbundenen Siedlungsdichte zu 300 bis 700 m Luftlinie. Der HVV (2015) als für den Untersuchungsraum maßgeblicher Verkehrsverbund, das BMVI (2016b, S. 77) sowie Pütz und Schönfelder (Oktober 2018, S. 8) nennen analog zur FGSV (2010a) 600 m als maßgeblichen Radius bei Bushaltestellen für ländlich geprägte Räume.⁵⁵ Für Räume höherer Siedlungsdichte werden 400 m als Radius angenommen. Die Unterscheidung der Haltestellenradien erfolgt abhängig von der Lage mit dem Standort gemäß Zentralität und Versorgungsfunktion (FGSV, 2010a) und der Einwohnerdichte (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2020) wie folgt:

- Verdichtete Räume mit mindestens 150 Einwohnenden pro km² oder mehr als 100 Einwohnenden in einem Mittel- oder Unterzentrum (Haltestellenradius 400 m) oder
- ländliche Räume mit weniger als 150 Einwohnenden pro km² außerhalb von Mittel- oder Unterzentren (Haltestellenradius 600 m).

Als erschlossen gilt eine bebaute Fläche gemäß FGSV (2010a), wenn mindestens 80 % der Bebauung im Einzugsbereich (Radius) liegen. Es erfolgt zur Ermittlung der Qualität im Untersuchungsraum eine entsprechende Auswertung aus der Verschneidung der über die mittels Radien erstellten Einzugsgebiete mit den Gebäuden im Untersuchungsgebiet. Die Anzahl der Gebäude außerhalb der Einzugsgebiete kann ins Verhältnis zu allen Gebäuden gesetzt werden.

In Zusammenarbeit mit Fischer (2020) erfolgt die Auswertung für den Analyse-Fall für den Kreis Herzogtum Lauenburg. Die Abbildung 10-7 stellt die Haltestellenradien gemäß jeweiligem Standort und Regionstyp der Metropolregion dar. In Überschneidung mit den Gebäuden im Kreis Herzogtum Lauenburg ergibt sich, dass unter vorstehenden Annahmen 88,8 % (absolut 43.627 von 49.111 Gebäuden) im Jahr 2020 innerhalb der angesetzten Haltestellenradien liegen (siehe Abbildung 10-8).

⁵⁵ Der Kreis Herzogtum Lauenburg gilt als kleinstädtischer, dörflicher Raum am Rande einer metropolitenen (Hamburg) bzw. regiopolitenen (Lübeck) Stadtregion gemäß BMDV (2021).

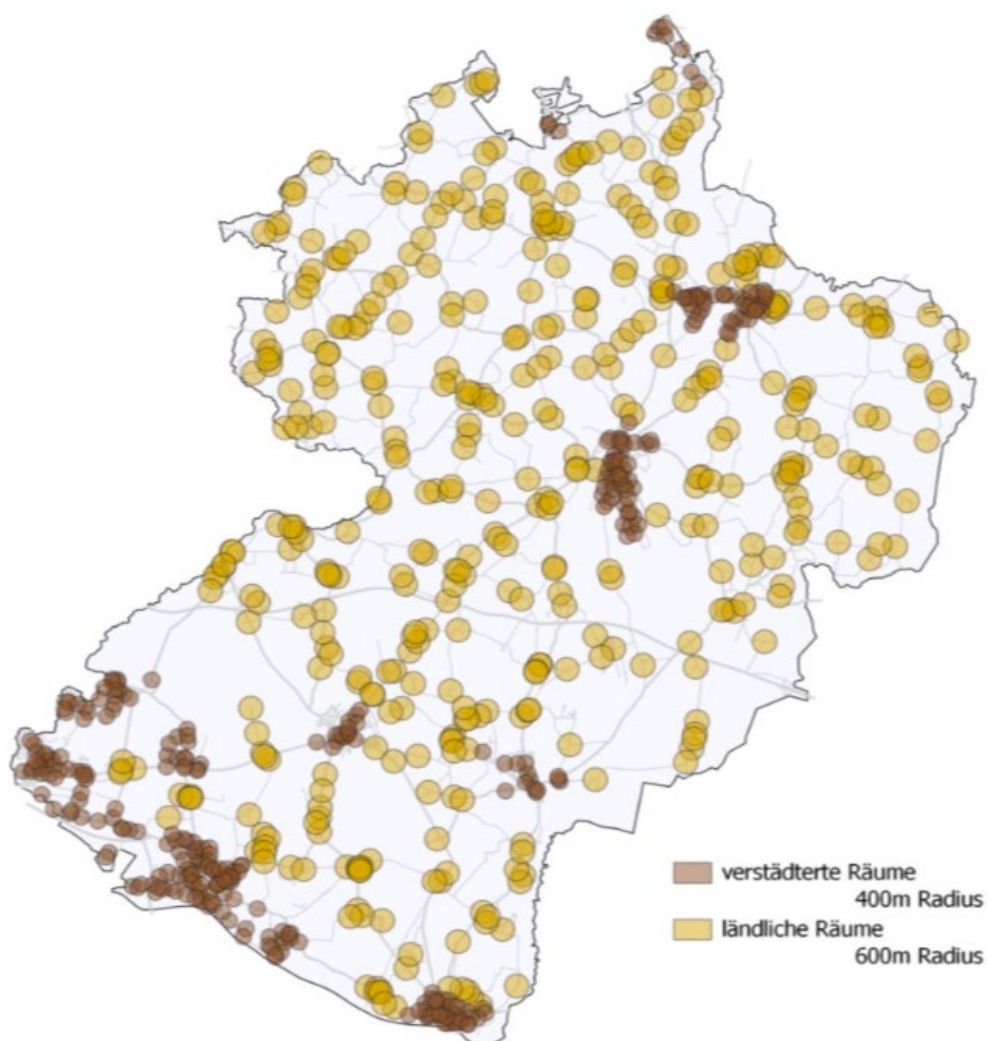


Abbildung 10-7: Einzugsradien der Haltestellen im Kreis Herzogtum Lauenburg im Kreis Herzogtum Lauenburg (Fischer, 2020, S. 40)

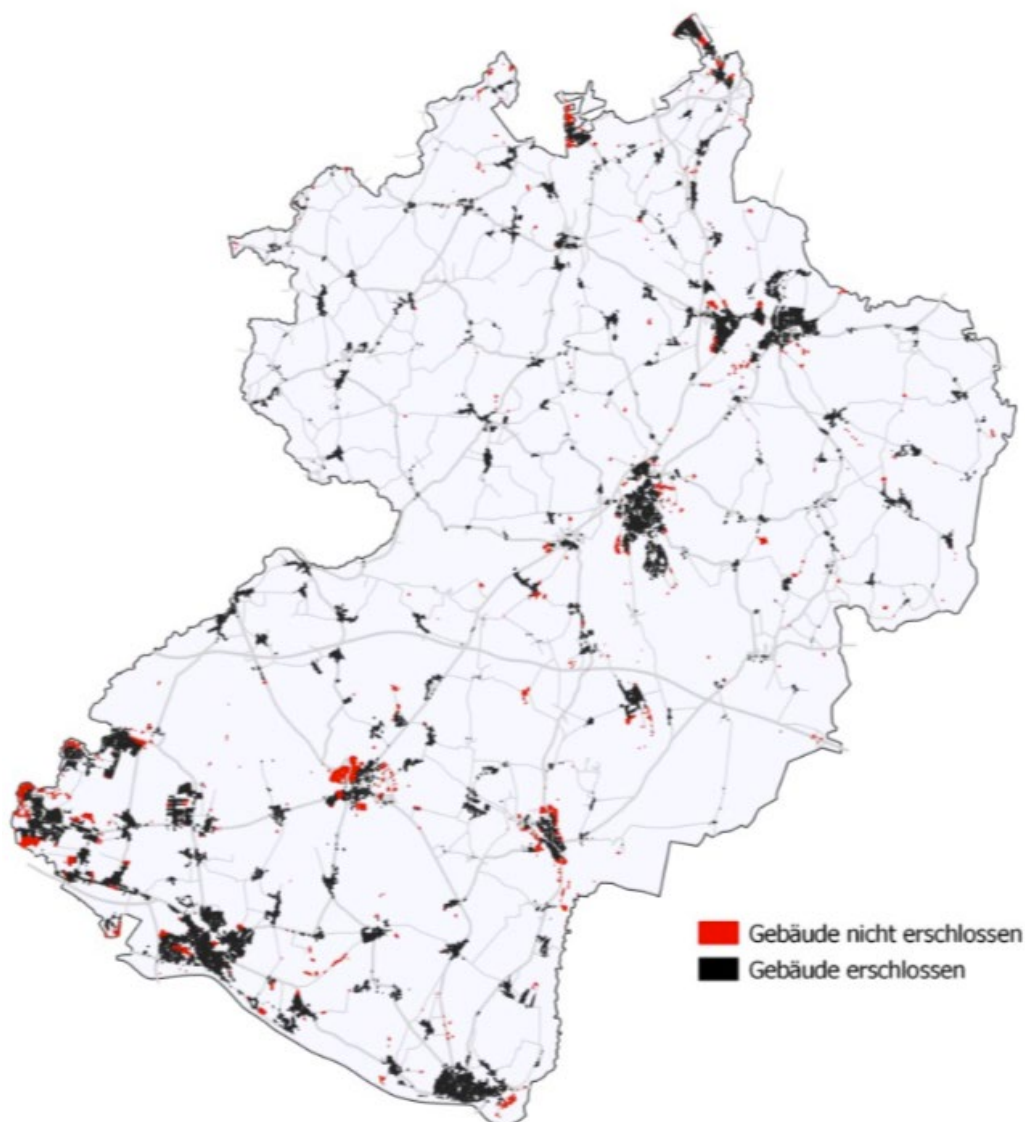


Abbildung 10-8: Durch die Haltestellenradien in Abbildung 10-7 erschlossene und nicht erschlossene Gebäude im Kreis Herzogtum Lauenburg (Fischer, 2020, S. 40)

Im Zuge der Haushaltsbefragung wurden die Einwohnenden in der Stadt Lauenburg/Elbe nach der Erreichbarkeit ihrer Ziele mit Bus und Bahn von zu Hause aus befragt. Das Ergebnis in Abbildung 10-9 stellt dar, dass 54 bis 57 % die Erreichbarkeit als gut oder sehr gut bewerten und 39 bis 40 % als schlecht oder sehr schlecht. Bei der Fahrgastbefragung und beim Sommer des Wissens wird die Erreichbarkeit mit 61 % bzw. 76 % mit gut oder sehr gut bewertet. Bei diesen beiden Umfragen wohnen (abweichend zur Lauenburger Haushaltsbefragung) 25 % bzw. 74 % nach eigenen Angaben in einer Großstadt.

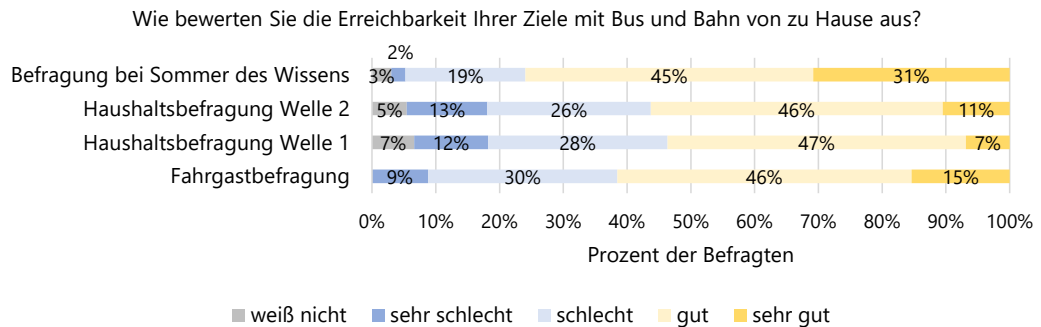


Abbildung 10-9: Antwort auf die Frage zur Erreichbarkeit der Ziele mit Bus und Bahn von zu Hause aus (Umfrage bei Veranstaltung „Sommer des Wissens“: N = 141; Haushaltsbefragung Welle 1: N = 423, Welle 2: N = 238; Fahrgastbefragung N = 94) (eigene Darstellung)

10.5.1.3 Kurze Zugangswege

Gemäß Abbildung 10-8 sind 88,8 % der Gebäude im Kreis Herzogtum Lauenburg in einem Radius von weniger als 600 m und damit gemäß FGSV (2010a) zu Fuß maximal 10 Minuten entfernt von einer Haltestelle.

Laut Fahrgastbefragung wünschen sich 43 % der Befragten einen Weg von maximal zwei bzw. fünf Minuten zum Zu- und Abgangspunkt eines Fahrzeuges wie dem Versuchsträger (siehe Abbildung 10-10). 30 % geben an, dass sie eine Entfernung von zehn Minuten oder länger annehmen würden. Es besteht in der Umfrage eine Tendenz, dass mit zunehmendem Alter die Wunschentfernung kürzer wird. Ebenso besteht ein leichter Unterschied der Ergebnisse zwischen den unterschiedlichen Wohnorten der Befragten, Personen in Kleinstädten und Gemeinden nehmen weitere Wege in Kauf ($p = 0,0460$).

Angenommen, es gibt selbstfahrende Shuttles in ihrem Ort, die an festen Haltepunkten halten: Wie lange wären Sie bereit zu einer Haltestelle zu laufen?

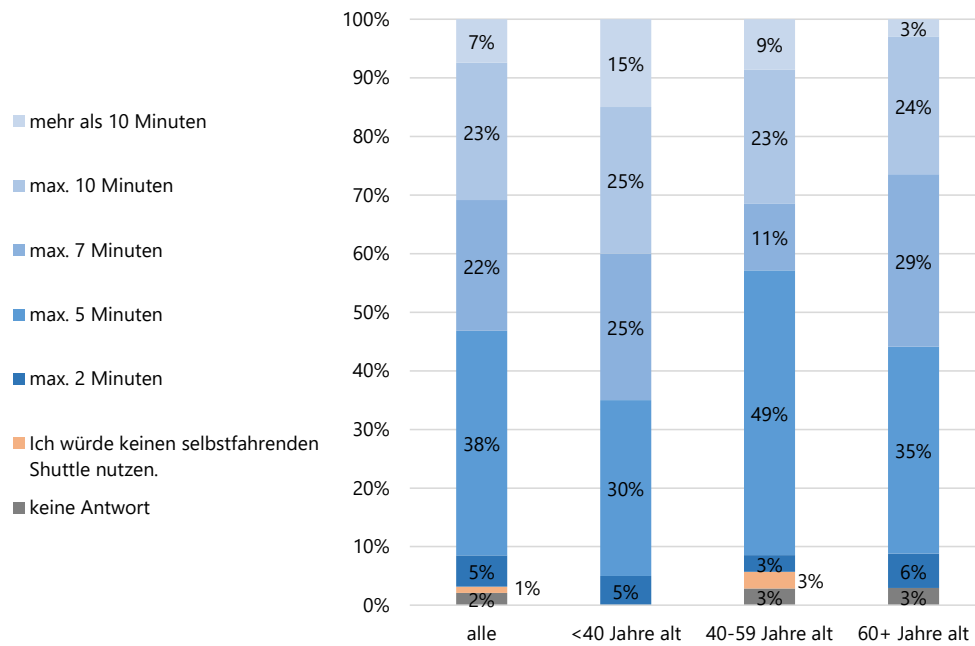


Abbildung 10-10: Bereitschaft zur Wegedauer bis zum Ein- und Ausstiegspunkt bezogen auf Altersklassen, N = 94 (eigene Darstellung auf Grundlage der Fahrgastbefragung im Versuchsträger)

10.5.2 Analyse des Beförderungsstandards

10.5.2.1 Barrierefreie Erschließung für Alle

10.5.2.1.1 Bestehende Haltestelleninfrastruktur im Kreis Herzogtum Lauenburg

In der Auswertung des Haltestellenkatasters (Stand Erfassung 2017) des HVV (2023b) erfüllen im Kreis Herzogtum Lauenburg zwei Haltepunkte den barrierefreien hohen Mindeststandard⁵⁶ (0,16 % aller erfassten Haltepunkte). Die Haltepunkte dieser Kategorie (bezeichnet im weiteren als Kategorie A) sollen dem Grunde nach für Alle ohne Einschränkungen nutzbar sein. Die Abbildung 10-11 stellt dar, wie hoch der Erfüllungsgrad je Kriterium im Jahr 2017 war.

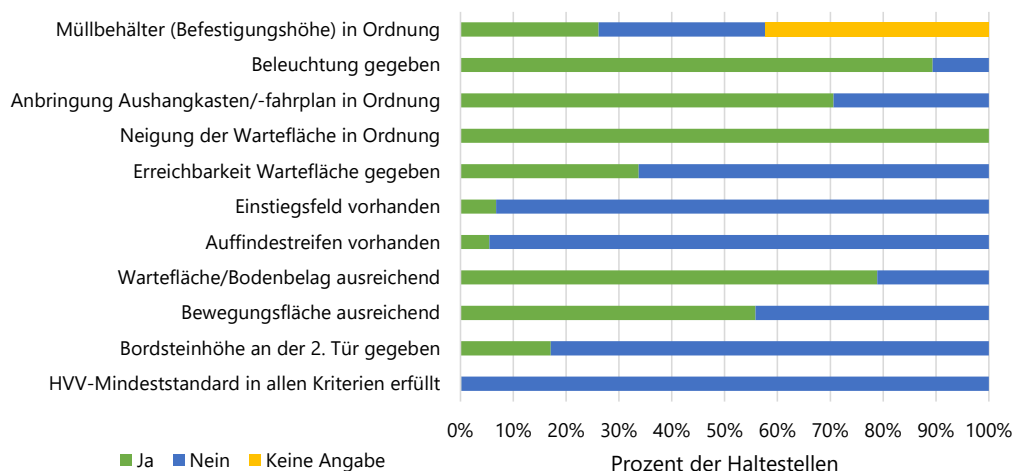


Abbildung 10-11: Erfüllungsgrad der HVV-Standards an den Haltestellen im Kreis Herzogtum Lauenburg im Jahr 2017 (eigene Darstellung auf Datengrundlage HVV (2023b))

In Abbildung 10-11 zeigt sich, dass Einstiegsfelder und Auffindestreifen zu über 90 % nicht nach HVV-Standard vorhanden sind. Die Einbauweisen dieser bereits eingebauten Elemente in Lage, Richtung, Typ unterscheiden sich je nach Haltepunkt, weshalb viele Haltepunkte den einheitlichen im HVV vorgegebenen Mindeststandard nicht erfüllen können.

⁵⁶ Der Mindeststandard des hvv definiert sich über den Basisstandard zzgl. genauer Vorgaben an Auffindestreifen und Einstiegsfeld, nach Erfordernis Leitstreifen, grundsätzliche barrierefreie Erreichbarkeit der Wartefläche, geringe Neigungen und Vorgaben an die genaue Positionierung von Mast, Aushang und Müllbehälter und das Vorhandensein einer Beleuchtung. Sy und Thamm (2016, S. 15–19).

Unter reduzierten Anforderungen eines Basisstandards⁵⁷ ergeben sich 31 Haltepunkte (2,5 % aller erfassten Haltepunkte), die im Jahr 2017 die reduzierten Anforderungen Bordsteinhöhe, Flächengröße und Auffindbarkeit erfüllen (Kategorie B), sodass insbesondere Menschen mit Sehbehinderungen und Mobilitätseinschränkungen, ggf. mit Unterstützung des Fahrenden, in das und aus dem ÖPNV-Fahrzeug gelangen können. Sofern die Anforderungen weiter reduziert werden und eine Beschränkung auf die beiden Kriterien

- Vorhandensein einer befestigten Wartefläche (Pflaster, Asphalt, Beton) und
- Bordsteinhöhe an der zweiten Tür größer als 0 cm

erfolgt, ergeben sich 959 Haltepunkte (75,9 % aller erfassten Haltepunkte), die diesen beiden Anforderungen (Kategorie C) gerecht werden.

Bei 17 % (n = 220) aller im Jahr 2017 erfassten Haltepunkte handelt es sich um unbefestigte Flächen (Wiese, Schotter, unebene schlecht befestigte Flächen o. ä.), an denen der Bus zum Ein- und Ausstieg von Fahrgästen hält (Kategorie D). An 102 dieser Haltestellenpunkte wurde keine Fahrgasterfassung vorgenommen oder kein Fahrgast gezählt.

Werden die 10 % der Haltepunkte in der Analyse betrachtet, die am nachfragestärksten sind, ergibt sich der Erfüllungsgrad zu 0 % (Kategorie A), 6,3 % (Kategorie B) und 100 % (Kategorie C). An diesen Haltepunkten werden pro Tag als Summe aus Ein- und Aussteigenden mindestens 191 Fahrgäste und im Mittelwert 753 Fahrgäste pro Tag gezählt.

Es ist insgesamt nicht Bestandteil des Katasters, in welchem Standard die Wege vom Startort zu den Haltestellen und von dort zum Zielort gestaltet sind.

Die detaillierten Daten der Aktualisierung des Haltestellenkatasters im Jahr 2020 stehen nicht zur Verfügung. Allerdings gibt der 5. Regionale Nahverkehrsplan SVG Südwestholstein (2022, S. 100) Auskunft über den Gesamtausbaustand im Jahr 2020. Demnach hat sich die absolute Anzahl der Haltepunkte bei den Parametern Bordhöhe, Auffinde- und Einstiegsfelder jeweils zwischen 40 und 56 % gesteigert. Bei einer Bordhöhe von mindestens 16 cm sind 121 neue Haltestellen hinzugekommen. Bei der angestrebten Bewegungsfläche (2,50 x 2,50 m) sind 13 Haltestellen hinzugekommen.

10.5.2.1.2 Bestehende Fahrzeuge im Kreis Herzogtum Lauenburg

Gemäß SVG Südwestholstein (2022, S. 99) sind bis 2022 alle alten Fahrzeuge (außer die Anrufsammeltaxis o. ä.) ausgetauscht worden und der Fuhrpark wird als vollständig barrierefrei beschrieben. Neben der entsprechenden Innenausstattung, automatischen Anzeigen und Ansagen bedeutet dies der Einsatz einer Niederflurbauweise und einer Regeleinstiegshöhe von 32 cm bzw. unter Einsatz der Kneelingfunktion Fahrzeugbodenhöhe eine Höhe von 22 bis 29 cm über Fahrbahn (vgl. eigene Vermessung; Reinhardt, 2018, S. 352; IUB Ingenieur-Unternehmung AG, 4. Februar 2011), wodurch sich zu einem Seitenraum mit Höhe von 18 bis 24 cm eine Differenzhöhe von maximal 10 cm für den

⁵⁷ Der Basisstandard wird definiert über Bordsteinhöhe von ≥ 16 cm und einer Bewegungsfläche von 2,50 x 2,50 m an zweiter Tür sowie eine befestigte Wartefläche mit Auffindestreifen und Einstiegsfeld.

barrierefreien Einsatz einer Rampe ergibt (vgl. KVV Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, 2017).

10.5.2.1.3 Untersuchungsobjekt und Zusammenspiel Mensch – Versuchsträger – Infrastruktur

Der Versuchsträger stellt gemäß Checkliste aus Kapitel 6.3 und eigenen Überprüfungen folgende Eigenschaften bereit:

- Haptische, beleuchtete mit Brailleschrift ausgestattete Taster,
- eine „Straßenklingel“ zur Kommunikation mit anderen nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmenden,
- eine Rollstuhlsicherungslösung von Q'Straint, Inc.,
- einen Niederflurboden (32 cm reguläre Bodenhöhe / im Kneeling 27,5 cm Bodenhöhe) und
- eine elektrische Rampe (90 cm Breite / 110 cm Länge).

Das Fahrzeug kann aufgrund von Herstellervorgaben derzeit nicht näher als auf einen Abstand von ca. 15 cm an einen Hochbord heranfahren. Ein Kneeling ist manuell auslösbar und nicht für den automatisierten Betrieb standortbezogen programmierbar.

Die drei Workshops mit 17 externen ExpertInnen (vgl. Tabelle 10-6), die Expertise zu allen Anforderungen an ÖPNV-Systeme besitzen, führen zu nachfolgenden Erfahrungen und Forderungen. Alle ExpertInnen sind zuvor mit dem Versuchsträger mitgefahren.

Folgende Eindrücke vom Fahrerlebnis mit dem Versuchsträger werden festgestellt (nachfolgende Reihenfolge stellt keine Rangfolge dar):

- Die Bremsbeschleunigung ist zu hoch und zu plötzlich.
- Es fehlen Ansagen (außen und innen) über Vorgänge für Menschen mit Sehbehinderung etc., es ist frühzeitig und planbar auf Ereignisse (wie Halte) hinzuweisen.
- Es fehlen Möglichkeiten für eine eigenständige Sicherung im Fahrzeug (Rollstühle, Rollatoren oder Gepäck).
- Es fehlen Optionen für menschliche Interaktionen mit dem Fahrzeug.
- Die Kommunikationsmöglichkeiten für relevante Vorgänge für Fahrgäste (Haltewunschabgabe außen und innen, fehlende Option zur Zielangabe, Ein-/Ausstiegsbefehle sowie sicherheitsrelevante Vorgänge wie Notstopp) sind mangelhaft.
- Die Position der Rampenbedienung ist innen und außen für Nutzende schlecht erreichbar.
- Eine akustische Kommunikation nach außen muss eindeutig interpretierbar sein, es erscheinen weitere Erläuterungen notwendig.

Im Ergebnis liegt ein allgemeiner Gruppenkonsens zu folgenden Grundsätzen vor (Reihenfolge stellt keine Rangfolge dar):

- Die vollständigen Wegekette der Fahrgäste sind zu bedenken – dabei soll das Ziel verfolgt werden, dass Menschen mit Einschränkungen nicht dezidiert für jede Einzelreise spezielle Routen planen müssen.

- Es müssen für alle Informationen und Vorgänge mindestens zwei Sinne angesprochen werden.
- An Haltepunkten soll ein Spaltmaß auf weniger als 5 cm reduziert oder der Einsatz der Rampe ermöglicht werden. Ansonsten muss im Fahrplan und Auskunftssystem die fehlende Barrierefreiheit der Haltestelle gekennzeichnet werden.
- Anzustreben sind eindeutige Statusinformationen (vor Fahrtantritt und während der Fahrt) zu aktuellen Nutzbarkeiten und Störungen mit Erläuterungen (Was passiert warum und warum dauert es länger...?).
- Es sind konkrete Angaben an Haltestellen und im Fahrzeug notwendig, um welches Fahrtziel es sich handelt.
- Die Technik muss die jeweiligen Bedürfnisse der Fahrgäste, z. B. langsame Fortbewegung, berücksichtigen. Es ist eine eigenständige Erkennung von Bedürfnissen (z. B. Gewalterkennung, Gestenerkennung, Rampenbedarf, medizinischer Bedarf) herzustellen.
- Bei allen Komponenten muss eine Berücksichtigung des Handlings aller Funktionen für Alle (z. B. Auffindbarkeit Notbremse) gewährleistet werden.

Weiteres:

- Es bedarf einer eindeutigen Kommunikation, was das Fahrzeug hinsichtlich der Mitnahme von Gegenständen und Personen leisten kann (z. B. gewichtsbedingter Ausschluss elektrischer Rollstühle), dabei erscheint eine Trennung der Angaben für Menschen mit Sehbehinderung und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen sinnvoll.
- Es ist zu beachten, dass Menschen mit Sehbehinderung nicht grundsätzlich alles Anfassen wollen müssen.
- Es bestehen zusätzliche Informationsbedürfnisse in Mehrsprachigkeit u. a. beim Informations- und Notrufsystem, die es zu berücksichtigen gilt.
- Es sind Verhaltensrichtlinien für Alle für Notfallsituationen, Allgemeine Mitfahrt und Spielregeln, wer zuerst und wer zuletzt und was zu tun ist, zu erstellen.
- Es muss ein System geschaffen werden, dass Zutrittsberechtigungen (inkl. Fahrausweis) und den Umgang mit Minderjährigen sowie Überbelegung regelt.
- Es erscheinen Statusprüfungen wie z. B. Anschnallstatus und Sitzbelegung notwendig.
- Die Hörbarkeit des Fahrzeuges ist sicherzustellen – Stichwort „Acoustic Vehicle Alert System“ (AVAS).

Im Workshop am 30.03.2021 wurde zu voranstehenden Punkten ergänzt:

- Eine leichte Erkenn- und Auffindbarkeit der Abfahrtsposition des Minibusses ist notwendig.
- Die Identifizierung der jeweiligen Bedürfnisse der mitfahrenden Person (Notwendigkeit der Rampe oder Blindenakustik) sowie automatische Reaktionen (z. B. Auslösen eines Notrufes aufgrund von Sprachbefehlen oder Ereignissen im Fahrzeug) ist zu gewährleisten.

- Die Notwendigkeit einer Sabotageüberwachung ist zu prüfen.

In dem Workshop am 24.08.2020 werden Ideen skizziert, wie ein barrierefreier Umbau von Haltestellen *für den Versuchsträger* gelingen kann. Die Bestandteile werden nachfolgend gelistet (Reihenfolge stellt keine Rangfolge dar):

- Eine Beleuchtung an Haltestellen ist herzustellen.
- Nach Möglichkeit soll das Fahrzeug Gefälle (hohe Längs- und/oder Querneigung) für den Ein- und Ausstiegsvorgang ausgleichen können.
- Außerhalb des Fahrzeuges ist eine ebene Fläche bei geringer Neigung herzustellen.
- Verschiedene Flächen sind klar abzugrenzen (kontrastreich und eindeutig taktil).
- Ein Geländer kann optional je nach Situation und Differenzhöhen berücksichtigt werden, als Führung an einer Seite hilfreich bei einer geneigten Rampe zum Einstiegsort.
- Es ist immer der weitere Weg zwischen Haltestelle und Ziel- bzw. Startort mitzudenken.
- Ein Aushang mit Informationen ist notwendig.
- Es ist eine Sprachkommunikation nach außen zu gewährleisten (vom Fahrzeug aus oder durch Haltestelle).
- Es sind akustische Signale vom Fahrzeug für verschiedene Vorgänge notwendig (Tür öffnen, Rampen ein-/ausfahren ...).
- Es erscheint kein Fahrkartenautomat notwendig, vielmehr ist ein automatisiertes Buchungssystem zu konkretem Fahrzeug unter Berücksichtigung der Fahrtbedürfnisse anzustreben.
- Für Haltepunkte ohne erhöhten Seitenraum, wie am Postverteilzentrum oder Kirchplatz ist ein Podest erstrebenswert (zum Verzicht auf automatische Rampe).
- Ein Haltestellendach erscheint bei geringer Frequenz (abhängig vom Umfeld) verzichtbar.
- Bei der Position von Mast und Höhe des Aushangs sind die Vorgaben zu beachten.
- Die grundsätzliche Auffindbarkeit der Haltestelle und Fahrzeugposition ist zu gewährleisten.

Es wird über Fokusgruppenworkshops versucht, die Vorgaben der ExpertInnen zu verifizieren anhand der tatsächlichen Erlebnisse von Menschen mit Mobilitätseinschränkungen, Sehbehinderung oder kognitiven Einschränkungen.

In den gemäß Tabelle 10-6 durchgeführten Fokusgruppenworkshops wurde der Versuchsträger analysiert und nach Verbesserungsvorschlägen gesucht.

Nachfolgend dargestellte Eindrücke zum Fahrerlebnis mit dem Versuchsträger wurden benannt. Es ist eine Zuordnung zu den jeweiligen Einschränkungen gemäß Nennung der Beteiligten angegeben (M = Mobilität / S = Sicht / K = Kognitivität).

- Die Bremsbeschleunigung ist zu hoch und erfolgt zu plötzlich (M / S / K).
- Es gibt zu wenig Bedien- und Notknöpfe, diese sind schlecht erkenn- und erreichbar sowie irritierend gestaltet (teils fehlerhafte Brailleschrift) (M / S / K).
- Der Haltestellenaushang ist zu kontrastarm und nicht barrierefrei (M / S).
- Es gibt zu wenige oder schlecht positionierte Handgriffe (M / S).
- Die Fahrt ist zu wackelig (M / S).
- Eine fahrzeuggesteuernde Person ist wichtig (M / S).
- Es ist die individuell benötigte Zeit zum Ein- /Aussteigen zu berücksichtigen (M / S).
- Eine Blickrichtung in Fahrtrichtung ist grundsätzlich angenehmer (M / K).
- Es existieren zu wenig Kontraste in der Gestaltung und eine zu schwache Beleuchtung im Ein- und Ausstiegsbereich (M / S).
- Die Qualität der Haltestellenansagen ist mangelhaft (undeutlich oder nicht informativ) (M / S).
- Die Rampe ist zu schmal und an verschiedenen Haltestellen zu steil, die verbliebenen Spalten und Türen stellen ein Sicherheitsrisiko dar (M / S).
- Die Haltestellen sind zu kontrastarm ausgebildet (M / S).
- Kopfsteinpflaster ist grundsätzlich eine Hürde (M / S).
- Der Haltestellenaushang ist zu klein gestaltet und enthält zu wenig Informationen (K).
- Die Rampe ist nicht begreifbar und stellt beim Einstieg ein Hindernis dar (S).
- Eine eigenständige Sicherung von Rollstühlen und Gegenständen ist nicht möglich (M).
- Die Sicherheitsgurte sind schlecht zu schließen (S).
- Die Sitzplatzbelegung ist nicht eindeutig (S).
- Das Fahrzeuginnenraumdisplay hat eine ungünstige Position und ist nicht barrierefrei gestaltet (M).
- Der Innenraum ist informationsüberladen (K).
- Das Fahrzeug ist zu leise (S).
- Der Einstieg ist schwer aufzufinden (S).
- Die vorhandene Akustik ist irritierend (S).
- Das Fahrzeug soll die aktuellen Bedürfnisse des Wartenden erkennen (S).
- Die Spaltmaße sind zu groß (S).
- Die Spiegel im Innenraum vermitteln subjektiv ein Sicherheitsgefühl für den Fahrgast (S).
- Die eingesetzten Schwenktüren und Schließsensorik an Tür und Ausfahrtsensorik der Rampe sind problematisch (S).
- Die elektrisch angetriebene Rampe zeigt im Betrieb keine hinreichende Verlässlichkeit (M).

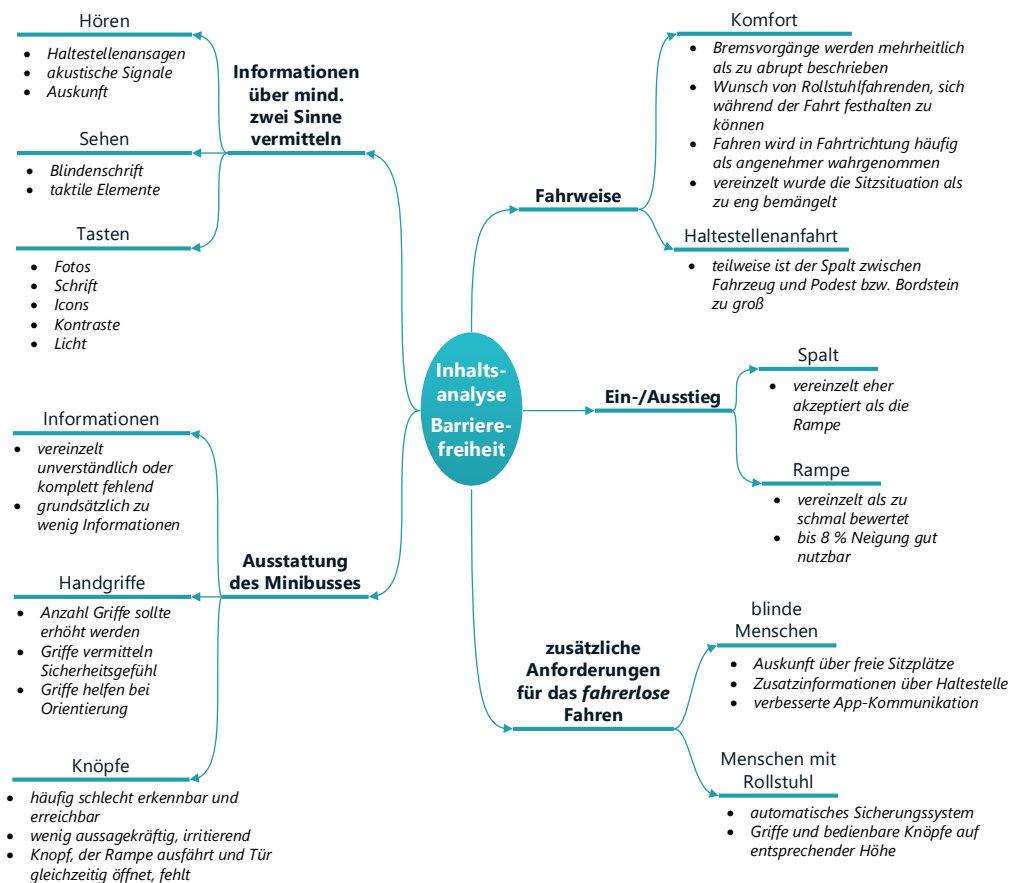


Abbildung 10-12: Bedürfnisse und Hinweise der Menschen mit Behinderung zur Barrierefreiheit des Versuchsträgers (eigene Darstellung auf Grundlage der Auswertung der Workshops)

Analyse in der Fahrgastbefragung

Bei der Fahrgastbefragung wurden unter „Haben Sie noch weitere Anmerkungen oder Mitteilungen an das Team TaBuLa“ Angaben getätigt, die sich mit Aussagen aus den Workshops decken, wie der Wunsch nach mehr Zeitangaben und Informationsmanagement sowie die Forderung eines anderen Bremsbeschleunigungsprofil. Abbildung 10-13 stellt die weiteren Einschätzungen der Fahrgastbefragung insbesondere zum Informationsbedürfnis und der Unterstützung der Rampe dar. Hinsichtlich des Alters sind keine signifikanten Unterschiede in den Aussagen erkennbar. Bei der Nutzungshäufigkeit des ÖPNV ist bei den Befragten erkennbar, dass die regelmäßig ÖPNV-Nutzenden geringfügig weniger Informationen sowie menschlicher und technischer Unterstützung bedürfen.

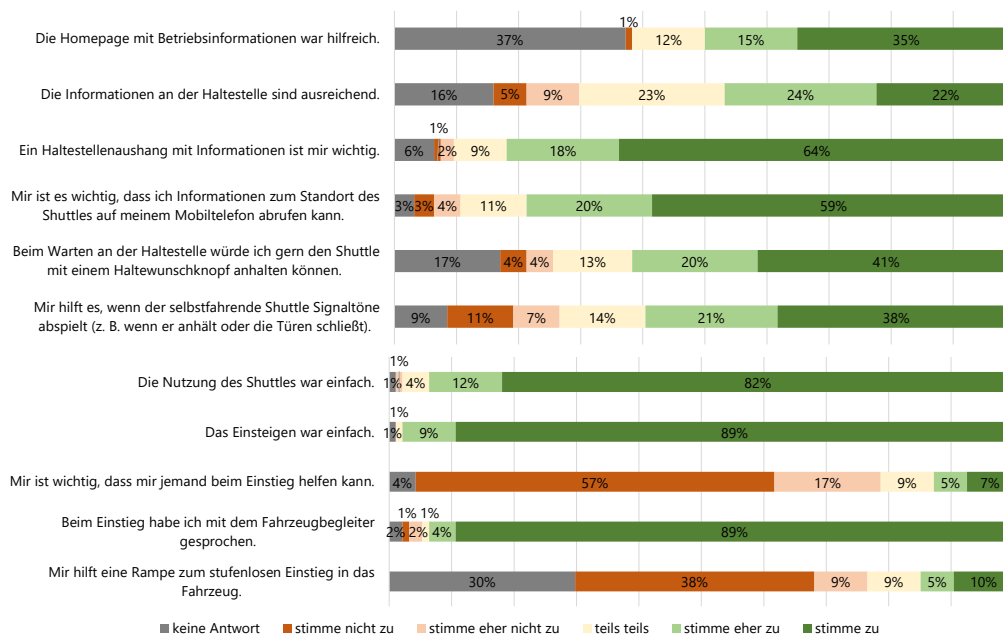


Abbildung 10-13: Hinweise der an der Umfrage teilnehmenden Fahrgäste des Versuchsträgers, N = 94 (eigene Darstellung)

In der Befragung der Fahrzeugbegleitenden, ob eine Haltestelle für den Versuchsträger eine andere Ausstattung benötigt als eine konventionelle Haltestelle, erwähnten vier von neun Fahrzeugbegleitenden die Notwendigkeit der Barrierefreiheit im Übergang zwischen Haltepunkt und Fahrzeug. Ein Fahrzeugbegleiter deutete die Notwendigkeit zusätzlicher Sprach- oder Tonausgaben hin für Türöffnungs- und Schließvorgänge sowie Anweisungen zum Sitzen.

Vor dem Bau eines Podestes an der Haltestelle Kirchplatz ist anhand der Videoauswertungen folgendes festzustellen: 10 % der Aussteigenden im Beobachtungszeitraum führen Gehhilfen, Rollatoren, Rollstühle mit und waren beim Ausstieg auf menschliche Hilfe und/oder die Rampe angewiesen (n = 5). Weitere 25 % (n = 12) benötigten eine relevant längere Ausstiegsdauer als die 31 Aussteigenden ohne Einschränkungen. Beim Einstieg nutzten 5 % technische oder menschliche Hilfsmittel (n = 3) und 33 % (n = 21) benötigten ein längeres Zeitfenster zum Einstieg. Die Auswertung an einer anderen Haltestelle am Lösch- und Ladeplatz liefert aufgrund zu geringer Fahrgastfrequenz im Erhebungszeitraum (N = 9) keine verwertbaren Daten.

Auf Basis der Erkenntnisse aus den ersten Fokusgruppen- und ExpertInnenworkshops werden in Zusammenarbeit mit RTB GmbH & Co. KG mehrere Umbauten am Versuchsträger vorgenommen. Wichtiges Element sind Bluetooth-Module in den Türbereichen, die folgende funktionale Anforderungen erfüllen:

- Ansagen zu Haltestellen und anderen wichtigen Punkten während der Fahrt
- Akustische Ausgaben bei öffnender oder schließender sowie geöffneter Fahrzeugtür zum verbesserten Auffinden des Fahrzeuges
- Aussenden einer Fahrzeugkennung zur Identifizierung des Fahrzeuges (inkl. Zielangabe) via öffentlich zugänglicher App LOC.id

Verkehrssituationsanalyse für Ein- und Ausstiegsvorgänge

Umbauten der Versuchsträger auf Basis der Ergebnisse erster Workshops

- Entwickeln der Funktionalitäten in der App LOC.id zur Erkennung des Fahrzeuges inkl. Status und Vorbereitung der Funktionsanforderung vom Mobiltelefon: Nothalt, Halt-Anforderung, Türöffnung und Rampenanforderung. Ferner Aktivieren der Blindenakustik, sobald ein entsprechendes Endgerät mit dieser Anforderung sich dem Fahrzeug nähert.

Es werden zudem USB-Lademöglichkeiten nachgerüstet. Weitere Umbauten (z. B. Anordnung von Tastern etc.) konnten technisch nicht realisiert werden.

Umbauten der Haltestellen auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse

Zuerst werden Messungen zur Fahrgenauigkeit vorgenommen. Die Ergebnisse sind als Abbildung 10-14 und Abbildung 10-15 aufbereitet. Sofern sich keine Hindernisse im direkten Fahrweg zur Haltestelle befinden und keine Bremsung erforderlich wird, die das Fahrzeug vom Regelfahrweg ablenkt, ergibt sich eine Standardabweichung von 0,87 cm im Abstand zum Bord und 1,04 cm in der Fahrachse (vgl. Abbildung 10-14). Bei einer simulierten Notbremsung 3 m vor der Haltestelle entstehen anstelle von 2 bis 3 cm maximale Abweichungen von bis zu 10 cm von der Regelposition.

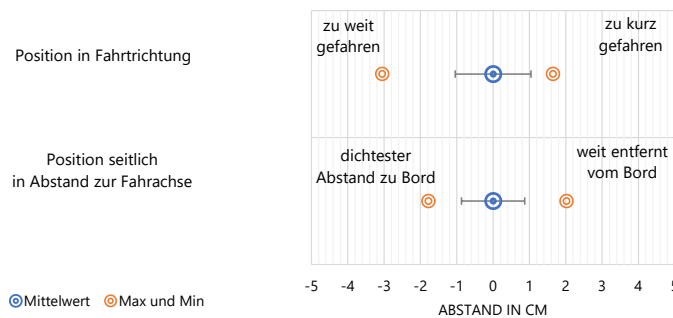


Abbildung 10-14: Abstände zum Mittelwert ohne Störungen im Fahrweg, N = 38 (eigene Darstellung)

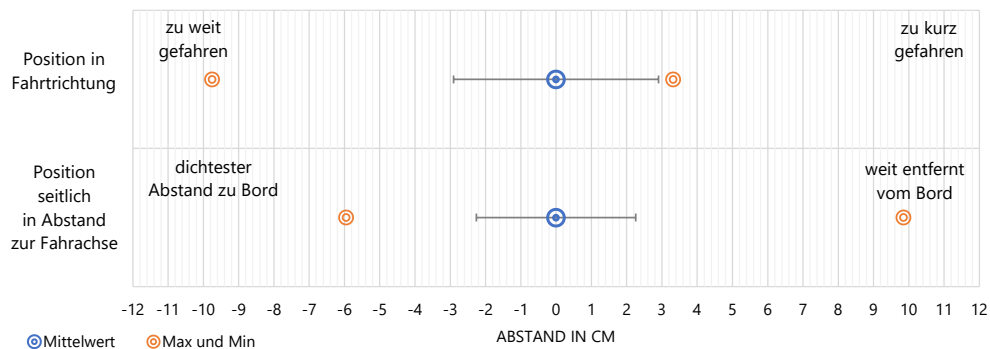


Abbildung 10-15: Abstände zum Regelhaltepunkt/-fahrweg (mit einer ausgelösten Notbremsung drei Meter vor dem Haltepunkt in ca. 28 % der Fahrten), N = 56 / 58 (eigene Darstellung)

Der Versuchsaufbau mit dem probeweise Aufstellen von Kisten direkt neben dem Fahrweg funktioniert nicht, da diese Kisten ohne in der digitalen Karte im Versuchsträger hinterlegt zu sein – trotz Unbeweglichkeit – als Hindernisse erkannt werden und der Versuchsträger sich diesen nicht annähert. Für einen solchen Versuchsaufbau wäre bei

jeder Änderung eine Überarbeitung der digitalen Karte notwendig oder ein „toter Winkel“ im Sensorfeld anzulegen, worauf aufgrund von Sicherheitsaspekten und Aufwand verzichtet wird.

Aufgrund der Fahrgast-Bodenhöhe des Fahrzeuges mit 32 cm (bzw. 27,5 cm nach einseitigem Kneeling) ergibt sich bei einer 110 cm langen Rampe und einer maximalen Rampensteigung von 10 % eine für eine Barrierefreiheit notwendige Seitenraumhöhe von ca. 22 cm (bzw. 17,5 cm im Kneeling). Um die elektrische ausfahrbare Rampe des Versuchsträgers nutzen zu können, ist gemäß Messungen eine maximale Bordhöhe von 16 bis 22 cm möglich (je nach Abstand des Fahrzeuges vom erhöhten Seitenraum). Bei höherer Seitenraumhöhe lässt sich die unter dem Fahrzeugboden montierte Rampe nicht ausfahren. Aus diesem Grund werden die verschiedenen temporären Podeste in einer Höhe von 15 cm hergestellt, die ein Ausfahren der Rampe in jedem Abstand zum Fahrzeug erlauben. Der dauerhafte Ausbau einer Haltestelle erfolgt in einer Höhe von 18 cm (maximale Höhe im Falle eines Überstreichens durch das Fahrzeug). Tabelle 10-7 zeigt die gewählten Ausbauvarianten an den verschiedenen Haltestellen.

Tabelle 10-7: Haltestellen mit Ausbaustandard bzw. Ausbauvarianten im Testfeld (eigene Darstellung)

	bestehende Haltestelle mit Hochbordstein (< 12 cm Höhe)	Haltestelle ohne Umbauten (Fläche ohne Bord mit Haltestellenmast)	Bestehende umgebaute Haltestelle (erhöhtes Bord, taktile Elemente ...)	Minimaler bestandsorientierter Umbau	Umbau mit Betonstein	Umbau mit Holz	Umbau mit Kunststoff	Umbau mit Aluminium	Ergänzung um digitales Ansaugesystem	keine Umgestaltung
H01 ZOB	X								X	
H02 Kleiner Sandberg			X							X
H03 Lösch- und Ladeplatz					X					
H04 Heinrich-Osterwold-H.		X								X
H05 Fährtrappe				X						
H06 Kirchplatz						X			X	
H07 Hohler Weg (Mitte)	X									X
H08 Friedrichsbrücke (Schloss)		X								X
H09 Haus der Begegnung	X									X
H10 Fürstengarten	X									X
H11 Postverteilzentrum							X			
H12 Betriebshof⁵⁸								X		

⁵⁸ Ausführung als mobiler Podest für temporäre Bedarfs- und Ersatzhaltestellen

Fokusgruppen- workshops zum Versuchsträger+

Die Evaluation der vorgenommenen Umbauten erfolgt in der weiteren Ausarbeitung.

Die Haltestellenaushänge werden neu informativ mit einem festen Taktfahrplan und Pufferzeiten für längere Ein- und Ausstiegsprozesse am Kirchplatz und Lauenburg/ZOB gestaltet, Symbolik ausgebaut und Haltestellen im Internet und an den Aushängen mit Symbolen zur Barrierefreiheit für Mobilitätseingeschränkte gekennzeichnet. Eine negative Funktionalität der Rampe wird auf der Homepage angegeben.

Das Testfeld inkl. des Umbaus von Fahrzeug und Haltestellen wird im Weiteren als Versuchsträger+ bezeichnet.

Nach den umgesetzten Verbesserungen zum Versuchsträger+ konnten erneut aus allen drei Gruppen Betroffene das Fahrzeug – weiterhin unter Anwesenheit eines Fahrzeugbegleitenden – testen. Es ist festzustellen, dass die vorgenommenen Umbauten für Menschen mit Sehbehinderungen und Mobilitätseinschränkungen die eigenständige Nutzung vereinfachten.

Das Fahrzeug konnte von Menschen mit Sehbehinderung durch die Akustik aufgefunden werden. Die Nutzung der App unterstützte die Beteiligten in ihrer Kommunikation mit dem Fahrzeug positiv. Folgende Hinweise ergaben sich:

- Die Spaltmaße an den Haltepunkten sind zu groß. Anstelle der Rampe wird ein möglichst spaltfreier Übergang bevorzugt.
- Vereinzelt sind automatische Sprachausgaben nicht hinreichend präzise in ihrer Bedeutung.
- Die in schwarz ausgeführten Anforderungstaster werden trotz zusätzlicher Kontrastbeleuchtung schlechter bewertet als die (vorherigen) gelben Taster.
- In der App sollen die im Fahrzeug bereitstehenden Fahrzeuginformationen (Verspätungsinformationen, Fahrweginformationen ...) eingespeist werden, was z. B. die Funktionalität des vereinfachten Vorlesens und Wiederholens individuell nach Bedürfnissen der Person ermöglicht.
- Im Einzelfall nicht eindeutig verbaute Elemente zur Führung der Menschen mit Sehbehinderung (von Monteuren vertauschte Bauteile oder bei Richtungsanzeige unpräzise ausgerichtet).
- Unzureichende Verlässlichkeit der Bluetooth-Kommunikation, da teilweise nach einiger Nutzungsdauer das jeweilige Gerät nicht mehr erkannt wird und Schwierigkeiten mit mehreren aktiven Geräten parallel auftraten.

Insgesamt wurde einstimmig festgestellt, dass der Versuchsträger+ für Menschen mit Sehbehinderungen *nicht* ohne fahrzeugbegleitende Person nutzbar ist.

Die Personen im Rollstuhl und der Beauftragte für Menschen mit Behinderung bewerten die Ein- und Ausstiegssituation an den Haltestellen H01, H03, H06, H09, H10, H11, H12 als barrierefrei nutzbar, sofern die Aktivierung der Rampe über leicht erreichbare Knöpfe o. ä. ermöglicht wird. Die Steigung der Versuchsträgerrampe von teils mehr als zehn Prozent und die schmale Breite der Rampe wird in der Nutzbarkeit für Alle kritisch bewertet, konnte von den Beteiligten aber problemlos bewältigt werden. Die anderen Haltestellen sind nicht für Menschen mit Kinderwagen, Rollatoren und Rollstühlen

geeignet. Für Menschen mit anderen Gehhilfen (z. B. Krücken, Gehstöcke) sollte auf eine Rampe verzichtet werden und ein geringes Stufen- und Spaltmaß angestrebt werden.

In Vorstellung des Zukunftsszenarios ohne fahrzeugbegleitende Person im Fahrzeug werden weitere anzustrebende Verbesserungen von den Menschen mit Behinderung benannt:

- Grundsätzlich sind bestehende Regelwerke und Normen umzusetzen unter Berücksichtigung des Zwei-Sinne-Prinzips.
- Es sind mehr Informationen im und vom Fahrzeug bereitzustellen:
 - Bereitstellung von Statusmeldungen und eines Informationssystems für Vorkommnisse (Erläuterungssystem).
 - Informationsbereitstellung über aktuell verfügbare freie Sitzplätze und Raum für Kinderwagen, Rollstühle, Fahrräder etc. mit Statusinformationssystem über Funktionsfähigkeit u. a. von barrierefreien Anlagen (z. B. Rampe, Fahrstuhl)
 - Leicht verständliche analog und digital aufbereitete Informationen zu Sicherheitseinrichtungen und Verhalten im Gefahrenfalle.
 - Anzeige zur aktuell prognostizierten Abfahrt und Ankunft im Fahrzeug und mobilen Endgeräten.
 - Signalisierung vom Fahrzeug einer positiven Erkennung eines wartenden Fahrgastes bzw. eines anstehenden Halts zum Einstieg im Zulauf zum Haltepunkt („digitaler Blickkontakt“).
- Gewährleistung der Fahrgastbetreuung in Sondersituationen inner- und außerhalb des Fahrzeuges.
- Optimale Anpassung der Funktionseinrichtungen an die Bedürfnisse:
 - Die Anzahl und Erreichbarkeit der Bedienelemente erhöhen bzw. optimieren.
 - Notruf- und Informationssystem sind von jedem Platz und per Mobiltelefon erreichbar zu gestalten.
 - Die Ansteuerbarkeit und Überwachung des Türöffnens und -schließens sowie Rampe ein- und ausfahren ist zu gewährleisten.
 - Der Notstopp ist für Alle an allen Plätzen im Fahrzeug und Türbereich zu ermöglichen.
- Eine automatische Alarmierung von Verantwortlichen bei Unfällen und Notstopps ist zu gewährleisten.
- Eine automatische Erkennung von Bedürfnissen der Fahrgäste ist herzustellen, dazu gehören u. a.
 - erhöhtes Zeitbedürfnis bei Unsicherheit oder Einschränkungen der Mobilität,
 - besondere Unterstützung bei Seheinschränkungen und
 - besondere Abläufe durch z. B. Kinderwagen, Rollstuhl, Koffer.
- Die Fahrzeugsensorik ist zu erweitern, um
 - eine Ein- und Ausstiegssensorik sowie
 - Anschnall- (falls vorgeschrieben) und Sitzbelegungskontrolle.

Vorschläge von
Menschen mit
Behinderung für
den fahrerlosen
Betrieb
(Zukunfts-
szenario)

- Vollständige Videoüberwachung im Fahrzeug.
- Installationen für eine sichere Mitfahrt für Rollstuhlfahrende zu berücksichtigen (Sicherungssystem/Anlehnplatte), Sitzen mit Blickmöglichkeit in Fahrtrichtung vorteilhaft.
- Prüfung der Notwendigkeit von Systemen zur Zutrittsberechtigung (u. a. für Minderjährige).
- Prüfung der Notwendigkeit eines Check-in/ Check-out Systems o. ä. zum Bezahlen (Verzicht auf Fahrkartenautomaten).
- Die Hinweis- und Warngeräusche sollten parallel unterstützt werden durch Lichtsignale.
- Die Störanfälligkeit von automatischen Rampen ist zu beseitigen bzw. der Ein- und Ausstieg von einem Podest mit minimalem Spalt sollte ermöglicht werden.
- Eine einfache Sprache, Symbolik und auditive Vorlesefunktionen sind zu gewährleisten.
- Eine App-Kompatibilität und Vernetzungsmöglichkeiten sollten bereitgestellt werden.
- Ein Sitzen in Fahrtrichtung ist für Alle zu bevorzugen.
- Das System sollte eine hohe Zuverlässigkeit gewährleisten.
- Eine Internetverfügbarkeit sollte bereitgestellt werden, um u. a. die Funktionalität von der die Fahrt unterstützenden Apps zu gewährleisten.
- Es sollten Schulungen, Testfahrten und Mobilitätstrainings angeboten werden.

**Zusätzliche
Vorschläge von
Expert-
Innen mit
besonderen
Kenntnissen zu
Menschen mit
Behinderung**

Die ExpertInnen für Menschen mit Behinderung ergänzen die vorangegangenen Hinweise von Menschen mit Behinderung um weitere Punkte:

- Die eigenständige automatisierte Erkennung von Bedürfnissen (u. a. Gewalterkennung, Rampenbedarf, medizinischer Notfall) ist für die fahrerlose Fahrt notwendig z. B. über akustische und visuelle Sensoren.
- Die zusätzlichen Informationsbedürfnisse sind in Mehrsprachigkeit (u. a. beim Informations- und Notrufsystem) bereitzustellen.
- Es sind Verhaltensrichtlinien für Alle in Notfallsituationen bereitzustellen.
- Es bedarf eines schnellen und leicht verständlichen Auskunftssystems, um welches Fahrzeug mit welchen Fahrtzielen es sich an einer Haltestelle handelt.
- Die fahrerlosen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile der Fahrzeuge sind für die Fahrgäste hinsichtlich Sicherheit und Komfort zu optimieren.
- Es sind akustische und visuelle Informationssysteme aus dem Fahrzeug nach außen notwendig.
- Die Auffindbarkeit der Abfahrposition ist zu verbessern.
- Entwickelte fahrerlose Systeme sollten eine hohe Einheitlichkeit aufweisen.
- Ein Ausblick der Fahrgäste aus dem Fahrzeug heraus, insbesondere in Fahrtrichtung, ist für das Sicherheitsempfinden und den Komfort zu gewährleisten.

Im Kapitel 6.6.1 werden die Analyseergebnisse aufgenommen und in die Bewertung einbezogen.

10.5.2.2 Komfort

Für die Bewertung des Komforts des bestehenden ÖPNV liegen keine Erhebungsdaten vor.

Jeweils ca. 46 % ($n = 42 / n = 43$) der an der Umfrage nach der Mitfahrt Teilnehmenden bewerten das allgemeine Fahrerlebnis mit dem Versuchsträger als gut oder sehr gut (siehe Abbildung 10-16). An der Umfrage nimmt keine Person teil, die das Fahrerlebnis als schlecht oder eher schlecht bewertet. Von den Teilnehmenden haben sich 68,8 % ($n = 64$) während der Fahrt eher wohl- oder wohlgefühlt *und* bewerten das Fahrgefühl als angenehm oder eher angenehm.

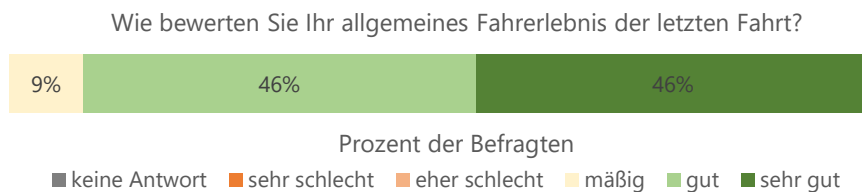


Abbildung 10-16: Bewertung allgemeines Fahrerlebnis im Versuchsträger aus „Smiley-Umfrage“ zu Beginn der Fahrgastbefragung, N = 94 (eigene Darstellung)

Die Abbildung 10-17 zeigt die Antworten der Teilnehmenden mit dem Mittelwert sowie unterteilt nach Geschlecht, Besitz einer Monatskarte, dem Vorkommen eines besonderen Ereignisses während der Fahrt (z. B. Gefahrenbremsung) und der Kreuzung der jeweiligen Frage mit der Frage: „Ich bin der Meinung, dass selbstfahrende Shuttles die Zukunft des Nahverkehrs sind“. Ein Großteil der Fahrgäste bewertet die vergangene Fahrt als positiv, hinsichtlich der besonderen Ereignisse während der Fahrt und in Überlagerung mit der Einschätzung zur allgemeinen Zukunftsfähigkeit der Technik zeigen sich signifikante Unterschiede in der Zustimmung.

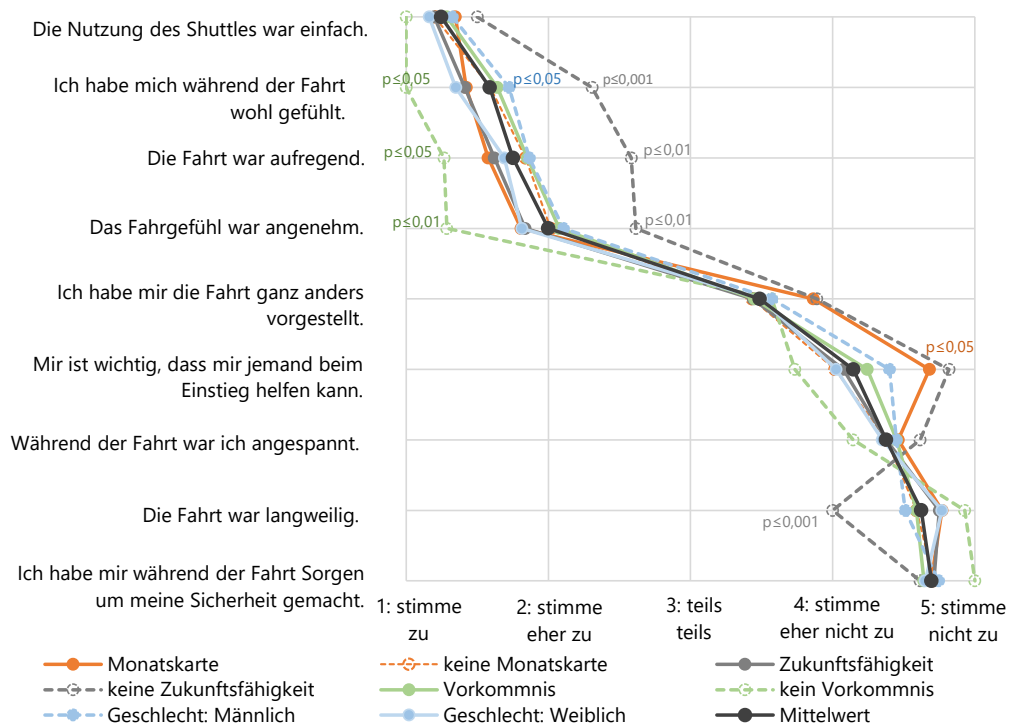


Abbildung 10-17: Mittelwerte und Einflussfaktoren des Fahrerlebnisses und Fahrtenkomfort, N = 84 - 93 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021))

10.5.3 Handhabbarkeit

10.5.3.1 Handhabbarkeit und einfache Verständlichkeit

Zum bestehenden ÖPNV liegen keine eigenen Erhebungsdaten zur Handhabbar- und Verständlichkeit vor. Die vorgenommene Videoanalyse des Standardlinienbusses und Versuchsträgers an den Haltestellen Lösch- und Ladeplatz sowie Kirchplatz ließ sich nicht auswerten, da die Stichprobe im Beobachtungszeitraum zu klein ist und es zwischen Fahrzeugbegleitenden und Fahrgästen zumeist schnell zu Gesprächskontakt gekommen ist: 95,7 % der an der Fahrgastbefragung Teilnehmenden stimmten zu oder eher zu, dass sie beim Einstieg in den Versuchsträger mit dem Fahrzeugbegleitenden gesprochen haben und das Gefühl eines fahrerlosen Fahrzeuges genommen wurde. Mangels Tonaufnahme sind die zwischen den Beteiligten entstandenen Vorgänge auf den Videos zur anfänglichen Handhabbarkeit nicht bewertbar.

Im Zuge der Interviews der Fahrzeugbegleitenden wurden diese gefragt, wo die größten Verständnisprobleme zwischen Versuchsträger und Fahrgästen bestehen. Sechs der neun befragten Fahrzeugbegleitenden sprechen die besondere Situation der Erschreckt- oder Verwirrtheit der Fahrgäste bei abrupten Bremsungen an. Fünf Fahrzeugbegleitende weisen auf die Unsicherheiten der Fahrgäste im Umgang mit Knöpfen und insbesondere der fehlenden intuitiven und fehlenden selbstständigen Bedien-

barkeit der Anschnallgurte hin. Ebenso fünf Fahrzeugbegleitende gaben an, dass Fahrgäste größere Schwierigkeiten beim Ein- und Ausstieg haben, dabei bezogen sich einige auf die Mängel im Übergang zwischen Infrastruktur und Fahrzeug (großer Höhenunterschied oder Spalt).

Die Fahrgastbefragung lässt eine weitere Analyse zu: 94 % der Teilnehmenden gaben an, dass die Nutzung des Minibusses einfach oder eher einfach war. 98 % gaben dies zum Einsteigevorgang an. Die zwei Personen, denen der Einstiegsvorgang nicht leichtgefallen ist, waren auf einen Rollstuhl/Rollator angewiesen oder empfanden die Einstiegshöhe (an Haltestelle ohne erhöhten Seitenraum) als zu hoch.

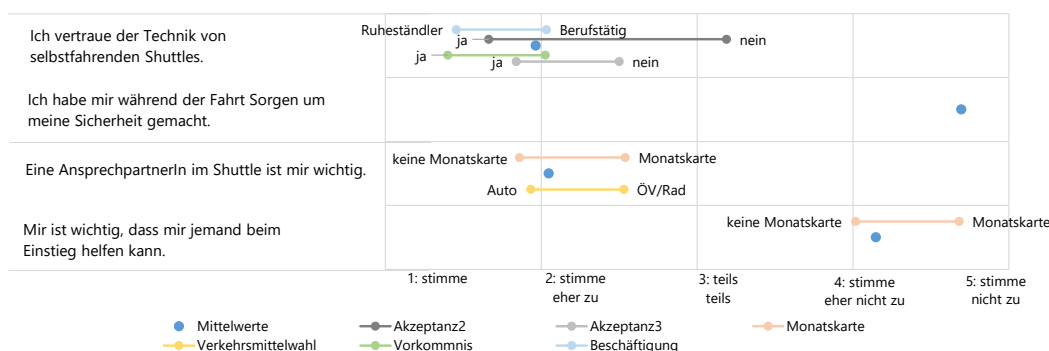


Abbildung 10-18: Mittelwerte und Einflussfaktoren der Nutzungsbewertung, Sicherheit und Ansprechpartner, N = 93, 93, 92, 90 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021))

Bezüglich der Bedürfnisse gaben 65,6 % der Teilnehmenden an, dass es ihnen wichtig oder eher wichtig sei, dass eine anzusprechende Person im Shuttle ist ($n = 61$). Für 27 % der Teilnehmenden gehört es unter die wichtigsten drei Kriterien, dass sich eine fahrgastbegleitende Person im Fahrzeug befindet, wenn ein solch fahrerloses Verkehrsmittel in ihrem eigenen Ort eingesetzt werden würde.

Von den Personen, die angegeben haben, dass es ihnen wichtig oder eher wichtig sei ($n = 16$), dass „mir jemand beim Einstieg helfen kann,“ wünschten sich 93,75 % ($n = 15$) gleichzeitig eine anzusprechende Person im Fahrzeug. Aus dem Alter dieser Personen ergibt sich keine Signifikanz zu Grundgesamtheit der Teilnehmenden ($p_{\text{einseitig}} = 0,4130$).

Die Wünsche der Fahrgäste bezüglich Betriebsinformationen, Haltestelle und des Einstiegs, die Parameter zur Einfachheit des Systems analysieren, werden in Abbildung 10-13 dargestellt. 37,23 % ($n=35$) der Fahrgäste reichen die Informationen an den Haltestellen des Versuchsträgers nicht aus, sie wünschen sich insbesondere genauere Angaben zu Ankunfts- und Abfahrtszeiten ($n = 16$ von $N = 27$ Freitexteingaben). Die Wichtigkeit von Informationen an Haltestelle und auf Mobiltelefon bewerten 82 % bzw. 79 % als wichtig oder eher wichtig.

Aus den mit spezifischen Gruppen durchgeführten Fokusgruppenworkshops mit Menschen mit Behinderung und kognitiven Einschränkungen sind weitere Erkenntnisse zur Verständlichkeit im ÖPNV hervorgegangen (siehe unter Kapitel 10.5.2).

10.5.3.2 Attraktivität / Kundenfreundlichkeit

Im Zuge der Haushaltsbefragung wurden die Einwohnenden in der Stadt Lauenburg/Elbe nach der Zufriedenheit des aktuellen Bus- und Bahnangebotes in Lauenburg befragt. Das Ergebnis in Abbildung 10-9 stellt dar, dass 50 % zufrieden oder sehr zufrieden sind. 35 % der Teilnehmenden sind unzufrieden oder sehr unzufrieden (vgl. Abbildung 10-19). 14 bzw. 15 % der Befragten sind im Besitz einer Monatskarte für den ÖPNV und 9 bzw. 11 % der Befragten nutzen den ÖPNV täglich oder fast täglich. 55 bzw. 43 % der Befragten nutzen täglich oder fast täglich den Pkw als fahrende Person. Das Verkehrsmittelwahlverhalten entspricht im Wesentlichen der Vergleichsgruppe nach Nobis et al. (2019).

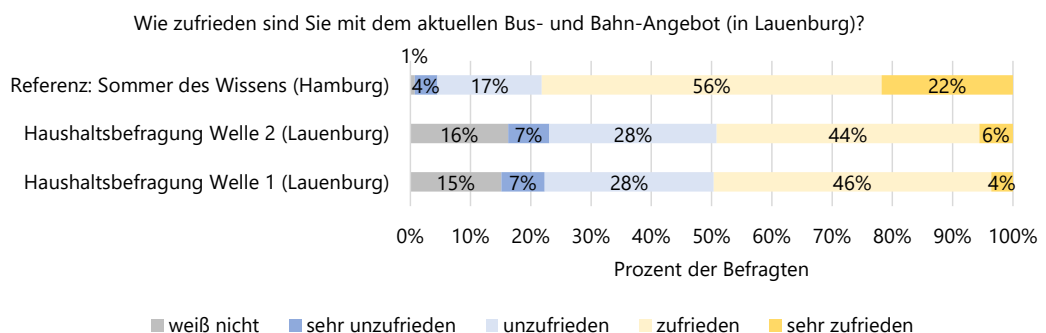


Abbildung 10-19: Antwort auf die Frage zur Zufriedenheit mit Bus und Bahn in Lauenburg/Elbe (Sommer des Wissens: N = 141; Haushaltsbefragung Welle 1: N = 417 / Welle 2: N = 234) (eigene Darstellung)

Bezüglich der Bereitschaft den Versuchsträger zu erproben („Ich kann mir vorstellen, einen selbstfahrenden Shuttle regelmäßig zu nutzen“) sind die Teilnehmenden der Vorab-Haushaltsbefragung mit einem Mittelwert⁵⁹ von 1,6 zustimmend. Nach dem Kennenlernen des Versuchsträgers reduziert sich dieser Mittelwert auf 2,5. Dabei werten die Personen, die bereits mitgefahren sind, den Versuchsträger mit 1,91 (n = 43), die ihn noch erproben wollen mit 2,11 (n = 103) und die Personen, die nie mitgefahren sind und nicht mitfahren wollen mit 3,66 (n = 56). Unter anderem um konkrete Probleme in der Attraktivität zu erfassen, wurde ein Freitextfeld für persönliche Nachteile eingeführt. Von der ablehnenden Gruppe weisen 48,21 % (n = 27) im Freitextfeld auf die Behinderungen und Störungen des Verkehrsflusses hin. Von den anderen Gruppen geben diesen Hinweis 10,90 % (n = 17) der Teilnehmenden. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) dieser Personengruppen zur Grundgesamtheit liegen hinsichtlich Monatskartenbesitz, Autozugriff und Verkehrsmittelwahl nicht vor.

⁵⁹ Bei einer Likert-Skala von 1-4, wovon 1 „stimme zu“ und 4 „stimme nicht zu“ beinhaltet.

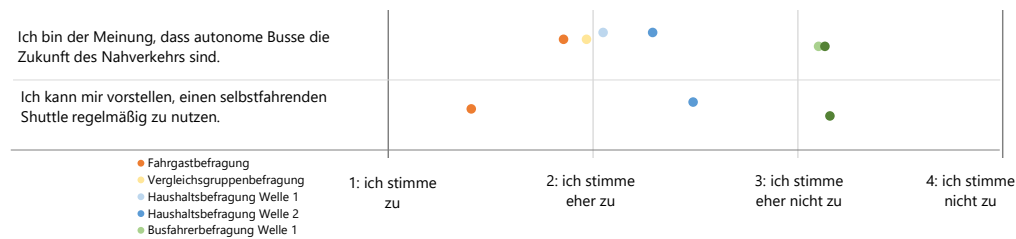


Abbildung 10-20: Bewertung der Attraktivität des Versuchsträgers vor (oben) und während (unten) des Betriebs des Versuchsträgers in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung als Auszug aus Gertz et al., 2021, S. 80)

Bezüglich der Attraktivität eines Verkehrsmittels wurden die Fahrgäste des Versuchsträgers gebeten sechs Kriterien zur Wahl eines Verkehrsmittels in eine Rangfolge der Wichtigkeit zu bringen ($n=225$ Eingaben). Es zeigt sich, dass den Befragten Flexibilität (Mittelwert: 2,5) und Verlässlichkeit (2,8) die wichtigsten Eigenschaften bei der Wahl des Verkehrsmittels sind. Es folgen Kosten (3,6), Schnelligkeit (3,7) und Umweltverträglichkeit (3,8) und Komfort (4,5) (vgl. Gertz et al., 2021, S. 84). Über die verschiedenen durchgeführten Umfragen hinweg (vgl. Abbildung 10-21) zeigt sich hinsichtlich der drei wichtigsten Kriterien eine hohe Erwartungshaltung an fahrerlose Minibusse gegenüber dem bestehenden ÖPNV bei Nutzenden und Nichtnutzenden (ohne fahrerführende Busfahrende Mittelwerte zwischen 1,6 und 2,3).

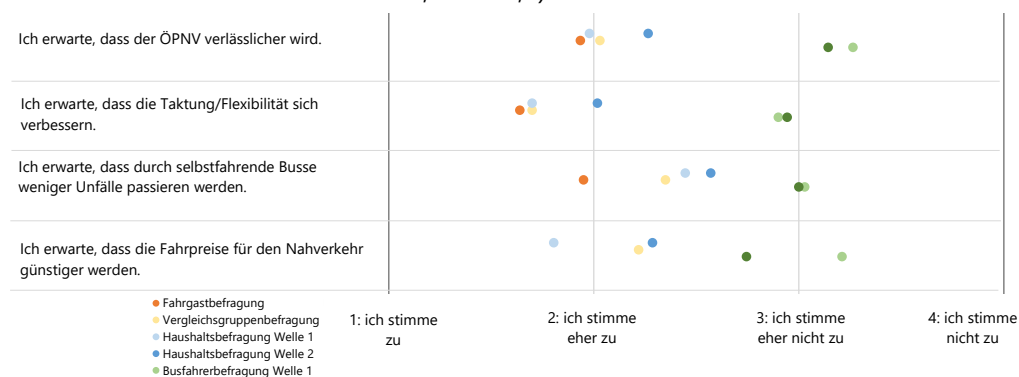


Abbildung 10-21: Erwartungshaltung fahrerloser Minibusse gegenüber dem ÖPNV (eigene Darstellung als Auszug aus Gertz et al., 2021, S. 80)

Wenn Mitgefahrene und an der Fahrgastbefragung Teilnehmende Bedingungen benennen, was notwendig sei, damit sie den Versuchsträger in ihrem Ort annehmen würden, werden vor allem höhere Geschwindigkeiten gefordert (vgl. nachfolgende Abbildung). Ebenso wünschen die Personen sich für eine entsprechende Attraktivität einen festgelegten Fahrplan, eine Fahrzeugbegleitung im Fahrzeug, festgelegte oder flexible Routen (jeweils gleich viele Angaben), Betrieb rund um die Uhr sowie häufigerer und zuverlässigerer Betrieb als der Versuchsträger.

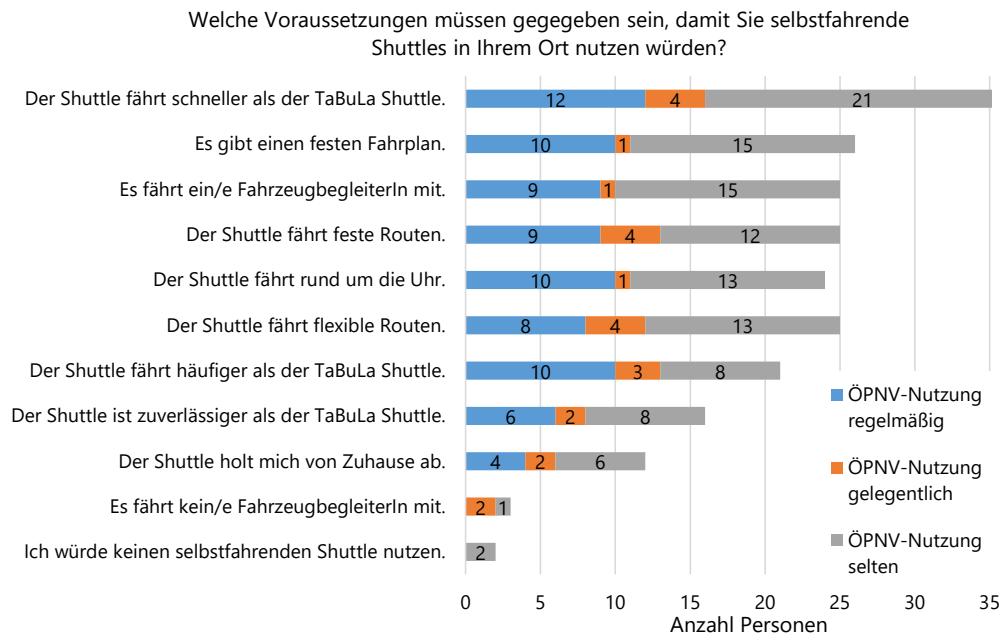


Abbildung 10-22: Voraussetzungen für die Nutzung von selbstfahrenden Shuttles, maximal drei Kreuze möglich, N = 225 Angaben bei 90 Teilnehmenden (eigene Darstellung auf Grundlage der Fahrgastbefragung in Gertz et al. (2021))

In der Befragung beim Sommer des Wissens in Hamburg und bei der Haushaltsbefragung vor Inbetriebnahme wurden von 18 bzw. 19 % der Teilnehmenden ($n = 26$ bzw. 83) unter dem Freitextfeld „Nachteile“ konkrete Einträge zu Sicherheitsbedenken aufgeführt. In der zweiten Haushaltsbefragung nach Inbetriebnahme reduzierten sich Eintragungen zu Sicherheitsbedenken auf 4 % ($n = 9$). Die Erwartungshaltung, dass durch selbstfahrende Busse *weniger* Unfälle passieren, ist bei den Befragten mit Fahrterlebnis im Versuchsträger signifikant höher ($p < 0.001$). (siehe Abbildung 10-29 im nachfolgenden Kapitel 10.5.4)

10.5.4 Sicherheit

10.5.4.1 Verkehrs- und Betriebssicherheit

10.5.4.1.1 Unfalldatenauswertung zu Bussen und Bushaltestellen

Aus dem Unfalldatensatz der Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021) gehen für das Gebiet des Kreises Herzogtum Lauenburg in den Jahren 2016 bis 2020 insgesamt 131 Unfälle hervor mit der Beteiligung von „Kraftomnibus (mehr als 9 Plätze), Reisebus, Linienbus, Schulbus oder Oberleitungsbus (auch mit Anhänger)“, die Anzahl schwankt pro Jahr zwischen 21 und 31 Unfällen. Insgesamt sind 63 Unfälle mit Personenschäden eingetreten.

Tabelle 10-8: Polizeilich erfasste Unfälle im Kreis Herzogtum Lauenburg 2016-2020 (eigene Darstellung auf Grundlage Polizeidirektion Ratzeburg, März 2021; Polizeidirektion Ratzeburg, 9. März 2021; Polizeidirektion Ratzeburg, 6. März 2023)

	Unfälle insg.	Verletzte	Getötete	Unfälle mit Beteiligung Bus und Personenschaden	Anteil an Unfällen	Anzahl Verletzte bei Beteiligung Bus	Anteil an allen Verletzten	Getötete mit Beteiligung Bus
2016	5.338	852	6	10	0,19 %	keine Daten	keine Daten	0
2017	5.424	809	7	12	0,22 %	keine Daten	keine Daten	0
2018	5.448	842	4	7	0,13 %	12	1,43 %	0
2019	5.462	759	7	13	0,24 %	21	2,77 %	0
2020	5.019	766	9	21	0,42 %	25	3,26 %	0

Von den 131 Unfällen stehen 100 Unfalldatensätze mit 52 Verletzten mit Unfallvorgangsbeschreibung zur Auswertung zur Verfügung (verfügbarer Datensatz von 2017 bis 2020). Die Verletzten bei Unfällen unter Beteiligung von Bussen befinden sich zu 50 % im Fahrzeug und zu 50 % außerhalb des Busses. 10 % der Verletzten stellt der Busführende selbst dar. Fahrgäste (im oder außerhalb des Busses auf dem Weg zu oder von diesem) bilden einen Anteil von 46 % an allen Verletzten.

Für alle Unfälle mit Verletzten ist gemäß Unfalldatenaufnahme zu 44 % der Busführende verantwortlich. Bezogen auf die Verletzten *im* Fahrzeug ist zu 29 % der Busführende als Verantwortlicher benannt. Das Ergebnis ist nicht signifikant ($p > 0,05$).

Bei keinem der 131 Unfälle mit Personenschäden sind als Unfallursache Technische Defekte und Mängel angegeben. Zwei Unfälle mit in Summe drei Leichtverletzten werden in Verbindung mit nasser oder gefrorener Fahrbahn gesetzt. 67,3 % der Verletzten wurden innerorts verwundet.

14 Unfälle unter Beteiligung von Bussen können anhand der Eingaben im Fließtext der Unfallaufnahme direkt in Verbindung mit Haltestellen gebracht werden. Es besteht bei der amtlichen Unfallaufnahme kein Kriterium für den Unfallaufnehmenden dieses zu dokumentieren, d. h. wenn am Unfallgeschehen keine Beteiligung eines Kraftomnibusses o. ä. erfolgt ist, lassen sich diese Unfälle im großen Datensatz manuell nicht verlässlich filtern und auswerten. Die Beschreibung des Unfallherganges lässt dabei nicht sicher den Zusammenhang zu, ob eine verletzte Person als Start oder Ziel eine Bushaltestelle

hatte. Aufgrund der in Kapitel 6.1.4 definierten zu untersuchenden Wegekette von Start bis Ziel inkl. Weg zur und von der Haltestelle, werden weitere Daten der Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021) zur Untersuchung hinzugezogen.

In diesen Daten der Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021) befinden sich 40.086 dokumentierte Unfälle, von denen sich 13.387 Unfälle außerhalb der Städte Dresden und Hannover auf Straßen mit einem durchgehenden Fahrstreifen je Richtung ereigneten (entsprechend einem Charakter eines ländlichen Raumes gemäß Kapitel 6.1.3). Die weitere Beteiligung von Taxis, Bussen und der Einfluss von Haltestellen ist in der Tabelle 10-9 dargestellt.

**Tabelle 10-9: Im GIDAS erfasste Unfälle mit Personenschäden
(eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische
Hochschule Hannover, 16. Juli 2021)**

	Erfassungszeitraum	Anzahl erfasste Unfälle	Anteil an allen erfassten Unfällen	Anteil an Unfällen ländlicher Räume	Hinweis
Insgesamt	1999 - 2019	40.086	100,00 %		
in ländlichen Räumen (Definition gemäß Kapitel 6.1.3)	1999 - 2019	13.387	33,40 %	100,00 %	
unter Beteiligung Taxi	1999 - 2019	81	0,20 %	0,61 %	
unter Beteiligung Bus	1999 - 2019	183	0,46 %	1,37 %	
unter Einfluss Bushaltestelle	2005 - 2019	117	≥ 0,29 %	≥ 0,87 %	Bezugszeitraum ist abweichend

Bei keinem der Unfälle mit Personenschäden unter Beteiligung eines Busses sind als Hauptunfallursache Technische Defekte oder Mängel angegeben. Kein Unfall unter Beteiligung eines Busses wird bei der Hauptunfallursache in Verbindung mit dem Zustand der Straße oder Witterungseinflüssen gesetzt.

Außerorts haben sich drei der 117 aufgenommenen Unfälle mit Einfluss einer Bushaltestelle ereignet. Gemäß FGSV (2012) hat sich bei der gezielten Suche nach Gefahren, die von der Verkehrsanlage ausgehen, die Auswertung des Unfalltyps bewährt. Deshalb

werden die Unfalltypen der verbliebenen 114 innerörtlichen Unfälle in ländlichen Räumen unter Einfluss einer Haltestelle dargestellt und den Unfällen unter Beteiligung von Bus, Taxi und der Gesamtheit gegenübergestellt. In Abbildung 10-23 werden die seitens Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021) ermittelten Unfalltypen dargestellt.

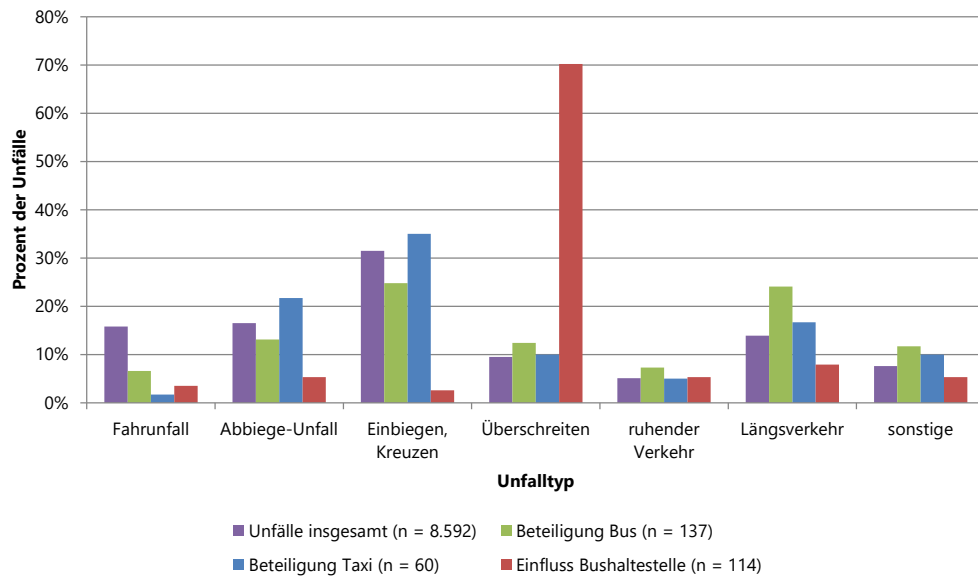


Abbildung 10-23: Darstellung der Unfalltypen mit Personenschaden im GIDAS-Untersuchungsraum außerhalb der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Grundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021))

In der Analyse der Unfalltypen unter Einfluss einer Bushaltestelle wird eine Häufigkeit des Unfalltyps Überschreiten festgestellt (vgl. Abbildung 10-23), woraufhin alle Überschreiten-Unfälle einzeln analysiert werden. Dafür stehen Unfallaufnahmen in der Anzahl $n = 76$ von insgesamt $N = 80$ Überschreiten-Unfällen bereit. Verschiedene Analysen sind Abbildung 10-24, Abbildung 10-25 und Abbildung 10-26 zu entnehmen.

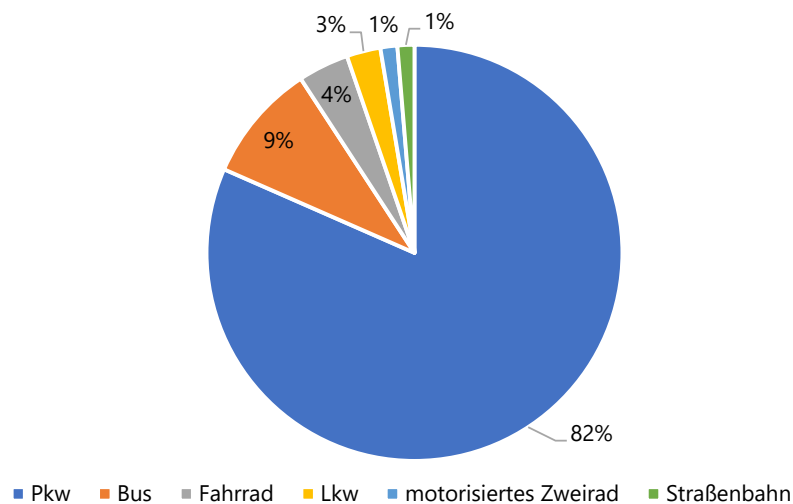


Abbildung 10-24: Analyse der Überschreiten-Unfälle mit Personenschaden (N = 76) nach zweitem Beteiligten neben dem Zufußgehenden im GIDAS-Untersuchungsraum außerhalb der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021))

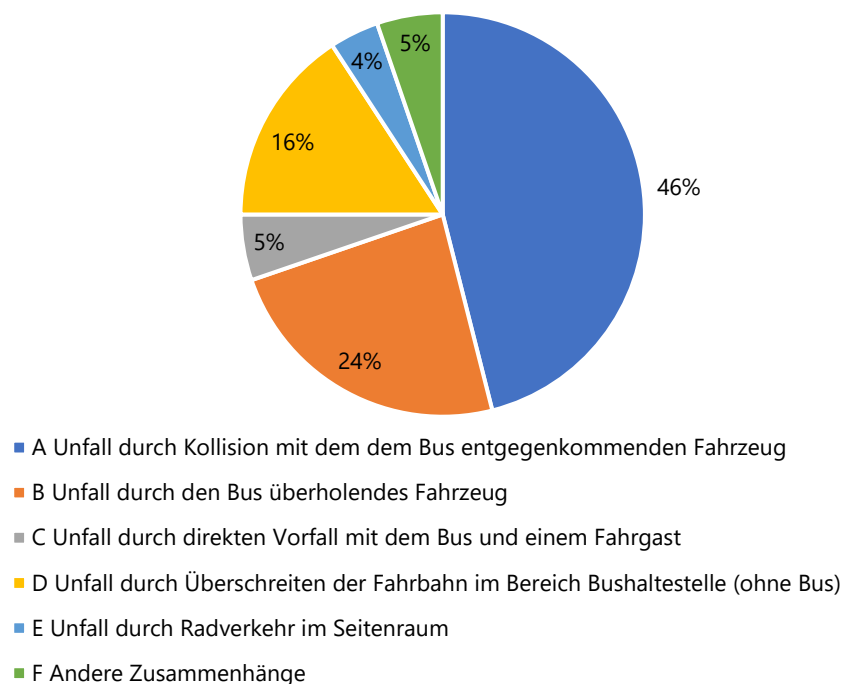


Abbildung 10-25: Analyse der Überschreiten-Unfälle mit Personenschaden (N = 76) nach individuellen Kriterien im GIDAS-Untersuchungsraum außerhalb der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021))

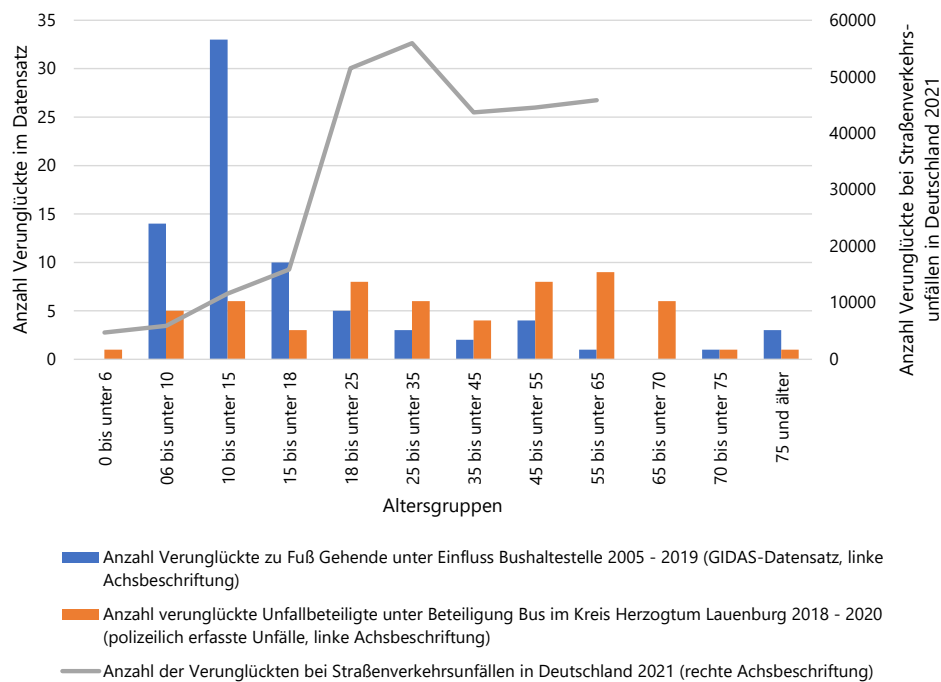


Abbildung 10-26: Anzahl der Verunglückten (Verletzte und Getötete) nach Altersgruppen der Überschreiten-Unfälle aus dem GIDAS-Untersuchungsraum außerhalb der Großstädte Dresden und Hamburg und dem der Verletzten unter Beteiligung eines Busses im Kreis Herzogtum Lauenburg im Vergleich zur Grundgesamtheit in Deutschland 2021 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021), Polizeidirektion Ratzeburg, 6. März 2023, Statistisches Bundesamt, Juli 2022)

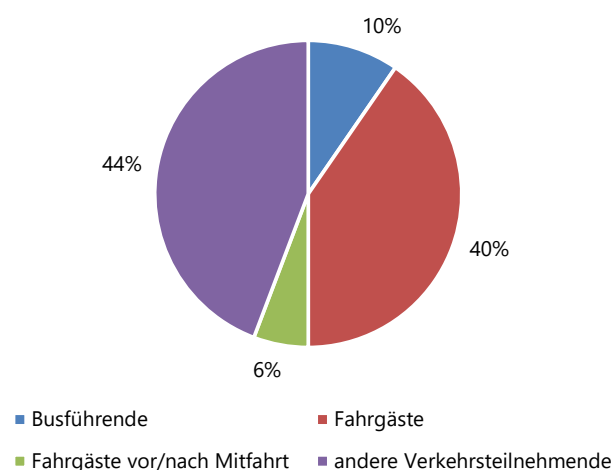


Abbildung 10-27: Verletzte nach Betroffenen bei Unfällen mit Busbeteiligung im Kreis Herzogtum Lauenburg N = 52 Verletzte (eigene Darstellung auf Datengrundlage Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021))

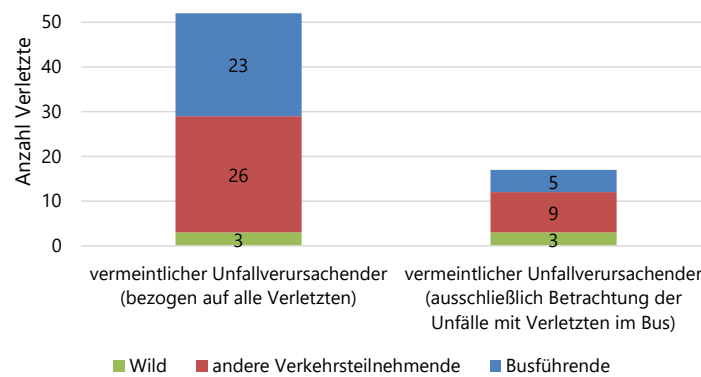


Abbildung 10-28: Vermeintliche Unfallverursachende bezogen auf alle Verletzten (links) / auf die Verletzten im Fahrzeug (rechts) im Kreis Herzogtum Lauenburg gemäß Unfallaufnahme (eigene Darstellung auf Datengrundlage Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021))

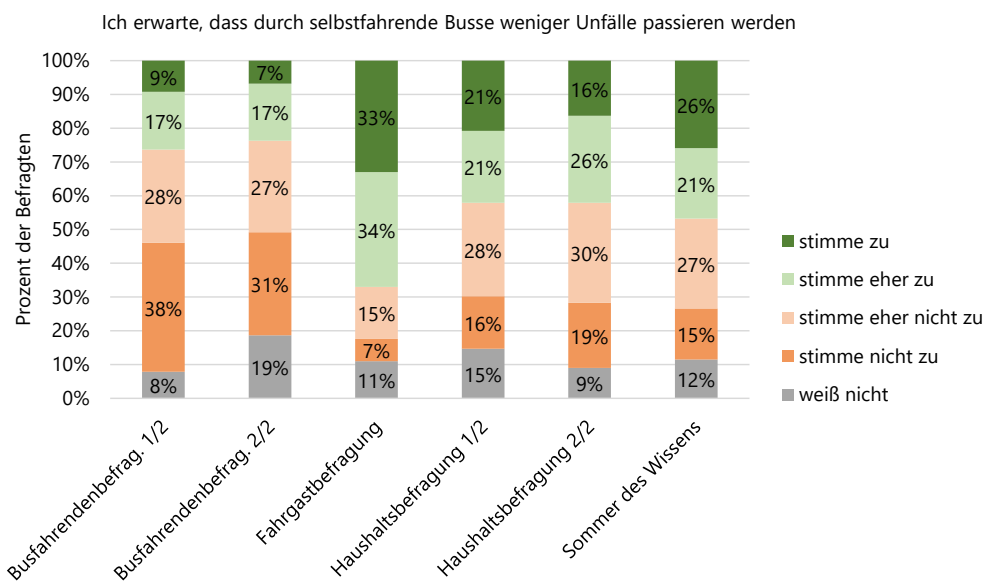


Abbildung 10-29: Erwartungshaltung zum künftigen Unfallgeschehen nach befragten Gruppen (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))

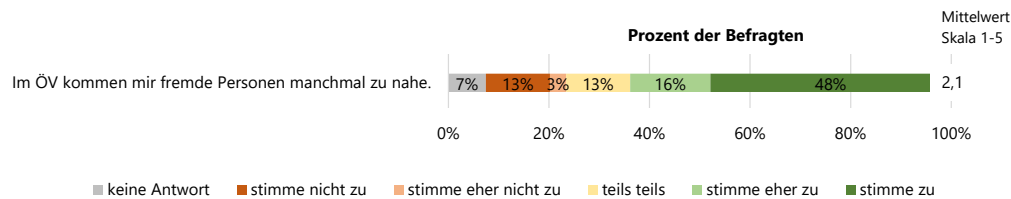


Abbildung 10-30: Ergebnisse der Fahrgastbefragung u. a. zum Befinden der Befragten zur Nähe zu anderen Personen im herkömmlichen ÖPNV (Umfrage während der COVID-19-Pandemie durchgeführt; eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))

10.5.4.1.2 Versuchsträger: Unfallgeschehen im Testfeld

Im Rahmen des automatisierten Betriebes im Testfeld TaBuLa haben sich unter Beteiligung der Versuchsträger keine Verkehrsunfälle ereignet.

Mehrere Male wurde vom Fahrzeugbegleiter vorsorglich ein Notstopp ausgelöst, weil beispielsweise seitlich Zufußgehende in den Fahrtweg liefen. Aus der nachfolgenden Analyse konnte kein Defizit der Technik festgestellt werden, die regulär nach Programmierung minimal später ebenfalls ein Notbremsmanöver eingeleitet hätte.

Am 19.08.2020 um 11.53 Uhr ereignete sich mit dem Versuchsträger ein Betriebsunfall auf der Strecke 3 im Abschnitt auf der Bundesstraße in der westlichen Knotenpunktzufahrt zum Knotenpunkt Berliner Straße / Büchener Weg / Fürstengarten, bei dem das Fahrzeug im automatisierten Modus vor der Lichtsignalanlage bremste (ohne Fremdeinwirkung). Der für den Versuchsträger verantwortliche Fahrzeugbegleitende stand währenddessen ohne festen Halt. Der Fahrzeugbegleitende stürzte bei dieser Bremsung und zog sich eine leichte Verletzung zu.

Eine besondere Gefährdung des Verkehrsgeschehens wurde wiederkehrend seitens der Fahrzeugbegleitenden durch überholende Kfz geschildert. Besonders hervorgehoben wurde eine erhöhte Gefahr in der westlichen Knotenpunktzufahrt im westlichen Zulauf zum Knotenpunkt Berliner Straße / Büchener Weg / Fürstengarten, da überholende Kfz unerlaubt den Linksabbiegestreifen zum Überholen in Fahrtrichtung geradeaus nutzten. Daraufhin wurde der Abschnitt einer Verkehrsschau mit Betreibenden, Verkehrsbehörde, Polizei und Straßenbaulastträger unterzogen mit dem Fazit, dass keine Maßnahmen notwendig erscheinen. Im Rahmen der im Testfeld durchgeführten Verkehrssituationsanalyse (vgl. Gertz et al., 2021, S. 94–119) wird auf die Besonderheiten der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden eingegangen, dabei wurde der vorgenannte Teilabschnitt am 12.03.2020 von 8:00 bis 17:00 Uhr mittels Kamera beobachtet. Zwölfmal fuhr das automatisierte TaBuLaShuttle über den relevanten Abschnitt und insgesamt wurde der Linksabbiegestreifen von drei Fahrzeugen regelwidrig zum Überholen des Shuttles genutzt, wobei keine Zwangsbremssungen und kein Einfluss auf den Fahrtverlauf entstanden.

Die empfundene Sicherheit der Fahrgäste wurde mittels Fahrgastbefragung erhoben. Dabei wurden an zwei verschiedenen Stellen in der Befragung Fragen zum Sicherheitsempfinden gemacht, jeweils andersherum gefragt. Bei der Frage nach dem eigenen Vertrauen in die Technik der Versuchsträger stimmten 69 von 94 Personen zu oder eher zu. Zur Bewertung der letzten Fahrt gaben 89 von 94 Personen an, dass sie sich eher keine oder keine Sorgen um die eigene Sicherheit gemacht hätten (vgl. Abbildung 10-31).

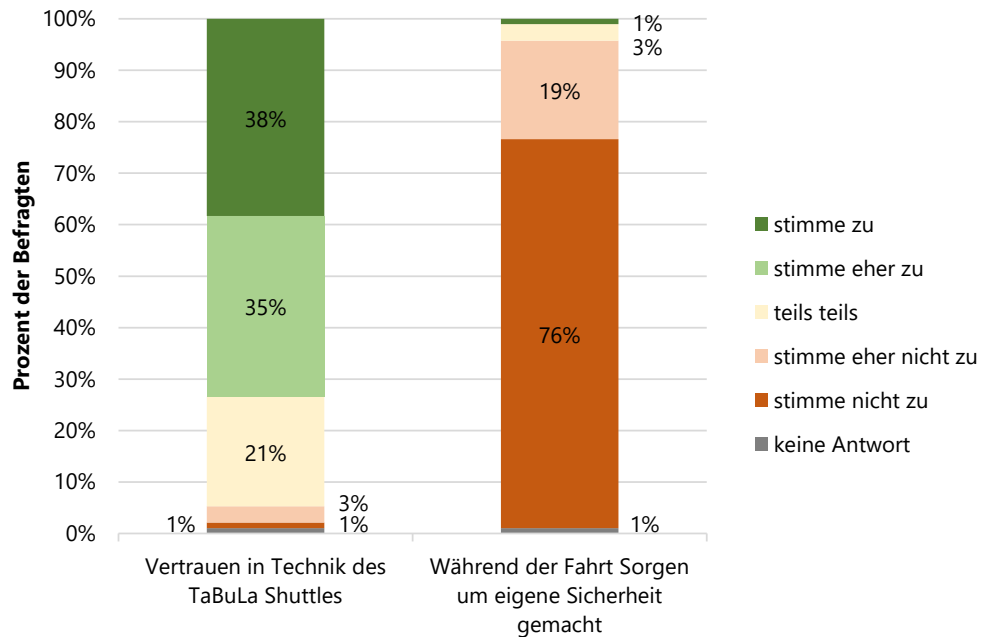


Abbildung 10-31: Sicherheitsempfinden der Fahrgäste nach der Mitfahrt im TaBuLaShuttle als Ergebnis der Fahrgastbefragung (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))

10.5.4.1.3 Zukunftsszenario (fahrerlos): Prognostiziertes Unfallgeschehen

Für das fahrerlose Szenario liegen keine brauchbaren validen Daten vor. Eine ExpertInnenbefragung wurde hierzu nicht durchgeführt. Es wurde eine Befragung verschiedener Gruppen und der im Versuchsträger Mitgefahrenen durchgeführt, die die subjektive Erwartungshaltung der unterschiedlichen Gruppen wiedergibt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10-29 dargestellt. Bei den durchgeführten Haushaltsbefragungen und der Befragung beim Sommer des Wissens stimmten jeweils ähnlich viele Personen zu und nicht zu, „dass durch selbstfahrende Busse weniger Unfälle passieren werden“. Busfahrende stimmten zu 58 bis 66 % eher nicht oder nicht zu. Personen, die im automatisierten Shuttle mitgefahren sind, stimmten zu 67 % der Aussage zu weniger Unfällen eher zu oder zu.

10.5.4.2 Kriminalprävention

Hinsichtlich der Kriminalprävention im ÖPNV konnten keine quantitativen Daten bereitgestellt werden. Das Wohlbefinden für das Szenario ohne Fahrzeugbegleitenden oder Bussteuernden wurde in allen Befragungen abgefragt, dessen Ergebnisse in Abbildung 10-32 und Abbildung 10-33 dargestellt sind. Dabei wurde nicht genauer spezifiziert, wie sich das Wohlfühlgefühl definiert (Verkehrs- oder Kriminalitätsempfinden).

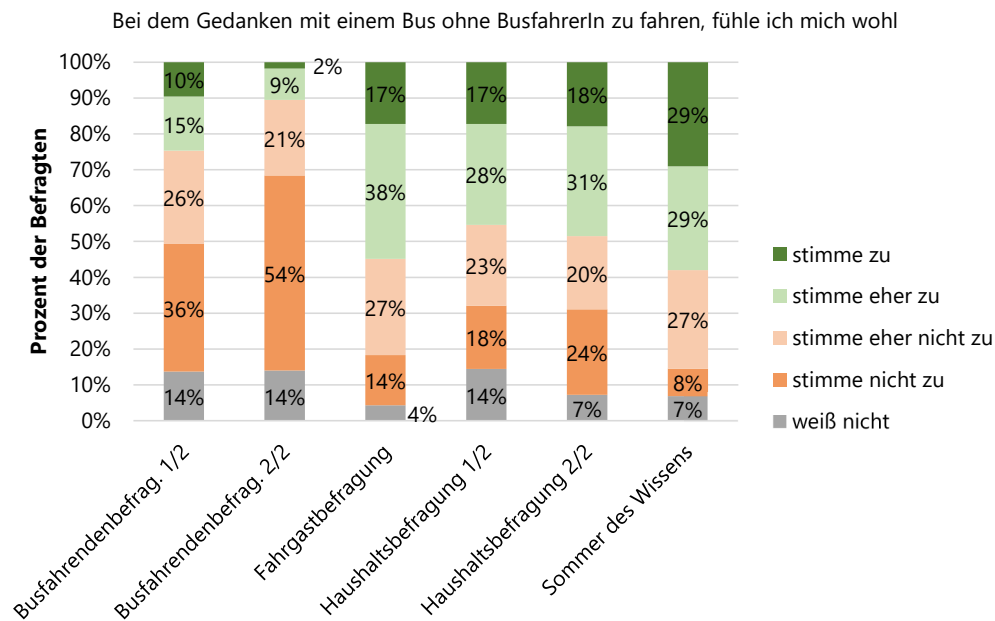


Abbildung 10-32: Ergebnisse aus den Befragungen zum Wohlfühlgefühl zu einer Fahrt ohne fahrzeugsteuernde Person
(N = 82+59+94+434+240+141 = 1.050; eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))

Seitens der Nutzenden und Nichtnutzenden fühlen sich ca. 50 % wohl oder eher wohl bei dem Gedanken einer Fahrt ohne Busfahrenden. 35 % bis 44 % fühlen sich unwohl oder eher unwohl (vgl. Abbildung 10-32). Eine anzusprechende Person im Fahrzeug hat für alle Befragten im Mittelwert eine sehr hohe Bedeutung (vgl. Abbildung 10-33), dabei ist weiblichen Personen (Mittelwert 1,73) eine anzusprechende Person signifikant wichtiger als männlichen Personen (Mittelwert 2,20, $p = 0,0073$).



Abbildung 10-33: Mittelwerte aus den Befragungen zum Wohlfühlgefühl zu einer Fahrt ohne fahrzeugsteuernde Person, N = 94 (Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))

Am Abend des 24.09.2019 erfolgte auf einer technischen Kontrollfahrt auf der Straße Askaniering nahe des ZOB in Lauenburg/Elbe durch eine fremde verstörte Person ein Übergriff, bei dem von außen gegen die Scheiben des Versuchsträgers geschlagen wurde. Die Fahrt wurde fortgesetzt und die Polizei von unbeteiligten Dritten außerhalb des Fahrzeuges verständigt. Es entstand kein Sach- oder Personenschaden.

10.5.5 Arbeitsbedingungen

Auflagen aus Zulassung

In den Gutachten zur Zulassung der Fahrzeuge wurden folgende Bedingungen an die Tätigkeit als Fahrzeugbegleitender ausgearbeitet, die in die Genehmigung der Fahrzeuge seitens der Behörden wie folgt als Auflagen übernommen wurden:

„(...) 2. Der Fahrzeugführer muss sich während der Fahrt an dem gekennzeichneten Platz (Steh- oder Sitzplatz) befinden. Die Steuereinheit ist jederzeit griffbereit für den Fahrzeugbegleiter aufzubewahren und vor unbefugten Zugriffen zu schützen.

3. Die ununterbrochene Einsatzzeit als Fahrzeugführer darf nicht mehr als 2 Stunden betragen; ein weiterer Einsatz ist erst nach einer Pause von mindestens 15 Minuten zulässig. Über die Einhaltung der Einsatz-/Pausenzeiten ist ein entsprechender Nachweis zu führen und der Genehmigungsbehörde auf Verlangen zur Überprüfung auszuhandigen.

4. Der Fahrzeugführer und andere Personen die mit dem Fahrzeug arbeiten, müssen die erforderliche Fahrerlaubnis der Klasse B mindestens 3 Jahre besitzen, spezifisch über die Besonderheiten des Fahrzeugs geschult und über die Auflagen dieser Ausnahmegenehmigung unterrichtet sein. (...)

Hinweise (...)

Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass der Fahrzeugführer in allen Verkehrssituationen für die Sicherheit der Fahrgäste, der Ladung und anderer Verkehrsteilnehmer verantwortlich ist.“ (Kreis Herzogtum Lauenburg, 2019, S. 4–7)

In den Gutachten zur Zulassung lautet die Auflage zur Aufgabe der fahrzeugbegleitenden Person: „Der Fahrzeugführer darf sich während der Fahrzeugführung mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktionen gemäß § 1 a StVG vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden; dabei muss er derart wahrnehmungsbereit bleiben, dass er seiner Pflicht jederzeit nachkommen kann.“ (TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG, 2019, S. 7)

Erkenntnisse aus Interviews mit Fahrzeug- begleitenden

In den Interviews mit den Fahrzeugbegleitenden wurden diese befragt, wie sehr sie diese Aufgabe fordert. Die Personen, die zuvor bzw. weiterhin Standardlinienbusse gefahren sind, wurden zudem um einen Vergleich zu ihrem regulären Alltag gebeten. Daraus gehen nachfolgende Erkenntnisse hervor.

Die beiden Fahrzeugbegleitenden, die den Versuchsträger auf einem Privatgrundstück bewegen, beschreiben ihre Tätigkeit als langweilig oder angenehm. Alle Fahrzeugbegleitenden, die im öffentlichen Verkehr einen Versuchsträger bewegt haben, sprechen von wechselhaften normalen bis hohen Anforderungen bis anspruchsvoll fordernd. Vier

von sieben Fahrzeugbegleitenden erwähnen grundsätzlich, dass eine hohe Konzentration erforderlich ist. Vier benennen technische Probleme als herausfordernd. Jeweils zwei Mal wird das Reden mit den Fahrgästen sowie das umliegende Verkehrsgeschehen als fordernd beschrieben. Eine Person empfindet das lange Stehen anstrengend. Die beiden Fahrzeugbegleitenden, die zuvor beruflich keine Busse gesteuert haben, sagen zu ihrer Tätigkeit im Versuchsträger: „Es kann anstrengend sein, ja.“ (NAF-Sylt 3) und „Ich bin manchmal richtig fertig.“ (NAF-Sylt 2). Die Fahrzeugbegleitenden, die ansonsten im regulären Buslinienverkehr arbeiten, beschreiben das abweichende Arbeitsprofil in den Bereichen technisches Verständnis digitaler Systeme, sehr ausgeprägte Fahrgastkommunikation bei gleichzeitiger Beobachtung der Umfeldereignisse. Vier von fünf Busfahrenden sprechen von einer vollständig anderen Beziehung zu den Fahrgästen als im Linienbus. Eine Person vergleicht es wie folgt (TaBuLa1): „Ich lache, weil im Linienbus bist du als Fahrer im Fahrbereich, der eben mal sein Soll erfüllen soll und die Leute zur Arbeit bringen und am besten unauffällig.“

Aus der ersten Befragung der Busfahrenden bei den Verkehrsbetrieben geht hervor, dass jeweils ca. 40 % auf jeden Fall oder eventuell bereit wären einen automatisierten Bus als fahrzeugbegleitende Person zu betreuen oder aus einem Kontrollzentrum zu überwachen. 51,8 % der Befragten beantworteten eine oder beide Fragen positiv oder eher positiv. Nach dem Kennenlernen des Versuchsträgers nahm diese Bereitschaft geringfügig ab.⁶⁰ (siehe Abbildung 10-34)

Ich kann mir vorstellen...

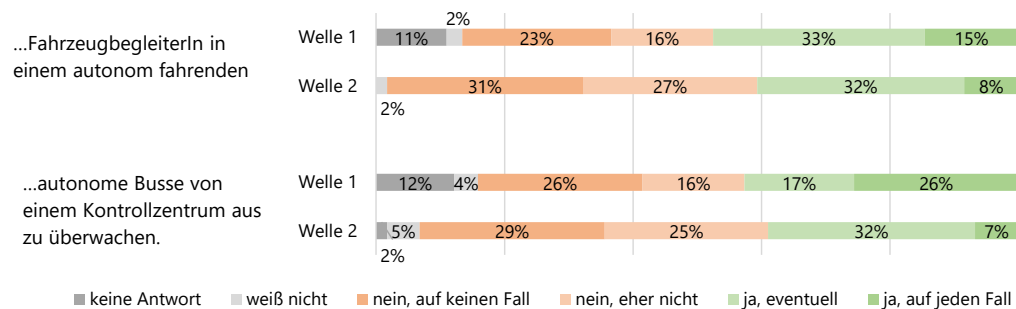


Abbildung 10-34: Bereitschaft zur Annahme einer Tätigkeit im Bereich autonomer Busverkehr unter Beschäftigten bei Busbetrieben (eigene Darstellung auf Grundlage Gertz et al. (2021))

10.5.6 Umwelt und Ressourcen

Zu den Themen der Schonung von Umwelt und Ressourcen sowie Antriebstechnologie wurden keine Erhebungen vorgenommen. Der Versuchsträger wird mit Strom aus zu 100 % erneuerbaren Energien versorgt.

⁶⁰ Es wurden Busfahrende von verschiedenen Betriebshöfen befragt, die nicht zwingend den Versuchsträger im Realbetrieb kennengelernt haben müssen, aber sicher davon gehört haben.

Aus dem Betrieb konnte der Stromverbrauch des Versuchsträgers ermittelt werden. Einschließlich der eingesetzten Nebengeräte in der Fahrzeuggarage (Mobiltelefone, WLAN ...) entstand im Regelbetrieb ein Verbrauch von 1,0539 kWh/km (ausgewertet auf 2.119 km öffentlichem Fahrgastbetrieb auf den Strecken in Lauenburg/Elbe). Dabei schwanken die Werte erheblich zwischen 0,5 kWh (bei ausgeschalteter Klimaanlage) und Verbräuchen von über 1,2 kWh/km bei Außentemperaturen von unter 4 Grad oder über 16 Grad Celsius. Bei über 20 Grad Celsius Außentemperatur liegen bei eingeschalteter Klimaanlage die Verbräuche immer über 1,2 kWh/km bis ca. 2 kWh/km. Die durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit betrug dabei ca. 5,9 km/h mit vielen Halten bei Höchstgeschwindigkeiten von 18 km/h. Aufgrund der topografischen Besonderheiten waren pro km im Durchschnitt ca. 18 m an Höhendifferenz zu überwinden.

Um eine mögliche Nachfragesteigerung bewerten zu können, wurde die Fahrgastbefragung ausgewertet:

- 93 Teilnehmende an der Fahrgastbefragung
 - 67 Personen davon haben keine Zeitkarte (kein Jobticket, Semesterticket, Monatskarte...)
 - 48 Personen (71,6 %) davon stimmen oder stimmen eher der Aussage zu: „Ich kann mir vorstellen, einen Shuttle wie den TaBuLa Shuttle regelmäßig zu nutzen“ (Mittelwert 1,81 auf Likert-Skala von 5)
 - 48 Personen davon stimmen der Aussage „Ich finde es gut, dass es das Projekt TaBuLa gibt.“ zu oder eher zu und würden das Projekt weiterempfehlen
 - 41 Personen davon fahren täglich oder 1- bis 3-mal pro Woche selbst mit dem Pkw
 - 34 Personen davon geben an, dass sie ihren Alltag teils teils, eher nicht oder nicht „ausreichend gut“ ohne Auto gestalten könnten
 - 26 Personen davon besitzen eine Zeitkarte (Jobticket, Semesterticket, Monatskarte...)
 - 22 Personen (84,6 %) davon stimmen der Aussage „Ich kann mir vorstellen, einen Shuttle wie den TaBuLa Shuttle regelmäßig zu nutzen“ zu oder eher zu (Mittelwert 1,62 auf Likert-Skala von 5)

Grundsätzlich ist bei den Teilnehmenden von Personen auszugehen, die dem Projekt und Versuchsträger aufgeschlossen gegenüberstehen und die Grundgesamtheit einer Bevölkerung nicht repräsentativ wiedergeben.

10.5.7 Effizienz

Das Thema der Kosten wurde in einer separaten Veröffentlichung von Grote und Röntgen (2021) aufbereitet. Hier werden die Kosten für bestehenden ÖPNV, Versuchsträger und Zukunftsszenarien dargestellt. Im Wesentlichen gehen aus der Analyse der Betriebsinformationen und der Delphi-ExpertInnenbefragung folgende Erkenntnisse hervor (Kostenstand 2021):

- Ein Großteil der verfügbaren Literatur betrachtet das autonome Fahren aus Sicht von Pkws bzw. Taxis.
- Zwischen 110.000 und 300.000 Euro kostet ein barrierefreier Minibus (klassisch gesteuert) für den ÖPNV bei einer Nutzungsdauer von höchstens zehn Jahren.
- Zwischen 200.000 und 250.000 Euro liegen die geschätzten Investitionskosten elektrischer ÖPNV-tauglicher fahrerloser Minibusse bei Markt- und Serienreife bei einer Nutzungsdauer von acht Jahren.
- Die Kosten für das Fahrpersonal im klassischen Busverkehr liegen bei grob 45 % (je nach Einsatzprofil) der Betriebskosten, bei Taxis liegt der Personalkostenanteil bei 50 bis 60 %.
- Kostensteigerungen in einem fahrerlosen Betrieb entstehen für Software, Leitstelle und Sicherheit.
- Einsparungen in einem fahrerlosen Betrieb entstehen bei den Kostenstellen Personal, Fahrkarten, Reifen, Energie und Unfällen.
- In Summe ergeben sich Einsparungen von 30 bis 40 % pro Fahrplankilometer im fahrerlosen Betrieb.
- Hierbei sind für den Betrieb fahrerlose Fahrzeuge andere Geschäftsmodelle in Verbindung mit Leitstelle und Software vorstellbar als bisher.

Die Kosten aus Grote und Röntgen (2021) zu den unterschiedlichen Systemzuständen sind in der Tabelle 10-10 aufbereitet.

Tabelle 10-10: Kosten pro Fahrplankilometer in den unterschiedlichen Systemzuständen für den Betrieb des ÖPNV im Testfeld in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung auf der Grundlage von Grote und Röntgen (2021))

Szenario	Bestandsbetrieb <i>schnell</i>	Bestandsbetrieb <i>langsam</i>	Versuchsträger	Zukunftsszenario <i>langsam</i>	Zukunftsszenario <i>schnell</i>
eingesetzter Fahrzeugtyp	Minibus	Minibus	kleiner Minibus	kleiner Minibus	kleiner Minibus
Antrieb	Diesel	Diesel	elektrisch	elektrisch	elektrisch
Beförderungsgeschwindigkeit	19,6 km/h	5,9 km/h	5,9 km/h	5,9 km/h	19,6 km/h
fahrerlos	nein	nein	nein	ja	ja
aktuell realisierbares Szenario	ja	ja	ja	nein	nein
Kosten pro Fahrplankilometer	3,21 Euro pro km	10,25 Euro pro km	14,55 Euro pro km	7,28 Euro pro km	2,51 Euro pro km
Kosten in Prozent bezogen auf Szenario Versuchsträger	22,1 %	70,4 %	100,0 %	50,0 %	17,3 %

10.5.8 Zeitaufwand

Für das ÖPNV-Angebot des Kreises Herzogtum Lauenburg wurde im Rahmen des TaBuLa-Projektes auf Grundlage von Peter (2021) eine Auswertung der Reisezeiten für einen exemplarischen Dienstag um 8 Uhr anhand des tatsächlichen Fahrplanangebotes vorgenommen. Dabei wurde die Berechnung der Reisezeit mit PTV Visum hin und zurück zwischen Wohnort zum nächstgelegenen Supermarkt über Geh-, Warte- und ÖPNV-Fahrzeit berechnet.⁶¹ Die Abbildung 10-35 stellt die Berechnungsergebnisse grafisch dar. Außerhalb der größeren Siedlungen, in denen Supermärkte in einer fußläufigen Entfernung liegen, wird in großen Teilen der Fläche des Kreises ein Zeitaufwand von zwei bis fünf Stunden notwendig.

⁶¹ Es wurden Supermärkte im Kreis Herzogtum Lauenburg berücksichtigt und eine 30-minütige Aufenthaltszeit am Supermarkt vorgesehen.

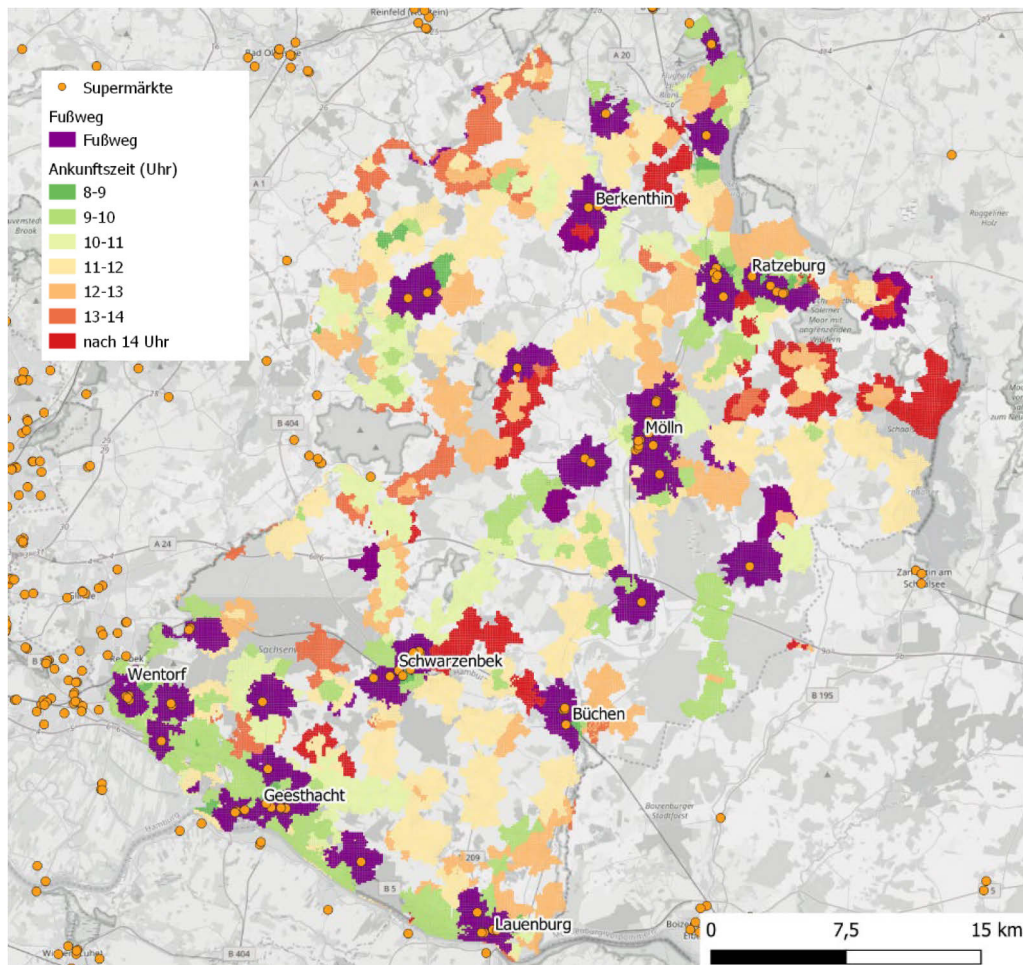


Abbildung 10-35: Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse für Hin- und Rückweg zwischen Wohnort und Supermarkt (Start am Wohnort an einem Dienstag außerhalb der Ferien um 8 Uhr) (Quelle: Ole Röntgen mit Datengrundlage von Gertz et al. (2021) und Peter (2021), Kartengrundlage: OpenStreetMap-Mitwirkende (2020))

10.5.8.1 Schnelligkeit Versuchsträger

Die Fahrgäste wurden nach der Mitfahrt im Versuchsträger gefragt, was ihre Voraussetzung für die Nutzung eines fahrerlosen Minibusses sind. Dazu durften diese maximal drei Kriterien wählen. Die Ergebnisse zeigen, dass für die Befragten maßgeblich eine höhere Geschwindigkeit notwendig ist als die Geschwindigkeit des Versuchsträgers (vgl. Abbildung 10-22).

Die Regelfahrzeit des Versuchsträgers auf der Strecke 3 mit acht Haltestellen in Lauenburg/Elbe auf dem besonderen Fahrweg (vgl. Grote, 2021) betrug 30 Minuten inkl. fünf Minuten Wartezeit am Kirchplatz für eine Streckenlänge von 2,448 km. Ohne Berücksichtigung der Wartezeit am Kirchplatz ergibt sich eine Beförderungsgeschwindigkeit von 5,88 km pro Stunde. Nach FGSV (2010a) ist dies der schlechtesten Qualitätsstufe F (< 10 km/h) zuzuordnen. Parallel dazu wurde die Beförderungsgeschwindigkeit eines regulären Linienbusses auf Teilen derselben Strecke mittels Datenlogger

gemessen, wonach diese sich (mit weniger Haltepunkten) im Durchschnitt auf das 2,02-fache (im Maximum das 2,61-fache) der Versuchsträger-Geschwindigkeit beläuft (vgl. Gertz et al., 2022), was einer Qualitätsstufe E entspricht.

10.5.8.2 Netzgestaltung und Verbindungsqualität

Zur Netzgestaltung und Verbindungsqualität können für das Bestands- und Versuchsträgerszenario keine Analysen durchgeführt werden.

10.5.8.3 Verlässlichkeit Versuchsträger

Die Auswertung der Betriebsdokumentation der Versuchsträger ergibt, dass im Jahr 2020 an 49,5 Betriebstagen (entspricht 32,8 % aller geplanten Betriebstage⁶²) und im Jahr 2021 an 19,5 Betriebstagen (entspricht 14,9 % aller geplanten Betriebstage) kein Linienbetrieb stattfand. Im Jahr 2021 standen abweichend zu 2020 für Regelbetrieb zwei Fahrzeuge für einen Fahrplan zur Verfügung, der ohne besondere Vorkommnisse dem Grunde nach mit einem Fahrzeug bewältigt werden könnte. Mit gesteigerter Erfahrung und dieser Redundanz konnten die Ausfalltage von 2020 in 2021 reduziert werden. Die Gründe für die Ausfalltage teilen sich ungefähr gleichmäßig auf in Betriebsunterbrechung zur Klärung Betriebsunfall, Personalmangel und Technische Probleme. An neun Tagen (3,2 %) musste der Betrieb im Laufe des Betriebstages vollständig abgebrochen werden (leerer Akku, technische Probleme, Wetter). Im laufenden Betrieb kam es häufig zu technischen Störungen wie z. B. Ortungsverlust oder zu Hindernissen im Fahrweg, die zu Verzögerungen im Fahrplan führten, jedoch nicht zum Betriebsabbruch. (vgl. Gertz et al., 2021)

Aus der Verkehrssituationsanalyse mittels Videodokumentation kam es in der Buseinfahrt am Kirchplatz bei N = 81 beobachteten Fahrvorgängen zu acht gestörten Abläufen (9 %), die zur Hälfte ein Eingreifen des Fahrzeugbegleiters erforderten. Bei der Ausfahrt (entspricht Abfahrt) von der Haltestelle waren von N = 74 beobachteten Fahrvorgängen vier gestört (7 %) und erforderten ein Eingreifen des Fahrzeugbegleiters. Es handelte sich im Wesentlichen um Fahrzeuge und/oder Gegenstände wie Mülltonnen oder Personengruppen im Regelfahrweg.

Insgesamt erfolgten auf dem 2,45 km langen Regellinienverlauf wenige Fahrten, die ohne Eingriff des Fahrzeugbegleitenden in den manuellen Modus erfolgten. Die Häufigkeit der Übernahme zur manuellen Steuerung konnte im Laufe des Versuchsbetriebes deutlich reduziert werden (u. a. durch häufigeren Grünschnitt und Sensibilisierung der Anwohnenden und Parkenden).

10.5.9 Wohlstand

Zum Zielfeld Wohlstand konnten im Kreis Herzogtum Lauenburg und mit dem Versuchsträger keine Daten erhoben und ausgewertet.

⁶² COVID-Pandemie bedingte Ausfallzeiten von 12 Wochen in 2020 und 18 Wochen in 2021 wurden nicht eingerechnet.

10.5.10 Realisierbarkeit

Zu dem Thema der Realisierbarkeit gehören maßgeblich die Aspekte von technischer und rechtlicher Machbarkeit zur Umsetzung eines Versuchsträgers in den öffentlichen Raum. Die grundsätzliche Realisierbarkeit des Versuchsträgers ist mit dem Testfeld nachgewiesen. Die technischen Bedingungen dafür sind der Phase 3 im Kapitel 6.3 zu entnehmen. Das Thema der rechtlichen Realisierbarkeit wurde in die Veröffentlichung von Böckler, Grote, Wolf (2021) ausgelagert.

10.5.11 Weitere Fähigkeiten

Zu den weiteren Zielen wurden für den Kreis Herzogtum Lauenburg und den Versuchsträger keine Daten erhoben und ausgewertet.

10.6 Anlage zu Kapitel 6.6: Phase 6 Bewertung

10.6.1 Anlage zu Kapitel 6.6.3: Risikobewertung

10.6.1.1 Eingangsdaten- und Methoden

Risiko-
analyse
(M10)

Die positiven und negativen Risiken wurden im Zuge der verschiedenen Befragungen und Workshops sowie einer Literaturrecherche gewonnen:

- Bevölkerungsbefragung
- Haushaltsbefragungen Teil 1 und 2
- Busfahrendenbefragung Teil 1 und 2
- Literaturquellen: Enzweiler, Kind und Jetzke (2018), Gertz et al. (2021), Grunwald (2015), Just et al. (2020), Kallmeyer (2019), Karlsruher Institut für Technologie (2018), Kollosche et al. (2022), Kröger et al. (2022), Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (2015), Pakusch (2020), Sinozic (2020)
- Erkenntnisgewinn im Zuge der Analyse und des Testfeldbetriebes mit dem Versuchsträger inkl. Fahrzeugbegleitenden-Interviews
- ExpertInnenworkshop unter Verkehrsplanenden am 17.05.2023

Die jeweiligen Primärquellen der aufgeführten Risiken sind in der Tabelle 10-11 in Kapitel 10.6.1.2 zugeordnet. Weitere Informationen wie Metadaten zu den Befragungen befinden sich in Kapitel 10.4.1.

Bei der Risikoanalyse wird bewusst zu Beginn keine starke Eingrenzung des Szenarios vorgenommen, um alle erdenklichen Risiken zu erfassen und den Blick der Befragten zu weiten. Es werden Freitextfelder ohne Vorgaben angeboten. Nachdem umfassend Risiken zusammengestellt wurden, wird in einem ergänzenden ExpertInnenworkshop das Szenario konkret auf den ÖPNV im Zukunftsszenario eingeeengt, um die Risiken möglichst hier zu vervollständigen.

Nach der Aufhebung von Doppelungen (über alle Quellen hinweg) wird die Häufigkeit der Nennungen ergänzt sowie das unter Kapitel 5.4.6 entwickelte Verfahren angewendet.

10.6.1.2 Risikoübersicht und –bewertung

Tabelle 10-11: Risiken und deren eigene Bewertung (eigene Darstellung)

	Variablenbezeichnung:	p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o		b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U
Nr.	Risiko	Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Minibusse im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1+...+n5	Haushaltsbefragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushaltsbefragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr-enden-befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennungen	Busfahr-enden-befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennungen	Experten-workshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteilnehmende ohne bezogen auf Akteursgruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Personenschadensausmaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffenheit)	Ungerechtigkeitsfaktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
147	Abhängigkeiten von Monopolen in Software o. ä. mit hoher Marktmacht der Anbieter, geringe Anbietervielfalt nach Konsolidierung	x	Wohltand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung	Entscheider	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kollosche et. al. 2022	200	6
189	allgemeine Risiken durch nicht ausgereifte Technik, technisches Versagen (ohne Begriffe wie Sicherheit, Unfall ...)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	63	38	10	12		3		Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Gertz et. al. 2021, Schoenewiese 2021	100	4
112	allgemeiner Wertewandel führt zur Nichtnutzung aufwendig entwickelter fahrerloser Technik (Bsp. Reisen verliert an Bedeutung, Metaversum)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Eigene Darstellung	2	4
113	Andere Technologie entsteht als Konkurrenz zum Automatisierten Fahren, so dass Investitionen hinfällig sind (Bsp. Beamen ...)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Betrieb	Gesellschaft	Gesellschaft	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	ungewiss / unklar	Eigene Darstellung	102	0
84	Angst vor Kontrollverlust, fehlendes Technikvertrauen (im Fahrzeug / um das Fahrzeug herum)	x	Psychologie	12	9	3				3	Einführung	Einzelperson	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kröger et al. 2022	0	4
199	Angst vor Strahlung, unsichtbaren oder unbekannten gesundheitlichen Risiken	x	Sicherheit	1		1					Betrieb	Gesellschaft	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021, Just et. al. 2020	100	6
177	Arbeitslosigkeit in vergleichsweise niedrigen Qualifikationsniveaus	x	Wohltand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	2	2						Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Erzweiler et al. 2018	100	6
148	Arbeitslosigkeit von u. a. Taxifahrern, Busfahrenden	x	Wohltand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	79	29	7	8	19	16	1	Einführung	Gesellschaft	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kollosche et. al. 2022	0	6
123	Arbeitsplatzentfall bei Polizei, Rettungsdienst (weniger Aufwand für Unfälle; geringere Verfügbarkeit der Dienste)	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	200	4
59	Aufwendige Sicherheitskonzepte, welche ermöglichen, dass das Fahrzeug jederzeit in einen sicheren Zustand gebracht werden kann	x	Sicherheit	0						1	Einführung	Unternehmen		beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0
218	Ausgrenzung vom System durch Zutrittsbeschränkungen mittels Social Scoring o. ä.	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	0						1	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)		aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	100	2
186	Ausschluss von Personen durch fehlende Möglichkeit des Fahrkartenkaufs und -kontrolle im Fahrzeug	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	3	2	1					Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021	100	3
210	Barrierewirkung von Straßen verstärkt sich bei autonom dicht fahrenden Kolonnen		Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Just et. al. 2020	200	6
106	Beeinträchtigung der Privatsphäre in den Fahrzeugen und in der Nähe dieser	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Eigene Darstellung	300	6
44	Benachteiligung von Level-0-Teilnehmenden im Verkehrsgeschehen (z. B. Radfahrende)	x	Verkehr	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	ungewiss / unklar	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	1	6

Fortsetzung Tabelle 10-11 (Teil 2/6)

	Variablenbezeichnung:	p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o		b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U
		Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Minibusse im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1 + ... + n5	Haushaltsbefragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushaltsbefragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr-enden-befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennungen	Busfahr-enden-befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennungen	Experten-workshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteil-nehmende ohne Eintritt des Risikos bezogen auf Akteurs-gruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Personenschadensausmaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffen-heit)	Ungerechtigkeits-faktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
209	Benachteiligung von Nutzenden und Verkehrsteilnehmenden ohne Vernetzung und ohne Automatisierung	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Just et. al. 2020	200	6
90	bestehende (nicht überzeugende) Fahrassistenzsysteme werden wenig genutzt, was die Akzeptanz des fahrerlosen Fahrens später erschwert	x	Psychologie	0							Einführung			beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	- ungewiss / unklar		0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)		KIT (Hg.) 2018	0	0
153	digitale Zugangs-/Barrieren, Unsicherheiten im Umgang mit Technik	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0						2	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kollosche et. al. 2022	200	6
128	Einfluss und internationale Entwicklungen geben Automatisierungstrend ohne Gestaltungsoptionen vor	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	ungewiss / unklar	Eigene Darstellung	401	4
200	Einschränkung und Reduzierung der privaten Parkplätze	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	4		4					Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Gertz et. al. 2021	100	3
43	Einschränkungen der individuellen Mobilität z. B. durch Beschränkung der Zulassung von MIV	x	Recht	0							Einführung	Einzelperson	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	200	6
24	Emissionen aus Leer- und Mehrfahrten durch Valet-Parking mit entsprechenden Umwelt- und Umfeldauswirkungen	x	Umweltqualität	0						1	Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	401	6
169	Entwicklung eines kleinteiligen Marktes mit sehr hohem Abstimmungsbedarf für relevante Institutionen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Entscheider	Unternehmen	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	ungewiss / unklar	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kollosche et. al. 2022	0	2
91	Fahrverhalten der Fahrzeuge wird analog zu menschlichen Fahrtypen implementiert ohne Nachhaltigkeitsgewinne	x	Umweltqualität	0							Einführung	Gesellschaft		beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	- ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		KIT (Hg.) 2018	3	0
215	Fahrzeugüberfüllung und verbundene Betriebsprobleme (genannt hier zu Schülerverkehren)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Betrieb			beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Busfahrendenbefragung	0	2
99	fehlende Arbeitskräfte bei den Kommunen und Aufgabenträgern, um neue Herausforderungen zu bewältigen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Entscheider	keiner	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	0 Risiken, über deren Eingehen individuell entschieden werden kann (Bsp. Skifahren, Baisie in die Antarktis)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)		Kollosche et. al. 2022	100	0
138	fehlende Einheitlichkeit der Infrastruktur für verschiedene Fahrzeugtypen, Flotten, Systeme	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						1	Einführung	Unternehmen	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	100	2
81	fehlende Nachfrage am autonomen Fahren durch Ablehnung der Technik (Akzeptanz)	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	23	17		6			1	Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kröger et al. 2022	200	2
219	fehlende soziale Kontrolle (in Konsequenz Vandalismus, Überfälle, Angstraum, fehlende Akzeptanz)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						2	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)		passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	100	6
211	fehlendes qualifiziertes Personal für die Schaffung, den Betrieb und die Unterhaltung fahrerloser Flotten (Ausfall der Systeme)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	ungewiss / unklar	Just et. al. 2020	0	2
35	Fehlentwicklung des ganzen Verkehrssystems (ohne genauere Beschreibung)		Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	ungewiss / unklar	Kallmeyer 2019	301	4
37	Fehler in der ständigen Interpretation und Prognose des Umfelds in Echtzeit mit KI	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	200	4
181	Fortbewegung wird langsamer (wegen entsprechender programmierter Fahrweise)	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	200	6
157	Gefährdung / Herausforderung klassischer Kfz-Werkstätten	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0						1	Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kollosche et. al. 2022	0	6
183	Gefährdung des Bestands und der Nutzbarkeit von Oldtimern als Kulturgut		Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Eigene Darstellung	200	6
55	Gefährdung durch Fehler in einem neuen Risikomanagementsystem	x	Sicherheit	0						1	Einführung	Unternehmen		beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	- ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0
121	Gefährdung traditioneller Automobilkonzerne und deren Arbeitsplätze	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	100	4
122	Gefährdung Versicherungsbranche (bei weniger Unfällen) und deren Arbeitsplätze	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv Risiko wirkt sich auf alles aus)	-2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	100	4

Fortsetzung Tabelle 10-11 (Teil 3/6)

Variablenbezeichnung:		p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o	b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U	
		Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Miniбусe im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1+...+n5	Haushaltsbefragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushaltsbefragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr- enden- befragung Welle 1:	Busfahr- enden- befragung Welle 2:	Expertenworkshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteilnehmende ohne Eintritt des Risikos bezogen auf Akteursgruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Personenschadensausmaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffenheit)	Ungerechtigkeitsfaktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
53	Gefährdung von Datenschutz / -sicherheit	x	Sicherheit	3	2		1				Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	100	6
164	geringe Anreize zum Engagement neuer Mobilitätsdienste, wenn starke Marktregulierung wie im ÖPNV erfolgt	x	Wohlfstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Entscheider	beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kollosche et. al. 2022	100	4
86	geringe Sauberkeit im Fahrzeug bei kollektiver Nutzung	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0						1	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kröger et al. 2022	0	6
167	geringere Identifikation mit dem Fahrzeug, weniger Bewusstsein für Energieeinsparung, Sauberkeit, etc.	x	Umweltqualität	0							Betrieb	Unternehmen		passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)		Kollosche et. al. 2022	200	3	
197	geringerer Komfort als im individuellen privaten Kfz	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privathet)	3	3						Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021	200	6
41	gesteigerte Attraktivität von Individualfahrzeugen durch fahrerlose Technik (Verlagerung von Umweltverbund auf MIV)		Umweltqualität	0							Einführung	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	401	6
125	große Flächen als Parkplätze für fahrerlose Flotten an neuen Standorten notwendig	x	Umweltqualität	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	100	3
57	Herausforderung eines Berichts- und Dokumentationswesens für herstellereübergreifende Analysen (vgl. Störfallbericht Atomkraftwerk, Blackbox Flugzeug)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Kallmeyer 2019	3	4
116	Herausforderungen durch zusätzliche Systemübergänge (häufiges Umsteigen, Komplexität, Verlässlichkeit)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0					3	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	200	4	
49	Herausforderungen für die Straßenplanung durch neue und wandelnde Infrastrukturanforderungen	x	Infrastruktur	0							Einführung			aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiiierende aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0
152	hohe Digitalisierungskosten	x	Wohlfstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung			beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	ungewiss / unklar		Kollosche et. al. 2022	1	0
36	hohe Dynamik des hybriden Verkehrs (fahrerlose und Level-0-Fahrzeuge im Mischverkehr)	x	Sicherheit	0							Einführung			beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0
108	im Notfall keine Hilfe im Fahrzeug, kein Bemerkern von Notfällen im Fahrzeug, Todesfall unbemerkt im Fahrzeug	x	Gesundheit	6	4			1	1	1	Betrieb	Einzelperson	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	2 Viele Personengruppen	1 Versorgungsstufe 2 50-500 Personen (Bsp. Eschede)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kollosche et. al. 2022	100	9
161	Innovationsträgheit bei Aufgabenträgern führt zur Entscheidungsunfähigkeit bzw. größerer Marktmacht der Industrie	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Einführung	Entscheider	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kollosche et. al. 2022	200	6
185	Keine Hilfe bei besonderen Bedürfnissen im ÖV (Ältere, Menschen mit Behinderung ...)	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatsheit)	10	5	3	2			1	Betrieb	Einzelperson	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021	200	9
162	Kompatibilitätsprobleme zwischen fahrerlosen und klassisch gesteuerten Verkehrsmitteln	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						2	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)		beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	200	4
39	Konstruktion eines selbstlernenden nicht kontrollierbaren Systems	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	2	2						Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv: Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	ungewiss / unklar	Kallmeyer 2019	501	4
54	Lücken in Gesetzgebung zum Datenschutz und Anonymisierung im fahrerlosen Verkehr	x	Recht	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	200	6
51	Mängel im leistungsfähigen Datenaustausch über Mobilfunk / durch fehlendes flächendeckendes Mobilfunknetz	x	Infrastruktur	0							Einführung	Unternehmen		aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiiierende aus)	ungewiss / unklar		0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	ungewiss / unklar	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)		Kallmeyer 2019	101	0
60	Manipulation, Sabotage, Hackerangriffe auf einzelne Fahrzeugen oder ganze Flotten	x	Sicherheit	10	3		4	2	1	3	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	1 Versorgungsstufe 2 50-500 Personen (Bsp. Eschede)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	400	6
213	Missbrauch der Fahrzeuge für Anschläge, Attentat o. ä.	x	Sicherheit	0							Betrieb	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	2 Viele Personengruppen	2 Versorgungsstufe 3 500-1000 Personen (Bsp. Flugtagunglück von Ramstein oder Tanklastzugunglück von Los Alfaques)	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	ungewiss / unklar	Eigene Darstellung	600	9
132	Missbrauch der Überwachungsfunktionen, Spionage	x	Sicherheit	0							Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	0	9
105	Missbrauch von Minderjährigen im Fahrzeug	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Betrieb	Einzelperson	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	0	9
103	mögliche Insolvenz bei Firmen, die viel Aufwand in Forschung und Entwicklung für fahrerloses Fahren gesteckt haben	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	0	2

Fortsetzung Tabelle 10-11 (Teil 4/6)

Variablenbezeichnung:		p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o	b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U	
Nr.	Risiko	Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Minibusse im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1+...+n5	Haushalts- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushalts- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr- enden- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennungen	Busfahr- enden- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennungen	Experten- workshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteil- nehmende ohne Eintritt des Risikos bezogen auf Akteurs- gruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Persönenschadensausmaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffen- heit)	Ungerechtigkeits- faktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
198	negativer Eingriff ins Stadtbild (hier: Altstadt von Lauenburg/Elbe)	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	2		2					Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Gertz et. al. 2021	100	2
56	neue Herausforderungen in der (digitalen) Stör- und Unfallanalyse	x	Sicherheit	0						1	Betrieb	Unternehmen		beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Kallmeyer 2019	3	0	
46	neue noch unbekannte verkehrssicherheitstechnische Probleme	x	Recht	1	1						Betrieb			beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Kallmeyer 2019	3	0	
217	Nichtakzeptanz der Verkehrsteilnehmenden klassisch gefahrener Fahrzeuge (Missbrauch der defensiven Fahrweise fahrerloser Fahrzeuge)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						1	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)		aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	100	2
216	Nichtkompatibilität / Risiken einer individuellen Regelungsvielfalt (Bsp. Systemwechsel bei Eisenbahn bei grenzüberschreitenden Verkehren)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						1	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	200	2
47	nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmende werden der Gefahr fahrerloser Fahrzeuge ausgesetzt (Rad- und Fußverkehr ...)	x	Ethik	2	2						Betrieb	Einzelperson	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	0	4
206	noch offene / ungeklärte Sachverhalte allgemein		Anderes (ggf. unter Bemerkung):	2			2				Betrieb			beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Gertz et. al. 2021	3	0	
160	Pandemie o. ä. durch Übertragung über grundsätzlich gemeinsam genutzte Fahrzeuge	x	Gesundheit	0							Betrieb			beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Kollosche et. al. 2022	3	4	
1	Park- und Bußgeldentnahmen entfallen für Städte	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Entscheider	Entscheider	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Eigene Darstellung	100	1
71	Rebound-Effekte (z. B. weniger Zufußgehende, erhöhter Ressourcenverbrauch, Entsorgen funktionsfähiger Vehikel,...)	x	Umweltqualität	3	2		1				Einführung	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	401	6
45	rechtliche Unsicherheiten im Umgang im vielfältigen Mischverkehr (fahrerlose / automatisierte / assistierte / Level-0- Fahrzeuge)	x	Recht	0							Einführung	Einzelperson	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	0	6
133	Reduzierung der Rettungswachen (weil weniger Unfälle, längere Wartezeiten im Notfall)		Sicherheit	0							Einführung	Gesellschaft	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	100	6
117	Risiken aus sozialem Abhängigkeitsverhältnis zu fahrerloser Mobilität	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Gesellschaft	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	302	4	
68	Risiken aus Umgestaltung der Wertschöpfungsketten	x	Wohlstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	100	2
76	Risiken einer gesteigerten Komplexität der Verschuldensfrage im Schadensfall	x	Recht	0						1	Betrieb	Einzelperson	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	200	6
61	Risiko durch absolute Unschärfe des Begriffs Autonomes Fahren in der Öffentlichkeit		Psychologie	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	100	2
220	Risiko fehlender Balance der Steuerung zwischen Push&Pull	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						1	Einführung	Gesellschaft		beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Expertenworkshop VPL 17.05.2023	400	4
64	Risiko steigender Komplexität für Verkehrsteilnehmende zur Teilhabe (u. a. durch Digitalisierung und Auflösen der Systemgrenzen zwischen ÖV, Sharing etc.)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						3	Einführung	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	300	4
118	Risiko von großflächigen Störungen durch Software-/Sensorfehler (ggf. ganzer Flottenbetriebe) mit Einschränkungen der Mobilität	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	14	5		7			2	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	ungewiss / unklar	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Gertz et. al. 2021	301	4
77	Risiko von kritischem ethischen Verhalten von Fahrzeugen	x	Ethik	3		1	2				Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	0	6
82	Risiko von systemrelevanten Ausfällen (über vollständige Abhängigkeit Energie- und Mobilfunkversorgung)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	1						1	Betrieb	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kröger et al. 2022; Kollosche et. al. 2022	401	4
150	Rückgang des gebündelten ÖPNV durch neue attraktivere individuelle Angebotsformen	x	Verkehr	0							Einführung			beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)		0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	ungewiss / unklar	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)		Kollosche et. al. 2022	201	4
115	Schädigung des Fahrbahnaufbaus durch spurtreues Fahren	x	Wohlstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Betrieb	Gesellschaft	keiner	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausweichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	200	1

Fortsetzung Tabelle 10-11 (Teil 5/6)

	Variablenbezeichnung:	p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o	b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U	
		Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Minibusse im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1+...+n5	Haushalts- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushalts- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr- enden- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennungen	Busfahr- enden- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennungen	Experten- workshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteil- nehmende ohne Eintritt des Risikos bezogen auf Akteurs- gruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Personeinsatzademaussaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffen- heit)	Ungerechtigkeits- faktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
50	Schnittstellenprobleme in der Car-2-X-Kommunikation, Car-2-Car-Kommunikation	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Betrieb	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	0	4
114	Schwierigkeiten der Evakuierung aus Fahrzeug bei Hilfssuchenden (mangels Personal vor Ort, ältere Menschen, Mobilitätseingeschränkte, Hilflose)	x	Sicherheit	0						1	Betrieb	Einzelperson	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	0	9
100	Sinken der Akzeptanz von Anschlagnurten etc.		Sicherheit	0							Einführung	Einzelperson	Einzelperson	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	0 Risiken, über deren Eingehen individuell entschieden werden kann (Bsp. Skifahren, Reise in die Antarktis)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Grunwald 2015 in Maurer 2015	0	0
129	sinkende Steuereinnahmen (u. a. Entfall Besteuerung klassischer Fahrzeuge)	x	Wohlstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung	Entscheider	keiner	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Sinozic 2020	100	1
212	Spaltung der Gesellschaft in Mobile und Nicht-Mobile (wegen steigender Kosten / möglicher Wegfall Individualverkehr oder ÖPNV)	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung (inkl. Zugangsberechtigung und Privatheit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Just et. al. 2020	200	9
142	starke Regulierung des Mobilitätsmarktes	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Gesellschaft	Entscheider	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kollosche et. al. 2022	100	6
67	starker Wandel des Automobilsektors bei zunehmender Digitalisierung und Einfluss der Softwarebranche	x	Wohlstand (gesamtwirtschaftlich, inkl. Arbeitsmarkt)	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kallmeyer 2019	100	2
85	stärkere Zersiedelung durch verbesserte Erreichbarkeit	x	Infrastruktur	0							Einführung	Gesellschaft	Gesellschaft	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kröger et. al. 2022	300	2
109	steigende Mobilitätskosten, geringere Erschwinglichkeit der Mobilität u. a. durch Digitalisierung	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	13	5	6	1	1		1	Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiterer Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	200	6
38	steigende technische Fehlerquote mit steigender Komplexität des Systems / der Vernetzung	x	Sicherheit	0						1	Einführung	Unternehmen		beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0
178	steigender Lkw-Verkehr, Zunahme Güter- und Frachtaufkommen (aufgrund sinkender Kosten), weniger Schienen- und Binnenschiffverkehrsverkehr		Umweltqualität	0							Einführung	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Enzweiler et al. 2018	401	6
170	steigendes Risiko für Fehlentwicklungen bei wachsender Bedeutung strategischer Entscheidungen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Entscheider	keiner	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	Kollosche et. al. 2022	3	4
83	Steigerung der Abhängigkeit zu technischen Systemen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	1		1					Betrieb	Gesellschaft	keiner	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	3 Enorme Reichweite in Bereichen von hundert oder tausend Kilometern (Richter-Magnitude >9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kröger et al. 2022	401	4
69	Steigerung des Energieverbrauchs durch Betrieb der Computersysteme und Kommunikationsinfrastruktur	x	Umweltqualität	0						1	Betrieb	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	400	4
166	Steigerung des Energieverbrauchs u. a. durch Leer- und Mehrfahrten	x	Umweltqualität	0							Betrieb	Gesellschaft	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden könnten (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder -begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Kollosche et. al. 2022	401	6
182	Störungen des Verkehrsablaufs durch Halten zum Ein- und Ausstieg oder Be- und Entladen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	100	4
48	Störungsrisiken mit Unterhaltungsaufwand aus hohem Kommunikationsbedarf mit der Infrastruktur		Infrastruktur	0							Betrieb	Unternehmen		aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kallmeyer 2019	300	1
4	Überfälle auf Personen im fahrerlosen Fahrzeug, Belästigung Fahrgäste, Entführung von Personen im fahrerlosen Fahrzeug	x	Sicherheit	8	8					3	Betrieb	Einzelperson	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Eigene Darstellung	100	9
187	Überforderung der Nutzenden wegen fehlendem persönlichen Kontakt, Ansprechpartnerin und Kontrolle im Bus	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	14	3	3	2	2		4	Einführung	Einzelperson	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021	100	6
72	Überforderung fahrerloser Fahrzeuge mit Umfeldbedingungen und -ereignissen (bestehende Infrastruktur, Menschen, Tiere ...)	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	9	9						Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	100	4
34	Unfälle, neue Unfallkonstellationen durch die Komponente "Maschine", Erhöhung der Anzahl von Unfällen mit technischem Defekt oder Mangel	x	Sicherheit	117	77	7	21	5	7		Einführung	Gesellschaft	Gesellschaft	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019; KIT (Hrfg.) 2018	100	6
75	unklarer Grad der Regelkonformität der fahrerlosen Fahrzeuge (Vorschriftentreue der Fahrzeuge)	x	Recht	0							Einführung	Unternehmen		beides (aktiv und passiv-Risiko wirkt sich auf alles aus)	ungewiss / unklar		ungewiss / unklar	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	3	0

Fortsetzung Tabelle 10-11 (Teil 6/6)

	Variablenbezeichnung:	p	a	n	n1	n2	n3	n4	n5	o		b	c	b - c	d	f	g	h	i	j	q	A	U
		Gefahr betrifft Zukunftsszenario Z fahrerlose Fahrzeuge nur als Minibusse im Mischverkehr ohne autonomen MIV (Ausgewählt für Bericht)	Zuordnung einer Wertekategorie nach VDI (2000)	SUMME der Nennungen n1+...+n5	Haushalts- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennung	Haushalts- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennung	Sommer des Wissens: Häufigkeit der Nennung	Busfahr- enden- befragung Welle 1: Häufigkeit der Nennungen	Busfahr- enden- befragung Welle 2: Häufigkeit der Nennungen	Experten- workshop VPL 22.5.2023	temporäre Einführungs- oder dauerhafte Betriebsrisiken	Betroffene des Risikos; ggf. Unternehmen rausnehmen	Vorteil- nehmende ohne Eintritt des Risikos bezogen auf Akteurs- gruppen	Risikoklassifizierung nach Grunwald 2015, S. 6645	Risikostufe für Individuum in Gesellschaft	Betroffenheit der Bevölkerung durch Risiko bei Eintritt (0-3, 3 maximal)	Personeenschadensausmaß des Risikos bei Eintritt in 24 h (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an MANV gemäß DIN 13050:2021	Sach- und Umweltzerstörung bei Eintritt (0-3, 3 maximal) in Anlehnung an Richter-Magnituden (Richter 1958)	Reichweite bei Eintritt (0-3, 3 sehr hohe Reichweite), Ubiquität in Anlehnung an Richter (1958)	Wahrscheinlichkeit (0-3, 3 sehr wahrscheinlich) nach KATARISK in Anlehnung an Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003)	Primärquelle des Risikos	Bewertung Ausmaß (ohne Betroffen- heit)	Ungerechtigkeits- faktor; Hinweis auf Akzeptanzrisiken und Akzeptabilität; 0 = keine Aussage möglich
107	Unklarheiten in der Verantwortlichkeit bei Haftung mit Risiko eigener Betroffenheit	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	5	3		2			1	Einführung	Einzelperson	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Stöber et al. 2019	100	6
159	Unsicherheiten für Raumverfügbarkeit im ÖPNV (Kinderwagen, Rollstuhl, Gruppen ...), zu kleines Fahrzeug	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	7		4	2	1		1	Betrieb	Einzelperson	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Kollosche et. al. 2022	0	6
184	Vandalismus (im Öffentlichen Verkehr)	x	Sicherheit	33	29	1	1		2	1	Betrieb	Gesellschaft	Einzelperson	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021	100	6
5	Veränderung Modal Split (Reduktion von zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren) mit Umweltisiko		Umweltqualität	0							Einführung	Gesellschaft	Einzelperson	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	ungewiss / unklar	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden können (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder - begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	Eigene Darstellung	401	6
98	Vergrößerung der Verkehrsinfrastruktur für erhöhte Nachfrage bei höherer Verkehrsleistung		Infrastruktur	0							Einführung	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	1 Wenige Male in 100 Jahren bis einmal in 1000 Jahren	KIT (Hg.) 2018	200	3
194	Verkehrsbehinderung, Störung des Verkehrsablaufs (auch Umweltbeeinträchtigung durch Stau), Effizienzverluste	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	105	40	56	8	1			Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Gertz et. al. 2021, Just et. al. 2020	100	4
110	Verkehrsbehinderungen durch Pannen und ungeplante Halte fahrerloser Fahrzeuge, Anforderungen an Reaktionszeiten	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	10	5	2		3		1	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Einzelne Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	0	2
208	Verkehrsgeschehen wird in Abhängigkeit von der Programmierung der Fahrzeugbereitstellenden stehen	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Unternehmen	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Just et. al. 2020	200	6
207	Verkehrssicherheitsrisiken in langanhaltender Phase des Mischverkehrs fahrerloser und konventioneller Fahrzeuge	x	Sicherheit	0							Einführung			passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)		Just et. al. 2020	100	6	
74	Verkehrssicherheitsrisiken in langanhaltender Phase des Mischverkehrs fahrerloser und konventioneller Fahrzeuge - menschliches Verhalten ist nicht grundsätzlich regelkonform - bleibendes Risiko bei Mischverkehr für alle Beteiligten	x	Sicherheit	0							Einführung	Einzelperson	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	2 Versorgungsstufe 3 500-1000 Personen (Bsp. Flugtagunglück von Ramstein oder Tanklastzugunglück von Los Alfaques)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kallmeyer 2019	400	6
214	Verkehrsteilnehmende verlieren die Übung im Bedienen von Kraftfahrzeugen	x	Sicherheit	0							Einführung	Gesellschaft	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	1 Versorgungsstufe 2 50-500 Personen (Bsp. Eschede)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	200	6
139	Verlagerung von Lärmemissionen (durch andere Fahrtwege und Fahrzeuge)	x	Umweltqualität	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	ungewiss / unklar	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Kollosche et. al. 2022	301	6
92	Verlust des individuellen Fahrstils	x	Psychologie	0							Einführung	Einzelperson	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	KIT (Hg.) 2018	0	3
66	Verlust von Kunden im öffentlichen Verkehr (einzelwirtschaftlich)	x	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich)	0							Einführung	Unternehmen		passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	ungewiss / unklar	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	ungewiss / unklar	ungewiss / unklar		Kallmeyer 2019	2	0	
221	Verständnisprobleme zwischen Verkehrsteilnehmenden und dem fahrerlosen Fahrzeug (und in Folge Unfälle)	x	Sicherheit	0							Einführung	Gesellschaft		beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	0 Einzelne Personen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	1 punktuelle Auswirkungen, die unter Aufwand beseitigt werden können (z. B. Tankerunglück)	0 keine bis leichte Reichweite (Richter-Magnitude < 5)	3 mehrere Male pro Tag	Busfahrendenbefragung	100	4
104	Verwendung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung für Technik zur Kriegsführung	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Betrieb	Gesellschaft	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	3 zugemutete Risiken ohne Ausweichmöglichkeit (Bsp. saurer Regen, UV-Strahlung, Luftverschmutzung)	3 Großteil bis ganze Bevölkerung	2 Versorgungsstufe 3 500-1000 Personen (Bsp. Flugtagunglück von Ramstein oder Tanklastzugunglück von Los Alfaques)	2 umfangreiche flächige Auswirkungen, die mittelfristig unter hohem Aufwand beseitigt werden können (Bsp. Gewässerverschmutzungen oder - begradigungen, Minenfelder, verseuchte Industriegebiete oder Tagebau)	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	ungewiss / unklar	Eigene Darstellung	600	9
127	weniger körperliche Bewegung der Menschen durch fahrerlose Systeme (Gesundheit)	x	Gesundheit	1	1						Betrieb	Einzelperson	keiner	aktiv (Risiko wirkt sich nur auf den Initiierende aus)	1 zugemutete Risiken, denen individuell relativ einfach ausgewichen werden kann (Beispiel Zutaten in Lebensmitteln)	0 Einzelne Personen	1 Versorgungsstufe 2 50-500 Personen (Bsp. Eschede)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	3 mehrere Male pro Tag	Eigene Darstellung	300	1
101	wetterbedingte temporäre Störungen der Technik	x	Funktionsfähigkeit (inkl. Abhängigkeit)	0						1	Betrieb	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	beides (aktiv und passiv- Risiko wirkt sich auf alles aus)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	2 Viele Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	1 kann zu flächiger und/oder relevanter punktueller Reichweite führen (Richter-Magnitude 5-6,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Max-Planck-Gesellschaft... 2015	100	4
154	Widerstand der betroffenen Arbeitskräfte	x	Gesellschaftsqualität und Persönlichkeitsentfaltung	0							Einführung	Spezifische Gruppe (z. B. Nutzende, Menschen mit Behinderung, Kinder,...)	keiner	passiv (andere Menschen werden dem Risiko der anderen Initiierenden ausgesetzt)	2 zugemutete Risiken, denen man nur mit erheblichem Aufwand ausweichen kann (Bsp. Verkehrsunfälle, Bau von Müllverbrennungs-/Atomanlagen)	1 Bestimmte Personengruppen	0 keine bis Versorgungsstufe max. 50 Personen (alltäglicher Schutz)	0 lokal begrenztes Ereignis, das sich mit der Zeit von selbst verflüchtigt	2 Betroffenheit mehrerer oder weiter Gebiete (Richter-Magnitude 7-8,9)	2 Wenige Male pro Jahr bis einmal in 10 Jahren	Kollosche et. al. 2022	200	6

10.6.2 Anlage zu Kapitel 6.6.5.5: Mitwirkende Akteure

[illegible]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).....	29
Abbildung 2-1:	Entwicklung und Einführung von sicherheitsrelevanten Systemen inkl. Assistenz- und Automatisierungssysteme (Auswahl) bei Kfz (eigene Darstellung auf Grundlage von Sonka (25. August 2022)).....	31
Abbildung 2-2:	Definition des fahrerlosen Fahrens im ÖPNV (eigene Darstellung)	33
Abbildung 2-3:	Sensorsysteme (Auswahl) für das automatisierte Fahren (eigene Darstellung auf inhaltlicher Grundlage Eymann (2019) und Hintergrundbild von Thelosen (2025))	34
Abbildung 4-1:	Gliederung des vierten Kapitels (erweiterter Ausschnitt aus Abbildung 1-1)	56
Abbildung 4-2:	Phasen in der Systemtechnik in einem systemtechnischen Vorgehensmodell nach Pahl et al. (2007, S. 18 f.).....	61
Abbildung 5-1:	Gliederung des fünften Kapitels mit Übergang zum Folgekapitel (Ausschnitt aus Abbildung 1-1).....	71
Abbildung 5-2:	Struktur des eigenen Verfahrens (eigene Darstellung nach Anpassung der Systemanalyse von Pahl et al. (2007, S. 19) für eine technische Innovation im Verkehrswesen)	79
Abbildung 5-3:	Angestrebte Vorgehensweise mittels der Synthese mit verschiedenen Systemzuständen (eigene Darstellung).....	85
Abbildung 5-4:	Rolle der Variablen im System (eigene Darstellung auf Grundlage von Vester, 1991, S. 88 und Studiengruppe für Biologie und Umwelt, 1991, S. EM-5)	87
Abbildung 5-5:	Gesamtüberblick zum Verfahrensablauf zur Analyse und Bewertung neuer Technik (eigene Darstellung)	95
Abbildung 6-1:	Aufbau des Verfahrens und der Abschnitte in Kapitel 6 (eigene Darstellung)	97
Abbildung 6-2:	Megatrends mit Wirkung in der Mobilität (eigene Darstellung)	103
Abbildung 6-3:	Übersicht über die Akteure in der Mobilität des autonomen Fahrens (eigene Darstellung)	107
Abbildung 6-4:	Ziele und Fähigkeiten für den ÖPNV in der betrachteten Region (eigene Darstellung).....	111
Abbildung 6-5:	Abgleich der Ziele aus Kapitel 6.2.1 in einer Kriterienmatrix nach Vester (1991) (eigene Bewertung).....	113
Abbildung 6-6:	Erfüllungsgrad der Fahrzeuganforderungen 2018 und 2020 (wichtigste Kann- und Muss-Kriterien, eigene Darstellung auf Grundlage Anlage 10.3.2)	116

Abbildung 6-7:	Infrastrukturmaßnahmen zur Realisierung des Versuchsträgers entlang der Strecken des Testfeldes in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung auf Kartengrundlage boy Strategie und Kommunikation GmbH).....	117
Abbildung 6-8:	Eingesetzter Versuchsträger (Aufnahme: Dominik Pietzko)	118
Abbildung 6-9:	Betrachtetes Zukunftsszenario Z mit fahrerlos fahrenden Minibussen im ÖPNV ländlicher Räume als Ergänzung im Verkehrssystem, rot gestrichelt sind die optionalen Routen und Haltestellen fahrerloser Minibusse gekennzeichnet (eigene Darstellung mit Thelosen, 2025)	120
Abbildung 6-10:	Systemzustände (eigene Darstellung mit Grafikelementen von Thelosen (2025))	122
Abbildung 6-11:	Einflussmatrix zu den Zielen aus Kapitel 6.2 im gewählten System (Kapitel 6.1.4) ergänzt um fahrerloses Fahren (eigene Darstellung auf Grundlage Vester (1991, S. 89))	154
Abbildung 6-12:	Auflistung der Q-Werte (orange) in ihrer Rangfolge vom höchsten zum niedrigsten Wert mit und ohne fahrerlosem Fahren als Ziele im betrachteten System (eigene Darstellung)	156
Abbildung 6-13:	Auflistung der P-Werte (blau) in ihrer Rangfolge vom höchsten zum niedrigsten Wert mit und ohne fahrerlosem Fahren als Ziele im betrachteten System (eigene Darstellung)	157
Abbildung 6-14:	Die aus den Abhängigkeiten ermittelte Rolle der Ziele im definierten System des ÖPNV des ländlichen Raumes gemäß Kapitel 6.2 (eigene Darstellung basierend auf Vester (1991, S. 101))	159
Abbildung 6-15:	Einordnung der Systemwirkung der aus den Kapiteln 6.6.1, 6.6.2 und 6.6.3 gewonnenen Erkenntnisse (eigene Darstellung).....	205
Abbildung 6-16:	Mitwirkende Akteure aus Kapitel 6.1.4 im betrachteten System der fahrerlosen Minibusse im ländlichen Raum (eigene Darstellung auf Grundlage der Abbildung 6-3 und Abbildung 6-15 und den Eingaben in Abbildung 10-36).....	215
Abbildung 8-1:	Aufwandsreduzierte Variante des Verfahrens (eigene Darstellung auf Grundlage des umfangreichen Verfahrens in Abbildung 5-5)	225
Abbildung 10-1:	Entwickelter Haltestellenpodest am Postverteilzentrum in Lauenburg/Elbe aus Kunststoff (eigene Aufnahme)	270
Abbildung 10-2:	Entwickelter mobiler Haltestellenpodest aus u. a. Aluminium in Lauenburg/Elbe aus Aluminium und Holz (eigene Aufnahme).....	270

Abbildung 10-3:	Entwickelter Haltestellenpodest am Kirchplatz in Lauenburg/Elbe aus Holz (eigene Aufnahme)	270
Abbildung 10-4:	Anzahl der Abfahrten des ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg im Jahr 2023 an einem Dienstag (mit/ohne Schulbusse(n)) bzw. Sonntag (eigene Darstellung)	276
Abbildung 10-5:	Räumliche Verteilung aller Abfahrten des ÖPNV im Jahr 2023 an einem Dienstag im Kreis Herzogtum Lauenburg (eigene Darstellung auf Kartengrundlage von OpenStreetMap-Mitwirkende (2020) und Ole Röntgen).....	277
Abbildung 10-6:	Räumliche Verteilung aller Abfahrten des ÖPNV im Jahr 2023 an einem Sonntag im Kreis Herzogtum Lauenburg (eigene Darstellung auf Kartengrundlage von OpenStreetMap-Mitwirkende (2020) und Ole Röntgen).....	278
Abbildung 10-7:	Einzugsradien der Haltestellen im Kreis Herzogtum Lauenburg im Kreis Herzogtum Lauenburg (Fischer, 2020, S. 40)	280
Abbildung 10-8:	Durch die Haltestellenradien in Abbildung 10-7 erschlossene und nicht erschlossene Gebäude im Kreis Herzogtum Lauenburg (Fischer, 2020, S. 40).....	281
Abbildung 10-9:	Antwort auf die Frage zur Erreichbarkeit der Ziele mit Bus und Bahn von zu Hause aus (Umfrage bei Veranstaltung „Sommer des Wissens“: N = 141; Haushaltsbefragung Welle 1: N = 423, Welle 2: N = 238; Fahrgastbefragung N = 94) (eigene Darstellung)	282
Abbildung 10-10:	Bereitschaft zur Wegedauer bis zum Ein- und Ausstiegspunkt bezogen auf Altersklassen, N = 94 (eigene Darstellung auf Grundlage der Fahrgastbefragung im Versuchsträger).....	283
Abbildung 10-11:	Erfüllungsgrad der HVV-Standards an den Haltestellen im Kreis Herzogtum Lauenburg im Jahr 2017 (eigene Darstellung auf Datengrundlage HVV (2023b))	284
Abbildung 10-12:	Bedürfnisse und Hinweise der Menschen mit Behinderung zur Barrierefreiheit des Versuchsträgers (eigene Darstellung auf Grundlage der Auswertung der Workshops).....	290
Abbildung 10-13:	Hinweise der an der Umfrage teilnehmenden Fahrgäste des Versuchsträgers, N = 94 (eigene Darstellung)	291
Abbildung 10-14:	Abstände zum Mittelwert ohne Störungen im Fahrweg, N = 38 (eigene Darstellung).....	292
Abbildung 10-15:	Abstände zum Regelhaltepunkt/-fahrweg (mit einer ausgelösten Notbremsung drei Meter vor dem Haltepunkt in ca. 28 % der Fahrten), N = 56 / 58 (eigene Darstellung).....	292

Abbildung 10-16:	Bewertung allgemeines Fahrerlebnis im Versuchsträger aus „Smiley-Umfrage“ zu Beginn der Fahrgastbefragung, N = 94 (eigene Darstellung).....	297
Abbildung 10-17:	Mittelwerte und Einflussfaktoren des Fahrerlebnisses und Fahrtenkomfort, N = 84 - 93 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021)).....	298
Abbildung 10-18:	Mittelwerte und Einflussfaktoren der Nutzungsbewertung, Sicherheit und Ansprechpartner, N = 93, 93, 92, 90 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021)).....	299
Abbildung 10-19:	Antwort auf die Frage zur Zufriedenheit mit Bus und Bahn in Lauenburg/Elbe (Sommer des Wissens: N = 141; Haushaltsbefragung Welle 1: N = 417 / Welle 2: N = 234) (eigene Darstellung).....	300
Abbildung 10-20:	Bewertung der Attraktivität des Versuchsträgers vor (oben) und während (unten) des Betriebs des Versuchsträgers in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung als Auszug aus Gertz et al., 2021, S. 80).....	301
Abbildung 10-21:	Erwartungshaltung fahrerloser Minibusse gegenüber dem ÖPNV (eigene Darstellung als Auszug aus Gertz et al., 2021, S. 80).....	301
Abbildung 10-22:	Voraussetzungen für die Nutzung von selbstfahrenden Shuttles, maximal drei Kreuze möglich, N = 225 Angaben bei 90 Teilnehmenden (eigene Darstellung auf Grundlage der Fahrgastbefragung in Gertz et al. (2021))	302
Abbildung 10-23:	Darstellung der Unfalltypen mit Personenschaden im GIDAS-Untersuchungsraum <i>außerhalb</i> der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Grundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021)).....	305
Abbildung 10-24:	Analyse der Überschreiten-Unfälle mit Personenschaden (N = 76) nach zweitem Beteiligten neben dem Zufußgehenden im GIDAS-Untersuchungsraum <i>außerhalb</i> der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021))	306
Abbildung 10-25:	Analyse der Überschreiten-Unfälle mit Personenschaden (N = 76) nach individuellen Kriterien im GIDAS-Untersuchungsraum <i>außerhalb</i> der Großstädte Dresden und Hamburg (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021)).....	306
Abbildung 10-26:	Anzahl der Verunglückten (Verletzte und Getötete) nach Altersgruppen der Überschreiten-Unfälle aus dem GIDAS-Untersuchungsraum <i>außerhalb</i> der Großstädte Dresden und Hamburg und dem der Verletzten unter Beteiligung eines Busses im Kreis Herzogtum Lauenburg im Vergleich zur	

	Grundgesamtheit in Deutschland 2021 (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover (16. Juli 2021), Polizeidirektion Ratzeburg, 6. März 2023, Statistisches Bundesamt, Juli 2022)	307
Abbildung 10-27:	Verletzte nach Betroffenen bei Unfällen mit Busbeteiligung im Kreis Herzogtum Lauenburg N = 52 Verletzte (eigene Darstellung auf Datengrundlage Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021)).....	307
Abbildung 10-28:	Vermeintliche Unfallverursachende bezogen auf alle Verletzten (links) / auf die Verletzten im Fahrzeug (rechts) im Kreis Herzogtum Lauenburg gemäß Unfallaufnahme (eigene Darstellung auf Datengrundlage Polizeidirektion Ratzeburg (9. März 2021)).....	308
Abbildung 10-29:	Erwartungshaltung zum künftigen Unfallgeschehen nach befragten Gruppen (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021)).....	308
Abbildung 10-30:	Ergebnisse der Fahrgastbefragung u. a. zum Befinden der Befragten zur Nähe zu anderen Personen im herkömmlichen ÖPNV (Umfrage während der COVID-19-Pandemie durchgeführt; eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021)).....	309
Abbildung 10-31:	Sicherheitsempfinden der Fahrgäste nach der Mitfahrt im TaBuLaShuttle als Ergebnis der Fahrgastbefragung (eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021)).....	310
Abbildung 10-32:	Ergebnisse aus den Befragungen zum Wohlfühlgefühl zu einer Fahrt ohne fahrzeugsteuernde Person (N = 82+59+94+434+240+141 = 1.050; eigene Darstellung auf Datengrundlage Gertz et al. (2021) und Mantel (2021)).....	311
Abbildung 10-33:	Mittelwerte aus den Befragungen zum Wohlfühlgefühl zu einer Fahrt ohne fahrzeugsteuernde Person, N = 94 (Gertz et al. (2021) und Mantel (2021))	311
Abbildung 10-34:	Bereitschaft zur Annahme einer Tätigkeit im Bereich autonomer Busverkehr unter Beschäftigten bei Busbetrieben (eigene Darstellung auf Grundlage Gertz et al. (2021))	313
Abbildung 10-35:	Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse für Hin- und Rückweg zwischen Wohnort und Supermarkt (Start am Wohnort an einem Dienstag außerhalb der Ferien um 8 Uhr) (Quelle: Ole Röntgen mit Datengrundlage von Gertz et al. (2021) und Peter (2021), Kartengrundlage: OpenStreetMap-Mitwirkende (2020)).....	317
Abbildung 10-36:	Einflussmatrix zu Akteuren und Fähigkeiten im betrachteten System (eigene Darstellung).....	327

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Übersicht über die Suchkriterien zur Auswahl der Verfahren und Methoden in der Literaturrecherche (eigene Darstellung).....	57
Tabelle 4-2:	Auswertung ausgewählter Verfahren.....	59
Tabelle 5-1:	Zusammenfassung der anzustrebenden Grundsätze zur Bewertung einer Technik (eigene Darstellung).....	73
Tabelle 5-2:	Zusammenstellung der Erkenntnisse und Lösungsansätze (eigene Darstellung).....	73
Tabelle 5-3:	Kriterien für die Risikobewertung (eigene Darstellung)	89
Tabelle 6-1:	Betrachtete Systemzustände (eigene Darstellung).....	121
Tabelle 6-2:	Vorliegende eigene Analysedaten (eigene Darstellung).....	123
Tabelle 6-3:	Legende für die Bewertung der Zielfelder (eigene Darstellung)	125
Tabelle 6-4:	Bewertung des Zielfeldes Erschließungsqualität, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	127
Tabelle 6-5:	Bewertung des Zielfeldes Beförderungsstandard, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	131
Tabelle 6-6:	Bewertung des Zielfeldes Handhabbarkeit, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	132
Tabelle 6-7:	Bewertung des Zielfeldes Sicherheit, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	136
Tabelle 6-8:	Bewertung des Zielfeldes Arbeitsbedingungen, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	138
Tabelle 6-9:	Bewertung des Zielfeldes Umwelt und Ressourcen, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	141
Tabelle 6-10:	Bewertung des Zielfeldes Effizienz und Effektivität, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	144
Tabelle 6-11:	Bewertung des Zielfeldes Zeitaufwand, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	145
Tabelle 6-12:	Bewertung des Zielfeldes Wohlstand, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	146
Tabelle 6-13:	Bewertung des Zielfeldes Funktionsfähigkeit, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	147
Tabelle 6-14:	Bewertung des Zielfeldes Weitere Ziele, Legende in Tabelle 6-3 (eigene Darstellung).....	150
Tabelle 6-15:	Kurzübersicht über die Zielerreichung der in Kapitel 6.6.1.1 betrachteten Systemzustände (eigene Darstellung).....	151
Tabelle 6-16:	Liste der aggregierten (negativen) Risiken (ohne Rangfolge, eigene Darstellung)	162

Tabelle 6-17:	Von den Befragten am häufigsten genannte Risiken (Auszug aus Tabelle 10-11, eigene Darstellung).....	167
Tabelle 6-18:	In den Haushaltsbefragungen in Lauenburg/Elbe (vorher/nachher) genannte Risiken aus N = 303 (vorher) bzw. N = 115 (nachher) bezogen auf alle genannten Gefahren, Sortierung nach Häufigkeit der Nennungen (eigene Darstellung)	169
Tabelle 6-19:	Rangfolge des Schadensausmaßes von negativen Risiken (Auszug aus Tabelle 10-11, eigene Darstellung).....	172
Tabelle 6-20:	Risiken mit hohem Ungerechtigkeitsfaktor (Auszug für U = 9 aus Tabelle 10-11 ohne Rangfolge, eigene Darstellung).....	174
Tabelle 6-21:	Übersicht über verschiedene Verkehrsmittel <i>ohne</i> Relevanz in der Alltagsmobilität (Auswahl) (eigene Darstellung, auf Basis der Recherche und Quellen im Fließtext).....	190
Tabelle 6-22:	Analogiebildung zu anderen Verkehrsmitteln (eigene Darstellung)	193
Tabelle 6-23:	Zusammenführung der Ergebnisse aus der Bewertung (eigene Darstellung)	198
Tabelle 10-1:	Ziele für ÖPNV im Kreis Herzogtum Lauenburg <i>aus Fahrgastsicht</i> (Yomi, 22. September 2022)	250
Tabelle 10-2:	Zielsystem (eigene Darstellung auf Basis der verschiedenen angegebenen Quellen)	251
Tabelle 10-3:	Zielkategorien, Indikatoren und Externer Einfluss zu den Zielen aus Tabelle 10-2 (eigene Darstellung).....	252
Tabelle 10-4:	Kriterien zur technischen Machbarkeit des Versuchsträgers (eigene Darstellung auf Daten aus Gertz et al. (2021)).....	254
Tabelle 10-5:	Zusammensetzung der Befragungen im Zuge des Projektes TaBuLa (eigene Darstell. auf Grundlage Gertz et al., 2021, S. 68).....	262
Tabelle 10-6:	Übersicht über die durchgeführten ExpertInnen- und Fokusgruppenworkshops (eigene Darstellung).....	265
Tabelle 10-7:	Haltestellen mit Ausbaustandard bzw. Ausbauvarianten im Testfeld (eigene Darstellung)	293
Tabelle 10-8:	Polizeilich erfasste Unfälle im Kreis Herzogtum Lauenburg 2016-2020 (eigene Darstellung auf Grundlage Polizeidirektion Ratzeburg, März 2021; Polizeidirektion Ratzeburg, 9. März 2021; Polizeidirektion Ratzeburg, 6. März 2023)	303
Tabelle 10-9:	Im GIDAS erfasste Unfälle mit Personenschäden (eigene Darstellung auf Datengrundlage Medizinische Hochschule Hannover, 16. Juli 2021)	304

Tabelle 10-10:	Kosten pro Fahrplankilometer in den unterschiedlichen Systemzuständen für den Betrieb des ÖPNV im Testfeld in Lauenburg/Elbe (eigene Darstellung auf der Grundlage von Grote und Röntgen (2021)).....	316
Tabelle 10-11:	Risiken und deren eigene Bewertung (eigene Darstellung)	321

Literaturverzeichnis

- ABE, R., 2019. Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems [online]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126, 94-113. ISSN 09658564. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.06.003>
- ADAC, 2018. *Mobil auf dem Land: Die große ADAC Umfrage* [online]. 26. November 2018 [Zugriff am: 22. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/mobilitaets-trends/monitor-land/>
- ADAC, 2023. *Alle Autokosten von A bis Z* [online]. *1500 Modelle im Kostencheck*. 14. April 2023 [Zugriff am: 23. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/uebersicht/>
- AEG WESTINGHOUSE TRANSPORTATION SYSTEMS, INC., Hg., 1986. *The C-45 Automated People Mover*.
- AGORA VERKEHRSWENDE, 2020. *Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität* [online] [Zugriff am: 9. November 2021]. Verfügbar unter: <http://www.agora-verkehrswende.de>
- AGORA VERKEHRSWENDE, 2023. *Mobilitätsoffensive für das Land. Wie Kommunen mit flexiblen Kleinbussen den ÖPNV von morgen gestalten können*. Leitfaden.
- AHRENS, D., Hg., 2023. *Smart Region Angewandte digitale Lösungen für den ländlichen Raum. Best Practices aus den Modellprojekten „Digitales Dorf Bayern“*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-38236-0.
- ANTONIALLI, F., 2021. Autonomous shuttles for collective transport: a worldwide benchmark [online]. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 21(1/2), 5. ISSN 1470-9511. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1504/IJATM.2021.113349>
- ASTRA, B.f.S., 2022. *Studien und Berichte zur intelligenten Mobilität und zum automatisierten Fahren* [online]. 9. November 2022 [Zugriff am: 9. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/intelligente-mobilitaet/studien-und-berichte.html>
- AVEN, T. und J.E. VINNEM, 2007. *Risk Management. With Applications from the Offshore Petroleum Industry*. London: Springer. Springer Series in Reliability Engineering. ISBN 9781846286537.
- AXHAUSEN, K.W., C. LIVINGSTON, S. HÖRL, F. BRUNS, R. FISCHER und B. TASNÁDY, 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf. Forschungsprojekt ASTRA 2018/002 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) = Effets de la conduite automatisée; sous-projet 2; impacts sur le trafic et besoins en infrastructures = Impacts of automatic driving; subproject 2; traffic impacts and infrastructure needs* [online]. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1683 [Zugriff am: 17. Juli 2024]. Verfügbar unter: <https://www.mobilityplatform.ch/de/research-data-shop/product/1683>

- BARDT, H., 2016. Deutsche Autoindustrie und autonomes Fahren [online]. *Wirtschaftsdienst*, 96(10), 776-778. ISSN 0043-6275. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1007/s10273-016-2048-3>
- BAUER, G., 2015. *Natürliche Experimente in den Sozialwissenschaften. Ein Überblicksartikel mit ausgewählten Beispielen* [online]. Ludwig-Maximilians-Universität München. München [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/gerrit-bauer/publication/299950620_natuerliche_experimente_in_den_sozialwissenschaften/n/links/57615a3208ae2b8d20ed5647/natuerliche-experimente-in-den-sozialwissenschaften.pdf
- BECK, S., 2017. *Autonomes Fahren. Rechtsfolgen, Rechtsprobleme, technische Grundlagen*. München: C.H. Beck. ISBN 9783406702662.
- BECKER, K., 1972. Erfüllt das Nahverkehrssystem "Cabinentaxi" die an ein modernes städtisches Verkehrssystem zu stellenden Anforderungen? [online]. In: *NAHVERKEHRS-PRAXIS* [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1079806>
- BECKERS, T., 2018. Werte [online]. In: J. KOPP und A. STEINBACH, Hg. *Grundbegriffe der Soziologie*. 12. Auflage. Wiesbaden: Springer VS, S. 507-511. ISBN 978-3-658-20978-0 [Zugriff am: 15. Februar 2025]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-20978-0_98
- BEECROFT, R., 2020. *Das Reallabor als transdisziplinärer Rahmen zur Unterstützung und Vernetzung von Lernzyklen*.
- BENZAGHTA, M.A., A. ELWALDA, M. MOUSA, I. ERKAN und M. RAHMAN, 2021. SWOT analysis applications: An integrative literature review [online]. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), 55-73. ISSN 2640-6470. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>
- BERGER, M. und F. DORNER, 2018. Community-based mobility: a transport option for rural areas? [online]. In: *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA* [Zugriff am: 17. Juli 2024]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/64843>
- BERGER, M., K. FALLAST, M. FELLENDORF, G. KOVACIC, G. MAIERBRUGGER, S. NOVAK, M. PLATZER, M. SCHRENK, H. SCHROM-FEIERTAG und W. WASSERBURGER, 2011. Planungswerkzeuge in Raum- und Verkehrsplanung – quo vadis? In: *Change for stability - lifecycles of cities and regions. The role and possibilities of foresighted planning in transformation processes; proceedings of 16th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society; Beiträge zur 16. Internationalen Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft; [18 - 20 May 2011, SANAA Building, Zollverein World Heritage Site, Essen, Germany; Tagungsband*. Schwechat-Rannersdorf: CORP Competence Center of Urban and Regional Planning. ISBN 978-3-9503110-0-6.
- BERGER, M., L. DÖRRZAPF, F. DORNER und M. MITTEREGGER, 2017. Urbane Mobilitätslabore als Katalysatoren für Innovation [online]. In: *Querschnitt. Publikation zum Forschungstag 2016/17 der Fakultät für Architektur und Raumplanung*. Erste Auflage. Wien: TU Wien, architektur + raumplanung, S. 266-267. ISBN 9783902707321 [Zugriff am: 14. September 2024]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/29685>

- BERGK, F., W. KNOERR und U. LAMBRECHT, 2017. Klimaschutz und Verkehr: neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen - Teilbericht des Projekts "Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050" (UBA-FB 002355/2) [online]. In: *UMWELTBUNDESAMT, TEXTE* [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1482058>
- BERNHART, W., H. KAISE, Y. OHASHI, T. SCHÖNBERG und L. SCHILLES, 2018a. *Reconnecting the rural with autonomous driving. Self-driving vehicles could be the key to reconnecting the countryside, part of the mobility solution for people living in rural areas.* [online]: Roland Berger GmbH [Zugriff am: 10. August 2018]. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=toSve-duN_E
- BERNHART, W., H. KAISE, Y. OHASHI, T. SCHÖNBERG und L. SCHILLES, 2018b. *Reconnecting the rural: Autonomous driving as a solution for rural mobility* [online]. *Self-driving vehicles could be the key to reconnecting the countryside, part of the mobility solution for people living in rural areas.* [Zugriff am: 30. Juli 2018]. Verfügbar unter: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Reconnecting-the-rural-Autonomous-driving.html>
- BG VERKEHR, 2022. *Konflikte und Überfälle* [online]. 2022 [Zugriff am: 15. August 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bg-verkehr.de/arbeits-sicherheit-gesundheit/branchen/taxi/konflikte-und-ueberfaelle>
- BKB, o. D. *Barrierefreiheit für Menschen mit kognitiven Einschränkungen - Kriterienkatalog.* Bundeskompetenzzentrum Barrierefreiheit e. V. Berlin.
- BLAU, H., S. EICKER, A. HOFMANN und T. SPIES, 2007. *Reifegradüberwachung von Software* [online]. Essen: Universität Duisburg-Essen, Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik (ICB). ICB-Research Report. 20 [Zugriff am: 13. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/58161>
- BLESSING, L.T. und A. CHAKRABARTI, 2009. *DRM, a Design Research Methodology.* London: Springer London. ISBN 9781848825864.
- BMDV, 2020. *Automatisiertes und vernetztes Fahren im Überblick* [online]. 15. Juli 2020 [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>
- BMDV, 2022. *Förderrichtlinie „Autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehrsmitteln“* [online]. 2. September 2022, 12:00.
- BMDV, Hg., 2021. *Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR)* [online] [Zugriff am: 14. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html>
- BMDV, Hg., Dezember 2024. *Die Zukunft fährt autonom. Strategie der Bundesregierung für autonomes Fahren im Straßenverkehr* [online]. Bundesministerium für Digitales und Verkehr [Zugriff am: 30. Dezember 2024]. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/die-zukunft-faehrt-autonom.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI, 2016a. *Förderrichtlinie „Automatisiertes und vernetztes Fahren“.* 14. Dezember 2016, 12:00.
- BMVI, 2016b. *Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen* [online]. *Planungsleitfaden für Handlungsmöglichkeiten von ÖPNV-Aufgabenträgern und*

- Verkehrsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte flexibler Bedienungsformen* [Zugriff am: 20. August 2018]. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI, 2019. *Förderrichtlinie „Ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Mobilitätssystem durch automatisiertes Fahren und Vernetzung“*. 25. Februar 2019, 12:00.
- BMVI. *BMVI wählt 12 Modellprojekte zur Stärkung des ÖPNV aus*, 2021. Berlin [Zugriff am: 4. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/107-scheuer-modellprojekte-staerkung-oepnv.html>
- BÖCKLER, GROTE, WOLF, 2021. *Genehmigungsprozesse beim Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg/Elbe*. Böckler, Liss; Grote, Matthias; Wolf, Julia [online]. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. ECTL working paper. 53 [Zugriff am: 19. Oktober 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.3498>
- BÖCKLER, L. und R. MUSIALIK, 2022. Handlungsempfehlungen zur barrierefreien Nutzbarkeit von autonom fahrenden Straßenfahrzeugen im ÖPNV. *Journal für Mobilität und Verkehr*, (12), 24-35. *Journal für Mobilität und Verkehr*.
- BÖCKLER, L., M. FRIEBE, H. MICHELMANN, R. MUSIALIK, L. STOHR, J. WOLF und A. ZIELINSKI, 2022. *Konzept zur Barrierefreiheit und sozialen Akzeptanz von autonom fahrenden Bussen. Verbundprojekt Ride4All*. [Zugriff am: 27. Dezember 2025]. Verfügbar unter: <https://www.nav4blind.de/projekte/ride4all>
- BÖHRINGER, D., 2020. „Vollständig barrierefreie“ Bushaltestellen – Teil 1 [online]. *V+T Verkehr und Technik*, (11). V+T Verkehr und Technik. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.37307/j.1868-7911.2020.11.03>
- BÖRJESSON, M., C.M. FUNG und S. PROOST, 2020. How rural is too rural for transit? Optimal transit subsidies and supply in rural areas [online]. *Journal of Transport Geography*, 88. ISSN 09666923. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102859>
- BORMANN, R., P. FINK, H. HOLZAPFEL, S. RAMMLER, T. SAUTER-SERVAES, H. TIEMANN, T. WASCHKE und B. WEIRAUCH, Hg., 2018. *Die Zukunft der deutschen Automobilindustrie. Transformation by Disaster oder by Design?* Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik. WISO Diskurs. 2018, 03. ISBN 9783962500528.
- BÖSCH, P.M., F. BECKER, H. BECKER und K.W. AXHAUSEN, 2018. Cost-based analysis of autonomous mobility services [online]. *Transport Policy*, 64, 76-91. ISSN 0967070X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- BÖSCHEN, S. und H.-J. SIGWART, 2020. Demokratisierung von Technikfolgenabschätzung? [online]. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 29(3), 18-23. ISSN 2568-020X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/tatup.29.3.18>
- BÖSCHEN, S., A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, 2021a. Technikfolgenabschätzung. Neue Zeiten, neue Aufgaben. In: S. BÖSCHEN, A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, Hg. *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Baden-Baden: Nomos, S. 15-42. ISBN 9783848760701.

- BÖSCHEN, S., A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, Hg., 2021b. *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Baden-Baden: Nomos. Edition sigma. ISBN 9783848760701.
- BÖSCHEN, S., M. SOTOUEH und V. STELZER, 2019. Indikatorenarbeit [online]. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 28(1), 45-51. ISSN 2568-020X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/tatup.28.1.45>
- BRANDT, S., 2013. *Datenanalyse für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Mit statistischen Methoden und Java-Programmen*. 5. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer spektrum. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-642-37663-4.
- BREIING, A. und R. KNOSALA, 1997. *Bewerten technischer Systeme. Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Berlin: Springer. ISBN 3642639089.
- BREIMEIER, R., 2003. Transrapid - Aufbruch in ein neues Bahnzeitalter? / Transrapid - the emergence of a new rail era? *Internationales Verkehrswesen*, 55(5), 203-211. Internationales Verkehrswesen.
- BRENNER, J., 2001. Verkehr im Spannungsfeld zwischen Fortschritt und Alimentierung. Zehn Thesen als Fazit des Workshops. In: M. STEIERWALD, Hg. *Streitfragen im Verkehrswesen. Verkehr im Spannungsfeld zwischen Fortschritt und öffentlicher Alimentierung; Ergebnisse des Workshops XIII im Themenfeld Verkehr und Raumstruktur*. Stuttgart: Akad. für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, S. 107-123. ISBN 3-934629-40-7.
- BRÖCHLER, S. und G. SIMONIS, 1998. Konturen des Konzeptes einer innovationsorientierten Technikfolgenabschätzung und Technikgestaltung [online]. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 7(1), 31-40. ISSN 2568-020X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/tatup.7.1.31>
- BRUCK, E.M., 2020. *Planungsansätze für eine proaktive Gestaltung urbaner Zukünfte mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen. Einblick in die Dissertation von Emilia Bruck*. In: AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. Mitteregger et. al., 2020.
- BRUNS, F., 2019. *Technikfolgenabschätzung der Automatisierung im Verkehr* [online]. Dornbirn, 2019. 1. DACH Kongress Wachsende Verkehrsströme - Ausweg durch neue Technologien? [Zugriff am: 16. September 2022]. Verfügbar unter: https://www.oevg.at/fileadmin/user_upload/Editor/Dokumente/Veranstaltungen/2019/DACH_Wachsende_Verkehrsstroeme/bruns.pdf
- BÜLLINGEN, F., Hg., 1997. *Die Genese der Magnetbahn Transrapid. Soziale Konstruktion und Evolution einer Schnellbahn*. Zugl.: Bielefeld, Univ., Diss., 1996. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. DUV Sozialwissenschaft. ISBN 978-3-8244-4213-3.
- BULLINGER, H.-J., Hg., 1994. *Technikfolgenabschätzung (TA)*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. Springer eBook Collection Computer Science and Engineering. ISBN 9783322871930.
- BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ, Hg., 2003. *KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes*. [Zugriff am 27.12.2025]. Verfügbar unter: <https://www.babs.admin.ch>
- BUNDEINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG, 2020. *Raumbbeobachtung - Laufende Raumbbeobachtung – Raumabgrenzungen* [online]. 2. Juli 2020 [Zugriff am: 16. Januar 2023]. Verfügbar unter:

- <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/regionen/siedlungsstrukturelle-regionstypen/regionstypen.html>
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ, 2023. *Ergebnisse für Suchbegriff „Autonomes Fahren“ im Bundesanzeiger* [online] [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/suchen2?11>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES, Hg., 2020. *Versorgungsmedizin-Verordnung (VersMedV). Versorgungsmedizinische Grundsätze*. Referat Information, Monitoring, Bürgerservice, Bibliothek. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2022. *Kopernikus-Projekte: Startseite* [online]. 11. November 2022 [Zugriff am: 11. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.kopernikus-projekte.de/>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR, Hg., Oktober 2022. *Urbane Seilbahnen im öffentlichen Nahverkehr* [online]. Berlin [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Mobilitaet/OEPNV/Urbane-Seilbahnen/urbane-seilbahnen.html>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, Hg., Juli 2019. *Freiräume für Innovationen. Das Handbuch für Reallabore*. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, 2022. *Reallabore* [online]. *Testräume für Innovation und Regulierung*. 29. September 2022 [Zugriff am 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/reallabore-testraeume-fuer-innovation-und-regulierung.html>
- Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen e.V. (bdo). *Gravierender Mangel an Lkw- und Busfahrer:innen - Pressemeldungen - bdo.org*, 23. Februar 2023. [Zugriff am: 27. Dezember 2025]. Verfügbar unter: <https://www.bde.de/presse/gravierender-mangel-lkw-und-busfahrerinnen/>
- BUSCH, F., S. KRAUSE, F. FEHN, M. RICHNER, S. ARMBRUSTER und T. WINZER, Oktober 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 5 Mischverkehr. Forschungsprojekt ASTRA auf Antrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA*. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1684.
- CACILO, A. und M. HAAG, 2018. *Beschäftigungswirkungen der Fahrzeugdigitalisierung. Wirkungen der Digitalisierung und Fahrzeugautomatisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung* [online]. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. Forschungsförderung. Nr. 406 (November 2018). ISBN 978-3-86593-319-5 [Zugriff am: 16. März 2024]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10419/194158>
- CANZLER, W. und A. KNIE, 2022. Den öffentlichen Verkehr neu erfinden: Autonome Flotten statt Linienbusse. In: P. ECKART, K. VÖCKLER, M. KNÖLL und M. LANZENDORF, Hg. *Mobility Design. Die Zukunft der Mobilität gestalten Band 2: Forschung*. Berlin: JOVIS Verlag GmbH, S. 188-197. ISBN 9783868597936.
- CANZLER, W. und A. KNIE, 2023a. Den öffentlichen Verkehr neu erfinden: Autonome Flotten statt Linienbusse [online]. *Mobility Design: Die Zukunft der Mobilität gestalten.*, 188-197. Mobility Design: Die Zukunft der Mobilität gestalten. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1515/9783868597936-018>

- CANZLER, W. und A. KNIE, 2023b. The Next Big Thing: Autonome Shuttles als neuer öffentlichen Nahverkehr. Perspektiven und Probleme der Implementierung. In: D. SACK, H. STRAßHEIM und K. ZIMMERMANN, Hg. *Renaissance der Verkehrspolitik. Politik- und mobilitätswissenschaftliche Perspektiven*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer VS, S. 383-404. ISBN 978-3-658-38832-4.
- CANZLER, W., 1999. Zur Adoption freigegeben: Verkehrstelematik und die Zukunft des Autoverkehrs [online]. In: R. BUHR, Hg. *Bewegende Moderne. Fahrzeugverkehr als soziale Praxis*. Berlin: edition sigma, S. 73-104. ISBN 3894041889 [Zugriff am: 8. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/122704/1/209589.pdf>
- CANZLER, W., A. KNIE und L. RUHRORT, 2019. *Autonome Flotten. Mehr Mobilität mit weniger Fahrzeugen* [online]. München: oekom verlag. ISBN 9783962386429 [Zugriff am: 30. November 2022]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6389389>
- CHEN, T.D., K.M. KOCKELMAN und J.P. HANNA, 2016. Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions [online]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 243-254. ISSN 09658564. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.020>
- CLARK, A.V., C. ATKINSON-PALOMBO und N.W. GARRICK, 2019. The Rise and Fall of the Segway [online]. *Transfers*, 9(2), 27-44. ISSN 2045-4813. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3167/TRANS.2019.090203>
- COLLINGRIDGE, D., 1982. *The social control of technology*. Repr. London: Pinter [u.a.]. ISBN 0903804727.
- COUSIN, V. und V. ALEXANDRE, 3. April 2023. Vote contre les trottinettes en libre-service à Paris: les résultats, arrondissement par arrondissement [online]. *Le Parisien* [Zugriff am: 20. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.leparisien.fr/paris-75/vote-contre-les-trottinettes-en-libre-service-a-paris-les-resultats-arrondissement-par-arrondissement-03-04-2023-AR3P74SUQ5CWXC7M26YKV45UPM.php>
- DASEN, S. und H. BRÄNDLI, 1999. *Carpools im Spannungsfeld mit dem öffentlichen Personenverkehr* [online] [Zugriff am: 24. November 2022]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000047961>
- DECKER, M., 2007. *Angewandte interdisziplinäre Forschung in der Technikfolgenabschätzung*. Bad Neuenahr-Ahrweiler: Europ. Akad. zur Erforschung von Folgen Wiss.-Techn. Entwicklungen. Graue Reihe. 41.
- DEL DUCE, A., T. TRACHSEL und R. HOERLER, August 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 6 Räumliche Auswirkungen. Forschungsprojekt ASTRA 2018006 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)*. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1680.
- DER SPIEGEL, 12. Dezember 1993. Transrapid: "Das ist eine Illusion" [online]. *DER SPIEGEL* [Zugriff am: 24. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/wirtschaft/das-ist-eine-illusion-a-f0454a05-0002-0001-0000-000013693244>

- DETTLING, D., 2022. Megatrend Silver Society [online]. In: *Demografie, Wohnen, Immobilien*: Springer Gabler, Wiesbaden, S. 21-30 [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-38012-0_2
- DEUTSCH, V., 2018. Autonome Betriebsformen in einem erweiterten ÖPNV-Markt. Öffentlicher Verkehr. *Straßenverkehrstechnik*, (04). Straßenverkehrstechnik.
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT, 2022. Guidelines for Safeguarding Good Research Practice. Code of Conduct [online]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3923601>
- DEVINE-WRIGHT, P., 2005. Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy [online]. *Wind Energy*, 8(2), 125-139. ISSN 1095-4244. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1002/we.124>
- DIAZ-BONE, R., 2015. *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: Springer VS. SpringerLink Bücher. ISBN 978-3-531-16629-2.
- DIENEL, H.-L. und H. TRISCHLER, Hg., 1997. *Geschichte der Zukunft des Verkehrs. Verkehrskonzepte von der Frühen Neuzeit bis zum 21. Jahrhundert* [online]. Frankfurt am Main: Campus Verlag. ISBN 3-593-35766-6 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: https://zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2017-3/schmucki_1997.pdf
- DIN 13050:2021-10. *Begriffe im Rettungswesen*, 2021. Berlin: Beuth Verlag GmbH. 01.040.11,11.160.
- DIN 13278:2022-05, *Smarte Mobilität für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen - Funktionale Ansätze*, 2022. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 18040:2010. *Barrierefreies Bauen*, 2010. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 32975:2009. *Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung*, 2009: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 13816:2002-07, *Transport - Logistik und Dienstleistungen - Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität; Deutsche Fassung EN_13816:2002*, 2002. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DOLL, C. und K. KRAUSS, 2022. *Nachhaltige Mobilität und innovative Geschäftsmodelle* [online]. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Studie zum deutschen Innovationssystem. 10-2022 [Zugriff am: 26. August 2023]. Verfügbar unter: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2022/presseinfo-07-efi-3-carsharing-ridepooling-deutschland-foerderun.html>
- DONGES, E., 2015. Fahrerhaltensmodelle. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. ISBN 9783658057336.
- DÖRING, N. und J. BORTZ, 2016. *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- DPA, 10. Juli 2020. Segway ist am Ende: Von der Revolution zum Superflop [online]. *Handelsblatt* [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/stehroller-von-der-revolution-zum-superflop-der-segway-ist-am-ende/25993142.html>
- DREBLER, A., J. GRIPPENKOVEN, M. JIPP, K. LHME und U. DREWITZ, 2019. Secure, helpful, lovable. Incorporating user needs in the design of autonomous vehicles systems for public transport. User-centered design, User experience, Autonomous shuttles,

- Demand-responsive transport, Mobility as a service. *International Transportation*, 71(1), 22-25. International Transportation.
- EBEL, G., 2013. Verkehr – Auswirkungen auf Raum und Mensch [online]. In: *Verkehrs- und Transportlogistik*: Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, S. 15-20 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-34299-1_3
- EDELMANN, M. und S. ZIMMER, 2014. *Autonomous driving from the perspective of history and technology assessment. Working Report* [online] [Zugriff am: 7. August 2022]. Verfügbar unter: https://t2m.org/wp-content/uploads/2014/09/M%20Edelmann%20&%20S%20Zimmer_Autonomous%20driving.pdf
- EHRENSPIEL, K. und H. MEERKAMM, 2009. *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 3. Auflage. München: Hanser.
- EICHMANN, V., Hg., 2006. *Umweltfreundlicher, attraktiver und leistungsfähiger ÖPNV. Ein Handbuch*. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin. Arbeitshilfe / Deutsches Institut für Urbanistik. UBA-FB-000860.
- EISINGER, A., E.-M. KOPF, M. PETER, S. UFFER, M. BERGER, R. SCHEUVENS, F. PÜHRINGER, V. SANDER, M. MITTEREGGER und A. SOTEROPOULOS, 2023. *Räumlich-differenzierte Auswirkungen des automatisierten Fahrens. Forschungsprojekt MB4_20_00A_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Mobilität 4.0. (MB4)* [online]. Bundesamt für Strassen [Zugriff am: 16. Juli 2024]. Verfügbar unter: <https://www.tuwien.at/ar/raum/aktuelles/news-detail/news/projektergebnisse-raeumlich-differenzierte-auswirkungen-des-automatisierten-fahrens>
- ENZWEILER, K., S. KIND und T. JETZKE, 2018. *Autonomer Güterverkehr auf Straßen, Schienen und Wasserwegen*.
- ETSCHBERGER, K., W. MUECKLI und D. KLAMT, 1977. Bedarfsgesteuerte Bussysteme in USA und Kanada [online]. In: ERICH SCHMIDT VERLAG GMBH & CO. KG, Hg. *Verkehr und Technik, Volume 30, 1977*, S. 48-51 [Zugriff am: 23. November 2022]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1051106>
- EUROPEAN COMMISSION, 2021. *Horizon Europe* [online]. *The EU Research & Innovation Programme 2021 - 27*. 19. März 2021 [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en
- EYMANN, G., 2019. *Automatisiertes Fahren: Sensortechniken im Check* [online]. 7. Mai 2019 [Zugriff am: 24. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/news/detail/automatisiertes-fahren-sensortechniken-im-check>
- FAHRMEIR, L., C. HEUMANN, R. KÜNSTLER, I. PIGEOT und G. TUTZ, 2016. *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse*. 8. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer spektrum. SpringerLink Bücher. ISBN 9783662503720.
- FEHLBERG, H., 2022. Effects of automated driving – A framework for action. In: SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN SATW, Hg. *Autonomes Fahren. Ein Treiber zukünftiger Mobilität.*, S. 98-106.
- FGSV VERLAG GMBH, 2023. *Inhaltsübersichten* [online]. 1. Dezember 2025 [Zugriff am: 27. Dezember 2025]. Verfügbar unter: <https://www.fgsv-verlag.de/inhaltsuebersicht>

- FGSV, 1997. *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS). Aktualisierung der RAS-W 86* [online]. Entwurf. FGSV [Zugriff am: 8. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://books.google.de/books?id=TZBnyAEACAAJ>
- FGSV, 2006. *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06)*. Köln: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV, 2009. *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. RIN*. Ausgabe 2008. Köln: FGSV Verlag GmbH. FGSV R1 - Regelwerke. 121. ISBN 9783939715795.
- FGSV, 2010a. *Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs*. Köln: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV, 2010b. *Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung*. Ausgabe 2010. Köln: FGSV-Verlag. FGSV W1 - Wissensdokumente. 153. ISBN 9783941790421.
- FGSV, 2011. *Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen. H BVA*. Ausg. 2011. Köln: FGSV Verlag GmbH. FGSV W1 - Wissensdokumente. 212. ISBN 9783941790797.
- FGSV, 2012. *Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M Uko*: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV, 2013a. *Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs. EAÖ*. Ausg. 2013. Köln: FGSV Verlag GmbH. FGSV R2 - Regelwerke. 289. ISBN 9783864460548.
- FGSV, 2013b. *Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung*. Ausg. 2013. Köln: FGSV-Verl. FGSV W1 - Wissensdokumente. 162. ISBN 9783864460586.
- FGSV, 2017. *Empfehlungen für einen verlässlichen öffentlichen Verkehr*. Ausgabe 2017. FGSV Verlag GmbH. Köln. FGSV R2 - Regelwerke. FGSV 166.
- FGSV, 2018. *Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse. EVP*. Ausgabe 2018. Köln: FGSV Verlag GmbH. FGSV R2 - Regelwerke. 116. ISBN 9783864462085.
- FGSV, 2020. *Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen. BBSV* [online]. Stand Juni 2020. Köln: FGSV Verlag GmbH. FGSV. 005/1 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.fgsv-verlag.de/bbsv-digital>
- FISCHER, S., 2020. *Implementierung von autonom fahrenden Kleinbussen mit den notwendigen Haltepunkten in den ÖPNV des Kreises Herzogtum Lauenburg. Analyse am Beispiel des Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa) in Lauenburg/Elbe*. Bachelorarbeit. Hamburg.
- FLÄMIG, H., 2015. Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: M. MAURER, J.C. GERDES, B. LENZ und H. WINNER, Hg. *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 377-398. ISBN 9783662458532.
- FLEISCHER, T. und J. SCHIPPL, 2018. Automatisiertes Fahren [online]. Fluch oder Segen für nachhaltige Mobilität? *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 27(2). ISSN 2568-020X [Zugriff am: 19. Oktober 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.10>
- FLEISCHER, T., M. PUHE und J. SCHIPPL, 2022. Autonomes Fahren und soziale Akzeptanz: konzeptionelle Überlegungen und empirische Einsichten [online]. *Journal für Mobilität und Verkehr*, (12), 9-23. Journal für Mobilität und Verkehr [Zugriff am: 19. Oktober 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.34647/jmv.nr12>
- FLEISCHER, T., S. MEYER-SOYLU, J. SCHIPPL und M. DECKER, 2019. Personal aerial transportation systems (PATs) – A potential solution for the urban mobility

- challenges? [online]. *Futures*, 109, 50-62. ISSN 0016-3287 [Zugriff am: 1. Mai 2019]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.03.006>
- FOLJANTY, L. und T.C. DUONG, 2016a. Autonomes Fahren - Chancen, Herausforderungen und Handlungsfelder fuer öffentliche Akteure [online]. In: DVV MEDIA GROUP GMBH, Hg. *Internationales Verkehrswesen*, S. 46-48 [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1466484>
- FOLJANTY, L. und T.C. DUONG, 2016b. Autonomes Fahren - Game Changer fuer die Zukunft der Mobilität. Eine einstige Utopie wird Realität [online]. In: DVV MEDIA GROUP GMBH, Hg. *Internationales Verkehrswesen*, S. 62-65 [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1426512>
- FOLLMER, R., T. PIRSIG, J. BELZ, T. BRAND, J. EGGS, B. ERMES, D. GRUSCHWITZ, J. KELLERHOFF und M. ROGGENDORF, 2019. *Mobilität in Deutschland – MiD Regionalbericht Metropolregion Hamburg und Hamburger Verkehrsverbund GmbH*. Bonn.
- FONSECA, P.F. und T.S. PEREIRA, 2014. The governance of nanotechnology in the Brazilian context: Entangling approaches [online]. *Technology in Society*, 37, 16-27. ISSN 0160791X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.07.003>
- FORSCHUNGSINSTITUT TECHNOLOGIE UND BEHINDERUNG, 2016. *Vollständige Barrierefreiheit im öffentlichen Personennahverkehr nach dem novellierten Personenbeförderungsgesetz (PBefG) - Definition* [online]. 31. Januar 2022 [Zugriff am: 7. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://pbefg.ab-nrw.de/>
- FRANKE, P. und S. DETTENKOFER, 2021. Öffentlicher Nahverkehr auf Abruf: ein Pilotprojekt aus dem Norden und seine Erfolgsbilanz. *DER NAHVERKEHR*, 39(7+8), 75-79. DER NAHVERKEHR.
- FRIEDRICH, M. und M. HARTL, 2016. *MEGAFON - Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs*. Schlussbericht. Stuttgart.
- FUCHS, G., 2003. Technikfolgenabschätzung im Abseits? Zur Schließung der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg [online]. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 12(2), 84-91. ISSN 2568-020X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/tatup.12.2.83>
- GASSER, T.M., 2023. *Automatisiertes und Autonomes Fahren. Stand der Rahmenbedingungen und Umsetzung*. Wuppertal: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 7. März 2023.
- GASSER, T.M., Hg., 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. Heft 83. ISBN 9783869181899.
- GEELS, F.W., 2006. Multi-level perspective on system innovation: relevance for industrial transformation. In: *Understanding industrial transformation*. Dordrecht: Springer, 2006. ISBN 9781402044182.
- GENUS, A. und A. STIRLING, 2018. Collingridge and the dilemma of control: Towards responsible and accountable innovation [online]. *Research Policy*, 47(1), 61-69. ISSN 00487333. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.09.012>
- GERHARD, M., 15. Dezember 2023. Dürfen die denn alles?! [online]. *Bundeszentrale für politische Bildung* [Zugriff am: 16. März 2024]. Verfügbar unter:

<https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/lokale-verkehrswende-2023/543679/duerfen-die-denn-alles/>

- GERTZ, C., J. KREUTZFELDT, H. FLÄMIG, J. HINCKELDEYN, J.B. MAAß, M. GROTE, S. TJADEN, M. THIEL, M. SCHRICK, J. STARGARDT, H. MICHELMANN, J. WOLF, L. BÖCKLER, K. ROSENBERGER, N.M. BLUNDER, J. ZIEGENBEIN, J. PURGANDER, J. LOHSE und L. WEBER, 2022. *Endbericht des Projektes TaBuLa-LOG* [online]: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek [Zugriff am: 19. Oktober 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4536>
- GERTZ, C., J. MAAß, M. GROTE, T. DIEBOLD, R. MANTEL, O. RÖNTGEN, J. STARGARDT, L. WERNER und J. WOLF, 2021. *Endbericht des Projektes TaBuLa* [online]. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek [Zugriff am: 19. Oktober 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4536>
- GIERAS, J.F., 2020. Ultra high-speed ground transportation systems: Current Status and a vision for the future [online]. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1(9), 3-9. ISSN 0033-2097. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.15199/48.2020.09.01>
- GIES, J. und V. LANGER, 2021. *Mit On-Demand-Angeboten ÖPNV-Bedarfsverkehre modernisieren. Werkstattbericht zu Chancen und Herausforderungen*. Berlin.
- GIVONI, M., 2018. Interview mit Prof. Moshe Givoni. Self-driving cars are completely the wrong tool for me! [Zugriff am: 17. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.tatup.de/index.php/tatup/article/view/148/204>
- GLOCK, J.P., 2023. Reallabor, Real-Labor, Intervention oder Verkehrsversuch? Konzeptionelle Aufarbeitung der Begriffsvielfalt um Ansätze des Wandels im Kontext der Umwandlung städtischen Verkehrsraums [online]. *Journal für Mobilität und Verkehr*, (19), 2-14. Journal für Mobilität und Verkehr [Zugriff am: 15. Februar 2025]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.34647/jmv.nr19>
- GÖLLINGER, T. und G. HARRER, 2020. *40 Jahre "Neuland des Denkens" - Frederic Vesters programmatische Schrift für eine nachhaltige Zukunft*.
- GOTTWALDT, A.B., 1981. *Baureihe 05 - schnellste Dampflokomotive der Welt*. Stuttgart: Franckh. ISBN 3440049671.
- GREDE, S., 2012. *Kabinenlift am Krankenhaus: Im schwebenden Taxi* [online]. 10. August 2012 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <http://www.hna.de/lokales/schwalmstadt/schwebenden-taxi-2454245.html>
- GROTE, M. und O. RÖNTGEN, 2021. *Kosten autonom fahrender Minibusse: Literaturanalyse ergänzt um Erfahrungen aus dem Betrieb eines Testprojektes und den Ergebnissen einer Expert:innenbefragung*. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Universitätsbibliothek. ECTL working paper. 54.
- GROTE, M., 2021. Infrastruktur für eine automatisierte Buslinie [online]. Erfahrungen aus dem Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *VSVI Information*, (3), 14-18. VSVI Information [Zugriff am: 6. Mai 2022]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.15480/882.4789>
- GROTE, M., J. STARGARDT und J. WOLF, 2021a. Infrastruktur im Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *Straße und Autobahn*, 72(12), 1025-1028. Straße und Autobahn.
- GROTE, M., J. STARGARDT und J. WOLF, 2021b. Verkehrsgeschehen im Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa). *Straßenverkehrstechnik*, 65(12), 932-934. Straßenverkehrstechnik.

- GRUNWALD, A., 2010. *Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung* [online]. Zweite, grundlegend überarbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Berlin: edition sigma. Gesellschaft, Technik, Umwelt. N.F., 1. ISBN 978-3-89404-950-8 [Zugriff am: 15. August 2022]. Verfügbar unter: <http://dx.medra.org/10.2380/9783836009300>
- GRUNWALD, A., 2015. Gesellschaftliche Risikokonstellation für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung. In: M. MAURER, J.C. GERDES, B. LENZ und H. WINNER, Hg. *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 661-685. ISBN 9783662458532.
- GRUNWALD, A., 2016. *Nachhaltigkeit verstehen. Arbeiten an der Bedeutung nachhaltiger Entwicklung* [online]. München: oekom verlag. ISBN 9783960061472 [Zugriff am: 20. November 2022]. Verfügbar unter: http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm?bok_id=2172574
- GRUNWALD, A., 2022. *Technikfolgenabschätzung. Einführung*. 3., vollständig aktualisierte und erweiterte Auflage. Baden-Baden: Nomos. NomosBibliothek. ISBN 978-3-8487-8498-1.
- GRUNWALD, A., Hg., 2002. *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung*. Berlin: Ed. Sigma. Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland. 4. ISBN 3-89404-574-4.
- GÜREL, E. und M. TAT, 2017. SWOT ANALYSIS: A THEORETICAL REVIEW [online]. *Journal of International Social Research*, 10(51), 994-1006. ISSN 1307-9581. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832>
- HAAS, T., 2018. Das Ende des Autos, wie wir es kannten? [online]. *PROKLA. Zeitschrift für kritische Sozialwissenschaft*, 48(193). ISSN 0342-8176. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.32387/prokla.v48i193.1145>
- HÄDER, M., 2009. *Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch*. 2. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- HAHN, A., C. PAKUSCH und G. STEVENS, 2020. Die Zukunft der Bushaltestelle vor dem Hintergrund von Mobility-as-a-Service – Eine qualitative Betrachtung des öffentlichen Personennahverkehrs in Deutschland [online]. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 57(2), 348-365. ISSN 1436-3011. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00589-9>
- HANSEN, I.A., 2020. Hyperloop transport technology assessment and system analysis [online]. *Transportation Planning and Technology*, 43(8), 803-820. ISSN 0308-1060. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1080/03081060.2020.1828935>
- HANUSCH, H., 2011. *Nutzen-Kosten-Analyse*. 3rd ed. München: Franz Vahlen. Vahlens Kurzlehrbücher. ISBN 9783800644759.
- HEATHROW POD, 2023. *ultra global PRT* [online]. 20. Februar 2023 [Zugriff am: 20. Februar 2023]. Verfügbar unter: <http://www.ultraglobalprt.com/>
- HEIMGARTNER, C., S. LÄMMER, A. ORLANDO, T. PAULSEN und M. RAUSCH, Oktober 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens - Teilprojekt 3 Umgang mit Daten. Forschungsprojekt ASTRA 2018003 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)*. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1694.

- HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG, H., 2020. *Infrastrukturatlas 2020. Daten und Fakten über öffentliche Räume und Netze.*
- HEINZE, W., 2001. Rentabilität in der Fläche? In: M. STEIERWALD, Hg. *Streitfragen im Verkehrswesen. Verkehr im Spannungsfeld zwischen Fortschritt und öffentlicher Alimentierung; Ergebnisse des Workshops XIII im Themenfeld Verkehr und Raumstruktur.* Stuttgart: Akad. für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, S. 53-76. ISBN 3-934629-40-7.
- HEIß, Dezember 2021. *Fragebogenbasierte Studie zu Kinetose (Bewegungskrankheit) während des Autofahrens* [online] [Zugriff am: 8. Juli 2023]. Verfügbar unter: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/32022/Dissertation_M-A_Hei%c3%9f.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- HELMS, H., U. LAMBRECHT und J. HANUSCH, 2010. Energieeffizienz im Verkehr [online]. In: M. PEHNT, Hg. *Energieeffizienz. Ein Lehr- und Handbuch.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 309-330. ISBN 978-3-642-14250-5 [Zugriff am: 22. Juli 2023]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14251-2_10
- HENNEN, L., J. HAHN, M. LADIKAS, R. LINDNER, W. PEISSEL und R. VAN EST, Hg., 2023. *Technology Assessment in a Globalized World. Facing the Challenges of Transnational Technology Governance.* Cham: Springer Nature Switzerland AG.
- HENSIEK, J., 2022. Barrierefreiheit im ÖPNV: Ziele schon erreicht? *V+T Verkehr und Technik*, 75. V+T Verkehr und Technik.
- HERGET, M., C. SOMMER und J. GIES, 2021. Zukunftsfähiger ÖPNV in ländlichen Räumen [online]. Herausforderungen und wichtige Weichenstellungen. *Internationales Verkehrswesen*, 73(2), 12-15. Internationales Verkehrswesen [Zugriff am: 27. August 2022]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Carsten-Sommer-2/publication/354948732_Herget_M_Sommer_C_Gies_J_2021_Zukunftsfahiger_OPNV_in_landlichen_Raumen_Herausforderungen_und_wichtige_Weichenstellungen_Internationales_Verkehrswesen_2021_Seite_12-15/links/62ead505505511283e89d1b8/Herget-M-Sommer-C-Gies-J-2021-Zukunftsfahiger-OePNV-in-laendlichen-Raumen-Herausforderungen-und-wichtige-Weichenstellungen-Internationales-Verkehrswesen-2-2021-Seite-12-15.pdf
- HERRENKIND, B., I. NASTJUK, A.B. BRENDL, S. TRANG und L.M. KOLBE, 2019. Young people's travel behavior – Using the life-oriented approach to understand the acceptance of autonomous driving [online]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 74, 214-233. ISSN 1361-9209 [Zugriff am: 1. September 2019]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.023>
- HEUBACH, D., 2009. *Eine funktionsbasierte Analyse der Technologierelevanz von Nanotechnologie in der Produktplanung.* Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2008 (Nicht für den Austausch). Heimsheim: Jost-Jetter. IPA-IAO Forschung und Praxis. 478.
- HINKELMANN, C., 2022. *Moia: Wichtiges Kern-Feature funktioniert in Hamburg offenbar nicht* [online]. 15. Dezember 2022 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.nahverkehrhamburg.de/moia-wichtiges-kern-feature-funktioniert-in-hamburg-offenbar-nicht-196877/>
- HIRT, T., 2019. *Verkehrsflusssimulation für die B5 in Lauenburg/Elbe unter Berücksichtigung eines autonom fahrenden Kleinbusses. Analyse am Beispiel des Testzentrums für*

- automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg (TaBuLa) in Lauenburg/Elbe*. Bachelorarbeit. Hamburg.
- HOFER, J. und F. HOLTERMANN, 18. Oktober 2022. Mobileye will an die Börse – Dieser Kunde spielt eine entscheidende Rolle [online]. *Handelsblatt* [Zugriff am: 24. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://app.handelsblatt.com/technik/it-internet/boersengang-mobileye-draengt-aufs-parkett-der-hauptkunde-sitzt-am-bodensee/28752562.html>
- HOFFMANN, P., 1993. Flexible Bedienungsformen im ÖPNV. Elemente einer mehrstufig differenzierten Verkehrserschließung [online]. In: *SCHRIFTENREIHE FUER VERKEHR UND TECHNIK* [Zugriff am: 23. November 2022]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1002131>
- HOFFMANN-WAGNER, K. und G. JOSTES, 2021. *Barrierefreie Events. Grundlagen und praktische Tipps zur Planung und Durchführung*. Wiesbaden: Springer Gabler. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-658-31968-7.
- HOLST, A., 2022. *Voraussetzung an die Infrastruktur für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum*. Dissertation. Berlin.
- HOLZ, A., 2020. *Akzeptanz und Versicherbarkeit autonom fahrender Automobile – Ein Weg in eine unfallfreie Zukunft?* Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5445/IR/1000124437>
- HOPPE, T., 2011. *Der ländliche Raum im 21. Jahrhundert. Neubewertung einer unterschätzten Raumkategorie*.
- HORN, B., T. KIEL und H. von LOJEWSKI, 2018. *Nachhaltige städtische Mobilität für alle* [online]. *Agenda für eine Verkehrswende aus kommunaler Sicht*. Positionspapier des Deutschen Städtetages [Zugriff am: 27. Dezember 2025]. Verfügbar unter: <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Positionspapiere/Archiv/nachhaltige-staedtische-mobilitaet-2018.pdf>
- HORX, M., 2011. *Das Megatrend-Prinzip. Wie die Welt von morgen entsteht*. München: Deutsche Verlags-Anstalt; Ciando. ISBN 9783641072636.
- HUTTER, R., 1995. *Die Raumverträglichkeit der Swissmetro. Eine raumplanerische Annäherung; Studienarbeit im Rahmen des Nachdiplomstudiums in Raumplanung, Kurs 9293, Lehrbereich Landschaft*. Zugl.: Zürich, Techn. Hochschule, Studienarbeit, 1993. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH. ORL-Bericht. 94. ISBN 3728121401.
- HVV, 2020. *HVV-Fahrplandaten (GTFS) Oktober 2020 bis Dezember 2020* [online]. 2. Oktober 2020 [Zugriff am: 31. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/hvv-fahrplandaten-gtfs-oktober-2020-bis-dezember-2020>
- HVV, 2023a. *HVV-Fahrplandaten (GTFS) Januar 2023 bis Dezember 2023* [online]. 5. Januar 2023 [Zugriff am: 7. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/hvv-fahrplandaten-gtfs-januar-2023-bis-dezember-2023>
- HVV, Hg., 15. Juli 2021. *Prozent Minderjähriger in den HVV-Umlandbuslinien. E-Mail von Oktavia Wójcik-Osei am 15.07.2021*. hvv Hamburger Verkehrsverbund Gesellschaft mbH. Hamburg.
- HVV, Hg., 2015. *Auf den Standort kommt es an. Information*. HVV Publikation. hvv Hamburger Verkehrsverbund Gesellschaft mbH. Hamburg.
- HVV, Hg., 2023b. *hvv Haltestellendatenbank*. hvv Hamburger Verkehrsverbund Gesellschaft mbH. Hamburg.

- ICLODEAN, C., N. CORDOS und B.O. VARGA, 2020. Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation: A Review [online]. *Energies*, 13(11), 2917. *Energies*. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.3390/en13112917>
- IMHOF, S., J. FRÖLICHER und W. von ARX, 2020. Shared Autonomous Vehicles in rural public transportation systems [online]. *Research in Transportation Economics*, 83, 100925. ISSN 07398859. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100925>
- INFAS, DLR, IVT und INFAS 360, Hg., Dezember 2018. *Mobilität in Deutschland – MiD. Tabellenband. Studie FE-Nr. 70.904/15 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur*. Bonn.
- INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN, 2019. *Das Taxi der Zukunft schadet dem System* [online]. 4. November 2019 [Zugriff am: 10. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.oeaw.ac.at/ita/detail/news/das-taxi-der-zukunft-schadet-dem-system>
- IUB INGENIEUR-UNTERNEHMUNG AG, Hg., 4. Februar 2011. *Busverkehr mit niveaugleicher Schnittstelle zwischen Bordsteinkante und Bus. Studienbericht "Hohe Kante" bei Bushaltestellen*. Bundesamt für Verkehr BAV. Olten, Schweiz.
- JEREMIAS, E.-P. und N. MERTZSCH, Hg., 2021. *Energiewende 2.0. Im Fokus: die Mobilität: Kolloquium und Expertendiskurs der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften in Kooperation mit dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler am 07. Mai 2021 als digitale Veranstaltung*. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Band 147 (Jahrgang 2021). ISBN 978-3-86464-224-1.
- JERMANN, J., M. STEINLE, A. LUISONI, S. BOHNE, N. SCHWEIZER und T. SCHMID, 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 4: Neue Angebotsformen. Forschungsprojekt ASTRA 2018/004 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) = Effets de la conduite automatisée; Sous-projet 4 : nouveaux types d'offres = Effects of automated driving; Subproject 4: new forms of transport offers* [online]. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1692 [Zugriff am: 10. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.mobilityplatform.ch/de/research-data-shop/product/1692>
- JIAO, J., 2021. *Shared Mobility* [online]. San Diego: Elsevier. ISBN: 9780128229002 [Zugriff am: 30. November 2022]. Verfügbar unter: <https://shop.elsevier.com/books/shared-mobility/jiao/978-0-12-822900-2>
- JIPP, M. und K. LEMMER, 2022. Vision zukünftiger, digitalisierter und vernetzter Mobilitätskonzepte I+II. In: SCHWEIZERISCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN SATW, Hg. *Autonomes Fahren. Ein Treiber zukünftiger Mobilität*, S. 86-97.
- JISCHA, M.F., 2002. Die Perspektive der Ingenieurwissenschaften. In: A. GRUNWALD, Hg. *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung*. Berlin: Ed. Sigma, S. 65-79. ISBN 3-89404-574-4.
- JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT, 2016. *Landatlas* [online] [Zugriff am: 14. September 2024]. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/DE/themen/laendliche-regionen/landatlas/landatlas_node.html

- JUST, U., M. KRECH, C. GERTZ und S.-M. NIELSEN, 2020. *Chancen und Risiken des autonomen und vernetzten Fahrens aus der Sicht der Verkehrsplanung* [online]. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Zugriff am: 27. August 2022]. Verfügbar unter: <https://www.fgsv-verlag.de/chancen-und-risiken-des-autonomen-und-vernetzten-fahrens-aus-der-sicht-der-verkehrsplanung>
- KAISER, O.S. und N. MALANOWSKI, 2020. *Autonome Klein- und Omnibusse im öffentlichen Verkehr* [online]. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf. Working paper Forschungsförderung. 179 [Zugriff am: 8. Juni 2021]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10419/217254>
- KALETA, P., 11. Juni 2021. Daimlers neue Strategie: Autonomes Fahren ist keine Top-Priorität mehr [online]. *Business Insider* [Zugriff am: 23. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/mobility/strategiewechsel-bei-daimler-die-stuttgarter-drosseln-investitionen-ins-autonome-fahren-und-geben-lieber-vollgas-bei-elektro-und-software-b/>
- KALLMEYER, F., 2019. *Autonomes Fahren – Chancen und Herausforderungen* [online]. 11. Dezember 2019 [Zugriff am: 23. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/170765/strassenverkehr/autonomes-fahren-chancen-und-herausforderungen-sae-level5/>
- KANTUSCH, T., 2023. *Auswirkungen einer Kinetose auf die menschliche Leistung und Ermittlung von Gegenmaßnahmen in Bezug auf das automatisierte Fahren* [online] [Zugriff am: 8. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://depositonce.tu-berlin.de/items/80c3d8f2-4dad-44cc-935b-0920b5fb977d>
- KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE, Hg., 2018. *TaTuP. Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* [online]. Autonomes Fahren. Karlsruhe: oekom verlag GmbH. 27 [Zugriff am: 27. Dezember 2021]. Verfügbar unter: <https://tatup.de/index.php/tatup/issue/view/6/ISSN%202199-9201%2027-2>
- KARNOWSKI, V., 2013. Diffusionstheorie. In: W. SCHWEIGER und A. FAHR, Hg. *Handbuch Medienwirkungsforschung*. Wiesbaden: Springer VS, S. 513-528. ISBN 978-3-531-18967-3.
- KELLER, H., M. NEUHERZ und M. SPANGLER, 2004. *MOBINET - Mobilität im Ballungsraum München. Schlussbericht des Fachgebietes Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Prof. Dr. UCB H. Keller, überführt am 1.1.2003 in den Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Prof. Dr. F. Busch, Technische Universität München; Schlussbericht FGVVT 1998 - 2004*. München: Fachgebiet/Lehrstuhl für Verkehrstechn. und Verkehrsplanung.
- KERN, M. und N. MOTZER, 2022. *The Autonomous Gap* [online]. MHP Management- und IT Beratung; Fraunhofer IAO [Zugriff am: 17. Juli 2024]. Verfügbar unter: <https://www.mhp.com/en/insights/what-we-think/the-autonomous-gap>
- KIRCHHOFF, P. und A. TSAKARESTOS, 2007. *Planung des ÖPNV in ländlichen Räumen. Ziele — Entwurf — Realisierung*. Wiesbaden: Teubner. Springer eBook Collection. ISBN 9783835192003.
- KIRCHHOFF, P., A. TSAKARESTOS und A. HANITZSCH, 2010. ÖPNV-Planung für ländliche Räume [online]. Der Ablauf der Planung. *DER NAHVERKEHR*, (11), 12-16. DER NAHVERKEHR [Zugriff am: 10. August 2022]. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1081242/file.pdf>
- KLAPPER, D., U. KONRADT, A. WALTER, J. WOLF und S. ALBERS, Hg., 2007. *Methodik der empirischen Forschung*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden:

Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | d GWV Fachverlage GmbH
Wiesbaden. SpringerLink Bücher. ISBN 978-3-8349-9121-8.

- KLEEMANN, S. und C. ARZT, 2023. *Vertrauenswürdige IT für autonomes Fahren. IT-Sicherheit, Datensicherheit, Datenschutz und Produkthaftung in automatisierten Kraftfahrzeugen aus Sicht des deutschen, europäischen und internationalen Rechts.*
- KLEMENTSCHITZ, R., M. ANGERER, A. BAUERNFEIND, T. HAIDER und P. HAYDN, 2019. Potenziale für den Einsatz gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum [online]. In: CORP COMPETENCE CENTER OF URBAN AND REGIONAL PLANNING, Hg. *Proceedings of the 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society. Is this the Real World? Perfect Smart Cities vs. Real Emotional Cities.* REAL CORP 2019 Tagungsband, S. 553-562. ISBN 978-3-9504173-7-1 [Zugriff am: 12. Februar 2021]. Verfügbar unter: https://archive.corp.at/cdrom2019/papers2019/CORP2019_19.pdf
- KLINGE, A., F. KALLMEYER und N. PÖSTGES, 2020. *Einsatzszenarien hochautomatisierter Shuttles im ÖPNV. Kurzfassung Ergebnisreport.*
- KLÖNNE, M., 2008. *Methodik und Prozessgestaltung strategischer kommunaler Verkehrsplanungen. Anwendungsmöglichkeiten von systemdynamischen Modellen zur Bewertung kommunaler Verkehrsstrategien in der Planungspraxis* [online]. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2008 [Zugriff am: 1. März 2023]. Verfügbar unter: <https://edocs.tib.eu/files/e01dd10/571203930.pdf>
- KLOTH, H. und S. MEHLER, 2018. Nachfragegesteuerte Verkehre oder On-Demand-Ridepooling. Entscheidender Erfolgsfaktor für den ländlichen Raum bleibt die differenzierte Bedienung. *DER NAHVERKEHR*, (6), 36-39. DER NAHVERKEHR.
- KLUCKHOHN, C., 1951. *Spiegel der Menschheit. Die Beziehung der Anthropologie zum heutigen Leben.* Zürich: Pan-Verl. Internationale Bibliothek für Psychologie und Soziologie. 11.
- KNEUER, M. und S. RICHTER, 2015. *Soziale Medien in Protestbewegungen. Neue Wege für Diskurs, Organisation und Empörung?* Frankfurt: Campus Verlag. ISBN 9783593503004.
- KNIE, A., L. RUHRORT, J. GÖDDE und T. PFAFF, 2020. *Ride-Pooling-Dienste und ihre Bedeutung für den Verkehr. Nachfragemuster und Nutzungsmotive am Beispiel von "CleverShuttle" - eine Untersuchung auf Grundlage von Buchungsdaten und Kundenbefragungen in vier deutschen Städten* [online]. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB). WZB Discussion Paper. SP III 2020-601 [Zugriff am: 27. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/220020>
- KÖDDING, P. und R. DUMITRESCU, 2022. Szenario-Technik mit digitalen Technologien. In: E.A. HARTMANN, Hg. *Digitalisierung Souverän Gestalten II. Handlungsspielräume in Digitalen Wertschöpfungsnetzwerken.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. ISBN 978-3-662-64408-9.
- KOHAUPT, B. und J. KOHAUPT, 2015. *Barrierefreie Verkehrs- und Außenanlagen. Freiraum nach DIN 18040 und weiteren Regelwerken ; mit 11 Tabellen ; mit Checkliste und Glossar.* Köln: Müller. ISBN 3481033168.
- KÖLBL, S., 2021. Die Kraft der Daten: Datentreuhänder- Modell für mehr digitale Sicherheit in der Mobilität. In: W. SIEBENPFEIFFER, Hg. *Mobilität der Zukunft. Intermodale Verkehrskonzepte.* Berlin: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-61352-8.

- KOLLERT, R., 1997. Systematische Unterbewertung von Katastrophenrisiken. Zur Anwendung des Risikobegriffs in nuklearen Risikoanalysen. In: *Risiko und Gesellschaft*. Opladen: Westdt. Verl., 1997. ISBN 9783531130293.
- KOLLOSCH, I., R. OEHME, W. SCHADE, C. SCHERF, M. STREIF und D. THOMAS, 2022. *Der Wert des ÖPNV zwischen Gemeinwohl und Kommerz. Wandel der Wertschöpfung durch neue Mobilitätsdienstleistungen* [online]. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. Working paper Forschungsförderung. Nummer 255 (September 2022) [Zugriff am: 23. Oktober 2022]. Verfügbar unter: https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-008388/p_fofoe_WP_255_2022.pdf
- KÖNIG, A., A. BRANDIES, L. SCHNIEDER, M. DOTZAUER und M. JIPP, 2016. *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Nutzungsorientierte Gestaltung eines individuell abrufbaren Personentransportsystems*.
- KÖNIG, W., 2021. VDI-Richtlinie zur Technikbewertung. In: A. GRUNWALD und R. HILLERBRAND, Hg. *Handbuch Technikethik*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: J. B. Metzler Verlag. ISBN 978-3-476-04901-8.
- KÖNÖNEN, A., J. FITTKAU, G. HAMÖLLER, T. LÜBBERS und M. RIVIERE, 2016. *Mobilität der Zukunft in Schleswig-Holstein. Gutachten* [online]. Schleswig-Holsteinischer Landtag Umdruck 18/6646: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie des Landes Schleswig-Holstein [Zugriff am: 17. Juli 2024]. Verfügbar unter: <https://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl18/umdrucke/6600/umdruck-18-6646.pdf>
- KORNWACHS, K., 2018. Technikfolgenabschätzung als technikwissenschaftliche Disziplin? [online]. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 27(1), 46-51. ISSN 2568-020X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/tatup.27.1.46>
- KOSOW, H. und R. GABNER, 2008. *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien*. Berlin: IZT. Werkstattbericht / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. 103.
- KRAUSS MAFFEI TRANSURBAN, 1974. *Das Cabinentaxi* [online] [Zugriff am: 21. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=J8DP50YQ-Tc&t=63s>
- KREIS HERZOGTUM LAUENBURG, 2019. *Ausnahmegenehmigung für ein Erprobungsfahrzeug als Erprobungsträger für Fahrassistenzsysteme mit automatisierten Fahrfunktionen*. Fachdienst Straßenverkehr.
- KREIS HERZOGTUM LAUENBURG, 2024. *Einwohner- und Strukturdaten* [online] [Zugriff am: 14. September 2024]. Verfügbar unter: <https://www.kreis-rz.de/Politik-und-Verwaltung/Der-Kreis-Herzogtum-Lauenburg/St%C3%A4dte-und-Gemeinden/St%C3%A4dte-und-Gemeinden/index.php?La=1&object=tx,1814.99.1&kat=&sub=0>
- KRÖGER, SCHEIDEGGER, BECKER, DEUBLEIN, FEHLBERG, GALASSI, HOHL, KOESTER und ZANELLA, 2022. *Autonomes Fahren. Ein Treiber zukünftiger Mobilität*: Zenodo.
- KRÖLL, M., 2007. *Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2007 (Nicht für den Austausch). Heimsheim: Jost-Jetter-Verl. IPA-IAO Forschung und Praxis. 468.
- KÜHN, M. und A. GRABOLLE, November 2008. *Bewertung der Sicherheitseigenschaften des Segway. Unfallforschung kompakt*. Berlin.

- KUNITH, A.W., 2017. *Elektrifizierung des urbanen öffentlichen Busverkehrs*. Dissertation. Berlin. ISBN 9783658193478.
- KUNKEL-RAZUM, K., B. EICKHOFF, P. GALLMANN, F. MÜNZBERG und L. NEUHAUS, Hg., 2020. *Duden - die deutsche Rechtschreibung. Auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Rechtschreibregeln*. 28., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Dudenverlag. Der Duden. Band 1. ISBN 9783411040186.
- KURATORIUM FÜR VERKEHRSSICHERHEIT, Hg., 2019. *Berufe der Zukunft in einer automatisierten Mobilitäts Umgebung* [online]. Wien. KFV - Sicher Leben.
- KVV KARLSRUHER VERKEHRSVERBUND GMBH, Hg., 2017. *Leitfaden zum barrierefreien Ausbau von Bushaltestellen im KVV* [online] [Zugriff am: 24. April 2023]. Verfügbar unter:
https://www.kvv.de/fileadmin/user_upload/kvv/Dateien/Unternehmen/INTERNET_KVV_Leitfaden_barrierefreie_Haltestellen.pdf
- LADIKAS, M. und J. HAHN, 2022. *globalTA - members* [online] [Zugriff am: 23. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://globalta.technology-assessment.info/>
- LAMBERG, J., 2022a. *Autonomer und flexibler ÖPNV als Beitrag zur Sicherung der Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen? Eine Untersuchung im Regionalverband Großraum Braunschweig*. Göttingen: Cuvillier Verlag. ISBN 9783736975903.
- LAMBERG, J., 2022b. Identifying Key Factors in Planning and Implementing Autonomous Public Transport: An Investigation of Road- and Rail-bound Projects in Germany [online]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6771627>
- LANDERS, J., 2010. Personal Rapid Transit System Begins Test Runs at Heathrow Airport. *Civil Engineering*, 80(12), 24-25. Civil Engineering.
- LANDESPLANUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2020. *Ländliche Räume - Ländlicher Raum / Ausbildung* [online]. *Raumstruktur - Entwurf 2020*. 2020 [Zugriff am: 14. September 2024]. Verfügbar unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/landwirtschaft/agrarstatistik/ZahlenFakten/laendlRaum_Dossier?nn=217e78b2-3028-4b2d-9fc6-11f04734a5ee&pos=2
- LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN, 26. Juni 1995. *Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Schleswig-Holstein. ÖPNVG* [online] [Zugriff am: 7. September 2022]. Verfügbar unter: <https://www.gesetzesprechung.sh.juris.de/jportal/?quelle=jlink&query=%C3%96PNVG+SH&psml=bssshoprod.psml&max=true&aiz=true#jlr-%C3%96PNVGSHV4P4>
- LASCHET, W., H. WITTE und F. VOIGT, 1978. *Kritische Auseinandersetzung mit den Methoden und Modellen zur Bewertung von Verkehrsinvestitionen* [online]. Opladen: Westdeutscher Verlag. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. ISBN 9783322885999. Verfügbar unter:
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6860840>
- LEIDING, K., 2023a. *Gleismannsbahnhof Gleis 15.11 - Der Cabinenlift in Schwalmstadt - Ziegenhain* [online]. 19. Februar 2023 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <http://www.gleismann.de/15.cabinentaxi/c11.html>
- LEIDING, K., 2023b. *Gleismannsbahnhof Gleis 15.3 / Die Cabinentaxi - Versuchsanlage in Hagen - Vorhalle* [online]. 19. Februar 2023 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <http://www.gleismann.de/15.cabinentaxi/c3.html>

- LEIDING, K., 2023c. *Gleismannsbahnhof Gleis 16.C / C - Bahn - Projekt Hamburg* [online]. 19. Februar 2023 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <http://www.gleismann.de/15.cabinentaxi/c.html>
- LEVAC, D., H. COLQUHOUN und K.K. O'BRIEN, 2010. Scoping studies: advancing the methodology [online]. *Implementation science* : IS, 5, 69. Implementation science : IS. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- LEVI, S., I. WOLF, C. FLACHSLAND, N. KOCH, F. KOLLER und D. EDMONDSON, 2021. *Klimaschutz und Verkehr: Zielerreichung nur mit unbequemen Maßnahmen möglich. Ariadne-Analyse* [online] [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/147088/>
- LIENKAMP, M., 2021. Das Robotaxi – eine kritische Einschätzung. In: W. SIEBENPFEIFFER, Hg. *Mobilität der Zukunft. Intermodale Verkehrskonzepte*. Berlin: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-61352-8.
- LIERZER, S. und D. SCHUMANN, Hg., 2020. *Digitalisierung und autonomes Fahren: Treiber eines neuen Mobilitätssystems. Eine Analyse der Einflussfaktoren auf die Marktdurchdringung eines Megatrends im Automobilbereich : Themenpapier Cluster Elektromobilität Süd-West* [online]. Stuttgart: Cluster Elektromobilität Süd-West c/o e-mobil BW GmbH - Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg [Zugriff am: 12. August 2023]. Verfügbar unter: <https://edocs.tib.eu/files/e01fn20/1744191212.pdf>
- LINDEN, E. und A. WITTMER, 2018. *Zukunft Mobilität. Gigatrend Digitalisierung und Megatrends der Mobilität*. Center for Aviation Competence (CFAC-HSG).
- LITMAN, T., 2023. *Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning* [online]. Victoria Transport Policy Institute [Zugriff am: 7. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://www.vtpi.org/avip.pdf>
- LOHSE, D., 2011. *Verkehrsplanung. Band 2 - Verkehrsplanung*. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: Beuth; Kirschbaum. Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung / Schnabel / Lohse Herausgeber. Band 2. ISBN 9783410206880.
- LOUEN, C., N. HÖING, C. BÖHNEN, T. KUHNIMHOF und P. BURLA, 2024. On-Demand-Verkehre als Teil des ÖPNV – Simulation und Vergleich zweier Netzszenarien in Aachen. In: FGSV, Hg. *HEUREKA. Optimierung in Verkehr und Transport*. Tagungsband 13./14. März in Stuttgart, S. 1-15.
- LUCHMANN, I., C. REUTER, D. KARTHAUS, P. STRAUß, E.-M. KNOCH, N. KOSTORZ, T. HILGERT, J. NIEMANN und C. BAUMANN, 2019a. *Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV. Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA (Klein-)Bus*. Berlin/Karlsruhe/Hamburg.
- LUCHMANN, I., C. REUTER, M. KAGERBAUER, N. KOSTORZ und T. HILGERT, 2019b. Fahrerlose Kleinbusse im ÖPNV: Chancen und Herausforderungen. Erste Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben LEA(Klein-)Bus. *DER NAHVERKEHR*, 37(4), 52-56. DER NAHVERKEHR.
- LUHMANN, N., 1991. *Soziologie des Risikos*. Berlin: Walter de Gruyter. ISBN 311012940X.
- LÜTGE, C., A. KRIEBITZ und R. MAX, 2020. Ethische und rechtliche Herausforderungen des autonomen Fahrens. In: K. MAINZER, Hg. *Philosophisches Handbuch Künstliche Intelligenz*. Wiesbaden: Springer VS, S. 1-18. ISBN 9783658237158.

- LUTIN, J., 2018. Not If, but When: Autonomous Driving and the Future of Transit [online]. *Journal of Public Transportation*, 21(1), 92-103. ISSN 1077-291X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5038/2375-0901.21.1.10>
- LÜTJENS, K., M. RADDE, G. LIEDTKE, S. MAERTENS, T. STANDFUß, B. SCHEIER und K. VIERGUTZ, 2018. Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs [online]. *Wirtschaftsdienst*, 98(7), 511-518. Wirtschaftsdienst. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10273-018-2324-5.pdf>
- MAHNKE, H.-J., 9. September 1998. Ladehemmung beim Startschuß für den Transrapid [online]. *WELT* [Zugriff am: 24. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/print-welt/article630364/Ladehemmung-beim-Startschuss-fuer-den-Transrapid.html>
- MANTEL, R., 2021. Akzeptanz eines automatisierten Shuttles in einer Kleinstadt Analyse anhand einer Trendstudie und Fahrgastbefragung [online]. *Journal für Mobilität und Verkehr*, (8), 25-35. Journal für Mobilität und Verkehr. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.34647/jmv.nr8.id53>
- MARX, M., 2020. *Forschung für autonomes Fahren* [online]. *Wo steht die deutsche Automobilbranche beim Thema automatisiertes und vernetztes Fahren?* [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-forschung-fuer-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- MATHÉ, L., M. DUBIELZIG, M. LINDEMANN, J. GÖRLICH und M. KARNER, 2021. *Final Passenger needs analysis and specifications. Autonomous Vehicles to Evolve to a New Urban Experience*. Siemens.
- MAUERSBERG, B., 30. November 2016. Selbstfahrende Metros in Europa: Eine Milliarde Fahrgäste jedes Jahr [online]. *Allianz pro Schiene* [Zugriff am: 23. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/uebersicht-selbstfahrende-metros-europa/>
- MAURER, M., J.C. GERDES, B. LENZ und H. WINNER, Hg., 2015. *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 9783662458532 [Zugriff am: 24. April 2018]. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45854-9>
- MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN E. V., 2015. *Final Report Summary - MYCOPTER (Enabling Technologies for Personal Air Transport Systems)* [online]. FP7 | CORDIS | European Commission. 2. November 2022 [Zugriff am: 10. November 2022]. Verfügbar unter: <https://cordis.europa.eu/project/id/266470/reporting>
- MAYRING, P., 2022. *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 13., überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz. ISBN 9783407258984.
- MEDIZINISCHE HOCHSCHULE HANNOVER, Hg., 16. Juli 2021. *German In-Depth Accident Study (GIDAS). Unfallauswertung zu Bussen und Haltestellen*. Verkehrsunfallforschung. Hannover.
- MEHLERT, C. und M. SCHIEFELBUSCH, 2018. Rufbus meets Mobility 4.0. Lernen aus 40 Jahren flexiblem Nahverkehr. *DER NAHVERKEHR*, 2018(10), 29-35. DER NAHVERKEHR.
- METROPOLREGION HAMBURG, 2023. *Statistik Kraftfahrzeugbestand nach Kraftfahrzeugarten* [online]. 22. Juli 2023 [Zugriff am: 22. Juli 2023]. Verfügbar

- unter: <https://metropolregion.hamburg.de/statistikportal/14095038/kraftfahrzeug-zulassungen/>
- MEYER, J., H. BECKER, P.M. BÖSCH und K.W. AXHAUSEN, 2017. Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities? [online]. *Research in Transportation Economics*, 62, 80-91. ISSN 07398859. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.03.005>
- MEYER, J., P.M. BÖSCH und H. BECKER UND K.W. AXHAUSEN, 2016. *Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge* [online]. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung. Zürich [Zugriff am: 10. August 2018]. Verfügbar unter: <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/1201-1300/ab1220.pdf>
- MILLER, K., S. CHNG und L. CHEAH, 2022. Understanding acceptance of shared autonomous vehicles among people with different mobility and communication needs [online]. *Travel Behaviour and Society*, 29, 200-210. ISSN 2214-367X [Zugriff am: 1. Oktober 2022]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.06.007>
- MINISTERIUM FÜR VERKEHR VON BADEN-WÜRTTEMBERG, 2023. *Autonomes Fahren in Realbedingungen - Einordnung* [online]. 3. Januar 2023 [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/zukunftskonzepte/autonomes-fahren/einordnung/>
- MITTEREGGER, M., 2017. Autonomes Fahren in der Stadt der Zukunft. In: *Querschnitt. Publikation zum Forschungstag 2016/17 der Fakultät für Architektur und Raumplanung*. Erste Auflage. Wien: TU Wien, architektur + raumplanung, S. 240-241. ISBN 9783902707321.
- MITTEREGGER, M., E.M. BRUCK, A. SOTEROPOULOS, A. STICKLER, M. BERGER, J.S. DANGSCHAT, R. SCHEUVENS und I. BANERJEE, 2020. *AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-61283-5.
- MONHEIM, H., C. MUSCHWITZ, W. AUER und M. PHILIPPI, 2010. *Urbane Seilbahnen. "moderne Seilbahnsysteme eröffnen neue Wege für die Mobilität in unseren Städten"*. Köln: KSV. ISBN 978-3-940685-98-8.
- MÖRNER, M. von und M. BOLTZE, 2018. Sammelverkehr mit autonomen Fahrzeugen im ländlichen Raum [online]. Zur Zukunft des ÖPNV in dünn besiedelten Gebieten. *DER NAHVERKEHR*, (11), 6-13. DER NAHVERKEHR [Zugriff am: 3. Januar 2019]. Verfügbar unter: https://vonmoerner.de/images/downloads/DNV_011-18_Moerner_Boltze_FA.pdf
- MÖRNER, M. von, 2018. *Sammelverkehr mit autonomen Fahrzeugen im ländlichen Raum* [online]. Darmstadt [Zugriff am: 27. Juli 2018]. Verfügbar unter: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/7483/>
- MORVILIUS, S., 2022. *Abbildung von Arbeitszufriedenheits-Strukturen im soziotechnischen Modell der Berufsgruppe Busfahrer*. Dissertation. Kaiserslautern-Landau.
- MÜLLER, B., 2015. *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung. Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele* [online]. München: oekom. KLIMZUG. Band 7. ISBN 9783865819031. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6389395>
- MÜLLER-HERBERS, S., 2007. *Methoden zur Beurteilung von Varianten*. Stuttgart.

- MÜLLER-MAHN, D., 2014. Risksapes des Klimawandels in Afrika. Neue Perspektiven auf "Risiko" im Globalen Süden. In: *Risiko: Erkundungen an den Grenzen des Wissens*. Halle (Saale): Dt. Akad. der Naturforscher Leopoldina - Nationale Akad. der Wiss., 2014. ISBN 3804732704.
- MUNN, Z., M.D.J. PETERS, C. STERN, C. TUFANARU, A. MCARTHUR und E. AROMATARIS, 2018. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach [online]. *BMC medical research methodology*, 18(1), 143. BMC medical research methodology. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- MUTH, F., 2019. Automatisiertes Fahren im ÖPNV. Ein Überblick über die Erprobung bei Schnellbahn, Straßenbahn, Bus und Shuttle. *DER NAHVERKEHR*, 37(10), 27-34. DER NAHVERKEHR.
- NAGEL, K., J. BISCHOFF, G. LEICH und M. MACIEJEWSKI, 2018. *Simulationsbasierte Analyse der Wirkungen von Flotten autonomer Fahrzeuge auf städtischen Verkehr* [online] [Zugriff am: 22. Juni 2020]. Verfügbar unter: <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2018/18-06/NagelEtcFlottenAutonomerFahrzeuge-2018-05-16.pdf>
- NAHVERKEHRSVERBUND SCHLESWIG-HOLSTEIN GMBH, 18. Juni 2021. *ENTWURF Landesweiter Nahverkehrsplan 2022 bis 2027. Schleswig-Holstein. Der echte Norden*. [online]. Kiel [Zugriff am: 7. September 2022]. Verfügbar unter: https://unternehmen.nah.sh/assets/2021/LNVP_18_06_21.pdf
- NAISBITT, J., 1986. *Megatrends. 10 Perspektiven, die unser Leben verändern werden*. 6. Aufl. Bayreuth: Hestia. ISBN 3777002704.
- NALMPANTIS, D., A. ROUKOUNI, E. GENITSARIS, A. STAMELOU und A. NANIPOULOS, 2019. *Evaluation of innovative ideas for Public Transport proposed by citizens using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)*. 11.
- NDR, 16. September 2021. Von der Idee zum Aus: Eckdaten zum Transrapid [online]. *NDR* [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.ndr.de/geschichte/chronologie/Von-der-Idee-zum-Aus-Eckdaten-des-Transrapid,transrapid596.html>
- NEHRING, M. und M. STEIERWALD, 2000. Bewertung verkehrlicher Infrastruktur. Standortbestimmung und Ableitung einer Situativen Bewertung [online]. In: S. MARTENS, Hg. *Bewertungsverfahren im Verkehrswesen. Rechenstift gegen Argumente? ; Ergebnisse der Veranstaltung Nr. XII der Workshop-Reihe im Themenbereich Verkehr und Raumstruktur [13.04.2000 in Stuttgart-Hohenheim*. Stuttgart: Akad. für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, S. 75-99. ISBN 3-934629-31-8 [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: https://web.archive.org/web/20200302170827id_/https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/8683/1/ab182.pdf
- NENTWICH, M., 2023. *Wissenschaftliche Technikfolgenabschätzung. Begriff, Typologie und Konsequenzen für die Praxis* [online]. Wien [Zugriff am: 26. Dezember 2023]. Verfügbar unter: https://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ITA_23_02.pdf
- NIKITAS, A., N. THOMOPOULOS und D. MILAKIS, 2021. The Environmental and Resource Dimensions of Automated Transport: A Nexus for Enabling Vehicle Automation to Support Sustainable Urban Mobility [online]. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 167-192. ISSN 1543-5938. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-024657>

- NIKITINA, T. und C. RENKER, Hg., 2022. *Pandemie als nicht alltägliches Event-Risk. Auf der Suche nach Resilienz für Staaten, Unternehmen, Banken und Vermögen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-658-36503-5.
- NOBIS, CLAUDIA, KUHNIMHOF und TOBIAS, 2019. *Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht. Studie FE-Nr. 70.904/15*. Berlin.
- NOVA SCOTIA, Hg., 2016. *Segway Pilot Project. Evaluation Report* [online]. Halifax, Canada [Zugriff am: 17. Juli 2024]. Verfügbar unter: https://novascotia.ca/tran/publications/REVISED-Segway_Pilot_Project_Evaluation_Report_2016_FINAL.pdf
- OBERVERWALTUNGSGERICHT RHEINLAND-PFALZ, 21. August 2007. Ausbaubeitrag. *openJur* 2012, 135922.
- OECD/EUROPEAN UNION, Hg., 2022. *Health at a Glance: Europe 2022. State of Health in the EU Cycle, OECD Publishing* [online]. OECD. Paris [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-europe-2022_507433b0-en
- OEHR, B., J. JERMANN, S. BOHNE, R. FRICK, L. ICKERT und A. GREINUS, 2020. *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 1: Nutzungsszenarien und Auswirkungen. Forschungsprojekt ASTRA 2017/007 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) = Effets de la conduite automatisée; Projet partiel 1: scénarios d'utilisation et impacts = Impacts of automated driving; Sub-project 1: usage scenarios and impacts* [online]. Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen. 1681 [Zugriff am: 10. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.mobilityplatform.ch/de/research-data-shop/product/1681>
- ONGEL, A., E. LOEWER, F. ROEMER, G. SETHURAMAN, F. CHANG und M. LIENKAMP, 2019. Economic Assessment of Autonomous Electric Microtransit Vehicles [online]. *Sustainability*, 11(3), 648. Sustainability. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.3390/su11030648>
- ONZONE, A., G. FOUNTAS und L. DOWNEY, 2024. Automated bus services – To whom are they appealing in their early stages? [online]. *Travel Behaviour and Society*, 34, 100647. ISSN 2214-367X [Zugriff am: 1. Januar 2024]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100647>
- OPENSTREETMAP-MITWIRKENDE, 2020. *Daten von OpenStreetMap* [online]. Veröffentlicht unter Open Database License (ODbL). 27. November 2020 [Zugriff am: 31. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.org/>
- OPITZ, S. und C. PFAFFENBACH, 2018. Lebensqualität im ländlichen Raum [online]. *Standort*, 42(3), 171-177. ISSN 0174-3635. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1007/s00548-018-0544-y>
- PAHL, G., W. BEITZ, J. FELDHOUSEN und K.-H. GROTE, 2007. *Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. Springer-Lehrbuch. ISBN 3-540-34060-2.
- PAKUSCH, C., 2020. *Technology assessment of autonomous driving – Are shared autonomous vehicles ecologically and socially sustainable?:* Universitätsbibliothek Siegen.

- PARMENT, A., 2016. *Die Zukunft des Autohandels. Vertrieb und Konsumentenverhalten im Wandel - Wie das Auto benutzt, betrachtet und gekauft wird*. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-07887-4.
- PARODI, O. und R. BEECROFT, 2021. Reallabore als Möglichkeitsraum und Rahmen für Technikfolgenabschätzung. In: S. BÖSCHEN, A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, Hg. *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Baden-Baden: Nomos, S. 374-390. ISBN 9783848760701.
- PERRET, F., T. ARNOLD, R. FISCHER, P. de HAAN und U. HAEFELI, 2020. *Automatisiertes Fahren in der Schweiz: Das Steuer aus der Hand geben?* Zürich: vdf. TA-Swiss. 71. ISBN 9783728139955.
- PESONEN, H.-L., 2007. *Sustainability SWOTs. New Method for Summarizing Product Sustainability Information for Business Decision Making* [online]. Zürich, 27. August 2007 [Zugriff am: 3. Februar 2024]. Verfügbar unter: https://www.lcm2007.ethz.ch/presentation/Mo_3.10-Pesonen.pdf
- PETER, M., 2021. *Die Berechnung kleinräumiger und multimodaler Erreichbarkeiten auf regionaler Ebene*. Hamburg: Institut für Verkehrsplanung und Logistik. Harburger Berichte zur Verkehrsplanung und Logistik. 22.
- PETERS, W., J. KÖLLER und S. POBLOTH, 2006. Nationale und Europäische Anforderungen an Umweltbeiträge in der Verkehrsplanung [online]. Tagung am 17./18.11. 2005 in Berlin. *Natur und Recht*, (5), 292-295. *Natur und Recht* [Zugriff am: 1. März 2023]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s10357-006-0980-5>
- PETERSEN, T. und T. RAUSCH, 2021. *Megatrend-Report #03: Klimawandel abbremmen*.
- PLESCHAK, F. und H. SABISCH, 1996. *Innovationsmanagement*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. UTB für Wissenschaft. ISBN 3825281221.
- POGANIETZ, W.-R. und R.P. LEE, 2021. Systemanalyse. In: S. BÖSCHEN, A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, Hg. *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Baden-Baden: Nomos, S. 269-285. ISBN 9783848760701.
- POLIZEIDIREKTION RATZEBURG, Hg., 6. März 2023. *Erweiterte Unfallauswertung 2017-2020 für den Kreis Herzogtum Lauenburg. E-Mail von Mirco Tensfeldt am 06.03.2023. Sachgebiet 1-3. Ratzeburg*.
- POLIZEIDIREKTION RATZEBURG, Hg., 9. März 2021. *Unfallauswertung 2016-2020 für den Kreis Herzogtum Lauenburg. E-Mail von Andreas Wolf am 09.03.2021. Sachgebiet 1-3. Ratzeburg*.
- POLIZEIDIREKTION RATZEBURG, Hg., März 2021. *Verkehrssicherheitsbericht 2020 PD Ratzeburg*. Ratzeburg.
- POPP, R. und E. SCHÜLL, Hg., 2009. *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis ; [gewidmet Rolf Kreibich zum 70. Geburtstag]*. Berlin: Springer. Wissenschaftliche Schriftenreihe "Zukunft und Forschung" des Zentrums für Zukunftsstudien Salzburg. Bd. 1.
- POPP, R., 2020. *Zukunft & Forschung - die Vielfalt der Vorausschau. 66 Stichworte von A bis Z*. Wien: LIT. ISBN 9783643509451.
- PRÄTORIUS, G., 1993. *Das PROMETHEUS-Projekt. Technikentstehung als sozialer Prozess*. Zugl.: Frankfurt (Main), Univ., Diss., 1992 u.d.T.: Prätorius, Gerhard: Prometheus: der Prozess einer Technikentstehung. Wiesbaden: Gabler. ISBN 3409160175.

- PRESSE- UND INFORMATIONSAMT DER BUNDESREGIERUNG, 2023. *Koalitionsvertrag 2021* [online]. *Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP)*. 13. Januar 2023 [Zugriff am: 13. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800>
- PROSKE, D., 2022. *Katalog der Risiken. Risiken und ihre Darstellung*. 2nd ed. 2022. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-658-37083-1.
- PUHE, M. und M. REICHENBACH, April 2014. In der Nische gefangen? Seilbahnen als Ergänzung des urbanen öffentlichen Verkehrs. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 23(1), 30-38. ISSN 2568-020X.
- PÜTZ, T. und S. SCHÖNFELDER, Oktober 2018. *Angebotsqualitäten und Erreichbarkeiten im öffentlichen Verkehr. Verkehrsbild Deutschland*. BBSR-Analysen Kompakt 8/2018. Bonn.
- RACK, O. und T. CHRISTOPHERSEN, 2007. Experimente [online]. In: D. KLAPPER, U. KONRADT, A. WALTER, J. WOLF und S. ALBERS, Hg. *Methodik der empirischen Forschung*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | d GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 17-32. ISBN 978-3-8349-9121-8 [Zugriff am: 1. November 2023]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8349-9121-8_2
- RAHMAN, M.M. und J.-C. THILL, 2023. Impacts of connected and autonomous vehicles on urban transportation and environment: A comprehensive review [online]. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104649. ISSN 22106707. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104649>
- RAHMSTORF, S. und H.-J. SCHELLNHUBER, 2007. *Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie*. Orig.-Ausg., 4. Aufl. München: Beck. Beck'sche Reihe. 2366. ISBN 3406508669.
- RAPP, F., Hg., 1999. *Aktualität der Technikbewertung. Erträge und Perspektiven der Richtlinie VDI 3780*. Düsseldorf. VDI-Report / Verein Deutscher Ingenieure. 29. ISBN 3-931384-24-1.
- REALLABOR FÜR NACHHALTIGE MOBILITÄTSKULTUR, UNIVERSITÄT STUTTGART, 2022. *Reallabor für nachhaltige Mobilitätskultur / Info* [online]. 21. November 2022 [Zugriff am: 21. November 2022]. Verfügbar unter: <http://www.r-n-m.net/info/>
- REALLABOR FÜR NACHHALTIGE MOBILITÄTSKULTUR, UNIVERSITÄT STUTTGART, Hg., 2018. *Stuttgart in Bewegung. Berichte von unterwegs*. Berlin: Jovis. ISBN 3868595090.
- REALLABOR FÜR NACHHALTIGE MOBILITÄTSKULTUR, UNIVERSITÄT STUTTGART, Hg., 2020. *Reallabor Zines 2020. Abschluss-Publikation von Reallabor für nachhaltige Mobilitätskultur* [online]. Stuttgart [Zugriff am: 21. November 2022]. Verfügbar unter: <http://www.r-n-m.net/reallabor-zines/>
- REBLER, A., 2019. Unfälle mit öffentlichen Verkehrsmitteln im Bereich von Haltestellen [online]. *Monatsschrift für Deutsches Recht*, 73(10), 581-588. ISSN 0340-1812. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.9785/mdtr-2019-731005>
- REBSAMEN, R., 2001. Swissmetro - Vision oder Zukunft? : die Ablösung des Rad-Schiene-Systems ist in Sicht: die Magnetschwebebahn [online] [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5169/seals-893056>

- REDAKTIONSNETZWERK DEUTSCHLAND, 13. Oktober 2022. Autonomes Fahren: VW investiert 2,4 Mrd Euro in KI-Firma in China [online]. *RedaktionsNetzwerk Deutschland* [Zugriff am: 23. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.rnd.de/wirtschaft/autonomes-fahren-vw-investiert-2-4-mrd-euro-in-ki-firma-in-china-AC3TLFGIYEHQAGOEXGD6EQ6YBY.html>
- Regelung Nr. 107 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE). *Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M2 oder M3 hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale* [2018/237], 23. Februar 2018: Amtsblatt der Europäischen Union.
- REGION HANNOVER, FACHBEREICH VERKEHR, 2023. *Evaluation nemoH. Betrieb eines automatisierten Kleinbusses in Garbsen (Region Hannover)*. Hannover, 16. März 2023.
- REICHENBACH, M., 2021. *Perspektiven für Reallabore zum automatisierten Fahren im öffentlichen Verkehr: Diskussionspapier*: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- REINHARDT, W., 2012. *Öffentlicher Personennahverkehr. Technik - rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. Praxis. ISBN 9783834882349.
- REINHARDT, W., 2018. *Öffentlicher Personennahverkehr. Technik - rechts- und betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 2., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. SpringerLink. ISBN 978-3-658-22059-4.
- RENN, O. und M.M. ZWICK, Hg., 1997. *Risiko- und Technikakzeptanz. Mit 15 Tabellen*. Berlin: Springer. Konzept Nachhaltigkeit Studienprogramm. ISBN 3540635963.
- RENN, O., 2015. Die Wertbaumanalyse: Ein diskursives Verfahren zur Bildung und Begründung kollektiv wirksamer Bewertungsmuster. In: S. WASSERMANN, Hg. *Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung*. Wiesbaden: Springer VS. ISBN 978-3-658-01686-9.
- RENTSCHLER, C., 2022. *Automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen - Anforderungen und Umweltwirkungen* [online]. Dissertation. Kaiserslautern-Landau. Grüne Reihe. Nr. 76 [Zugriff am: 15. Februar 2025]. Verfügbar unter: https://kluedo.ub.rptu.de/frontdoor/deliver/index/docId/7223/file/_2023_GR76_Rentschler_Diss_Automatisierte_individualisierte_Mobilit%C3%A4tsdienstleistungen.pdf
- RETTIG, R., C. SCHÖNE, T. DIEBOLD und J. MAAß, 2025. *Experimental Performance Assessment of an Automated Shuttle in a Complex, Public Road Environment* [online]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.3390/futuretransp5040165>
- RETTIG, R., C. SCHÖNE, T. WENZEL, T. DIEBOLD und J. MAAß, 2021. Automatisierte, experimentelle Untersuchung der Voraussetzungen für den robusten Betrieb eines autonomen Kleinbusses im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg (Elbe) [online]. *V+T Verkehr und Technik*, (4). V+T Verkehr und Technik. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.15480/882.13089>
- REUTERS, ATB und DPA, 26. Oktober 2022. Autonomes Fahren: Volkswagen und Ford geben Aus für gemeinsames Roboterauto-Projekt bekannt [online]. *DER SPIEGEL* [Zugriff am: 27. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/vw-volkswagen-und-ford-geben-aus-fuer-gemeinsames-roboterauto-projekt-bekannt-a-8394165f-ccad-4136-ade1-a1e106192d20>

- RICHTER, C.F., 1958. *Elementary seismology*. San Francisco: Freeman. A Series of books in geology.
- RICHTER, S. und M. REHME, 2018. *AutoFipS - Automatisiertes Fahren in peripheren Siedlungsstrukturen. Potentiale zur Bewältigung demographieinduzierter Immobilität* [online]. Sachbericht. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.2314/GBV:1032530170>
- RIEDEL, W., H. LANGE, E. JEDICKE und M. REINKE, Hg., 2016. *Landschaftsplanung*. 3. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer spektrum. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-642-39855-1.
- RIEGEL, B., 2020. *SFF Bernmobil - Pilotprojekt selbstfahrendes Fahrzeug. Zwischenbericht Februar 2020*. Pilotprojekt selbstfahrendes Fahrzeug im ÖV bei Bernmobil, Version 5.
- RIEHM, U., 1999. VDI-Tagung "Wertprobleme der Technikbewertung" (Tagungsbericht) [online]. Tagungsbericht von Ulrich Riehm, ITAS. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 8(1), 103-105. ISSN 2568-020X [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.tatup.de/index.php/tatup/article/download/3950/7194?inline=1>
- RIENER, A., A. APPEL, W. DORNER, T. HUBER, J.C. KOLB und H. WAGNER, 2020. *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*. Berlin, Heidelberg. *Risikomanagement – Leitlinien (ISO 31000:2018)*, 2018. Berlin: Beuth Verlag GmbH. 03.100.01.
- RITZ, J., 2018. *Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-20952-0.
- ROGERS, E.M., 2003. *Diffusion of innovations* [online]. Fifth edition. New York: Free Press. ISBN 9780743258234 [Zugriff am: 4. Februar 2024]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4935198>
- ROLAND BERGER GMBH, 2018. *Studie: Index "Automatisierte Fahrzeuge"* [online]. 4. Quartal 2017 [Zugriff am: 30. Juli 2018]. Verfügbar unter: <https://www.rolandberger.com/de/Insights/Publications/Index-Automatisierte-Fahrzeuge-Q4-2017.html>
- ROLAND BERGER/INTRAPLAN/FLORENUS, 2021. *Verkehrswende gestalten - Leistungsstark & nachhaltig. Gutachten über die Finanzierung von Leistungskosten der öffentlichen Mobilität*.
- ROPOHL, G., 2009. *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*: KIT Scientific Publishing. ISBN 9782821877580.
- ROSE, M., M. WANNER, A. HILGER, J. DEFFNER, M. FÜHR, S. KLEINHAUER und J. SCHENTEN, 2019. *Das Reallabor als Forschungsprozess und -infrastruktur für nachhaltige Entwicklung: Konzepte, Herausforderungen und Empfehlungen* [online]. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Wuppertal Papers. 196 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/209627>
- ROTH, E. und H. HOLLING, 1999. *Sozialwissenschaftliche Methoden. Lehr- und Handbuch für Forschung und Praxis*. 5., durchgesehene Auflage. Reprint 2018. Berlin: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. Lehr- und Handbücher der Sozialwissenschaften. ISBN 9783486802108.

- RUMMEL, S., 2014. *Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. 16.
- RUPP, C., 2013. *Systemanalyse kompakt*. 3. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. Springer eBook Collection. ISBN 9783642354465.
- RUPPERT, M., 2017. *Wege der Analogiebildung. Eine qualitative Studie über den Prozess der Analogiebildung beim Lösen von Aufgaben* [online] [Zugriff am: 23. Mai 2023]. Verfügbar unter: <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docid/15591>
- SAATY, T.L. und L.G. VARGAS, 2006. *Decision Making with the Analytic Network Process. Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. Boston, MA: Springer US. SpringerLink. 95. ISBN 9780387339870.
- SAE INTERNATIONAL. J3016:2021, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*.
- SALONEN, A.O., 2018. Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland [online]. *Transport Policy*, 61, 106-110. ISSN 0967070X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.10.011>
- SARRIS, V., 1992. *Versuchsplanung und Stadien des psychologischen Experiments*. München: Reinhardt. Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie / Viktor Sarris. Bd. 2. ISBN 3825280543.
- SCHÄFFER, R., 2014. *Die Vergabe von ÖPNV-Dienstleistungen in Deutschland und Europa. Eine Untersuchung der allgemeinen und sektorspezifischen Vergaberegelungen unter besonderer Berücksichtigung völkerrechtlicher Vorgaben* [online]. Zugl.: Gießen, Univ., Diss., 2012. Baden-Baden: Nomos-Verl.-Ges. Schriften zum Vergaberecht. 42. ISBN 978-3-8487-0237-4 [Zugriff am: 27. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.nomos-elibrary.de/10.5771/9783845246017/die-vergabe-von-oepnv-dienstleistungen-in-deutschland-und-europa>
- SCHÄPKE, N., F. STELZER, G. CANIGLIA, M. BERGMANN, M. WANNER, M. SINGER-BRODOWSKI, D. LOORBACH, P. OLSSON, C. BAEDEKER und D.J. LANG, 2018a. *Jointly Experimenting for Transformation? Shaping Real-World Laboratories by Comparing Them* [online]: oekom verlag. 27 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.ingentaconnect.com/content/oekom/gaia/2018/00000027/a00101s1/art00017>
- SCHÄPKE, N., M. BERGMANN, F. STELZER, D.J. LANG und G. EDITORS, 2018b. *Labs in the Real World: Advancing Transdisciplinary Research and Sustainability Transformation: Mapping the Field and Emerging Lines of Inquiry* [online]. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 27(1), 8-11. ISSN 0940-5550. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/gaia.27.S1.4>
- SCHEFFCZIK, W., 2003. *Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung. Ein Beitrag zur Entwicklung des Technikunterrichts an allgemeinbildenden Schulen*. Oldenburg, Univ., Diss., 2003.

- SCHIPPL, J. und A. ARNOLD, 2020. Stakeholders' Views on Multimodal Urban Mobility Futures: A Matter of Policy Interventions or Just the Logical Result of Digitalization? [online]. *Energies*, 13(7), 1788. *Energies*. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.3390/en13071788>
- SCHIPPL, J. und R. HILLERBRAND, 2021. Automatisiertes Fahren. In: A. GRUNWALD und R. HILLERBRAND, Hg. *Handbuch Technikethik*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: J. B. Metzler Verlag. ISBN 978-3-476-04901-8.
- SCHIPPL, J., B. BURGHARD, N. BAUMGARTNER, B. ENGEL, M. KAGERBAUER und SZIMBA, ECKHARD, 2021. *Städtebauliche und sozioökonomische Implikationen neuer Mobilitätsformen. Beiträge aus: Profilverregion Mobilitätssysteme Karlsruhe*. Karlsruhe. ISBN 978-3-7315-1110-6.
- SCHMID, F., 2015. *Methodisches Gestalten und systematisches Entwickeln am Beispiel zukünftiger Fassadenlösungen* [online]. Dissertation. ISBN 978-3-658-12213-3 [Zugriff am: 20. November 2022]. Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4189493>
- SCHMIDT, J.-H., S. HÖLIG, L. MERTEN und U. HASEBRINK, 2017. Nachrichtennutzung und Meinungsbildung in Zeiten sozialer Medien [online]. *Informatik-Spektrum*, 40(4), 358-361. ISSN 0170-6012. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1007/s00287-017-1057-y>
- SCHMIDT, T., T. MÖGINGER, M. MENZEL, M. FISCHER, A. KLINGER und S. PAVLAKIS, 2022. Erster Betrieb von autonomen Fahrzeugen ohne Sicherheitsfahrer im RMV-Projekt "EASY" (Teil I). *V+T Verkehr und Technik*, 75(9). V+T Verkehr und Technik.
- SCHMITT, H., 1978. Wenn der Bus gerufen kommt [online]. In: VERLAG HEINRICH-VOGEL, Hg. *Omnibus-Revue* [Zugriff am: 23. November 2022]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1062530>
- SCHMITT, V., 2020. *In den ÖPNV integrierte Mitnahmesysteme im ländlichen Raum – Wirkungsanalyse und Bewertung*.
- SCHNEIDER, A., 2013. *Sharing Economy. Leihen, teilen, tauschen anstatt besitzen gilt als Megatrend*. OnlineAusg. München: GBI-Genios Verlag. ISBN 9783737925778.
- SCHNEIDEWIND, U., 2014. Urbane Reallabore - ein Blick in die aktuelle Forschungswerkstatt [online]. *pnd | online*, (III), 1-7. *pnd | online* [Zugriff am: 21. November 2022]. Verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5706/file/5706_Schneidewind.pdf
- SCHOLZ, P., 2022. *Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung* [online]. Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag. ISBN 9783985550517 [Zugriff am: 12. März 2022]. Verfügbar unter: <https://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/wzl/forschung/forschungsumfeld/veroeffentlichungen/~siht/details/?file=841992>
- SCHRAMEK ET AL., 2017. *Auswirkungen von Selbstfahrenden Autos* [online]. [Zugriff am 30. Juli 2018]. Verfügbar unter: <https://www.nimo.eu/>
- SCHREINER, N. und P. KENNING, 2018. Teilen statt Besitzen. Disruption im Rahmen der Sharing Economy. In: *Disruption und Transformation Management*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018. ISBN 9783658191306.
- SCHREPFER, J., J. MATHES, V. PICRON und H. BARTH, 2018. Automatisiertes Fahren und seine Sensorik im Test. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 120(1), 29-37. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*.

- SCHRÖDER, D., L. KIRN, J. KINIGADNER, A. LODER, P. BLUM, Y. XU und M. LIENKAMP, 2023. Ending the myth of mobility at zero costs: An external cost analysis [online]. *Research in Transportation Economics*, 97, 101246. ISSN 07398859. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2022.101246>
- SCHULTHESS, M., 2012. *Die Nutzung von Analogien im Innovationsprozess. Eine Untersuchung der Bedingungsfaktoren und Wirkungen*. Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Institut für Marketing Industrieller Güter und Dienstleistungen, Diss., 2012. Wiesbaden: Gabler Verlag. SpringerLink. ISBN 978-3-8349-4027-8.
- SCHWARZ, F., 2022. *Von der Teststrecke zum Urban Mobility Campus* - OTTOBAHN [online]. 5. Dezember 2022 [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://ottobahn.de/2022/12/05/von-der-teststrecke-zum-urban-mobility-campus/>
- Schwebebahn mit raederlosen Fahrzeugen, die mittels magnetischer Felder an eisernen Fahrschienen schwebend entlang gefuehrt werden. Erfinder: H. KEMPER. DE6433161934.
- SCHWEDES, O., 2021. *Verkehr im Kapitalismus. 2., überarbeitete und erweiterte Neuauflage*. Bielefeld: Transcript Verlag. Sozialtheorie. ISBN 9783839459652.
- SEGWAY EUROPE B.V., 2023. *Segway-Ninebot Official Store* [online]. 18. Februar 2023 [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: https://shop.segway.com/de_de/
- SERVICESTELLE GEODATEN DES KREIS HERZOGTUM LAUENBURG, 2020. *Strukturdaten des Kreises Herzogtum Lauenburg* [online]. *ArcGIS Hub*. 28. Oktober 2020 [Zugriff am: 31. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://hub.arcgis.com/datasets/kreisrz1::strukturdaten-des-kreises-herzogtum-lauenburg/explore?location=53.593912%2C10.596779%2C11.42>
- SHAPIRO, C. und H.R. VARIAN, 1999. *Information rules. A strategic guide to the network economy*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press. ISBN 9780875848631.
- SHI, E., T.M. GASSER, A. SEECK und R. AUERSWALD, 2021. *The Principles of Operation Framework: A Comprehensive Classification Concept for Automated Driving Functions. J3016™*.
- SIEBENPFEIFFER, W., Hg., 2021. *Mobilität der Zukunft. Intermodale Verkehrskonzepte*. Berlin: Springer Vieweg. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-662-61352-8.
- SIMONIS, G., Hg., 2013. *Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 9783658020354.
- SINGH, P., M.A. DULEBENETS, J. PASHA, E.D.R.S. GONZALEZ, Y.-Y. LAU und R. KAMPMANN, 2021. Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: Current Trends and Existing Challenges [online]. *IEEE Access*, 9, 91427-91461. IEEE Access. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091550>
- SINOZIC, T., 2020. *Was Robotaxis für die Staatsfinanzen bedeuten* [online]. 17. Februar 2020 [Zugriff am: 10. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.oeaw.ac.at/detail/news/was-robotaxis-fuer-die-staatsfinanzen-bedeuten-1>
- SKARICS, R., 2002. Müssen uns auf viele Zukuenfte einstellen [online]. *VERKEHR & UMWELT*, 16(5), 9-18. VERKEHR & UMWELT [Zugriff am: 26. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/952212>

- SKRICKIJ, V., E. ŠABANOVIĆ und V. ŽURAULIS, 2020. Autonomous road vehicles: recent issues and expectations [online]. *IET Intelligent Transport Systems*, 14(6), 471-479. ISSN 1751-9578. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5513>
- SOMMER, C., F. SCHÄFER, B. RITTMEIER, G. LÖCKER, T. HATTOP und A. SAIGHANI, 2016. *Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen. Planungsleitfaden für Handlungsmöglichkeiten von ÖPNV-Aufgaben-trägern und Verkehrsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte flexibler Bedienungsformen*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.
- SONDEREGGER, R., S. IMHOF, W. von ARX und J. FRÖLICHER, 2019. Selbstfahrende Fahrzeuge im ländlichen Raum. Kombination mit traditionellem öffentlichem Verkehr bietet größte Chancen. *DER NAHVERKEHR*, (4), 57-61. DER NAHVERKEHR.
- SONKA, A., 2022. *Automatisiertes Fahren - Der Weg zu Level 4*. Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF). Online: Innovationszentrum Niedersachsen GmbH, 25. August 2022. Vollautomatisiertes Fahren – Vorgaben, Voraussetzungen, Potenziale.
- SOUTHEASTERN RAILWAY MUSEUM, 2019. *Westinghouse C-100 Automated People Mover* [online]. 6. April 2022 [Zugriff am: 23. Mai 2023]. Verfügbar unter: www.train-museum.org
- STADT NÜRNBERG, 2022. *Echtes Pionierstück: Nürnbergs automatische U-Bahn - Digitales Nürnberg* [online]. 23. November 2022 [Zugriff am: 23. November 2022]. Verfügbar unter: https://www.nuernberg.de/internet/digitales_nuernberg/automatische_ubahn_nuernberg.html
- STATISTA, 2023. *E-Scooter-Sharing - Weltweit | Statista Marktprognose* [online]. 12. Januar 2023 [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/gemeinsame-fahrten/e-scooter-sharing/weltweit#weltweiter-vergleich>
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2022a. *7,8 Millionen schwerbehinderte Menschen leben in Deutschland* [online]. 22. Juni 2022 [Zugriff am: 19. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_259_227.html
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2022b. *Unfälle von Bussen im Straßenverkehr 2020*. Statistisches Bundesamt (Destatis).
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2023. *Sonderauswertung zu Sterbefallzahlen der Jahre 2020 bis 2022* [online]. *Sterbefälle und Lebenserwartung*. 10. Januar 2023 [Zugriff am: 12. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/sterbefallzahlen.html>
- STATISTISCHES BUNDESAMT, Hg., Juli 2022. *Anzahl der Verunglückten bei Straßenverkehrsunfällen in Deutschland nach Altersgruppen und Geschlecht im Jahr 2021. Verkehrsunfälle Zeitreihen 2021, Seite 156* [online] [Zugriff am: 5. April 2023]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/223266/umfrage/alter-der-beteiligten-von-unfaellen-im-strassenverkehr/?locale=de>
- STEIERWALD, G., H.D. KÜNNE und W. VOGT, 2005. Beitrag der Technikfolgenabschätzung für die Stadtverkehrsplanung. In: *Stadtverkehrsplanung - Grundlagen, Methoden, Ziele*, S. 385-400.

- STEINRÜCK, B. und P. KÜPPER, 2010. *Mobilität in ländlichen Räumen unter besonderer Berücksichtigung bedarfsgesteuerter Bedienformen des ÖPNV* [online]. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie. 02/2010 [Zugriff am: 20. November 2024]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/41463>
- STERNBERG, R.J., 1977. *Intelligence, information processing, and analogical reasoning: The componential analysis of human abilities*.
- STRIJBOSCH, W., 2018. *Sicheres autonomes Fahren mit hochauflösenden Karten*. 11.
- STUDIENGRUPPE FÜR BIOLOGIE UND UMWELT, Hg., 1991. *Methodenhandbuch Sensitivitätsmodell Prof. Vester*. München.
- SVG SÜDWESTHOLSTEIN, 2022. *5. Regionaler Nahverkehrsplan (RNVP) der Kreise Pinneberg, Segeberg, Stormarn & Herzogtum Lauenburg*. SVG Südwestholstein ÖPNV-Verwaltungsgemeinschaft. Norderstedt.
- SWISSMETRO-NG, 2022. *Geschichte - SwissMetro-NG* [online]. 15. Juli 2022 [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://swissmetro-ng.org/de/geschichte/>
- SY, M. und D. THAMM, 2016. *Barrierefreier Neu-, Um- und Ausbau der Bushaltestellen im Hamburger Verkehrsverbund. Feste bauliche Standards und weitere Empfehlungen - Ein Leitfaden für Baulastträger*. hvv Hamburger Verkehrsverbund Gesellschaft mbH.
- TADDICKEN, M., A. REIF, J. BRANDHORST, J. SCHUSTER, M. DIESTELHORST und L. HAUKE, 2020. Wirtschaftlicher Nutzen statt gesellschaftlicher Debatte? Eine quantitative Framing- Analyse der Medienberichterstattung zum autonomen Fahren [online]. *Medien & Kommunikationswissenschaft*, 68(4), 406-427. ISSN 1615-634X. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.5771/1615-634X-2020-4-406>
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG, 2022. *Ergebnisse aus dem Projekt TaBuLa* [online]. *Elektrischer, automatisiert verkehrender Bus in Lauenburg*. 26. Oktober 2022 [Zugriff am: 26. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.tabulashuttle.de/ergebnisse/>
- THELOSEN, J., 2025. *Grafiken für fahrerloses Fahren*.
- TIRACHINI, A. und C. ANTONIOU, 2020. The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy [online]. *Economics of Transportation*, 21, 100151. ISSN 22120122. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100151>
- TJADEN, S., 2023. *Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem*: Institut für Verkehrsplanung und Logistik. Harburger Berichte zur Verkehrsplanung und Logistik. 24.
- TJADEN, S., H. FLÄMIG, M. GROTE und M. THIEL, 2022. Ökonomische Analyse eines kombinierten Personen- und Gütertransports. Verbindung von Transportroboter und Shuttle für eine autonome Transportlösung. *Internationales Verkehrswesen*, 74(2), 32-36. Internationales Verkehrswesen.
- TRÄCHTLER, A., 2006. *Railcab. Mit innovativer Mechatronik zum Schienenverkehrssystem der Zukunft* [online]. Aachen, Oktober 2006. VDE-Kongress 2006 - Innovations for Europe [Zugriff am: 20. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/562979137.html>
- TREMMELE, J., 2003. *Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie. Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure*. Teilw zugl.: Frankfurt/Main, Univ., Diplomarbeit, 2003. München: Ökom-Verl. Hochschulschriften zur Nachhaltigkeit. 4. ISBN 3936581142.

- TRENTESAUX, D., R. DAHYOT, A. OUEDRAOGO, D. ARENAS, S. LEFEBVRE, W. SCHON, B. LUSSIER und H. CHERITEL, 2018. The Autonomous Train. In: *2018 13th System of Systems Engineering Conference (SoSE). June 19-22, 2018, Sorbonne université, campus Pierre et Marie Curie, Paris, France*. Piscataway, NJ: IEEE, S. 514-520. ISBN 978-1-5386-4876-6.
- TSAKARESTOS, A., 2014. *Weiterentwicklung der Methodik zur Nahverkehrsplanung für ländliche Räume vor dem Hintergrund veränderter Randbedingungen* [online] [Zugriff am: 10. August 2022]. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/966137>
- TSUKADA, M., T. OI, M. KITAZAWA und H. ESAKI, 2020. Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving [online]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(18). Sensors (Basel, Switzerland). Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.3390/s20185320>
- TÜV NORD AG, 2019. *Automatisierter Bus Prüfverfahren* [online]. *Wie prüft man einen automatisierten Bus?* 28. November 2019 [Zugriff am: 20. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.tuev-nord.de/explore/de/erklaert/wie-prueft-man-einen-automatisierten-bus/>
- TÜV NORD MOBILITÄT GMBH & CO. KG, 2019. *Gutachten zur Erlangung einer Einzelbetriebserlaubnis gern. §21 StVZO. Lauenburg/Elbe*.
- UNITED NATIONS, 2006. *Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Optional Protocol. CRPD* [online] [Zugriff am: 13. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities.html>
- UNITED NATIONS, 2015. *The Paris Agreement*.
- UNITED NATIONS, 2021. *Emissions Gap Report 2020* [online]: United Nations. ISBN 978-92-807-3812-4. [Zugriff am 27.12.2025] Verfügbar unter: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789280738124>
- ÜSTRA, 2020. *Elektrobusse im Linieneinsatz bei der ÜSTRA* [online]. *Technische Daten* [Zugriff am: 19. April 2021]. Verfügbar unter: <https://www.uestra.de/unternehmen/betrieb-technik/stadtbus/elektrobusse/>
- VADO E TORNO EDIZIONI, 2022. *Electric bus range, focus on electricity consumption. A sum-up* [online]. erschienen in *Sustainable Bus*. 22. Juli 2022 [Zugriff am: 4. August 2023]. Verfügbar unter: <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-bus-range-electricity-consumption/>
- VAN DER BORGHT, R., 1894. *Das Verkehrswesen* [online]. Leipzig: Hirschfeld. Hand- und Lehrbuch der Staatswissenschaften in selbständigen Bänden Abteilung 1. 7 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=rzwVAAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=verkehrswesen&ots=ZP30-Q-_Cy&sig=Yzi29lh3jrvF0QSGWzlrIUZ4Mc#v=onepage&q=verkehrswesen&f=false
- VAN NOTTEN, P.W., J. ROTMANS, M.B. VAN ASSELT und D.S. ROTHMAN, 2003. An updated scenario typology [online]. *Futures*, 35(5), 423-443. ISSN 0016-3287. Verfügbar unter doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(02\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3)
- VDI, 2000. *VDI 3780. Technikbewertung - Begriffe und Grundlage*. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.

- VDV, 2022. *Übersichtskarte: Autonome Busse in Deutschland* [online]. *Innovationslandkarte*. 26. Oktober 2022 [Zugriff am: 26. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx>
- VDV, 2023. *VDV-Personalumfrage im ÖV* [online]. 2023 [Zugriff am: 20. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/vdv-personalumfrage-im-oev.aspx>
- VDV, Hg., 2015. *VDV-Mitteilung 7038 Barrierefreiheit in der Nahverkehrsplanung gemäß PBefG*. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV). 08.
- VDV, Hg., 2019. *VDV-Statistik 2019*. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV). Köln. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/statistik-jahresbericht.aspx>
- VERKEHR SUNFALLFORSCHUNG AN DER TU DRESDEN GMBH, 2021. *German In-Depth Accident Study* [online]. *Methodik | GIDAS*. 5. November 2021 [Zugriff am: 1. April 2023]. Verfügbar unter: <https://www.gidas.org/about-methodology.html>
- VESTER, F., 1984. *Neuland des Denkens*.
- VESTER, F., 1990. *Ausfahrt Zukunft. Strategien für den Verkehr von morgen; eine Systemuntersuchung*. 3. Aufl. München: Heyne. ISBN 3453039831.
- VESTER, F., 1991. *Ausfahrt Zukunft - Supplement. Material zur Systemuntersuchung*. München.
- VESTER, F., 2007. *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; ein Bericht an den Club of Rome*. Aktualisierte und erw. Taschenbuchausg., 6. Aufl. München: Dt. Taschenbuch-Verl. Dtv. 33077. ISBN 3423330775.
- VOLGMANN, K., A. GROWE, A. MÜNTER und F. OSTERHAGE, 2022. Profitiert das Umland vom Boom der Großstädte? Reichweite und funktionale Differenzierung von Ausstrahlungseffekten in den deutschen Stadtregionen [online]. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80(4), 397-413. ISSN 0034-0111. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.14512/rur.144>
- VOLK, D., 1977. Individual-Verkehrsmittel "Cabinentaxi" [online]. *Technische Rundschau*, 18(3). Technische Rundschau [Zugriff am: 19. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://trid.trb.org/view/1066197>
- VORNDRAN, I., 2011. Unfallstatistik - Verkehrsmittel im Risikovergleich. *Wirtschaft und Statistik*, (12), 1083-1088. Wirtschaft und Statistik.
- WACHENFELD, W. und H. WINNER, 2015. Lernen autonome Fahrzeuge? In: M. MAURER, J.C. GERDES, B. LENZ und H. WINNER, Hg. *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 465-488. ISBN 9783662458532.
- WACHENFELD, W., H. WINNER, C. GERDES, B. LENZ, M. MAURER, S.A. BEIKER, E. FRAEDRICH und T. WINKLE, 2015. Use-Cases des autonomen Fahrens. In: M. MAURER, J.C. GERDES, B. LENZ und H. WINNER, Hg. *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 9-37. ISBN 9783662458532.
- WAGNER-DÖBLER, R., 1989. *Das Dilemma der Technikkontrolle. Wirkungen der Technikentwicklung und Probleme der Technologiepolitik*. Zugl.: Augsburg, Univ., Diss., 1989 u.d.T.: Wagner-Döbler, Roland: Technik, Technikfolgen, Technikfolgenabschätzungen. Berlin: edition sigma. ISBN 3894043008.

- WALKER, W.E. und V.A. MARCHAU, 2017. Dynamic adaptive policymaking for the sustainable city: The case of automated taxis [online]. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(1), 1-12. ISSN 20460430 [Zugriff am: 1. Juni 2017]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.004>
- WÄNGLER, T., 2023. *Finanzierungsformen der Verkehrswege* [online]. 6. Januar 2023 [Zugriff am: 6. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.ihk.de/bergische/standortpolitik/anlagen/finanzierungsformen-verkehrswegeinfrastruktur-1408560>
- WAYMO LLC, 5 September 2024, 12:00. *New Data Hub Shows How Waymo Improves Road Safety* [online] [Zugriff am: 22. November 2024]. Verfügbar unter: <https://waymo.com/blog/2024/09/safety-data-hub/>
- WEBER, G., 2009. Der ländliche Raum – Mythen und Fakten. *Agrarische Rundschau*, (6). Agrarische Rundschau.
- WECK, M. und C. BRECHER, 2006. *Automatisierung von Maschinen und Anlagen*. 6., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer. VDI-Buch. 4. ISBN 3540225072.
- WEHMEIER, T. und A. KOCH, 2010. Mobilitätschancen und Verkehrsverhalten in nachfrageschwachen ländlichen Räumen. *Informationen zur Raumentwicklung*, (7), 457-465. Informationen zur Raumentwicklung.
- WEIDMANN, U., 2008. Magnetschnellbahn: Vision oder Fiktion. Die Fallstudie "SWISSMETRO". *Internationales Verkehrswesen*. Internationales Verkehrswesen.
- WEIDMANN, U., S. BUCHMÜLLER, M. RIEDER, A. ERATH, A. NASH und A. CARREL, 2006. *Europäische Marktstudie für das System Swisshmetro: Phase I*.
- WEINGART, P., J. LENTSCH, M.G. ASH, P. KIELMANSEGG, R. KURTH, R. MAYNTZ und O. RENN, 2008. *Wissen - Beraten - Entscheiden. Form und Funktion wissenschaftlicher Politikberatung in Deutschland*. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft. Interdisziplinäre Arbeitsgruppen – Forschungsberichte. 22. ISBN 9783938808511.
- WIEDEMANN, P., 2010. *Vorsorgeprinzip und Risikoängste. Zur Risikowahrnehmung des Mobilfunks*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. SpringerLink Bücher. ISBN 978-3-531-92175-4.
- WILLKE, H., 1997. *Supervision des Staates*. Frankfurt am Main: Suhrkamp. ISBN 3518582410.
- WINNER, H., 2015. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3., überarb. u. erg. Aufl. 2015. Wiesbaden: Springer Vieweg. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-658-05734-3.
- WINTER, K., O. CATS, G. CORREIA und B. VAN AREM, 2018. Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public transport service [online]. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7(2), 151-167. ISSN 20460430. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.04.004>
- WISSMANN, M. und H.-J. EWERS, 1994. Der umstrittene Transrapid [online]. *Wirtschaftsdienst*, 74(8), 383-389. Wirtschaftsdienst [Zugriff am: 25. Februar 2023]. Verfügbar unter: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/137151/1/wd_v74_i08_pp383-389.pdf
- WITTKOPP, F., 24. Juni 2021. Transrapid und Co. differenziert betrachten [online]. *VDI Nachrichten* [Zugriff am: 8. Oktober 2022]. Verfügbar unter: <https://www.vdi-nachrichten.com/aus-dem-vdi/transrapid-und-co-differenziert-betrachten/>

- WITTKOWSKY, D. und F. AHLMEYER, 2018. Verkehr in ländlichen Räumen [online]. In: *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Ausgabe 2018. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung. ISBN 978-3-88838-559-9 [Zugriff am: 22. Juli 2023]. Verfügbar unter: <https://www.arl-net.de/system/files/media-shop/pdf/HWB%202018/Verkehr%20im%20l%C3%A4ndlichen%20Raum.pdf>
- WULFHORST, G., 2003. *Flächennutzung und Verkehrsverknüpfung an Personenbahnhöfen. Wirkungsabschätzung mit systemdynamischen Modellen*. Zugl.: Aachen, Univ., Diss., 2003. Aachen: Inst. für Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen. Stadt, Region, Land B, Bericht. 49. ISBN 3883541419.
- YOMI, A., 22. September 2022. Ziele für den ÖPNV Lauenburg. E-Mail.
- YUNEX TRAFFIC, 2023. *Connected Mobility Solutions - Yunex Traffic* [online]. 27. Februar 2023 [Zugriff am: 27. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.yunextraffic.com/de/portfolio/intelligentes-verkehrsmanagement/connected-mobility/>
- ZACHOW, M., 2018. Mobilität zwischen den Ohren. *DER NAHVERKEHR*, (1-2), 26-31. DER NAHVERKEHR.
- ZERMATT BERGBAHNEN AG, 2022. *Die erste autonome Gondelbahn der Schweiz* [online]. 11. Januar 2022 [Zugriff am: 18. Februar 2023]. Verfügbar unter: https://www.matterhornparadise.ch/de/Neuigkeiten-und-Medien/Die-erste-autonome-Gondelbahn-der-Schweiz_pr_1924964
- ZIELONKA, G., 2020. *China baut 500 km lange Magnetschnellbahn von Hangzhou nach Shanghai* [online]. 26. Juni 2020 [Zugriff am: 24. Februar 2023]. Verfügbar unter: <https://www.dmm.travel/nc/news/china-baut-500-km-lange-magnetschnellbahn-hangzhou-shanghai/>
- ZIMMER-MERKLE, S., T. FLEISCHER und J. SCHIPPL, 2021. Mobilität und Technikfolgenabschätzung. Zwischen Mobilitätsermöglichung und Mobilitätsfolgenbewältigung. In: S. BÖSCHEN, A. GRUNWALD, B.-J. KRINGS und C. RÖSCH, Hg. *Technikfolgenabschätzung. Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Baden-Baden: Nomos, S. 97-112. ISBN 9783848760701.
- ZOU, X., D.B. LOGAN und H.L. VU, 2022. Modeling public acceptance of private autonomous vehicles: Value of time and motion sickness viewpoints [online]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 137, 103548. ISSN 0968-090X [Zugriff am: 1. April 2022]. Verfügbar unter doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103548>
- ZWECK, A., 2013. Technikbewertung auf Basis der VDI-Richtlinie 3780. In: G. SIMONIS, Hg. *Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 145-160. ISBN 9783658020354.

Angesichts der vielfältigen Folgewirkungen unserer Mobilität ist es sinnvoll, neue Technik – wie das autonome Fahren – frühzeitig einer ganzheitlichen Bewertung zu unterziehen. Im Zusammenspiel von Verkehrsplanung und Technikfolgenabschätzung liefert diese Ausarbeitung hierzu ein strukturiertes Verfahren, das auf fahrerlose Minibusse im ÖPNV ländlicher Räume angewendet wird. Unter Einbezug eines Versuchsträgers ergibt sich eine Momentaufnahme vom Stand dieser Technik bei systematischer Einordnung der Chancen und Risiken.

In view of the diverse consequences of our mobility, it makes sense to subject new technology – such as autonomous driving – to a holistic assessment at an early stage. In the interaction between transport planning and technology assessment, this paper provides a structured procedure that is applied to driverless minibuses in public transport in rural areas. By including a test vehicle, a situation analysis of the state of this technology is obtained with systematic categorisation of the opportunities and risks.

