



Christoph Rentschler

2022

**Automatisierte und individualisierte  
Mobilitätsdienstleistungen -  
Anforderungen und Umweltwirkungen**

**innovac**  
Institut für Mobilität & Verkehr



**Grüne Reihe Nr. 76**

# Automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen - Anforderungen und Umweltwirkungen

Vom Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation.

Datum der mündlichen Prüfung: 16.12.2022

## **Verfasser**

Christoph Rentschler, M.Sc.

## **Erstgutachten**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz

## **Zweitgutachten**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kuhnimhof

## **Vorsitzender der Prüfungskommission**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer

## **Dekan des Fachbereichs**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar

## **Titelbild**

MoD Holding GmbH  
Neustadt an der Weinstraße,  
Ortsteil Hambach

## **Gesamtherstellung**

Abteilung Foto-Repro-Druck  
Technische Universität Kaiserslautern

## **Zitiervorschlag**

Rentschler, Christoph (2023): Automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen - Anforderungen und Umweltwirkungen, in: Grüne Reihe Nr. 76, herausgegeben von Wilko Manz, Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern.

## **Kaiserslautern, März 2023**

**ISSN: 1613-5040**

**CC BY-NC-ND 4.0**

**D 386**

## **Herausgeber**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz

Institut für Mobilität & Verkehr  
Institute for Mobility & Transport  
Technische Universität Kaiserslautern  
University of Kaiserslautern

Paul-Ehrlich-Straße 14  
D-67663 Kaiserslautern

Tel.: 0631 / 205-3685

Fax: 0631 / 205-3905

E-Mail: [info@imove-kl.de](mailto:info@imove-kl.de)

[www.imove-kl.de](http://www.imove-kl.de)

Institut für Mobilität & Verkehr **imove**

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
KAISERSLAUTERN



## Vorwort

Angefangen beim stationsbasierten und flexiblen Carsharing über das Ridesharing bis hin zum Ridepooling und Ridehailing haben sich in den vergangenen Jahren vermehrt neue Mobilitätsdienstleistungen im Verkehrssektor positioniert. Grundlage vieler dieser Angebote sind Digitalisierung, Prozessautomatisierung und Sharing Economy. Diese technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen machen sich die jeweiligen Dienstleistenden zu Nutze, um individualisierte öffentlich nutzbare Angebote zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse der Fahrgäste zugeschnitten sind. Durch die Fahrzeugautomatisierung ist zu erwarten, dass derartige Angebote künftig mit noch größerer zeitlicher und räumlicher Flexibilität betrieben werden können und durch die Kostenstrukturen für den Betreiber auch wirtschaftlich werden können.

Parallel hierzu muss sich der Verkehrssektor den Herausforderungen des Klimawandels stellen und einen großen Beitrag zu Erreichung einer nachhaltigen Lebensweise und Gesellschaft leisten. Die Zielsetzung wird durch die klimapolitischen Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen vorgegeben. Welchen Beitrag hierzu die oben genannten neuen Mobilitätsdienstleistungen leisten können, ist jedoch aktuell weitgehend unklar. Verkehrliche und ökologische Wirkungen können zum aktuellen Zeitpunkt allenfalls auf Basis veränderter Angebotsparameter abgeleitet werden und hängen stark von den jeweiligen Angebotsparametern und dem Einsatzbereich der künftigen Mobilitätsangebote ab. Sind die Angebote sehr stark individualisiert und in Konkurrenz zu bestehenden öffentlichen Verkehrsangebot ausgestaltet, kann dies zu einem geringen Besetzungsgrad führen, zu sinkenden Modal-Split-Anteilen bei Bus und Bahn führen und die Emissionen je Fahrgast insgesamt erhöhen. Werden die Angebote jedoch als Ergänzung zum öffentlichen Verkehr genutzt, ermöglicht dies einen hohen Bündelungsgrad der bestehenden Fahrtenwünsche und fördert intermodale Verhaltensweisen, was einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten kann.

In der vorliegenden Dissertation beschäftigt sich Christoph Rentschler mit technischen und rechtlichen Systemgrenzen sowie der Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles, der Nutzungsintention potenzieller Fahrgäste im Hinblick auf selbstfahrende Elektroshuttles und den Anforderungen potenzieller Fahrgäste an die Ausgestaltung der Mobilitätsdienstleistungen. In einer Beispielrechnung führt Christoph Rentschler zudem die Erhebungsergebnisse zusammen und zeigt mögliche Wirkungen auf das Verkehrssystem und die Umwelt auf.

Mit seiner Dissertation leistet Christoph Rentschler einen Beitrag für eine gezielte Ausgestaltung neuer, individualisierter Mobilitätsdienstleistungen im öffentliche Verkehrsangebot unter Berücksichtigung der Präferenzen und Bedürfnisse der Nutzenden.

Kaiserslautern, im März 2023

Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz



## Danksagung

Ich freue mich ganz besonders, dass ich mit der Abgabe meiner Dissertation dieses große und spannende Projekt abschließen konnte und dadurch den Höhepunkt meiner verkehrswissenschaftlichen Ausbildung erreicht habe. Es erfüllt mich mit Dankbarkeit, dass mich auf diesem Weg viele Menschen unterstützt und damit einen wesentlichen Beitrag zu diesem Erfolg geleistet haben.

Zuallererst möchte ich mich dabei bei meiner Familie, insbesondere bei meiner Frau, bedanken. Von ihnen wurde ich immer wieder ermutigt, trotz aller Herausforderungen, an der Fertigstellung der Dissertation festzuhalten und nicht aufzugeben. Bei gemeinsamen Diskussionen und Gesprächen haben sie mir geholfen einen neuen Blickwinkel einzunehmen, diese Herausforderungen neu zu betrachten und eine Lösung zu finden. Außerdem haben sie große Teile der Arbeit Korrektur gelesen und dadurch geholfen die erarbeiteten Ergebnisse für alle Lesenden verständlich zu beschreiben.

Auch meinen Betreuern, Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz und Prof. Dr.-Ing. Tobias Kuhnimhof, möchte ich ganz herzlich für die hilfreichen Anregungen und die wertvollen Diskussionen zu meinen Ergebnissen danken. Dadurch haben Sie mir geholfen die vielen Untersuchungsergebnisse aus mehreren Forschungsprojekten zusammenzuführen und zielführende Analysen auszuwählen. Während der Bearbeitung der Dissertation und auch während meiner gesamten Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mobilität & Verkehr (imove) der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK) konnte ich insbesondere von der verkehrswissenschaftlichen Expertise von Prof. Manz profitieren und für mein weiteres berufliches Leben sehr viel lernen. Daher möchte ich insbesondere Prof. Manz für die vielen Freiräume, die Rückendeckung und das Feedback während der Bearbeitung der dissertationsbegleitenden Forschungsprojekte danken. Während der Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei imove war auch der Austausch mit meinen Kolleginnen und Kollegen in den Projekten Hambach-Shuttle, TERMINAL und SENSARE sehr wertvoll für die Erarbeitung der Dissertation. Aber auch die Gespräche mit weiteren Kolleginnen und Kollegen am Institut sowie in den Projekten Tankstelle 2.0 bzw. 2.1 haben mir einen wichtigen fachlichen Input für die Erarbeitung gegeben. Hierfür möchte ich mich bei allen Beteiligten ganz herzlich bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Teilnehmenden aus den Erhebungen und Workshops, die ich während der Bearbeitung der Forschungsprojekte bzw. während der Erstellung der Dissertation durchführen durfte. Insbesondere die personengruppenspezifischen Workshops in TERMINAL haben mir dabei geholfen, die Bedürfnisse der einzelnen Personen an Mobilitätsdienstleistungen zu verstehen. Daher hoffe ich, mit meiner Dissertation einen Beitrag dazu leisten zu können, dass diese Bedürfnisse in der künftigen Ausgestaltung von Angebotskonzepten stärker berücksichtigt werden.

Kaiserslautern, im März 2023

Christoph Rentschler





## Kurzfassung

Durch die Digitalisierung und Prozessautomatisierung sowie die Sharing Economy, positionieren sich zunehmend neue Mobilitätsdienstleistungen im Verkehrssektor. Mit der zusätzlichen Automatisierung der Fahrzeuge, werden sich diese Dienstleistungen zu Robotaxen und Roboshuttles weiterentwickeln. Die Angebote ordnen sich zwischen dem heutigen öffentlichen Verkehr und dem Individualverkehr ein und nutzen die technischen Möglichkeiten, um ein auf die Bedürfnisse der Fahrgäste zugeschnittenes, flexibel nutzbares Angebot zu erstellen. Welche verkehrlichen und ökologischen Auswirkungen eine Einführung solcher Angebote hat, ist bis dato noch nicht bekannt oder kann allenfalls auf Grundlage von bestehenden Simulationsstudien abgeleitet werden. Das Ziel der Dissertation ist es, die Nutzungsintention und die Anforderungen an die Angebotsparameter in der Bevölkerung zu erheben und die potenzielle Nutzung sowie deren Wirkungen auf das Verkehrssystem und die Umwelt abzuschätzen.

In einem ersten Arbeitsschritt wurde zunächst der Entwicklungsrahmen der Fahrzeugautomatisierung und der Mobilitätsangebote definiert. Eine wichtige Grundlage sind dafür die Systemgrenzen für den heutigen und künftigen Einsatz automatisierter Fahrzeuge. Diese wurden durch eine Analyse der auf dem Markt verfügbaren Fahrzeuge und mit Hilfe gemachter Erfahrungen aus dem Testbetrieb ermittelt. Eine Marktstudie und eine Leitbildanalyse dienten zudem zur Definition möglicher Pfade und Szenarien zur Weiterentwicklung des automatisierten Fahrens und der Mobilitätsangebote.

Um die Akzeptanz des automatisierten Fahrens erheben zu können, wurde eine Faktorenanalyse mit einer nachgelagerten Clusteranalyse auf Grundlage quantitativer, empirischer Daten durchgeführt. Es wurden die beiden psychologischen Konstrukte der Befürchtungen und wahrgenommenen Wirkungen identifiziert, welche die Nutzungsintention direkt beeinflussen. Auf Grundlage dieser latenten Variablen wurden die befragten Personen in fünf Personengruppen eingeteilt. Diese sind besorgte Pessimisten, unbesorgte Pessimisten, Unentschlossene, besorgte Optimisten und unbesorgte Optimisten. Eine Analyse zeigt, dass die Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles in verschiedenen Szenarien von der Gruppe der besorgten Pessimisten bis zur Gruppe der unbesorgten Optimisten ansteigt.

Da die Mobilitätsangebote per Definition auf die Bedürfnisse der Nutzer und Nutzerinnen zugeschnitten sind, wurden zusätzlich die Anforderungen an die Angebotsparameter erhoben. Grundlegend waren neben der quantitativen Empirie auch qualitative Daten zu möglichen Angebotskonzepten, welche von Teilnehmenden in gruppenspezifischen Workshops definiert wurden.

Die Ergebnisse einer abschließend durchgeführten Beispieluntersuchung verdeutlichen, dass positive, ökologische Wirkungen durch die Angebote erzielt werden können. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Angebote mehrere Fahrtenwünsche bündeln und gezielt in den Erschließungslücken des öffentlichen Verkehrs eingesetzt werden.



## Abstract

Driven by digitalization and process automation as well as the sharing economy, new mobility services are increasingly emerging in the transport sector. Due to the additional automation of vehicles, these services will evolve into robotaxis and roboshuttles. The services are located between today's public transport and private transport and use the technical opportunities to create a flexible service that is tailored to the needs of the passengers. Which traffic and ecological effects an introduction of these services will have is still not known or can at least be estimated on the basis of existing simulation studies. The aim of the thesis was therefore to explore the intention of use and the requests on the service parameters in the population as well as to estimate the potential use and its effects on the transport system and the environment.

In a first step, the development framework of vehicle automation and mobility services was defined. An important basis therefore are system limitations for the current and future use of automated vehicles. These were determined through an analysis of available vehicles on the market and with the help of experience gained from experimental operations. A market study and an analysis of guiding principles were also used to define possible paths and scenarios for the further development of automated driving and mobility services.

In order to investigate the acceptance of automated driving, a factor analysis with a following cluster analysis was carried out on the basis of quantitative, empirical data. The two psychological constructs of fears and perceived effects were identified, which directly influence the intention of use. Based on these latent variables, the respondents were divided into five groups of persons. These are concerned pessimists, unconcerned pessimists, undecideds, concerned optimists and unconcerned optimists. An analysis reveals that the intention to use self-driving electric shuttles in different scenarios increases from the group of concerned pessimists to the group of unconcerned optimists.

Since the mobility services by definition are tailored to the needs of the passengers, the requirements for the service parameters were also surveyed. In addition to quantitative empirical data, qualitative data on possible service concepts, which were defined by participants in group-specific workshops, were also fundamental.

The results of a final sample examination make clear that positive, ecological effects can be achieved by the services. However, the requirements to be fulfilled are that the services combine multiple trip requests and are used in specific areas where the public transport system is not available.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	XIII
Tabellenverzeichnis.....	XV
Abkürzungsverzeichnis.....	XVII
Einführung.....	1
1 Einleitung .....	2
2 Datengrundlage, Arbeitsschritte und Aufbau.....	4
2.1 Datengrundlage.....	4
2.2 Arbeitsschritte und Aufbau .....	5
3 Methodik und statistische Grundlagen .....	7
3.1 Definition des Entwicklungsrahmens .....	7
3.1.1 Systemgrenzen des automatisierten Fahrens .....	7
3.1.2 Entwicklungstendenzen individualisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	9
3.1.3 Zukunftsszenarien des automatisierten und vernetzten Fahrens.....	10
3.2 Bedürfnisse und Akzeptanz .....	16
3.2.1 Mobilitätsverhalten und Mobilitätsprofile.....	16
3.2.2 Quantitative und qualitative Erhebungsmethoden.....	21
3.2.3 Technologieakzeptanz .....	27
3.2.4 Zusammenhangsanalyse .....	38
3.3 Einfluss des Fahrzeugmarktes und der Corona-Pandemie.....	42
Entwicklungsrahmen .....	44
4 Systemgrenzen des automatisierten Fahrens .....	45
4.1 Funktionsweise selbstfahrender Elektroshuttles .....	45
4.2 Einflussfaktoren auf den Betrieb selbstfahrender Elektroshuttles .....	47
4.2.1 Testrouten .....	48
4.2.2 Straßenraum.....	50
4.2.3 Fahrzeugabmessungen.....	51
4.2.4 Sensoren .....	52
4.2.5 Rechtsrahmen.....	52
4.3 Systemgrenzen .....	54
4.3.1 Räumlich-technische Systemgrenzen.....	54

4.3.2	Funktional-technische Systemgrenzen .....	56
4.3.3	Rechtliche Systemgrenzen.....	57
4.3.4	Entwicklungspotenziale der Systemgrenzen .....	58
5	Entwicklungstendenzen individualisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	59
5.1	Klassifizierung recherchierter Angebotstypen .....	61
5.1.1	Fahrzeugleihsysteme .....	62
5.1.2	Mitfahrssysteme .....	63
5.2	Potenzielle Entwicklungen und Wirkungen der Angebotstypen.....	68
6	Zukunftsszenarien des automatisierten Fahrens .....	72
6.1	Leitbildanalyse .....	72
6.1.1	Funktionsanalytisches Modell zum Leitbild-Begriff.....	72
6.1.2	Kategoriensystem .....	73
6.1.3	Ähnlichkeitsanalyse .....	75
6.1.4	Kategorienvergleich.....	78
6.2	Identifiziertes Leitbild der Sozietät „Shuttle“ .....	80
6.2.1	Pilotprojekte mit selbstfahrenden Elektroshuttles .....	80
6.2.2	Weiterentwicklung der Testfeld-Anwendungen .....	82
6.2.3	Erste und letzte Meile sowie Konversionsflächen im städtischen Raum .....	83
6.2.4	Erste und letzte Meile sowie einzelne Linien im ländlichen Raum .....	83
6.2.5	Automatisierung größerer Fahrzeugmodelle .....	84
6.2.6	Anforderungen an Einsatzformen .....	86
6.2.7	Infrastrukturelle und äußere Rahmenbedingungen.....	86
6.3	Identifiziertes Leitbild der Sozietät „Automobil“ .....	87
6.3.1	Evolutionär entwickeln und Sicherheit garantieren.....	88
6.3.2	Autobahnпилot als Ausgangspunkt der evolutionären Weiterentwicklung .....	89
6.3.3	Level vier als wirtschaftliches Geschäftsmodell in Megacities.....	91
6.3.4	Vernetztes Fahren und Datenmanagement .....	92
6.3.5	Aktueller Stand der Sensortechnologie .....	94
6.3.6	Externe Einflussfaktoren auf den Einsatz und die technische Entwicklung .....	95
6.4	Abgeleitete Zukunftsszenarien .....	97
	Bedürfnisse und Akzeptanz .....	104
7	Akzeptanz und Nutzungsintention des automatisierten Fahrens .....	105
7.1	Stichprobenzusammensetzung .....	105

7.2	Bewertung des automatisierten Fahrens.....	110
7.3	Analyse der Technologieakzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles .....	118
7.3.1	Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanalyse .....	119
7.3.2	Clusteranalyse auf Grundlage der Faktorwerte .....	125
7.3.3	Korrelationsanalyse zur Technologieakzeptanz .....	128
7.4	Analyse der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles .....	130
7.4.1	Anlass zur Nutzung .....	130
7.4.2	Korrelationsanalyse der Nutzungsintention.....	133
8	Nutzung von und Bedürfnisse an automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen .....	139
8.1	Stichprobenszusammensetzung .....	139
8.2	Nutzung und Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen.....	146
8.2.1	Gemessene Nutzung individualisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	146
8.2.2	Nutzungsintention .....	154
8.2.3	Verkehrsmittelwahl .....	159
8.2.4	Korrelationsanalyse zur Nutzungsintention .....	164
8.3	Anforderungen an Angebotsparameter.....	168
8.3.1	Zugang zum Fahrzeug.....	168
8.3.2	Flexibilität .....	171
8.3.3	Fahrtkosten und Bezahlung.....	174
8.3.4	Fahrtenbündelung .....	177
8.3.5	Korrelationsanalyse geforderter Angebotsparameter für individualisierte Mobilitätsdienstleistungen.....	178
8.3.6	Korrelationsanalyse geforderter Angebotsparameter für automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen .....	180
8.4	Sensitivitätsanalyse der Nutzungsintention .....	181
8.4.1	Einfluss des Zu- bzw. Abgangsweges.....	182
8.4.2	Einfluss der Wartezeit .....	183
8.4.3	Einfluss der Fahrzeitverlängerung durch Fahrtenbündelung.....	185
8.4.4	Einfluss des Fahrpreises.....	186
9	Personengruppenspezifische Anforderungen an Angebotskonzepte .....	188
9.1	Anforderungen an Angebotskonzepte von Schülern und Schülerinnen .....	188

9.2	Anforderungen an Angebotskonzept von Auszubildenden .....	193
9.3	Anforderungen an Angebotskonzepte von Studierenden.....	196
9.4	Anforderungen an Angebotskonzepte von Berufstätigen.....	201
9.5	Anforderungen an Angebotskonzepte von Personen im Ruhestand.....	205
9.6	Anforderungen an Angebotskonzepte von mobilitätseingeschränkten Personen .....	209
	Wirkungsanalyse.....	212
10	Beispielhafte Untersuchung von Umweltwirkungen.....	213
11	Fazit und Handlungsempfehlungen .....	220
	Literaturverzeichnis.....	225
	Anhang.....	234
	Anhang A    Leitbildanalyse .....	235
	Anhang B    Zitatstellen zur Leitbildanalyse .....	245
	Anhang C    Stichprobenezusammensetzung .....	261
	Anhang D    Faktoren- und Clusteranalyse zur Technologieakzeptanz .....	272
	Anhang E    Bedürfnisse an Angebotsparameter .....	279
	Anhang F    Korrelationsanalysen .....	280
	Anhang G    Lebenslauf.....	291



## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2-1:</b>	Arbeitsschritte und Aufbau der Dissertation im Überblick .....	6
<b>Abbildung 4-1:</b>	Testrouten aus dem Forschungsprojekt Hambach-Shuttle im Überblick .....	49
<b>Abbildung 6-1:</b>	Zukunftsszenario der Sozietät „Shuttle“ .....	99
<b>Abbildung 6-2:</b>	Zukunftsszenario der Sozietät „Automobil“ .....	102
<b>Abbildung 7-1:</b>	Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste der Testbetriebe im Vergleich .....	118
<b>Abbildung 7-2:</b>	Bewertung der Items zur wahrgenommenen Wirkung des automatisierten Fahrens .....	124
<b>Abbildung 7-3:</b>	Bewertung der Items zu Befürchtungen aufgrund des automatisierten Fahrens .....	125
<b>Abbildung 7-4:</b>	Identifizierte Cluster in Abhängigkeit von der wahrgenommenen Wirkung durch und den Befürchtungen aufgrund des automatisierten Fahrens.....	127
<b>Abbildung 7-5:</b>	Bewertung der Items zur Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttle.....	131
<b>Abbildung 7-6:</b>	Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Wirkung und der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttle.....	136
<b>Abbildung 7-7:</b>	Zusammenhang zwischen der Cluster-Zugehörigkeit und der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttle.....	137
<b>Abbildung 8-1:</b>	Abfahrtszeitpunkte individualisierter Mobilitätsdienstleistungen.....	152
<b>Abbildung 8-2:</b>	Maximal akzeptierter Zu- bzw. Abgangsweg für AIM-Angebote .....	171
<b>Abbildung 8-3:</b>	Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes .....	173
<b>Abbildung 8-4:</b>	Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung des Abholzeitpunktes .....	174
<b>Abbildung 8-5:</b>	Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste der Testbetriebe im Vergleich .....	176
<b>Abbildung 8-6:</b>	Einfluss der Erhöhung des Zu- bzw. Abgangsweges auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen.....	183
<b>Abbildung 8-7:</b>	Einfluss der Erhöhung der Wartezeit auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	184
<b>Abbildung 8-8:</b>	Einfluss der Fahrzeitverlängerung durch Fahrtenbündelung auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen.....	185
<b>Abbildung 8-9:</b>	Einfluss der Fahrpreiszunahme auf die Nutzungsintention individualisierter und automatisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	186
<b>Abbildung 10-1:</b>	Beispielhafte Wirkungen von automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen auf den Modal Split .....	216

**Abbildung 10-2:** Beispielhafte Wirkungen von automatisierten und individualisierten  
Mobilitätsdienstleistungen auf Kohlenstoffdioxid-äquivalente Emissionen  
des Verkehrs im Untersuchungsgebiet..... 218

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 3-1:</b>	Erhebungsinstrument der Dissertation .....	22
<b>Tabelle 5-1:</b>	Recherchierte Angebote individualisierter Mobilitätsdienstleistungen .....	61
<b>Tabelle 6-1:</b>	Leitbilddimensionen erster Ordnung .....	74
<b>Tabelle 7-1:</b>	Technologieaffinität der befragten Personen zum automatisierten Fahren .....	111
<b>Tabelle 7-2:</b>	Bewertung des automatisierten Fahrens vorab.....	112
<b>Tabelle 7-3:</b>	Assoziationen mit dem automatisierten Fahren vorab.....	113
<b>Tabelle 7-4:</b>	Bewertung des automatisierten Fahrens durch Fahrgäste.....	115
<b>Tabelle 7-5:</b>	Anteile der Stichprobe und Lage der Zentroide differenziert nach den identifizierten Clustern.....	127
<b>Tabelle 7-6:</b>	Korrelationen der Akzeptanz von selbstfahrenden Elektroshuttles .....	129
<b>Tabelle 7-7:</b>	Nutzungsintention verschiedener Angebotskonzepte anstelle eines konventionellen Linienbusses .....	133
<b>Tabelle 7-8:</b>	Korrelationen der Nutzungsintention und der Akzeptanz von selbstfahrenden Elektroshuttles .....	135
<b>Tabelle 8-1:</b>	Besetzungsgrad und Bündelungsrate.....	148
<b>Tabelle 8-2:</b>	Wegelängen und Wegedauer.....	150
<b>Tabelle 8-3:</b>	Nutzungsintention (automatisierter) individualisierter Mobilitätsdienstleistungen.....	157
<b>Tabelle 8-4:</b>	Einfluss automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen auf die Verkehrsmittelwahl .....	163
<b>Tabelle 8-5:</b>	Einfluss automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen auf intermodale Verhaltensweisen .....	164
<b>Tabelle 8-6:</b>	Bedeutung verschiedener Bestellmöglichkeiten und Ein- und Ausstiegsarten.....	169
<b>Tabelle 8-7:</b>	Bedeutung einer Reservierungsmöglichkeit.....	172
<b>Tabelle 9-1:</b>	Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Schülern und Schülerinnen.....	190
<b>Tabelle 9-2:</b>	Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Auszubildenden .....	195
<b>Tabelle 9-3:</b>	Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Studierenden .....	198
<b>Tabelle 9-4:</b>	Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Berufstätigen .....	203
<b>Tabelle 9-5:</b>	Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Personen im Ruhestand.....	207

**Tabelle 9-6:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Personen mit Mobilitätseinschränkungen..... 211

# Abkürzungsverzeichnis

## A

AIM - *automatisierte individualisierte Mobilitätsdienstleistung*

AIS - *Aquaplaning Intelligent System*

ANOVA - *Analysis of Variance bzw. Varianzanalyse*

App - *Applikation (für Smartphones oder Tablets)*

AVP - *Automated Valet Parking*

## B

bcs - *Bundesverband CarSharing*

BEV - *Battery Electric Vehicle*

BiB - *Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung*

BMUV - *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz*

BMVI - *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*

BNetzA - *Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (kurz: Bundesnetzagentur)*

BOKraft - *Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr*

BRT - *Bus Rapid Transit*

BVTM - *Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V.*

## C

C2C - *Car-to-Car-Kommunikation (Alternative: Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation)*

C2I - *Car-to-Infrastructure-Kommunikation (Alternative: Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation)*

C2X - *Car-to-Everything-Kommunikation (Alternative: Vehicle-to-Everything-Kommunikation)*

CAD - *computer-aided design*

CETRAN - *Centre of Excellence for Testing & Research of Autonomous Vehicles*

CFA - *Confirmatory Factor Analysis*

CO<sub>2</sub>-Äq. - *Kohlenstoffdioxid-Äquivalente*

C-V2X *Cellular-Vehicle-to-Everything (s. V2X)*

## D

DAI - *Digital Aquaplaning Information*

DIW - *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung*

DSRC - *Dedicated Short Range Communication*

## E

EE - *Effort Expectancy*

EFA - *Explorative Factor Analysis*

EFRE - *europäischer Fonds für regionale Entwicklung*

EOU - *Perceived Ease of Use*

e-Payment - *elektronisches Zahlungssystem (Englisch: electronical payment system)*

eTIS - *electronic Tire Information System*

## F

FeV - *Fahrerlaubnis-Verordnung*

FGSV - *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen*

Fzghm - *Fahrzeugkilometer*

## G

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

GPS - *Global Positioning System*

## H

HBEFA - *Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs*

HFAF - *Hambach-Shuttle-Erhebung fahrbegleitend zum automatisierten Fahren*

HFIM - *Hambach-Shuttle-Erhebung fahrbegleitend zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen*

HOAF - *Hambach-Shuttle Onlinebefragung zum automatisierten Fahren*

## I

IM - *individualisierte Mobilitätsdienstleistung*

imove - *Institut für Mobilität und Verkehr*

IV - *Individualverkehr*

## K

KBA - *Kraftfahrt-Bundesamt*

## L

Lkw - *Lastkraftwagen*

## M

MBRDNA - *Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc.*

MiD - *Mobilität in Deutschland*

MIV - *motorisierter Individualverkehr*

MOP - *deutsches Mobilitätspanel*

## N

NAM - *Norm Activation Model*

NMIV - *Nichtmotorisierter Individualverkehr*

## O

Olli 2.0 - *Local Motors Olli Gen2 (selbstfahrendes Elektroshuttle des US-Amerikanischen Unternehmens Local Motors)*

ÖPNV - *öffentlicher Personennahverkehr*

ÖV - *öffentlicher Verkehr*

## P

P2P - *Peer-to-Peer (Carsharing-Angebot mit Fahrzeugen im Privatbesitz)*

PAF - *Principal Axes Factoring*

PBC - *Perceived Behavioral Control*

PBefG - *Personenbeförderungsgesetz*

PCA - *Principal Components Analysis*

PE - *Performance Expectancy*

Pkm - *Personenkilometer*

Pkw - *Personenkraftwagen*

Platzkm - *Platzkilometer*

PN - *Personal Norm*

PU - *Perceived Usefulness*

## R

RASt - *Richtlinien zur Anlage von Stadtstraßen*

RegioStaR - *regionalstatistische Raumtypologie*

## S

SAE - *Society of Automotive Engineers*

SCT - *Social Cognitive Theory*

SEPA - *Single Euro Payments Area*

SI - *Social Influence*

SN - *Subjective Norm*

StVG - *Straßenverkehrsgesetz*

StVO - *Straßenverkehrs-Ordnung*

StVZO - *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung*

## T

TAM - *Technology Acceptance Model*

TFAF - *TERMINAL-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren*

TOAF - *TERMINAL Onlinebefragung zum automatisierten Fahren*

TOIM - *TERMINAL Onlinebefragung zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen*

TPB - *Theory of Planned Behavior*

TRA - *Theory of Reasoned Action*

TUK - *Technische Universität Kaiserslautern*

## U

UBA - *Umweltbundesamt*

UTAUT - *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*

## V

V2I - *Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (Alternative: Car-to-Infrastructure-Kommunikation)*

V2V - *Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation (Alternative: Car-to-Car-Kommunikation)*

V2X - *Vehicle-to-Everything-Kommunikation (Alternative: Car-to-Everything-Kommunikation)*

VDA - *Verband der Automobilindustrie*

## W

WAIM - *Workshop-Konzept zu automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen*



# Einführung

# 1 Einleitung<sup>1</sup>

Durch die Digitalisierung und Prozessautomatisierung sowie die Sharing Economy entstehen erweiterte Gestaltungsspielräume für Verkehrsunternehmen. Darauf aufbauend, positionieren sich zunehmend neue Mobilitätsdienstleistungen im deutschen Verkehrssektor. Diese sind mit ihren Eigenschaften zwischen dem heutigen öffentlichen Verkehr (ÖV) und dem Individualverkehr (IV) angesiedelt. Da diese Angebote meist das Ziel verfolgen, ein individualisiertes, auf die Bedürfnisse der Nutzer und Nutzerinnen angepasstes Mobilitätsangebot zu erstellen, werden sie in dieser Dissertation als individualisierte Mobilitätsdienstleistungen (IM) bezeichnet. (vgl. Kapitel 5)

Die aktuell auf dem Verkehrssektor eingeführten IM, sind Angebote zur Personenbeförderung mit öffentlich zugänglichen Verkehrsmitteln und lassen sich in Mitfahrssysteme sowie Fahrzeugleihsysteme unterscheiden. Die Angebote bergen das Potenzial verkehrsmittelübergreifende Wegeketten und inter- oder multimodale Verhaltensweisen zu erleichtern und erweitern heutige Mobilitätsmöglichkeiten.<sup>2</sup> (vgl. Kapitel 5)

Gleichzeitig treiben Politik, Wirtschaft und Wissenschaft die Automatisierung des Straßenverkehrs voran. Längst betrifft diese technologische Entwicklung nicht nur Personenkraftwagen (Pkw), sondern auch Fahrzeugmodelle die im Rahmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) eingesetzt werden. Da die Automatisierung insbesondere im ÖPNV neue Potentiale erschließen kann, gab es in den vergangenen Jahren in Deutschland mehrere Pilotprojekte, die selbstfahrende Elektroschuttles im Testbetrieb einsetzten. Gegenstand dieser Studien ist es einerseits die technische Machbarkeit und andererseits die Akzeptanz unter den Fahrgästen des ÖPNV zu erheben. (vgl. Kapitel 4 und 6)

Auch die heutigen IM können durch die Fahrzeugautomatisierung zukünftig ohne Fahrpersonal und damit einhergehend günstiger betrieben werden. Dadurch verschmelzen die Angebotstypen zu automatisierten individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (AIM). Zwei mögliche Angebotstypen, die am Ende einer solchen Entwicklung stehen könnten und je nach Anforderungen der Nutzenden variabel ausgestaltet werden können, sind Robotaxen und Roboshuttles. (vgl. Kapitel 5)

Welche Auswirkungen eine Einführung solcher Angebote auf das Nutzungsverhalten hat, ist bis dato noch nicht bekannt, oder kann allenfalls auf Grundlage von bestehenden Simulationsstudien abgeleitet werden. Diese Studien betrachten jedoch meistens einen Endzustand, in dem die Angebote als alleiniger Verkehrsmodus bestehen, oder zumindest den ÖPNV vollständig ersetzen.<sup>3</sup> Zum jetzigen Zeitpunkt ist daher noch unklar, welche Wirkungen sich in Kombination mit den heutigen Verkehrsmodi tatsächlich

---

<sup>1</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere Begriffsdefinitionen, die Beschreibung der aktuellen und potenziellen Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt und die Entwicklung und Erprobung des automatisierten Fahrens, wurden bereits im Rahmen einer Marktstudie durch RENTSCHLER, MANZ in 2019 sowie im Rahmen des Forschungsprojektes Hambach-Shuttle durch RENTSCHLER, HERRMANN et al. in 2020 in ähnlicher Form veröffentlicht.

<sup>2</sup> Intermodalität beschreibt ein Verkehrsmittelwahlverhalten, bei dem eine Person auf einem Weg mehrere Verkehrsmittel nacheinander nutzt. Sofern eine Person über einen definierten Zeitraum, beispielsweise innerhalb einer Woche, mehrere Verkehrsmittel auf verschiedenen Wegen nutzt, so wird dies als Multimodalität bezeichnet (FGSV, 2017, S. 5–8).

<sup>3</sup> vgl. u.a. OECD 2015, 2017 oder FRIEDRICH, HARTL 2016.

ergeben und ob die Angebote zu einer Verstärkung von inter- und multimodalen Verhaltensweisen führen.

Daraus schlussfolgernd, ist es das Ziel der Dissertation, die Nutzungsintention und die Anforderungen an die Angebotsparameter in der Bevölkerung zu erheben und das zukünftige Nutzungsverhalten sowie dessen Wirkungen auf das Verkehrssystem abzuschätzen. Abschließend sind Einsatzempfehlungen für verschiedene Angebotstypen zu formulieren.

In diesem Zusammenhang spielen potenzielle Umweltwirkungen eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Einführung der Angebote, insbesondere im Hinblick auf die Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-Äq.) Emissionen des Verkehrssektors und die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung. Diese sehen eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen des Verkehrs bis 2030 um 48 Prozentpunkte gegenüber dem Wert von 2018 vor.<sup>4</sup>

In diesem Zusammenhang wird häufig von der Verkehrswende gesprochen, also von einem benötigten Wandel des Verkehrssystems zur Reduktion der Umweltwirkungen. Entsprechend einem Thesenpapier der AGORA VERKEHRSWENDE (2017) werden für dieses Ziel die beiden Komponenten der Energiewende im Verkehr und der Mobilitätswende beschrieben. Während sich die Energiewende mit einer zunehmenden Bedeutung alternativer Antriebstechnologien beschäftigt und nicht in dieser Dissertation im Fokus steht, beschreibt die Mobilitätswende eine Entwicklung, die der Zielsetzung der Dissertation entspricht. So führt die Mobilitätswende nach der Definition der AGORA VERKEHRSWENDE (2017) zu einer Senkung des Energiebedarfs, ohne die Mobilität der Bevölkerung einzuschränken. Stattdessen führen technologische Entwicklungen zu einer Effizienzsteigerung im Verkehrssektor durch eine Erleichterung von multimodalen Verhaltensweisen und eine Reduktion des Verkehrsaufkommens.<sup>5</sup>

Diese Definition der AGORA VERKEHRSWENDE (2017) aufgreifend, können für die Erarbeitung der oben erläuterten Ziele folgende Forschungsfragen definiert werden, die durch die Dissertation beantwortet werden:

- Welche AIM-Angebotskonzepte sind zukünftig technisch und rechtlich realisierbar?
- Welchen Einfluss hat das automatisierte Fahren auf die Nutzungsintention potenzieller Fahrgäste?
- Welche Bedürfnisse haben potenzielle Fahrgäste von IM bzw. AIM-Angeboten und welche Nutzungspräferenzen ergeben sich daraus?
- Welche Umweltwirkungen sind auf Grundlage der AIM möglich?

---

<sup>4</sup> vgl. BMU, 2016, S. 6–9 u. 51 ff., 2019, S. 61 f.; § 4 Abs. 1 Nr. 2 i. V. m. Anlage 2, *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)*, vom 12. Dezember 2019, BGBl. 2019 I, Nr. 48, S. 2513.

<sup>5</sup> vgl. AGORA VERKEHRSWENDE, 2017, S. 14 ff.

## 2 Datengrundlage, Arbeitsschritte und Aufbau

Nachfolgend wird beschrieben, welche Daten zur Erarbeitung der in Kapitel 1 beschriebenen Ziele und Forschungsfragen zur Verfügung standen, welche Arbeitsschritte durchgeführt wurden und wie die vorliegende Endfassung der Dissertation aufgebaut ist.

### 2.1 Datengrundlage

Neben den Datensätzen aus dem deutschen Mobilitätspanel (MOP), der Mobilität in Deutschland (MiD) und Daten zu den soziodemographischen Eigenschaften der heutigen und künftigen Bevölkerung, standen für die Dissertation erhobene Daten aus verschiedenen Forschungsarbeiten zur Verfügung. Neben einer einführenden Marktstudie zur Definition und zu möglichen Entwicklungspfaden von IM (vgl. Kapitel 5), wurden für die Dissertation Ergebnisse und Daten aus drei Forschungsprojekten am Institut für Mobilität und Verkehr (imove) der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK) ausgewertet und verglichen.

Das Forschungsprojekt „Hambach-Shuttle – Selbstfahrende Elektroshuttles zum Hambacher Schloss“ ist vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen der Förderrichtlinie „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ gefördert worden. Im Projekt wurden die Voraussetzungen für einen Regelbetrieb mit selbstfahrenden On-Demand-Elektroshuttles zum Demokratiedenkmal und Touristenziel „Hambacher Schloss“ mit Hilfe von verschiedenen Erprobungen und Erhebungsformaten erarbeitet. Ziel des Projektes war es, zu überprüfen, ob die Einführung von AIM-Angebotskonzepten das Verkehrsaufkommen und die Umweltwirkungen im Dorf reduzieren können.

Als Grundlage der dazu notwendigen Akzeptanzforschung zu IM diente die Einführung eines Ridehailing- und eines Ridepooling-Angebotes in Neustadt an der Weinstraße. Die Nutzenden des Testbetriebs wurden vor der Einführung des Angebotes befragt und gebeten, zu jeder durchgeführten Fahrt ein Wegeprotokoll auszufüllen. (vgl. Kapitel 3.2 und 8)

Die Akzeptanz des automatisierten Fahrens und die Intention zur Nutzung selbstfahrender Elektroshuttles wurde zunächst durch eine Onlinebefragung der Anwohner und Touristen im Ortsteil erhoben (vgl. Kapitel 3.2 und 7). Ergänzt wurde diese erhobene Nutzungsintention durch die Erhebung einer Nutzungsbewertung von Fahrgästen im Rahmen des Testbetriebs mit einem selbstfahrenden Elektroshuttle zum Hambacher Schloss (vgl. Kapitel 3.2 und 7). Aufgrund der örtlich besonderen Herausforderungen durch eine topographisch anspruchsvolle Umgebung, Straßen mit dichtem Baumbewuchs im Seitenraum und sehr enge Gassen im Ortskern, wurde die technische Umsetzbarkeit zuvor auf zwei weiteren Testrouten vorab ermittelt. Die gesammelten Erfahrungen während der Routenplanung und während des jeweiligen Testzeitraums dienten zusätzlich zur Definition der heutigen und der zukünftigen Systemgrenzen der Fahrzeugmodelle. (vgl. Kapitel 4)

Das zweite, der Dissertation zugrundeliegende Forschungsprojekt ist das Forschungsprojekt „TERMINAL – Automatisierte elektrische Minibusse im grenzüberschreitenden Pendlerverkehr“. Das Projekt wurde aus dem europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Programm „Interreg VA Großregion“ teilfinanziert. Projektziel war es, eine grenzüberschreitende Testroute mit selbstfahrenden Fahrzeugen in den ÖPNV zwischen Deutschland und Frankreich zu integrieren. Auch hier wurden die Fahrgäste während der Fahrt zu ihrer Akzeptanz des automatisierten Fahrens, der Nutzungsbewertung und der künftigen Nutzungsintention nach der Testfahrt befragt. (vgl. Kapitel 3.2 und 7)

Ergänzt wurde dieser Testbetrieb durch eine webbasierte Befragung zu selbstfahrenden Elektroshuttles (vgl. Kapitel 3.2 und 7) und eine Onlinebefragung zur Akzeptanz und Nutzungsintention von IM (vgl. Kapitel 3.2 und 8). In letzterer Befragung wurden zudem die Bedürfnisse an die Angebotsparameter von IM und wiederum die Akzeptanz des automatisierten Fahrens erhoben. Die Potenziale, die sich aus der Kombination aus IM und automatisiertem Fahren ergeben, wurden mit Hilfe von gruppenspezifischen Workshops erhoben. Die Teilnehmenden definierten zunächst ihr persönliches Nutzungspotenzial und gaben die Bedeutung verschiedener Angebotsparameter für die Nutzung von AIM-Angeboten an. Abschließend wurden in Kleingruppen verschiedene Angebotstypen der AIM entwickelt. (vgl. Kapitel 3.2, 8 und 9)

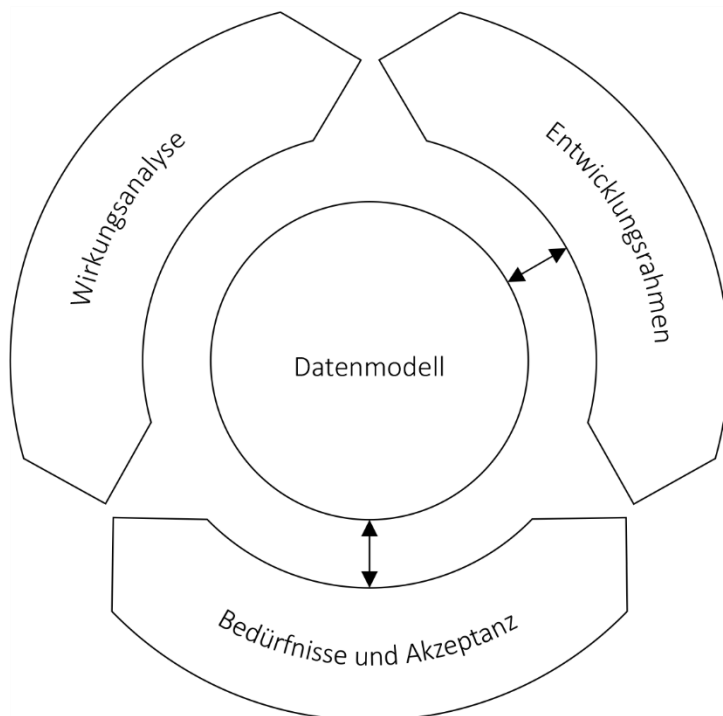
Im dritten Projekt „SENSARE – Sensorbasierte Stadtgebietsanalyse für Starkregengefährdungen zur Warnung und Resilienzverbesserung der Verkehrsinfrastruktur“, ist ein Echtzeit-Warnsystem entwickelt worden. Dieses ermittelt, ab welcher Regenmenge bestimmte Verkehrsinfrastrukturen nicht mehr befahrbar sind und wie der Verkehr umgeleitet werden muss. Das Projekt wurde ebenfalls vom BMVI durch die Forschungsinitiative mFUND, einem Modernitätsfonds, gefördert.

Durch moderne Kommunikationstechnologien könnte das entwickelte Echtzeit-Warnsystem zukünftig auch mit erhobenen Daten aus automatisierten Fahrzeugen gespeist werden und diese auf Überflutungen und andere Streckensperrungen hinweisen. Automatisierte Fahrzeuge würden solche Sperrungen in der Routenkalkulation berücksichtigen und der Befolgungsgrad wäre voraussichtlich höher als bei manuell gesteuerten Fahrzeugen. Um zu überprüfen, ob ein solches Zukunftsszenario tatsächlich möglich ist, welchen Anteil automatisierte Fahrzeuge am Markt und im Straßenverkehr haben werden und wie sich dies auf das potenzielle Verkehrsgeschehen auswirken könnte, wurden im Forschungsprojekt insgesamt acht Fachpersonen mit Hilfe eines teilstrukturierten Interviewleitfadens befragt. Auch diese Ergebnisse liegen der Dissertation zugrunde und ermöglichen die Definition künftiger Angebotstypen und -konzepte aus Sicht der Betreibenden und Herstellenden. (vgl. Kapitel 6)

## 2.2 Arbeitsschritte und Aufbau

Insgesamt können die verschiedenen Arbeitsschritte der Dissertation in drei Teile eingeteilt werden, die sich gegenseitig beeinflussen und einen Rahmen für den Aufbau vorgeben. Im ersten Teil wird zunächst

der Entwicklungsrahmen definiert und es werden technische, infrastrukturelle und rechtliche, aber auch politisch und gesellschaftlich akzeptierte Möglichkeiten zur Entwicklung von AIM-Angeboten analysiert. Die Ableitung von Bedürfnissen, der Technologieakzeptanz und der Nutzungsintention erfolgt in einem zweiten Schritt. Diese ersten beiden Teile der Dissertation greifen größtenteils auf die Daten aus den Forschungsprojekten zurück. Im Rahmen eines Datenmodells werden sie miteinander und mit den genannten, ergänzenden Datensätzen aus der Marktstudie zu IM, den Mobilitätshebungen des MOP und der MiD sowie den soziodemographischen Eigenschaften der Bevölkerung verglichen und assoziiert. Zusätzlich werden die Korrelationen zwischen den erhobenen Variablen und der Nutzungsintention untersucht. Zudem wird der Einfluss einer Änderung der Angebotsparameter auf die Nutzungsintention analysiert. Daraus können Sensitivitäten abgeleitet werden, wobei der Fokus in der Dissertation auf den zeitlichen Angebotskomponenten, dem Zu- und Abgangsweg und preislichen Angebotskomponenten liegt. Diese Sensitivitäten erlauben eine Aussage darüber, welche Angebotskonzeption einer AIM eine positive Wirkung im Hinblick auf die Reduzierung der Verkehrsleistung<sup>6</sup> und der Umweltwirkung haben könnte. Im Rahmen des dritten Teils, der Wirkungsanalyse, werden diese Umweltwirkungen an einer Beispieluntersuchung veranschaulicht. (vgl. Abbildung 2-1)



**Abbildung 2-1:** Arbeitsschritte und Aufbau der Dissertation im Überblick

<sup>6</sup> Unter der Verkehrsleistung wird das Produkt aus der Anzahl der Ortsveränderungen und der zurückgelegten Entfernung verstanden (vgl. FGSV, 2020, S. 32).

## 3 Methodik und statistische Grundlagen

Nachfolgend werden wichtige Arbeitsschritte der in Kapitel 2.2 vorgestellten Teile der Dissertation detailliert beschrieben, statistische Grundlagen erläutert und insbesondere die Erhebungsinstrumente für die Ableitung der Anforderungen an die Angebotsparameter, der Technologieakzeptanz und der Nutzungsintention vorgestellt. Die Ergebnisse, die aus diesen Arbeitsschritten abgeleitet werden konnten, werden in den Kapiteln 7 bis 9 jeweils in vergleichender Form vorgestellt.

### 3.1 Definition des Entwicklungsrahmens<sup>7</sup>

Die Definition des Entwicklungsrahmens setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen, die sich mit zukünftig möglichen Angebotskonzepten, die den AIM zugeordnet werden können, beschäftigen. Zunächst wurde der aktuelle technische Stand zur Automatisierung der Fahrzeuge betrachtet und es wurden Systemgrenzen für den heutigen und künftigen Einsatz abgeleitet. In einem weiteren Arbeitsschritt wurde erhoben, welche IM auf dem Markt bereits verfügbar sind und analysiert, wie sich diese Angebote durch die Fahrzeugautomatisierung zu AIM weiterentwickeln könnten. Begleitend dazu und unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wurden Personen mit Expertise dazu befragt, wo und wann verschiedene Stufen der Fahrzeugautomatisierung und damit ermöglichte Mobilitätsangebote zukünftig verfügbar und einsetzbar sein werden.

Die in dieser Dissertation angewandte Methodik zur Umsetzung der drei Arbeitsschritte des ersten Teils und die dafür benötigte Datengrundlage werden nachfolgend jeweils detailliert beschrieben.

#### 3.1.1 Systemgrenzen des automatisierten Fahrens

Im Arbeitsschritt zur Definition des Entwicklungsrahmens, wurden im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle technische und rechtliche Systemgrenzen selbstfahrender Elektroshuttles ermittelt. Die Grundlage dazu lieferte eine Analyse des aktuellen technischen Standes der Fahrzeugautomatisierung, ergänzt um Erfahrungen, die im Rahmen der Routenplanung im Forschungsprojekt gesammelt wurden. Kapitel 4 dieser Dissertation, vergleicht die definierten Einflussfaktoren auf und Systemgrenzen für den Fahrbetrieb mit Erfahrungen aus den Testrouten mit einem selbstfahrenden Elektroshuttle und mit Erfahrungen beim Einsatz eines Autopiloten des Tesla Model X innerhalb des Forschungsprojektes TERMINAL. Dadurch wird eine Prognose der Rahmenbedingungen, die beim Einsatz beider Fahrzeugtypen zu beachten sind, ermöglicht. Eine Unterscheidung nach den Fahrzeugtypen ist zwingend

---

<sup>7</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere Begriffsdefinitionen, die Beschreibung der aktuellen und potenziellen Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt (vgl. Kapitel 3.1.2) und die Entwicklung und Erprobung des automatisierten Fahrens (vgl. Kapitel 3.1.1), wurden bereits im Rahmen einer Marktstudie durch RENTSCHLER, MANZ in 2019 sowie im Rahmen des Forschungsprojektes Hambach-Shuttle durch RENTSCHLER, HERRMANN et al. in 2020 in ähnlicher Form veröffentlicht. Die Methodik zur Entwicklung von Zukunftsszenarien, die in Kapitel 3.1.3 beschrieben wird, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes SENSARE entwickelt und in stark gekürzter Form gemeinsam mit den Ergebnissen auf den Seiten 81 bis 86 des Schlussberichts von KOLESCH, NEUMANN et al. in 2022 bereits in ähnlicher Form veröffentlicht.

notwendig, da die jeweiligen Unternehmen unterschiedliche Ansätze zur Entwicklung und Einführung des automatisierten Fahrens verfolgen. Während die Automobilindustrie den evolutionären Ansatz verfolgt, fokussieren sich Herstellende selbstfahrender Elektroshuttles auf einen revolutionären Ansatz.<sup>8</sup> Der evolutionäre Entwicklungsansatz zielt darauf ab, eine vollständige Automatisierung der Fahrfunktion langfristig zu erreichen, indem verschiedene Assistenzsysteme in den Fahrzeugmodellen schrittweise ergänzt und weiterentwickelt werden. Diese Systeme werden von den Herstellenden in der Regel erst dann verkauft, wenn das Fahrzeugmodell, in dem die Assistenzsysteme verbaut wurden, eine allgemeine Betriebserlaubnis nach § 20 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) oder alternativ eine EG-Typengenehmigung nach der europäischen Richtlinie 2007/46/EG erhält.<sup>9</sup>

Unternehmen, die hingegen den revolutionären Entwicklungsansatz verfolgen, versuchen schon heute die maximal erreichbare Automatisierung in definierten Räumen abzubilden. Dabei verwenden Sie digitale Karten-, Sensor-, und Kameradaten und verkaufen die Fahrzeugmodelle auch ohne eine allgemeine Betriebserlaubnis oder eine EG-Typengenehmigung. Vor dem Einsatz auf deutschen Straßen muss daher zunächst eine Einzel- oder Ausnahmegenehmigung beantragt werden. Bei den Produzenten handelt es sich meist um Technologieunternehmen aus der IT-Branche oder um Neugründungen und Start-Ups. Eingesetzt werden die Fahrzeuge entweder in eigenen Testfeldern der Unternehmen oder in Testfeldern, die meist durch Forschungsgelder gefördert und durch Forschungseinrichtungen in Zusammenarbeit mit Verkehrsunternehmen, -verbänden und Kommunen betrieben werden.<sup>10</sup>

Entsprechend dem erstgenannten Entwicklungsansatz gibt es fünf verschiedene Entwicklungsstufen oder auch Level, die eine schrittweise Übernahme von Fahraufgaben durch das Fahrzeugmodell bis hin zur vollständigen Übernahme, also dem fahrerlosen bzw. autonomen Fahren, beschreiben und von verschiedenen Institutionen wie der SAE International (Society of Automotive Engineers International), dem Verband der Automobilindustrie (VDA) oder auch dem BMVI definiert wurden.<sup>11</sup>

Auch wenn die Stufen für den evolutionären Entwicklungsansatz definiert wurden, können sie auf aktuelle Fahrzeugmodelle des revolutionären Ansatzes übertragen werden, weshalb sie zu Beginn des Kapitels 4 nochmals im Rahmen einer kurzen Literaturanalyse erläutert werden. Nach der Beschreibung der Praxiserfahrungen aus den beiden Forschungsprojekten Hambach-Shuttle und TERMINAL, werden die analysierten Einflussfaktoren auf den Fahrzeugbetrieb erläutert. Die aus dieser Analyse abgeleiteten Systemgrenzen, lassen sich in die drei Gruppen räumlich-technisch, funktional-technisch und rechtlich unterscheiden. Sie wurden im Rahmen der Dissertation für beide Entwicklungsansätze hinsichtlich ihrer zukünftigen Bedeutung analysiert und werden zum Abschluss des Kapitels 4 detailliert beschrieben.

---

<sup>8</sup> vgl. BMVI, 2017a, S. 12, 45; vgl. PANDY, 2019.

<sup>9</sup> vgl. BEIKER, 2015, S. 199 ff.; vgl. PANDY, 2019.

<sup>10</sup> vgl. BEIKER, 2015, S. 202–206; vgl. PANDY, 2019; vgl. VDV, o. J.a.

<sup>11</sup> vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32; vgl. VDA, 2015, S. 14 f.; vgl. BMVI, 2015, S. 5 f.



### 3.1.2 Entwicklungstendenzen individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Im dritten Arbeitsschritt wurden die aktuell auf dem Markt neu verfügbaren Mobilitätsdienstleistungen wie etwa Carsharingangebote oder Chauffeurdienste ermittelt und anhand ihrer Angebotsparameter vergleichend beschrieben. Auf Grundlage dieser Marktstudie wurden verschiedene Angebotstypen der IM definiert und klassifiziert. Unter Berücksichtigung zukünftiger, technologischer Entwicklungen, insbesondere bei Verfügbarkeit vollständig selbstfahrender Fahrzeuge, wurden abschließend mögliche Transformationspfade dieser Angebotstypen hin zu Angebotstypen der AIM analysiert und beschrieben. Grundlage der Marktanalyse und der Klassifikation der ermittelten Angebotskonzepte bildete zunächst eine Literaturrecherche. Dabei war festzustellen, dass die in der Praxis häufig im Zusammenhang mit IM genannten Begriffe, wie etwa Mobility on Demand (MoD) oder Mobility as a Service (MaaS), nicht ausreichend voneinander abgegrenzt werden. Daher wurden zunächst Definitionen festgelegt, die in dieser Dissertation Gültigkeit haben und als Grundlage für die Marktanalyse dienen.

Insgesamt wurden 42 Angebote von 36 Mobilitätsdienstleistungsunternehmen durch die Marktstudie identifiziert. Die für die Angebote im Internet und in anderen Informationsmaterialien auffindbaren Daten wurden durch eine zusätzliche Datenanfrage ergänzt. Für insgesamt 26 Angebote, also 62 %, konnten dabei weitere Informationen erhoben werden. Die Daten aus der Marktstudie wurden anschließend im Hinblick auf nachfolgend beschriebene Angebotsparameter vergleichend analysiert.

Für jedes Angebot wurde das definierte Geschäftsmodell ermittelt. Dabei handelt es sich um eine kurze Beschreibung der Funktionalität des Angebotes. Die Geschäftsgebiete, also die Städte und die Regionen, in denen die Dienstleistenden ihr jeweiliges Angebot zur Verfügung stellen, geben einen ersten Hinweis auf die zum Zeitpunkt der Marktanalyse vorliegende Marktdurchdringung. Ein weiterer Hinweis kann aus der analysierten Anzahl an Nutzenden abgeleitet werden. Zusätzlich wurde der Angebotsumfang analysiert. Dieser wird beispielsweise durch die Anzahl der Fahrzeuge im Geschäftsgebiet oder durch die Fläche, in der das Angebot nutzbar ist, beschrieben. Zwei eher technische Angebotsparameter, die analysiert wurden, sind die Nutzungsgebühren, also alle Bestandteile des Angebotspreises, sowie die verfügbaren Buchungsmöglichkeiten des Angebotes. Insbesondere die erhobenen Angebotsparameter zur Verfügbarkeit und zu den Nutzungsgebühren spielen für die Verkehrsmittelwahl eine wichtige Rolle. Sie werden in den meisten Modellen und Simulationen zur Verkehrsnachfrage in Form von zeitlichen Komponenten, wie der Wartezeit bzw. der Umsteigewartezeit, der Fahrzeit und der Zu- bzw. Abgangszeit, und in Form von Kostenkomponenten, wie den Betriebskosten oder dem Fahrpreis, implementiert. Die darüber hinaus analysierten Buchungsmöglichkeiten werden in solchen Modellen und Simulationen als Komfortfaktor ebenfalls berücksichtigt.<sup>12</sup> Ihre Bedeutung wird auch in den Hinweisen für die Qualitätssicherung im ÖPNV, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), sowie in den definierten Qualitätsanforderungen aus der DIN EN

---

<sup>12</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.

13816:2002-07, insbesondere im Hinblick auf die Zugänglichkeit zum und die Kundenbetreuung beim ÖPNV-Angebot, hervorgehoben.<sup>13</sup>

Aus den Ergebnissen der Marktstudie, die in Kapitel 5 detailliert vorgestellt werden, kann letztlich eine theoretisch mögliche, technische Weiterentwicklung der IM hin zu AIM abgeleitet werden. Wie diese Angebotstypen zukünftig tatsächlich ausgestaltet werden, also welche Angebotskonzepte wo verfügbar sein werden, ist hieraus jedoch nicht ableitbar.

### 3.1.3 Zukunftsszenarien des automatisierten und vernetzten Fahrens

Einen Hinweis auf künftige Einsatzgebiete, -zeitpunkte und -formen des automatisierten Fahrens, können die Interviews mit Fachpersonen aus dem Forschungsprojekt SENSARE geben. Im Fokus stand dabei nicht nur das automatisierte, sondern auch das vernetzte Fahren. Je mehr Fahrzeuge entwickelt werden, die diese Technologien nutzen und je höher ihr Anteil im Straßenverkehr ist, desto wahrscheinlicher wird ein Datenaustausch zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur. Solche Fahrzeuge sind zukünftig miteinander vernetzt und können durch die in ihnen verbauten Sensoren, Assistenz- und Automatisierungssysteme Daten in Echtzeit erheben, verarbeiten und bereitstellen. Eine solche Kommunikation wird als Vehicle-to-Vehicle- (V2V) bzw. Car-to-Car-Kommunikation (C2C) bezeichnet, sofern daran lediglich zwei oder mehr Fahrzeugen beteiligt sind. Findet eine Kommunikation mit der Infrastruktur statt, handelt es sich um eine Vehicle-to-Infrastructure- (V2I) bzw. Car-to-Infrastructure-Kommunikation (C2I). Findet der Daten- und Informationsaustausch nicht nur mit Fahrzeugen oder mit der Infrastruktur, sondern auch mit anderen Verkehrsteilnehmenden wie zu Fuß gehenden statt, wird von einer Vehicle-to-Everything- (V2X) bzw. Car-to-Everything-Kommunikation (C2X) gesprochen.<sup>14</sup>

Sofern es zukünftig in Siedlungsgebieten ein örtliches Echtzeit-Warnsystem gibt, das automatisierte Fahrzeuge auf Gefahren oder auf Streckensperrungen hinweist, ist durch eine solche Kommunikation auch vorstellbar, dass dieses System mit Daten aus den Fahrzeugen gespeist wird. Zudem würden diese Fahrzeuge ihre Route bei einer Warnung vermutlich eher anpassen als dies Fahrzeugführende manuell gesteuerter Fahrzeuge bei einer Anzeige im Fahrzeugdisplay machen würden. Um die Realisierbarkeit eines solchen Zukunftsszenarios überprüfen zu können, muss zunächst ermittelt werden, welche Automatisierungs- und Vernetzungsfunktionen zukünftig am Markt verfügbar sein werden und welchen Anteil diese Fahrzeuge im Straßenverkehr zu bestimmten Zeitpunkten haben werden.

Grundlage für eine solche Analyse sind die durchgeführten, leitfadengestützten Interviews. In persönlich-mündlichen Gesprächen wurden der befragten Person bzw. der Zielperson vorformulierte Fragen aus einem Leitfaden gestellt. Da es sich um ein teilstrukturiertes Interview handelte, wurde in Abhängigkeit von der Gesprächsentwicklung entschieden, ob Fragen aus dem Leitfaden ausgelassen werden und ob sie in einer anderen Reihenfolge gestellt werden. Für die interviewende Person wurde

---

<sup>13</sup> vgl. DIN EN 13816:2002-07, Anhang A; vgl. FGSV, 2006, S. 11.

<sup>14</sup> vgl. MUECK, KARLS, 2018, S. 6 f.; vgl. JOHANNING, MILDNER, 2015, S. 15 f.; BMVI, 2015, S. 6 ff.; vgl. VDA, 2015, S. 19.

dafür im Leitfaden gekennzeichnet und vorab geschult, welche Fragen zwingend zu stellen sind. Zusätzlich enthält der Leitfaden weitere Fragen und mögliche Handlungsanweisungen, die zur Spezifizierung des bereits Gesagten oder zur Auflösung von Unklarheiten genutzt werden konnten. Alle Fragen des Leitfadens sind nach thematischen Aspekten gruppiert. Zusätzlich befindet sich vor jedem Abschnitt ein erzählgenerierender Impuls.<sup>15</sup>

Wie auch hier in der Dissertation werden solche leitfadengestützten Interviews häufig bei der Befragung von Fachpersonen angewendet. Dabei handelt es sich um Personen, die aufgrund ihrer beruflichen oder persönlichen Stellung über ein spezifisches Wissen und/oder über besondere Fähigkeiten verfügen. Durch diese Einordnung der interviewten Person wird dieser eine gewisse Anerkennung vermittelt „in dem Sinn, dass Erfahrungen, Erprobtheit in Routinen und möglicherweise eine profunde Ausbildung unterstellt werden und dass das Wissen wichtig ist“<sup>16</sup>. Durch diese Einordnung wird zudem signalisiert, dass die Weitergabe der Expertise durch die Zielperson im Zentrum des Interviews steht. Daher war der Interviewleitfaden innerhalb dieser Dissertation stark informationsbezogen und folgte einer klar definierten Struktur.<sup>17</sup>

Der entwickelte Leitfaden besteht aus drei inhaltlich unterschiedlichen Abschnitten. Zunächst wurde den Zielpersonen der Anlass des Interviews erläutert, bevor sie dazu aufgefordert wurden, das jeweilige Arbeitsfeld sowie dessen Zusammenhang mit der Thematik zu beschreiben. Diese Erzählaufforderung ermöglicht, ein freies Äußern für die befragte Person, wodurch möglicherweise bereits ohne Aufforderung einige forschungsrelevante Aspekte angesprochen werden. Entsprechend dieser Äußerungen können die Fragen der anderen beiden Abschnitte des Leitfadens ausgewählt werden.<sup>18</sup> Zusätzlich beinhaltet der erste Abschnitt allgemeine Fragen zur technischen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung. Diese wurden ebenfalls abhängig vom bisher gesagten in angemessener Reihenfolge gestellt.

Da sich die Entwicklung und die Einsatzmöglichkeiten bei den bereits thematisierten evolutionären und revolutionären Ansätzen unterscheiden, wurde mit einem Fragenblock des ersten Leitfadenabschnitts erhoben, welcher der beiden Ansätze von der Zielperson für erfolgversprechender gehalten wird bzw. mit welchem Ansatz sich Überschneidungen im Arbeitsalltag ergeben. In diesem Zusammenhang konnte die interviewende Person bei Bedarf eine Darstellung mit den fünf Stufen der Fahrzeugautomatisierung des BMVI vorstellen und die interviewte Fachperson um eine Einordnung des aktuellen und des technisch möglichen Entwicklungsstandes bitten. Wenn in einem Leitfadeninterview entsprechende Abbildungen zur Fokussierung oder zur näheren Erläuterung aufgezeigt werden, spricht man von einem Stimulus. Im hier beschriebenen Fall war dies besonders hilfreich, wenn der befragten Person die fünf Stufen nur partiell oder ungenau bekannt waren.<sup>19</sup> Wie bereits erläutert, sind die Stufen, die für den

---

<sup>15</sup> vgl. HELFFERICH, 2014, S. 560, 565-570.

<sup>16</sup> HELFFERICH, 2014, S. 571.

<sup>17</sup> vgl. HELFFERICH, 2014, S. 570-573.

<sup>18</sup> vgl. HELFFERICH, 2014, S. 566.

<sup>19</sup> vgl. HELFFERICH, 2014, S. 565, 568 f.

evolutionären Entwicklungsansatz definiert wurden, auch auf Fahrzeugmodelle des revolutionären Ansatzes übertragbar, wodurch der aktuelle, technologische Stand der beiden Entwicklungsansätze vergleichbar wird.

Eine zeitliche Prognose, wann definierte Automatisierungs- und Vernetzungsfunktionen auf dem Markt verfügbar und im Straßenverkehr eingesetzt werden können und welche Einsatzbereiche und -szenarien sich daraus ergeben, wurde in zwei weiteren Leitfadenabschnitten thematisiert. Zunächst wurden räumliche Einsatzpotenziale, differenziert nach städtischem und ländlichem Raum, und verkehrliche Einsatzpotenziale, differenziert nach ÖV und IV, erhoben. Anschließend beinhaltet der Leitfaden jedoch auch Fragenblöcke zu den Herausforderungen, die heute und zukünftig beim Einsatz der Fahrzeuge zu beachten sind. Dies stellt also eine Ergänzung der definierten Einflussfaktoren und Systemgrenzen aus Kapitel 4 dar. Zusätzlich wurden potenzielle Möglichkeiten durch den Einsatz des vernetzten Fahrens thematisiert. Der Leitfaden beinhaltet dafür als Stimulus ein Beispielszenario. Dieses beschreibt eine Zukunft, in welcher das Verkehrssystem durch die Automatisierung und Vernetzung besser auf Starkregenereignisse reagieren kann. In diesem Zusammenhang wurden die Fachpersonen um eine Bewertung dieser Aussage gebeten.<sup>20</sup>

Die Fragen aus dem ersten Abschnitt des Leitfadens fokussieren sich demnach auf die potenzielle und zeitliche Marktreife der fünf Stufen des automatisierten Fahrens. Diese Information wird mit den Fragen im letzten Abschnitt, zur Ermittlung eines möglichen Einsatzzeitpunktes im Straßenraum, komplettiert. Ziel war es demnach nicht, mit diesen Fragen zu ermitteln, wann die Herstellenden entsprechende Fahrzeuge entwickeln und auf den Markt bringen werden, sondern wann, wo und in welchem Umfang diese eingesetzt werden können.

Aufgrund der Unterschiede zwischen dem evolutionären und revolutionären Entwicklungsansatz wurden sowohl Angestellte von Shuttleherstellenden und von Verkehrsunternehmen und -verbänden als auch Personen mit Expertise aus der Automobilindustrie interviewt. Verkehrsunternehmen- und verbände setzen die selbstfahrenden Elektroschuttles aktuell in verschiedensten Testfeldern ein und sind daher, genauso wie die Shuttleherstellenden, dem revolutionären Ansatz zuzuordnen.<sup>21</sup> Über einen Zeitraum von einem Monat konnten insgesamt drei Fachpersonen aus der Automobilindustrie, in zwei Interviews, und vier Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden, jeweils in Einzelinterviews, befragt werden. Da nur ein Interview mit einer Fachperson eines Shuttleherstellenden geführt werden konnte, musste zusätzlich überprüft werden, ob das für diese Person identifizierte Leitbild eher den Leitbildern der befragten Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden oder den Leitbildern aus der Automobilindustrie zugeordnet werden kann. Dazu wurde eine Ähnlichkeitsanalyse im Hinblick auf die gemachten Aussagen durchgeführt.

---

<sup>20</sup> vgl. HELFFERICH, 2014, S. 565, 568 f.

<sup>21</sup> vgl. VDV, o. J.a.

Die durch die Interviews erhobenen Vorstellungen der einzelnen Fachpersonen basieren auf Leitbildern, denen die Personen in ihrem Handeln bewusst oder unbewusst folgen. Sie beschreiben, was die befragten Personen für wichtig, machbar oder wünschenswert halten.<sup>22</sup> Die Leitbildanalyse ist eine von der Forschungsgruppe Umweltbildung der Freien Universität Berlin entwickelte Methode, um solche Leitbilder ermitteln zu können. Es ist eine Weiterentwicklung des funktionsanalytischen Modells des Leitbild-Begriffs, das durch das Wissenszentrum Berlin für Sozialforschung definiert wurde.<sup>23</sup>

Mit den identifizierten Leitbildern kann für die befragten Personen mit Expertise das zukunftsbezogene „Orientierungsmuster, also Wahrnehmungs-, Denk- und Handlungsmuster [rekonstruiert] und daraus das vergangene, gegenwärtige oder auch zukünftige Handeln“<sup>24</sup> aufgefasst und erläutert werden. Aufbauend auf diesen Leitbildern war es daher anschließend möglich, Zukunftsszenarien abzuleiten. Diese Szenarien beschreiben, ob, wie und wann das beschriebene automatisierte und vernetzte Verkehrssystem erreicht werden kann. Die abgeleiteten Zukunftsszenarien wurden zusätzlich durch eine Literaturrecherche überprüft und ergänzt.

Die per Video-Konferenz durchgeführten und aufgezeichneten Experteninterviews mussten vor der Analyse verschriftlicht werden, da es sich bei der Leitbildanalyse um eine transkriptbasierte Analyse handelt. Im Rahmen der Dissertation wurde daher ein Transkriptionssystem definiert, das Sprechtexte wörtlich und vollständig transkribiert, Dialekte, Sprache und Interpunktionen jedoch glättet und in das Schriftdeutsch überführt. Zusätzlich sind Pausen, Betonungen oder Lautäußerungen nicht transkribiert worden. Unter Lautäußerungen werden beispielsweise ein Lachen oder ein Seufzen verstanden. In den Transkripten wurden zudem die jeweils sprechende Person und auftretende Wechsel zwischen den Sprechenden markiert. Vor der Leitbildanalyse wurden die Transkripte mit den jeweiligen Experten abgestimmt.<sup>25</sup>

Da das Verfahren der Leitbildanalyse auf dem funktionsanalytischen Modell zum Leitbild-Begriff nach MARZ, DIERKES (1992) aufbaut und dieses Modell bereits erste Dimensionen eines Leitbilds beschreibt, wird das Modell zu Beginn des Kapitels 6, in welchem die Ergebnisse aus der Analyse beschrieben werden, erklärt. Aufbauend auf diesem funktionsanalytischen Modell ist es die Aufgabe der Leitbildanalyse durch eine qualitative Inhaltsanalyse das Leitbild der befragten Person aus dem Interviewmaterial abzuleiten. Dies erfolgt in sechs Arbeitsschritten.<sup>26</sup>

Der erste Arbeitsschritt wird Grobcodierung genannt. Mit Hilfe von sechs definierten Kategorien erster Ordnung bzw. den Leitbilddimensionen erster Ordnung, werden die Textpassagen der Transkripte codiert. Dazu werden die Textpassagen bzw. Segmente, markiert und den zutreffenden Kategorien zugeordnet. Es handelt sich bei den sechs Kategorien um eine geringfügige Anpassung der Funktionen

---

<sup>22</sup> vgl. ALCÁNTARA, SONNBERGER, 2016, S. 4; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 32; vgl. GIESEL, 2007, S. 117 f.

<sup>23</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 116; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 210 f.

<sup>24</sup> GIESEL, 2007, S. 117.

<sup>25</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 38–47.

<sup>26</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 97–107; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 36–39; vgl. GIESEL, 2007, S. 118–121.

nach MARZ, DIERKES (1992). Sind Kategorien bereits vor einer Inhaltsanalyse, also unabhängig von den analysierten Texten, definiert worden, spricht man allgemein von deduktivem Codieren.<sup>27</sup>

Ziel des zweiten Arbeitsschritts, ist die Dimensionalisierung. Dazu werden die codierten Segmente erster Ordnung miteinander verglichen, interpretiert, und durch eine textstellenbezogene Codierung erneut codiert. Dadurch entstehen für thematisch ähnliche Textpassagen Leitbilddimensionen zweiter Ordnung, also Subdimensionen.<sup>28</sup> Das daraus folgende hierarchische Kategoriensystem hat demnach auf erster Ebene immer die definierten Funktionen eines Leitbildes. Nachrangige Ebenen sind vom thematischen Schwerpunkt der Interviews abhängig und entstehen induktiv mit Hilfe der zu analysierenden Texte.<sup>29</sup>

Eine Feincodierung erfolgt im dritten Arbeitsschritt. Mit Hilfe einer erneuten Analyse werden die im zweiten Arbeitsschritt ermittelten Subdimensionen auf die übrigen Textpassagen übertragen. Dazu muss jedes Interview nochmals gelesen werden.<sup>30</sup>

Es ist möglich die Prozesse aus dem zweiten und dritten Arbeitsschritt beliebig häufig zu wiederholen, um das Kategoriensystem weiter zu verfeinern und durch weitere Dimensionsordnungen zu ergänzen. Die Anzahl der unterschiedenen Ordnungen und Dimensionen sollte jedoch im Verhältnis zur Anzahl der zu analysierenden Interviewtexte stehen. Je geringer die Anzahl der Interviews ist, desto weniger Ordnungen sollten implementiert werden, um in weiteren Arbeitsschritten eine Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Texten finden zu können.<sup>31</sup> Für das im Rahmen der Dissertation analysierte Interviewmaterial ergaben sich zwei Ordnungsebenen, wobei einige der Leitbilddimensionen zweiter Ordnung im Anschluss wieder thematisch gruppiert worden sind (vgl. Kapitel 6.1.2).

Der vierte Arbeitsschritt, wird in unterschiedlichen Literaturquellen nicht einheitlich zugeordnet und benannt. Dennoch kann übereinstimmend aus den Quellen abgeleitet werden, dass darin die codierten Segmente nochmals in der Gesamtheit aller Fälle analysiert und auf Grundlage von Protokollsätzen zu sogenannten Leitbildmodulen zusammengefasst werden. Die in den verschiedenen Texten auffindbaren Protokollsätze, die die Kernaussagen der Fachpersonen wiedergeben, werden auf Zusammenhänge überprüft und dienen für die später zu beschreibenden Leitbilder als Textgerüst. Dieses Textgerüst muss durch Interpretationen und Zitate repräsentativer Segmente gefüllt werden.<sup>32</sup>

Im Zusammenhang mit dem fünften Arbeitsschritt, der Klassifizierung, wird eine detailliertere Analyse von Zusammenhängen zwischen den Leitbilddimensionen zweiter Ordnung vorgenommen. Zudem werden die Ähnlichkeiten zwischen den codierten Segmenten der unterschiedlichen Transkripte ermittelt. Häufig werden dazu Cluster- oder Faktorenanalyse angewendet. Aufgrund der geringen Interviewanzahl war dies jedoch im Rahmen der Dissertation nicht zielführend. Daher wurden alternativ

---

<sup>27</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 23, 57–60, 100 f., 212; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 37; vgl. GIESEL, 2007, S. 119.

<sup>28</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 101 f., 212; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, 37 f.; vgl. GIESEL, 2007, S. 119.

<sup>29</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 118 f.; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 199.

<sup>30</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 101 f., 212 f.; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 37; vgl. GIESEL, 2007, S. 119 f.

<sup>31</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 102.

<sup>32</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 120 f.; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 38; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 212 f.

dazu jeweils zweidimensionale Häufigkeitsmatrizen erstellt, die verdeutlichen, wie viele Segmente mit den gleichen Leitbilddimensionen zweiter Ordnung codiert wurden bzw. wie häufig bestimmte Leitbilddimensionen in verschiedenen Transkripten vorkommen. Aus diesen Auswertungen können Merkmalsräume abgeleitet werden, in denen Leitbildtypen identifizierbar werden.<sup>33</sup>

Diese Leitbildtypen beschreiben jedoch „nur [...] die Verteilung von Häufigkeiten, daher erfolgt [im sechsten Arbeitsschritt], [...] der Leitbildidentifikation, erneut eine qualitative Analyse der ermittelten Konfigurationen bzw. Muster, indem die jeweils dazugehörigen Protokollsätze durchgesehen und miteinander assoziiert werden.“<sup>34</sup> Zur narrativen Vorstellung der sich ergebenden Leitbilder wird daher ein Modellfall konstruiert. Es handelt sich um eine Zusammenfassung aller zu einem Leitbild gehörenden Protokollsätze, also nicht differenziert nach den dazugehörigen, interviewten Personen. Anschließend werden sie durch passende Zitationen und Interpretation der dazugehörigen Transkripte spezifiziert.<sup>35</sup> Im Rahmen der Dissertation sind die Zitatstellen zusätzlich mit Hinweisen aus einer Literaturrecherche überprüft und ergänzt worden.

Aufgrund der vielen, sehr zeitaufwändigen Arbeitsschritte der Leitbildanalyse, werden in der Literatur häufig Möglichkeiten zur Reduzierung des Arbeitsaufwandes erläutert. So können einige Arbeitsschritte ausschließlich für die beiden zentralen Dimensionen des funktionsanalytischen Leitbildbegriffs nach MARZ, DIERKES (1992), der Wunsch- und Machbarkeitsprojektion, durchgeführt werden. Da sich alle weiteren Dimensionen auf sie beziehen, können sie bei der Analyse geringfügiger intensiv betrachtet oder gar ganz außen vor gelassen werden.<sup>36</sup> Im Rahmen der Dissertation wurden die Arbeitsschritte zur Definition von Protokollsätzen, zur Klassifizierung und zur Leitbildidentifikation daher ausschließlich auf Grundlage dieser beiden Dimensionen erster Ordnung ausgeführt. In den konstruierten Modellfällen werden die übrigen Dimensionen nur dann aufgeführt, wenn sie für das Verständnis wichtig sind. Die übrigen Leitbilddimensionen dienen dennoch als Nachweis dafür, dass es sich tatsächlich um analysierte Leitbilder handelt.

Die Ergebnisse der Leitbildanalyse inklusive Definitionen, Kategoriensystem und Modellfälle sowie die daraus abgeleiteten Zukunftsszenarien werden in Kapitel 6 vorgestellt. Sie dienen als direkte Grundlage für die Arbeitsschritte zur Wirkungsanalyse.

---

<sup>33</sup> vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 103-106, 213 f.; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 38 f.; GIESEL, 2007, S. 120.

<sup>34</sup> HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 39.

<sup>35</sup> vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 39; vgl. GIESEL, 2007, S. 120; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 106 f.

<sup>36</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 121 f.

## 3.2 Bedürfnisse und Akzeptanz<sup>37</sup>

Um die Anforderungen künftiger Nutzer und Nutzerinnen von AIM-Angeboten ermitteln zu können, wurden in den beiden Forschungsprojekten Hambach-Shuttle und TERMINAL verschiedene Erhebungsinstrumente entwickelt und angewendet. Die erhobenen Daten werden in der Dissertation zur Beantwortung der eingangs gestellten Forschungsfragen analysiert und miteinander verglichen. In nachfolgendem Kapitel werden sowohl die Erhebungsinstrumente als auch die Arbeitsschritte zur Analyse erläutert, während die Ergebnisse in den Kapiteln 7 bis 9 vorgestellt werden.

Zusätzlich wurden in einem ersten Arbeitsschritt die Grundgesamtheit der deutschen Bevölkerung nach soziodemographischen Personeneigenschaften und das heutige Mobilitätsverhalten differenziert nach verschiedenen Personengruppen ermittelt. Diese Daten dienen zur Beurteilung der erzielten Stichproben und zur Interpretation der jeweils identifizierten Nutzungspotenziale. Dieser Arbeitsschritt wird ebenfalls nachfolgend vorgestellt.

### 3.2.1 Mobilitätsverhalten und Mobilitätsprofile

In der Verkehrswissenschaft werden solche Analysen zum Mobilitätsverhalten üblicherweise nach verhaltenshomogenen Gruppen differenziert. Darunter wird eine Einteilung der Gesamtmenge aller betrachteten Individuen in Gruppen mit gleichen oder ähnlichen Verhaltensmustern verstanden.<sup>38</sup> Grundlegend ist eine Segmentierung basierend auf soziodemographischen Personeneigenschaften wie dem Alter und dem Geschlecht sowie der Lebenssituation einer Person. Die Lebenssituation wird meist durch den aktuellen Fortschritt auf der schulischen bzw. beruflichen Laufbahn beschrieben. Zusätzlich werden häufig Haushaltseigenschaften sowie die Mobilitätsausstattung einer Person, also beispielsweise die Pkw-Verfügbarkeit, betrachtet. Dieser sogenannte Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen wurde bereits 1972 durch KUTTER begründet und ist seither vielfach angewendet und weiterentwickelt worden.<sup>39</sup>

Die Vorzüge einer solchen Auswertung finden sich in der guten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Untersuchungsgebiete. In Deutschland sind nahezu flächendeckend Statistiken zur Bevölkerung in der dafür benötigten Güte verfügbar. In der Literatur wird jedoch auch bemängelt, dass solche Prognosemodelle, die sich alleine auf diese Kenngrößen stützen, häufig nicht valide genug sind.<sup>40</sup> Aus diesem Grund werden im zweiten Teil der Dissertation auch einstellungsbasierte Akzeptanzwerte und Nutzungsintentionen erhoben. Dies erlaubt zum Abschluss der Dissertation eine Analyse und

---

<sup>37</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere die unter 3.2.2 und 3.2.3 beschriebene Entwicklung der Erhebungsinstrumente aus dem Forschungsprojekt TERMINAL, wurden bereits in ähnlicher Form durch das Projektkonsortium TERMINAL in 2022 auf den Seiten 20 und 21 einer Handreichung für Verkehrsbetriebe sowie in den projektbegleitenden Publikationen von BOUSONVILLE, RÖSLER, WOLNIAK et al. 2022 und BOUSONVILLE, RÖSLER, VOGT, WOLNIAK 2022 veröffentlicht.

<sup>38</sup> vgl. FGSV, 2020, S. 26; vgl. WITTWER, 2008, S. 28.

<sup>39</sup> vgl. HUNECKE, 2015, S. 55 ff.; vgl. WITTWER, 2008, S. 28 ff.; vgl. KUTTER, 1972.

<sup>40</sup> vgl. HUNECKE, 2015, S. 55 ff.



Interpretation der Daten, nicht nur nach soziodemographischen Eigenschaften und der Lebenssituation, sondern auch differenziert nach der Ausprägung verschiedener Parameter zur Einstellung einer Person.

In der sozialpsychologischen Forschung zum Mobilitätsverhalten sind meist die Handlungsmodelle der Theorie des geplanten Verhaltens (engl.: Theory of Planned Behavior; TPB) von AJZEN (1991) und das Norm-Aktivations-Modell (engl.: Norm Activation Model; NAM) von SCHWARTZ (1977) angewendet, kombiniert und weiterentwickelt worden. Beide Modelle erklären die Verhaltensintention und das sich daraus ergebende Verhalten als Folge innerpsychologischer Verarbeitungs- und Bewertungsprozesse von Informationen. Grundlegend sind dabei Normen, Einstellungen und Kontrollüberzeugungen.<sup>41</sup>

AJZEN (1991) definierte für die TPB drei Konstrukte, die die Verhaltensintention beeinflussen. Diese sind die subjektive Norm (engl.: Subjective Norm; SN), die Einstellungen gegenüber dem Verhalten und die wahrgenommene Verhaltenskontrolle (Perceived Behavioral Control; PBC). Die SN spiegelt den von einer Person wahrgenommenen sozialen Druck wider, das Verhalten auszuführen oder nicht. Die Einstellungen beschreiben, ob eine Person das Verhalten als gut oder schlecht bewertet und die PBC spiegelt die Einschätzung wider, ob das gesetzte Ziel mit der zu bewertenden Verhaltensweise erreicht werden kann oder nicht. Ob eine Person dieses Verhalten ausführt, ist wiederum davon abhängig, wie hoch die Verhaltensintention und die PBC sind. Übertragen auf das für diese Dissertation relevante Verkehrsmittelwahlverhalten, nutzt eine Person ein bestimmtes Verkehrsmittel, wenn sie die Nutzung als positiv bewertet, andere Personen dieses Verhalten von ihr erwarten und insbesondere dann, wenn sie davon überzeugt ist, dass die Nutzung mit den eigenen Mobilitätszielen einhergeht und/oder leicht auszuführen ist.<sup>42</sup>

Als wichtigstes Konstrukt aus der NAM für das Verhalten ist die personale Norm (engl.: Personal Norm; PN) zu nennen. Diese wurde in Modellen zur Erklärung des Verkehrsmittelwahlverhaltens häufig in Ergänzung zu den drei Konstrukten aus der TPB integriert. Entsprechend den Erläuterungen von SCHWARTZ (1977) führt eine Aktivierung der PN dazu, dass sich eine Person moralisch dazu verpflichtet fühlt, das Verhalten auszuführen oder nicht. Die PN unterscheidet sich dadurch von der von AJZEN (1991) definierten SN, die vor allem extern beeinflusst ist.<sup>43</sup>

Da diese psychologischen Einflussfaktoren auf das Verhalten von Personen und damit auf die Wahl eines Verkehrsmittels jedoch nicht in den Datensätzen des MOP und der MiD enthalten sind, sind die eingangs berechneten Mobilitätsprofile ausschließlich entsprechend des Ansatzes nach KUTTER (1972) erzeugt worden. Psychologische Parameter, die vor allem den Konstrukten der Einstellung gegenüber dem Verhalten und der PBC aus der TPB zugeordnet werden können, wurden vereinzelt in den Erhebungen der Dissertation, die in Kapitel 3.2.2 aufgeführt werden, abgefragt.

---

<sup>41</sup> vgl. HUNECKE, 2015, S. 24–30; vgl. AJZEN, 1991; vgl. SCHWARTZ, 1977.

<sup>42</sup> vgl. AJZEN, 1991, S. 188 f.; vgl. HUNECKE, 2015, S. 25 ff.; vgl. ARNOLD, KLEE, 2016, S. 14–17.

<sup>43</sup> vgl. SCHWARTZ, 1977, S. 226–232; vgl. HUNECKE, 2015, S. 27 ff.

Um den personengruppenspezifischen Ansatz nach KUTTER (1972) belegen zu können, wurde das aktuelle Mobilitätsverhalten auf Grundlage der Daten des MOP ermittelt. Dazu wurde eine a priori Segmentierung nach der aktuellen schulischen- bzw. beruflichen Situation einer Person vorgenommen. Es wurde nach Schülern und Schülerinnen, Auszubildenden, Studierenden, Berufstätigen, zurzeit nicht Berufstätigen<sup>44</sup> und Personen im Ruhestand differenziert. Für jede Gruppe wurde ein Mobilitätsprofil entwickelt, welches das beobachtbare, durchschnittliche Mobilitätsverhalten und den Grad der Mobilitätsausstattung beschreibt.

Beim MOP handelt es sich um eine haushaltsbezogene Stichprobe, die seit 1994 jährlich durchgeführt wird und mit Haushalts-, Personen- sowie Wegedatensätzen statistisch fundierte Rückschlüsse auf das Mobilitätsverhalten der deutschen Bevölkerung ermöglicht. Die Wegedaten werden von den befragten Personen mit Hilfe eines siebentägigen Wegeprotokolls erhoben. Zusätzlich wird von Haushalten mit einem Pkw-Besitz ein Tank-Tagebuch über einen Zeitraum von acht Wochen ausgefüllt. Ein Rückschluss auf das Mobilitätsverhalten der Grundgesamtheit basierend auf den Stichprobendaten aus dem MOP wird durch hinterlegte Faktoren zur Gewichtung und Hochrechnung der Haushalte und Personen aus der Stichprobe ermöglicht. Es handelt sich zudem um ein rotierendes Panel, das heißt, es werden, wenn möglich, dieselben Haushalte in drei aufeinander folgenden Jahren befragt und jährlich durch weitere Haushalte ergänzt. Ausscheidende Haushalte werden zudem ersetzt. Es findet also kein vollständiger Austausch der Teilnehmenden statt, sondern es wird eine Untersuchung von Änderungen im Verhalten über die Betrachtungsjahre hinweg ermöglicht.<sup>45</sup>

Um für jede Personengruppe eine ausreichend große Stichprobe zu erhalten, wurden innerhalb dieser Dissertation mehrere Datensätze aus verschiedenen MOP-Jahrgängen zusammengefasst. Grundlage für die Auswahl der Jahrgänge bildet zunächst die Verfügbarkeit amtlicher Statistiken für Haushalte und die definierten Personengruppen in Deutschland. Haushaltsstatistiken die berücksichtigt wurden, sind die Anzahl der Haushalte differenziert nach Gemeindegrößenklassen, nach Haushaltsgröße, nach dem Nettoeinkommen sowie dem Pkw-Besitz im Haushalt. Amtliche Bevölkerungsstatistiken, die ermittelt wurden, sind die Anzahl der Personen differenziert nach den Personengruppen, dem Geschlecht und nach Altersklassen. Hierzu liegen erst ab dem Betrachtungsjahr 2008 einheitliche, amtliche Statistiken für jede Personengruppe vor. Auf Grundlage dieser Statistiken und den hinterlegten Faktoren in den MOP-Datensätzen, wurden daher für die Jahre 2008 bis 2017 jeweils neue Gewichtungs- und Hochrechnungsfaktoren erzeugt. Dazu sind immer fünf MOP-Jahrgänge in gleitender Form kombiniert worden. Das heißt, die Stichprobendaten aus den MOP-Jahrgängen 2006/07 bis 2010/11 haben neue Faktoren für das Jahr 2008 erhalten, die der MOP-Jahrgänge 2007/08 bis 2011/12 für das Jahr 2009 und

---

<sup>44</sup> Unter zurzeit nicht berufstätigen Personen werden in dieser Dissertation, basierend auf Statistiken aus der Grundgesamtheit, alle Arbeitslosen nach Daten der Bundesnetzagentur bzw. Erwerbslose und Nichterwerbspersonen nach Daten des statistischen Bundesamtes, reduziert um Schüler und Schülerinnen, Studierende und Personen im Ruhestand, zusammengefasst. Nach Daten des MOP werden in dieser Dissertation hierunter alle Personen verstanden, die zurzeit arbeitslos oder haushaltsführend sind.

<sup>45</sup> vgl. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 7.

so weiter. Aufgrund der Bildung dieser gleitenden fünf-Jahres-Klassen und den verfügbaren amtlichen Statistiken wurde die Gesamtstichprobe auf die MOP-Datensätze aus den Erhebungsjahren 2006/07 bis 2019/20 reduziert. Zusätzlich wurden alle MOP-Jahrgänge von 2006/07 bis 2019/20 zusammengefasst und um Gewichtungs- und Hochrechnungsfaktoren für das Jahr 2019 ergänzt. Während die Hochrechnungs- und Gewichtungsfaktoren für die Betrachtungsjahre 2008 bis 2017 zur Trendanalyse des personengruppenspezifischen Mobilitätsverhaltens über die Jahre diente, wurden die Faktoren für das Jahr 2019 zur Berechnung allgemeiner Mobilitätsprofile für verschiedene Personengruppen verwendet.

Nach der Kombination der einzelnen MOP-Jahrgänge wurden die Gewichtungs- und Hochrechnungsfaktoren auf Grundlage der oben beschriebenen Eckwerte aus amtlichen Statistiken für die Gesamtstichprobe berechnet. Ziel der Gewichtung ist es, Unterschiede in der Zusammensetzung der Stichprobe im Vergleich zur Grundgesamtheit auszugleichen. Diese Abweichungen können durch ein gezieltes Oversampling<sup>46</sup>, zufallsbedingt oder durch Nonresponse<sup>47</sup> entstehen.<sup>48</sup>

Es können drei Arten von Gewichten unterschieden werden. Beim Designgewicht handelt es sich um einen Gewichtungsfaktor, der die Auswahlwahrscheinlichkeiten in der Stichprobengenerierung berücksichtigt. Durch den Kehrwert dieser Wahrscheinlichkeiten ergibt sich ein Gewichtungsfaktor, der beispielsweise berücksichtigt, dass bei einer Telefonerhebung nicht mehr alle Personen über einen Festnetzanschluss erreicht werden können. Eine Anwerbung dieser Personen muss dann über Mobilfunk erfolgen. In einem solchen Fall liegt dann eine sogenannte Dual-Frame-Stichprobe mit unterschiedlichen Teilnahmewahrscheinlichkeiten vor. Ab dem MOP-Jahrgang 2013/14 wird dies ebenfalls bei der Haushaltsgewichtung durch ein Designgewicht berücksichtigt.<sup>49</sup>

Ein Ähnliches Vorgehen wird für die Berechnung von Nonresponse-Gewichten verfolgt. Hierbei wird der Kehrwert der Teilnahmewahrscheinlichkeit einer bestimmten Personengruppe jeweils als Gewicht für die Personen implementiert. Problematisch ist meist, dass die Teilnahmewahrscheinlichkeit nicht bekannt ist und aus der Stichprobe geschätzt werden muss. Daher wird das sogenannte Redressment häufig anstelle der Nonresponse-Gewichtung durchgeführt. Hierfür werden die Anteile der Stichprobe differenziert nach definierten Eckwerten berechnet. Falls vorab ein Design- und/oder ein Nonresponse-Gewicht berechnet wurde, erfolgt die Berechnung in gewichteter Form. Diese Anteile werden mit entsprechend bekannten Anteilen aus externen Datenquellen verglichen und durch Verhältniswerte gewichtet.<sup>50</sup> Dieses Verfahren wurde sowohl für die in den MOP-Datensätzen hinterlegten Faktoren als

---

<sup>46</sup> Unter Oversampling wird verstanden, dass eine Personengruppe gezielt einen höheren Anteil in der Stichprobe erhält, als sie in der Grundgesamtheit einnimmt. Dies betrifft meist Randgruppen, deren Fallzahl in der Stichprobe bei realistischen Anteilen zu klein werden würde um valide Schätzungen auf deren Grundlage durchführen zu können. (vgl. KIESEL, 2014, S. 349)

<sup>47</sup> Unter Nonresponse wird verstanden, dass eine Personengruppe, die Teil der Stichprobe sein sollte, nicht erreichbar oder nicht zu einer Teilnahme an der Erhebung bereit ist (vgl. KIESEL, 2014, S. 351).

<sup>48</sup> vgl. KIESEL, 2014, S. 349; vgl. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 29.

<sup>49</sup> vgl. KIESEL, 2014, S. 350 f.; vgl. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 29.

<sup>50</sup> vgl. KIESEL, 2014, S. 351–354.

auch innerhalb der Gewichtung und Hochrechnung in der Dissertation angewendet. Zusätzlich sind in den MOP-Datensätzen weitere Designgewichte zur Wegelänge und zum Befragungszeitpunkt der Kohorten hinterlegt, die bei den Berechnungen der Mobilitätskennwerte berücksichtigt wurden.<sup>51</sup>

Während die Haushaltsgewichte auch Hochrechnungsfaktoren für alle Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland sind, geben die Gewichtungs- und Hochrechnungsfaktoren für die Stichprobenpersonen in der Dissertation nur den Bevölkerungsanteil ab 15 Jahren an. Entsprechend dieser Gewichtungsfaktoren für die MOP-Daten wird für das Jahr 2019 die Zusammensetzung der deutschen Gesamtbevölkerung ab 15 Jahren angenommen. Die Eigenschaften der empirisch erhobenen Daten aus der Dissertation (vgl. Kapitel 3.2.2) werden mit dieser Grundgesamtheit verglichen.

Zur Beschreibung des Mobilitätsverhaltens verschiedener Personengruppen sind basierend auf diesen Gewichten, differenziert nach den eingangs definierten Personengruppen, Mobilitätskennwerte berechnet worden. Zunächst wurde die Mobilitätsausstattung auf Personenebene ermittelt, also der Besitz eines Pkw-Führerscheins, die Verfügbarkeit eines Pkw im Haushalt, der Zeitkartenbesitz, der Fahrrad- und/oder E-Bike-Besitz sowie der Besitz eines Mofas, Mopeds oder Motorrads. Auch diese Ergebnisse dienen zur Evaluierung der Stichproben aus den Erhebungen der Projekte.

Neben den gewichteten Personeneigenschaften und der Mobilitätsausstattung wurden zusätzlich gewichtete Parameter zur Verkehrserzeugung und -verteilung berechnet. Diese sind die mittlere Verkehrsbeteiligung, die mittlere Wegeanzahl, die mittlere Verkehrsleistung, die mittlere Mobilitätszeit und die mittlere Wegelänge, jeweils pro Person und Tag. Berechnet wurden diese Mittelwerte auf Grundlage der innerhalb einer Woche berichteten Wege. Zusätzlich wurden für die gesamte, jeweilige personengruppenspezifische Stichprobe die Anteile nach Zwecken sowie nach Abfahrtszeitpunkten an allen innerhalb einer Woche berichteten Wegen berechnet. Um eine Aussage über die Nutzung der Verkehrsmittel machen zu können, wurde auch der Modal-Split berechnet. Dieser beschreibt die prozentuale Aufteilung aller innerhalb einer Woche berichteten Wege auf die verschiedenen Modi, also auf verschiedene Gruppen von Verkehrsmitteln und den Fußgängerverkehr.<sup>52</sup>

Die Mobilitätskennwerte wurden in gewichteter und hochgerechneter Form für die Gesamtstichprobe im Hinblick auf das Jahr 2019 berechnet. Die für das Jahr 2019 gewichteten Ergebnisse dienen vereinzelt zur Interpretation erhobener Anforderungen an künftige AIM-Angebote und die damit verbundene Nutzungsintention. Zudem wurden die für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten als Grundlage der in Kapitel 10 vorgestellten, abschließenden Beispielrechnung genutzt.

Auch wenn die berechneten Mobilitätsprofile nicht im Fokus der Dissertation stehen und daher im Einzelnen nachfolgend nicht vorgestellt werden, konnte mit Ihnen der Ansatz von KUTTER (1972) belegt werden. Dies gilt insbesondere für die Wege zu bzw. von Bildungseinrichtungen, die Arbeitswege, die Pkw-Verfügbarkeit, den Zeitkartenbesitz und die Modal-Split-Anteile verschiedener Verkehrsmittel.

---

<sup>51</sup> vgl. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 29 ff.

<sup>52</sup> vgl. FGSV, 2020, S. 25.

### 3.2.2 Quantitative und qualitative Erhebungsmethoden

Um die Akzeptanz des automatisierten Fahrens und die Nutzungsintention von IM und AIM sowie deren Einfluss auf das Verkehrsmittelwahlverhalten analysieren zu können, wurden in den Forschungsprojekten Hambach-Shuttle und TERMINAL sieben quantitative und/oder qualitative Erhebungsinstrumente entwickelt. Diese sind in Tabelle 3-1 differenziert nach Analysen in der Dissertation aufgeführt.

Um zu überprüfen, ob der personengruppenspezifische Ansatz nach KUTTER (1972) auch auf die Akzeptanz und die Nutzungsintention des automatisierten Fahrens bzw. von IM und AIM übertragbar ist, wurden die Teilnehmenden in allen Erhebungen nach ihren soziodemographischen Eigenschaften und ihrer Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen befragt. Unter Mobilitätswerkzeugen sind der Führerscheinbesitz, die Verfügbarkeit eines Pkw im Besitz des Haushaltes und der Besitz einer Zeitkarte für den ÖPNV zu verstehen. Die Zusammensetzung der Stichproben wird in Anhang C vergleichend dargestellt und in den Kapiteln 7.1 und 8.1 beschrieben.

Die Akzeptanz, Nutzungsintention und Bewertung von Angebotsparametern wurden meist durch positive oder negative Aussagen, die die Teilnehmenden mit Hilfe einer fünfstufigen Likert-Skala bewerten sollten, abgefragt. Bei diesen Skalen wurde jeweils der Wert eins für eine ablehnende Haltung und der Wert fünf für eine zustimmende Haltung definiert. Bei der Frage, ob eine Person beispielsweise ein selbstfahrendes Elektroshuttle in einer bestimmten Situation oder für einen bestimmten Zweck nutzen würde, konnten die befragten Personen eine Werte zwischen eins und fünf wählen, wobei eins für „auf keinen Fall“ und fünf für „auf jeden Fall“ steht. Durch die gleichmäßigen Abstände zwischen den Antwortmöglichkeiten kann die fünfstufige Likert-Skala als intervallskaliert angesehen werden. Werden die Antworten mit dem Skalenwerten vier und fünf zusammengefasst, so ergibt sich der Anteil der sogenannten Top Box. Werden auf gleiche Weise die Antworten eins und zwei zusammengefasst, wird allgemein von der Low Box gesprochen. Die Top Box gibt dabei den Anteil der Personen an, der der Aussage zustimmt und die Low Box den Anteil, der sie explizit ablehnt.<sup>53</sup>

Der Übersicht aus Tabelle 3-1 ist zu entnehmen, dass insgesamt vier Erhebungsinstrumente maßgeblich zur Erhebung der Akzeptanz dienten. Der größte und für die Auswertungen in Kapitel 7 grundlegende Datensatz entstammt der Onlinebefragung aus dem Forschungsprojekt TERMINAL, die nachfolgend mit TOAF (TERMINAL Onlinebefragung zum automatisierten Fahren) abgekürzt wird. Die Feldphase lässt sich hier in zwei maßgebliche Abschnitte unterscheiden. In der ersten Feldphase von April bis Oktober 2020 handelt es sich um eine willkürliche Auswahl, da der Onlinefragebogen über die Homepage des Projektes, soziale Medien und durch das Teilen an Einrichtungen im grenzüberschreitenden Raum zwischen Deutschland, Frankreich, Luxemburg und Belgien für alle Einwohner zugänglich war. In der zweiten Feldphase von Januar bis Ende März 2021 wurde die Stichprobe mit einer telefonischen

---

<sup>53</sup> vgl. KUß, WILDNER et al., 2014, S. 100 f.; vgl. BLASIUŠ, 2014, S. 1054 ff.

Befragung ergänzt, um eine im Vergleich zur Gesamtbevölkerung im Grenzraum repräsentative Stichprobe zu erhalten. Dabei wurden, entsprechend den fehlenden Anteilsmerkmalen aus der ersten Feldphase, Personen aus den verschiedenen Personengruppen gezielt angerufen. Es handelt sich also am ehesten um eine geschichtete Stichprobenauswahl.<sup>54</sup>

Das primäre Ziel der TOAF-Erhebung war es, die Akzeptanz und die Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles, also noch nicht das tatsächlich beobachtbare Nutzungsverhalten, zu erheben. Gleiches gilt für die Onlinebefragung im Projekt Hambach-Shuttle, die nachfolgend mit HOAF (Hambach-Shuttle Onlinebefragung zum automatisierten Fahren) abgekürzt wird und in welcher einige Fragen aus der TOAF-Erhebung im Untersuchungsgebiet in Neustadt an der Weinstraße gleichbedeutend abgefragt wurden. Da an der Erhebung jedoch ausschließlich Personen die im Ortsteil Hambach wohnhaft waren teilnehmen durften, ist eine Klumpenauswahl durchgeführt und nur eine sehr kleine Stichprobe erzielt worden.<sup>55</sup> Die Ergebnisse dienen daher ausschließlich als Vergleich zu den Ergebnissen aus der TOAF-Erhebung. (vgl. Tabelle 3-1)

**Tabelle 3-1:** Erhebungsinstrument der Dissertation

Erhebungsinstrument	Erhebungsziel
TERMINAL Onlinebefragung zum automatisierten Fahren (TOAF)	Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles; Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles
Hambach-Shuttle Onlinebefragung zum automatisierten Fahren (HOAF)	Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles; Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles
TERMINAL-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren (TFAF)	beobachtbare Nutzung eines Pkw mit Autopilot; Bewertung der Mitfahrt in einem Pkw unter Nutzung des Autopiloten; beobachtbare Nutzung von IM
Hambach-Shuttle-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren (HFAF)	beobachtbare Nutzung eines selbstfahrenden Elektroshuttles; Bewertung der Mitfahrt in einem selbstfahrenden Elektroshuttle
Hambach-Shuttle-Erhebung fahrtbegleitend zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (HFIM)	Nutzungsintention von IM; beobachtbare Nutzung von IM
TERMINAL Onlinebefragung zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (TOIM)	Bedürfnisse an IM; Nutzungsintention von IM
Workshop-Konzept zu automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (WAIM)	Bedürfnisse an AIM; Nutzungsintention von AIM; personengruppenspezifische AIM-Angebote

Ergänzend zur Akzeptanz und zur theoretischen Nutzungsintention wurde sowohl im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle als auch im Projekt TERMINAL begleitend zu den Testfahrten des automatisierten

<sup>54</sup> vgl. STEIN, 2014, S. 146–149.

<sup>55</sup> vgl. STEIN, 2014, S. 146–149.

Fahrens das tatsächlich beobachtbare Nutzungsverhalten von den jeweiligen Fahrgästen durch einen fahrtbegleitenden Fragebogen erhoben. Dabei sollten die Fahrgäste auf den in Kapitel 4.1 beschriebenen Testrouten ein Wegeprotokoll ausfüllen. Während bei der Erhebung im Projekt Hambach-Shuttle jeder Fahrgast theoretisch nur einmal mitgefahren ist, waren bei der Erhebung im Projekt TERMINAL insgesamt neun Personen dazu berechtigt das Angebot über den Testzeitraum hinweg dauerhaft zu nutzen und haben mehrere Wegeprotokolle pro Person ausgefüllt. Die Erhebungen werden nachfolgend durch die Akronyme HFAF (Hambach-Shuttle-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren) und TFAF (TERMINAL-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren) abgekürzt. (vgl. Tabelle 3-1)

Für die Fahrgäste, die das Angebot im Forschungsprojekt TERMINAL über einen längeren Zeitraum nutzen durften, ermöglichten die Testfahrten eine flexibilisierte Anreise zum Arbeitsplatz und demnach ein IM-Angebot, das in einem vorab definierten Korridor zur Verfügung stand. Die TFAF-Erhebung dient demnach auch zur Analyse des beobachtbaren Nutzungsverhaltens von IM. Aufgrund der kleinen Stichprobe wird hierfür jedoch vorrangig die Erhebung im Projekt Hambach-Shuttle herangezogen. Auch wenn das für die Erhebung nachfolgend verwendete Akronym HFIM (Hambach-Shuttle-Erhebung fahrtbegleitend zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen) eine ausschließlich fahrtbegleitende Erhebung und damit die Erhebung der beobachtbaren Nutzung vermuten lässt, trifft dies nicht zu, denn in einer Befragung vorab sollten teilnehmende Personen ihre Nutzungsintention des zur Verfügung gestellten Angebotes bewerten. (vgl. Tabelle 3-1)

Ergänzend dazu sind die Nutzungsintention von IM und die Bedürfnisse an die Angebotsparameter in einer Onlinebefragung im Projekt TERMINAL erhoben worden. Diese Erhebung wird nachfolgend als TOIM (TERMINAL Onlinebefragung zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen) bezeichnet. Für die Erhebung wurden dieselben Medien und Kontakte aus der ersten Feldphase der TOAF-Erhebung genutzt, weshalb es sich erneut um eine willkürliche Stichprobe handelt. (vgl. Tabelle 3-1)

Das zusätzlich im Forschungsprojekt TERMINAL angewendete Workshop-Konzept liefert erste Hinweise darauf, wie künftig verfügbare AIM potenziell genutzt und welche Anforderungen an solche Angebote gestellt werden könnten. Die Erhebung, die quantitative und qualitative Elemente kombiniert, wird nachfolgend mit dem Akronym WAIM (Workshop-Konzept zu automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen) bezeichnet. (vgl. Tabelle 3-1)

Aufgrund der Besonderheiten der HFIM- und der WAIM-Erhebung, werden diese nachfolgend näher beschrieben.

Die HFIM-Erhebung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes Hambach-Shuttle begleitend zu einem von Mai bis Oktober 2019 angebotenen On-Demand-Fahrservice im Stadtzentrum Neustadt an der Weinstraße sowie im dazugehörigen Ortsteil Hambach durchgeführt. Da das implementierte Angebot

nur für einen geschlossenen Nutzerkreis zugänglich und nicht kommerziell, also unentgeltlich war, war der Fahrservice nach Personenbeförderungsgesetz (PBefG) nicht genehmigungspflichtig.<sup>56</sup>

Mit Hilfe einer Applikation (App) für Smartphones, konnte ein Fahrzeug von den Fahrgästen kostenlos bestellt werden. Sofern ein Fahrzeug verfügbar war, wurde die buchende Person zum gewünschten Zeitpunkt in unmittelbarer Nähe ihres Standortes abgeholt und zu ihrem in der App angegebenen Zielpunkt gebracht. Sowohl der Standort als auch der Zielpunkt mussten sich im Nutzungsgebiet befinden. Da zu Beginn keine Fahrtenwünsche mit gleicher Zielrichtung oder sich überlappenden Routen gebündelt wurden, wird in diesem Fall von einem Ridehailing-Angebot mit Tür-zu-Tür-Bedienung gesprochen. In einer zweiten Testphase wurde die Bündelung von Fahrtenwünschen vorgenommen, sodass es sich nach dieser Änderung des Angebotstyps um ein Ridepooling-Angebot mit Tür-zu-Tür-Bedienung handelte. (vgl. Kapitel 5.1.2)

Während der gesamten Testphase standen zwei Fahrzeuge zur Verfügung. Während das eingesetzte Tesla Model S über fünf Sitzplätze verfügt, können in einem zusätzlich eingesetzten Tesla Model X bis zu sieben Personen Platz nehmen. Da die vorderen beiden Sitze jeweils nicht buchbar waren, war demnach eine Kapazität von maximal drei bzw. fünf Fahrgästen möglich. Um eine Überbuchung auszuschließen, musste während des Buchungsvorgangs angegeben werden, ob der kostenlose Fahrservice alleine oder mit Begleitpersonen in Anspruch genommen wurde. Wurde der oder die Nutzende von anderen Personen begleitet, so musste über die genaue Personenzahl Auskunft gegeben werden.

Der On-Demand-Fahrservice stand den registrierten Personen von Montag bis Sonntag zur Verfügung, je nach Wochentag allerdings zu unterschiedlichen Zeiträumen. Während der Fahrservice von Montag bis Donnerstag zwischen 6 und 22 Uhr nutzbar war, wurde dieser Zeitraum freitags bis 1 Uhr nachts ausgeweitet. An Samstagen war der Fahrservice ebenfalls bis 1 Uhr nachts, jedoch erst ab 8 Uhr morgens nutzbar. An Sonntagen wurden Buchungsanfragen zwischen 8 und 22 Uhr bearbeitet.

Bei der Durchführung der Fahrtenwünsche wurde darauf geachtet, dass die Summe aus Warte- und Fahrzeit insgesamt nicht länger als zehn Minuten zuzüglich einer 1,5-fachen Erhöhung der Fahrzeit mit dem Pkw war. Konnte dies zum Zeitpunkt der Buchungsanfrage nicht gewährleistet werden, wurde der Buchungsvorgang unter der Angabe, dass momentan kein Fahrzeug zur Verfügung stehe, abgebrochen. Der Testbetrieb lässt sich in drei zeitlich aufeinander folgende Phasen gliedern. In einer einleitenden Phase von Mai bis Juli 2019 wurde die Funktionalität der Fahrtenbuchung getestet. Gleichzeitig wurde in dieser Phase der Betriebsablauf eingeübt und optimiert. Die zurückgelegten Fahrten aus dieser Phase sind nicht Gegenstand dieser Dissertation. Nutzende aus dieser Testphase konnten jedoch auch in den weiteren, wissenschaftlich begleiteten Testphasen das Mobilitätsangebot nutzen.

Die zweite Testphase des On-Demand-Fahrservices bzw. die erste Feldphase der HFIM-Erhebung schloss direkt an die erste Phase an und lief über insgesamt vier Wochen von Juli bis August 2019. Die Anzahl

---

<sup>56</sup> § 1 Abs. 1 und 2, *Personenbeförderungsgesetz (PBefG)* in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990, BGBl. 1990 I, Nr. 40, S. 1690, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes, vom 16. April 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 19, S. 822 geändert worden ist.



der zur Nutzung registrierten Personen wurde während dieser Testphase durch die Teilnehmenden aus der HFIM-Erhebung deutlich erhöht. Hierfür wurden gezielt die Bewohner und Bewohnerinnen des Ortsteils Hambach angeschrieben und ausführlich über den Fahrservice informiert. Interessierte, die den On-Demand-Fahrservice nutzen wollten, wurden aufgefordert die beigefügten Fragebögen auszufüllen, die der Vorabbefragung in der HFIM-Erhebung dienen. Um das Angebot nutzen zu können, wurde eine Beantwortung der Fragebögen vorausgesetzt und ausschließlich Teilnehmende wurden in einem weiteren Schreiben über die Zugangsmodalitäten und die Installation der App informiert. Da die App zu diesem Zeitpunkt ausschließlich in einer Beta-Version verfügbar war, kam es zu Schwierigkeiten bei der Installation und zu Rückfragen auf Seiten der Nutzenden. Aufgrund dieser Komplexität ist davon auszugehen, dass mehrere interessierte Personen den Fahrservice nicht genutzt haben. Aufgrund des gesetzlich einzuhaltenden Datenschutzes kann dieser Anteil jedoch nicht quantifiziert werden.

Auch die Nutzenden aus der ersten Testphase wurden nachträglich mehrfach aufgefordert die Fragebögen auszufüllen. Für diese Personen bestand jedoch keine Antwortpflicht, um den Fahrservice weiter nutzen zu können. Vermutlich fiel der Rücklauf trotz des Interesses am Mobilitätsangebot, aus diesem Grund eher gering aus.

Während der Nutzung des Fahrservices innerhalb der zweiten Testphase, wurden die Fahrgäste darüber hinaus gebeten, einen fahrtbegleitenden Fragebogen auszufüllen. So konnten die Nutzenden jeweils die Eigenschaften ihres Weges, wie beispielsweise den Zweck oder das durch den Fahrservice ersetzte Verkehrsmittel, angeben.

Die dritte und letzte Phase des On-Demand-Fahrservice lief von August bis Oktober 2019 über insgesamt acht Wochen. Innerhalb dieser Testphase wurden Fahrtenwünsche mit gleicher Zielrichtung und sich überlappenden Routenabschnitten gebündelt. Ziel war es den Besetzungsgrad zu erhöhen und die durch den Fahrservice entstehende Fahrleistung in Fahrzeug-Kilometern zu reduzieren. Darüber hinaus wird mit dieser Veränderung eine Auswertung der Unterschiede in der Nutzungsakzeptanz der beiden Angebotstypen Ridehailing und Ridepooling ermöglicht.

Für die letzten beiden Testphasen konnten zudem die Buchungsdaten in anonymisierter Form aus dem System ausgelesen und für die Analyse bereitgestellt werden. Diese dienen in Kapitel 8.2.1 gemeinsam mit den Daten aus den fahrtbegleitenden Fragebögen zur Beschreibung und Analyse der beobachteten Nutzung von IM.

Die Workshops der WAIM-Erhebung wurden mit verschiedenen Bevölkerungsgruppen durchgeführt, um deren Bedürfnisse an und Nutzungsintentionen von künftigen AIM zu erheben. Die Nutzungsintention wurde dabei für verschiedene Wegeeigenschaften und bei variierenden Ausprägungen der Angebotsparameter erhoben.

Die Kontaktaufnahme mit den Teilnehmenden der Workshops erfolgte über Institutionen, Einrichtungen und Unternehmen, die im Zusammenhang mit der beruflichen Lebensphase einer Person stehen. Es wurden allgemeinbildende Schulen, Berufsschulen, Ausbildungszentren, Hochschulen, Universitäten,

Unternehmen und Institutionen sowie soziale Gruppen, Vereine, Verbände und Einrichtungen für Personen im Ruhestand kontaktiert. Gemeinsam mit diesen Ansprechpartnern und -partnerinnen wurden die Workshops organisiert, weshalb in diesem Zusammenhang jede Person, die an den Workshops teilgenommen hat, einer bestimmten Lebensphase zugeordnet werden kann.

Nach einer kurzen Vorstellung der aktuellen Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt, der Funktion der künftigen AIM-Angebote und der Parameter, die bei der Planung eines qualitativ hochwertigen Angebotes zu berücksichtigen sind, wurden die Teilnehmenden aktiv mit eingebunden. Zunächst wurden sie darum gebeten, in einem ersten Abschnitt des begleitenden Fragebogens einen Weg zu beschreiben, auf dem sie sich eine Nutzung des zuvor definierten AIM-Angebotes vorstellen können. Bestand eine grundsätzliche Intention zur Nutzung des Angebotes, wurden sie im Fortgang des Fragebogens nach der Bedeutung verschiedener Angebotsparameter für die Nutzung befragt. Personen, die sich eine Nutzung grundsätzlich nicht oder eher nicht vorstellen konnten, wurden zeitgleich um eine Begründung und um die Nennung möglicher Maßnahmen zur Steigerung der Nutzungsintention gebeten. Anschließend an diese Einzelarbeit wurden die Teilnehmenden in Kleingruppen eingeteilt, in denen Sie ihre persönlichen Antworten aus der Einzelarbeit diskutierten und auf Papier brachten. Ergebnis dieser Gruppenarbeit sollte die Entwicklung eines gruppenspezifischen Mobilitätsangebotes sein. Welche Parameter die Gruppen dabei vorrangig definieren sollten, wurde vorab bekannt gegeben. Die Gruppen konnten aber darüber hinaus weitere Themen, die für sie wichtig waren, benennen und waren in der Ausgestaltung des Mobilitätsangebotes weitestgehend frei.

In einer ersten Erhebungsphase von Anfang November 2019 bis Ende Januar 2020 wurden die Workshops in Präsenz durchgeführt und der begleitende Fragebogen in Papierform beantwortet. In dieser Phase wurden zwei Workshops mit Schülern und Schülerinnen in Deutschland (38 Personen) und ein Workshop mit Schülern und Schülerinnen in Luxemburg (51 Personen) durchgeführt. Die Workshops mit allen anderen Personengruppen fanden ausschließlich in Deutschland statt. Darunter waren zwei Workshops mit Auszubildenden (37 Personen), zwei Workshops mit Studierenden (40 Personen) und ein Workshop mit Personen im Ruhestand (33 Personen). Aufgrund der häufig diskutierten Chancen des automatisierten Fahrens für Personen mit Mobilitätseinschränkungen und der gesetzlich verankerten Verpflichtung des ÖV zur Barrierefreiheit, sind zusätzlich zwei Workshops mit einer Einrichtung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderungen organisiert worden. Insgesamt nahmen dabei 22 Personen teil, die in dieser Einrichtung angestellt sind, oder eine berufliche Ausbildung durchlaufen. Workshops mit berufstätigen Personen ohne Behinderungen konnten in dieser ersten Erhebungsphase nicht organisiert werden. Auf einer Tagung für Berufstätige, auf der das Workshop-Konzept vorgestellt wurde, beantworteten lediglich vier Personen den begleitenden Papierfragebogen, eine Gruppenarbeit fand dabei nicht statt. Der weltweite Ausbruch des Corona-Virus verhinderte eine weitere Durchführung von Präsenzworkshops. Nach einer längeren Unterbrechung wurde das Workshop-Konzept im Mai 2021 in eine digitale Version abgeändert und mit weiteren Teilnehmenden über einen Videokonferenzdienst durchgeführt. In dieser zweiten Erhebungsphase von Anfang Mai 2021

bis Ende September 2021 fanden jeweils zwei weitere Workshops mit Studierenden (38 Personen) und Personen im Ruhestand (15 Personen) statt. Mit berufstätigen Personen konnten drei digitale Workshops, jedoch mit einer sehr geringen Teilnehmezahl (insgesamt 15 Personen) durchgeführt werden. Insgesamt wurden demnach 17 Workshops mit den unterschiedlichen Personengruppen durchgeführt und dabei 293 Personen befragt.

### 3.2.3 Technologieakzeptanz

Die Geschwindigkeit, mit der neue Technologien in der Bevölkerung akzeptiert und eingesetzt werden, ist entsprechend der Diffusionstheorie nach ROGERS (1983) abhängig von einem Prozess, bei dem die Innovation über verschiedene Wege an Personen aus einem sozialen System kommuniziert wird. Dieser Prozess wurde von Rogers auf mikroskopischer als auch auf makroskopischer Ebene betrachtet und definiert. Während die mikroskopische Ebene den Prozess einer individuellen Person beschreibt, den diese von der ersten Information über eine Innovation bis zur festen Integration in den Alltag durchläuft, beschreibt die makroskopische Ebene den zeitlichen Verlauf, wie sich die Innovation innerhalb einer sozialen Gruppe verbreitet. Im Hinblick auf diesen makroskopischen Prozess definierte ROGERS (1983) fünf Personengruppen, die als Cluster verstanden werden können. Diese Gruppen unterscheiden sich sowohl im Zeitpunkt, zu dem sie Innovationen erproben und langfristig auch in den Alltag integrieren als auch im Hinblick auf Personeneigenschaften und das Verhalten zur Kommunikation mit anderen.<sup>57</sup>

Insgesamt zählt ROGERS (1983) den Anteil einer sozialen Gruppe von 2,5 % zu Innovatoren (innovators) und 13,5 % zu sogenannten frühen Übernehmern (early adopters). Beide Gruppen wenden innovative Technologien als erstes an und tragen durch die jeweilige soziale Stellung dazu bei, dass die Technologie in ihrem sozialen Umfeld eingeführt und vermehrt akzeptiert wird. Die dritte und vierte Gruppe nimmt nach der Diffusionstheorie jeweils einen Anteil von 34 % an der sozialen Gruppe ein. Sie werden als frühe bzw. späte Mehrheit (early bzw. late majority) bezeichnet. Nach ROGERS (1983) nutzt die frühe Mehrheit die Technologie ab einem Zeitpunkt, ab dem bereits ein großer Anteil der sozialen Gruppe die Innovation adoptiert hat. Die späte Mehrheit nimmt die technische Neuerung hingegen erst dann an, wenn dies wirtschaftlich ist oder der soziale Druck zu hoch ist, um einer Nutzung zu widersprechen. Die verbleibenden 16 % der sozialen Gruppe werden Nachzügler (laggards) genannt und orientieren sich häufig an der Vergangenheit und misstrauen neuen Innovationen.<sup>58</sup>

Die Diffusionstheorie nach ROGERS (1983) wurde in den Erhebungen TOAF, HOAF, TFAF und HFAP mit Hilfe einer Frage zum angestrebten Erprobungszeitpunkt neuer Technologien aufgegriffen. Diese Frage lässt einen Rückschluss auf die Technologieaffinität der befragten Personen zu und erlaubt es, die Angaben zur Akzeptanz und Nutzungsintention des automatisierten Fahrens bzw. von selbstfahrenden Elektroschuttles besser interpretieren zu können. Als Antwortmöglichkeiten standen die Optionen „unter

---

<sup>57</sup> vgl. ROGERS, 1983, S. 163–209, 241–270; vgl. KARNOWSKI, KÜMPEL, 2016, S. 98–103; vgl. ARNOLD, KLEE, 2016, S. 10–14.

<sup>58</sup> vgl. ROGERS, 1983, S. 245–251; vgl. KARNOWSKI, KÜMPEL, 2016, S. 102 f.; vgl. ARNOLD, KLEE, 2016, S. 12 f.

den ersten“, „mitten drin“ und „unter den letzten“ zur Verfügung. Entsprechend der ersten Antwort ordnet sich die befragte Person demnach der Gruppe der Innovatoren oder frühen Übernehmer zu. Die zweite Antwortmöglichkeit fasst demnach die Gruppen der frühen und späten Mehrheit zusammen, während die dritte Antwortmöglichkeit der Gruppe der Nachzügler entspricht.

Um nicht nur den angestrebten Nutzungszeitpunkt neuer Innovationen, also die Technologieaffinität, sondern auch die vorhandene Akzeptanz der selbstfahrenden Elektroshuttles ermitteln zu können, wurden das Technologieakzeptanzmodell (engl.: Technology Acceptance Model; TAM) und weitere Modelle, die von VENKATESH, MORRIS et al. (2003) in einem einheitlichen Modell zur Akzeptanz und zur Nutzung von Technologien (engl.: Unified Theory of Acceptance and Use of Technology; UTAUT) zusammengeführt wurden, in der TOAF-Erhebung berücksichtigt. Dazu wurden zunächst 31 Items, also positive oder negative Aussagen, auf Grundlage dieser Modelle entwickelt. Die Teilnehmenden konnten diese Items mit Hilfe einer fünfstufigen Likert-Skala bewerten (vgl. Kapitel 3.2.2). Die beiden Modelle, insbesondere das TAM, bauen auf der Theorie des überlegten Handelns (engl.: Theory of Reasoned Action; TRA) auf. Bei der TRA handelt es sich um den Vorgänger der in Kapitel 3.2.1 thematisierten TPB von AJZEN (1991). Das TAM und die UTAUT postulieren ebenfalls, dass eine Person eine Reaktion auf bzw. eine Einstellung gegenüber der Nutzungsvorstellung einer Innovation entwickelt und diese dann in eine Nutzungsintention überführt. Die Wahrscheinlichkeit zur tatsächlichen Nutzung steigt mit der Nutzungsintention an.<sup>59</sup>

Aufbauend auf der TRA definierte DAVIS (1989) für das TAM zwei Konstrukte, welche die Einstellung einer Person zur Nutzung einer neuen Technologie prägen. Aus der Einstellung gegenüber der Nutzung ergibt sich eine Nutzungsintention, deren Höhe beeinflusst, ob eine Person die Technologie tatsächlich nutzt oder nicht. Das erste Konstrukt ist der wahrgenommene Nutzen (engl.: Perceived Usefulness; PU) der Technologie, also der Grad, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung der Technologie förderlich für sie selbst ist. Das zweite Konstrukt beschreibt die wahrgenommene Nutzungsfreundlichkeit (engl.: Perceived Ease of Use; EOU), also den Grad, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung ohne größeren Aufwand möglich ist. Während die EOU direkt und ausschließlich durch externe Faktoren beeinflusst wird, wird die PU sowohl durch die EOU als auch durch externe Faktoren beeinflusst. Die PU beeinflusst wiederum nicht nur die Einstellung gegenüber der Nutzung, sondern auch die Nutzungsintention.<sup>60</sup>

Das TAM wurde durch VENKATESH, DAVIS (2000) zum TAM 2 weiterentwickelt, wobei insbesondere die bereits thematisierte SN von AJZEN (1991) ergänzt wurde. Diese beeinflusst entsprechend der TAM 2 sowohl die PU als auch die Nutzungsintention. In einem letzten Entwicklungsschritt hin zum TAM 3 sind von VENKATESH, BALA (2008) zusätzliche Einflussfaktoren auf die EOU und die PU ermittelt worden. Dies führte zu einem sehr umfangreichen und komplexen Akzeptanzmodell, das in der Dissertation in dieser Form nicht berücksichtigt wurde. Stattdessen wurde die Kombination mehrerer Modelle durch

---

<sup>59</sup> vgl. DAVIS, BAGOZZI et al., 1989; vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003; vgl. AJZEN, 1991; vgl. ARNOLD, KLEE, 2016, S. 18 ff.

<sup>60</sup> vgl. DAVIS, BAGOZZI et al., 1989, 985-089; vgl. DAVIS, 1989, S. 320; vgl. ARNOLD, KLEE, 2016, S. 18 f.

VENKATESH, MORRIS et al. (2003) hin zur UTAUT mit einem speziellen Fokus auf das TAM bei der Definition der Items aus dem TOAF- bzw. dem HOAF-Fragebogen berücksichtigt.<sup>61</sup>

Die UTAUT postuliert, dass insgesamt drei Konstrukte die Nutzungsintention einer Person von neuen Technologien beeinflussen. Diese sind die erwartete Leistung (engl.: Performance Expectancy; PE) und der erwartete Aufwand (engl.: Effort Expectancy; EE) im Zusammenhang mit einer Nutzung sowie der soziale Einfluss (engl.: Social Influence; SI) auf die Nutzung. Die PE gibt den Grad an, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung der neuen Technologie einen positiven Beitrag zum Erreichen der eigenen Ziele leistet. Dieses Konstrukt hat vor allem die PU aus dem TAM zur Grundlage, berücksichtigt aber darüber hinaus Items aus anderen Akzeptanzmodellen. Die EE beschreibt die Einfachheit mit der die neue Technologie nutzbar ist und greift die Items aus der EOU aus der TAM sowie Items weiterer Modelle auf. Zuletzt beschreibt die SI den Einfluss anderer Personen auf die Nutzung der Innovation. In der TAM 2 bzw. der TRA wird dieser Einfluss durch die SN abgebildet. VENKATESH, MORRIS et al. (2003) berücksichtigen für die SI der UTAUT aber zusätzlich weitere Konstrukte aus anderen Modellen, die beispielsweise den Einfluss der Nutzung auf das eigene Image oder den Status sowie dessen Bedeutung für die Nutzungsintention bewerten.<sup>62</sup>

Ein weiteres Konstrukt, das VENKATESH, MORRIS et al. (2003) für die UTAUT definiert haben, ist die Wahrnehmung von unterstützenden Bedingungen (engl.: Facilitating Conditions; FC). Dieses Konstrukt beschreibt, wie stark eine Person organisatorische und technische Infrastrukturen wahrnimmt, welche die Nutzung der neuen Technologie vereinfachen. Neben weiteren Items berücksichtigt die UTAUT für die FC unter anderem Items der PBC aus der TRA bzw. der TPB von AJZEN (1991). Die FC beeinflussen dabei entsprechend der PBC nicht die Nutzungsintention, sondern die tatsächliche Nutzung der neuen Technologie auf direktem Weg.<sup>63</sup>

Neben den definierten Konstrukten identifizierten VENKATESH, MORRIS et al. (2003) weitere, sogenannte Moderatorvariablen, welche die Stärke des Einflusses der Konstrukte auf die Nutzungsintention oder die tatsächliche Nutzung beeinflussen. Diese sind zunächst das Alter und das Geschlecht einer Person, die den Einfluss der PE, der EE und der SI auf die Nutzungsintention beeinflussen. Das Alter moderiert zudem den Einfluss der FC auf die tatsächliche Nutzung einer neuen Technologie. Weitere Einflussfaktoren bzw. Moderatoren, die von VENKATESH, MORRIS et al. (2003) ermittelt wurden, sind die Erfahrungen, die eine Person mit der Nutzung der neuen Technologie bereits gesammelt hat, und die Freiwilligkeit, mit der die Person bereit ist die neue Technologie zu nutzen. Während der Einfluss der EE, der SI und der FC durch die Erfahrungswerte einer Person gesteigert oder abgeschwächt wird, moderiert die Freiwilligkeit einer Person den Einfluss der SI auf die Nutzungsintention.<sup>64</sup>

Zusätzlich ist von VENKATESH, MORRIS et al. (2003) neben weiteren Konstrukten aus anderen Modellen auch das Konstrukt der Ängste (engl.: Anxiety) aus der Sozialkognitiven Theorie (engl.: Social Cognitive

---

<sup>61</sup> vgl. VENKATESH, DAVIS, 2000; vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003; vgl. VENKATESH, BALA, 2008.

<sup>62</sup> vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 446–453.

<sup>63</sup> vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 453 ff.

<sup>64</sup> vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 446–455.

Theory; SCT) bei der Aufstellung der UTAUT berücksichtigt worden. Dieses Konstrukt dient der Erhebung von Ängsten und aufkommenden, emotionalen Reaktionen in Zusammenhang mit der Ausführung eines bestimmten Verhaltens. In die UTAUT wurde es von VENKATESH, MORRIS et al. (2003) jedoch bewusst nicht integriert, da es durch das Konstrukt EOU bereits indirekt vermittelt wird. Die Untersuchungen aus Kapitel 7.3.1 zeigten jedoch, dass es im Zusammenhang mit selbstfahrenden Elektroshuttles zum aktuellen Zeitpunkt von hoher Bedeutung für die Akzeptanz ist.<sup>65</sup>

Die Items aus der TOAF- und der HOAF-Erhebung wurden auf Grundlage der drei vorgestellten Modelle TAM bzw. TAM 2, TRA bzw. TPB und UTAUT abgeleitet, kombiniert und durch eigene, für das automatisierte Fahren bzw. selbstfahrende Elektroshuttle spezifische Items ergänzt. Anschließend wurden die Items durch eine explorative Faktorenanalyse (engl.: Explorative Factor Analysis; EFA) untersucht. Da die Items nicht vollständig aus einem der drei genannten Modelle übernommen wurden, ist eine konfirmatorische Faktorenanalyse (engl.: Confirmatory Factor Analysis; CFA) nicht zielführend. Während die EFA dazu dient, eine mögliche, existierende Faktorstruktur in den vorliegenden Daten zu finden, wird eine CFA dazu verwendet, eine bereits aus anderen Untersuchungen oder bestehenden Modellen bekannte Faktorstruktur mit den Untersuchungsdaten zu bestätigen. Beide Analysen haben gemeinsam, dass sie viele beobachtete Variablen durch eine geringere Anzahl an latenten bzw. zusammenfassenden Variablen ersetzen bzw. ergänzen. Es handelt sich also um eine Datenreduktion.<sup>66</sup> Zur Durchführung der explorativen Faktorenanalyse gibt es viele verschiedene Verfahren, von denen die Hauptkomponentenanalyse (engl.: Principal Components Analysis; PCA), die Hauptachsenanalyse (engl.: Principal Axes Factoring; PAF) und die Maximum Likelihood-Faktorenanalyse durchgeführt wurden. Da sich die Ergebnisse der Maximum Likelihood-Faktorenanalyse im Rahmen dieser Dissertation kaum von denen der PAF unterscheiden, wird auf dieses Verfahren nachfolgend nicht näher eingegangen. Die PCA und PAF unterscheiden sich maßgeblich darin, welcher Varianzanteil der beobachtbaren Variablen in den erzeugten Hauptkomponenten bzw. Faktoren enthalten ist. Während die Hauptkomponenten der PCA die gesamte Varianz enthalten, wird durch die Faktoren aus der PAF ausschließlich die gemeinsame Varianz betrachtet. Die Varianz einer Variable kann dabei in drei Teile unterschieden werden: Die gemeinsame Varianz, welche eine Variable mit anderen beobachteten Variablen gemeinsam hat, die spezifische Varianz, die nur für die betrachtete Variable ermittelt wurde und die Fehlervarianz, die sich beispielsweise aus Messfehlern in der Erhebung ergibt. Der gemeinsame Varianzanteil wird auch Kommunalität genannt. Die Summe aus gemeinsamer und spezifischer Varianz wird als Reliabilität bezeichnet.<sup>67</sup>

Da die PCA die gesamte Varianz bei der Faktorenanalyse berücksichtigt, wird davon ausgegangen, dass die Variablen mit sich selbst zu eins korrelieren.<sup>68</sup> Aufgrund der thematisierten Fehlervarianz ist jedoch

---

<sup>65</sup> vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 450, 453 ff.

<sup>66</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 26 ff.; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 385 f., 430.

<sup>67</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390–394; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 388–392, 396, 426–428.

<sup>68</sup> vgl. Kapitel 3.2.4 zum Thema Korrelation

davon auszugehen, dass eine Variable bei Messwiederholungen nicht mit sich selbst zu eins korreliert und in der Korrelationsmatrix in der Diagonale keine Einsen stehen sollten. Die Faktorenlösung der PCA führt daher bei einer Anwendung auf andere Stichproben häufiger zu einem anderen Ergebnis. Dies gilt insbesondere für kleinere Stichproben. Ist es das primäre Ziel der Faktorenanalyse lediglich die für eine Stichprobe gefundenen Zusammenhänge mit Hilfe einer Datenreduktion übersichtlicher darzustellen, ist die PCA jedoch ausreichend. Sofern die Ergebnisse auf die Grundgesamtheit übertragen werden sollen, ist hingegen die PAF zu bevorzugen. Da es sich bei der TOAF-Stichprobe jedoch um eine große Stichprobe handelt und sich die Ergebnisse aus einer PCA in der Praxis jedoch selten von denen aus einer PAF unterscheiden, werden in der Dissertation beide Methoden als gleichwertig betrachtet.<sup>69</sup>

Die PAF berücksichtigt die Fehlervarianz durch die Schätzung der gemeinsamen Varianz, meist mit Hilfe der quadrierten multiplen Korrelation. Die Diagonale der Korrelationsmatrix, die die Ausgangsbasis für die Faktorenanalyse darstellt, wird bei der PAF durch die geschätzte gemeinsame Varianz ersetzt. Es wird dann von einer reduzierten Korrelationsmatrix gesprochen.<sup>70</sup>

Aufgrund der Größe der kleinen HOAF-Stichprobe fand diese Analyse ausschließlich auf Grundlage der TOAF-Stichprobe statt. In der ergänzten, telefonischen Feldphase der TOAF-Erhebung (vgl. Kapitel 3.2.2) wurden nur 20 der insgesamt 31 definierten Items abgefragt. Diese werden in Anhang D-1 benannt. Die Faktorenanalyse wurde ausschließlich auf Grundlage dieser Items durchgeführt.

Analog zu den bisherigen theoretischen Erläuterungen ist es für die Durchführung der PCA und der PAF eine wichtige Voraussetzung, dass die Items in einem ausreichenden Maß miteinander korrelieren. Dies wird neben der Interpretation der Korrelationsmatrix durch mehrere Testverfahren untersucht. Hierbei sind der Bartlett-Test, die Anti-Image-Matrix, die Prüfgröße Measure of Sampling Adequacy (MSA), die auf der Anti-Image-Matrix aufbaut, und das sich daraus ergebende Kaiser-Meyer-Olkin- (KMO-) Kriterium zu nennen. Die Testverfahren und die Bewertung der Ergebnisse werden nachfolgend nicht detailliert erläutert. Es sei auf entsprechende Literatur verwiesen, die in Kapitel 7.3.1 zur Interpretation der Testergebnisse punktuell spezifiziert wird.<sup>71</sup>

Um zu definieren, wie viele Faktoren bzw. Hauptkomponenten aus den Items abgeleitet werden können, sind erneut mehrere Verfahren entwickelt worden. Dabei handelt es sich um das Kaiser-Guttman-(KG-) Kriterium, den Scree-Test und die Parallelanalyse.<sup>72</sup>

Bevor die Testkriterien näher beschrieben werden können, müssen zunächst wichtige Begriffe rund um die Faktorenanalyse erläutert werden. Grundlegend für die Bestimmung der Anzahl an Faktoren ist der Anteil der gesamten Varianz der erhobenen Variablen  $i$ , der voraussichtlich durch eine bestimmte Gesamtzahl  $q$  an Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$  aufgeklärt wird. Dieser Anteil errechnet sich

---

<sup>69</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390–394; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 388-392, 396, 426-428.

<sup>70</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 393; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 428.

<sup>71</sup> vgl. u.a. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 376–379; vgl. KAISER, 1970, S. 404 ff., 1974; vgl. KAISER, RICE, 1974, S. 111 ff.; vgl. DZIUBAN, SHIRKEY, 1974.

<sup>72</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 415 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 396 ff.; vgl. GUTTMAN, 1954; vgl. HORN, 1965, S. 179–182.

wiederum aus der Summe der Eigenwerte  $\lambda_j$  für alle  $q$  Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$ , dividiert durch die Gesamtzahl  $p$  der Variablen  $i$ . Die Eigenwerte  $\lambda_j$  geben an, wie viel Varianz aller Variablen  $i$  durch einen Faktor bzw. Hauptkomponenten  $j$  erklärt wird. Dieser Wert berechnet sich aus der quadrierten Summe der Faktorladungen  $a_{ij}$  für alle  $p$  Variablen  $i$ . Die Faktorladung  $a_{ij}$  gibt die Korrelation an, die zwischen einer Variable  $i$  und einem Faktor bzw. einem Hauptkomponenten  $j$  ermittelt werden kann.<sup>73</sup>

Die genannten Kennwerte sind in den Formeln 3-1 bis 3-3 angegeben. Grundlegend für die Bestimmung der Faktorwerte  $f_{mj}$  und den Faktorladungen  $a_{ij}$  der Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$ , ist die Annahme einer Linearkombination zwischen dem meist standardisierten Beobachtungswert  $z_{mi}$  einer Variable  $i$  für eine Person  $m$  und den angenommenen Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$ . Der Faktorwert  $f_{mj}$  gibt wiederum an, wo sich eine Person  $m$  auf dem Faktor  $j$  befindet, das heißt, wie stark die beobachteten Werte der im Faktor  $j$  zusammengefassten Variablen  $i$  bei der Person  $m$  ausgeprägt sind.<sup>74</sup>

$$z_{mi} = \sum_{j=1}^q a_{ij} * f_{mj} \quad (3-1)$$

$$0 \leq \lambda_j = \sum_{i=1}^p a_{ij}^2 \leq p \quad (3-2)$$

$$\begin{aligned} &\text{Varianzanteil aller Variablen} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^q \lambda_j}{p} \quad (3-3) \end{aligned}$$

Bei der Berechnung der Eigenwerte für eine PAF, werden, wie bereits erwähnt, vorab die Einsen in der Diagonale der Korrelationsmatrix durch die quadrierten, multiplen Korrelationskoeffizienten ersetzt, um eine Anfangsschätzung für die gemeinsame Varianz der Variablen  $i$  zu erhalten.<sup>75</sup>

Nach dem ursprünglich von GUTTMAN (1954) empfohlenen KG-Kriterium, werden nur Faktoren bzw. Hauptkomponenten interpretiert, die einen Eigenwert größer als eins haben. Dadurch werden, im Falle von standardisierten Beobachtungswerten, ausschließlich Faktoren bzw. Hauptkomponenten berücksichtigt, die tatsächlich zu einer Aufklärung der Varianz beitragen. Ein Eigenwert unter eins würde lediglich der Varianz einer einzigen Variable entsprechen. Allerdings wird die Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanzahl mit dieser Methode bei einer hohen Variablenanzahl, insbesondere bei einer PAF, überschätzt.<sup>76</sup>

<sup>73</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 392 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 370, 380 f.

<sup>74</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 389-393; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 380 f.

<sup>75</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 393; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 428.

<sup>76</sup> vgl. GUTTMAN, 1954; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 415; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 396 f.



Daher wird häufig zusätzlich der sogenannte Scree-Test herangezogen. Dabei werden die berechneten Eigenwerte in absteigender Größe mit daraus abgeleiteten Rangnummern in einem Eigenwertdiagramm abgebildet. Die daraus entstehende Kurve erhält meist einen charakteristischen Knick, nach welchem die Eigenwerte aller weiteren Faktoren bzw. Hauptkomponenten nahezu konstant auf einem niedrigen Niveau liegen. Entsprechend den Kriterien des Scree-Tests werden ausschließlich die Faktoren bzw. die Hauptkomponenten interpretiert, die oberhalb dieses Knicks liegen.<sup>77</sup>

Eine weitere Methode stellt die von HORN (1965) entwickelte Parallelanalyse dar. Dabei wird der Eigenwertverlauf aus der empirisch ermittelten Korrelationsmatrix mit einer durch eine Monte-Carlo-Simulation normalverteilter Zufallsvariablen und Regressionen erzeugten Eigenwertkurve verglichen. Es werden dann lediglich diejenigen Faktoren bzw. Hauptkomponenten interpretiert, die sich vor dem Schnittpunkt der beiden Kurven befinden.<sup>78</sup>

Im Rahmen der Dissertation wurden alle drei Kriterien angewendet und mehrere Analysen mit der daraus abgeleiteten Anzahl an Faktoren bzw. Hauptkomponenten durchgeführt. Abschließend ist die Faktorenlösung gewählt worden, die die am besten interpretierbaren Ergebnisse mit möglichst optimaler Varianzaufklärung erzielt. (vgl. Kapitel 7.3.1)

Zur inhaltlichen Interpretation und Verallgemeinerung von Ergebnissen einer Faktorenanalyse werden von GUADAGNOLI, VELICER (1988) mehrere Voraussetzungen empfohlen, die in dieser Dissertation als Entscheidungsgrundlage dienen. Für einen Faktor bzw. Hauptkomponenten sollten sich mindestens vier Variablen mit einer Ladung größer 0,60 ergeben. Faktoren bzw. Hauptkomponenten mit mehr als zehn Variablen sollten für jede Variable eine Faktorladung von über 0,40 ergeben. Sollte die Zahl der in einem Faktor bzw. Hauptkomponenten zusammengefassten Variablen mit einer Faktorladung über 0,40 unter zehn liegen, wird eine Interpretation von GUADAGNOLI, VELICER (1988) nur dann empfohlen, wenn die Stichprobe mehr als 300 Beobachtungen umfasst.<sup>79</sup>

Neben diesen Kriterien ist für die Interpretation auch eine inhaltliche Analyse der mit den Faktoren bzw. Hauptkomponenten zusammengefassten Items notwendig. Eine solche Interpretation ist abhängig von den subjektiven Einschätzungen des Interpretierenden. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine Variable auf mehreren Faktoren bzw. Hauptkomponenten in etwa gleich hoch lädt. Da nach dem allgemeinen Vorgehen durch den ersten Faktor bzw. die erste Hauptkomponente der größte Teil der Varianz erklärt wird und weitere Faktoren einen zunehmend kleineren Varianzanteil aufklären, laden nahezu alle Variablen auf dem ersten Faktor. Eine inhaltliche Interpretation wird daher zusätzlich erschwert. Abhilfe kann die Rotation der Faktoren bzw. Hauptkomponenten schaffen, die aufgrund der standardisierten Daten ohne weiteres möglich ist. Ziel der Rotation ist es, eine Einfachstruktur zu schaffen, das heißt, dass jede Variable möglichst nur auf einem einzigen Faktor bzw. Hauptkomponenten sehr hoch lädt und die Faktorladungen der Variable auf den anderen Faktoren bzw. Hauptkomponenten vernachlässigbar

---

<sup>77</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 415 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 397 f.

<sup>78</sup> vgl. HORN, 1965, S. 179–182; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 416 f.

<sup>79</sup> vgl. GUADAGNOLI, VELICER, 1988, S. 274.

sind. Rechnerisch verändern sich nur die Faktorladungen, die aufgeklärte Varianz der Variablen durch die Faktoren bzw. Hauptkomponenten bleibt jedoch unverändert.<sup>80</sup>

Bei den Rotationstechniken sind oblique und orthogonale Rotationen zu unterscheiden. Während bei obliquen Rotationen eine schiefwinklige Ausrichtung der ermittelten Faktoren bzw. Hauptkomponenten zugelassen wird, werden die Faktoren bzw. Hauptkomponenten bei der orthogonalen Rotation so rotiert, dass zwischen ihnen ein möglichst rechter Winkel verbleibt. Dadurch entstehen zwischen den oblique rotierten Faktoren bzw. Hauptkomponenten Interkorrelationen während sie bei einer orthogonalen Rotation nicht miteinander korrelieren. Durch die Interkorrelation sind die Faktoren bzw. Hauptkomponenten auf der einen Seite unter Umständen besser interpretierbar, aber auf der anderen Seite steht dies der durch die Analyse angestrebten Datenreduktion entgegen und eine Verwendung für weitere Berechnungsmodelle, wie etwa der logistischen Regression zur Ermittlung eines Verkehrsmittelwahlverhaltens, wird erschwert. Im Rahmen der Dissertation wird die orthogonale Rotation daher bevorzugt angewendet.<sup>81</sup>

Zur Durchführung der Rotationen gibt es mehrere analytische Rotationsverfahren, von denen für die orthogonale Rotation die Varimax-Rotation nach KAISER (1958, 1959) und für die oblique Rotation die Promax-Rotation angewendet wird. Im Rahmen der Dissertation wird auf die mathematische Herleitung der beiden Methoden nicht näher eingegangen. Es sei auf weiterführende Literatur verwiesen.<sup>82</sup>

Die Ergebnisse einer PCA sowohl mit Varimax- als auch Promax-Rotation und einer PAF mit Promax-Rotation werden in Anhang D-4 bis Anhang D-6 dargestellt und in Kapitel 7.3.1 beschrieben. Bei der dazu notwendigen Interpretation der Ergebnisse spielt auch die sich aus den Lösungsvarianten ergebende Kommunalität  $h_i^2$  der Variablen  $i$  eine wichtige Rolle. Bei der Kommunalität  $h_i^2$  handelt es sich um den Varianzanteil der Variable  $i$  der durch die interpretierten Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$  erklärt wird. Aufgrund der z-Standardisierung der Beobachtungswerte liegt die Varianz der Variable  $i$  bei eins. Daraus ergibt sich auch der Wertebereich der Kommunalität  $h_i^2$ , die demnach zwischen null und eins liegen muss. Berechnet wird die Kommunalität entsprechend der Formel 3-4 durch die Summierung der quadrierten Faktorladungen  $a_{ij}$  der Variable  $i$  für alle  $q$  Faktoren bzw. Hauptkomponenten  $j$ :<sup>83</sup>

$$0 \leq h_i^2 = \sum_{j=1}^q a_{ij}^2 \leq 1,0 \quad (3-4)$$

Abschließend wurden für die Befragten der TOAF-Erhebung anhand ihrer Bewertung der einzelnen Items die Faktorwerte abgeleitet. Diese Werte zur Angabe der Position einer Stichprobenperson auf den abgeleiteten Hauptkomponenten bzw. deren Abweichung von dem auf null normierten Mittelwert,

<sup>80</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 398 ff.; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 418.

<sup>81</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 398 ff.; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 418.

<sup>82</sup> vgl. u.a. KAISER, 1958, 1959, BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 397–406, 418–422, BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 401.

<sup>83</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 393; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390.

werden aufgrund der komplexen Bestimmung mit Hilfe von Regressionen und vergleichbaren Verfahren computergestützt geschätzt. Im Rahmen der Dissertation wurde mit Hilfe von extrahierten Gewichten bzw. Regressionskoeffizienten für jede Stichprobenperson z-transformierte Faktorwerte berechnet. Die mathematische Herleitung dieser Rechnung wird im Rahmen dieser Dissertation nicht näher erläutert. Es sei erneut auf weiterführende Literatur verwiesen.<sup>84</sup>

Die Überprüfung der Voraussetzungen für die Faktorenanalyse, die Durchführung der PCA bzw. PAF und die Berechnung der Faktorenwerte erfolgte im Rahmen dieser Dissertation mit Hilfe der statistischen Programmiersprache R auf Grundlage der Korrelationsmatrix der abgefragten Items.

Inwiefern die beobachteten Faktoren bzw. Hauptkomponenten bei den befragten Personen der TOAF-Stichprobe ausgeprägt sind und ob sie sich verschiedenen Personengruppen zuordnen lassen, wurde im Anschluss an die Faktorenanalyse mit einer Clusteranalyse auf Grundlage der Faktorwerte überprüft. Sofern sich die daraus ergebenden Cluster nach soziodemographischen Eigenschaften und/oder der Mobilitätsausstattung der Personen signifikant unterscheiden, wäre der von KUTTER (1972) begründete Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen in der in Kapitel 3.2.1 vorgestellten Form ebenfalls für die Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles anwendbar.

Bei einer Clusteranalyse werden Objekte einer Stichprobe entsprechend ihrer Ähnlichkeit im Hinblick auf bestimmte Variablen gruppiert. Im Rahmen der Dissertation geht es demnach darum, die befragten Personen der TOAF-Stichprobe mit einer ähnlichen Ausprägung der Faktorwerte aus der PCA bzw. der PAF in einem Cluster zusammenzufassen. Ziel ist es dabei die Cluster so zu wählen, dass die Unterschiede der Objekte innerhalb eines Clusters minimal und zu den Objekten eines anderen Clusters maximal werden. Grundlegend für die Clusteranalyse ist die Vorgehensweise zur Ähnlichkeitsbestimmung bzw. zur Bestimmung der Distanz zwischen den einzelnen Objekten. Diese wiederum ist abhängig von der Skalierung der Variablen. Da es sich bei den Faktorwerten um intervallskalierte Abweichungen zum bei null liegenden Mittelwert handelt, wird die Ähnlichkeit der befragten Personen aus der TOAF-Stichprobe mit Hilfe der euklidischen Distanz berechnet. Die euklidische Distanz  $d_{ab}$  zwischen zwei Objekten  $a$  und  $b$  errechnet sich für alle  $p$  Merkmale  $j$  nach der Formel 3-5. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei, dass die Merkmale standardisiert sind, da uneinheitliche Maßstäbe zu einer Verzerrung der euklidischen Distanz führen können:<sup>85</sup>

$$d_{ab} = \left[ \sum_{j=1}^p (x_{aj} - x_{bj})^2 \right]^{1/2} \quad (3-5)$$

<sup>84</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 370 f., 401-404; vgl. GRICE, 2001, S. 433.

<sup>85</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 453 f., 456 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 437-440, 450 f.; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 14-23, 58 f.

Die euklidische Distanz wird zudem sehr stark durch Korrelationen zwischen den zu berücksichtigenden Merkmalen beeinflusst. Daher ist der Fokus auf eine orthogonale Rotation im Zusammenhang mit der Faktorenanalyse auch unter diesem Gesichtspunkt zielführender.<sup>86</sup>

Die letztendliche Bildung von Clustern geschieht durch eine aufwändige Sortierung der Objekte einer Stichprobe, die insbesondere bei großen Datenmengen ausschließlich computergestützt durchgeführt werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass unter Berücksichtigung eines wirtschaftlichen und sinnvollen zeitlichen Aufwands keiner der verfügbaren Clusteralgorithmen die optimale Lösung findet. Daher wird die Anzahl der zu vergleichenden Clusterlösungen vorab eingeschränkt.<sup>87</sup>

Die verfügbaren Algorithmen sind nach hierarchischen und der nicht-hierarchischen Clusterverfahren zu unterscheiden. Bei hierarchischen Clusterverfahren werden für alle  $n$  Objekte paarweise Distanzen berechnet. Auf Grundlage dieser Distanzen wird ein Objekt im ersten Schritt mit einem weiteren Objekt zu einem Cluster zusammengefasst. Für die so reduzierte Anzahl an  $n - 1$  Objekten wird im nächsten Schritt erneut die paarweise Distanz zu anderen Objekten bzw. Clustern berechnet und dient der nächsten Fusion zu einem Cluster. Dieses Verfahren wird so lange wiederholt bis letztendlich ein einziges Cluster vorliegt. Da ein solches Verfahren mit der kleinsten Partitionierung beginnt, wird es auch hierarchisch-agglomerativ genannt. Das Kriterium, wie die Objekte auf Grundlage der Distanzen fusioniert werden, unterscheidet sich zwischen den Algorithmen. Der Nachteil einer rein hierarchischen Clusteranalyse ist, dass die Gruppierung der Objekte in weiteren Schritten des Verfahrens nicht mehr revidierbar ist, auch wenn eines der Objekte dann aufgrund der Distanz eher einem anderen Cluster zugeordnet werden sollte.<sup>88</sup>

Diese Problematik umgehen nicht-hierarchische Clusterverfahren, die auf Grundlage einer anfänglichen Gruppierung versuchen, einzelne Objekte einem anderen Cluster zuzuordnen, so dass ein definiertes Kriterium optimiert wird. Entsprechend dem grundlegenden hill-climbing-Algorithmus von RUBIN (1967) wird dazu in einem ersten Schritt das Zentroid aller vorgegebenen Cluster ermittelt. Dieses entspricht dem jeweiligen Mittelwert der einzelnen Merkmale für alle Objekt des Clusters. Danach wird ein Objekt verschoben und es wird geprüft, ob sich das Optimierungskriterium des gewählten Clusterverfahrens verbessert hat. Nach dem Verschieben des Objektes, werden die Zentroide erneut berechnet und der Vorgang wird wiederholt, bis das Kriterium des gewählten Clusterverfahrens nicht weiter optimierbar ist. Analog zu hierarchischen Clusterverfahren unterscheiden sich nicht-hierarchische Clusterverfahren hauptsächlich im Hinblick auf das Optimierungskriterium.<sup>89</sup>

Um die Vorteile aus beiden Verfahrenstypen zu erhalten, wird in der Dissertation ein zweistufiges Verfahren angewendet. In der ersten Stufe wird ein von WARD (1963) entwickeltes, hierarchisch-

---

<sup>86</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 456 f.

<sup>87</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 458 f.; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 16–19.

<sup>88</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 458–460; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 456 f., 459–475; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 69, 73–93.

<sup>89</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 461 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 458; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 100–138; vgl. RUBIN, 1967, S. 122–125.

agglomeratives Verfahren angewendet. Anschließend wird diese Clustereinteilung als Startwert für den von MACQUEEN (1967) begründeten nicht-hierarchischen k-Means-Algorithmus genutzt.

Das von WARD (1963) definierte Kriterium zur Fusion zweier Objekte bzw. Cluster ist, dass die gesamte Fehlerquadratsumme möglichst geringfügig erhöht wird. Der für alle Objekte bzw. Elemente  $e$  ermittelte Zuwachs der Fehlerquadratsumme  $\Delta QS_e$  ist bei einer Fusion der beiden Elemente bzw. Cluster  $a$  und  $b$  mit einer Gesamtanzahl  $n_a$  bzw.  $n_b$  Elementen im Cluster entsprechend der Formel 3-6 folgendermaßen definiert:<sup>90</sup>

$$\Delta QS_e = \frac{n_a * n_b}{n_a + n_b} * \sum_{j=1}^p (\bar{x}_{aj} - \bar{x}_{bj})^2 \quad (3-6)$$

Mit Hilfe eines Struktogramms kann ermittelt werden wie viele Cluster gewählt werden sollten. Ähnlich dem Eigenwertdiagramm bzw. dem Scree-Test im Rahmen einer Faktorenanalyse wird dazu die Abnahme der Fehlerquadratsumme  $\Delta QS_e$  mit zunehmender hypothetischer Clusteranzahl in einem Diagramm abgetragen. Auch hier macht die Kurve einen charakteristischen Knick, der einen Hinweis darauf gibt, wie viele Cluster bei der Analyse angesetzt werden sollten. In einem Dendrogramm wird der Zuwachs der Fehlerquadratsumme  $\Delta QS_e$  mit den einzelnen Fusionsstufen dargestellt. Ein Beispiel bzw. das Ergebnis aus der in dieser Dissertation durchgeführten Clusteranalyse ist in Anhang D-8 dargestellt und wird in Kapitel 7.3.2 beschrieben und analysiert.<sup>91</sup>

Der von MACQUEEN (1967) entwickelte k-Means-Algorithmus, der zur Optimierung der Ergebnisse aus dem Verfahren nach WARD (1963) genutzt wird, berechnet in einem ersten Schritt für jedes Objekt die euklidische Distanz zu den als Eingangswert angegebenen Cluster-Zentroiden. Hat das Objekt zum Zentroid des eigenen Clusters eine größere Distanz als zu einem anderen Cluster, wird es in dieses Cluster verschoben. Anschließend werden die Zentroide erneut berechnet und die Vergleichsanalyse wird wiederholt. Diese Schritte werden so lange wiederholt, bis jedes Objekt zum Schwerpunkt des eigenen Clusters die geringste euklidische Distanz hat.<sup>92</sup>

Zusammenfassend wurden auf Grundlage verschiedener Modelle zur Technologieakzeptanz, insbesondere auf dem TAM und der UTAUT, verschiedene Items mit einer fünfstufigen Likert-Skala abgefragt. Mit diesen Beobachtungswerten aus der TOAF-Erhebung wurden eine Faktorenanalyse und anschließend eine Clusteranalyse durchgeführt. Während die Faktorenanalyse grundlegende Konstrukte ergibt, die auf Personenebene die Akzeptanz und die Nutzungsintention selbstfahrender Elektroschuttles

<sup>90</sup> vgl. WARD, 1963, S. 236–241; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 459 f., 462–465; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 459 ff., 465–469; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 79 ff.

<sup>91</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 464.

<sup>92</sup> vgl. MACQUEEN, 1967, S. 281–288; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 456 f.; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 117.

beeinflussen, kann mit der Clusteranalyse beschrieben werden, bei welchem Anteil in der gesamten TOAF-Stichprobe diese psychologischen Konstrukte wie stark ausgeprägt sind.

### 3.2.4 Zusammenhangsanalyse

Um zu überprüfen, wie stark die identifizierten Faktoren bzw. Hauptkomponenten sowie Cluster zur Akzeptanz der selbstfahrenden Elektroshuttles die Nutzungsintention beeinflussen und ob ihre Ausprägung bzw. ob die Zugehörigkeit abhängig von soziodemographischen Personeneigenschaften sowie der Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen ist, wurden die Zusammenhänge zwischen den entsprechenden Variablen der TOAF-Erhebung analysiert (vgl. Kapitel 7.3.3 und 7.4.2). Analog wurden auch die Zusammenhänge der von den Befragten der TOIM- und der WAIM-Erhebung genannten Bedürfnisse an IM bzw. AIM mit diesen und anderen Variablen berechnet (vgl. Kapitel 8.2.4, 8.3.5 und 8.3.6).

Wie die jeweiligen Zusammenhänge zu berechnen sind, ist jedoch vom Datentyp bzw. der Skalierung der Variable abhängig. Während der Zusammenhang zwischen zwei intervallskalierten Variablen mit der Produkt-Moment-Korrelation berechnet wird, wird bei ordinalskalierten Daten die Berechnung der Rangkorrelation nach Charles Spearman notwendig. Soll der Zusammenhang zwischen zwei dichotomen Variablen ermittelt werden, kann das von Harald Cramér entwickelte Zusammenhangsmaß  $V$  berechnet werden. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen einer nominalskalierten und einer dichotomen Variable. Da die Variablen aus den Erhebungen, insbesondere die mit einer fünfstufigen Likert-Skala abgefragten Items, ordinalskaliert sind, müssen intervallskalierte Variablen vor der Berechnung jeweils zunächst in Ränge eingeteilt werden. Bei einem Zusammenhang mit dichotomen Variablen müssen die ordinalskalierten Daten in nominalskalierte Daten überführt werden.<sup>93</sup>

Die Grundlage für die Korrelation zwischen zwei intervallskalierten Variablen  $x$  und  $y$  ist die Kovarianz  $s_{xy}$ , sofern ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen angenommen wird. In einem solchen Fall gibt die Kovarianz  $s_{xy}$  an, wie weit die empirisch erhobenen Werte von einer theoretischen Geraden entfernt liegen, die diesen Zusammenhang beschreibt. Je höher der Betrag der Kovarianz  $s_{xy}$  ist, desto näher liegen die Werte an dieser Geraden. Geht der Wert der Kovarianz  $s_{xy}$  gegen null, besteht kein linearer Zusammenhang. Berechnet wird die Kovarianz  $s_{xy}$  durch das summierte Abweichungsprodukt von  $x$  bzw.  $y$  zum jeweiligen Mittelwert  $\bar{x}$  bzw.  $\bar{y}$  und mit Hilfe der Division durch den um eins reduzierten Stichprobenumfang  $n$ . Da die Höhe des Betrags jedoch vom Stichprobenumfang  $n$  abhängig ist, ist eine Vergleichbarkeit bzw. eine Verallgemeinerung des Zusammenhangs auf Grundlage der Kovarianz  $s_{xy}$  nicht zulässig. Daher findet bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten  $r$  nach Pearson bzw. Bravais eine z-Standardisierung der Kovarianz  $s_{xy}$  durch die Division durch das Produkt der beiden Standardabweichungen  $s_x$  und  $s_y$  statt. Daraus hat der Korrelationskoeffizient  $r$  einen Wertebereich von minus eins bis plus eins. Liegt der Wert bei plus eins, besteht ein perfekter, positiver Zusammenhang,

---

<sup>93</sup> vgl. MITTAG, 2017, S. 119–134; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 171.

das heißt, dass der Wert der Variable  $y$  mit dem Wert der Variable  $x$  ansteigt. Liegt der Wert bei minus eins, besteht ein perfekter, negativer Zusammenhang, das heißt, dass der Wert der Variable  $y$  kleiner wird, wenn der Wert der Variable  $x$  zunimmt. Liegt der Wert bei null, besteht zwischen den Variablen entweder kein Zusammenhang oder der Zusammenhang ist nicht linear. Die mathematische Berechnung der Kovarianz  $s_{xy}$  und des Korrelationskoeffizienten  $r$  sowie dessen Wertebereich werden in den beiden Formeln 3-7 und 3-8 beschrieben:<sup>94</sup>

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{n - 1} \quad (3-7)$$

$$-1,0 \leq r = \frac{s_{xy}}{s_x * s_y} \leq 1,0 \quad (3-8)$$

Um die Höhe des berechneten Korrelationskoeffizienten  $r$  und die Stärke des Zusammenhangs besser interpretieren zu können, hat COHEN (1988) eine Klassifizierung der Werte eingeführt. Entsprechend dieser Konvention beschreiben Werte mit einem Betrag ab 0,10 bis unter 0,30 einen kleinen, Werte mit einem Betrag ab 0,30 bis unter 0,50 einen mittleren und Werte mit einem Betrag ab 0,50 einen großen Zusammenhang.<sup>95</sup>

Bei der Bestimmung der Zusammenhänge zwischen zwei ordinalskalierten Daten können die beiden Formeln 3-7 und 3-8 in modifizierter Form ebenfalls zur Berechnung der Rangkorrelation  $\rho$ , häufig auch als  $r_s$  bezeichnet, angewandt werden. Hierbei werden die Werte der Variablen  $x$  bzw.  $y$  lediglich durch deren Rangpositionen ersetzt. Damit gleichbedeutend werden auch die beiden Mittelwerte  $\bar{x}$  bzw.  $\bar{y}$  durch die jeweilige mittlere Rangposition und die Standardabweichung durch die Standardabweichung der Rangpositionen ersetzt. Der Wertebereich des Korrelationskoeffizienten  $r$  und die Konvention von COHEN (1988) zur Interpretation der Zusammenhangstärke gelten daher auch für die Rangkorrelation  $\rho$  nach Spearman.<sup>96</sup>

Dichotome Variablen, werden häufig auch binär genannt, da ein betrachtetes Objekt jeweils nur eine von zwei Ausprägungen einnehmen kann. Wenn bei diesem Objekt ein bestimmtes Merkmal nicht vorhanden ist, erhält die Variable meist den Wert null, ist es vorhanden, erhält sie den Wert eins. Werden nun mehrere Variablen bzw. Merkmale der Objekte  $i$  und  $j$  miteinander verglichen, entsteht eine Vierfeldertabelle auf deren Grundlage ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest durchgeführt werden kann. Gleiches gilt, wenn eine oder beide Variablen nicht dichotom, sondern nominalskaliert sind und dementsprechend mehr als zwei Ausprägungen haben. In einem solchen Fall basiert der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest nicht auf einer Vierfeldertabelle, sondern auf einer Kontingenztabelle mit  $k$  Zeilen und  $l$  Spalten. Ziel des Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests ist es, zu bewerten, ob die Merkmale zweier

<sup>94</sup> vgl. MITTAG, 2017, S. 124 ff.; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 153–156.

<sup>95</sup> vgl. COHEN, 1988, S. 75–83.

<sup>96</sup> vgl. MITTAG, 2017, S. 132 f.; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 178 ff.

Variablen  $x$  und  $y$  voneinander unabhängig sind oder nicht. Die Nullhypothese  $H_0$  sagt aus, dass die beiden Variablen  $x$  und  $y$  unabhängig voneinander sind. Die Alternativhypothese  $H_1$  bestätigt einen Zusammenhang. Die Prüfgröße  $\chi^2$  wird mit der beobachteten Häufigkeit einer Merkmalskombination  $n_{ij}$  und der erwarteten Häufigkeit der Merkmalskombination  $m_{ij}$  bei vorliegender Unabhängigkeit berechnet, wobei die Variable  $x$  Ausprägungen mit  $i$  von eins bis  $l$  und die Variable  $y$  Ausprägungen mit  $j$  von eins bis  $k$  besitzt. Anhand eines festgelegten Signifikanzniveaus  $\alpha$  kann als Prüfkriterium ein Tabellenwert ermittelt werden. Liegt das Prüfkriterium oberhalb der Prüfgröße  $\chi^2$ , so ist das Ergebnis signifikant, das heißt die Nullhypothese  $H_0$  ist zu verwerfen und es liegt eine Abhängigkeit zwischen den Variablen  $x$  und  $y$  vor. Anstelle der Prüfgröße  $\chi^2$  und dem Prüfkriterium wird bei einer Berechnung mit der statistischen Programmiersprache R ein  $p$ -Wert ausgegeben. Liegt dieser unter dem definierten Signifikanzniveau, das im Allgemeinen meist bei 0,05 liegt, werden der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests signifikant und die Nullhypothese  $H_0$  verworfen. Die Formeln 3-9 und 3-10 beschreiben die mathematische Berechnung der Prüfgröße  $\chi^2$  sowie der erwarteten Häufigkeit  $m_{ij}$  bei vorliegender Unabhängigkeit:<sup>97</sup>

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - m_{ij})^2}{m_{ij}} \quad (3-9)$$

$$m_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij} * \sum_{i=1}^l n_{ij}}{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k n_{ij}} \quad (3-10)$$

Um bei einer Abhängigkeit der Variable  $x$  und  $y$  die Stärke des Zusammenhangs ermitteln zu können, muss zunächst der kritische Chi-Quadrat-Wert  $\chi_{max}^2$  als obere Schranke berechnet werden. Dieser ergibt sich aus der Gesamtzahl der beobachteten Objekte, also dem Stichprobenumfang  $n$  und der minimalen Anzahl an Kategorien  $i$  bzw.  $j$  der beiden Variablen  $x$  bzw.  $y$  also dem Minimum aus  $l$  und  $k$ . Nimmt die Prüfgröße  $\chi^2$  einen Wert von null an, besteht kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen  $x$  und  $y$ . Liegt der Wert genauso hoch wie der kritische Wert  $\chi_{max}^2$ , besteht eine vollständige Abhängigkeit bzw. ein perfekter Zusammenhang. Da der kritische Wert abhängig vom Stichprobenumfang  $n$  ist und daher keine uneingeschränkte Vergleichbarkeit bzw. Übertragbarkeit des Ergebnisses gegeben ist, kann auf Grundlage der Prüfgröße  $\chi^2$  und dem kritischen Wert  $\chi_{max}^2$  das von Harald Cramér entwickelte Zusammenhangsmaß  $V$  berechnet werden. Dieses hat einen Wertebereich von null bis eins und ist damit vergleichbar mit dem Korrelationskoeffizienten  $r$  und der Rangkorrelation  $\rho$ , wenngleich daraus nicht abgeleitet werden kann, ob der Zusammenhang positiv oder negativ ist. Die Berechnung des kritischen Wertes  $\chi_{max}^2$  und von Cramérs  $V$  werden in den Formeln 3-11 und 3-12 angegeben:<sup>98</sup>

<sup>97</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 137–140; vgl. MITTAG, 2017, S. 101–116, 119 f., 247 f.

<sup>98</sup> vgl. MITTAG, 2017, S. 120–123; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 180.



$$\chi_{max}^2 = n * (\min(l; k) - 1) \quad (3-11)$$

$$0 \leq V = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi_{max}^2}} \leq 1,0 \quad (3-12)$$

Im Zusammenhang mit dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest muss berücksichtigt werden, dass der Test nur dann angewendet werden sollte, wenn die erwartete Häufigkeit für jede Merkmalskombination über fünf liegt. Liegt die erwartete Häufigkeit für eine Merkmalskombination unter fünf, besteht die Gefahr, dass das Testergebnis nicht valide ist. In einem solchen Fall wird die Durchführung des exakten Tests nach Fisher empfohlen, der aufgrund seiner seltenen Anwendung im Zusammenhang mit den Daten der Dissertation hier nicht näher erläutert wird. Daher wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.<sup>99</sup>

In dieser Dissertation wird der exakte Test nach Fisher mit Hilfe der statistischen Programmiersprache R durchgeführt. Sollte eine Merkmalskombination eine erwartete Häufigkeit unter fünf haben, wird der mit dem Test automatisiert ausgegebene p-Wert bei den in den Kapiteln 7.3.3, 7.4.2, 8.2.4, 8.3.5 und 8.3.6 sowie im Anhang F beschriebenen bzw. dokumentierten Zusammenhängen zusätzlich zu Cramérs V angegeben. Die von COHEN (1988) für die Produkt-Moment-Korrelation definierte Konvention zur Bewertung der Stärke des Zusammenhangs wird vereinfachend auch auf die Ergebnisse zu Cramérs V angewendet.

Zusammenfassend können, mit den vorgestellten Verfahren, statische Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen ermittelt werden, wobei die Verfahren entsprechend der Skalierung der Daten zu wählen sind. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die Zusammenhänge basierend auf den Stichprobendaten lediglich einen möglichen kausalen Zusammenhang aufzeigen, es ist jedoch nicht ersichtlich, ob die Variable x die Variable y beeinflusst oder anders herum, ob der Einfluss wechselseitig ist oder ob der Zusammenhang durch eine dritte oder weitere Variable beeinflusst wird. Daher muss der Zusammenhang stets durch weitere Informationen zur Interpretation oder durch eine Regression ergänzt werden.<sup>100</sup>

Da innerhalb dieser Dissertation, die Verwendung und Kombination mehrerer Stichproben, die lediglich Einzelaspekte des gesamten Themenkomplexes abbilden, eine kombinierte Anwendung innerhalb einer Regression erschwert, werden die Daten jeweils mit einem Signifikanzniveau ergänzt, um zu gewährleisten, dass der Zusammenhang nicht nur für einzelne Merkmalskombinationen zutreffend ist. Dafür wird für den Korrelationskoeffizienten  $r$  bzw. für die Rangkorrelation  $\rho$  die Signifikanz mit dem t-Test berechnet. Für den Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest bzw. Fishers Exakten Test wird der p-Wert, wie bereits erläutert, bei einer Durchführung mit der statistischen Programmiersprache R automatisch

---

<sup>99</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 141; vgl. MITTAG, 2017, S. 248.

<sup>100</sup> vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 159 f.

ausgegeben. Da der p-Wert für die anderen beiden Zusammenhangsmaße ebenfalls automatisiert ausgegeben wird, wird die mathematische Durchführung des t-Tests hier nicht näher vertieft.

Zusätzlich werden ausschließlich Zusammenhänge in den Tabellen der entsprechenden Kapitel bzw. im Anhang F angegeben, die entsprechend der Konvention von COHEN (1988) mindestens als mittlere Zusammenhänge klassifiziert werden können. Große Zusammenhänge werden zudem durch die Analyse der Merkmalszusammenhänge beschrieben und textlich interpretiert. Vereinzelt werden sie auch in den Annahmen für die Wirkungsanalyse aus Kapitel 10 implementiert.

Bei einer Verwendung der Ergebnisse in weiteren wissenschaftlichen Arbeiten sollten sie zunächst mit Hilfe einer größeren Erhebung, die alle als bedeutend identifizierten Variablen abfragt, überprüft und mit Regressionsanalysen in ein valides Modell überführt werden (vgl. Kapitel 11).

### 3.3 Einfluss des Fahrzeugmarktes und der Corona-Pandemie

Insbesondere bezüglich der Testfahrten mit einem selbstfahrenden Elektroschuttle im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle und die Testfahrten unter Nutzung des Autopiloten eines Pkw im Forschungsprojekt TERMINAL hatten die begrenzte Verfügbarkeit der Fahrzeugmodelle und die Kontaktbeschränkungen während der Corona-Pandemie starke Auswirkungen auf die Umsetzung. So konnten die Fahrzeuge in beiden Projekten erst mit großer zeitlicher Verzögerung beschafft werden, da die dafür notwendigen Ausschreibungen entweder nicht erfolgreich waren oder die begünstigten Unternehmen letztendlich die vereinbarten Fahrzeuge nicht ausliefern konnten. Bei dem im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle beschafften Fahrzeug Olli Gen2 (Olli 2.0) von Local Motors kam es, aufgrund technischer und rechtlicher Probleme sowie aufgrund der Corona-Pandemie, zu weiteren Verzögerungen in der Auslieferung des Fahrzeugs. Alleine aufgrund dieser Schwierigkeiten verzögerten sich die ursprünglich für das Jahr 2019 geplanten Testfahrten bis in das Jahr 2021. Die für den Fahrbetrieb notwendigen Mapping-Fahrten (vgl. Kapitel 4.1) konnten aufgrund der Corona-bedingten Einreisebeschränkungen ebenfalls nicht wie geplant durch das US-amerikanische Unternehmen vor Ort betreut werden. Stattdessen wurden die Mapping-Fahrten mit Hilfe einer Video-Schaltung über das Internet unter Anleitung der Mitarbeitenden von Local Motors von der betriebsführenden MoD Holding GmbH durchgeführt. Dabei kam es aufgrund der im Wald teilweise abbrechenden Konnektivität zu erheblichen Verzögerungen.

Auch die mit den Testfahrten zusammenhängenden HFAF- und TFAF-Erhebungen wurden durch die weltweit ausgebrochene Viruskrankheit COVID-19 stark beeinflusst. So konnte insbesondere die Altstadttroute im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle nicht und die Ringroute erst sehr verspätet mit Fahrgästen befahren werden. Durch die während des Testzeitraums reduzierte Anzahl an touristischen Besuchern und Besucherinnen am Hambacher Schloss, ist die Stichprobe der HFAF-Erhebung kleiner gewesen, als ursprünglich geplant. Dies wurde versucht durch die HOAF-Erhebung zu kompensieren, für die jedoch eine geringe Stichprobe unumgänglich war, da die Teilnahme im Kontext des Projektes auf Personen mit Wohnsitz in Hambach an der Weinstraße und auf Besuchende dieses Ortsteils beschränkt

werden musste. Eine weite Streuung der Onlineumfrage war demnach nicht möglich. Da die Testfahrten auf der Ringroute im letzten Monat des Forschungsprojektes Hambach-Shuttle durchgeführt wurden, wurde eine Bewerbung der Umfrage unter den Fahrgästen des Testbetriebs nicht mehr durchgeführt. Auch die TFAF-Erhebung erzielte durch die Corona-Pandemie eine deutlich geringere Anzahl an Fahrgästen, da die Möglichkeit zur Mitfahrt aufgrund der Angst, sich mit dem Virus anzustecken, nur von wenigen Personen in Anspruch genommen wurde.

Eine weitere Auswirkung der Corona-Pandemie hat sich im Zusammenhang mit der WAIM-Erhebung ergeben. Diese wurden jedoch bereits in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Trotz dieser ungünstigen Rahmenbedingungen konnten mit den einzelnen Erhebungsinstrumenten für die Forschung rund um die Akzeptanz des automatisierten Fahrens, die Bedürfnisse an und die angestrebte Nutzung von IM sowie AIM wertvolle Daten und Informationen gesammelt werden, die in den folgenden Ergebniskapiteln vorgestellt werden.

## Entwicklungsrahmen

## 4 Systemgrenzen des automatisierten Fahrens <sup>101</sup>

Die Automatisierung des Straßenverkehrs betrifft nicht nur die Weiterentwicklung der in heutigen Pkw bereits verbauten Assistenzsysteme, sondern auch den Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles im ÖPNV. Insbesondere hier könnten künftige Betriebsformen mit selbstfahrenden Fahrzeugen neue Potentiale erschließen. Aus diesem Grund gab es in der Vergangenheit in Deutschland bereits mehrere Pilotprojekte mit solchen Fahrzeugen. Zu nennen sind beispielsweise der bereits von November 2016 bis August 2017 angebotene Testbetrieb auf dem Berliner EUREF-Campus, das seit Oktober 2017 im Regelbetrieb fahrende Shuttle in Bad Birnbach, die Testfahrt des Shuttles EMMA entlang der Uferpromenade in Mainz im Jahr 2018 oder der Pilotbetrieb See-Meile zum Jahreswechsel 2019/20 bzw. von 2021 bis 2022 in Berlin Tegel.<sup>102</sup> Einen sehr guten Überblick über weitere Projekte innerhalb Deutschlands bietet eine vom VDV veröffentlichte Innovationslandkarte.<sup>103</sup>

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, wurden im BMVI-geförderten Forschungsprojekt Hambach-Shuttle ebenfalls mehrere Testrouten mit einem selbstfahrenden Elektroshuttle befahren. Während der Routenplanung wurden mit dem Ziel der Eingliederung des Fahrzeugs in den fließenden Verkehr und für die Benutzung auf der öffentlichen Straßeninfrastruktur mehrere Systemgrenzen definiert. Durch den Vergleich mit den Betriebserfahrungen auf den genannten und in Kapitel 4.2.1 vorgestellten Testrouten konnten diese Systemgrenzen verifiziert werden. Die Erfahrungen aus der Nutzung des im Tesla Model X verfügbaren Autopiloten im EFRE/Interreg-geförderten Forschungsprojekt TERMINAL wurden ebenfalls mit den definierten Systemgrenzen verglichen. Dadurch werden die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse sowohl für Fahrzeugmodelle des revolutionären als auch des evolutionären Ansatzes verallgemeinerbar und dienen zur Verifizierung der Zukunftsszenarien aus den Interviews mit Fachpersonen, deren Ergebnisse in Kapitel 6 vorgestellt werden.

### 4.1 Funktionsweise selbstfahrender Elektroshuttles

Für jede der fünf Automatisierungsstufen, wird eine unterschiedliche Aufgabenteilung zwischen den Fahrzeugführenden und den Assistenzsystemen bzw. den Automatisierungsfunktionen festgelegt, wobei die Aufgaben des Systems stetig zu- und die des Menschen abnehmen. Entsprechend der Definition des BMVI entspricht die Mehrheit der auf dem Markt verfügbaren Pkw der ersten oder der zweiten Stufe. In Stufe eins, dem assistierten Fahren, übernimmt das Fahrzeug in gewissen Grenzen die

---

<sup>101</sup> Teile dieses Kapitels basieren auf den im Projekt Hambach-Shuttle entwickelten Systemgrenzen, die bereits durch RENTSCHLER, HERRMANN et al. in 2020 in einer Projektbegleitenden Publikation in ähnlicher Form veröffentlicht wurden. Die zusätzlich in den Kapiteln ergänzten Erfahrungen aus dem Projekt TERMINAL, insbesondere die Beschreibung der Testrouten aus diesem Projekt (vgl. Kapitel 4.2.1), wurden bereits durch BOUSONVILLE, RÖSLER, WOLNIAK et al. in 2022 und BOUSONVILLE, RÖSLER, VOGT, WOLNIAK in 2022 in ähnlicher Form veröffentlicht.

<sup>102</sup> vgl. HUNSICKER, KNIE et al., 2017; vgl. RIENER, APPEL et al., 2020; vgl. BRANDT, BÖKER et al., 2019; vgl. SCHUMACHER, 2018; vgl. R+V, MAINZER MOBILITÄT, 2018; vgl. MAINZER MOBILITÄT, o. J.; vgl. BVG, 2021.

<sup>103</sup> vgl. VDV, o. J.a.

Längs- oder Querführung, während beim teilautomatisierten Fahren, der Stufe zwei, bereits in spezifischen Situationen beide Fahraufgaben übernommen werden. Fahrzeugführende müssen dann weder Lenk- noch Beschleunigungs- oder Bremsmanöver ausführen. In beiden Stufen müssen Fahrzeugführende jedoch das System dauerhaft überwachen und zur unmittelbaren Übernahme verfügbar sein. Einige, wenige, meist hochpreisige Fahrzeugmodelle, ermöglichen bereits einzelne Fahrfunktionen aus der dritten Stufe, bei der das Fahrzeug mit einer Zeitreserve zur Übernahme auffordert und zur Not in einen risikominimalen Zustand übergeht.<sup>104</sup>

Nähere Informationen zur technischen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung im Pkw-Segment folgen in Kapitel 6.2. Der Fokus wird nachfolgend auf die selbstfahrenden Elektroshuttles gelegt, die eher im ÖPNV eingesetzt werden. Beispielhafte Fahrzeugmodelle (Stand April 2021), sind der Navya Arma DL4 4WD, der EasyMile EZ10 oder der Olli 2.0 von Local Motors. Deren Datenblätter wurden im Rahmen der Routenplanung analysiert und es wurden Erfahrungen anderer Pilotprojekte, die diese Fahrzeuge eingesetzt haben, erfragt oder recherchiert.<sup>105</sup> Nachfolgend werden diese Erkenntnisse mit den Erfahrungen aus dem Testbetrieb beschrieben und vorgestellt.

Auch wenn selbstfahrende Elektroshuttles dem revolutionären Entwicklungsansatz entsprechen, können sie nach den beschriebenen Entwicklungsstufen des evolutionären Ansatzes klassifiziert werden. Dementsprechend befinden sich auch diese Fahrzeuge am Übergang zwischen der zweiten und der dritten Automatisierungsstufe. Auf öffentlichen Straßen durften die Fahrzeuge zum Betriebszeitpunkt aus Sicherheitsgründen bzw. aufgrund rechtlicher Vorgaben (vgl. Kapitel 4.2.5) ausschließlich auf speziell dafür genehmigten und für den Betrieb vorbereiteten Straßen fahren. Während des Betriebs wurden sowohl die Längs- als auch die Querführung übernommen und es musste ein sogenannter Operator oder Sicherheitsfahrer dauerhaft im Fahrzeug anwesend sein. Dieser sollte das System im Ernstfall mit Hilfe eines Joysticks übersteuern und bei Bedarf Hindernisse im Straßenraum umfahren.

Alle recherchierten Fahrzeugmodelle fahren auf einer virtuellen Schiene, wobei der im Testbetrieb des Hambach-Shuttles eingesetzte Olli 2.0 zwischen mehreren, nebeneinanderliegenden Schienen wechseln kann. Diese Eigenschaft kommt einer von den Herstellenden zukünftig angestrebten Fahrweise, der Fahrt in einem vordefinierten bzw. virtuellen Fahrkorridor, näher. Sowohl die virtuelle Schiene als auch das ggf. zukünftig mögliche Fahren in einem Korridor haben gemein, dass sich die Fahrzeuge nicht wie andere Verkehrsteilnehmende flexibel im Straßenraum bewegen können, sondern dass sie auf der definierten Linie bzw. innerhalb des vorgegebenen Bereichs verbleiben müssen.

Damit ein Fahrbetrieb mit selbstfahrenden Elektroshuttles durchgeführt werden kann, muss zunächst mit Hilfe der im Fahrzeug integrierten Sensoren bei sogenannten Mapping-Fahrten eine durch das Global Positioning System (GPS) unterstützte digitale Umgebungskarte erstellt werden. Für die Orientierung des Fahrzeugs werden auch alle markanten und relevanten Dinge, wie beispielsweise Gebäude, Mauern, Pfosten oder auch Bäume im Seitenraum aufgezeichnet. Anschließend wird in diese

---

<sup>104</sup> vgl. BMVI, 2015, S. 5 ff.; vgl. JENDRISCHIK, 2019; vgl. MBRDNA, o. J.

<sup>105</sup> vgl. u. a. KOLB, WECH et al., 2020, S. 57–68; BARILLÈRE-SCHOLZ, BÜTTNER et al., 2020, S. 20 f.

Umgebungskarte eine Fahrlinie als Trajektorie, also eine Folge fester Orientierungspunkte, einprogrammiert. Während des Fahrbetriebs lokalisiert und orientiert sich das Fahrzeug durch einen Abgleich der während der Fahrt aufgezeichneten Echtzeit-Sensordaten mit den Daten aus der Umgebungskarte. Entsprechend der Fahrt auf einer virtuellen Schiene werden die Orientierungspunkte nacheinander mit einer vorab definierten, maximalen Geschwindigkeit angefahren. Muss das Fahrzeug aufgrund der aktuellen Verkehrssituation langsamer fahren, um die vorgeschriebenen Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmenden einhalten zu können, wird die Geschwindigkeit dynamisch angepasst. Bei der virtuellen Schiene handelt es sich also um ein weitestgehend starres System. Dies wird insbesondere bei Hindernissen im Straßenraum deutlich. In einem solchen Fall kommt es zu einem Not-Halt, das heißt das Fahrzeug bremst rechtzeitig bis zum Stillstand ab. Grund hierfür ist, dass ein selbstfahrendes Elektroshuttle ein Hindernis, das sich auf der virtuellen Schiene befindet, nicht eigenständig umfahren kann, da es selbst auf der virtuellen Schiene verbleiben muss. In einem solchen Fall kann lediglich der im Fahrzeug befindliche Operator im manuellen Betrieb mit Hilfe des Joysticks die virtuelle Schiene verlassen und das Hindernis umfahren.

Durch diese geringe Flexibilität wird ein Einsatz der virtuellen Schiene insbesondere in Straßenräumen mit hohem Verkehrsaufkommen oder mit Mischverkehr erschwert. Dieses Problem wird langfristig durch das Konzept eines virtuellen Fahrkorridors verringert. Anstelle der Orientierungspunkte könnten dazu aneinandergrenzende Polygone definiert werden. Vergleichbar mit der virtuellen Schiene könnte innerhalb dieser Polygone zusätzlich eine Soll-Trajektorie festgelegt werden. Falls Hindernisse entlang dieser Soll-Trajektorie auftreten sollten, könnte das Fahrzeug diese innerhalb der definierten Polygone eigenständig umfahren und würde im Anschluss an dieses Manöver auf die Soll-Trajektorie zurückkehren. Das selbstfahrende Elektroshuttle im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle näherte sich diesem Konzept an, indem mehrere, nebeneinanderliegende virtuelle Schienen in die Umgebungskarte einprogrammiert wurden. In Fällen, in denen sich ein Hindernis auf der virtuellen Schiene befand, beispielsweise ein im Straßenraum parkendes Fahrzeug, wechselte Olli 2.0 automatisch auf eine nebenanliegende virtuelle Schiene, bei der ein Vorbeifahren am Hindernis sicher gewährleistet werden konnte. Falls dies mit keiner der einprogrammierten Schienen möglich war, kam es dennoch zu einem Not-Halt.

## 4.2 Einflussfaktoren auf den Betrieb selbstfahrender Elektroshuttles

Bei der Planung einer Testroute sind mehrere Einflussfaktoren für den Betrieb des selbstfahrenden Elektroshuttles zu berücksichtigen. Diese ergeben sich aus der Straßeninfrastruktur bzw. der Nutzung des jeweils örtlichen Straßenraums sowie der Geographie und den Witterungsbedingungen, aus den technischen Eigenschaften des Fahrzeugs und aus dem Rechtsrahmen zum Einsatz der Fahrzeuge im öffentlichen Straßenraum. Im Vergleich dazu sind die zu beachtenden Einflussfaktoren beim Einsatz eines Fahrzeugs des evolutionären Entwicklungsansatzes deutlich geringer. Insbesondere räumliche und

geographische Eigenschaften des Straßenraums sowie die Fahrzeuggröße spielen eine untergeordnete Rolle.

Nachfolgend werden zunächst die Testrouten mit dem Fahrzeug Olli 2.0 aus dem Forschungsprojekt Hambach- Shuttle und mit dem Autopiloten des Fahrzeugs Tesla Model X vorgestellt, bevor die einzelnen Einflussfaktoren im Detail beschrieben und die potenziellen Einflüsse mit den tatsächlich im Fahrbetrieb beobachteten Einflüssen verglichen werden.

#### 4.2.1 Testrouten

Im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle wurden drei Testrouten mit dem selbstfahrenden Elektroshuttle Olli 2.0 des Unternehmens Local Motors befahren. Der Pilotbetrieb auf der Waldroute fand vom 25. Januar bis zum 3. März 2021 statt und diente zur Überprüfung der Funktionsweise bei wenigen oder fehlenden Referenzpunkten für das Fahrzeug zur Orientierung, bei einem eingeschränkten GPS-Signal durch das dichte Blätterdach im Wald und bei glatten Oberflächen durch die kalte Jahreszeit. Zudem konnte auf der im Pendelbetrieb durchgeführten, für Hin- und Rückfahrt insgesamt ca. 1,95 Kilometer langen Testroute, die Funktionsweise an größeren Steigungen mit einem zu überwindenden Höhenunterschied von insgesamt 60 Metern und einer maximalen Steigung von sechs Prozent überprüft werden. Es handelte sich um einen rein technischen Pilotbetrieb ohne Fahrgäste. (vgl. Abbildung 4-1)

Vom 24. März bis zum 31. Mai 2021 wurde die Altstadtroute befahren. Im Gegensatz zur Waldroute handelte es sich um eine ca. ein Kilometer lange Ringroute mit zwei Haltestellen, bei der der Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles in beengten Straßenräumen mit einer Fahrbahnbreite zwischen 4,2 und 6,1 Meter untersucht wurde. Zudem waren die Straßenräume durch eine hohe Aufenthaltsfunktion, stellenweise in Form von Fußgängerzonen, und durch ruhenden Verkehr sowie Lieferverkehr im Straßenraum geprägt. Es bestand ein hohes Konfliktpotenzial, das zu vielen Betriebsunterbrechungen führen konnte und anhand welchem die Akzeptanz in der Nachbarschaft und anderen Beteiligten im Straßenverkehr erhoben wurde. Aufgrund der Corona-Pandemie handelte es sich auch bei dieser Testroute um einen technischen Pilotbetrieb, da zu diesem Zeitpunkt keine Fahrgäste im Fahrzeug mitgenommen werden konnten. (vgl. Abbildung 4-1)

Die analysierte Funktionsweise auf den beiden technischen Testrouten diente als Grundlage zur Planung und zur Vorbereitung des Betriebs auf der finalen Ringroute. Diese war insgesamt ca. 4,9 Kilometer lang und hatte vier Haltestellen. Einige Straßenabschnitte aus den technischen Testrouten wurden auch bei dieser Route befahren. Die Ausnahmegenehmigung für den Betrieb mit Fahrgästen ist am 14. September 2021 für drei Monate erteilt worden. Ab diesem Zeitpunkt fanden bis zum Ende der Projektlaufzeit am 31. Oktober 2021 jeweils von Montag bis Freitag zwischen 10 und 18:30 Uhr sowie an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen zwischen 10 und 16:30 Uhr Fahrten statt. Zusätzlich wurden insbesondere für Personen aus der Nachbarschaft an zwei Wochenenden Eventfahrten von 19 bis 21 Uhr angeboten. (vgl. Abbildung 4-1)





**Abbildung 4-1:** Testrouten aus dem Forschungsprojekt Hambach-Shuttle im Überblick

Im Forschungsprojekt TERMINAL sollte eine grenzüberschreitende Testroute zwischen Deutschland und Frankreich eingerichtet werden. Dies erforderte den Einsatz der Fahrzeugmodelle auf Außerortsstraßen mit Höchstgeschwindigkeiten weit oberhalb der mit selbstfahrenden Elektroshuttle momentan möglichen Einsatzgebiete (vgl. nachfolgende Kapitel). Aus diesem Grund wurde im Forschungsprojekt mit dem Tesla Model X ein Fahrzeugmodell des evolutionären Entwicklungsansatzes unter Nutzung des Autopiloten auf zwei Pendelrouten mit einer Gesamtlänge aus Hin- und Rückweg von ca. 25 bzw. 32 Kilometern getestet. Die Fahrzeugführenden konnten während des Testzeitraums vom 8. Juli bis zum 30. September 2021 in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen wählen, ob sie die Route über die Landes- oder Bundesstraße wählen. Besondere Herausforderungen stellten ein Kreisverkehr im Verlauf

der Route und Rangierfahrten von Lastkraftwagen (Lkw) in den Industrie- und Gewerbegebieten dar. Zugestiegen sind an insgesamt neun Haltestellen ausschließlich grenzüberschreitende Berufspendler und Berufspendlerinnen. Zudem wurden im September und Oktober 2021 an drei Tagen Probefahrten für weitere, sonstige Personen angeboten.<sup>106</sup>

#### 4.2.2 Straßenraum

Aus den Eigenschaften des Straßenraums ergeben sich Rahmenbedingungen für das Verkehrsgeschehen und die Verkehrsteilnehmenden, denen auch automatisierte oder selbstfahrende Fahrzeuge gerecht werden müssen. Für Fahrzeuge des evolutionären Entwicklungsansatzes ist diese Voraussetzung weitestgehend gegeben, da sie über eine allgemeine Straßenzulassung verfügen und sich in diesem Zusammenhang nicht von einem herkömmlichen Pkw unterscheiden. Auf selbstfahrende Elektroshuttles trifft dies nicht zu, insbesondere im Hinblick auf den räumlichen Bedarf und auf Geschwindigkeits- und Sicherheitsaspekte. Den Richtlinien zur Anlage von Stadtstraßen (RASt) der FGSV zufolge sind neben den Abmessungen des Straßenraumes aber auch örtliche Nutzungsansprüche an den Straßenraum und das Verkehrsaufkommen zu berücksichtigen. Hier haben beide Parameter auch einen Einfluss auf den Betrieb eines Fahrzeugs des evolutionären Entwicklungsansatzes. Entsprechend den RASt ergibt sich der Nutzungsanspruch aus dem nichtmotorisierten Individualverkehr (NMIV) und aus Liefer-, Lade- und Parkvorgängen. Der NMIV fasst den Rad-, Fußgängerlängs- und Fußgängerquerverkehr zusammen<sup>107</sup>. Die verkehrliche Situation definieren die RASt durch die Pkw-Verkehrsstärke, also der Anzahl der täglich über den Straßenquerschnitt fahrenden Pkw<sup>108</sup>, und das Fahren von ÖPNV-Fahrzeugen im Straßenraum.<sup>109</sup> Im Testbetrieb mit Olli 2.0 machten sich in diesem Zusammenhang vor allem die Straßenquerungen der zu Fuß gehenden und Radfahrenden bemerkbar, die immer wieder zu einem Not-Halt des Fahrzeugs führten und den Eingriff des Operators erforderlich machten. Auch Pkw, die beispielsweise bei Überholmanövern, den vorgeschriebenen Sicherheitsabstand nicht einhielten führten zu einem Not-Halt.

Vor dem Testbetrieb, insbesondere mit dem selbstfahrenden Elektroshuttle Olli 2.0, wurde vermutet, dass eine starke Vegetation oder eine enge, abschirmende Bebauung im Seitenraum die Funktion des automatisierten Fahrens beeinträchtigen könnten. Grund hierfür war die Befürchtung, dass bei einem fehlenden GPS-Signal eine Fahrzeugorientierung nur eingeschränkt möglich ist. Die Erfahrungen zeigen jedoch, dass die Befürchtungen zumindest für enge Straßen im Stadtteil Hambach in Neustadt an der Weinstraße wie die Schloss-, die Freiheits- oder die Weinstraße auf der Altstadt- und Ringroute (vgl. Abbildung 4-1) unbegründet waren. Auch auf den Straßen der Wald- bzw. Ringroute mit dichtem Blätterdach war der Betrieb weitestgehend möglich, da andere im Fahrzeug verbaute Sensoren dennoch

---

<sup>106</sup> vgl. BOUSONVILLE, RÖSLER, WOLNIAK et al., 2022, S. 2–5; vgl. BOUSONVILLE, RÖSLER, VOGT, WOLNIAK, 2022, S. 99 f.

<sup>107</sup> vgl. FGSV, 2020, S. 25.

<sup>108</sup> vgl. FGSV, 2020, S. 63.

<sup>109</sup> vgl. FGSV, 2009, S. 25–32.

eine ausreichende Orientierung des Fahrzeugs sicherstellen. Ausschließlich in den Wintermonaten war der Betrieb hier zeitweise nicht möglich. Grund hierfür war unter anderem, dass neben dem GPS-Empfang stellenweise das zweite im Fahrzeug verbaute Orientierungssystem, die Hodometrie, ebenfalls nicht funktionstüchtig war. Bei einem Hodometer handelt es sich um ein am Fahrzeug angebrachtes Messgerät, welches die Fahrzeugposition über die Anzahl der Radumdrehungen ausgehend vom Startpunkt ermittelt<sup>110</sup>. An Stellen, an denen aufgrund der glatten Oberfläche eine geringere Reibung gegeben war, konnte der Hodometer keine verlässlichen Daten erheben. Gleiches galt für starke Schäden an der Straßenoberfläche wie etwa Ausbrüche. Für den Autopiloten des Tesla Model X hatten diese Einflussfaktoren keine Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit, da der Autopilot nicht auf den GPS-Empfang oder die Hodometrie angewiesen ist. Anders sah es jedoch bei starkem Regen oder Nebel aus. Solche Witterungsbedingungen haben sowohl bei Fahrzeugmodellen des evolutionären als auch des revolutionären Entwicklungsansatzes einen negativen Einfluss auf die Funktion der Light Detection and Ranging (LIDAR) und Radiowave Detection and Ranging (RADAR) Sensoren sowie die Kamerasysteme. Welche Funktion diese Sensoren für das automatisierte Fahren übernehmen, wird in Kapitel 4.2.4 näher erläutert.

Ein weiterer Einflussfaktor des Straßenraums, der ausschließlich die Autopilotfunktion des Tesla Model X beeinflusst, ist das Vorhandensein der Straßenmarkierung und -beschilderung. Der Autopilot baut auf die Assistenzsysteme zur Spurhaltung und Verkehrszeichenerkennung auf, weshalb eine fehlende oder für das Kamerasystem nicht erkennbare Fahrbahnmarkierung oder Beschilderung mit Verkehrszeichen die Automatisierungsfunktion beeinträchtigen oder verhindern kann. In Straßen mit Gegenverkehr oder mit mehreren Fahrstreifen je Richtung benötigt der Autopilot demnach mindestens einen Mittelstreifen bzw. eine Spurbegrenzung. In Straßen ohne Markierungen kann sich der Autopilot auch an Randsteinen bzw. der Straßenbegrenzung orientieren, wird dann allerdings mittig auf der Fahrbahn fahren. Dies ist also nur auf Einbahnstraßen zulässig.

### 4.2.3 Fahrzeugabmessungen

Wie bereits erläutert besitzen selbstfahrende Elektroshuttles keine allgemeine Typengenehmigung. Zusätzlich sind die Shuttles darauf angewiesen, dass die Abstände und Sicherheitsräume um das Fahrzeug eingehalten werden, um einen sicheren Betrieb im automatisierten Modus gewährleisten zu können. Eine zentrale Rolle in der Routenplanung spielen daher auch die Abmessungen aus Höhe, Breite und Länge der selbstfahrenden Elektroshuttles sowie der Wendekreisradius. Diese Parameter haben insbesondere in Kurvenfahrt einen großen Einfluss auf den Raumbedarf der Fahrzeuge. Im Straßenentwurf werden daher für jeden Fahrzeugtyp sogenannte Bemessungsfahrzeuge für die Dimensionierung angesetzt.<sup>111</sup> Jedoch ist für selbstfahrende Elektroshuttles noch kein

---

<sup>110</sup> vgl. HERTZBERG, LINGEMANN et al., 2012, S. 111.

<sup>111</sup> vgl. FGSV, 2001, S. 5 ff.

Bemessungsfahrzeug definiert worden, weshalb im Rahmen der Testroutenplanung ein Abgleich des Raumbedarfs der Fahrzeuge mit den verfügbaren Räumen in der vorhandenen Straßeninfrastruktur zwingend notwendig ist. Die Fahrzeugmodelle des evolutionären Entwicklungsansatzes, wie der im Forschungsprojekt TERMINAL eingesetzte Tesla Model X, sind dagegen aufgrund ihrer allgemeinen Straßenzulassung in allen Straßenräumen einsetzbar.

#### 4.2.4 Sensoren

In den aktuell auf dem Markt verfügbaren, selbstfahrenden Elektroshuttles werden hauptsächlich GPS- bzw. GNSS- (Global Navigation Satellite System) Sensoren, LIDAR- und RADAR-Sensoren, Hodometer und Kameras eingesetzt. Die Fahrzeuglokalisierung bzw. Orientierung erfolgt dabei über GPS, GNSS, LIDAR, RADAR und Hodometer. LIDAR, RADAR und Kameras werden zur Erkennung von Hindernissen und für den Abgleich der aktuell erfassten Situation mit dem in der Umgebungskarte aufgezeichneten Straßenumfeld eingesetzt.

Aufgrund der möglichen Abweichungen von bis zu zehn Metern bei der Positionsbestimmung mit Hilfe von GNSS- bzw. GPS-Sensoren, wird bei den Testfahrten mit selbstfahrenden Elektroshuttles meist ein sogenanntes Differential GPS (DGPS) eingesetzt.<sup>112</sup> Die zusätzlich in den selbstfahrenden Elektroshuttles zur Lokalisierung eingesetzte Hodometrie wurde bereits in Kapitel 4.2.2 erläutert.

LIDAR-Sensoren sind Laserscanner, die mit Hilfe von Laserstrahlen ihre Umgebung in einer Entfernung von bis zu 50 Metern, teilweise gar 150 Metern erfassen können, sofern Oberflächen vorhanden sind, die die Laserstrahlen reflektieren. Die Umgebung wird dann in Form einer dreidimensionalen Punktwolke mit korrekten Abständen dargestellt.<sup>113</sup> Zusätzlich zu den LIDAR-Sensoren ergänzen einige Fahrzeugmodelle Sensoren zur Radarmessung, die etwas weniger anfällig bei schlechtem Wetter und Nebel sind. Diese senden elektromagnetische Wellen aus und messen die reflektierte Energie. Hierbei sind Sensoren für den Nahbereich von 20 Zentimeter bis 30 Meter, für den mittleren Bereich von 30 Meter bis 80 Meter und für den Fernbereich von 80 Meter bis 200 Meter zu unterscheiden. Die Ergebnisse der Radarmessung sind jedoch stark von den Materialien in der Umgebung abhängig, so können die Sensoren unter Umständen beispielsweise durch Wände hindurchscannen.<sup>114</sup>

#### 4.2.5 Rechtsrahmen

Das Genfer Abkommen über den Kraftfahrzeugverkehr von 1949 sowie das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968, welches im Jahr 2014 überarbeitet wurde, stellen auf der internationalen Ebene die rechtliche Grundlage des Straßenverkehrs dar. Die Überführung in das

---

<sup>112</sup> vgl. FLÄMIG, 2015, S. 380; vgl. HERTZBERG, LINGEMANN et al., 2012, S. 33–36; vgl. MAINZER MOBILITÄT, o. J.

<sup>113</sup> vgl. HERTZBERG, LINGEMANN et al., 2012, S. 45–49; vgl. RITZ, 2018, S. 42 ff.

<sup>114</sup> vgl. HERTZBERG, LINGEMANN et al., 2012, S. 49 f.; vgl. RITZ, 2018, S. 44 f.

deutsches Recht erfolgt unter anderem durch das Straßenverkehrsgesetz (StVG)<sup>115</sup> und die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)<sup>116</sup>. Eine besondere Bedeutung für den Einsatz der selbstfahrenden Elektroshuttles während der Testbetriebe hatte jedoch die StVZO<sup>117</sup>, die diese Vereinbarungen ebenfalls in deutsches Recht überführt. Nach aktueller Rechtslage sind Kraftfahrzeuge der Automatisierungsstufe drei und vier auf deutschen Straßen fahrberechtigt, wenn die eingesetzten Automatisierungsfunktionen die Vorgaben des StVG erfüllen und das Fahrzeug dem Gesetz entsprechend zugelassen wurde.<sup>118</sup> Zum Zeitpunkt der Planung des Pilotbetriebs mit dem selbstfahrenden Elektroshuttle Olli 2.0, benötigte das Fahrzeug dafür eine Betriebserlaubnis nach der StVZO in der Fassung vom 20. Oktober 2017. Wie Olli 2.0 haben Fahrzeugmodelle des revolutionären Entwicklungsansatzes in der Regel keine Typengenehmigung, weshalb für den Einsatz auf einer öffentlichen Straße eine Betriebserlaubnis für ein Einzelfahrzeug erforderlich ist.<sup>119</sup> Um eine solche Erlaubnis zu erhalten, musste das Gutachten eines amtlich anerkannten Sachverständigen für den Kraftfahrzeugverkehr, im Projekt vom TÜV Rheinland, beantragt werden. In diesem Gutachten wurde überprüft, ob das eingesetzte Fahrzeug den Bau- und Betriebsvorschriften nach StVZO in der Fassung vom 20. Oktober 2017 entspricht oder nicht. Da selbstfahrende Elektroshuttles zum Zeitpunkt des Testbetriebs von den Vorschriften abwichen, war wiederum eine Ausnahmegenehmigung notwendig. Diese wird meist straßengebunden und nur für einen vorab definierten Einsatzzeitraum erteilt.<sup>120</sup>

Noch während des Forschungsprojektes, im Juli 2021, ist jedoch das Gesetz zum autonomen Fahren in Kraft getreten<sup>121</sup> und ermöglicht den selbstfahrenden Shuttles theoretisch einen vollautomatisierten Fahrbetrieb des vierten Levels nach der Definition der Automatisierungsstufen von BMVI, VDA oder SAE International. Damit ist der Einsatz der automatisierten Fahrzeuge noch immer nicht flächendeckend, aber immerhin in vorab definierten Betriebsbereichen zulässig.<sup>122</sup>

Mit dem Gesetz zum autonomen Fahren ist dementsprechend auch das StVG angepasst worden und beschreibt die Bedingungen für den angestrebten fahrerlosen Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles. Ein Einsatz ist demnach ausschließlich in festgelegten öffentlichen Straßenräumen und unter einer ständigen Überwachung durch eine technische Aufsicht zulässig. Entsprechend der Definition der vierten Stufe nach SAE, muss das Fahrzeug selbstständig in einen risikominimalen Zustand wechseln, sobald es System- oder Betriebsgrenzen erreicht. Dafür fährt das Fahrzeug an einer sicheren Stelle an

---

<sup>115</sup> vgl. *Straßenverkehrsgesetz (StVG)* in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003, BGBl. 2003 I, Nr. 10, S. 310 und BGBl. 2003 I, Nr. 26, S. 919, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes, vom 12. Juli 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 48, S. 3108 geändert worden ist.

<sup>116</sup> vgl. *Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)* in der Fassung vom 6. März 2013, BGBl. 2013 I, Nr. 12, S. 367, die zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes, vom 12. Juli 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 48, S. 3091 geändert worden ist.

<sup>117</sup> vgl. *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)* in der Fassung vom 26. April 2012, BGBl. 2012 I, Nr. 18, S. 679, die zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes, vom 12. Juli 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 48, S. 3091 geändert worden ist.

<sup>118</sup> vgl. § 1a Abs. 2 und § 1a Abs. 3 i.V.m. § 1 Abs. 1 StVG.

<sup>119</sup> vgl. § 19 StVZO i.d.F.v. 20. Oktober 2017.

<sup>120</sup> vgl. § 70 i.V.m. § 21 Abs. 5 StVZO i.d.F.v. 20. Oktober 2017.

<sup>121</sup> vgl. *Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes - Gesetz zum autonomen Fahren*, vom 12. Juli 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 48, S. 3108.

<sup>122</sup> vgl. § 1d i.V.m. § 1e StVG; vgl. BMVI, 2015, S. 5 f.; vgl. VDA, 2015, S. 14 f.; vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32.

den Seitenrand und geht dort in den Stillstand über. Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs, der vor Ausfällen und Angriffen geschützt ist, werden zudem ein dauerhafter Datenaustausch und eine ununterbrochene Kommunikation zum selbstfahrenden Elektroshuttle gefordert. Wie diese und weitere Betriebsvorgaben umgesetzt werden und ob dafür noch weitere, ggf. infrastrukturelle, Voraussetzungen geschaffen werden müssen oder wie die Verantwortung verteilt wird, war im Jahr 2021 noch nicht bekannt.<sup>123</sup>

Zusammenfassend liegen auf Grundlage dieser Gesetzesänderungen gute Voraussetzungen für optimierte Einsatzformen selbstfahrender Elektroshuttles im öffentlichen Straßenraum vor. Gleichzeitig werden von dem Gesetz jedoch hohe Anforderungen an die Fahrzeugmodelle und die Infrastruktur gestellt, die zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht erfüllt werden können. Das Gesetz könnte dennoch weitere Pilotprojekte und Testbetriebe vorantreiben und ermöglichen.

### 4.3 Systemgrenzen

Systemgrenzen beim Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles, die sich aus den Einflussfaktoren ergeben, können wie bereits eingangs beschrieben, in räumlich-technische, funktional-technische und rechtliche unterscheiden werden. Durch diese Systemgrenzen werden die Rahmenbedingungen definiert, die den Einsatz des jeweils betrachteten Automatisierungssystems zulassen bzw. einschränken. Letztlich geht es beispielsweise mit Betrachtung der selbstfahrenden Elektroshuttles darum, zu beschreiben, wo und in welcher Form eine virtuelle Schiene bzw. künftig ein virtueller Fahrkorridor geplant und befahren werden können. Vergleicht man diese Rahmenbedingungen mit denen für den Einsatz eines evolutionär entwickelten Fahrzeugs, wird deutlich, dass sich insbesondere die räumlich-technischen Systemgrenzen ausschließlich auf selbstfahrende Elektroshuttles beziehen.

#### 4.3.1 Räumlich-technische Systemgrenzen

Wie bereits betont muss für die Vorbereitung einer Testroute mit selbstfahrenden Elektroshuttles der im Einsatzbereich verfügbare Straßenraum mit dem spezifischen Raumbedarf des Fahrzeuges verglichen werden. Unter diesem spezifischen Raumbedarf wird das sogenannte Lichtraumprofil verstanden. Dieses ist als der „von festen Gegenständen freizuhaltender Raum, der sich aus dem Verkehrsraum sowie den seitlichen und oberen Sicherheitsräumen zusammensetzt“ definiert.<sup>124</sup> Während sich der Verkehrsraum aus der Fahrzeugbreite und der Fahrzeughöhe sowie einem freizuhaltenden Bewegungsspielraum ergibt, werden bei den Sicherheitsräume seitliche Abstände, Abstände zwischen zwei sich begegnenden oder aneinander vorbeifahrenden Verkehrsteilnehmenden und Abstände nach oben unterschieden. Die hier für die regulären Fahrzeuge anzusetzenden Breiten können den RAST

---

<sup>123</sup> vgl. § 1d i.V.m. § 1e StVG; vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32.

<sup>124</sup> FGSV, 2020, S. 78.

entnommen werden. Breiten für die Bewegungsspielräume und die Sicherheitsräume selbstfahrender Elektroshuttle sollten mindestens die erforderlichen Breiten für Pkw einhalten. Zusätzlich muss mit dem jeweiligen Produzenten des eingesetzten Fahrzeugs abgestimmt werden, welche Abstände seitlich und nach oben insgesamt eingehalten werden müssen, damit das Elektroshuttle im automatisierten Modus fahren kann, ohne dass ein vermeintliches Hindernis im Seitenraum, aufgrund eines zu schmalen Sicherheitsraums, zu einem Not-Halt führt. Bei dem im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle eingesetzten selbstfahrenden Elektroshuttle Olli 2.0 lag dieser seitliche Abstand bei 30 Zentimetern und nach oben bei 1,30 Meter, weshalb die Bewegungsspielräume für Pkw und die allgemeinen Vorgaben für Sicherheitsräume aus der RASt übernommen werden konnten. Dadurch ergab sich für das Fahrzeug im Einrichtungsverkehr ein gesamtes Lichtraumprofil mit einer Breite von 4,05 Meter und einer Höhe von 4,00 Metern. Entsprechend der RASt sind die Lichtraumprofile im Begegnungsverkehr abhängig von den jeweils im Straßenraum möglichen Begegnungsfällen zu definieren. Bei einer Begegnung mit einem Pkw wurde dementsprechend eine für den Straßenraum benötigte Breite von insgesamt 6,55 Meter und bei einer Begegnung mit einem Linienbus von 7,50 Meter berechnet. Diese Breiten sind vor dem Testbetrieb mit den verfügbaren Breiten der örtlichen Straßen abzugleichen.<sup>125</sup>

In Fällen, in denen die Mindestbreite aus diesen Lichtraumprofilen nicht eingehalten werden kann, kann ein Lichtraumprofil mit eingeschränktem Bewegungsspielraum angesetzt werden, sofern dadurch die Mindestabstände des eingesetzten Fahrzeugmodells nicht unterschritten werden. Bei dieser Berechnung darf, in Abhängigkeit von den zu berücksichtigenden Fahrzeugarten, der Bewegungsspielraum reduziert werden und der seitliche Sicherheitsraum zwischen den Fahrzeugen reduziert oder ggf. vernachlässigt werden. Entsprechend der RASt darf die maximal zulässige Geschwindigkeit im Straßenraum dann jedoch nur noch bei 40 km/h liegen.<sup>126</sup>

Zusätzlich muss überprüft werden, welche Flächen das selbstfahrende Elektroshuttle in der Kurvenfahrt benötigt. Dabei muss zwischen den jeweiligen Fahrzeugmodellen unterschieden werden. Einige Unternehmen setzen zusätzlich zur Vorderachs- eine Hinterachslenkung ein, wobei in Kurvenfahrt die hinteren Räder in entgegen gesetzter Richtung zu den Vorderrädern eingeschlagen sind. Stattdessen verfolgt beispielsweise das Fahrzeug Olli 2.0 den klassischen Ansatz mit einer Lenkung ausschließlich an der Vorderachse. Durch diesen klassischen Ansatz vergrößern sich jedoch der Wendkreisradius und die in Kurvenfahrt benötigte Fahrbahnfläche. Aufschluss können sogenannte Schleppkurven geben, die mit Hilfe einer definierten Fahrlinie bzw. Leitlinie, auf der die Vorderachse geführt wird, die benötigte Fläche je nach Kurvenradius definiert. Dabei entsteht eine charakteristische Sichelform, da die Hinterachse nachgezogen wird und sich zur Kurveninnenseite nachlaufend bewegt.<sup>127</sup>

Für klassische Fahrzeugmodelle kann eine Überprüfung mit Hilfe von CAD- (computer-aided design) Programmen individuell berechnet und überprüft werden.<sup>128</sup> Da in einem solchen Programm jedoch

---

<sup>125</sup> vgl. FGSV, 2009, S. 25–29.

<sup>126</sup> vgl. FGSV, 2009, S. 25.

<sup>127</sup> vgl. FGSV, 2001, S. 5 ff., 2020, S. 73.

<sup>128</sup> vgl. KUCZORA, 2015, S. 243–249.

keine Vorlage für ein selbstfahrendes Elektroshuttle vorhanden ist, wurden für die Planung der Testrouten im Projekt Hambach-Shuttle Schleppkurven nach der Methode von GUHLMANN (1959) zeichnerisch entwickelt.<sup>129</sup>

Zusammenfassend führen die räumlich-technischen Systemgrenzen momentan dazu, dass Fahrzeuge des revolutionären Entwicklungsansatzes nicht in allen Straßenräumen eingesetzt werden können und daher auch nur auf vorab definierten Testrouten betrieben werden dürfen. Auf Fahrzeuge des evolutionären Entwicklungsansatzes trifft dies nicht zu, da sie eine allgemeine Typengenehmigung haben.

#### 4.3.2 Funktional-technische Systemgrenzen

Wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben wurde, ist für die automatisierte Fahrweise mit selbstfahrenden Elektroshuttles eine uneingeschränkte Orientierung und Umfeldwahrnehmung durch die im Fahrzeug verbaute Sensorik zwingend notwendig. Es müssen jedoch verschiedenste Funktionseinschränkungen der Sensoren berücksichtigt werden, von denen einige bereits unter Kapitel 4.2.4 beschrieben wurden und nachfolgend nochmals aufgegriffen und durch weitere Einschränkungen ergänzt werden: Der mit GPS erhobene Standort kann ohne ein DGPS bis zu zehn Meter vom tatsächlichen Standort abweichen. Das GPS-Signal kann ebenfalls durch hohe Gebäudefassaden in engen Straßenräumen oder durch ein dichtes Blätterdach, beispielsweise in Wäldern, abgeschirmt werden. Die sowohl in Fahrzeugen des evolutionären als auch des revolutionären Entwicklungsansatzes eingesetzten Kameras erfordern eine ausreichend beleuchtete Umgebung. Das durch sie erhobene Bildmaterial kann durch starken Niederschlag oder Nebel beeinträchtigt werden. Als lichtbasierte Systeme können auch LIDAR-Sensoren davon betroffen sein oder durch übermäßig stark reflektierende Oberflächen in ihrer Funktion eingeschränkt werden. Andererseits ist ihr Einsatz in Bereichen mit fehlenden oder nur schwach reflektierenden Oberflächen im Seitenraum ebenfalls nicht zielführend. RADAR-Sensoren stellen nur eine Alternative dar, wenn Materialien im Seiten- und Straßenraum für die ausgesendeten elektromagnetischen Wellen nicht durchlässig sind, sondern diese reflektieren. Wie bereits beschrieben liefert ein Hodometer bei glatten Oberflächen ebenfalls keine zuverlässigen Daten.

Da die Schwächen eines Sensortyps durch die Stärken eines anderen ausgeglichen werden können, setzen die Herstellenden selbstfahrender Elektroshuttles und automatisierter Pkw jeweils mehrere Sensoren ein und überlagern die erhobenen Daten mit Hilfe einer Sensorfusion. Fallen jedoch mehrere Sensoren aufgrund dieser Einschränkungen aus, können die selbstfahrenden Elektroshuttles nicht im automatisierten Modus betrieben bzw. die Automatisierungsfunktionen in den Pkw nicht eingesetzt werden.

Neben den Sensoreigenschaften können sich darüber hinaus aus dem meist elektrischen Antrieb selbstfahrender Elektroshuttle Systemgrenzen ergeben. Im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle zeigte

---

<sup>129</sup> vgl. GUHLMANN, 1959; vgl. PECH, WARMUTH et al., 2009, S. 85–90.



der Testbetrieb auf der Waldroute zum Beispiel, dass die Leistungsfähigkeit der Akkus durch extreme Kälte stark beeinflusst wird und dies zu einer Unterbrechung des Betriebs führen kann.

#### 4.3.3 Rechtliche Systemgrenzen

Aufgrund der beschriebenen räumlich-technischen und funktional-technischen Systemgrenzen beinhaltet die Einzelgenehmigung selbstfahrender Elektroschuttles bzw. die Zulassung für Systeme zur Automatisierung der Pkw rechtliche Auflagen zur Anwendung. Bei selbstfahrenden Elektroschuttles wird die angesprochene Ausnahmegenehmigung nicht nur auf definierte Straßenabschnitte und Zeiträume beschränkt, sondern es wird auch eine maximale Geschwindigkeit im automatisierten Modus vorgegeben. Bei Betrachtung der in Deutschland zugelassenen Pilotbetriebe fällt auf, dass diese Geschwindigkeiten sehr niedrig sind. So wurden die auf Projekthomepages und in veröffentlichten Broschüren, Flyern und Fachartikeln angegebenen Geschwindigkeiten von 23 vergangenen oder aktuellen Pilotprojekten in Deutschland untersucht (Stand 2021). Daraus ergab sich im Durchschnitt eine maximale Geschwindigkeit von 16,1 km/h. Grundlage der Recherche bildete die bereits angesprochen Übersichtskarte des VDV.<sup>130</sup> Aufgrund der Sicherheitsaspekte lagen auch die im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle genehmigten Geschwindigkeiten auf den drei Testrouten sehr niedrig. Auf der Waldroute durfte abschnittsweise mit Geschwindigkeiten zwischen 10,8 und 14,4 km/h und auf der Altstadtroute zwischen 7,2 und 14,4 km/h gefahren werden. Dies wurde im Testbetrieb auf der Ringroute aufgrund der Mitnahme von Fahrgästen nochmals verschärft, weshalb die maximal zugelassenen Geschwindigkeiten hier auf 5,0 bis 8,0 km/h beschränkt wurden. Demnach können selbstfahrende Elektroschuttles mit den heutigen rechtlichen Auflagen lediglich in Straßenräumen mit einer niedrigen Höchstgeschwindigkeit, also beispielsweise in Tempo-30-Zonen oder Fußgängerzonen, eingesetzt werden, um kein Sicherheitsrisiko oder Gefahrenpotenzial für andere Verkehrsteilnehmende darzustellen. Auf den Testrouten mit dem Fahrzeug Olli 2.0 wurde auf einigen Straßenabschnitten die Geschwindigkeit während des Testzeitraums auch von 50 km/h auf 30 km/h reduziert.

Ein Grund für die niedrigen Geschwindigkeiten lag häufig auch in engen Straßenräumen mit vermehrtem Fußgänger- und Radverkehrsaufkommen und/oder Straßen mit viel ruhendem Verkehr, insbesondere, wenn sich markierte oder nicht markierte Parkflächen im Straßenraum befanden. So führen, wie bereits erwähnt, querende Fußgänger und Fußgängerinnen sowie Radfahrende, Parkvorgänge, Ein- und Ausfahrten und fehlende Sicherheitsabstände bei Überholmanövern zu Not-Halten. Dieser abrupte Stillstand der Fahrzeuge ist besonders für die Fahrgäste im Fahrzeug sehr unangenehm und führt unter Umständen zu einem Sturz, wenn keine Gurtpflicht im Fahrzeug herrscht, oder diese nicht eingehalten wird. Im schlimmsten Fall kann der nachfolgende Verkehrsteilnehmende nicht rechtzeitig bremsen und es kommt zu einem Auffahrunfall. Aus diesen Gründen werden in Streckengutachten auch programmierte Halte für die Einzelgenehmigung vorgegeben. Diese befinden sich beispielsweise vor

---

<sup>130</sup> vgl. VDV, o. J.a.

Knotenpunkten. Der Operator muss an solchen Stellen die automatisierte Weiterfahrt des Fahrzeugs freigeben, nachdem er geprüft hat, ob das Shuttle die vorausliegende Verkehrsfläche gefahrlos befahren kann.

Auch für Fahrzeugmodelle des evolutionären Entwicklungsansatzes bzw. für die in den Pkw verbauten Automatisierungssysteme gibt es rechtliche Auflagen zur Anwendung. So musste beispielsweise der Fahrzeugführende des Tesla Model X im Forschungsprojekt TERMINAL während der Nutzung des Autopiloten alle 15 Sekunden das Lenkrad berühren, damit das System wahrgenommen hat, dass es durch den Fahrer bzw. die Fahrerin dauerhaft überwacht wird und dieser jederzeit eingreifen und übersteuern könnte. Diese Handlungsweise erschwert den Einsatz als Demonstrator für das automatisierte Fahren jedoch, da die Automatisierung für Fahrgäste weniger offensichtlich ist. Aufgrund der oben angesprochenen Geschwindigkeitsbeschränkung für selbstfahrende Elektroshuttles sind solche Autopiloten aktuell aber die einzige Möglichkeit, um das Fahren im automatisierten Modus auf Hauptverkehrs- und Außerortsstraßen zu erproben.

#### 4.3.4 Entwicklungspotenziale der Systemgrenzen

Für die drei definierten Gruppen von Systemgrenzen können unterschiedliche Entwicklungspotenziale abgeleitet werden. Obwohl für räumlich-technische Systemgrenzen keine Veränderungen zu erwarten sind, da weder die Fahrzeugabmessungen ab- noch die Straßenraumbreiten zunehmen werden, werden sie zumindest zunehmend an Bedeutung verlieren. Denn es ist denkbar, dass sich Fahrzeuge künftig mit digitalen Kommunikationsmöglichkeiten wie V2X mit anderen Fahrzeugen und Personen im Straßenraum abstimmen und wie heutige, manuell gesteuerte Fahrzeuge auch bei beengten Verhältnissen ohne Not-Halte und mit höheren Geschwindigkeiten eingesetzt werden können. Grundlage dafür bildet auch der rapide technische Fortschritt, der die Relevanz funktional-technischer Systemgrenzen zunehmend obsolet werden lässt. Eine gewisse Entwicklungstendenz im Hinblick auf rechtliche Systemgrenzen ist mit dem im Juli 2021 verabschiedeten Gesetz zum autonomen Fahren bereits vorgegeben. Diese Gesetzgebung muss jedoch um geeignete Vorgaben zur Verantwortlichkeit und um dafür benötigte infrastrukturelle Voraussetzungen ergänzt werden. Zudem ist eine Umsetzung stark von der technischen Entwicklung der Fahrzeuge, also von den funktional-technischen Systemgrenzen, abhängig.

Demnach stellen die skizzierten Systemgrenzen zum Einsatz automatisierter Fahrzeuge die Verkehrs- und Straßenraumplanung sowie die Stadtentwicklung vor große Herausforderungen, um das Potenzial der Technologie abrufen zu können. Mit zunehmenden Erfahrungen und der Weiterentwicklung der Technologie sind all diese Herausforderungen jedoch zu bewältigen, wodurch die Systemgrenzen abgebaut werden können.

## 5 Entwicklungstendenzen individualisierter Mobilitätsdienstleistungen <sup>131</sup>

Allgemein können Personenbeförderungsangebote in die beiden Angebotstypen der Mitfahrssysteme sowie die Fahrzeugleihsysteme unterschieden werden. Während Kunden bei Fahrzeugleihsystemen das Fahrzeug selbst steuern, werden sie bei Mitfahrssystemen befördert, sind also Fahrgäste. Zu den Fahrzeugleihsystemen sind die heute bereits weit verbreiteten Carsharing-, Mietwagenverleih- und Bikesharing-Angebote zu zählen. Mitfahrssysteme, die innerhalb der nachfolgend beschriebenen Marktstudie analysiert wurden, sind Ridesharing-, Ridepooling-, Ridehailing-, Chauffeurdienst- und Taxi-Angebote, sofern sie über eine App oder einen Webdienst digital buchbar waren. Zusätzlich sind auch Mitfahrzentralen Teil der Mitfahrssysteme, wurden aber aufgrund der Ähnlichkeit zu Ridesharing-Angeboten in der Analyse nicht näher betrachtet.<sup>132</sup>

Da IM<sup>133</sup>, wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, auf den erweiterten Möglichkeiten der Digitalisierung und Prozessautomatisierung sowie der Sharing Economy aufbauen, ist eine zentrale Voraussetzung für sie die flächendeckende Verbreitung von Smartphones. Dadurch können Echtzeitinformationen zu Kunden und Fahrzeugen bereitgestellt werden, die wichtige Bestandteile der Angebote ermöglichen und das Angebot für die Nutzer und Nutzerinnen attraktiv machen. Nur mit diesen Daten sind beispielsweise flexible Abfahrtszeiten und eine flexible Routendefinition, eine automatisierte und dynamische Zuordnung von Mitfahrenden oder eine Anzeige der Echtzeitstandorten von Carsharing-Fahrzeugen in der App oder auf der Website möglich.<sup>134</sup> Daher erfolgt die Fahrten- bzw. Fahrzeugvermittlung meist über Mobilitätsplattformen im Internet, auf die mit Hilfe eines Webbrowsers oder einer App zugegriffen werden kann.

Innerhalb des Recherchezeitraums vom 13. Oktober bis zum 20. November 2018 gab es bereits mehrere Mobilitätsplattformen, bei denen die IM in das ÖPNV-Angebot integriert wurden bzw. kombiniert mit anderen Verkehrsmitteln nutzbar waren. Dies bekräftigt das bereits in Kapitel 1 erwähnte Potenzial zur Förderung von inter- und multimodalen Verhaltensweisen.<sup>135</sup> Damals wie heute geschieht eine solche Integration insbesondere bei Carsharing- und Bikesharing-Angeboten nicht nur digital, sondern auch in räumlicher Hinsicht. Dafür werden Carsharing- und Bikesharing-Stationen häufig an Haltestellen oder Bahnhöfen errichtet, um diese auf der ersten oder letzten Meile nutzen zu können.<sup>136</sup> Während Angebote für die erste Meile den Startpunkt eines Fahrgastes mit der Einstiegshaltestelle verbinden, wird durch ein Letzte-Meile-Angebot die Ausstiegshaltestelle mit dem Zielpunkt der Person verknüpft.<sup>137</sup>

---

<sup>131</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere Begriffsdefinitionen und die Beschreibung der aktuellen und potenziellen Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt, wurden bereits im Rahmen einer Marktstudie durch RENTSCHLER, MANZ in 2019 in ähnlicher Form veröffentlicht.

<sup>132</sup> vgl. REESAS, KINDL et al., 2017; vgl. VDV, o. J.b.

<sup>133</sup> Individualisierter Mobilitätsdienstleistungen (IM). (vgl. Kapitel 1)

<sup>134</sup> vgl. GIES, LINDLOFF, 2018; KRUMMHEUER, PULLIG et al., 2017; VDV, o. J.b.

<sup>135</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a; vgl. KRUMMHEUER, PULLIG et al., 2017; vgl. NEHRKE, 2018.

<sup>136</sup> vgl. REESAS, KINDL et al., 2017; VDV, o. J.b.

<sup>137</sup> vgl. IOKI, o.J.

Es sind neben der baulichen Verknüpfung jedoch auch weitere Integrationsmöglichkeiten zu nennen bzw. zu beobachten. Diese sind tariflich, beispielsweise durch vergünstigte IM-Angebote für Zeitkartenbesitzer des ÖPNV, oder vertrieblich und digital, wobei das IM-Angebot über dieselbe Mobilitätsplattform gebucht werden kann, wie das ÖPNV-Angebot. Zusätzlich gibt es Angebote, bei denen die Integration zeitlich und räumlich beschränkt ist. Bei solchen Angeboten wird das IM-Angebot nur in Randzeiten und -gebieten bereitgestellt, also als Ergänzung, sofern ein ÖPNV-Angebot nicht wirtschaftlich betreibbar ist. Zuletzt kann eine Verknüpfung auch kommunikativ durch eine gemeinsame Vermarktung des IM und des ÖPNV-Angebotes geschehen.<sup>138</sup>

Mit einer zunehmenden Verknüpfung der Angebote steigt das Potenzial für verkehrsmittelübergreifende Wegekettens bzw. inter- oder multimodale Verhaltensweisen, wobei IM die Busse und Bahnen des ÖPNV ergänzen.

Häufig werden IM in Verbindung mit den beiden Konzepten MoD und MaaS<sup>139</sup> genannt.<sup>140</sup> Unter MoD wird die individualisierte und bedarfsgerechte Bereitstellung von Mobilität von Personen, Gütern oder Dienstleistungen für die bestellende bzw. buchende Person verstanden. Die Individualisierung bzw. bedarfsgerechte Anpassung, unter dem Stichwort „on Demand“, geschieht beispielsweise über eine zeitlich oder räumlich individuell konfigurierte Bereitstellung.<sup>141</sup> Unter MaaS wird allgemein definiert, dass diese Angebote über eine einzige Mobilitätsplattform integriert und bedarfsgerecht kombiniert werden können. Sie sind, wie oben beschrieben, damit insbesondere vertrieblich integriert.<sup>142</sup>

Der mit der Bezeichnung als MoD entstehende Anspruch an ein Mobilitätsangebot, wird von analysierten Angebotstypen der IM durch eine Prozessautomatisierung in der Angebotsgestaltung erfüllt. Grundlage hierfür sind Algorithmen die eine zeitlich und räumlich flexible Routenplanung sowie flexible Ein- und Ausstiegspunkte ohne eine Leitzentrale ermöglichen. Der Betrieb der Angebote in einem Korridor oder in einer definierten Fläche ist somit deutlich effizienter und wirtschaftlicher. Die von Nutzenden gewünschten Abfahrtszeiten können simultan dazu von den Algorithmen optimiert, geordnet und automatisiert durch eine Festlegung der Bedienreihenfolge berücksichtigt werden. Dadurch sind die Angebote auf Abruf nutzbar und nicht an einen festen Fahrplan gebunden.<sup>143</sup>

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 beschrieben, wurden insgesamt 42 Angebote von 36 Unternehmen recherchiert, die mit diesen grundlegenden Definitionen und Rahmenbedingungen zu IM-Angeboten übereinstimmen (vgl. Tabelle 5-1). Obwohl es sich auch bei Bikesharing-Angeboten um IM handelt, wurden diese in der Marktstudie nicht berücksichtigt, da der Fokus auf Kraftfahrzeuge gelegt wurde. Zudem wurden, wie bereits erwähnt, ausschließlich Taxidienste berücksichtigt, die den angeführten Aspekt der Digitalisierung aufgreifen und per App oder Website buchbar sind. Aus diesem Grund wurden

---

<sup>138</sup> vgl. VDV, o. J.b.

<sup>139</sup> Mobility on Demand (MoD) bzw. Mobility as a Service (MaaS). (vgl. Kapitel 3.1.2)

<sup>140</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a; vgl. NEHRKE, 2018; vgl. REESAS, KINDL et al., 2017.

<sup>141</sup> vgl. SHAHEEN, COHEN et al., 2017, S. 1 f., 18.

<sup>142</sup> vgl. MAAS ALIANCE, o. J.

<sup>143</sup> vgl. LEHNERT, LIEBCHEN et al., 2018.

auch Mietwagenverleih-Angebote und Mitfahrzentralen nicht berücksichtigt, da auch sie meist nicht von der Digitalisierung und Prozessautomatisierung Gebrauch machen.

**Tabelle 5-1:** Recherchierte Angebote individualisierter Mobilitätsdienstleistungen <sup>144</sup>

Angebotstypen	Angebote auf dem deutschen Mobilitätsmarkt <sup>a</sup>
stationsbasiertes Carsharing mit betriebseigener Fahrzeugflotte <sup>b</sup>	book-n-drive, Stadtmobil, teilAuto, cambio, Flinkster
stationsunabhängiges Carsharing mit betriebseigener Fahrzeugflotte <sup>b</sup>	car2go, DriveNow, book-n-drive cityFlitzer, Stadtmobil JoeCar bzw. Stadtfliizer, teilAuto cityflitzer
Carsharing mit Fahrzeugen im Privatbesitz	Drivy, GETAWAY, SnappCar, Turo
Ridesharing	BlaBlaCar, flinc <sup>c</sup> , TwoGo, MatchRiderGO, Wunder Carpool <sup>d</sup> , Troodle
Mitfahrzentralen	MiFaZ, Drive2Day bzw. mitfahren.de, ride2Go.com <sup>e</sup> , BesserMitfahren.de, Pendlerportal
Ridepooling	MOIA, ioki, allygator shuttle, freYfahrt, myBUS, Wunder Shuttle <sup>d</sup> , BerIKönig, CleverShuttle, SSB Flex, flott <sup>c</sup>
Ridehailing bzw. digital buchbare Taxi- und Chauffeurdienste	Uber, mytaxi, Blacklane, Sixt mydriver bzw. Sixt limousine service, Taxi.de, taxi.eu

*Hinweise:*

<sup>a</sup> Es werden ausschließlich Angebote betrachtet, die während des Recherchezeitpunktes vom 13. Oktober bis zum 20. November 2018 verfügbar waren.

<sup>b</sup> Für das Carsharing mit betriebseigener Fahrzeugflotte wurden nur die fünf stationsbasierten und die fünf stationsunabhängigen Angebote mit der zum Recherchezeitpunkt größten Fahrzeugflotte in Deutschland nach Zahlen des Bundesverband CarSharing (bcs) recherchiert. <sup>145</sup>

<sup>c</sup> Zum Zeitpunkt der Durchführung der Marktstudie war bereits bekannt, dass die flinc- und flott-Lösung zum 1. Januar 2019 eingestellt wurden.

<sup>d</sup> Wunder Carpool und Wunder Shuttle wurden zum Recherchezeitpunkt in Deutschland nicht angeboten.

<sup>e</sup> Weitere Websites zur Nutzung einer mit ride2Go.com identischen Mitfahrzentrale, waren zum Zeitpunkt der Recherche Fahrgemeinschaft.de, ADAC-Mitfahrerclub.de oder Pendlernetz.de.

## 5.1 Klassifizierung recherchierter Angebotstypen

Die recherchierten IM sind entsprechend der einleitenden Definition in Fahrzeugleihsysteme, als auch Mitfahrssysteme zu unterscheiden. Die ermittelten Angebote dieser beiden Angebotstypen können wiederum in verschiedene Angebotsformen untergliedert werden. Diese werden nachfolgend klassifiziert.

<sup>144</sup> vgl. RENTSCHLER, MANZ, 2019, S. 316.

<sup>145</sup> vgl. BCS, o. J.

### 5.1.1 Fahrzeugleihsysteme

Im Hinblick auf Fahrzeugleihsysteme sind die in dieser Marktstudie recherchierten stationsbasierten und die stationsunabhängigen, auch Freefloating genannten, Carsharing-Angebote von den Peer-to-Peer-Carsharing-Angeboten zu unterscheiden. Während bei den ersten beiden Angeboten die Fahrzeugflotte im Besitz des Betreibenden ist, befinden sich die geteilten Fahrzeuge beim Peer-to-Peer Carsharing im Privatbesitz der angemeldeten Kunden.

Die Fahrzeuge des stationsbasierten Carsharings sind an eine feste Station im Geschäftsgebiet gebunden, von der sie abgeholt werden können und zu der sie nach der Buchung wieder zurückgebracht werden müssen. Einwegfahrten mit einer Abholung des Fahrzeugs an einer Station und einer Abgabe an einer anderen Station sind demnach nicht möglich.

Im Jahr 2018, zum Zeitpunkt der Recherche, waren in Deutschland insgesamt 535.000 Personen für stationsbasierte Carsharing-Angebote registriert.<sup>146</sup> Mit Beginn des Jahres 2021 hat sich diese Anzahl auf insgesamt 724.100 Personen erhöht.<sup>147</sup> Allerdings muss berücksichtigt werden, dass ein Teil der Nutzenden bei mehreren Angeboten registriert sein könnte und in der Statistik dementsprechend mehrfach gezählt wird. Zudem bieten einige der Betreibenden stationsbasierter Angebote zusätzlich auch das stationsunabhängige Angebot an. Nutzer und Nutzerinnen solcher kombinierten Angebote werden jedoch zu den stationsbasierten Angeboten gezählt.

Im Gegensatz zum stationsbasierten Carsharing, sind beim stationsunabhängigen Carsharing, bzw. beim Freefloating, die Fahrzeuge nicht an Stationen gebunden, sondern können überall im Geschäftsgebiet abgegeben werden.<sup>148</sup> Dadurch sind Einwegfahrten möglich. Kunden, können über die App den aktuellen Standort des nächstgelegenen Fahrzeugs ermitteln bzw. werden bei einer Buchung dorthin navigiert. Geöffnet werden die Fahrzeuge ebenfalls über die App.

Entsprechende Angebote wurden zum Recherchezeitpunkt meist in Großstädten angeboten und meist nicht in der gesamten Stadt, sondern nur in ausgewählten Stadtgebieten. Diese Geschäftsgebiete befanden sich meist in der Nähe des Stadtzentrums.

Zum Recherchezeitpunkt, also zum Jahr 2018, hatten sich insgesamt 1,7 Mio. Personen in Deutschland für ausschließlich stationsunabhängige Carsharing-Angebote registriert.<sup>149</sup> Auch im Jahr 2021 lag dieser Wert mit über 2,15 Mio. Personen deutlich höher als beim stationsbasierten Carsharing.<sup>150</sup>

---

<sup>146</sup> vgl. BCS, 2018.

<sup>147</sup> vgl. BCS, 2021.

<sup>148</sup> Gegen die Zahlung eine Zusatzgebühr ermöglichten zum Recherchezeitpunkt einige Angebote auch eine Fahrt zu besonderen Zielpunkten außerhalb des Geschäftsgebietes, beispielsweise zu Flughäfen.

<sup>149</sup> vgl. BCS, 2018.

<sup>150</sup> vgl. BCS, 2021.

Dienstleistende von Carsharing-Angeboten mit Fahrzeugen im Privatbesitz, also Peer-to-Peer-Carsharing bzw. kurz P2P-Carsharing, bieten lediglich die Mobilitätsplattform an, über welche Nutzende Fahrzeuge ver- bzw. ausleihen können. Die Nutzungsbedingungen ähneln der Angebotsform des stationsbasierten Carsharings mit betriebseigenen Fahrzeugen. So müssen die Fahrzeuge ebenfalls an einem, definierten Ort abgeholt bzw. abgegeben werden. Die Fahrzeugübergabe erfolgt dabei entweder persönlich oder mit Hilfe der Smartphone-App. Bei der zweiten Variante ist im Fahrzeug eine Hardware-Box verbaut, über die das Fahrzeug per App geortet, geöffnet und geschlossen werden kann. Während bei einer persönlichen Übergabe der Fahrzeugbesitzende für die Abholung und die Abgabe anwesend sein muss, sind bei der Smartphone-Abholung auch spontane Buchungen möglich. Dies ermöglicht eine flexiblere Nutzung auch auf kürzeren Wegen, während Angebote mit einer persönlichen Übergabe des Fahrzeugs vermutlich eher für längere Mietdauern, beispielsweise auf Urlaubsreisen, genutzt werden.

Zum Recherchezeitpunkt äußerten sich drei Unternehmen zur Anzahl der registrierten Personen. Aufbauend auf diesen Werten konnte die Anzahl der zum Recherchezeitpunkt insgesamt in Deutschland wohnhaften Nutzenden solcher Angebote auf ca. 500.000 Personen geschätzt werden. Wird dieselbe Entwicklung wie beim stationsbasierten Angebot angenommen, so könnte die Anzahl der in Deutschland registrierten Personen im Jahr 2021 bei ca. 680.000 Nutzern und Nutzerinnen liegen.

Da die im weiteren Verlauf dieser Dissertation maßgeblich betrachteten, künftigen, automatisierten Angebote eher aus den im nachfolgenden Kapitel 5.1.2 definierten Angebotskonzepten hervorgehen und nur bedingt ihren Ursprung in den Fahrzeugleihsystemen finden, wurden lediglich die Funktionsweisen und die Marktanteile, nicht aber die Angebotsparameter beschrieben.<sup>151</sup>

### 5.1.2 Mitfahrssysteme

Die recherchierten Angebote der Mitfahrssysteme können nach den drei Angebotsformen Ridesharing, Ridepooling und Ridehailing unterschieden werden.

Vergleichbar mit den schon länger auf dem deutschen Mobilitätsmarkt verfügbaren Mitfahrzentralen, werden durch die Ridesharing-Angebote über eine Mobilitätsplattform Fahrgemeinschaften gebildet. Bei Ridesharing-Unternehmen sucht jedoch ein Algorithmus automatisiert, entsprechend den Vorgaben der suchenden und der anbietenden Person, eine optimal passende Mitfahrgelegenheit. Zur Findung des optimalen Matches werden Abfahrtszeit, Fahrtrichtung und weitere Parameter berücksichtigt. Die Mobilitätsplattform, die zumeist auch über eine App abrufbar und nutzbar ist, geht demnach deutlich über das Konzept der Mitfahrzentralen zur Veröffentlichung und Suche von Fahrtenangeboten hinaus.

---

<sup>151</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der recherchierten Angebotsparameter von Fahrzeugleihsystemen sei u.a. auf die im Zusammenhang mit der Marktanalyse publizierte Veröffentlichung von RENTSCHLER, MANZ 2019 verwiesen.

Da die Fahrenden keinen Gewinn erwirtschaften, sondern lediglich einen Unkostenbeitrag zur Deckung der Kosten erhalten, sind Ridesharing-Angebote nach aktuellem PBefG nicht genehmigungspflichtig.<sup>152</sup> Für den Anbietenden der Mitfahrgelegenheit ist dieses Geschäftsmodell also nur sinnvoll, sofern er die Fahrt ohnehin durchführen würde. Eine Versicherung der Fahrt ist über die private Kfz-Haftpflichtversicherung des Fahrzeugbesitzers gewährleistet.<sup>153</sup>

Die innerhalb der Marktstudie recherchierten Angebote können in die Angebotskonzepte des flexiblen und des routenbasierten Ridesharings unterschieden werden. Während der Fahrer oder die Fahrerin im ersten Angebot die Route sowie die Ein- und Ausstiegspunkte der Mitfahrenden selbst bestimmt, meldet er bzw. sie beim routenbasierten Angebot eine vorab definierte Route als regelmäßiges Angebot über einen längeren Zeitraum auf der Plattform an. Dabei handelt es sich beispielsweise um den Arbeitsweg. Das betreibende Unternehmen der Ridesharing-Plattform legt die zu benutzenden Straßen und mögliche Ein- und Ausstiegspunkte auf dieser Route fest. Während die fahrzeugführende Person beim flexiblem Ridesharing lediglich bei einem erfolgreichen Match einen Unkostenbeitrag erhält, zahlt das Ridesharing-Unternehmen des routenbasierten Angebotes auch dann einen Unkostenbeitrag, wenn eine Mitfahrt eines anderen Nutzenden nicht zustande kommt. Dies soll ermöglichen, dass ausreichend Fahrer und Fahrerinnen auf zentralen Relationen für ein attraktives Angebot rekrutiert werden können. Der Unkostenbeitrag, den die Mitfahrenden bei allen recherchierten Angeboten zahlen müssen, lag zwischen drei und 15 Cent pro Kilometer. Die Betreibenden finanzierten die Mobilitätsplattform zum Zeitpunkt der Recherche entweder über eine Provisionsgebühr, die von den Mitfahrenden direkt an die Betreibenden gezahlt wurde, oder eine Nutzungspauschale. Die Provisionsgebühr lag je nach Angebot zwischen einem und zwei Dritteln des Kilometerpreises. Nutzungspauschalen wurden von den recherchierten Angeboten in Form von Nutzungspaketen eingezogen. Dabei erwerben die Nutzer und Nutzerinnen gegen eine Gebühr die Berechtigung zur Nutzung der Plattform innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Der Kilometerpreis fiel bei beiden Formen zusätzlich an und wurde vom jeweils betreibenden Unternehmen in vollständiger Höhe an den Fahrer oder die Fahrerin ausbezahlt.

Während des Recherchezeitpunktes war zu beobachten, dass neben dem Ridesharing-anbietenden Unternehmen BlaBlaCar weitere Unternehmen auf dem deutschen Markt verschwunden sind. Ein Beispiel stellt hier das Angebot flinc dar, das bereits zu Beginn des Jahres 2019 eingestellt wurde. Dementsprechend war BlaBlaCar mit ca. 5,5 Mio. registrierten Personen zum Recherchezeitpunkt das einzig wirklich wahrnehmbare Angebot. Daher wurde die Gesamtanzahl der in Deutschland im Jahr 2018 registrierten Ridesharing-Nutzenden auf 5,6 Mio. Personen geschätzt. Die Anzahl der Nutzer und Nutzerinnen in Deutschland konnte für das Jahr 2021 hingegen nicht abgeleitet werden.

Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass einige recherchierte Ridesharing-Angebote ausschließlich für bestimmte Personengruppen zur Verfügung standen. So wurden häufig unternehmensinterne Ridesharing-Angebote in der Marktstudie erhoben. Bei solchen Angeboten wurde ein Vertrag zwischen

---

<sup>152</sup> vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 1 PBefG.

<sup>153</sup> vgl. SOMMER, SCHÄFER et al., 2016, S. 29 f.



dem betreibenden Unternehmen der Mobilitätsplattform und dem jeweils bestellenden Unternehmen geschlossen, wonach über die Plattform lediglich Mitfahrgelegenheiten zwischen den Angestellten ermöglicht wurden.

Ridepooling-Angebote setzen Shuttlefahrzeuge in einem flächigen Geschäftsgebiet ein, wobei die Fahrtenwünsche der Fahrgäste in Echtzeit mit Hilfe eines hinterlegten Algorithmus koordiniert und gebündelt werden sollen. Die Bündelung bzw. das Pooling der Fahrtenwünsche setzt dabei voraus, dass sich mindestens Abschnitte der zu bündelnden Routen überlappen und die Fahrten in dieselbe Zielrichtung gehen. Start- und Zielpunkte bzw. Ein- und Ausstiegspunkte können sich dabei durchaus voneinander unterscheiden. Es handelt sich also erneut um ein nachfrageorientiertes Angebot, das Fahrgäste mit Hilfe der App buchen können. Meist ermöglicht die App auch eine Verfolgung des Shuttles auf der Anfahrt im Live-Tracker, inklusive einer Angabe der voraussichtlichen Ankunftszeit. Bei den meisten im Rahmen der Marktstudie recherchierten Angeboten war zur Nutzung zudem eine Registrierung notwendig, insbesondere, da die Fahrten über den Account einer registrierten Person bzw. mit Hilfe der App bezahlt werden.<sup>154</sup>

Zum Zeitpunkt der Marktstudie waren Ridepooling-Angebote im Ermessen zu genehmigen und konnten mit Hilfe der Experimentierklausel für maximal vier Jahre betrieben werden, sofern sie nicht mit den öffentlichen Verkehrsinteressen in Konkurrenz standen.<sup>155</sup> Eine Übersicht zu Experimentierklauseln, die für Mobilitätsangebote eingesetzt werden können, findet sich im Handbuch für Reallabore des BMWi<sup>156</sup>. Bei öffentlichen Verkehrsinteressen handelt es sich um einen unbestimmten Rechtsbegriff, der die Leistungs- und Funktionsfähigkeit örtlicher ÖPNV- und Taxiangebote sowie landesgesetzliche Vorgaben wie die Belange und Zielsetzungen des Klimaschutzes beschreibt. Diese dürfen durch die vorübergehende Genehmigung neuartiger Angebote nicht negativ beeinflusst und beeinträchtigt werden.<sup>157</sup>

Das am 16. April 2021 verabschiedete Gesetz zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts<sup>158</sup> novellierte jedoch das PBefG und es wurde unter den Gelegenheitsverkehren mit Kraftfahrzeugen die neue Angebotsform des gebündelten Bedarfsverkehrs definiert, die unter klar definierten und von den jeweiligen Kommunen festzulegenden Rahmenbedingungen auch eine dauerhafte Genehmigung neuer Ridepooling-Angebote ermöglicht. Neben anderen Bestimmungen dürfen die Angebote beispielsweise nicht in Konkurrenz zum Taxen- oder Mietwagenverkehr stehen, müssen eine definierte Bündelungsquote mindestens erreichen und der Fahrpreis sollte sich deutlich von dem im ÖPNV unterscheiden.<sup>159</sup>

---

<sup>154</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a; vgl. KOTH, MEHLER, 2018.

<sup>155</sup> vgl. § 2 Abs. 6 u. 7. i.V.m. § 46 PBefG i.d.F.v. 20. Juli 2017; vgl. DEUTSCH, 2018a.

<sup>156</sup> vgl. BMWi, 2019, S. 60–73.

<sup>157</sup> vgl. GIES, LINDLOFF, 2018; vgl. WERNER, KARL, 2018.

<sup>158</sup> vgl. *Gesetz zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts*, vom 16. April 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 19, S. 822.

<sup>159</sup> vgl. § 1 u. § 2 Abs. 1 Nr. 4 i.V.m. § 46 Abs. 2 Nr. 4, § 50 u. § 51a PBefG.

Auch bei den in der Marktstudie recherchierten Ridepooling-Angeboten können zwei verschiedene Angebotskonzepte unterschieden werden. Bei Tür-zu-Tür-Angeboten, auf Englisch auch Door-to-Door genannt, werden die Fahrgäste an deren aktuellem Standort abgeholt und direkt am Zielpunkt abgesetzt, sofern an diesen Stellen im Verkehrsraum jeweils ein Halten bzw. das Ein- und Aussteigen möglich ist. Das alternative Angebotskonzept hierzu stellen die Haltepunkt-zu-Haltepunkt-Angebote dar. Bei diesen ist ein Zustieg bzw. Ausstieg nur an vorab im Geschäftsgebiet definierten Punkten möglich. Dabei kann es sich, ähnlich dem ÖPNV, um bauliche Haltestellen, aber auch um virtuelle, in der App angezeigte Punkte im Straßenraum handeln. Im Vordergrund steht dabei, dass das Halten und das Ein- und Aussteigen sicher gewährleistet werden kann.

Da die öffentlichen Verkehrsinteressen gewahrt werden mussten und die Ridepooling-Angebote zum Recherchezeitpunkt ausschließlich über die Experimentierklausel genehmigungsfähig waren, wurden sie meist als Ergänzung zum ÖPNV in den städtischen Randgebieten und/oder zu Tageszeiten mit niedrigen Fahrgastzahlen im ÖPNV, beispielsweise in Nachtstunden, zugelassen. Zusätzlich dienten einige Angebote einer flexibilisierten Gestaltung des ÖPNV, ähnlich den schon länger im Verkehrssystem verfügbaren Rufbussystemen. Diese Angebote wurden meist durch die Aufgabenträger des Nahverkehrs oder auch in Kooperation mit diesen betrieben.

Die Verfügbarkeit bzw. die Verbreitung der recherchierten Angebote variierte dabei sehr stark. So waren einige Ridepooling-Angebote bereits in mehreren deutschen Städten verfügbar, beschränkten dort die Nutzbarkeit allerdings jeweils auf sehr kleine Geschäftsgebiete mit nur wenigen Fahrzeugen. Andere Anbietende waren hingegen nur in einer Stadt verfügbar, stellten den Nutzenden dort allerdings ein Angebot in einem größeren Geschäftsgebiet und einer deutlich umfangreicheren Fahrzeugflotte zur Verfügung. Das Ziel aller analysierten Angebote war es, mit dem Verhältnis aus Geschäftsgebietsgröße, definierten Haltepunkten bei Haltepunkt-zu-Haltepunkt-Angeboten und der Anzahl der Fahrzeuge eine so hohe Angebotsdichte zu erzeugen, dass die Nutzer und Nutzerinnen bei einer Bestellung maximal 200 Meter zum Einstiegspunkt gehen und maximal 20 Minuten auf das bestellte Fahrzeug warten mussten. Dieser Zielwert wurde zum Recherchezeitpunkt sehr häufig sogar unterschritten. So lang die mittlere Wartezeit beispielsweise beim Ridepooling-Angebot von ioki in Hamburg bei ca. drei Minuten und bei CleverShuttle über alle Standorte in Deutschland hinweg bei etwa acht Minuten. Es ist jedoch zu erwarten, dass ein Durchschnittswert über den gesamten Tag hinweg allein nicht aussagekräftig genug ist, da die Wartezeiten stark von der Anzahl der Fahrtenbuchungen und vom Verkehrsaufkommen auf den Straßen abhängig sein dürften. Es ist davon auszugehen, dass die Wartezeiten während der morgendlichen und abendlichen Spitze im Verkehrsaufkommen deutlich höher als während der Nachtstunden sind.

Die recherchierten Angebote berechneten den Fahrpreis entweder je Kilometer oder pauschal, wobei die Höhe in etwa zwischen dem örtlichen ÖPNV-Tarif und dem Preis für eine Taxifahrt lag. Angebote, die entweder durch einen ÖPNV-betreibenden angeboten wurden oder in Kooperation mit einem solchen

Unternehmen standen, nutzen meist das örtliche Tarifsysteem des ÖPNV und verlangten dabei meist eine zusätzliche Pauschale, die auf diesen Preis aufaddiert wurde.

Zum Recherchezeitpunkt konnte nur für die Angebote MOIA und ioki mit 30.000 bzw. 25.000 Personen eine Anzahl der registrierten Personen ermittelt werden. Das zu diesem Zeitpunkt mit sieben Städten am stärksten verbreitete Angebot CleverShuttle war ohne eine Registrierung nutzbar. Die durchschnittliche Nutzung dieser Angebote lag über alle sieben Standorte hinweg bei ca. 100.000 Fahrgästen pro Woche. Auf dieser Grundlage wurde die Gesamtzahl der Nutzenden in Deutschland auf ca. 200.000 Personen geschätzt. Wie stark die Angebote seither gewachsen sind, zeigt ein Blick auf Statistiken von MOIA. Demnach lag die Anzahl der registrierten Personen allein im Hamburger Geschäftsgebiet in 2022 bei ca. 870.000 Personen. Die Anzahl der registrierten Kunden im zweiten Geschäftsgebiet Hannover wird in der Studie nicht benannt.<sup>160</sup>

Beim Ridehailing handelt es sich ebenfalls um einen Fahrdienst, bei dem die Nutzer und Nutzerinnen eine Fahrt über eine Mobilitätsplattform buchen können. Dabei handelt es sich allerdings um taxiähnliche Angebote, bei denen verschiedene Fahrtenbuchungen nicht gebündelt werden.<sup>161</sup> Auch bei den in diesem Zusammenhang in der Marktstudie recherchierten Angeboten konnten die Nutzenden die Anfahrt des Fahrzeuges über eine App im Live-Tracker verfolgen. Die App diente zudem zur Buchung, Bezahlung und anschließenden Bewertung der Fahrt.

Die aus dem Ausland bekannten Ridehailing-Angebotskonzepte bieten meist Fahrten von Privatpersonen an, die über keinen Personenbeförderungsschein entsprechend der Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung, kurz: FeV) verfügen.<sup>162</sup> Zudem werden die Fahrten dieser Angebote meist ohne Betriebs- und Beförderungspflicht durchgeführt, weshalb auch kein Pflichtfahrgebiet definiert wurde.<sup>163</sup>

In Deutschland werden solche Fahrten aufgrund der abgerechneten und gewinnbringenden Gebühr zur Beförderung als taxiähnliche Dienstleistung angeboten und sind auch als solche genehmigungspflichtig. Dazu muss der Taxifahrende über einen Personenbeförderungsschein verfügen. Die Ausgestaltung und Abrechnung der Beförderungsentgelte werden von der jeweils zuständigen Genehmigungsbehörde für das definierte Pflichtfahrgebiet festgelegt.<sup>164</sup> Zusätzlich muss das Fahrzeug den Vorgaben der Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) entsprechen.<sup>165</sup>

---

<sup>160</sup> vgl. MOIA, 2022.

<sup>161</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a.

<sup>162</sup> vgl. § 48 *Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung) (FeV)* in der Fassung vom 13. Dezember 2010, BGBl. 2010 I, Nr. 65, S. 1980, die zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes, vom 12. Juli 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 48, S. 3091 geändert worden ist.

<sup>163</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a.

<sup>164</sup> vgl. § 1 u. § 2 Abs. 1 Nr. 4 i.V.m. § 46 Abs. 2 Nr. 1, § 47 u. § 51 PBefG.

<sup>165</sup> vgl. *Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft)* in der Fassung vom 21. Juni 1975, BGBl. 1975 I, Nr. 72, S. 1573, die zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes, vom 16. April 2021, BGBl. 2021 I, Nr. 19, S. 822 geändert worden ist.

In diesem Zusammenhang, insbesondere mit der geforderten Betriebs- und Beförderungspflicht innerhalb eines vorgeschriebenen Pflichtfahrgebietes, ist das im Ausland verbreitete Ridehailing-Angebot mit privaten Fahrzeugführenden unter Fahrtenvermittlung durch den Betreibenden der Vermittlungsplattform in Deutschland nicht zulässig. Daher haben sich zum Recherchezeitpunkt der Marktstudie in Deutschland mit dem Ridehailing-Prinzip vergleichbare Angebotskonzepte entwickelt. So wurde beispielsweise ein digital buchbarer Taxi- oder Chauffeurdienst mit Fahrzeug-Tracking durch lokale Taxiunternehmen oder lizenzierte Taxifahrer und Taxifahrerinnen in einer Kooperation mit bzw. mit Hilfe der Vermittlungsplattform der Ridehailing-Unternehmen betrieben. Zum Recherchezeitpunkt war jedoch bereits erkennbar, dass mehr und mehr Taxiunternehmen die digitale Buchung sowie das Fahrzeug-Tracking selbstständig und unabhängig von Ridehailing-Unternehmen bereitstellten. Ein sehr spezifisches Angebotskonzept, das ermittelt werden konnte, war ein Chauffeurdienst bei dem der Fahrer oder die Fahrerin beispielsweise, bei einer rechtzeitigen Buchung und Angabe einer Flugnummer, den Nutzer oder die Nutzerin direkt am Gate abholte oder dort absetzte.

## 5.2 Potenzielle Entwicklungen und Wirkungen der Angebotstypen

Im Hinblick auf die in den Kapiteln 1 und 4 thematisierte zunehmende Fahrzeugautomatisierung bieten sich auch für den ÖPNV und die IM auf lange Sicht neue Entwicklungschancen. Möglicherweise besteht durch den Verzicht auf Fahrpersonal beispielsweise die Chance eines kostengünstigeren Betriebs für die beschriebenen Ridepooling- oder Ridehailing-Angebote bzw. für Taxi- und Chauffeurdienste. Durch eine automatisierte Relokalisierung der Fahrzeuge werden aber auch stationsabhängige Carsharing-Angebote zunehmend zu stationsunabhängigen Angeboten, die dann wiederum wirtschaftlicher und kundenfreundlicher betrieben werden können.<sup>166</sup> Heutige subventionsbedürftige Angebote könnten durch die sinkenden Kosten eigenwirtschaftlich betrieben oder zu günstigeren Fahrpreisen angeboten werden. Unter Umständen wäre gar ein kommerzieller Betrieb möglich, wobei dies entsprechend dem PBefG den öffentlichen Verkehrsinteressen nicht widersprechen darf.<sup>167</sup>

Im Zusammenhang mit der Fahrzeugautomatisierung werden sich auch die in Kapitel 5.1 beschriebenen IM weiter entwickeln und voraussichtlich zu den beiden Angebotstypen Robotaxi und Roboshuttle verschmelzen. Eine Unterscheidung der Angebote nach Mitfahrssystemen und Fahrzeugleihsystemen ist dann demnach nicht mehr sinnvoll. Im Vordergrund steht dann, ob mehrere Fahrtenwünsche wie beim Roboshuttle durch das gebuchte Fahrzeug gebündelt werden oder ob die Fahrgäste wie beim Robotaxi individuell und ohne Bündelung bedient werden. Die beiden Angebotstypen stehen dann als sogenannte

---

<sup>166</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a.

<sup>167</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a; vgl. SINNER, BRAWAND et al., 2017.

AIM<sup>168</sup> in einem erweiterten ÖPNV-Markt als Ergänzung oder als Konkurrenz zu Bus und Bahn zur Verfügung.<sup>169</sup>

Beim Angebotstyp Robotaxi handelt es sich um eine Weiterentwicklung des in Deutschland heute nicht zulässigen Ridehailing bzw. der klassischen und der digitalisierten Taxi- und Chauffeurdienste. Eine per Webbrowser und App abrufbare Mobilitätsplattform wird auch hier das zentrale Medium zur Buchung und Bezahlung sowie zur Verfolgung des Fahrzeugs bei der Anfahrt sein. Analog dazu können Roboshuttles als eine Weiterentwicklung des Angebotstyps Ridepooling verstanden werden, wobei Fahrtenwünsche mit gleicher Zielrichtung und sich überschneidenden Wegeabschnitten gebündelt werden.

In beiden Angebotstypen ist, je nach Ausgestaltung der Angebotsparameter, der Ein- und Ausstieg überall im Geschäftsgebiet oder nur an vorgegebenen Haltepunkten möglich. Aufgrund der Pflicht zur Barrierefreiheit, ist trotz einer Fahrzeugautomatisierung eine Bereitstellung eines Servicepersonals, das für vorab definierte Personengruppen beim Ein- und Ausstieg zur Hilfe steht, denkbar. Eine solche vom betreibenden Unternehmen zur Verfügung gestellte Person kann auch gegen Zahlung eines Aufpreises aus Komfortgründen denkbar sein.

Aufgrund des Transports größerer Einkäufe oder Gepäckstücke oder im Zusammenhang mit komplexen Wegekettten kann neben den neuen AIM auch für Carsharing-Angebote zukünftig weiterhin eine gewisse Nachfrage vorhanden sein.

Zusammenfassend sind die in der Marktstudie recherchierten und klassifizierten IM in die beiden Angebotstypen der Mitfahrssysteme und Fahrzeugleihsysteme zu unterscheiden. Alle Angebotskonzepte machen sich die Digitalisierung und Prozessautomatisierung zu nutzen und ergänzen das heutige Mobilitätsangebot durch öffentlich zugängliche und individualisierte Angebote, die darauf ausgelegt sind, inter- und multimodale Verhaltensweisen zu erleichtern. Eine Verfügbarkeit solcher Angebote für die gesamte Bevölkerung, unabhängig vom Wohnort, könnte zu disruptiven Veränderungen im Nutzungsverhalten und im Verkehrssystem führen. Heute ist jedoch noch unklar, ob eine inter- und multimodale Verhaltensweise durch die Angebote tatsächlich gefördert wird, oder die modalen Anteile lediglich verschoben werden. Einen Hinweis darauf können die Ergebnisse aus Kapitel 8 geben. In jedem Fall ermöglicht eine Fahrzeugautomatisierung für alle recherchierten IM einen Betrieb ohne Fahrpersonal, weshalb davon auszugehen ist, dass die dadurch entstehenden Potenziale von den Unternehmen angestrebt werden. In diesem Zusammenhang ist eine Verschmelzung der bestehenden Angebotstypen zu Robotaxen und Roboshuttles möglich.

Die Bedeutung einer Fahrtenbündelung für die Wirkungen von IM zeigen DEUTSCH (2018b) und WERNER, KARL (2018) auf. So haben bereits zum Recherchezeitpunkt zahlreiche US-amerikanische Studien die Wirkungen von Ridehailing-Angeboten auf das Verkehrsaufkommen und das Nutzungsverhalten im

---

<sup>168</sup> Automatisierte individualisierte Mobilitätsdienstleistungen (AIM) (vgl. Kapitel 1)

<sup>169</sup> vgl. DANDL, BRACHER et al., 2017; vgl. DEUTSCH, 2018a.

Geschäftsgebiet untersucht. Beobachtbar war dabei insbesondere ein zunehmender Anteil der Pkw-Verkehrsleistung durch die Ridehailing-Angebote und den durch sie induzierten Verkehr. Dies führte zu einem Modal-Shift vom ÖPNV, Fuß- und Radverkehr hin zu den Ridehailing-Angeboten.<sup>170</sup> Eine solche Entwicklung ist insbesondere im Hinblick auf die politischen Ziele zum Klimaschutz und zur Stärkung des Umweltverbundes aus ÖPNV, Fuß- und Radverkehr zu vermeiden.

Welche Wirkungen in Europa und insbesondere in Deutschland zu beobachten sind, war zum Zeitpunkt der Marktstudie noch nicht absehbar. Heute gibt es erste Studien, die insbesondere für die beschriebenen Ridepooling-Angebote mit Hilfe von Befragungen und Simulationen die Wirkungen abschätzen. So gaben von über 3.500 Befragten Fahrgästen des Angebotes CleverShuttle in einer Studie von KNIE, RUHRORT et al. (2020) ca. 55 % an, dass sie anstelle des Ridepooling-Angebotes einen Bus oder eine Bahn genutzt hätten. Weitere 20 % äußerten, dass das Angebot eine Fahrt mit dem Taxi oder einer anderen IM ersetzt hätte. Der Anteil der Pkw-Wege, der ersetzt worden ist, liegt mit einem Anteil von knapp 10 % deutlich niedriger. Diese Studie bestätigt demnach auf den ersten Blick die modalen Verschiebungen, die auch in den USA zu beobachten waren.<sup>171</sup>

Die Studie von KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2022) ist hier ebenfalls zu nennen und zeigt, dass die von KNIE, RUHRORT et al. (2020) herausgearbeiteten Wirkungen nicht zwingend zutreffen müssen. Diese Studie untersucht mehrere zukünftige Entwicklungsszenarien des Ridepooling-Angebotes MOIA in der Stadt Hamburg unter Berücksichtigung einer Onlinebefragung von mehr als 12.000 Personen, von denen in etwa 1.000 Nicht-Nutzende und die übrigen Teilnehmenden Nutzende des Angebotes waren. Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Erhebung wurden neben dem Status-Quo vier zukünftig mögliche Szenarien simuliert, die unter anderem wichtige verkehrsinfrastrukturelle und -politische Maßnahmen in der Hansestadt, eine Vergrößerung des MOIA-Angebotes und auch die Effekte der Fahrzeugautomatisierung berücksichtigen. Insgesamt zeigen die Simulationsergebnisse, dass politische Steuerungsmaßnahmen im Verkehrssystem in Kombination mit Ridepooling-Angeboten zu einer Reduzierung des MIV-Anteils führen und in Einklang mit den aktuellen politischen Zielen gebracht werden können. Im extremsten Szenario erhöhen sich die Modal-Split-Anteile von MOIA und dem ÖV dabei um 2,8 bzw. 4,8 Prozentpunkte gegenüber dem Status-Quo, während der Pkw-Anteil um 7,8 Prozentpunkte reduziert wird. Die gesamte Verkehrsleistung wird in der Simulation dadurch um 15 Mio. Kilometer reduziert.<sup>172</sup>

Wie diese Studienergebnisse verdeutlichen, stellen politische Steuerungsmaßnahmen und die damit einhergehenden Genehmigungsvoraussetzungen des PBefG eine wichtige Grundlage für die Politik und die Verkehrsplanung dar. Die bereits angestoßene und zukünftig anzupassende Novellierung des PBefG aufgrund der veränderten Angebotsmöglichkeiten durch Robotaxi und Roboshuttle sollten sich möglichst nicht negativ auf die Wahrung öffentlicher Verkehrsinteressen und die klimapolitischen Ziele

---

<sup>170</sup> vgl. DEUTSCH, 2018b; vgl. WERNER, KARL, 2018.

<sup>171</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 11.

<sup>172</sup> vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2022, S. 7-12, 22 f.

auswirken. Die Vorgabe einer minimalen Bündelung von Fahrtenwünschen und die Integration der Angebote in den ÖPNV sollten von kommunalen Akteuren fokussiert und vorangetrieben werden. Ziel entsprechender Maßnahmen muss es sein, den potenziellen, zukünftigen Mehrverkehr einzudämmen und die Lebensbedingungen in den Städten und auf dem Land zu verbessern. Die neuen Angebotstypen können hierbei im Idealfall zu einer Qualitätssteigerung für den Nutzenden und zu einer erheblichen Entlastung öffentlicher Haushalte, die den ÖPNV finanzieren, führen.<sup>173</sup>

Wie die AIM-Angebote und das automatisierte Fahren aus der Sicht von heutigen Verkehrsunternehmen und -Verbänden in das ÖPNV-Angebot integriert werden können und wie die Angebotskonzepte aus Sicht der Nutzenden auszugestalten sind, wird den Kapiteln 6.2 bzw. 8 und 9 herausgearbeitet.

---

<sup>173</sup> vgl. DEUTSCH, 2018a; vgl. GIES, LINDLOFF, 2018.

## 6 Zukunftsszenarien des automatisierten Fahrens <sup>174</sup>

Wie bereits in Kapitel 3.1.3 beschrieben, werden nachfolgend auf Grundlage der im Forschungsprojekt SENSARE geführten Interviews mit Hilfe einer Leitbildanalyse verschiedene, mögliche Zukunftsszenarien des automatisierten Fahrens entwickelt. Dazu wurden Personen mit Expertise von Verkehrsverbänden und -unternehmen, Shuttleherstellenden und aus der Automobilindustrie befragt.

### 6.1 Leitbildanalyse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der ersten fünf Arbeitsschritte, die in Kapitel 3.1.3 beschrieben werden, vorgestellt, bevor in den Kapiteln 6.2 bis 6.4 die abgeleiteten Leitbilder und Zukunftsszenarien beschrieben werden. Kern dieses Kapitels ist es daher, das erarbeitete Kategoriensystem aus den identifizierten Leitbilddimensionen sowie die Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen Interviewtexten und Gruppen zu beschreiben.

Da das von der Forschungsgruppe Umweltbildung der Freien Universität Berlin entwickelte Verfahren zur Leitbildanalyse auf dem funktionsanalytischen Modell zum Leitbildbegriff aufbaut, wird zunächst dieses vorgestellt. <sup>175</sup>

#### 6.1.1 Funktionsanalytisches Modell zum Leitbild-Begriff

Aus den beiden Wortbestandteile „leiten“ und „Bild“ ergibt sich der Begriff „Leitbild“. Demzufolge ist es also ein „Bild das leitet“<sup>176</sup>. In ihrem funktionsanalytischen Modell ordnen MARZ, DIERKES (1992) dem Leitbild-Begriff daher die Leitfunktion und die Bildfunktion zu. Die Leitfunktion besteht aus den drei Teilfunktionen der kollektiven Projektion, der synchronen Voradaption und dem funktionalen Äquivalent. Die Bildfunktion setzt sich aus den drei Teilfunktionen des kognitiven Aktivators, des individuellen Mobilisators und des interpersonellen Stabilisators zusammen. Anhang A-1 beschreibt die verschiedenen Teilfunktionen grob. Für eine detaillierte Betrachtung wird auf entsprechende Literatur verwiesen.<sup>177</sup>

Die kollektive Projektion, bestehend aus Machbarkeits- und Wunschprojektionen, hat eine besondere Bedeutung für das Leitbild einer Person. Sie basiert auf den Intuitionen, den Erfahrungen und dem Wissen der betrachteten Person. Gedanklich entsteht ein Dreieck aus den Dingen, die die betrachtete Person zum aktuellen Zeitpunkt für machbar und wünschenswert erachtet, den Projektionslinien der zukünftig für machbar und wünschenswert erachteten Dinge und dem Fluchtpunkt, in dem sich diese Projektionen schneiden. Es muss dabei betont werden, dass ein Leitbild nicht „ein beliebiges Bild [ist],

---

<sup>174</sup> Teile dieses Kapitels beruhen auf der im Projekt SENSARE durchgeführten Leitbildanalyse und wurden in stark gekürzter Form auf den Seiten 81 bis 86 des Schlussberichts von KOLESCH, NEUMANN et al. in 2022 bereits in ähnlicher Form veröffentlicht.

<sup>175</sup> vgl. Kapitel 3.1.3 bzw. vgl. GIESEL, 2007, S. 116; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 210 f.

<sup>176</sup> MARZ, DIERKES, 1992, S. 5.

<sup>177</sup> vgl. MARZ, DIERKES, 1992, S. 5–8.



das sich irgendein Einzelner gerade macht und das ihn dann leitet, sondern gerade jene Dreiecks-Kongruenz<sup>178</sup>, die sich aus dem Vergleich und der Überlagerung der Dreiecke mehrerer Personen mit vergleichbaren Leitbild ergibt.<sup>179</sup>

Ziel der Leitbildanalyse ist es demnach, die Leitbilder zu ermitteln, die sich aus der Überlagerung ergeben. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in einer Sozietät, also beispielsweise in einer Gruppe von Personen mit ähnlichen Zielen und Interessen oder beruflichen Schwerpunkten, immer mehrere Leitbilder nebeneinander existieren und sich diese über die Zeit verändern können.<sup>180</sup>

### 6.1.2 Kategoriensystem

Das Kategoriensystem der Leitbildanalyse baut auf den Leitbilddimensionen des funktionsanalytischen Modells zum Leitbild-Begriff auf, weshalb es sich bei den Dimensionen erster Ordnung immer um deduktive Dimensionen handelt. Diese Dimensionen, die direkt aus der Literatur abgeleitet wurden, werden nachfolgend erläutert. Zudem wird die Gesamtzahl  $N$  der in den Interviewtexten codierten Segmente der jeweiligen Leitbilddimension angegeben. Da Wunsch- und Machbarkeitsprojektionen eine zentrale Bedeutung für die Auswertung haben, werden sie nicht in der Leitbilddimension der kollektiven Projektion zusammengefasst, sondern als eigenständige Dimensionen aufgeführt. (vgl. Tabelle 6-1)

Insgesamt 71 Leitbilddimensionen zweiter Ordnung konnten im Arbeitsschritt der Dimensionalisierung aufbauend auf den Dimensionen erster Ordnung im Interviewmaterial identifiziert und induktiv codiert werden. In Anhang A-2 bis Anhang A-9 sind diese Dimensionen inklusive einer kurzen Beschreibung und der Anzahl  $N$  der jeweils entdeckten Segmente, beigefügt.

Die identifizierten Leitbilddimensionen zweiter Ordnung wurden, wie bereits in Kapitel 3.1.3 erläutert, in thematische Gruppen eingeteilt, die nachfolgend vorgestellt und beschrieben werden.

---

<sup>178</sup> MARZ, DIERKES, 1992, S. 26.

<sup>179</sup> vgl. MARZ, DIERKES, 1992, S. 5, 25–28.

<sup>180</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 118.

**Tabelle 6-1:** Leitbilddimensionen erster Ordnung

Dimension	Bedeutung	N
Machbarkeitsprojektion	Für machbar erachtete Dinge innerhalb einer Sozietät.	169
Wunschprojektion	Für wünschenswert erachtete Dinge innerhalb einer Sozietät.	61
perspektivische Synchronisation	In einer Sozietät übereinstimmende Überzeugungen, aus denen sich die Problemstellung ergibt.	126
perspektivische Desynchronisation	Von den Personen einer Sozietät explizit ausgeschlossene Perspektiven, Positionen oder Einstellungen.	196
coenästhetische Resonanz	Die gesamte Persönlichkeit eines Mitglieds einer Sozietät wird durch das Leitbild erfasst. Dabei „kommen die Handlungsmotive und weitere Aspekte zur Sprache, die mit Emotionen und Affekten aufgeladen sind.“ <sup>181</sup>	135
sozietätsstiftende Imagination	Metaphern, Schlagworte und Symbole die gemeinsam in einer Sozietät genutzt werden.	116
semantische Sukzession	Nutzung einer bildhaften Sprache oder von Metaphern durch Personen einer Sozietät, um abstrakte oder sachliche Zusammenhänge zu erläutern.	33

*Anmerkung:* In Anlehnung an HAAN, KUCKARTZ et al. (2000) und GIESEL (2007).

Als Subdimensionen der kollektiven Projektion wurden am Interviewmaterial insgesamt 13 Machbarkeits- und neun Wunschprojektionen zweiter Ordnung ermittelt. Diese können in die Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens, die technische und zeitliche Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung und die Entwicklung des vernetzten Fahrens thematisch untergliedert werden.

Auch in den identifizierten Gruppen der perspektivischen Synchronisation sind ähnliche thematische Schwerpunkte zu finden. Die insgesamt zwölf Subdimensionen fokussieren ebenfalls technische Entwicklungen und Rahmenbedingungen, die für den Einsatz der daraus resultierenden automatisierten und vernetzten Fahrzeuge notwendig sind. Die Gruppen, die hier zu unterscheiden sind, sind interne sowie externe Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz, wichtige Technologieaspekte und Voraussetzungen für das vernetzte Fahren.

Entsprechend der Definition von HAAN, KUCKARTZ et al. (2000) werden unter den Dingen, die Zugehörige einer Sozietät explizit ausschließen, also den Dimensionen der perspektivischen Desynchronisation, nicht nur Einstellungen und Positionen verstanden, von denen man sich abgrenzt, sondern auch

<sup>181</sup> GIESEL, 2007, S. 119.

besondere Herausforderungen und Dinge, die den Entwicklungsprozess hemmen könnten.<sup>182</sup> In den transkribierten Interviewtexten wurden in diesem Zusammenhang insgesamt acht Abgrenzungen und 13 Herausforderungen und Hemmnisse identifiziert. Die entdeckten Leitbilddimensionen zur Abgrenzung können nach Abgrenzungen zu potenziellen Einsatzformen sowie Entwicklungsansätzen und ablehnenden Haltungen sowie Äußerungen unterschieden und thematisch gruppiert werden. Leitbilddimensionen zu Herausforderungen und Hemmnissen sind für die weitere Auswertung bedeutender und weisen thematische Gruppierungen auf, die identisch mit denen der perspektivischen Synchronisation sind.

Eine vergleichende Analyse der neun Subdimensionen der coenästhetischen Resonanz und der fünf Subdimensionen der sozietätsstiftenden Imagination mit den Subdimensionen der kollektiven Projektion ergibt eine geringe, thematische Überschneidung. Aus diesem Grund werden die hier identifizierten Gruppen nicht näher vorgestellt. Gleiches gilt für die zwei Subdimensionen der semantischen Sukzession. Für die identifizierten und in den Kapiteln 6.2 und 6.3 erläuterten Leitbilder sind sie dennoch wichtig, denn erst durch sie werden die Wunsch- und Machbarkeitsprojektionen zu einem Leitbild, das die Denkweisen und das Handeln heute und zukünftig beeinflusst.<sup>183</sup>

Eine Erläuterung der Leitbilddimensionen zweiter Ordnung, die Nennung der thematischen Gruppierung und die Gesamtzahl  $N$  der codierten Segmente findet sich in Anhang A-2 bis Anhang A-9.

### 6.1.3 Ähnlichkeitsanalyse

Die Ermittlung von Ähnlichkeiten zwischen den Interviews bzw. zwischen den identifizierten Leitbildern erfolgte im fünften Arbeitsschritt der Leitbildanalyse. Dazu wurden zweidimensionale Häufigkeitsmatrizen mit den codierten Dimensionen in den Interviewtexten erstellt und die Jaccard-Koeffizienten berechnet. Der Jaccard-Koeffizient ist ein Ähnlichkeitsmaß zwischen zwei asymmetrisch dichotomen Variablen.<sup>184</sup> Werden mehrere Variablen bzw. Merkmale der Objekte  $i$  und  $j$  miteinander verglichen, entsteht eine Vierfeldertabelle die zur Berechnung des Jaccard-Koeffizienten dient.<sup>185</sup> Dabei ist mit dem Wert  $a$  die Anzahl der in beiden Objekten vorhandenen Merkmale, mit dem Wert  $b+c$  die Anzahl der Merkmale, die nur in einem Objekt vorkommen, und mit dem Wert  $d$  die Anzahl der in beiden Objekten fehlenden Merkmale definiert.<sup>186</sup>

Wenn bei asymmetrischen Merkmalen der Wert  $d$  beobachtet wird, besteht jedoch nicht automatisch eine Ähnlichkeit zwischen den Objekten. Grund hierfür kann beispielsweise sein, dass es sich um ein Merkmal handelt, das insgesamt nur sehr selten zu beobachten bzw. ein Segment, das nur sehr selten

---

<sup>182</sup> vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 49 f.

<sup>183</sup> vgl. GIESEL, 2007, S. 121 f.; vgl. ALCÁNTARA, SONNBERGER, 2016, S. 4; vgl. HAAN, KUCKARTZ et al., 2000, S. 32; vgl. KUCKARTZ, 2010, S. 117 f.

<sup>184</sup> vgl. HANDL, KUHLENKASPER, 2017, S. 103–106.

<sup>185</sup> vgl. GOWER, LEGENDRE, 1986, S. 12 f., 22; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 53 f.; vgl. BACHER, PÖGE et al., 2010, S. 199; vgl. HANDL, KUHLENKASPER, 2017, S. 104.

<sup>186</sup> vgl. GOWER, LEGENDRE, 1986, S. 12 f., 22; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 53 f.; vgl. BACHER, PÖGE et al., 2010, S. 199; vgl. HANDL, KUHLENKASPER, 2017, S. 104.

zu codieren ist. Es ist also möglich, dass es mit der betrachteten Stichprobe einfach nicht erhoben wurde. Dies trifft insbesondere auf die analysierten Interviews im Rahmen dieser Dissertation zu, da mit acht Fachpersonen nur wenige Interviews geführt wurden.<sup>187</sup> Dieser Umstand wird beim Jaccard-Koeffizient  $S_{ij}^{JA}$  zweier Objekte  $i$  und  $j$  berücksichtigt, indem der Wert  $d$  bei der Berechnung nicht berücksichtigt wird<sup>188</sup> (vgl. Formel 6-1):

$$S_{ij}^{JA} = \frac{a}{a + b + c} \quad (6-1)$$

Der so berechnete Jaccard-Koeffizient nimmt ausschließlich Werte im Intervall  $0 \leq S_{ij}^{JA} \leq 1$  an, wobei eins eine perfekte Ähnlichkeit und null eine vollständig nicht vorhandene Ähnlichkeit aufweist.<sup>189</sup>

Jaccard-Koeffizienten, die sich für die Subdimensionen der kollektiven Projektion zu Einsatzgebieten und Einsatzformen des automatisierten und vernetzten Fahrens (vgl. Anhang A-2 und Anhang A-3) ergeben, sind in Anhang A-10 dargestellt. Die mittlere Ähnlichkeit unter Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden im Hinblick auf diese für machbar und wünschenswert gehaltenen Einsatzgebiete und Einsatzformen liegt bei 0,59. Fachpersonen aus der Automobilindustrie weisen einen mittleren Wert von 0,60 auf. Werden die entsprechend codierten Segmente aus beiden Branchen miteinander verglichen, ergibt sich hingegen lediglich eine mittlere Ähnlichkeit von 0,22. Daraus folgt, dass Fachpersonen aus der gleichen Branche überdurchschnittlich häufig ähnliche Einsatzgebiete und Einsatzformen für machbar oder wünschenswert halten, während zwischen den beiden Branchen deutliche Unterschiede zu finden sind. (vgl. Anhang A-10)

Um die Fragestellung zur Zuordnung der interviewten Person eines shuttleherstellenden Unternehmens entweder zur Sozietät der Angestellten von Verkehrsunternehmen und -verbänden oder zur Sozietät der Angestellten aus der Automobilindustrie beantworten zu können, werden die in diesem Interview codierten Segmente entsprechend verglichen. Der mittlere Jaccard-Koeffizient liegt bei einem Vergleich mit Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden mit 0,65 deutlich höher als bei einem Vergleich mit Personen aus der Automobilindustrie mit 0,21. Im Hinblick auf projizierte, also für machbar oder wünschenswert gehaltene Einsatzgebiete und -formen, kann die interviewte Person des shuttleherstellenden Unternehmens demnach eher den Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden zugeordnet werden. (vgl. Anhang A-10)

Werden die Transkripte im Hinblick auf die für machbar und wünschenswert gehaltenen Technologien des automatisierten und vernetzten Fahrens verglichen, ergeben sich ähnliche Werte. Für diese Auswertung wurden für die Berechnung der Jaccard-Koeffizienten die Subdimensionen aus den beiden

<sup>187</sup> vgl. HANDL, KUHLENKASPER, 2017, S. 103–106.

<sup>188</sup> vgl. GOWER, LEGENDRE, 1986, S. 13, 22 f.; vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 54 ff.; vgl. BACHER, PÖGE et al., 2010, S. 199 ff.; vgl. HANDL, KUHLENKASPER, 2017, S. 105 f.

<sup>189</sup> vgl. STEINHAUSEN, LANGER, 1977, S. 51; vgl. BACHER, PÖGE et al., 2010, S. 200.

Gruppen der technischen und zeitlichen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung und der Entwicklung des vernetzten Fahrens berücksichtigt. (vgl. Anhang A-2 und Anhang A-3)

Während der mittlere Ähnlichkeitskoeffizient unter den interviewten Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden bezüglich der künftigen Technologie des vernetzten und automatisierten Fahrens bei 0,44 liegt, liegt er unter den Fachpersonen aus der Automobilindustrie mit 0,77 deutlich höher. Demnach bestand unter den interviewten Personen aus der Automobilindustrie eine höhere Einigkeit im Hinblick auf für machbar und wünschenswert gehaltene technische und zeitliche Entwicklungen der Fahrzeugautomatisierung als bei den interviewten Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden. Ein Vergleich der codierten Segmente zwischen den beiden Branchen ergibt einen niedrigeren Jaccard-Koeffizienten von 0,38. (vgl. Anhang A-11)

Ein Vergleich der von der interviewten Person eines Shuttleherstellenden Unternehmens für machbar und wünschenswert gehaltenen technischen und zeitlichen Entwicklungen mit denen der Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden ergibt einen Jaccard-Koeffizienten von 0,52. Da er im Vergleich mit den Personen aus der Automobilindustrie bei 0,22 liegt, kann die befragte Fachperson auch im Hinblick auf diese Leitbilddimensionen eher der Sozietät der Verkehrsunternehmen bzw. -verbände zugeordnet werden. (vgl. Anhang A-11)

Im Zusammenhang mit diesen Ergebnissen muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass eine gewisse Ähnlichkeit zwischen den Projektionen der befragten Fachperson eines Shuttleherstellenden Unternehmens und den befragten Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden inhärent ist. Schließlich zeigt bereits die vom VDV veröffentlichte Übersicht über aktuelle und vergangene Pilotbetriebe mit selbstfahrenden Elektroshuttles, dass Verkehrsunternehmen und -verbände Shuttles einsetzen und erproben.<sup>190</sup> Dass die Fachpersonen aus beiden Branchen daher ähnliche Einsatzgebiete und Einsatzformen sowie vergleichbare Technologieentwicklungen für machbar und für wünschenswert halten, liegt auf der Hand.

Andererseits würden sich andere Jaccard-Koeffizienten ergeben, wenn die beiden Gruppen der technischen und zeitlichen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung sowie der Entwicklung des vernetzten Fahrens aus Anhang A-2 und Anhang A-3 getrennt betrachtet werden würden. Während sich Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden nicht oder nur sehr selten mit dem Thema des vernetzten Fahrens und Datenmanagements beschäftigen, scheint dies eines der bedeutendsten Themen für Personen aus der Automobilindustrie zu sein. Ein Grund hierfür ist, dass der Vernetzung in den Automatisierungsstufen beim evolutionären Entwicklungsansatz eine zentrale Rolle zugeordnet wird. Beispielsweise stellte der VDA (2015) klar, dass „sich die automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe der Vernetzung mittel- bis langfristig deutlich erweitern“<sup>191</sup> lassen. Werden ausschließlich die Dimensionen zur Entwicklung des vernetzten Fahrens aus Anhang A-2 und Anhang A-3 betrachtet, ergibt sich demnach unter den interviewten Fachpersonen aus der Automobilindustrie ein mittlerer Jaccard-

---

<sup>190</sup> vgl. VDV, o. J.a.

<sup>191</sup> VDA, 2015, S. 19.

Koeffizient von 1,00 und unter den interviewten Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden ein Wert von 0,11. Bei einer Berechnung der Ähnlichkeit mit den Projektionen der befragten Fachperson eines shuttleherstellenden Unternehmens, würde sich sowohl für die Personen von Verkehrsunternehmen und -verbänden als auch für die Personen aus der Automobilindustrie ein Wert von 0,33 ergeben. In diesem Fall wäre eine Zuordnung daher nicht eindeutig möglich.

Da die Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbände und die interviewte Fachperson des shuttleherstellenden Unternehmens jedoch ähnliche Einsatzgebiete und Einsatzformen sowie ähnliche technologische und zeitliche Entwicklungen des automatisierten Fahrens projizieren, werden sie zu einer Sozietät zusammengefasst. Diese wird nachfolgend als Sozietät „Shuttle“ bezeichnet. Die Personen aus der Automobilindustrie werden als Sozietät „Automobil“ bezeichnet. Protokollsätze, die während des vierten Arbeitsschritts der Leitbildanalyse differenziert nach diesen beiden Sozietäten formuliert wurden, werden in den Kapiteln 6.2 und 6.3 mit passenden Zitaten aus den Transkripten verknüpft und mit Hinweisen aus einer ergänzten Literaturanalyse belegt und weiter ausdifferenziert.

#### 6.1.4 Kategorienvergleich

Wie bereits in Kapitel 3.1.3 beschrieben, wurden die Protokollsätze ausschließlich auf Grundlage kollektiver Projektionen gebildet. Dadurch gehen die Informationen aus den codierten Segmenten anderer Leitbilddimensionen verloren. Insbesondere die Dimensionen der perspektivischen Synchronisation und der perspektivischen Desynchronisation spielen jedoch für die Bildung von Zukunftsszenarien des automatisierten Fahrens eine zentrale Rolle. Daher wurden in einer weiteren, vergleichenden Analyse auch die Zusammenhänge zwischen den Subdimensionen der Machbarkeits- und Wunschprojektion, der perspektivischen Synchronisation und der perspektivischen Desynchronisation erarbeitet. Es wurde wiederum nach den jeweiligen thematischen Gruppen differenziert.

Die Subdimensionen der perspektivischen Synchronisation und der perspektivischen Desynchronisation sind meist mit Machbarkeitsprojektionen verknüpft, vermutlich, da die Machbarkeitsprojektion ihren Ausgangspunkt im Status-Quo haben und stark von aktuellen Herausforderungen und Hemmnissen, aber auch von Überzeugungen geprägt sind. Insgesamt 15 Segmente beschreiben sowohl Dinge, die die Fachpersonen künftig für machbar halten als auch interne Rahmenbedingungen, die erfüllt sein müssen, damit das automatisierte Fahren erfolgreich eingesetzt werden kann. Externe, also durch die befragten Fachpersonen bzw. die Branche nicht beeinflussbare Rahmenbedingungen wurden in 30 Segmenten gemeinsam mit Machbarkeitsprojektionen identifiziert. Im Hinblick auf die benötigte technologische Entwicklung wurden in 23 Segmenten wichtige Technologieaspekte und in elf Segmenten Voraussetzung für das vernetzte Fahren gemeinsam mit Machbarkeitsprojektionen klassifiziert. Im Vergleich dazu wurden Dinge, die von den Fachpersonen als wünschenswert erachtet wurden, lediglich in zwölf Segmenten gemeinsam mit externen und in einem Segment gemeinsam mit internen Rahmenbedingungen codiert. Im Hinblick auf wichtige Technologieaspekte und die Voraussetzungen für

das vernetzte Fahren wurden 13 bzw. vier Zusammenhänge mit Wunschprojektionen entdeckt. (vgl. Anhang A-12)

Abgrenzungen, die ebenfalls Teil der perspektivischen Desynchronisation sind, wurden von den befragten Fachpersonen seltener im Zusammenhang mit Machbarkeits- oder Wunschprojektionen genannt. Es wurden 12 Segmente mit gemeinsamer Codierung mit Machbarkeitsprojektion und zwei Segmente mit einer Überschneidung zu Wunschprojektionen in der Leitbildanalyse identifiziert. (vgl. Anhang A-12)

Werden die Verknüpfungen in umgekehrter Richtung betrachtet, so besteht insbesondere im Hinblick auf die für machbar und wünschenswert erachteten Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens ein Zusammenhang mit Subdimensionen der perspektivischen Synchronisation und der perspektivischen Desynchronisation. Insgesamt wurde in 62 Segmenten eine Überschneidung der beiden Leitbilddimensionen mit Machbarkeits- und Wunschprojektionen entdeckt. Der Großteil davon ist mit 33 Segmenten der perspektivischen Synchronisation zuzuordnen. Die übrigen 29 Verknüpfungen treten mit Subdimensionen der perspektivischen Desynchronisation und mit 19 Segmenten größtenteils in Form von Herausforderungen und Hemmnissen auf. (vgl. Anhang A-12)

Im Gegensatz dazu wurden machbare oder wünschenswerte technische und zeitliche Entwicklungen der Fahrzeugautomatisierung mit 24 Segmenten eher gemeinsam mit Herausforderungen und Hemmnissen als mit Subdimensionen der perspektivischen Synchronisationen genannt. Letztere wurden in 19 Segmenten gemeinsam codiert. Dies gilt auch für die kollektiven Projektionen zur Entwicklung des vernetzten Fahrens, die in 13 Segmente gemeinsam mit Herausforderungen und Hemmnissen und in sechs Segmenten gemeinsam mit der perspektivischen Synchronisation codiert wurden. Codes zu Abgrenzungen wurden im Zusammenhang mit diesen beiden thematischen Gruppen insgesamt nur dreimal identifiziert. (vgl. Anhang A-12)

Werden die thematischen Gruppen der jeweiligen Leitbilddimensionen untereinander verglichen, so werden mit 23 gemeinsam codierten Segmenten von den meisten die für machbar und wünschenswert erachteten Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie die für einen erfolgreichen Einsatz erforderlichen externen Rahmenbedingungen beschrieben. Am zweithäufigsten wird mit 21 Segmenten die für machbar oder wünschenswert erachtete technische und zeitliche Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung mit wichtigen Technologieaspekten in Verbindung gebracht. Insgesamt 16 Segmente wurden wiederum mit Machbarkeits- und Wunschprojektionen zu den Einsatzformen und den Einsatzgebieten des automatisierten und vernetzten Fahrens und mit internen Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz codiert. Ebenfalls 16 Segmente beinhalten eine Überschneidung zwischen den technischen und zeitlich für machbar oder wünschenswert erachteten Entwicklungen zur Fahrzeugautomatisierung und externen Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz. Andere thematische Zusammenhänge mit weniger als 15 gemeinsam codierten Segmenten werden an dieser Stelle nicht detailliert beschrieben. (vgl. Anhang A-12)

Die oben beschriebenen und in Anhang A-12 dargestellten Zusammenhänge wurden bei der Auswahl und Interpretation von Zitaten für die Leitbildkonstruktion im sechsten Arbeitsschritt der Leitbildanalyse bzw. für die nachfolgenden Kapitel 6.2 und 6.3 berücksichtigt.

## 6.2 Identifiziertes Leitbild der Sozietät „Shuttle“

Das identifizierte Leitbild der befragten Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden sowie eines Unternehmens das selbstfahrender Elektroshuttles herstellt, strebt eine kurzfristige Integration von Shuttlemodellen des revolutionären Entwicklungsansatzes in das ÖPNV-Angebot an. Die analysierten Protokollsätze fokussieren dabei meist für machbar oder wünschenswert erachtete Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens. Sofern in diesem Zusammenhang bestimmte technische und zeitliche Entwicklungen der Fahrzeugautomatisierung als wichtige Voraussetzung oder als eine dafür zu überwindende Herausforderung angesehen werden, werden sie ebenfalls benannt. Technische Themen wurden in den Interviewtexten der Sozietät „Shuttle“ demnach eher in Form von Leitbilddimensionen der perspektivischen Synchronisation oder Desynchronisation codiert.

Nachfolgend werden die identifizierten Machbarkeits- und Wunschprojektionen zur Einsatzformen und zum Einsatzgebiete sowie die damit verknüpfte technische und zeitliche Umsetzbarkeit sowie wichtige oder entgegenstehende Parameter thematisiert. Abschließend werden allgemeine Voraussetzungen und Herausforderungen beschrieben, die innerhalb der Sozietät benannt wurden.

### 6.2.1 Pilotprojekte mit selbstfahrenden Elektroshuttles

Die Beteiligung von Verkehrsunternehmen und -verbänden in Pilotprojekten mit selbstfahrenden Elektroshuttles<sup>192</sup> macht sich in den Machbarkeitsprojektionen der Sozietät „Shuttle“ bemerkbar. Fast alle befragten Fachpersonen halten es für machbar, dass das automatisierte Fahren über solche Testfelder in das ÖPNV-Angebot integriert werden kann. Wie in den Kapiteln 4.2 und 4.3 beschrieben, müssen die Fahrzeuge jedoch mit Hilfe von Experimentierklauseln bzw. mit Ausnahme- und Einzelgenehmigungen zugelassen werden. Ziel der Testrouten ist das Sammeln von Erfahrungen im Fahrzeugbetrieb mit selbstfahrenden Elektroshuttles. (vgl. Anhang B-1)

Aus Sicht der Zugehörigen der Sozietät „Shuttle“, wäre es wünschenswert, wenn die Erfahrungen aus den Testfeldern auch von den Entwicklern der Fahrzeugmodelle insbesondere zur Weiterentwicklung des Algorithmus genutzt werden können (vgl. Anhang B-2). Dabei wäre ein selbstlernendes und intelligentes Fahrzeug aus Sicht dieses Leitbildes wünschenswert. Zukünftige Elektroshuttles sollten das Verhalten anderer Fahrzeuge und Personen antizipieren und selbstständig sich ändernde Rahmenbedingungen in der eigenen Handlungsweise berücksichtigen können. Entsprechend den

---

<sup>192</sup> vgl. VDV, o. J.a.



Aussagen der Fachpersonen der Sozietät „Shuttle“ wäre es eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen und den flächendeckenden Einsatz, wenn diese Entwicklung zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr führen würde. Damit ist das Leitbild deckungsgleich mit den 20 Regeln, die eine vom BMVI einberufene Ethik-Kommission im Jahr 2017 für Fahrzeugherstellende und politische Entscheidungstragende definierte.<sup>193</sup> Im Zusammenhang mit dieser Anforderung entstehen jedoch auch Herausforderungen, die zunächst überwunden werden müssen. (vgl. Anhang B-3)

Das identifizierte und hier beschriebene Leitbild verfolgt zudem das Ziel, Ängste bei der Nutzung eines selbstfahrenden Elektroshuttles zu nehmen und abzubauen. Dafür soll mit den Testfahrten die Akzeptanz des automatisierten Fahrens unter den Fahrgästen erhoben werden. Diese Voraussetzung wird jedoch zugleich als Herausforderung, also als perspektivische Desynchronisation angesehen, denn die Personen der Sozietät „Shuttle“ gehen davon aus, dass der Prozess zur Schaffung der Akzeptanz sehr langwierig ist und stufenweise durch die Testbetriebe erhöht werden muss. Der Prozess zur Integration selbstfahrender Fahrzeugmodelle in das ÖPNV-Angebot wird dadurch zu einem evolutionären Prozess. (vgl. Anhang B-4)

Problematisch aus Sicht der befragten Fachpersonen der Sozietät „Shuttle“ ist, dass die Ergebnisse aktueller Akzeptanzstudien aus deren Sicht nicht zwingend repräsentativ sind, da die selbstfahrenden Elektroshuttles in den Testbetrieben mit Operators fahren (vgl. Kapitel 4). Die Operators dienen jedoch nicht nur zur Erhöhung der Sicherheit, sondern stehen den Fahrgästen auch als Auskunftsperson zur Verfügung. Die Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttle ohne eine solche Kontrollperson, bleibt daher offen. Ohne einen Operator wären die Fahrgäste jedoch dazu gezwungen, der Automatisierungsfunktion vollständig zu vertrauen. (vgl. Anhang B-5)

Neben der Anwesenheit des Operators könnten die niedrigen Geschwindigkeiten (vgl. Kapitel 4.3) aus Sicht der Personen dieses Leitbildes ebenfalls die erhobenen Akzeptanzwerte verfälschen, da dies für den künftigen Regelbetrieb nicht repräsentativ ist. Eine sinnvolle Nutzung wäre aus Sicht der Sozietät „Shuttle“ bei gleichbleibendem Geschwindigkeitsniveau nur für ältere oder mobilitätseingeschränkte Personen möglich. (vgl. Anhang B-6)

Eine weitere Herausforderung in der Planung und Durchführung von Pilotbetrieben sehen die Personen mit diesem Leitbild im aktuellen technischen Stand selbstfahrender Elektroshuttles. Entsprechend den Ergebnissen aus Kapitel 4.3 unterliegt der Fahrbetrieb mehreren Systemgrenzen, die sich in den Aussagen der Fachpersonen aus der Sozietät „Shuttle“ in Form von perspektivischer Desynchronisation widerspiegeln. Zusätzlich schildern die befragten Personen in diesem Zusammenhang immer wiederkehrende System- oder Hardwareausfälle, die auch während der Testfahrten mit Olli 2.0 im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle aufgetreten sind. Diese unterbrechen den Testbetrieb und werden

---

<sup>193</sup> vgl. BMVI, 2017b, S. 10–13.

als Hemmnis für die technische Weiterentwicklung wahrgenommen. Der damit assoziierte Begriff „Kinderkrankheiten“, verdeutlicht die Wahrnehmung der aktuellen, selbstfahrenden Elektroshuttles als Prototypen. (vgl. Anhang B-7)

Da der Operator aus Sicht der Personen mit diesem Leitbild nicht nur aus rechtlichen und psychologischen Gründen, sondern häufig auch aufgrund von Hindernissen im Straßenraum benötigt wird, stellt sich für sie die Frage, ob und wann ein fahrerloser Betrieb erreicht werden kann (vgl. Anhang B-8). Der fahrerlose Betrieb ist aus Sicht der Fachpersonen aus der Sozietät „Shuttle“ jedoch nicht nur wünschenswert, sondern gleichzeitig auch eine Herausforderung und eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz. Die hohen Anschaffungskosten sind aus Sicht der Personen, die dieses Leitbild verfolgen, nur mit einem fahrerlosen Betrieb und einem damit einhergehenden wirtschaftlichen Betrieb im ÖPNV zu rechtfertigen. (vgl. Anhang B-9)

Aufgrund der bereits in Kapitel 4.3 beschriebenen technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und der Fahrt auf einer virtuellen Schiene unter dauerhafter Überwachung des Operators, werden die aktuell auf dem Markt verfügbaren Shuttlemodelle von den Fachpersonen der Sozietät „Shuttle“ zwischen der zweiten und dritten Automatisierungsstufe eingeordnet. Durch die angesprochene Novellierung des PBefG, wird aber ein Einsatz von Fahrzeugmodellen der Automatisierungsstufe vier in naher Zukunft für machbar gehalten. Der Einsatz ist dann in vorab definierten Betriebsbereichen zulässig.<sup>194</sup> Das neu verabschiedete Gesetz und die damit ermöglichten Einsatzformen werden von Personen mit diesem Leitbild für wichtig und zielführend gehalten, da die Fahrzeuge ohnehin nicht überall, sondern ausschließlich in vorab definierten Anwendungsfällen und -bereichen eingesetzt werden sollten. (vgl. Anhang B-10)

## 6.2.2 Weiterentwicklung der Testfeld-Anwendungen

Entsprechend dem durch das Gesetz zum autonomen Fahren novellierten StVG, sind der Einsatz und der Betrieb selbstfahrender Elektroshuttles ohne Operator in festgelegten öffentlichen Straßenräumen unter einer ständigen Überwachung durch eine technische Aufsicht zulässig. Dafür sind jedoch bestimmte, im Gesetz festgeschriebene Vorgaben einzuhalten. Dies betrifft insbesondere die Verhaltensweise des Fahrzeugs und eine ausfallsichere Verbindung zwischen technischer Aufsicht und Fahrzeug (vgl. Kapitel 4.2). Wie und in welcher Verantwortung diese umgesetzt werden und welche infrastrukturellen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, war zum Zeitpunkt der Interviews mit Fachpersonen noch nicht bekannt. Ein Einsatz mit einer Betriebsaufsicht ist aus Sicht der Sozietät „Shuttle“ dennoch denkbar und sinnvoll. (vgl. Anhang B-11)

Da auch die Vorgaben des StVG an das selbstfahrende Elektroshuttle deckungsgleich mit den Aspekten sind, die die Personen mit diesem Leitbild als wichtige Voraussetzung und für wünschenswert ansehen

---

<sup>194</sup> vgl. § 1d i.V.m. § 1e StVG; vgl. BMVI, 2015, S. 5 f.; vgl. VDA, 2015, S. 14 f.; vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32.

(vgl. Kapitel 4.2), bietet das neue Gesetz verbesserte rechtliche Rahmenbedingungen zur Erprobung neuer Funktionen und vor allem neuer Einsatzformen des automatisierten Fahrens. Auch wenn die aktuell auf dem Markt verfügbaren selbstfahrenden Elektroshuttles die an sie gestellten Anforderungen noch nicht erfüllen können, wird das Gesetz in der Sozietät als Treiber für neue Angebotskonzepte gesehen. Die Sozietät „Shuttle“ erwartet, dass bereits im Jahr 2025 ein in Deutschland flächendeckendes Testbetrieb-Angebot verfügbar und eine Integration der Angebotskonzepte in den ÖPNV für 2030 machbar sind. (vgl. Anhang B-12)

### 6.2.3 Erste und letzte Meile sowie Konversionsflächen im städtischen Raum

Primär machbare Anwendungsfälle werden entsprechend des identifizierten Leitbilds zunächst in der Erschließung bisher nicht durch den ÖPNV versorgter Bereiche im städtischen Raum vermutet. Fokussiert werden dabei Angebote, die beispielsweise ein Wohn-, Gewerbe- oder Industriegebiet mit einer Haltestelle des bestehenden ÖV-Angebotes aus Bus und Bahn in Form eines erste- bzw. letzte-Meile-Angebotes verbinden. Zusätzlich wird der Einsatz auf noch nicht erschlossenen Entwicklungs- und Konversionsflächen angestrebt. (vgl. Anhang B-13)

Auch für die Integration solcher Angebote in den heutigen ÖPNV wird aus Sicht der befragten Personen der Sozietät „Shuttle“ ein langfristiger Zeitraum bzw. ein stufenweiser Prozess erwartet. Entsprechend des identifizierten Leitbilds wird für 2030 ein Einsatz in mehreren Gebieten einer Stadt für machbar und ein Betrieb in allen noch nicht erschlossenen Gebieten im Jahr 2050 für wünschenswert erachtet (vgl. Anhang B-14)

### 6.2.4 Erste und letzte Meile sowie einzelne Linien im ländlichen Raum

Auch wenn die Sozietät „Shuttle“ einen kurzfristigen Einsatz zunächst im städtischen Raum für machbar hält, sind bereits erste Pilotprojekte im ländlichen Raum beobachtbar. Einige in der Innovationslandkarte des VDV aufgeführte Testrouten sind beispielsweise in Gemeinden mit dem Regionstyp ländliche Region, nach der regionalstatistischen Raumtypologie (RegioStaR), verortet.<sup>195</sup> Das prominenteste Beispiel ist der im Oktober 2017 in Bad Birnbach eingeführte Regelbetrieb.<sup>196</sup> Langfristig halten die befragten Personen von Verkehrsverbänden und -unternehmen daher auch Angebote mit selbstfahrenden Elektroshuttles in ländlichen Räumen für machbar. Ähnlich dem Einsatz im städtischen Raum, werden die Testrouten nach Meinung der Personen aus der Sozietät „Shuttle“ auch im ländlichen Raum über Straßen mit niedriger Höchstgeschwindigkeit verlaufen und ein erste- und letzte-Meile-Angebot zur Anbindung an den ÖV sein. In Einzelfällen erscheint den befragten Personen auch ein Linienbetrieb auf heute unwirtschaftlichen Relationen im ländlichen Raum für machbar. (vgl. Anhang B-15)

---

<sup>195</sup> vgl. VDV, o. J.a; vgl. BMVI, 2020.

<sup>196</sup> vgl. WINTERSBERGER, FRISON et al., 2020, S. 101.

Häufig wird in diesem Zusammenhang betont, dass der Einsatz im ländlichen Raum mit erheblichen Herausforderungen und Hemmnissen verbunden ist. Die Wunschprojektion zum Einsatz im ländlichen Raum wird dabei meist mit dem Hemmnis der momentan niedrigen Maximalgeschwindigkeiten der selbstfahrenden Elektroshuttles verknüpft (vgl. Kapitel 4.3). Insbesondere im Zusammenhang mit Haupt-, Landes- und Bundesstraßen, die in dünn besiedelten Räumen auf weiten Strecken befahren werden müssen, wird ein Einsatz aktuell nicht für machbar erachtet. Hinzu kommt, dass das Angebot vor Ort subventioniert werden muss, da aufgrund der geringen Siedlungsdichte, mit Ausnahme des Schülerverkehrs, nur wenige Fahrgäste das Busangebot nutzen.<sup>197</sup> Ein Einsatz der selbstfahrenden Elektroshuttles wird aus Sicht der Sozietät „Shuttle“ dadurch weiter erschwert, da die Anschaffungs- und Betriebskosten momentan noch sehr hoch sind. Zukünftig, unter Berücksichtigung des novellierten StVG, könnten zwar einerseits die Kosten sinken, aber andererseits wird eine lückenlose Funkverbindung zum Fahrzeug gefordert, die ebenfalls als Herausforderung wahrgenommen wird. Ein Einsatz im ländlichen Raum wird zusammenfassend nur sehr langfristig für machbar gehalten. Dennoch wird ein dortiger Betrieb mit selbstfahrenden Elektroshuttles, insbesondere im On-Demand-Betrieb, für wünschenswert erachtet (vgl. Kapitel 5). Als wichtige Voraussetzung, werden die Weiterentwicklung der technischen Funktionen, die Erhöhung der Geschwindigkeiten und die Steigerung der Wirtschaftlichkeit benannt. (vgl. Anhang B-16)

Zusätzlich besteht aufgrund des Prinzips der Daseinsvorsorge aus Sicht der Sozietät „Shuttle“ ein besonderer Bedarf zum Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles im ländlichen Raum. Der Staat muss für alle Bürger, unabhängig vom Wohnstandort, eine Grundversorgung an Mobilität gewährleisten, so dass beispielsweise jede Person dem Berufszweck nachgehen kann, auch wenn sie keinen Führerschein besitzt und ihr kein Pkw zur Verfügung steht. Dieses Angebot muss gewährleistet werden, auch wenn es nicht wirtschaftlich umsetzbar ist.<sup>198</sup> In diesem Zusammenhang sehen die befragten Fachpersonen, denen dieses Leitbild zugeordnet werden kann, eine besondere Chance im automatisierten Fahren, sofern die Shuttles zukünftig ohne Operator betrieben werden und die Personalkosten reduziert werden können. Die Wichtigkeit zur Reduktion von Personalkosten verdeutlicht eine Statistik des VDV, welcher zufolge die Personalkosten fast 40 % der Gesamtkosten des deutschen Busverkehrs (Stand 2007/2008) ausmachen.<sup>199</sup> Daher wird eine Reduktion der Personalkosten durch den Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles für machbar gehalten. (vgl. Anhang B-17)

### 6.2.5 Automatisierung größerer Fahrzeugmodelle

Da im herkömmlichen ÖPNV, insbesondere auf Relationen mit einer hohen Nachfrage, meist größere Fahrzeuge als die bisher betrachteten Elektroshuttles eingesetzt werden, wird der Wunsch nach einer Entwicklung selbstfahrender Klein-, Linien-, Regional- und Fernbusse geäußert. Die befragten Personen

---

<sup>197</sup> vgl. HERGET, SOMMER et al., 2021, S. 12 ff.; vgl. NOBIS, HERGET, 2020, S. 42 f.

<sup>198</sup> vgl. VDV, o. J.b; vgl. NOBIS, HERGET, 2020, S. 40.

<sup>199</sup> vgl. VDV, 2009, S. 57.

von Verkehrsunternehmen und -verbänden kennen hierzu jedoch keinen aktuellen, technischen Stand. Eine Entwicklung der Automatisierungssysteme für solche Fahrzeugmodelle wird in der Sozietät „Shuttle“ nach dem evolutionären Ansatz für machbarer gehalten. (Anhang B-18)

Eine Literaturrecherche zeigt, dass die Produzenten von Bussen zunehmend Assistenzsysteme in ihren Fahrzeugen ergänzen und demnach tatsächlich den evolutionären Entwicklungsansatz verfolgen. Die Konzept- und Erprobungsfahrzeuge der Herstellenden, nutzen solche Assistenzsysteme und Autopiloten sowie V2X-Technologien um auf Testrouten automatisiert zu fahren. Ein Beispiel ist das Fahrzeug Irizar ie, das 2020 in einem Forschungsprojekt in Málaga unter dem Namen AutoMOST, unter ständiger Überwachung aus einer Leitzentrale und unter Einsatz von LIDAR, RADAR, Kameras sowie einer V2X-Kommunikation auf öffentlichen Straßen gefahren ist.<sup>200</sup> Auch auf der Jungfernfahrt des Future Bus von Mercedes-Benz wurden Assistenzsysteme sowie ein speziell entwickelter CityPilot eingesetzt. Letzterer verarbeitet RADAR-, GPS- und Kameradaten und ermöglichte 2016 einen Einsatz auf einer Teilstrecke des Bus Rapid Transit (BRT) Systems in Amsterdam.<sup>201</sup> Bei einem BRT-System werden Busse teilweise spurgeführt auf eigenen Straßen oder Busspuren in beschleunigter Form eingesetzt.<sup>202</sup> Diese Einsatzform automatisierter Linienbusse halten die befragten Fachpersonen der Sozietät „Shuttle“ am ehesten für machbar. Zusätzlich werden dafür auch Zufahrtsbeschränkungen für den MIV gefordert. (vgl. Anhang B-19)

Aufgrund des komplexen Verkehrsgeschehens im Mischverkehr deutscher Straßen und des noch laufenden Prozesses zur Elektrifizierung der Busflotte, hält die Sozietät „Shuttle“ eine Automatisierung von Linien-, Regional- oder Fernbussen allerdings erst sehr langfristig für machbar. Es wurde betont, dass es sich dabei vermutlich um den letzten Schritt bei der Integration der automatisierten Fahrzeuge in den ÖPNV handelt, der in 25 bis 30 Jahren abgeschlossen sein könnte. (vgl. Anhang B-20)

Eine Automatisierung größerer Busse wird, insbesondere von der Fachperson des Shuttleherstellenden Unternehmens, als deutlich komplexer bewertet. Das größte Hemmnis stellt nach Einschätzung der Sozietät „Shuttle“ dabei die Programmierung dar, die bei den meisten Shuttles im Fahrzeugmittelpunkt verortet ist. Zudem setzen die meisten Produzenten selbstfahrender Elektroshuttles auf eine Lenkung mit zwei Achsen, um den Effekt der Schleppkurven zu vermeiden (vgl. Kapitel 4.3). Dies ist bei größeren Fahrzeugen jedoch nicht möglich. Nach Aussage der Fachperson des Unternehmens, das selbstfahrende Elektroshuttles herstellt, gibt es dennoch bereits Versuche, auch einen Minibus mit 22 Sitzplätzen nach dem revolutionären Entwicklungsansatz zu automatisieren. (vgl. Anhang B-21)

Zeitliche Prognosen zur Verfügbarkeit von Fahrzeugen bestimmter Automatisierungsstufen lehnen einige befragte Personen der Sozietät „Shuttle“ nicht nur für Linienbusse ab. Dabei verweisen Sie auf andere technische und infrastrukturelle Entwicklungen, die sich anders entwickelt haben als es

---

<sup>200</sup> vgl. BUS&BAHN, 2021; vgl. IRIZAR E-MOBILITY, 2021.

<sup>201</sup> vgl. MUTH, 2019, S. 33 f.; vgl. DAIMLER AG, 2017.

<sup>202</sup> vgl. VDV, o. J. [2019], S. 5; vgl. BURMEISTER, 2013, S. 30.

prognostiziert worden ist. Dennoch hält die Sozietät „Shuttle“ eine Verfügbarkeit automatisierter Busse bis zum Jahr 2030, spätestens aber bis zum Jahr 2040 für machbar. (vgl. Anhang B-22)

#### 6.2.6 Anforderungen an Einsatzformen

Entsprechend dem identifizierten Leitbild der Sozietät „Shuttle“, sollten automatisierte Fahrzeuge nur dann eingesetzt werden, wenn daraus ein verkehrlicher Nutzen entsteht. Sehr kurze Testrouten werden in diesem Zusammenhang kritisch gesehen, da sie ausschließlich zu Demonstrationszwecken geschaffen wurden. (vgl. Anhang B-23)

Als verkehrlicher Nutzen wird von der Sozietät „Shuttle“ die Reduktion der Umweltwirkungen benannt. Dazu müssen insbesondere das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung des MIV reduziert werden und der ÖV muss diese Reduktion durch eine Verlagerung der Wege auffangen. Das Ziel ist demnach ein Modal-Shift, der den ÖV-Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen bis 2030 in etwa verdoppelt. Dieses von den Fachpersonen dieser Sozietät formulierte Ziel und zuvor definierte, mögliche Einsatzformen stimmen weitestgehend mit den vom VDV formulierten Zielen und Maßnahmen überein. Auch der VDV strebt einen Einsatz automatisierter Fahrzeuge als ÖV-Angebotsergänzung an und verfolgt damit das Ziel, das Angebot attraktiver und wirtschaftlicher zu gestalten.<sup>203</sup> Obwohl unklar ist, ob das Verdopplungsziel mit Hilfe des automatisierten Fahrens erreicht werden kann, müssen die Fahrzeuge demnach vor allem in dieser Hinsicht eingesetzt und erprobt werden. (vgl. Anhang B-24)

In diesem Zusammenhang steht die Sozietät „Shuttle“ einem Einsatz in Konkurrenz zum ÖPNV-Angebot ablehnend gegenüber. Für einen erfolgreichen Einsatz ist es entsprechend diesem Leitbild eine wichtige Voraussetzung, dass die automatisierten Fahrzeuge nicht funktionierende ÖPNV-Angebote mit dem Ziel der Kostenreduzierung ersetzen, sondern diese sinnvoll in heute nicht erschlossenen Gebieten ergänzen. (vgl. Anhang B-25)

#### 6.2.7 Infrastrukturelle und äußere Rahmenbedingungen

Aus den in Kapitel 4.3 beschriebenen Systemgrenzen und den von der Sozietät „Shuttle“ genannten, für machbar und wünschenswert erachteten Einsatzformen selbstfahrender Elektroschuttles ergibt sich eine sehr hohe Bedeutung infrastruktureller und äußerer Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz. Zu nennen sei hier beispielsweise die mit der StVG-Novellierung geforderte, lückenlose Verbindung zwischen einer technischen Aufsicht und selbstfahrenden Elektroschuttles ohne Operator (vgl. Kapitel 4.2). Auch aus diesem Grund wird von den befragten Personen dieser Sozietät ein Einsatz als On-Demand-Verkehr langfristig nur dann als machbar erachtet, wenn die Einsatzgebiete zusätzlich mit entsprechenden V2X-Infrastrukturen ausgestattet sind. (vgl. Anhang B-26)

Obwohl das vernetzte Fahren für die Sozietät „Shuttle“ insgesamt eher eine untergeordnete Rolle spielt, liegt die Überzeugung vor, dass solche Kommunikationstechnologien den Betrieb mit selbstfahrenden

---

<sup>203</sup> vgl. VDV, 2018, S. 4–14, 2020b, S. 8, 16 f., 2015, S. 16 f.

Elektroshuttles sicherer und reibungsloser machen und der Wunsch eines intelligenten Fahrzeugs dadurch leichter erreichbar wird. (vgl. Anhang B-27)

Das vernetzte Fahren stellt nach Aussagen der befragten Personen aus der Sozietät „Shuttle“ auch eine wichtige Voraussetzung für die Minimierung der Witterungseinflüsse auf den Fahrbetrieb dar. Sensoren und Kameras, die den Wasserstand auf der Straße erheben, könnten diese Information an ein zentrales Datenmanagementsystem weiterleiten. Die Umsetzung eines solchen Systems halten die Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden sowie eines shuttleherstellenden Unternehmens in Form einer digitalen und selbstaktualisierenden Karte für machbar. Dies würde auch am ehesten der aktuellen Funktionsweise der selbstfahrenden Elektroshuttles entsprechen, die ebenfalls auf Grundlage einer vorab aufgezeichneten Umgebungskarte fahren (vgl. Kapitel 4.1). Verantwortlich sollte dabei die jeweilige Kommune sein und es ist aus Sicht der Sozietät „Shuttle“ zu prüfen, ob Fahrzeugherstellende zur Bereitstellung entsprechender Daten verpflichtet werden können. (vgl. Anhang B-28)

Aufgrund der in Kapitel 4.3 beschriebenen Systemgrenzen halten die befragten Fachpersonen mit den aktuell verfügbaren Fahrzeugmodellen eine automatisierte Änderung der Route jedoch nicht für möglich (vgl. Anhang B-29).

### 6.3 Identifiziertes Leitbild der Sozietät „Automobil“

Das identifizierte Leitbild der Sozietät „Automobil“ stützt sich vor allem auf kollektive Projektionen zur technischen und zeitlichen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung und zur Entwicklung des vernetzten Fahrens. Entsprechend dem evolutionären Entwicklungsansatz wird eine Automatisierung langfristig über eine Weiterentwicklung von Assistenzfunktionen für machbar gehalten. Eine wichtige Voraussetzung aus Sicht der befragten Personen ist, dass eine ausfallfreie Funktion dieser Systeme gewährleistet wird. Die fünfte Automatisierungsstufe, also das autonome Fahren<sup>204</sup>, wird innerhalb der Sozietät für die nächsten Jahre nicht angestrebt. Stattdessen wird die vierte Automatisierungsstufe eher für machbar gehalten und wird als vorläufiger Höhepunkt angesehen. Die entsprechenden Fahrzeuge sollen aber nicht in erster Linie auf dem Pkw-Markt angeboten, sondern als gewinnbringendes Mobilitätsangebot in Megacities eingesetzt werden.

Machbarkeits- und Wunschprojektionen zu möglichen Einsatzszenarien wurden von den befragten Personen der Sozietät „Automobil“ nur dann benannt, wenn sie in unmittelbarem Zusammenhang mit den Entwicklungsschritten der Automatisierungstechnologie stehen. Der Fokus des Leitbildes liegt eher auf der technischen und zeitlichen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung. Die damit verknüpften Subdimensionen anderer Leitbildfunktionen werden in den jeweiligen Unterkapiteln benannt. Bevor wichtige Parameter, Wunsch- und Machbarkeitsprojektionen zur Entwicklung des vernetzten Fahrens

---

<sup>204</sup> vgl. BMVI, 2015, S. 5 f.; vgl. VDA, 2015, S. 14 f.; vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32.

benannt werden, wird im nachfolgenden Modellfall außerdem der angestrebte Einsatz mit Fahrzeugen der Automatisierungsstufe vier in Megacities beschrieben.

### 6.3.1 Evolutionär entwickeln und Sicherheit garantieren

Ein Argument, das von den befragten Fachpersonen aus der Automobilindustrie für den evolutionären Entwicklungsansatz angeführt wird, ist, dass die Käufer der Fahrzeuge langsam an die Assistenzsysteme und Automatisierungsfunktionen herangeführt werden und dies zu einer hohen Ausfallsicherheit führt. Übereinstimmend mit der Definition des VDA (2015) und dem aus der Automobilindustrie stammenden Whitepaper mit dem Titel „Safty First For Automated Driving“, wird der Fokus von der Sozietät „Automobil“ sehr stark auf sicherheitsrelevante Aspekte gelegt. Das Whitepaper beschreibt in diesem Zusammenhang insbesondere die designbedingte Sicherheit, also die Sicherheit, die durch die technischen Fahrzeugeigenschaften gewährleistet wird.<sup>205</sup> Den Fokus auf die Sicherheit begründen die befragten Personen mit der hohen Verantwortung, die die Automobilindustrie zum Schutz des Lebens und der Gesundheit einnimmt. (vgl. Anhang B-30)

Um die ausfallsichere Funktion der Assistenz- und Automatisierungssysteme gewährleisten zu können, werden Daten mehrerer Sensoren miteinander abgeglichen, um eine Redundanz zu gewährleisten bzw. um die bereits in Kapitel 4.3 beschriebenen Systemgrenzen einzelner Sensoren kompensieren zu können. Welche Sensoren in welcher Form für das automatisierte Fahren eingesetzt werden, wurde ebenfalls bereits in Kapitel 4.2, zumindest für selbstfahrende Elektroshuttles, detailliert erläutert. Für eine Erklärung der Funktionsweise bei Pkw wird auf entsprechende Literatur verwiesen, da die technische Umsetzung, insbesondere bei Pkw, nicht im Fokus dieser Dissertation steht.<sup>206</sup>

Aus Sicht der Sozietät „Automobil“ hat insbesondere die Redundanz eine hohe Bedeutung für die weitere Entwicklung und den Einsatz. Gleichzeitig sind mit dem Einbau mehrerer und teurer Sensoren auch hohe Entwicklungskosten verbunden, die aus Sicht der Befragten zu hohen Anschaffungskosten und einer sinkenden Attraktivität führen und damit ein Hemmnis darstellen. Die Personen mit diesem Leitbild halten es daher am ehesten für machbar, dass die Automatisierung zunächst in sehr teuren Fahrzeugmodellen eingeführt wird. (vgl. Anhang B-31 und Anhang B-32)

Unter solchen, hochpreisigen Modellen sind am ehesten Pkw des Fahrzeugsegments Oberklasse, nach Definition des Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), zu verstehen.<sup>207</sup> Aus dem mit 0,8 % sehr geringen Anteil der 2020 in Deutschland zugelassenen Oberklasse-Pkw und dem durchschnittlichen Alter von 9,8 Jahren bei den zum 1. Januar 2021 in Deutschland zugelassen Fahrzeugen<sup>208</sup>, folgt auch aus Sicht der befragten Fachpersonen eine sehr langfristige Durchdringung der Pkw-Bestandsflotte. (vgl. Anhang B-33)

---

<sup>205</sup> vgl. VDA, 2015, S. 5, 8-15; vgl. WOOD, ROBBEL et al., 2019, S. 1–10.

<sup>206</sup> vgl. u.a.: VDA, 2015, S. 12 f.; MUECK, KARLS, 2018, S. 89–96; ROBERT BOSCH GMBH, o. J.

<sup>207</sup> Fahrzeugsegmente wurden für eine bessere statistische Vergleichbarkeit nach optischen, technischen und marktorientierten Kriterien definiert. (vgl. KBA, 2021b, S. 27.)

<sup>208</sup> vgl. KBA, 2021c, 2021a, S. 6 f.



### 6.3.2 Autobahnпилот als Ausgangspunkt der evolutionären Weiterentwicklung

Entsprechend der Einstufung in Kapitel 4.1 ordnen die befragten Fachpersonen der Automobilindustrie die aktuellen Pkw auf dem Markt ebenfalls der zweiten Automatisierungsstufe zu und betonen, dass sie sich auf dem Sprung zu Level drei befinden. Dieser Übergangszustand wird von ihnen auch als Level zwei plus bezeichnet. Während den Interviews wurde darauf hingewiesen, dass zum Herbst 2021 der erste typengenehmigte Pkw mit Automatisierungsfunktionen der Stufe drei auf dem Markt verfügbar sein sollte. Jedoch wurde der Einführungszeitpunkt im Dezember 2021 offiziell auf die erste Jahreshälfte in 2022 verschoben.<sup>209</sup> Beim angesprochenen Fahrzeug handelt es sich um die S-Klasse und bei dem angesprochenen System um den sogenannten Drive Pilot. Bei Nutzung des Autopiloten, übernimmt das Fahrzeug aus dem Segment der Oberklasse, bei einer Maximalgeschwindigkeit von 60 km/h auf Straßen mit einer baulichen Fahrbahntrennung und klar erkennbaren Fahrbahnmarkierungen, alle Fahraufgaben. Entsprechend der Definition der Automatisierungsstufe drei darf der Fahrzeugführer dann die Hände vom Lenkrad nehmen, sich vom Verkehrsgeschehen abwenden und die Verantwortung an das Fahrzeug übergeben.<sup>210</sup> Entsprechend einer Publikation durch die Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc. (MBRDNA) ist der Einsatz jedoch mit weiteren Auflagen verbunden, unter anderem, dass sich der Einsatzbereich nicht in einem Knotenpunkt befinden darf, die Straße ausschließlich für den motorisierten Verkehr zugelassen ist und sich das Fahrzeug nicht in einer Baustelle oder in einem Tunnel befindet. Damit ist der Autopilot nur bei reduzierter Geschwindigkeit, beispielsweise bei gebundenem Verkehr oder in Stausituationen aufgrund der Überschreitung der Kapazitätsgrenze auf einer Autobahn oder ähnlich ausgebauten Bundes- und Landstraßen einsetzbar.<sup>211</sup> Zusätzlich ist eine Nutzung des Drive Pilot bei Regen, Nebel, Nacht, Schnee oder Glatteis nicht zulässig und der Fahrer bzw. die Fahrerin ist dazu verpflichtet, jederzeit innerhalb von zehn Sekunden die Fahraufgabe wieder zu übernehmen, wobei das Fahrzeug bereits in einen risikominimalen Zustand übergeht, sofern dies nicht möglich ist.<sup>212</sup> Dementsprechend betonen die befragten Fachpersonen der Sozietät „Automobil“, dass der Einsatz zukünftig entwickelter Automatisierungsfunktionen zunächst nur in sehr begrenzten Bereichen machbar erscheint. (vgl. Anhang B-34)

Analog zu den Einsatzbedingungen des Drive Pilot, halten die Fachpersonen aus der Automobilindustrie die Einführung von Automatisierungssystemen zunächst auf Autobahnen oder Straßen mit vergleichbaren Rahmenbedingungen für machbar und entsprechen damit auch den Definitionen des VDA (2015) für die Automatisierungsstufe drei sowie den Hinweisen aus dem zuvor benannten Whitepaper verschiedener Automobilunternehmen. Dementsprechend ermöglicht erst die vierte Automatisierungsstufe das Fahren im innerstädtischen Bereich und dann nur in Form eines

---

<sup>209</sup> vgl. MERCEDES-BENZ AG, 2021.

<sup>210</sup> vgl. § 1d i.V.m. § 1e StVG; vgl. BMVI, 2015, S. 5 f.; vgl. VDA, 2015, S. 14 f.; vgl. SAE INTERNATIONAL, 2021, S. 24–32.

<sup>211</sup> Wird im Pkw-Verkehr die maximale Anzahl an Fahrzeugen pro Kilometer, die der Straßenquerschnitt aufnehmen kann, also die Kapazitätsgrenze, erreicht, müssen Verkehrsteilnehmende ihre Geschwindigkeit in Abhängigkeit von anderen Fahrzeugen wählen. Dieser Zustand wird gebundener Verkehr genannt. (vgl. FGSV, 2020, S. 59 f., 63)

<sup>212</sup> vgl. MBRDNA, o. J., S. 14–25; vgl. GEIGER, 2021.

Mobilitätsangebotes.<sup>213</sup> Aufgrund vieler Hemmnisse im komplexen städtischen Verkehrsgeschehen und den dadurch steigenden technischen Anforderungen an die Automatisierungsfunktionen, wird das Erreichen der Stufe vier erst sehr langfristig für machbar gehalten. (vgl. Anhang B-35)

Entsprechend der Definition des VDA (2015) ist eine der ersten Automatisierungsfunktionen der vierten Stufe das Valet Parking bzw. Automated Valet Parking (AVP). Der Fahrzeugführer stellt den Pkw dazu im Eingangsbereich oder auf einem markierten Stellplatz eines Parkhauses ab, aktiviert die Funktion und steigt aus. Das Fahrzeug parkt dann selbstständig auf dem nächsten freien Stellplatz. Das Fahrzeug kann auf gleiche Weise am Abgabeort wieder abgeholt werden.<sup>214</sup> Die neuen S-Klasse wird ebenfalls über einen AVP-Assistenten verfügen, der bereits seit 2019 mit mehreren Partnern erprobt wird. Die Nutzung erfordert jedoch eine Aufrüstung der Parkhäuser und Parkplätze mit V2I-Technologie.<sup>215</sup>

Im Gegensatz zu solchen Automatisierungsfunktionen des ruhenden Verkehrs, werden entsprechende Funktionen der vierten Stufe für den fließenden Verkehr innerhalb des Leitbilds der Sozietät „Automobil“ erst für Mitte oder Ende der 2020er-Jahre für machbar gehalten. Erneut wird die Verfügbarkeit dann nur in wenigen Fahrzeugmodellen und in sehr begrenzten Anwendungsfällen für realistisch gehalten. Wege, die unterschiedliche Straßentypen einbinden, werden aber auch dann nicht durchgängig automatisiert befahrbar sein. Solche Anforderungen werden von den befragten Fachpersonen für unrealistisch gehalten und häufig mit Vorstellungen aus Science-Fiction-Filmen verglichen. Um solche Automatisierungssysteme erfolgreich einsetzen zu können, wird nach Meinung der Sozietät „Automobil“ ein flächendeckender Ausbau der V2X-Kommunikation benötigt. Erneut wird das erste für realistisch gehaltene Einsatzfeld auf der Autobahn oder vergleichbaren Straßen mit baulicher Fahrbahntrennung gesehen. (vgl. Anhang B-36)

Aus Sicht der Sozietät „Automobil“ ist ab der vierten Automatisierungsstufe eine Unterscheidung zwischen Owned Autonomy und Shared Autonomy notwendig. Während Owned Autonomy den Besitz von Fahrzeugen durch eine Privatperson versteht, also deren Einsatz im Individualverkehr vorsieht, wird unter Shared Autonomy die kollektive bzw. gemeinsame Nutzung eines Fahrzeugs mit anderen Personen, zum Beispiel über eine Plattform verstanden. Dieser Begriff verdeutlicht auch die Nähe zur Sharing Economy, unter welcher einerseits kommerzielle Angebote verstanden werden, die eine gemeinsame Nutzung von Gütern und Dienstleistungen über eine Online-Plattform ermöglichen, aber andererseits auch das Teilen von Gegenständen im privaten Umfeld berücksichtigen.<sup>216</sup>

Bereits für das Jahr 2030 halten die Fachpersonen aus der Automobilindustrie Angebotsmodelle der Shared Autonomy in vereinzelt Megacities mit Automatisierungsstufe vier für machbar. Für privat genutzte Pkw wird ein Besitz zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht oder nur vereinzelt für realistisch

---

<sup>213</sup> VDA, 2015, S. 12-15, 25; vgl. WOOD, ROBBEL et al., 2019, S. 4 ff.

<sup>214</sup> vgl. VDA, 2015, S. 15, 18 f., 25.

<sup>215</sup> vgl. VDA, 2015, S. 18 f.; vgl. FISCHER, 2019, 2020; vgl. DAIMLER AG, 2020.

<sup>216</sup> vgl. STOKAR, PETER et al., 2018, S. 57–60; vgl. THEURL, HAUCAP et al., 2015, S. 87 f.; vgl. GEORGI, BRÜNDLER-ULRICH et al., 2019, S. 1–4.

gehalten. Diese zeitliche Prognose unterscheidet sich demnach stark von der des VDA aus dem Jahr 2015. Die befragten Fachpersonen aus der Sozietät „Automobil“ halten eine Einführung des automatisierten Fahrens im städtischen Raum für Privatpersonen erst im Jahr 2050 für realistisch, während der VDA dies für den Zeitraum von 2030 bis etwa 2040 vorgesehen hatte. Diese Veränderung der Einschätzung über einen Zeitraum von sechs Jahren zeigt, wie schwierig zeitliche Prognosen sein können und dass die Entwicklung von vielen äußeren Einflüssen, auch dem Rechtsrahmen, abhängig ist.<sup>217</sup> Schlussfolgernd kann für das hier definierte Leitbild abgeleitet werden, dass Fahrzeuge der Automatisierungsstufe vier frühestens 2030 und spätestens 2050 für Privatpersonen verfügbar sein werden. (vgl. Anhang B-37)

### 6.3.3 Level vier als wirtschaftliches Geschäftsmodell in Megacities

Aufgrund des angestrebten und für machbar gehaltenen Einsatz von Pkw der Automatisierungsstufe vier als kollektive Mobilitätsangebote in Megacities besteht eine Überschneidung zwischen den Leitbildern der Sozietät „Shuttle“ und der Sozietät „Automobil“. Angestrebt wird dabei ein MoD-Angebot, das jedoch nur in siedlungsstrukturellen Räumen mit sehr hoher Bevölkerungsdichte für machbar gehalten wird, um eine Wirtschaftlichkeit des Angebotes gewährleisten zu können. (vgl. Anhang B-38)

Auch im Zusammenhang mit diesem Einsatzszenario ist kein eindeutiger Einführungszeitpunkt von den befragten Fachpersonen aus der Automobilindustrie benannt worden. Während eine Einführung im Jahr 2030 für unrealistisch gehalten wird, wird eine Verfügbarkeit erst in 2050 als zu pessimistisch empfunden. Es ist also davon auszugehen, dass die Sozietät „Automobil“ eine Einführung des Geschäftsmodells in den 2040er-Jahren für machbar hält. Gleichzeitig werden in diesem Zusammenhang jedoch viele Hemmnisse und Herausforderungen gesehen.

Die größte Herausforderung sehen die befragten Fachpersonen darin, die angestrebte Wirtschaftlichkeit zu erreichen, insbesondere im Hinblick auf die Einnahmen heutiger Taxi- und Verkehrsunternehmen, zu denen das Angebot in Konkurrenz oder als Ersatz angesehen wird. Entsprechen den Statistiken des VDV, wurden beispielsweise im Jahr 2018 nur 74,4 % der ÖPNV-Ausgaben durch Nettoeinnahmen gedeckt und die restlichen 25,6 % durch eine öffentliche Finanzierung ausgeglichen.<sup>218</sup> Monatliche Einnahmen eines Taxifahrers oder einer Taxifahrerin aus München, lagen einer Beispielrechnung des Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V. (BVTM) zufolge in 2019, nach Abzug der fixen, variablen und Versicherungskosten, bei 1.460 Euro. Daraus ergeben sich bei einer Jahresverkehrsleistung von 40.000 Personenkilometer (Pkm), Einnahmen in Höhe von 0,44 Euro pro Pkm.<sup>219</sup>

Diese niedrigen Gewinnaussichten in Kombination mit hohen Entwicklungskosten für das automatisierte Fahren, werden von der Sozietät „Automobil“ als eine Herausforderung für das Geschäftsmodell in den Megacities wahrgenommen, insbesondere, da die Angebote aufgrund der wegfallenden Personalkosten

---

<sup>217</sup> vgl. VDA, 2015, S. 15.

<sup>218</sup> vgl. VDV, 2020a, S. 35 f.

<sup>219</sup> vgl. BVTM, 2021, S. 53–57.

günstiger als Taxis angeboten werden sollten. Gleichzeitig stellt der wirtschaftliche Betrieb aus Sicht der befragten Personen eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz dar. (vgl. Anhang B-39)

Weitere Herausforderungen werden unter anderem in der wegfallenden Kontrollfunktion durch heutige Bus- oder Taxifahrende, dem dadurch steigenden Aufwand zur Instandhaltung und Reinigung der Fahrzeuge und der Planung der Ein- und Ausstiegspunkte gesehen. Der Ein- und Ausstieg der Fahrgäste am Standort bzw. am Zielpunkt ist besonders in Megacities aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und geltenden Verkehrsrechts nur schwer umsetzbar oder nicht möglich. Um eine gewisse Attraktivität gewährleisten zu können, ist eine Tür-zu-Tür-Bedienung (vgl. Kapitel 5.1) aus Sicht der Sozietät jedoch wichtig. (vgl. Anhang B-40)

#### 6.3.4 Vernetztes Fahren und Datenmanagement

Die befragten Personen aus der Automobilindustrie sehen eine weitere Herausforderung in der hohen Rechenleistung, die spätestens ab der Automatisierungsstufe vier durch die Erhebung und Verarbeitung aller Sensor-, Kamera- und Kartendaten entsteht. Dementsprechend zeigen verschiedene Studien, dass der benötigte Energiebedarf die potenziellen Effizienzgewinne des automatisierten Fahrens größtenteils aufbraucht oder gar übertrifft.<sup>220</sup> Diese Zusammenhänge sind im Rahmen dieses Leitbildes der Funktion der perspektivischen Desynchronisation zuzuordnen. (vgl. Anhang B-41)

In diesem Zusammenhang und im Hinblick auf den stattfindenden Datenaustausch heutiger Fahrzeuge, wird die Verfügbarkeit eines Datenmanagementsystems von der Sozietät „Automobil“ als wünschenswert und als wichtige Voraussetzung für den Einsatz und die Weiterentwicklung vollautomatisierter Fahrzeuge empfunden. So findet beispielsweise bei Streckensperrungen ein Datenaustausch statt, woraufhin das Navigationssystem im Fahrzeug eine Routenänderung vorschlägt. Eine Datenweitergabe an Fahrzeuge in direkter Umgebung, also eine V2V-Direktkommunikation, wird von den befragten Personen im Vergleich zu einer Kommunikation über ein Backend als nicht ausgereift genug empfunden. Das Fallbeispiel einer automatisierten Umfahrung einer überfluteten Straße wird daher für machbar gehalten, sofern die Kommunikation über ein Backend erfolgt. (vgl. Anhang B-42)

Dazu müssen die Daten über das Regenerereignis bzw. die Straßensperrung jedoch zunächst erhoben, ausgewertet und an die Fahrzeugherstellenden weitergegeben werden. Dafür wäre aus Sicht der Sozietät „Automobil“ eine Meldestelle oder ein Datenmanagementsystem wünschenswert. Es wird jedoch betont, dass auch damit Herausforderungen verknüpft sind und dass die Verantwortung für ein solches Datenmanagement beim jeweils zuständigen Baulasttragenden liegen sollte. (vgl. Anhang B-43)

Ein weiteres Hemmnis sehen die befragten Personen darin, dass in der Branche und in der Politik noch keine Kommunikationstechnologie abschließend festgelegt wurde. Zum Befragungszeitpunkt waren

---

<sup>220</sup> vgl. AGORA VERKEHRSWENDE, 2020, S. 17–27; vgl. KRAIL, HELLEKES et al., 2019.

zwei verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten auf dem Markt verfügbar. Zum einen das auf dem WiFi-Standard IEEE 802.11 basierende und mit der Dedicated Short Range Communication (DSRC) aus den USA vergleichbare pWLAN und zum anderen das auf dem Mobilfunk-Standard 4G-LTE basierte und für 5G kompatible Cellular-V2X (C-V2X).<sup>221</sup>

Durch den fehlenden Datenstandard könnte es aus Sicht der befragten Fachpersonen zu Problemen im Datenaustausch kommen. Als Datensender und Datenempfänger kann ein zukünftig vernetztes Fahrzeug nur dann Daten mit anderen Fahrzeugen und Infrastrukturen austauschen, wenn dieselbe Technologie verwendet wird. Aus Sicht der Sozietät „Automobil“ wäre die Definition eines Datenstandards daher eine wichtige Voraussetzung und wünschenswert. (vgl. Anhang B-44)

Die Definition des Datenstandards wird jedoch, aufgrund von Erfahrungen aus der Vergangenheit, als eine große Herausforderung eingestuft. Die Nutzung von Datenprovidern wird als eine gute Alternative für die Schaffung eines Datenstandards angesehen. Die befragten Personen, die diesem Leitbild zuzuordnen sind, halten die Nutzung eines solchen Datenproviders als Übersetzung zwischen dem Datenformat des Empfangenden und Bereitstellenden, für machbar. Daraus könnte sich aus Sicht der Fachpersonen auch ein Geschäftsmodell für die Datenprovider ergeben. (vgl. Anhang B-45)

Der Umfang der beim Datenaustausch automatisierter Fahrzeuge entstehender Datenmengen wird in der Literatur unterschiedlich beziffert. So geht beispielsweise KRZANICH (2016) von vier Terabyte pro Tag und Pkw aus, was bei einer mittleren Nutzungsdauer von 45 Minuten zu einem gesamten Datenvolumen von 5,4 Terabyte pro Stunde führt. HEINRICH (2017) setzt im Vergleich dazu ein Datenvolumen von 1,4 bis 19 Terabyte pro Stunde an.<sup>222</sup> Unabhängig von der exakten Datenmenge, die beim automatisierten Fahren entsteht, sehen die Fachpersonen mit diesem Leitbild eine Hemmnis in diesen Daten und wünschen sich daher eine Zusammenarbeit mit erfahrenen Technologie-Unternehmen. (vgl. Anhang B-46)

Der Ausbau der V2X-Kommunikationsinfrastruktur wird sowohl als wichtige Voraussetzung, aber auch als großes Hemmnis für den zukünftigen Einsatz automatisierter Fahrzeuge angesehen. Dass der 5G-Mobilfunkstandard frühestens im Jahr 2025 überall in Deutschland verfügbar sein wird, wird bei einer Recherche der Ausbauziele der erfolgreichen Bietenden auf der Versteigerung der Mobilfunkfrequenzen durch die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA), deutlich.<sup>223</sup> Wann Lichtsignalanlagen oder Verkehrsschilder mit dem noch nicht definierten Standard zum Datenaustausch ausgerüstet sein werden ist aus dem Interviewmaterial nicht eindeutig abschätzbar

---

<sup>221</sup> vgl. KÖLLNER, 2020; vgl. GERPOTT, 2020, S. 1071–1075; weitere Hinweise zur technischen Ausgestaltung und zum Vergleich zwischen pWLAN und C-V2X sind unter anderem zu finden in: GSMA, 2017; SHAH, AHMED et al., 2018; WEBER, MISENER et al., 2019; 5GAA, o. J. [2016]; FILLENBERG, 2018; FILIPPI, MOERMAN et al., o. J. [2016].

<sup>222</sup> vgl. KRZANICH, 2016; vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 4; vgl. HEINRICH, 2017.

<sup>223</sup> vgl. WULFF, 2019; vgl. 1&1 DRILLISCH AG, o. J. [2021]; vgl. DAHMEN, 2021; vgl. TELEFÓNICA GERMANY GMBH & Co. OHG, o. J. [2021]; vgl. STREICHER, 2021; vgl. VODAFONE GMBH, 2021.

und auch recherchierte Studienergebnisse basieren auf angenommenen Szenarien.<sup>224</sup> Das vernetzte Fahren wird für die Weiterentwicklung der Fahrzeugautomatisierung in der Sozietät „Automobil“ jedoch als eine wichtige Voraussetzung angesehen, weshalb die beschriebenen, technischen Rahmenbedingungen als Hemmnis empfunden werden. (vgl. Anhang B-47)

Im Hinblick auf das Fallbeispiel aus dem Leitfaden (vgl. Kapitel 3.1.3), ist das Erkennen und das Weitergeben von sich ändernden Witterungsbedingungen aus Sicht der Sozietät „Automobil“ machbar, jedoch nicht ohne weiteres wirtschaftlich umsetzbar. Die durch die Datenweitergabe entstehenden Kosten sind die Automobilherstellenden nicht gewillt zu tragen. Die von der Sozietät „Shuttle“ angesprochene Meldepflicht (vgl. Kapitel 6.2.7), wird von den Fachpersonen aus der Automobilindustrie daher ohne eine finanzielle Entschädigung abgelehnt. (vgl. Anhang B-48)

### 6.3.5 Aktueller Stand der Sensortechnologie

Mit den aktuell in den Fahrzeugen verbauten Sensoren müssen mit zunehmend schlechter werdenden Witterungsverhältnissen die Assistenzsysteme abgeschaltet werden. Die Systemgrenzen, unter denen die Systeme eingesetzt werden können, orientieren sich aus Sicht der Sozietät „Automobil“ an den menschlichen Fähigkeiten. In Situationen, in denen menschlichen Fahrzeugführenden das sichere Steuern des Fahrzeugs schwerfällt oder nicht möglich ist, halten die befragten Personen aus der Automobilindustrie auch den Einsatz des automatisierten Fahrens bei zukünftigen Fahrzeugmodellen nicht für machbar. (vgl. Anhang B-49)

Das Fallbeispiel aus dem Interviewleitfaden (vgl. Kapitel 3.1.3) stellt eine Extremsituation dar, für den die befragten Fachpersonen konkret eine mindestens kurz- bis mittelfristige Nutzung ausschließen konnten, da sie eine zuverlässige Messung der Wasserstandhöhe auf Straßen vor 2035 bis 2040 nicht für machbar halten. Diese Annahme steht im Zusammenhang mit der wahrgenommenen Verantwortung der Personen aus der Automobilindustrie für die Sicherheit im Straßenverkehr. Dadurch wird ein Einsatz neuer Sensoren, die beispielsweise das Erkennen der Wasserstandhöhe auf der Straßenoberfläche im Forschungsstadium zeitweise ermöglichen oder versprechen, ausgeschlossen. Für den Einsatz neuer Technologien wird als wichtige Voraussetzung deren ausfallsichere Funktion hervorgehoben. Dies gilt insbesondere ab der Automatisierungsstufe drei, bei der die vollständige Verantwortung im Straßenverkehr, bei Nutzung der Automatisierungsfunktionen, auf den Fahrzeugherstellenden übergeben wird. Für machbar wird von der Sozietät „Automobil“ in diesem Zusammenhang die Nutzung einer digitalen Karte gehalten, in der alle überflutungsgefährdeten Straßenräume gekennzeichnet sind und bei extremen Witterungsverhältnissen von Fahrzeugen im automatisierten Modus nicht befahren werden können. (vgl. Anhang B-50)

---

<sup>224</sup> vgl. AGORA VERKEHRSWENDE, 2020, S. 11–15.

Heutige Assistenzsysteme zur Identifizierung der Aquaplaning-Gefahr, könnten ein erster Schritt auf dem Weg zur Erkennung und zur Reaktion auf Überflutungsereignissen sein. So werden beispielsweise von der Continental AG im Fahrzeug verbaute Surround-View-Kameras in Kombination mit speziell entwickelten electronic-Tire-Information-System-Sensoren (eTIS) erprobt. Bei eTIS handelt es sich um Sensoren, die in den Reifen integriert sind, eine Aquaplaning-Gefahr erkennen und nicht nur den Fahrzeugführenden, sondern über V2X auch andere Verkehrsteilnehmende warnen können.<sup>225</sup> Ein weiteres Beispiel stellt der von einem Start-Up entwickelte virtuelle Sensor Digital Aquaplaning Information (DAI) dar, welcher die bereits heute in Fahrzeugen üblicherweise erhobenen Sensor- und Kameradaten mit Hilfe eines Algorithmus auswertet und wiederum den Fahrer bzw. die Fahrerin und anderer Verkehrsteilnehmende warnt. Eine zusätzlich entwickelte technische Einrichtung, die der digitale Sensor ansteuern soll, ist das Aquaplaning Intelligent System (AIS). Durch das AIS wird unmittelbar vor den Vorderrädern ein Hochdruckwasserstrahl auf die Straßenoberfläche gespritzt, um das Regenwasser punktuell zu verdrängen und ein Aufschwimmen der Räder zu verhindern.<sup>226</sup> Ein Beispiel, das auch von den befragten Personen aus der Automobilindustrie benannt wurde, ist der von der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG entwickelte Wet Mode. Es handelt sich dabei um Ultraschallsensoren, die in den Radkästen verbaut sind und die Frequenz des aufgewirbelten Spritzwassers messen, um daraus die Aquaplaning-Gefahr abzuleiten. Auch dieses System fordert den Fahrzeugführenden dazu auf eine optimierte Fahrzeugkonfiguration zur Stabilitätserhöhung zu aktivieren, eine optimale, empfohlene Geschwindigkeit zu fahren und warnt über V2X andere Verkehrsteilnehmende.<sup>227</sup> Ein solches System wird von den befragten Fachpersonen aus der Sozietät „Automobil“ in Verbindung mit digitalen Karten, in welchen Aquaplaning-Stellen vermerkt sind, für ein zielführendes und machbares Frühwarnsystem gehalten. (vgl. Anhang B-51)

### 6.3.6 Externe Einflussfaktoren auf den Einsatz und die technische Entwicklung

Häufig wurden von den befragten Fachpersonen aus der Automobilindustrie auch Herausforderungen und Hemmnisse benannt, die durch externe Einflussfaktoren, auf die die Automobilindustrie keinen Einfluss hat, entstehen. Am wichtigsten scheint dabei der rechtliche und politische Rahmen für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen zu sein. Als Vorbild in dieser Hinsicht, benennen die Fachpersonen Singapur, das bereits seit mehreren Jahren verschiedene Formen und Testfelder fördert. Beispielsweise bot das Start-Up NuTonomy das weltweit erste Robotaxi-Angebot auf öffentlichen Straßen an oder das Testzentrum für automatisiertes Fahren unter dem Namen Centre of Excellence for Testing & Research of Autonomous Vehicles (CETRAN) wurde bereits im Jahr 2017 eröffnet.<sup>228</sup> Neben politischen Möglichkeiten zur Förderung, verdeutlicht dieses Beispiel, dass die

---

<sup>225</sup> vgl. CONTINENTAL AG, o. J.

<sup>226</sup> vgl. EASYRAIN I.S.P.A., o. J.b, o. J.a.

<sup>227</sup> vgl. DR. ING. H.C. F. PORSCHE AG, 2019.

<sup>228</sup> vgl. KÜHL, 2018; vgl. MATHESON, 2016.

Einsatzmöglichkeiten der Technologie je nach Region stark unterschiedlich sein können. Die Sozietät „Automobil“ lehnt es daher ab, allgemeine Chancen und Risiken für das automatisierte Fahren zu definieren. (vgl. Anhang B-52)

Die Annahme der Sozietät „Automobil“, dass Fahrzeuge der Automatisierungsstufe vier zunächst in Form von kollektiven Mobilitätsangeboten in Megacities eingesetzt werden, wird durch Singapur ebenfalls bestätigt. Die siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen in solchen Städten führen dazu, dass Bewohner häufig keinen Zugang zu einem Pkw-Stellplatz haben, dafür aber gut an den ÖPNV angebunden sind. Es wird in solchen Gebieten daher seltener ein eigener Pkw angeschafft, insbesondere, da die Kaufpreise durch die Sensoren und Assistenzsysteme weiter zunehmen werden. Zugleich weisen die Fachpersonen aus der Automobilindustrie darauf hin, dass die Technologieaffinität der städtischen Bevölkerung höher ist, was wiederum die Kaufwahrscheinlichkeit von automatisierten Fahrzeugen erhöht. Dies wurde bereits in mehreren Studien insbesondere im Hinblick auf das Alter einer Person bestätigt, welches negativ mit der Affinität korreliert. Mit zunehmendem Alter sinkt demnach die Bereitschaft neue Technologien zu erproben.<sup>229</sup> Auswertungen des Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) zeigen zugleich, dass das durchschnittliche Alter der Bewohner und Bewohnerinnen in kreisfreien Städten, insbesondere in Universitätsstädten, am niedrigsten und in strukturschwachen Regionen am höchsten liegt.<sup>230</sup> Aus beiden Statistiken kann also vereinfachend abgeleitet werden, dass Bewohner und Bewohnerinnen großer Städte dem automatisierten Fahren durchschnittlich positiver gegenüberstehen als Personen des ländlichen Raums. Gleichzeitig weisen die befragten Fachpersonen aber auch darauf hin, dass die Mobilitätsanforderungen der ländlichen Bevölkerung eher mit dem Einsatz eines automatisierten Pkw einhergehen, da deren Arbeitswege durchschnittlich länger sind<sup>231</sup> und häufig über Autobahnen führen. Die Sozietät „Automobil“ weist daher darauf hin, dass insbesondere individuelle Präferenzen und weniger siedlungsstrukturelle Rahmenbedingungen einen Einfluss auf die Nutzung haben könnten. (vgl. Anhang B-53)

Abschließend bezogen sich die befragten Fachpersonen aus der Automobilindustrie in den Interviews auch auf ein in ähnlicher Weise häufig wiedergegebenes, ethisches Dilemma, das von LIN (2015) in einem wissenschaftlichen Beitrag beschrieben wurde. Sofern automatisierte und vernetzte Fahrzeuge mit nicht automatisierten und nicht vernetzten Fahrzeugen oder nicht vernetzten anderen Personen im öffentlichen Straßenverkehr unterwegs sind, wird es auch zukünftig bei Automatisierungsstufe vier oder fünf Situationen geben, die einen Unfall unvermeidbar machen. Wenn in einer solchen Situation nur noch zwei nicht vertretbare Alternativen zur Auswahl stehen und zum Beispiel die Verletzung oder Tötung menschlichen Lebens unvermeidbar ist, kommt es zu einem ethischen Konflikt. Ein von der

---

<sup>229</sup> vgl. ROJAS-MÉNDEZ, PARASURAMAN et al., 2017, S. 21 ff., 29; vgl. BLUT, WANG, 2020, S. 656; vgl. KARRER, GLASER et al., 2009, S. 197–200.

<sup>230</sup> vgl. FIEDLER, KLÜSENER et al., 2018, S. 3; vgl. BiB, 2021, S. 52 f.

<sup>231</sup> vgl. BiB, 2021, S. 53 f.; vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 103 ff.; vgl. NOBIS, KUHNIMHOF et al., 2019, S. 62 f.



Entwicklungsabteilung programmierter bzw. vorgegebener Algorithmus entscheidet dann über die Handlung des Fahrzeugs, wobei es naheliegt, dass der Herstellende des automatisierten Fahrzeugs dann die alleinige Verantwortung trägt.<sup>232</sup> Das BMVI hat daher eine Ethik-Kommission einberufen, die 20 Regeln zum Umgang mit solchen und anderen ethischen Fragen definierte.<sup>233</sup> Die Fachpersonen der Sozietät „Automobil“ sind sich darüber einig, dass diese Fragestellungen in einem breiten gesellschaftlichen Diskurs behandelt und der Einsatz der Automatisierungsfunktionen in solchen unvermeidbaren Dilemma-Situationen von der Bevölkerung bewertet werden müssen. Sollte die Gesellschaft den Einsatz von Fahrzeugen der Automatisierungsstufen vier und fünf nicht akzeptieren, ist ein Einsatz aus Sicht der Fachpersonen aus der Automobilindustrie aus rechtlichen Gründen weder machbar noch vertretbar. (vgl. Anhang B-54)

## 6.4 Abgeleitete Zukunftsszenarien

Aus den vorgestellten Leitbildern wurden die beiden, nachfolgend beschriebenen Szenarien zur technischen Entwicklung, zu Einsatzformen und zum jeweiligen Einsatzzeitpunkt abgeleitet. Die technische Entwicklung wird in Abhängigkeit von der Markteinführung differenziert nach Automatisierungsstufen beschrieben. Beide Szenarien legen zudem den Fokus auf die Machbarkeits- und Wunschprojektionen des jeweils zugrundeliegenden Leitbilds, wobei die Wunschprojektionen in seltenen Fällen, insbesondere beim Zukunftsszenario der Sozietät „Automobil“, um weitere potenzielle Entwicklungen, die aus dem Kontext und recherchierten Literaturquellen abgeleitet wurden, ergänzt werden. Die Entwicklungen auf Grundlage der Machbarkeitsprojektionen konnten wie im Interviewmaterial codiert und durch Literaturquellen belegt in den Szenarien unverändert aufgenommen werden. Wichtige, von der jeweiligen Sozietät benannte Voraussetzungen und Herausforderungen für die dargestellten Einsatzformen und die beschriebenen technischen Entwicklungen, werden ebenfalls dargestellt.

Beide abgeleitete Szenarien beschreiben die technische Entwicklung ausschließlich von der zweiten bis zur vierten Automatisierungsstufe, da beide Sozietäten in ihren Leitbildern die Automatisierungsstufe fünf nicht anstreben bzw. nicht für machbar oder wünschenswert halten. Der jeweils angestrebte Zielhorizont liegt demnach in der Automatisierungsstufe vier, während der aktuelle Stand bzw. der Ausgangspunkt jeweils an der Schwelle zwischen der zweiten und dritten Automatisierungsstufe liegt. (vgl. Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2)

Maßgebliches Ziel des Zukunftsszenarios auf Grundlage des identifizierten Leitbilds der Sozietät „Shuttle“, ist die Integration des automatisierten Fahrens in den ÖPNV, wobei neue, automatisierte Angebote nicht in Konkurrenz, sondern als Ergänzung eingesetzt werden sollen. Die Maxime in

---

<sup>232</sup> vgl. LIN, 2015, S. 70 f.

<sup>233</sup> vgl. BMVI, 2017b, S. 10–13.

ländlichen Räumen muss dabei die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit gegenüber heutigen Angeboten sein, weshalb selbstfahrende Elektroshuttles und zukünftige Busse ohne einen Operator oder Fahrzeugführenden betrieben werden sollen. Wichtige Voraussetzungen für einen solchen Betrieb finden sich in der technischen Weiterentwicklung, den rechtlichen Rahmenbedingungen und der Akzeptanz der Fahrgäste. (vgl. Abbildung 6-1)

Grundlage der Akzeptanzerhebung stellen im Zukunftsszenario der Sozietät „Shuttle“ zunächst Testrouten in städtischen Räumen dar. Große Herausforderungen stellen auch hier die technischen und rechtlichen Systemgrenzen und insbesondere die damit zusammenhängenden niedrigen Geschwindigkeiten und die Anwesenheit eines Operators im Fahrzeug dar. Zudem kommen Betriebsausfälle und -unterbrechungen aufgrund des geringen Reifegrades der selbstfahrenden Elektroshuttles und der Witterungsbedingungen dazu. Ein negativer Einfluss auf die erhobene Akzeptanz ist dadurch nicht auszuschließen. Im Rahmen des entwickelten Zukunftsszenarios, basierend auf dem Leitbild der Sozietät „Shuttle“, ist davon auszugehen, dass frühestens ab den 2030er-Jahren in jedem deutschen Land- oder Stadtkreis eine oder mehrere Testrouten in Pilotprojekten angeboten werden. (vgl. Abbildung 6-1)

Das 2021 verabschiedete Gesetz zum autonomen Fahren macht sich im Zukunftsszenario der Sozietät „Shuttle“ durch einen fahrerlosen Betrieb unter ständiger Überwachung durch eine technische Aufsicht, also einer Leitzentrale, in den nächsten beiden Dekaden bemerkbar, auch wenn zum aktuellen Zeitpunkt noch wichtige Fragen zur Umsetzung und zu den Verantwortlichkeiten offen sind. Ein flächendeckender Einsatz setzt jedoch nicht nur diesen rechtlichen Rahmen sondern auch eine entsprechende technische Entwicklung der selbstfahrenden Elektroshuttles und die Verfügbarkeit einer sicheren Internetverbindung voraus. Der fahrerlose Einsatz der Shuttles mit Hilfe einer Leitzentrale auf den definierten Testrouten entspricht bereits der Automatisierungsstufe vier. (vgl. Abbildung 6-1)

Entsprechend dem definierten Zukunftsszenario, erfolgt eine erste Weiterentwicklung der Einsatzformen im städtischen Raum ab dem Jahr 2025, in dem die Testrouten aus den Pilotprojekten in einen regulären Betrieb überführt werden. Dabei handelt es sich zunächst um einen Linienbetrieb auf der ersten oder letzten Meile oder zur Anbindung heutiger, vom ÖPNV nicht erschlossener Gebiete. In siedlungsstrukturell schwächeren Regionen, also im ländlichen Raum, erfolgt diese Weiterentwicklung erst ab 2030. Aus dem Leitbild der Sozietät „Shuttle“ wurde zudem abgeleitet, dass der Linienbetrieb im städtischen Raum ab 2035 und im ländlichen Raum ab 2040, sofern dies technisch und wirtschaftlich möglich ist, in ein zeitlich und räumlich flexibles On-Demand-Shuttle-Angebot überführt wird. Da die neuen Angebote jedoch nicht mit dem bestehenden ÖPNV-Angebot konkurrieren und das Verkehrsaufkommen sowie die Wirkungen auf die Umwelt reduzieren sollen, handelt es sich vermutlich um Roboshuttle-Angebote auf denselben Relationen wie die nicht flexibilisierten Angebote zuvor (vgl. Kapitel 5.2). Hierfür ist nun nicht nur eine ausfallsichere und lückenlose Internetverbindung, sondern auch die Weiterentwicklung der selbstfahrenden Elektroshuttles hin zu intelligenten

Fahrzeugen und ein Ausbau der Infrastruktur für die V2X-Kommunikation erforderlich. (vgl. Abbildung 6-1)

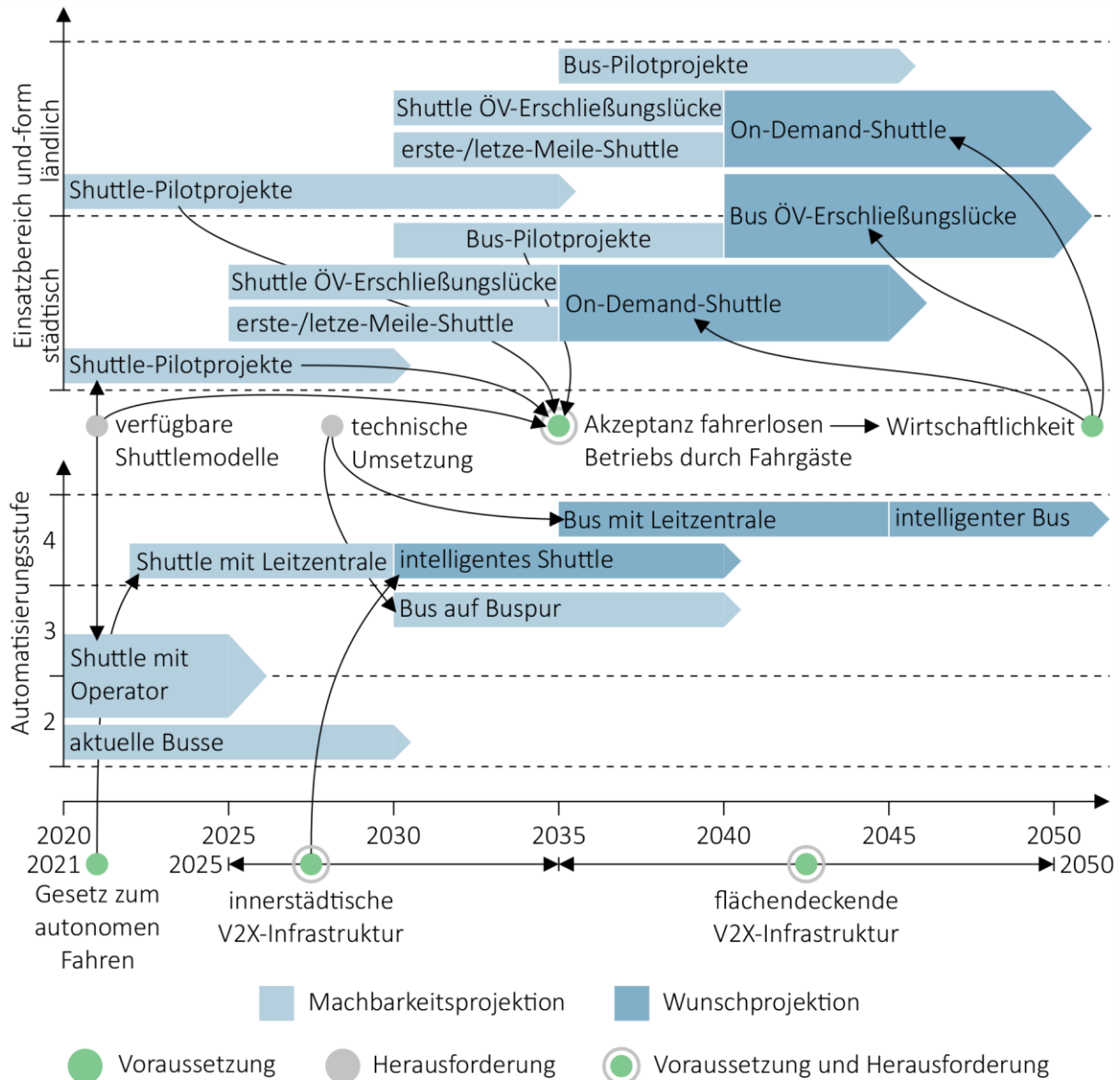


Abbildung 6-1: Zukunftsszenario der Sozietät „Shuttle“ <sup>234</sup>

Intelligente Fahrzeuge bzw. Elektroshuttles, welche Situationen im Verkehrsgeschehen antizipieren und das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmenden erkennen können, werden entsprechend dem entwickelten Szenario mit Hilfe einer selbstaktualisierenden Karte und der bereits angesprochenen V2X-Infrastruktur ermöglicht. Bestandteil der V2X-Infrastruktur ist nicht nur der vernetzte Straßenraum, sondern auch ein kommunal betriebenes Datenmanagementsystem, welches Ereignisse erhebt und an

<sup>234</sup> vgl. KOLESCH, NEUMANN et al., 2022, S. 82.

die Fahrzeuge weitergibt. Dadurch können die Fahrzeuge insgesamt sicherer betrieben werden, benötigen seltener den Eingriff einer technischen Aufsicht oder keine Überwachung mehr und erfüllen damit die ethische Voraussetzung für einen flächendeckenden Einsatz. Auch im Hinblick auf das im Leitfaden vorgestellte Fallbeispiel einer überfluteten Straße könnten solche Fahrzeuge eine automatische Routenänderung ermöglichen und den Fahrbetrieb dadurch aufrechterhalten. Wie bereits in Kapitel 6.3 beschrieben, wird die dafür notwendige Kommunikationsinfrastruktur frühestens zwischen 2025 und 2030 verfügbar sein, wobei der Kommunikationsstandard noch nicht definiert ist. Dadurch entstehen weitere Unsicherheiten, weshalb sich die Entwicklung und der Einsatz intelligenter Shuttles verzögern kann und im Zukunftsszenario der Sozietät „Shuttle“ für den Zeitraum zwischen 2030 und 2040 angenommen wird. (vgl. Abbildung 6-1)

Aufgrund der Zusammensetzung der Sozietät „Shuttle“ mit befragten Fachpersonen, die hauptsächlich bei Verkehrsverbänden oder -unternehmen beschäftigt sind, ist es nicht überraschend, dass auch die Automatisierung größerer Fahrzeugmodelle erwünscht und angestrebt wird. Die technische Entwicklung der automatisierten Busse innerhalb des definierten Szenarios folgt dabei dem evolutionären Ansatz, greift aber auch definierte Entwicklungsschritte selbstfahrender Elektroshuttles auf. Über Busspuren und Leitstraßen könnte demnach bereits von 2030 bis 2040 ein Einsatz von größeren Bussen mit der dritten Automatisierungsstufe in städtischen Pilotprojekten erfolgen. Die Erprobung im ländlichen Raum erfolgt etwa fünf Jahre später. Analog zu selbstfahrenden Elektroshuttles erfolgt die technische Umsetzung der Automatisierungsstufe vier erneut in zwei Schritten. Zwischen 2035 und 2045 wird im definierten Szenario zunächst eine Weiterentwicklung der Busse für den Einsatz unter ständiger Überwachung durch die Leitzentrale angenommen. Anschließend werden auch die Busse in intelligente Fahrzeuge umgewandelt, wobei dieser Prozess im Jahr 2050 voraussichtlich nicht abgeschlossen sein wird. Auch die automatisierten Busse werden vermutlich zunächst in ÖV-Erschließungslücken, aber auch auf heutigen, kaum genutzten und damit extrem unwirtschaftlichen Relationen in städtischen Randlagen eingesetzt. Sobald es technisch umsetzbar ist, werden diese Fahrzeuge auch im ländlichen Raum eingesetzt. Die zeitliche Entwicklung der automatisierten Busse ist jedoch nicht quantifizierbar und mit hohen Unsicherheiten verbunden, da den befragten Fachpersonen zum Interviewzeitpunkt die verfügbare Automatisierung nicht bekannt war oder eine Automatisierung größerer Fahrzeugmodelle als sehr schwierig angesehen wurde. (vgl. Abbildung 6-1)

Im Zukunftsszenario, das auf Grundlage des identifizierten Leitbilds der Sozietät „Automobil“ abgeleitet wurde, werden die heutigen Pkw von der Automatisierungsstufe zwei bzw. der Stufe zwei Plus bis zur Stufe vier weiterentwickelt. Der Fokus wird im Szenario dabei auf die Automatisierung im fließenden und nicht im ruhenden Verkehr gelegt. Anlass und Ziel dieser technischen Entwicklung ist die Erhöhung der Sicherheit und des Komforts im Individualverkehr. Dennoch endet der Entwicklungspfad in diesem Zukunftsszenario mit dem Einsatz der Fahrzeuge der Automatisierungsstufe vier in kollektiv genutzten Mobilitätsangeboten in Megacities. Im Gegensatz zu den Angebotskonzepten aus dem ersten

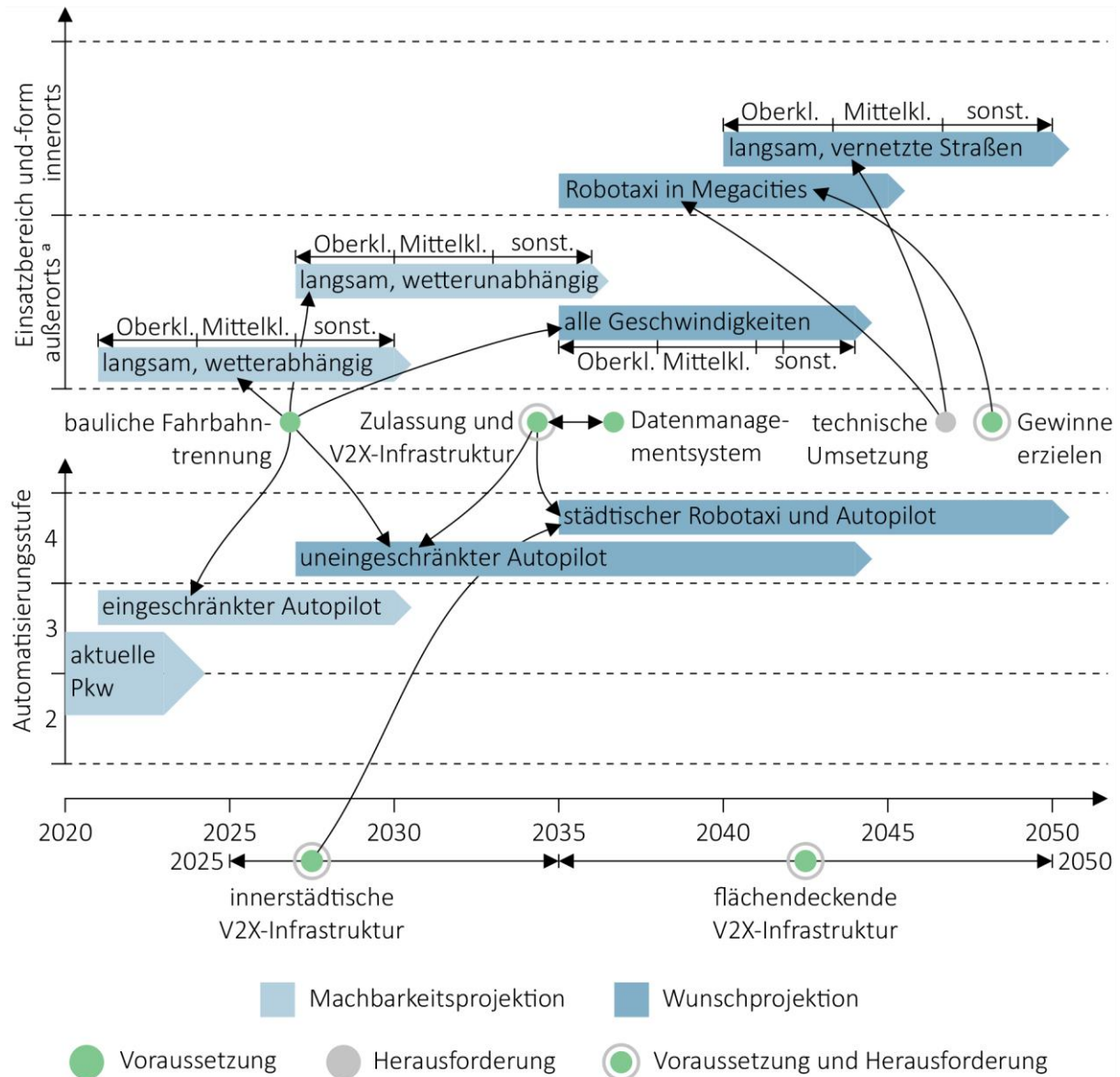
Zukunftsszenario werden hier jedoch Angebote in Konkurrenz zum ÖPNV und zur heutigen Taxibranche eingeführt. Diese entsprechen am ehesten dem Angebotstyp Robotaxi (vgl. Kapitel 5.2). Als wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz sehen die befragten Fachpersonen aus der Automobilindustrie eine wirtschaftliche Umsetzung dieser Angebote, insbesondere im Hinblick auf die niedrigen Einnahmen im ÖPNV- und Taxi-Gewerbe und die hohen Entwicklungskosten. Zusätzlich sind dafür zunächst technische Hürden zu überwinden, weshalb im Szenario eine Einführung erst für die Jahre 2035 bis 2045 angenommen wird. (vgl. Abbildung 6-2)

Bereits zur ersten Jahreshälfte 2022 werden Pkw mit Automatisierungsfunktionen der Stufe drei auf den Markt kommen, wobei diese Autopiloten zu Beginn nur in sehr engen Systemgrenzen einsetzbar sind. So werden für die Nutzung beispielsweise eine bauliche Trennung der Fahrbahnen und mit 60 km/h geringe Geschwindigkeiten gefordert. Dennoch kann sich der Fahrzeugführende dabei zum ersten Mal vollständig vom Verkehrsgeschehen abwenden und muss die Kontrolle erst nach Ankündigung des Fahrzeugs mit einer vorgegebenen Zeitreserve wieder übernehmen. Wie alle anderen technischen Weiterentwicklungen im Rahmen dieses definierten Szenarios, erfolgt die Markteinführung, und damit die erste Anwendung im Straßenverkehr, zunächst im Fahrzeugsegment der Oberklasse. In angenommenen Abständen von jeweils drei Jahren folgt eine Einführung in den weiteren Fahrzeugsegmenten. Demnach sind im Jahr 2030 für alle Fahrzeugsegmente entsprechend Pkw mit Automatisierungsstufe drei auf dem Markt verfügbar, wobei die Durchdringung der Pkw-Bestandsflotte voraussichtlich deutlich länger brauchen wird, da ein Pkw eine relativ lange Nutzungsdauer von knapp zehn Jahren hat. (vgl. Abbildung 6-2)

Nachfolgend wird die Automatisierungsstufe vier durch eine technische Weiterentwicklung des bereits beschriebenen Autopiloten erreicht. Dafür wird die Annahme getroffen, dass auch für die Nutzung dieser Automatisierungsfunktion zunächst eine Straße mit einer baulichen Fahrbahntrennung und ein niedriges Geschwindigkeitsniveau erforderlich sind. Jedoch kann das Fahrzeug alle Situationen innerhalb dieses Anwendungsfalls selbst lösen, weshalb der Fahrende nicht mehr zu einem Eingriff aufgefordert werden muss und sich noch stärker mit anderen Dingen beschäftigen kann. Auch hier wird eine ähnlich gestaffelte Einführung über die Fahrzeugsegmente von 2027 bis 2036 angenommen. Bereits ab 2035 wird für das Szenario ein geschwindigkeitsunabhängiger Einsatz des Autopiloten, jedoch nach wie vor auf Straßen mit baulich getrennten Fahrbahnen, angenommen. (vgl. Abbildung 6-2)

Für einen erfolgreichen Einsatz des beschriebenen Autopiloten der Automatisierungsstufe vier, wird nach Meinung der Fachpersonen aus der Sozietät „Automobil“ auch die Weiterentwicklung und Verfügbarkeit des vernetzten Fahrens erforderlich. Sehr große Datenmengen, die durch die Sensoren und Kameras im Fahrzeug erzeugt werden, müssen dazu aufbereitet und weitergegeben bzw. empfangen werden und führen auch zu einem erhöhten Energiebedarf. Eine Lösung zum Umgang mit diesen Herausforderungen ist neben der lückenlos verfügbaren V2X-Infrastruktur auch die Verfügbarkeit eines Datenmanagements, das vom jeweils zuständigen Baulasttragenden oder der zuständigen Kommune betrieben wird. Über eine solche Meldestelle oder digitale, selbst aktualisierende Karte

könnten die vernetzten Fahrzeuge auch auf Ereignisse wie Straßensperrungen hingewiesen werden. (vgl. Abbildung 6-2)



<sup>a</sup> Ein Einsatz ist nur auf Außerortsstraßen mit baulicher Fahrbahntrennung, beispielsweise auf Autobahnen, möglich.

**Abbildung 6-2:** Zukunftsszenario der Sozietät „Automobil“ <sup>235</sup>

Da es neben der Voraussetzung einer V2X-Infrastruktur weitere externe, für Automobilherstellende nicht oder nur bedingt beeinflussbare Herausforderungen gibt, wie die Definition eines einheitlichen Daten- und Kommunikationsstandards oder ein noch nicht bekannter Rechtsrahmen, sind die im

<sup>235</sup> vgl. KOLESCH, NEUMANN et al., 2022, S. 83.

Szenario beschriebenen zeitlichen Prognosen mit großen Unsicherheiten verbunden. Der Einsatz der Fahrzeuge innerhalb von Siedlungsgebieten könnte sich demnach um mehrere Jahre gegenüber der Annahme im Szenario verzögern. (vgl. Abbildung 6-2)

Auch der Einsatz von innerstädtischen Autopiloten für den Individualverkehr mit privaten Fahrzeugen wird zunächst nur auf Straßen mit einer vollständig ausgebauten V2X-Infrastruktur erwartet, da eine Umsetzung im komplexen Mischverkehr voraussichtlich nicht anders zu bewerkstelligen ist. Zudem wird auch hier ein Einsatz ausschließlich mit sehr niedrigen Geschwindigkeiten angenommen. (vgl. Abbildung 6-2)

Bereits knapp fünf Jahre früher, wird für das Jahr 2035 eine Verfügbarkeit in Form von kollektiv genutzten Mobilitätsangeboten in Megacities erwartet. Vorausgesetzt wird jedoch, dass das Angebot technisch umsetzbar und wirtschaftlich betreibbar ist. Da es sich bei den potenziellen Geschäftsgebieten zudem um internationale Megacities handelt, zu denen vermutlich keine deutsche Stadt, zumindest nicht zu diesem frühen Zeitpunkt, zu zählen ist, ist im Jahr 2050 nur mit sehr wenigen automatisiert fahrenden Fahrzeugen im innerstädtischen Bereich zu rechnen. (vgl. Abbildung 6-2)

## Bedürfnisse und Akzeptanz



## 7 Akzeptanz und Nutzungsintention des automatisierten Fahrens <sup>236</sup>

Wie bereits in Kapitel 3.2.3 erläutert, dient das nachfolgende Kapitel zur Beschreibung der erhobenen Akzeptanz und Nutzungsintention des automatisierten Fahrens. Der Fokus wird dabei auf selbstfahrende Elektroshuttles, also Fahrzeugmodelle des revolutionären Entwicklungsansatzes, gelegt. Die Akzeptanz und Nutzungsintention dieser Fahrzeuge wurde sowohl im BMVI-geförderten Projekt Hambach-Shuttle als auch im EFRE/Interreg-geförderten Projekt TERMINAL mit Onlinefragebögen erhoben. Neben dieser Anwendung der beiden Erhebungsinstrumente HOAF und TOAF, wurden zusätzlich die Fahrgäste aus den Testfahrten des Hambach-Shuttle und im Forschungsprojekt TERMINAL mit den Erhebungsinstrumenten HFAF bzw. TFAF fahrtbegleitend befragt.<sup>237</sup> Während auf den Testrouten in Hambach an der Weinstraße selbstfahrende Elektroshuttles eingesetzt wurden, wurden die Fahrgäste bei den Testfahrten im grenzüberschreitenden Raum mit einem Pkw unter Nutzung des Autopiloten befördert. Dadurch wird ein Vergleich der Akzeptanz zwischen revolutionär und evolutionär entwickelten Fahrzeugen möglich (vgl. Kapitel 3.1.1).

### 7.1 Stichprobenzusammensetzung

Um eine Vergleichbarkeit der Erhebungsergebnisse sicherzustellen, werden nachfolgend zunächst die Stichproben der verschiedenen Erhebungen differenziert nach Personeneigenschaften beschrieben. Die Stichprobenzusammensetzung ist insbesondere im Hinblick auf den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen, durch KUTTER (1972) begründeten und in dieser Dissertation gewählten Ansatz verhaltenshomogener Personengruppen von großer Bedeutung.

Mit 797 Personen die alle mindestens für die Auswertung relevanten Fragen beantwortet haben, wurde die größte Stichprobe mit dem Erhebungsinstrument TOAF erzielt, weshalb diese Onlinebefragung in den nachfolgenden Analysen detailliert betrachtet wird. Die Ergebnisse aus den anderen Erhebungen werden aufgrund der geringeren Stichproben ergänzend und vergleichend herangezogen. Auch wenn insbesondere bei der TOAF-Erhebung auch Personen aus Frankreich, Luxemburg und Belgien befragt wurden, werden die Anteile mit den entsprechenden Prozentsätzen der in Kapitel 3.2.1 ermittelten, deutschen Gesamtbevölkerung der Personen ab 15 Jahren, die aus den für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten abgeleitet wurden, verglichen.

---

<sup>236</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere die Ergebnisse aus den Erhebungsinstrumenten aus dem Forschungsprojekt TERMINAL, wurden bereits in ähnlicher Form durch das Projektkonsortium TERMINAL in 2022 auf den Seiten 20 und 21 einer Handreichung für Verkehrsbetriebe sowie in den projektbegleitenden Publikationen von BOUSONVILLE, RÖSLER, WOLNIAK et al. 2022 und BOUSONVILLE, RÖSLER, VOGT, WOLNIAK 2022 veröffentlicht.

<sup>237</sup> Erläuterung der Bezeichnung der Erhebungsinstrumente: Hambach-Shuttle Onlinebefragung zum automatisierten Fahren (HOAF), TERMINAL Onlinebefragung zum automatisierten Fahren (TOAF), Hambach-Shuttle-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren (HFAF) und TERMINAL-Erhebung fahrtbegleitend zum automatisierten Fahren (TFAF). (vgl. Kapitel 3.2.2)

Wie in der Grundgesamtheit sind die berufstätigen Personen in allen vier betrachteten Stichproben am stärksten vertreten. Bei der mit dem Erhebungsinstrument TOAF erzeugten Stichprobe macht diese Personengruppe einen Anteil von ca. 66 % aus, womit sie im Vergleich zur für das Jahr 2019 gewichteten Gesamtstichprobe aus den MOP-Daten etwas überrepräsentiert ist. Gleiches gilt für die Personengruppe der Studierenden mit einem Anteil von 8 %, während Personen im Ruhestand mit knapp 19 % etwas unterrepräsentiert sind. Auch Personen in der Schul- oder in einer beruflichen Ausbildung haben mit ca. 0,4 % bzw. ca. 0,8 % deutlich seltener an der TOAF-Befragung teilgenommen, als sie in der deutschen Gesamtbevölkerung der ab 15 Jahre alten Personen vertreten sind. Auch die Gruppe der zurzeit nicht berufstätigen Personen ist mit etwas mehr als 4 % in der nachfolgend detailliert betrachteten Stichprobe aus der TOAF-Erhebung seltener vertreten als an der Grundgesamtheit.<sup>238</sup> (vgl. Anhang C-1)

Bis auf Personen in der Schul- oder in einer beruflichen Ausbildung sind dennoch alle Personengruppen in der TOAF-Stichprobe mit einer Anzahl von 30 Personen oder mehr ausreichend repräsentiert, um eine Mindestqualität der Analyseergebnisse differenziert nach Personengruppen gewährleisten zu können. Dadurch ist für Studierende, Berufstätige, zurzeit nicht Berufstätige sowie Personen im Ruhestand eine Analyse der personengruppenspezifischen Akzeptanz und Nutzungsintention von selbstfahrenden Elektroshuttles möglich. Im Vergleich dazu sind die berufstätigen Personen in der HOAF-Stichprobe nochmals deutlich stärker vertreten und die Personen im Ruhestand deutlich unterrepräsentiert. Ausschließlich die Gruppe der Berufstätigen überschreitet den Mindestwert von 30 Personen, wodurch ein Vergleich der Ergebnisse aus der TOAF- und der HOAF-Erhebung auf personengruppenspezifischer Ebene nur für diese Personengruppe sinnvoll ist. (vgl. Anhang C-1)

Bei der fahrtbegleitenden Befragung haben beim Hambach-Shuttle, also bei der HFAF-Erhebung, mit 149 Personen deutlich mehr Personen alle mindestens für die Analyse relevanten Fragen beantwortet als bei der TFAF-Erhebung mit 60 Personen. Demnach wird beim Vergleichen der Erhebungsergebnisse die Stichprobe HFAF vorrangig herangezogen. Diese setzt sich zu fast gleichen Teilen aus Berufstätigen und Personen im Ruhestand zusammen, wodurch letztere Gruppe im Vergleich zur Grundgesamtheit stark überrepräsentiert ist. Diese beiden Gruppen überschreiten die für eine Mindestqualität der Analyseergebnisse notwendige Anzahl von mindestens 30 Personen, während sie von den Schülern und Schülerinnen, den Personen in beruflicher Ausbildung, den Studierenden und den zurzeit nicht berufstätigen Personen deutlich unterschritten wird. Eine Einzelbetrachtung ist hier demnach ausschließlich für Berufstätige und für Personen im Ruhestand sinnvoll. Für die TFAF-Stichprobe sollte nach dem Kriterium der Mindestgröße von 30 Personen eine personengruppenspezifische Einzelbetrachtung nach Lebensphasen und damit ein Vergleich differenziert nach Personengruppen mit den Ergebnissen aus der HFAF-Erhebung nur für Berufstätige durchgeführt werden. (vgl. Anhang C-1)

Zusammenfassend ist die personengruppenspezifische Analyse nach Lebensphasen der mit dem TOAF-Erhebungsinstrument ermittelten Akzeptanz und Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles nur

---

<sup>238</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 3,0 % in Schulbildung, 1,8 % in Ausbildung, 3,8 % im Studium, 58,4 % berufstätig, 7,8 % zurzeit nicht berufstätig und 25,1 % im Ruhestand (vgl. Kapitel 3.2.1).

für Studierende, Berufstätige, zurzeit nicht Berufstätige und Personen im Ruhestand sinnvoll, da hier eine Mindestqualität der Analyseergebnisse angenommen werden kann. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus der HOAF-, der HFAF- und der TFAF-Erhebung sollte ausschließlich für Berufstätige und bei der HFAF-Stichprobe auch für Personen im Ruhestand durchgeführt werden.

Außer bei der HOAF-Befragung haben an den Erhebungen in etwa gleich viele weibliche wie männliche Personen teilgenommen, wobei der weibliche Anteil bei der maßgebenden TOAF-Befragung mit 46 % etwas niedriger als der männliche liegt. Verglichen mit den für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten werden die Anteile der Grundgesamtheit der Personen ab 15 Jahren damit gut repräsentiert.<sup>239</sup> Dies gilt auch für die fahrtbegleitende Erhebung TFAF, wobei die Gruppe der Frauen die angestrebte Mindestzahl von 30 Personen geringfügig unterschreitet. Bei der fahrtbegleitenden Befragung des Hambach-Shuttle, also der HFAF-Erhebung, sind die Anteile fast deckungsgleich mit der deutschen Grundgesamtheit, da die weiblichen Personen einen minimal größeren Anteil einnehmen. Bei der HOAF-Befragung hingegen sind die männlichen Personen deutlich überrepräsentiert, wodurch die Stichprobe der Frauen erneut die Mindestanzahl von 30 Personen unterschreitet. (vgl. Anhang C-1)

Zusammenfassend wird die Verteilung nach dem Geschlecht der für 2019 gewichteten MOP-Daten durch die maßgebenden TOAF- und HFAF-Stichproben sehr gut repräsentiert und es kann aufgrund der Anzahl von mehr als 30 Personen eine Mindestqualität der Analysen differenziert nach dem Geschlecht gewährleistet werden. Ein personengruppenspezifischer Vergleich mit den Ergebnissen aus der HOAF- und der TFAF-Erhebung ist jedoch ausschließlich für den männlichen Stichprobenanteil sinnvoll.

Im Hinblick auf die Altersverteilung sind vor allem die Personen zwischen 30 und 44 Jahren, die an der Onlinebefragung im Forschungsprojekt TERMINAL, also an der TOAF-Erhebung, teilgenommen haben, sehr gut im Vergleich zur Grundgesamtheit der deutschen Bevölkerung ab 15 Jahren repräsentiert. Die Personen unter 30 Jahren sowie ab 60 Jahren sind hingegen leicht unterrepräsentiert. Die mit fast 36 % in der TOAF-Stichprobe am stärksten vertretene Gruppe der Personen zwischen 45 und 59 Jahren ist dadurch leicht überrepräsentiert und geht einher mit dem hohen Anteil der befragten Berufstätigen.<sup>240</sup> Insgesamt wird dadurch von jeder Altersgruppe die Mindestanzahl von 30 Personen überschritten, wodurch eine Einzelbetrachtung der erhobenen Akzeptanz und der Nutzungsintention auf Grundlage der TOAF-Stichprobe durchgeführt werden kann. Im Vergleich dazu wird dieser Grenzwert aufgrund des insgesamt sehr geringen Stichprobenumfangs bei der HOAF- und der TFAF-Erhebung von allen Gruppen unterschritten. Bei der HOAF-Erhebung ist diese Mindestanzahl von 30 Personen immerhin für die Personen zwischen 45 und 59 Jahren und die Personen mit 60 Jahren oder älter erreicht worden. Der hohe Personenanteil im Ruhestand macht sich hier ebenfalls im hohen Anteil an der letzteren

---

<sup>239</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 51,3 % weiblich und 48,7 % männlich (vgl. Kapitel 3.2.1).

<sup>240</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 18,6 % unter 30 Jahre, 22,3 % von 30 bis 44 Jahre, 26,1 % von 45 bis 59 Jahre und 33,0 % mit 60 Jahren oder älter (vgl. Kapitel 3.2.1).

Altersgruppe bemerkbar, die im Vergleich zur Grundgesamtheit deutlich überrepräsentiert ist. (vgl. Anhang C-1)

Zusammenfassend ist die personengruppenspezifische Analyse nach dem Alter der mit dem TOAF-Erhebungsinstrument ermittelten Akzeptanz und Nutzungsintention selbstfahrender Elektroschuttles für alle Altersgruppen sinnvoll, da hier jeweils eine Mindestqualität der Analyseergebnisse angenommen werden kann. Ein gruppenspezifischer Vergleich mit den Ergebnissen aus der HOAF-, der TFAF-Erhebung ist als kritisch zu bewerten und mit der HFAF-Stichprobe ausschließlich für die beiden Altersgruppen von 45 bis 59 Jahre und 60 Jahre oder älter möglich. Ein Vergleich mit jüngeren Personen wird erst möglich, wenn diese in einer Altersgruppe mit Personen unter 45 Jahren zusammengefasst werden.

Da sich an den Erhebungen im Forschungsprojekt TERMINAL auch Personen mit Wohnsitz in Frankreich, Luxemburg und Belgien beteiligt haben, müssen für einen Vergleich mit den Daten aus dem MOP sowie den Erhebungsergebnissen aus dem Forschungsprojekt Hambach-Shuttle die Anteile der Personen nach dem Land des Wohnortes ermittelt werden. Sowohl in der TOAF- als auch in der TFAF-Erhebung hat mit knapp 42 % bzw. 70 % die Mehrheit der befragten Personen angegeben, dass sie in Deutschland ihren Wohnsitz hat. Während die übrigen 30 % der Fahrgäste aus der TFAF-Erhebung in Frankreich wohnhaft war, stammten die übrigen Teilnehmenden der Onlinebefragung aus mehreren Ländern. Auch bei der TOAF-Erhebung war jedoch der zweitgrößte Anteil mit fast 35 % ebenfalls in Frankreich wohnhaft. Fast 19 % stammten aus Belgien und fast 5 % aus Luxemburg.

Die Verkehrsmittelwahl ist vom verfügbaren ÖV-Angebot und damit erneut vom Wohnort abhängig. Wie Statistiken zeigen, gilt dies insbesondere für den ÖV und den MIV.<sup>241</sup> Daher ist eine Unterscheidung der Stichprobe nach den siedlungsstrukturellen Eigenschaften des Wohnortes zusätzlich sinnvoll. Grundlage hierfür bietet die Postleitzahl, die in allen betrachteten Erhebungen erfragt wurde. Darauf aufbauend wurde die Einwohnerzahl der größten Gemeinde in der Postleitzahlregion abgeleitet, die vereinfachend als maßgebliche Einwohnerzahl des Wohnortes angenommen wird. Demnach war mit über 41 % der Großteil der befragten Personen aus der TOAF-Stichprobe zum Erhebungszeitpunkt in einer Gemeinde mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern beheimatet. Der zweitgrößte Teil stammte mit über 22 % aus Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern und der drittgrößte Teil mit ca. 19 % aus Gemeinden mit weniger als 5.000 Einwohnern. Personen aus den niedrigsten beiden Einwohnerzahlklassen sind damit im Vergleich zur Grundgesamtheit der deutschen Bevölkerung überrepräsentiert. Der Personenanteil aus Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern liegt bei den für 2019 gewichteten MOP-Daten hingegen etwas höher. Während die Anteile der Personen aus Gemeinden mit 100.000 bis unter 500.000 Einwohnern in der TOAF-Stichprobe sehr gut repräsentiert werden, wurde die letzte Gruppe an Personen, die zum Befragungszeitpunkt in Gemeinden mit

---

<sup>241</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.; vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 45–49; vgl. AGORA VERKEHRSWENDE, 2021.

500.000 Einwohnern oder mehr wohnhaft war, durch die Onlinebefragung beinahe nicht erreicht.<sup>242</sup> Im Hinblick auf die Anzahl der Personen kann demnach auch für alle Gruppen bis auf die Personen aus der letzten Einwohnerzahlklasse eine Mindestqualität für gruppenspezifische Analysen angenommen werden, da die Teilstichprobe jeweils mindestens 30 Personen umfasst. (vgl. Anhang C-2)

Vergleichend dazu, sind auch bei den HOAF-, HFAF- und TFAF-Erhebungen entweder die Personen aus Gemeinden mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern oder die Personen aus Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern überrepräsentiert. Aufgrund der geringen Gesamtstichproben wird demnach bei der HOAF-Stichprobe lediglich für die Gruppe der Bewohner und Bewohnerinnen von Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern und bei der TFAF-Stichprobe lediglich für Personen aus Gemeinden mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern das Mindestziel von 30 Personen erreicht. Die fahrtbegleitende Befragung der Fahrgäste im Hambach-Shuttle, also die HFAF-Erhebung, erzielte diesen Wert immerhin für beide der maßgeblich repräsentierten Einwohnerzahlklassen. (vgl. Anhang C-2)

Zusammenfassend kann die mit der TOAF-Erhebung ermittelte Akzeptanz und Nutzungsintentionen von selbstfahrenden Elektroschuttles nicht für Bewohner und Bewohnerinnen von Gemeinden mit mehr als 500.000 Einwohnern verallgemeinert werden und überrepräsentiert kleinere Gemeinden und Kleinstädte. Ein differenzierter Vergleich nach Wohnorten mit den übrigen Erhebungsergebnissen ist lediglich für kleine und/oder große Kleinstädte zulässig.

Neben der infrastrukturellen Verfügbarkeit des ÖV-Angebotes spielt auch die individuelle Ausstattung einer Person mit Mobilitätswerkzeugen eine wichtige Rolle für das Verkehrsmittelwahlverhalten. Darunter sind vor allem der Führerscheinbesitz, die Pkw-Verfügbarkeit und der Besitz einer Zeitkarte für den ÖV zu verstehen.<sup>243</sup>

Im Vergleich zur Grundgesamtheit, entsprechend der für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten, liegt die Führerscheinbesitzquote und damit einhergehend die Pkw-Verfügbarkeit bei allen vier betrachteten Stichproben überdurchschnittlich hoch. In der TOAF-Stichprobe betragen diese Anteile über 93 % bzw. fast 86 %. Im Vergleich dazu liegt der Anteil der TOAF-Stichprobe, der zum Befragungszeitpunkt eine Zeitkarte für den ÖV besaß, mit knapp 21 % deutlich niedriger. Dieser Anteil repräsentiert die Anteile aus der Grundgesamtheit wiederum sehr gut. In den anderen Erhebungen zum automatisierten Fahren sind die Anteile zum ÖV-Besitz jedoch noch niedriger und damit unterrepräsentiert.<sup>244</sup> Ein Vergleich der Akzeptanz und Nutzungsintention aus der TOAF-Erhebung mit diesen Erhebungen ist auch aufgrund der

---

<sup>242</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 13,5 % mit Wohnsitz in Gemeinden unter 5.000 Einwohnern, 25,1 % in Gemeinden mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern, 27,4 % in Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern, 16,1 % in Gemeinden mit 100.000 bis unter 500.000 Einwohner und 18,0 % in Gemeinden mit 500.000 Einwohnern oder mehr (vgl. Kapitel 3.2.1).

<sup>243</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.

<sup>244</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 86,3 % Personen mit Führerscheinbesitz, 75,8 % Personen mit Pkw-Verfügbarkeit und 23,0 % ÖV-Zeitkartenbesitz (vgl. Kapitel 3.2.1).

niedrigen Gesamtstichproben demnach ausschließlich für Personen mit Führerschein bzw. mit Pkw-Verfügbarkeit möglich. (vgl. Anhang C-3)

## 7.2 Bewertung des automatisierten Fahrens

Basierend auf der Diffusionstheorie nach ROGERS (1983) wurde zunächst die Technologieaffinität bzw. der von den Befragten angestrebte Erprobungszeitpunkt neuer Technologien erhoben, um die Bewertung und später auch die Akzeptanz und Nutzungsintention des automatisierten Fahrens bzw. von selbstfahrenden Elektroshuttles besser interpretieren zu können (vgl. Kapitel 3.2.3).

In der TOAF-Erhebung gaben knapp 20 % der Befragten an, neue Technologien als erstes zu erproben, während die Mehrheit mit fast 53 % angab, bei der Erprobung mittendrin zu sein. Mehr als 27 % gaben letztlich an, dass sie technische Innovationen als letztes erproben. Demnach sind die erste und die letzte Gruppe in der Stichprobe im Vergleich zur Diffusionstheorie nach ROGERS (1983) überrepräsentiert, während die mittlere Gruppe leicht unterrepräsentiert ist.<sup>245</sup> (vgl. Tabelle 7-1)

Auch in den zu vergleichenden Erhebungen sind die Personen, die innovative Technologien als erstes nutzen möchten, überrepräsentiert. Am stärksten trifft dies auf die HOAF-Erhebung als auch auf die TFAF-Erhebung zu. Lediglich bei der HFAF-Erhebung, ist der Anteil der Fahrgäste, der neue Technologien mittendrin erproben möchte, im Vergleich zur Diffusionstheorie sehr gut repräsentiert. Dadurch ist auch in den HOAF-, HFAF- und TFAF-Stichproben die Personengruppe, die neue Technologien erst als letztes erproben möchte, unterrepräsentiert. (vgl. Tabelle 7-1)

Soll die Akzeptanz und Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles bei der TOAF-Erhebung differenziert nach der Technologieaffinität betrachtet werden, so ist hierfür eine Mindestqualität der Analyseergebnisse gewährleistet, da alle drei Gruppen die Anzahl von 30 Personen überschreiten. Mit dieser Voraussetzung ist ein Vergleich mit den Ergebnissen aus der HOAF-Erhebung differenziert nach der Technologieaffinität ausschließlich für Personen, die bei der Erprobung unter den ersten sind, sinnvoll. Bei den Ergebnissen aus der HFAF-Erhebung, ist ein Vergleich sowohl mit dieser Gruppe als auch mit den Personen, die sich bei der Erprobung mittendrin sehen, möglich. Ein solcher Vergleich mit den Ergebnissen aus der TFAF-Erhebung sollte wiederum ausschließlich für Personen aus der mittleren Gruppe durchgeführt werden. (vgl. Tabelle 7-1)

Da anzunehmen ist, dass sich der angestrebte Erprobungszeitpunkt nicht nur in der Akzeptanz und der Nutzungsintention, sondern auch im Kenntnisstand zur Thematik äußert, wurde diese ebenfalls erfragt. Demnach gaben in der TOAF-Erhebung immerhin ca. 30 % der befragten an, bereits von der Technologie gehört zu haben und 39 %, dass sie bereits über ein fundiertes theoretisches Wissen zur Thematik verfügen. Aufgrund des hohen Anteils an der HOAF-Stichprobe, die sich unter den Ersten sehen, wenn

---

<sup>245</sup> Entsprechend der Diffusionstheorie sind insgesamt 16 % zu den Innovatoren (innovators) und frühen Übernehmern (early adopters), 68 % zur frühen und späten Mehrheit (early bzw. late majority) und 16 % zu den Nachzüglern (laggards) zu zählen. (vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. ROGERS, 1983, S. 245–251; vgl. KARNOWSKI, KÜMPEL, 2016, S. 102 f.)

es darum geht technologische Innovationen zu erproben, ist es nicht verwunderlich, dass hier fast 28 % angaben, schon einmal mit einem selbstfahrenden Elektroshuttle mitgefahren zu sein. Im Vergleich dazu liegt dieser Anteil bei der TOAF-Stichprobe mit knapp 8 % etwas niedriger. Der Zusammenhang zwischen dem angestrebten Erprobungszeitpunkt neuer Technologien und dem angegebenen Kenntnisstand zum automatisierten Fahren äußert sich in der HOAF-Erhebung daher mit einem positiven, mittleren Spearman-Koeffizienten mit hoher Signifikanz ( $\rho = 0,39$ ;  $p < 0,01$ ) deutlicher als bei der TOAF-Erhebung. Hier ist lediglich eine niedrige, ebenfalls positive Rangkorrelation mit einer hohen Signifikanz ( $\rho = 0,29$ ;  $p < 0,01$ ) beobachtbar. In den fahrtbegleitenden Erhebungen ist der Kenntnisstand nicht abgefragt worden.

**Tabelle 7-1:** Technologieaffinität der befragten Personen zum automatisierten Fahren

Kenngröße	Onlinefragebögen		fahrtbegleitende Erhebung	
	HOAF	TOAF	HFAF	TFAF
Personenstichprobe	54	797	149	60
Erprobungszeitpunkt neuer Technologien				
unter den Ersten	50,0 %	19,9 %	25,5 %	35,0 %
Mittendrin	42,6 %	52,6 %	65,1 %	55,0 %
unter den Letzten	7,4 %	27,5 %	9,4 %	10,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

Neben der Technologieaffinität wurde zusätzlich erhoben, wie die Befragten das automatisierte Fahren bewerten, ob sie damit eher Vor- oder eher Nachteile verbinden. Bei der für die Akzeptanzuntersuchung maßgebenden TOAF-Stichprobe gab mit über 40 % der Großteil der Befragten an, dass er eher Vor- als Nachteile in der Fahrzeugautomatisierung sieht. Lediglich ca. 14 % gaben an, dass sie eher Nachteile sehen während sich etwas mehr als 30 % differenzierter äußerten und sowohl Vor- als auch Nachteile zum Zeitpunkt der Befragung sahen. Im Vergleich dazu liegt der Anteil der HOAF-Stichprobe, der zum Befragungszeitpunkt eher Vorteile sah, mit über 61 % deutlich höher. Ein Grund hierfür liegt vermutlich erneut in der hohen Technologieaffinität der HOAF-Stichprobe, dies kann mit einer Korrelationsanalyse jedoch nicht bestätigt werden. (vgl. Tabelle 7-2)

Auch der Testbetrieb im grenzüberschreitenden Raum zwischen Deutschland und Frankreich wurde mit insgesamt 65 % von einem Großteil der Stichprobenpersonen aus der TOAF-Erhebung entweder eher oder sehr begrüßt. Während 16 % angaben, dass sie den Einsatz des Pkw unter Nutzung des Autopiloten weder begrüßen noch ablehnen, gaben fast 19 % der Befragten an, dass sie ihn eher nicht oder gar nicht begrüßen würden. Bei der HOAF-Stichprobe fiel die Bewertung des Testbetriebs mit selbstfahrenden Elektroshuttles im Ortsteil Hambach an der Weinstraße erneut etwas positiver aus. So wurde der Einsatz

mit fast 92 % von der großen Mehrheit eher oder sehr begrüßt. Erneut dürfte dies mit der positiven Einstellung gegenüber der Automatisierungstechnologie und mit der Technologieaffinität der befragten Personen zusammenhängen. Dass diese Einstellung nicht zwingend mit der der Gesamtbevölkerung übereinstimmen muss, zeigten zahlreiche Bürgerinitiativen, die während des Forschungsprojektes im Ortsteil gegründet wurden und das Vorhaben kritisch bewerteten. (vgl. Tabelle 7-2)

**Tabelle 7-2:** Bewertung des automatisierten Fahrens vorab

Kenngröße	Onlinefragebögen	
	HOAF	TOAF
Personenstichprobe	54	797
Vor- und Nachteile		
eher Vorteile	61,5 %	40,5 %
eher Nachteile	1,9 %	14,2 %
sowohl als auch	34,6 %	30,4 %
weder noch	1,9 %	14,9 %
Bewertung Testbetrieb		
gar nicht begrüßen	4,2 %	9,6 %
eher nicht begrüßen	0,0 %	9,2 %
weder noch begrüßen	4,2 %	16,0 %
eher begrüßen	31,3 %	29,1 %
sehr begrüßen	60,4 %	35,9 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

Einen weiteren Hinweis auf die Bewertung des automatisierten Fahrens und damit einhergehend auf die Akzeptanz, geben Begriffe, die die befragten Personen mit der Technologie verknüpfen. Sowohl bei der TOAF- als auch bei der HOAF-Erhebung konnten die Stichprobenpersonen maximal drei Begriffe aus einer Liste von insgesamt 13 Begriffen auswählen. Die zur Verfügung gestellten Begriffe können Tabelle 7-3 entnommen werden.

Befragte aus der TOAF-Erhebung verbinden demnach überwiegend eine oder mehrere positive Assoziationen mit dem Einsatz eines selbstfahrenden Elektroshuttles. Die drei am häufigsten ausgewählten Begriffe sind demnach Neugierde mit über 59 %, Technologiebegeisterung mit ca. 48 % und Aufgeschlossenheit mit etwas mehr als 40 % der Stichprobenpersonen, die diese Frage beantworteten. Auch bei der HOAF-Erhebung wurden diese drei Begriffe am häufigsten von den Befragten ausgewählt. Dieses Ergebnis lässt die Schlussfolgerung zu, dass ein Einsatz der selbstfahrenden Fahrzeuge zum Befragungszeitpunkt sehr stark mit einer Technologieerprobung und



weniger mit einer emotionalen Verbundenheit mit einer möglichen künftigen Lösung für die Alltagsmobilität verknüpft wurde. (vgl. Tabelle 7-3)

Die am häufigsten gewählten neutralen oder negativen Assoziationen mit dem automatisierten Fahren sind bei beiden Erhebungen die Zweifel, ein Gleichgültigkeitsgefühl und das Misstrauen. In der TOAF-Erhebung wurden diese Assoziationen von ca. 27 %, etwas mehr als 19 % und knapp 18 % gewählt. Daraus kann erneut der wahrgenommene Status der selbstfahrenden Elektroshuttles als Prototyp oder als Erprobungsfahrzeug, dessen Technologie zwar noch nicht als völlig zuverlässig aber dennoch nicht als eine Gefahr angesehen wird, abgeleitet werden. (vgl. Tabelle 7-3)

**Tabelle 7-3:** Assoziationen mit dem automatisierten Fahren vorab

Kenngröße	Onlinefragebögen	
	HOAF	TOAF
Personenstichprobe	54	324 <sup>a</sup>
positive Assoziationen		
Neugierde	70,4 %	59,3 %
Technologiebegeisterung	63,0 %	48,1 %
Aufgeschlossenheit	46,3 %	40,4 %
Abenteuer	18,5 %	11,1 %
Aufregung	16,7 %	9,0 %
Freude	20,4 %	7,4 %
Unterhaltung	11,1 %	3,1 %
neutrale und negative Assoziation		
Zweifel	14,8 %	27,2 %
Gleichgültigkeit	13,0 %	19,4 %
Misstrauen	5,6 %	17,9 %
Unentschlossenheit	5,6 %	13,9 %
Angst	0,0 %	9,6 %
Ablehnung	1,9 %	9,0 %

*Anmerkung:* Die Antwortoptionen wurden anhand der Anteile in der TERMINAL-Erhebung sortiert.

<sup>a</sup> Die Begriffe wurden nur bei einem Teil der Gesamtstichprobe abgefragt.

Zusätzlich zu dieser theoretischen Bewertung des automatisierten Fahrens, wurden mit der HFAF- und TFAF-Erhebung die Fahrgäste der Testfahrten zu wahrgenommenen Fahrzeugeigenschaften befragt. Zudem wurden sie um eine Bewertung des zur Verfügung gestellten Mobilitätsangebotes gebeten. Die Ergebnisse beruhen auf insgesamt 149 Wegeprotokollen der Fahrgäste im Projekt Hambach-Shuttle und 207 Wegeprotokollen der Fahrgäste im Projekt TERMINAL. Während bei der HFAF-Erhebung jeder

Fahrgast theoretisch lediglich einmal mitgefahren ist, waren bei der TFAF-Erhebung insgesamt neun Personen dazu berechtigt, das Angebot über den Testzeitraum hinweg dauerhaft zu nutzen. Fünf dieser Personen haben im Testzeitraum mehrere Wegeprotokolle ausgefüllt und alle für die Auswertung relevanten Angaben gemacht. Da die situative Empfindung von den Fahrgästen während der Nutzung des Fahrzeugs bewertet wurde, wird die Nullhypothese aufgestellt, dass eine Stichprobenverzerrung durch eine Mehrfachbewertung durch dauerhaft nutzende Personen nicht zu beobachten ist. Eine Stichprobenverzerrung wäre dann gegeben, wenn sich die Mittelwerte über alle Wegeprotokolle von den Mittelwerten über einen reduzierten Datensatz, ohne Mehrfachbewertungen, unterscheiden würden. Zur Überprüfung wurde der Wegeprotokolldatensatz mit Hilfe einer Zufallszahl auf eine Bewertung pro Person reduziert. Die Mittelwerte aus dem vollständigen Datensatz wurden mit den Mittelwerten aus dem reduzierten Datensatz mit Hilfe eines t-Tests verglichen. Dieses Verfahren wurde im Sinne einer Monte-Carlo-Simulation 100-mal wiederholt und anschließend wurde der Mittelwert der berechneten t-Werte bzw. der berechneten p-Werte ermittelt. Für die meisten Bewertungen ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten beobachtbar. Die Nullhypothese kann also für diese Variablen bestätigt werden. Im Hinblick auf den Zugangsweg, das empfundene Bremsverhalten und die Bewertung der Fahrgeschwindigkeit, ist hingegen ein signifikanter Einfluss der mehrfach ausgefüllten Wegeprotokolle beobachtbar. Gleiches gilt für das Empfinden einer entspannten oder das Empfinden einer aufregenden Fahrt. (vgl. Tabelle 7-4)

Eine zunehmend positive Bewertung einhergehend mit einer zunehmenden Nutzungshäufigkeit, die auf Grundlage dieses Ergebnisses vermutet werden könnte, wird mit Hilfe einer Korrelationsanalyse jedoch nicht eindeutig bestätigt. Bei den Variablen, bei denen sich die Mittelwerte in der vorigen Untersuchung signifikant unterschieden haben, besteht bei Fokussierung auf die Wegeprotokolle dauerhaft nutzender Personen, häufig nur eine niedrige Rangkorrelation mit der bereits zurückliegenden Anzahl an Nutzungen. Es können hierbei lediglich drei mittlere, positive Zusammenhänge beobachtet werden, die signifikant sind. Einerseits besteht eine solche Rangkorrelation mit der Angabe, ob eine Person die Fahrt als aufregend empfunden hat oder nicht ( $p = 0,32$ ;  $p < 0,01$ ) und andererseits mit der Bewertung des Bremsverhaltens ( $p = 0,30$ ;  $p < 0,01$ ) sowie der Bewertung der Fahrzeuggeschwindigkeit ( $p = 0,36$ ;  $p < 0,01$ ). Weitere Rangkorrelationen zwischen der Häufigkeit der bereits zurückliegenden Nutzungen und der Bewertung der Fahrzeugeigenschaften oder des Mobilitätsangebotes wurden ebenfalls aufgedeckt, werden nachfolgend jedoch nicht näher betrachtet, da hierfür kein Einfluss auf eine mögliche Stichprobenverzerrung beobachtbar war und die Korrelationen ebenfalls lediglich im niedrigen oder mittleren Bereich nach COHEN (1988) liegen.<sup>246</sup>

Um die Stichprobenverzerrung näher zu untersuchen und den Einfluss der Zugehörigkeit zur Gruppe der dauerhaft nutzenden Personen auf die Bewertung ermitteln zu können, ist die Durchführung eines Chi-Quadrat-Unabhängigkeits-Test und die Berechnung von Cramérs V notwendig (vgl. Kapitel 3.2.4). Da im

---

<sup>246</sup> vgl. Kapitel 3.2.4 bzw. vgl. COHEN, 1988, S. 75–83.

Testbetrieb jedoch lediglich neun dauerhaft nutzende Personen beteiligt waren und nur fünf davon alle für die Auswertung relevanten Angaben gemacht haben, ist mit einer solchen Untersuchung die Ableitung von verallgemeinerbaren Erkenntnissen nicht zulässig. Daher kann die minimal beobachtbare Verzerrung der Stichprobe durch eine Mehrfachnutzung nicht abschließend aufgeklärt werden und wird bei den nachfolgenden Auswertungen nicht berücksichtigt.

**Tabelle 7-4:** Bewertung des automatisierten Fahrens durch Fahrgäste

Kenngröße	fahrtbegleitende Erhebung			
	HFAF		TFAF	
	M	SD	M	SD
<b>Bewertung des Fahrzeugs und des Mobilitätsangebotes</b>				
Einstieg unproblematisch	4,75	0,76	4,94	0,34
Keine Hilfe bei Einstieg benötigt	4,82	0,66		
angemessener Zugangsweg			4,83 <sup>a</sup>	0,55
sehr komfortable Nutzung	3,95	1,07	4,89	0,39
Sitzkomfort	4,16	0,94	4,94	0,39
Stauraum	3,88	1,07	4,65	0,70
Bremsvorgang	3,12	1,36	4,70 <sup>a</sup>	0,66
Fahrgeschwindigkeit	3,18	1,25	4,78 <sup>a</sup>	0,47
Fahrtenbündelung (Pooling)			4,77	0,63
<b>Bewertung des Fahrgefühls</b>				
sicher gefühlt <sup>b</sup>	4,72	0,64	4,79	0,53
Sicherheitsempfinden	4,54	0,75	4,74	0,62
Fahrgefühl/-komfort	3,97	1,03	4,86	0,39
Fahrt war sehr aufregend			4,49 <sup>a</sup>	0,94
Fahrt war sehr entspannt			4,81 <sup>a</sup>	0,47
Empfehlenswert	4,68	0,70	4,85	0,41

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe von N = 149 Wegeprotokolle in der HFAF-Erhebung und N = 207 Wegeprotokolle in der TFAF-Erhebung. Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Statistiken unberücksichtigt. Ein t-Test ergibt für alle Mittelwertvergleiche außer für die mit <sup>b</sup> gekennzeichneten Kenngrößen eine signifikante Abweichung mit  $p < 0,01$ . Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben. Alle Parameter konnten mit einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 (niedrige Zustimmung oder negative Bewertung) bis 5 (hohe Zustimmung oder positive Bewertung) bewertet werden.

<sup>a</sup> Ein t-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen dem auf Grundlage aller Wegeprotokolle berechneten Mittelwert und dem Mittelwert, berechnet auf Grundlage eines über Zufallszahlen reduzierten Datensatzes (N = 47) mit einer Bewertung pro Person.

<sup>b</sup> Einzige Kenngröße, für die sich die Mittelwerte aus der HFAF- und der TFAF-Erhebung nicht signifikant unterscheiden.

Ein Vergleich der mittleren Bewertung der Fahrzeugeigenschaften, des Mobilitätsangebotes sowie des empfundenen Fahrgefühls zwischen der HFAF- der TFAF-Erhebung ergibt lediglich für das Gefühl der Sicherheit während der Fahrt eine Übereinstimmung. Für alle anderen, in den Erhebungen abgefragten Items ergibt der durchgeführte t-Test eine signifikante Abweichung mit einem p-Wert unter 0,01. Die Nullhypothese, dass beide Stichproben aus derselben Grundgesamtheit stammen, ist also zu verwerfen und es ist die Alternativhypothese anzunehmen. Die signifikant unterschiedlichen Mittelwerte könnten nicht nur in der Teilnahme unterschiedlicher Personen an den Erhebungen begründet liegen, sondern auch an der Bewertung der unterschiedlichen Entwicklungsansätze. Während die Fahrgäste in der HFAF-Erhebung selbstfahrende Elektroshuttles, also Fahrzeuge des revolutionären Entwicklungsansatzes, bewertet haben, handelte es sich in der TFAF-Erhebung um die Bewertung des Autopiloten eines Pkw, also um ein Automatisierungssystem nach dem evolutionären Entwicklungsansatz. (vgl. Tabelle 7-4 und Kapitel 3.1.1)

Im Hinblick auf die genutzte fünfstufige Likert-Skala von eins bis fünf, wurden die Eigenschaften sowie das Fahrgefühl in beiden Erhebungen mit durchschnittlichen Werten oberhalb von drei durchaus positiv bewertet.<sup>247</sup> Die größten Unterschiede zwischen den beiden Erhebungen sind bei der durchschnittlichen Bewertung der Fahrgeschwindigkeit, des Bremsverhaltens und des Fahrgefühls bzw. Fahrkomforts zu beobachten. Diese Kenngrößen werden von den Fahrgästen des selbstfahrenden Elektroshuttles, also in der HFAF-Erhebung, mit Werten zwischen 3,1 und 4,0 deutlich schlechter bewertet als von Fahrgästen des Pkw unter Nutzung des Autopiloten, also in der TFAF-Erhebung. Diese bewerteten die drei Items durchschnittlich mit Werten zwischen 4,7 und 4,9. Die geringsten absoluten Unterschiede sind bei den Items zur Einstiegssituation, zum Sicherheitsgefühl und -empfinden sowie zur Bereitschaft, eine Nutzung weiter zu empfehlen, beobachtbar. Diese Eigenschaften wurden sowohl von der HFAF- als auch von der TFAF-Stichprobe mit Werten zwischen 4,5 und 4,8 bzw. 4,7 und 4,9 sehr positiv bewertet. (vgl. Tabelle 7-4)

Im Hinblick auf die Top Box und die Low Box, ist die mit 94 % am positivsten bewertete Eigenschaft des eingesetzten selbstfahrenden Elektroshuttles Olli 2.0, dass beim Einstieg keine Hilfe benötigt wurde. Ebenfalls positiv bewertet wurde in der HFAF-Erhebung das Sicherheitsgefühl während der Fahrt, mit einem Top-Box-Anteil von 94 %, und die Bereitschaft zur Weiterempfehlung der Nutzung, mit einer Auswahl der Skalenwerte vier oder fünf durch etwas mehr als 93 % der Teilnehmenden.

Die beiden am schlechtesten bewerteten Kenngrößen sind das Bremsverhalten mit einem Anteil der Low Box von über 36 % sowie die Fahrgeschwindigkeit mit einem entsprechenden Anteil von über 31 %. Hierin werden insbesondere der bereits in den Kapiteln 4 und 6.2 beschriebene, prototypische Status und die damit zusammenhängenden Systemgrenzen der selbstfahrenden Elektroshuttles sichtbar. Die damit zusammenhängenden, sehr niedrigen Geschwindigkeiten sowie das abrupte Bremsverhalten

---

<sup>247</sup> In der HFAF-Erhebung stand der Wert eins für „stimme überhaupt nicht zu“ oder „Verbesserungsbedarf“ und der Wert fünf für „stimme voll und ganz zu“ oder „besonders zufriedenstellend“. In der TFAF-Erhebung wurde „Verbesserungsbedarf“ durch „überhaupt nicht zufrieden“ und „besonders zufriedenstellend“ durch „besonders zufrieden“ ersetzt.

wurden deshalb auch von vielen Fahrgästen in einem Freifeldtext für Verbesserungsvorschläge thematisiert. Demnach wurde das Bremsverhalten von fast 43 % der Teilnehmenden an dieser Frage als abrupt, ruckartig, stark, hart, unsanft oder ruppig beschrieben. Die niedrige Geschwindigkeit wurde von ca. 26 % bemängelt, auch wenn einige Teilnehmenden der HFAF-Erhebung aufgrund des aktuellen, technischen Standes, Verständnis äußerten.

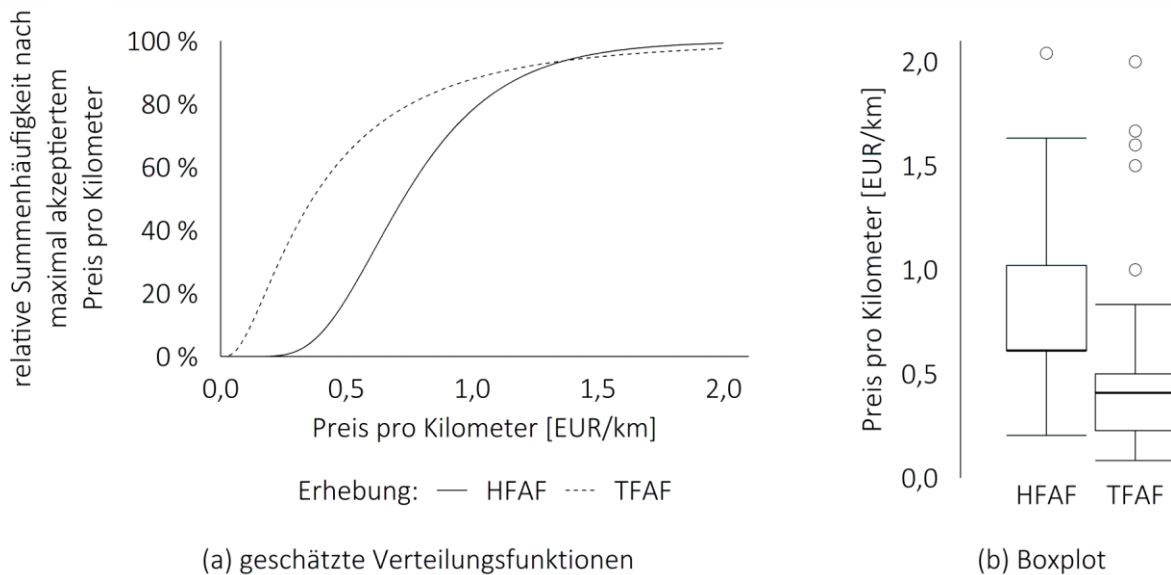
Die Fahrzeugeigenschaften, das Mobilitätsangebot und das Fahrgefühl wurden in der TFAF-Erhebung für fast alle Items mit einem Anteil der Top Box von über 90 % sehr positiv bewertet. Eines von zwei Items, das weniger Zustimmung erhält, ist das Empfinden der Fahrt als aufregend. Dieses wurde mit einem niedrigeren Top-Box-Anteil von unter 83 % und einem minimal erhöhten Low-Box-Anteil von fast 4 % bewertet. Die andere, von der TFAF-Stichprobe schlechter bewertete Kenngröße ist das Bremsverhalten mit einem Anteil der Top Box von fast 89 %. Der übrige Anteil entfällt hier auf den neutralen Skalenwert drei.

Ein weiterer Parameter, aus dem die Bewertung einer neuen Technologie oder Dienstleistung ableitbar ist, ist der Betrag, den eine Person maximal bereit ist zu zahlen, um die Technologie oder Dienstleistung in Anspruch zu nehmen. Der in der HFAF- und TFAF-Erhebung bei den Fahrgästen abgefragte absolute Fahrpreis, wurde für eine bessere Vergleichbarkeit jeweils durch die zurückgelegte Distanz dividiert. In der HFAF-Erhebung handelt es sich dabei um die Gesamtlänge der Testroute, also 4,9 Kilometer (vgl. Kapitel 4.2.1). Da Fahrgäste in der TFAF-Erhebung, für die eine Nutzung über einen längeren Zeitraum ermöglicht wurde, unterschiedliche Teilabschnitte der gesamten Route nutzten und Fahrgäste aus den Einzelfahrten teilweise deutlich kürzere Strecken zurücklegten, wurde bei dieser Stichprobe als Bezugsgröße die von den Fahrgästen im Wegeprotokoll angegebene Distanz herangezogen.

Mit Hilfe einer anschließenden Maximum-Likelihood-Schätzung der zur jeweiligen Summenhäufigkeit passenden Verteilungsfunktion, ergibt sich sowohl bei der HFAF- als auch bei der TFAF-Stichprobe eine logarithmierte Normalverteilung für die Zahlungsbereitschaft in Euro pro Kilometer. Bei einem Vergleich der beiden Verteilungskurven fällt auf, dass die Zahlungsbereitschaft pro Kilometer beim Testbetrieb im Projekt Hambach-Shuttle etwas höher lag als beim Testbetrieb im Projekt Terminal. Dies macht sich auch in den Parametern der geschätzten Verteilungsfunktionen bemerkbar. So liegt auch der Erwartungswert der logarithmierten Normalverteilung aus der HFAF-Erhebung etwas höher als der aus der TFAF-Erhebung. (vgl. Abbildung 7-1 a)

Ein Grund hierfür könnte in der, zumindest bei den Personen mit dauerhafter Nutzungsmöglichkeit, deutlich längeren Fahrstrecke gegenüber der HFAF- in der TFAF-Erhebung liegen. Die Distanz der durch diese Stichprobe dokumentierten Wege lag durchschnittlich bei mehr als zehn Kilometern ( $M = 10,3$  km;  $SD = 5,4$  km) und damit mehr als doppelt so hoch wie bei der HFAF-Erhebung. Aufgrund der großen Streuung der Werte kann bei der TFAF-Erhebung zudem eine Korrelationsanalyse durchgeführt werden, die einen mittleren, negativen Zusammenhang mit hoher Signifikanz ergibt ( $r = -0,46$ ;  $p < 0,01$ ). Der

maximal akzeptierte Fahrpreis pro Kilometer sinkt demnach mit einer zunehmenden Wegelänge, wodurch die niedrigere Zahlungsbereitschaft aus der TFAF-Erhebung erklärt werden kann.



*Anmerkung:* in den Grafiken (a) und (b) wird ausschließlich der Wertebereich von 0 bis 2 EUR/km dargestellt. (a) zeigt logarithmierte Normalverteilungen mit Erwartungswert und Standardabweichung von  $\mu_y = -0,32$ ,  $\sigma_y = 0,41$  bei der HFAF- und  $\mu_y = -1,01$ ,  $\sigma_y = 0,86$  bei der TFAF-Erhebung.

**Abbildung 7-1:** Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste der Testbetriebe im Vergleich

Die höhere Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste aus der HFAF-Erhebung macht sich wiederum bei einem Vergleich der empirischen Kenngrößen bemerkbar. Der Interquartilsabstand der HFAF-Erhebung geht von 0,61 Euro pro Kilometer bis 1,02 Euro pro Kilometer und liegt demnach oberhalb von dem aus der TFAF-Erhebung mit einem Bereich von 0,23 Euro pro Kilometer bis 0,63 Euro pro Kilometer. Auch der Median und der Mittelwert liegen bei der Stichprobe aus dem Projekt Hambach-Shuttle höher als bei der aus dem Projekt TERMINAL. Im Hinblick auf die Mittelwerte ist dieser Unterschied entsprechend dem Ergebnis aus dem t-Test mit einem p-Wert unter 0,01 hoch signifikant. (vgl. Abbildung 7-1 b)

### 7.3 Analyse der Technologieakzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles

Zur Analyse der Akzeptanz der selbstfahrenden Elektroshuttles, wurde zunächst eine Faktoren- bzw. eine Hauptkomponentenanalyse zur Reduktion vieler, beobachteter Variablen auf wenige latente Variablen durchgeführt (vgl. Kapitel 3.2.3). Die dafür zugrundeliegenden, beobachteten Variablen, wurden sowohl in der HOAF- als auch in der TOAF-Erhebung mit Hilfe einer Item-Batterie in ähnlicher

Weise ermittelt. Diese Items sind maßgeblich aus den drei Technologieakzeptanz-Modellen TAM, TAM2 und UTAUT abgeleitet worden.<sup>248</sup>

### 7.3.1 Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanalyse

Da die Items in den Erhebungen auf Grundlage der drei angesprochenen Technologieakzeptanz-Modelle abgeleitet, kombiniert und durch eigene, im Hinblick auf das automatisierte Fahren spezifische Items ergänzt wurden, also nicht vollständig übernommen wurden, wurde keine konfirmatorische, sondern eine explorative Faktorenanalyse bzw. eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Aufgrund der Größe der kleinen HOAF-Stichprobe fand diese Analyse ausschließlich auf Grundlage der TOAF-Stichprobe statt. In dieser Onlinebefragung, die in einer zweiten Phase durch eine telefonische Erhebung ergänzt wurde, wurden nicht durchgängig alle 31 definierten Items abgefragt. Daher wurde die Auswertung nur auf Grundlage der 20, bei allen Teilnehmenden abgefragten Items durchgeführt. (vgl. Kapitel 3.2.3 und Anhang D-1)

Grundlegend für die Durchführung der Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanalyse ist, dass die Items in einem ausreichenden Maß miteinander korrelieren. Dies wurde sowohl durch den Bartlett-Test, der eine signifikante Abweichung von der Einheitsmatrix ergab ( $p$ -Wert  $< 0,01$ ), als auch durch eine detaillierte Korrelationsanalyse bestätigt. Die Korrelationsmatrix ergibt Rangkorrelationen mit durchschnittlichen Koeffizienten nach Spearman von 0,30, wobei das untere Quartil bei einem niedrigen Zusammenhang von 0,20 und das obere bei einem mittleren Zusammenhang von 0,41 liegt. Bis auf wenige Ausnahmen sind diese Korrelationen signifikant mit einem mittleren  $p$ -Wert von unter 0,02. (vgl. Anhang D-2)

Um die Zusammenhänge zwischen den Items besser einordnen und eine Entscheidung bezüglich der Faktorenanalyse unterstützen zu können, wurden in der Vergangenheit mehrere Prüfkriterien entwickelt und bereits in Kapitel 3.2.3 benannt. Auch bei einer Überprüfung dieser Kriterien werden die Voraussetzung für eine Faktorenanalyse erfüllt. Der Anteil der nichtdiagonalen Elemente der Anti-Image-Matrix mit einem Betrag größer 0,09 liegt bei ca. 8 % und damit weit unter dem geforderten Anteil von 25 %. Die MSA-Werte liegen für alle berücksichtigten Items aus der TOAF-Erhebung ebenfalls über dem von KAISER (1970) geforderten, wünschenswerten Bereich von mindestens 0,8 (vgl. Anhang D-1). Die Aggregation der MSA-Werte aller Items ergibt das KMO-Kriterium, das, wie die MSA-Werte, mit den Klassen von KAISER, RICE (1974) zu bewerten ist. Der für alle betrachtete Items der TOAF-Erhebung geltende KMO-Wert liegt bei 0,93 und beschreibt demnach eine für die Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanalyse wunderbar geeignete Zusammengehörigkeit.<sup>249</sup>

Zusammenfassend ist an den Antworten der TOAF-Stichprobe ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Items zur Abfrage der Akzeptanz selbstfahrender Elektroschuttles bzw. zur Akzeptanzerhebung des

---

<sup>248</sup> Technology Acceptance Model (TAM) und Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. DAVIS, BAGOZZI et al., 1989; vgl. VENKATESH, DAVIS, 2000; vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003.

<sup>249</sup> Measure of Sampling Adequacy (MSA) und Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 376–379; vgl. KAISER, 1970, S. 404 ff., 1974; vgl. KAISER, RICE, 1974, S. 111 ff.

automatisierten Fahrens erkennbar. Explorative Faktorenanalysen bzw. Hauptkomponentenanalysen sind dadurch zulässig.

Um zu definieren, wie viele Faktoren bzw. Hauptkomponenten aus den Items abgeleitet werden können, wurden entsprechend der Beschreibung aus Kapitel 3.2.3 die Eigenwerte für die Korrelationsmatrix der Items berechnet und mit den benannten, statistischen Kriterien bewertet. Bei der Berechnung der Eigenwerte für eine PAF wurden die Einsen in der Diagonale der Korrelationsmatrix durch quadrierte, multiple Korrelationskoeffizienten ersetzt, um eine Anfangsschätzung für die Kommunalitäten zu erhalten.<sup>250</sup> Für PCA sind die Einsen in der Diagonale unverändert geblieben. Entsprechend dem KG-Kriterium wären zwei Faktoren bzw. drei Hauptkomponenten zu wählen, da entsprechend viele Items einen Eigenwert größer eins haben. Aus dem Scree-Test sind ebenfalls zwei Faktoren bzw. zwei Hauptkomponenten zu wählen, da beide Kurven bei drei Faktoren einen Knick haben und danach flach weiterverlaufen. Die von HORN (1965) vorgeschlagenen Parallelanalysen, führen für die PCA zu zwei und für die PAF zu vier Hauptkomponenten bzw. Faktoren.<sup>251</sup> (vgl. Anhang D-3)

Durchgeführt wurden sowohl Maximum-Likelihood-Faktorenanalysen als auch PAF jeweils mit einer orthogonalen und einer obliquen Rotation und jeweils mit zwei, drei und vier Faktoren. Zudem wurden auch PCA, ebenfalls mit orthogonaler und obliquen Rotation sowie zwei, drei und vier Hauptkomponenten durchgeführt. Jedoch ergeben Analysen mit mehr als zwei Faktoren bzw. Hauptkomponenten auf Grundlage der TOAF-Stichprobe für die dritten bzw. vierten Faktoren bzw. Hauptkomponenten nur sehr geringe oder keine Ladungen. Zusätzlich kann durch die Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanzahl kaum mehr Varianz aufgeklärt werden und auch die Maximum-Likelihood-Faktorenanalyse führt nicht zu präziseren Ergebnissen. Diese Ergebnisse werden im Rahmen dieses Dissertationsvorhabens daher nicht weiter betrachtet.

Zusätzlich ist es das primäre Ziel der Analyse, die hohe Item-Anzahl auf wenige, besser interpretierbare Variablen zu reduzieren und darauf aufbauend deren Einfluss auf die Nutzungsintention abzuleiten. Daher ist eine PCA zur Problemlösung zu bevorzugen. Es wird dabei in Kauf genommen, dass die Restvarianz aus spezifischer Varianz und Fehlervarianz nicht aufgedeckt wird und dadurch geringfügige Informationsverluste in Kauf genommen werden.<sup>252</sup> Die Ergebnisse der entsprechenden PCA-Extraktion sind in Anhang D-4 und in Anhang D-5 mit Varimax- und Promax-Rotation, für zwei Hauptkomponenten dargestellt. Im Vergleich dazu werden auch die Ergebnisse einer PAF-Extraktion für zwei Faktoren, ebenfalls mit Promax-Rotation, in Anhang D-6 dargestellt. Bei einem Vergleich dieser Ergebnisse, wird deutlich, dass die Items bei allen drei Lösungsvarianten jeweils Ladungen auf den gleichen Faktoren bzw. Hauptkomponenten haben.

---

<sup>250</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 393.

<sup>251</sup> Kaiser-Guttman-(KG-) Kriterium, Principal Components Analysis (PCA) und Principal Axes Factoring (PAF), vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 415 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 396 ff.; vgl. GUTTMAN, 1954; vgl. HORN, 1965, S. 179–182.

<sup>252</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390–394.



Der erste Faktor bzw. Hauptkomponente umfasst 13 der insgesamt 20 Items, die durch ihn mit der Überschrift „Wahrgenommene Wirkung“ am ehesten zusammengefasst werden. Die betroffenen Items fokussieren mögliche, positive Auswirkungen und Chancen des automatisierten Fahrens sowohl auf der individuellen als auch auf der gesellschaftlichen Ebene. Bezüglich der bereits in der Literatur verfügbaren Technologieakzeptanz-Modelle, sind die davon zusammengefassten Items den Konstrukten PE, EE und SI aus der UTAUT zuzuordnen. Diese wurden wiederum aus den drei Konstrukten PU, EOU und SN des TAM bzw. TAM 2 und der TRA bzw. TPB abgeleitet.<sup>253</sup> (vgl. Anhang D-4 bis Anhang D-6)

Die verbleibenden sieben Variablen, die stärker auf dem zweiten Faktor bzw. Hauptkomponenten laden, sind hingegen am ehesten den Konstrukten EE und FC<sup>254</sup> der UTAUT zuzuordnen. Da sich die Items vor allem mit Befürchtungen im Zusammenhang mit selbstfahrenden Elektroschuttles auseinandersetzen können Sie zusätzlich auch dem Konstrukt der Ängste aus der SCT zugeordnet werden. Dieses haben VENKATESH, MORRIS et al. (2003) in der UTAUT nur indirekt über die EOU integriert. Der zweite Faktor bzw. die zweite Hauptkomponente wird dementsprechend mit dem Begriff „Befürchtungen“ bezeichnet.<sup>255</sup> (vgl. Anhang D-4 bis Anhang D-6)

Die von GUADAGNOLI, VELICER (1988) empfohlenen Voraussetzungen zur inhaltlichen Interpretation und Verallgemeinerung der Ergebnisse aus PCA und PAF, werden von den beiden durchgeführten PCA erfüllt. So ergeben sich für jeweils mindestens vier Variablen Ladungen von mindestens 0,60 auf den beiden Hauptkomponenten. Die PAF erfüllt dieses Kriterium jedoch nur für den Faktor der „Wahrgenommenen Wirkung“. Auf dem Faktor „Befürchtungen“ laden lediglich drei und nicht vier Variablen mit einem Wert von mindestens 0,60. Da auf dem Faktor lediglich sieben Variablen laden, ist auch das zweite Kriterium von mindestens zehn Variablen mit einer Ladung ab 0,40 nicht erfüllt. Da die Stichprobe allerdings den Mindestwert von 300 überschreitet, wäre eine Interpretation nach GUADAGNOLI, VELICER (1988) dennoch möglich.<sup>256</sup> (vgl. Anhang D-4 bis Anhang D-6)

Um die Stabilität der drei Faktor- bzw. Hauptkomponentenlösungen zu vergleichen, kann zudem eine Gleichung genutzt werden die GUADAGNOLI, VELICER (1988) mit Regressionsanalysen zu simulierten Daten ermittelt haben. Demnach berechnet sich die mittlere Differenz der aus der Stichprobe analysierten Ladungen zu den Ladungen der Grundgesamtheit mit folgender Formel 7-1:<sup>257</sup>

---

<sup>253</sup> Performance Expectancy (PE), Effort Expectancy (EE), Social Influence (SI), Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), Perceived Usefulness (PU), Perceived Ease of Use (PE), Subjective Norm (SN), Technology Acceptance Model (TAM), Theory of Reasoned Action (TRA) und Theory of Planned Behavior (TPB). (vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 446–453)

<sup>254</sup> Facilitating Conditions (FC). (vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 454 f.)

<sup>255</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. VENKATESH, MORRIS et al., 2003, S. 450, 453 ff.

<sup>256</sup> vgl. GUADAGNOLI, VELICER, 1988, S. 274.

<sup>257</sup> vgl. GUADAGNOLI, VELICER, 1988, S. 269 ff.

$$Y = 1,10 * X_1 - 0,12 * X_2 + 0,066 \quad (7-1)$$

mit  $X_1 = 1/\sqrt{n}$   
 $n$  = Stichprobengröße  
 $X_2$  = minimale Ladung, die bei der Interpretation der Faktoren berücksichtigt wird

Entsprechend der Formel 7-1 ergibt sich sowohl für die PCA mit Varimax- als auch mit Promax-Rotation eine Differenz von 0,05 und damit eine Stabilität von 0,95. Bei der PAF mit Promax-Rotation ergibt sich hingegen eine etwas höhere Differenz von 0,06 und damit auch eine leicht niedrigere Stabilität von 0,94. Dementsprechend ist auch in diesem Hinblick die PCA der PAF vorzuziehen.

Als abschließende Interpretationskenngrößen dienen sowohl die Kommunalitäten der Items als auch die erklärten Varianzanteile durch die Faktoren bzw. Hauptkomponenten. Wie in Kapitel 3.2.3 erläutert, gibt die Kommunalität den Anteil der Varianz einer betrachteten Variablen bzw. eines betrachteten Items an, der durch die identifizierten Faktoren bzw. durch die Hauptkomponenten erklärt wird.<sup>258</sup> Demnach wird durch die PCA jeweils ein mittlerer, prozentualer Varianzanteil der Items von fast 49 % erklärt, während der erklärte Varianzanteil der Items durch die PAF lediglich bei durchschnittlich 43 % liegt. Bezüglich der erklärten Varianz der Hauptkomponenten bzw. der Faktoren erzielt die PAF ebenfalls mit 43 % einen niedrigeren Wert als die beiden PCA mit jeweils ca. 49 %. Diese durch die identifizierten Faktoren bzw. Hauptkomponenten ermittelten Anteile sind jedoch bei allen drei Analysen vergleichsweise niedrig. Der größere Anteil der Varianz wird jeweils durch die erste Hauptkomponente bzw. den ersten Faktor erklärt und liegt jeweils in einem Bereich zwischen 29 und etwas mehr als 32 Prozentpunkten. (vgl. Anhang D-4 bis Anhang D-6)

Wird abschließend die mit der obliquen Rotationsmethodik entdeckte Interkorrelation zwischen den beiden Hauptkomponenten bzw. Faktoren betrachtet, so liegt diese sowohl bei der PCA als auch bei der PAF in einem mittleren, negativen Bereich. Demzufolge laden die verschiedenen Items eher selten mit einer hohen Ladung auf beiden Faktoren bzw. Hauptkomponenten. (vgl. Anhang D-4 bis Anhang D-6)

Zusammenfassend können die in der TOAF-Erhebung abgefragten Items zur Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles bzw. zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens durch zwei latente Variablen abgebildet werden. Zu bevorzugen ist dabei die PCA mit orthogonaler Rotation, da durch eine oblique Rotation kein großer Zusammenhang zwischen den beiden Hauptkomponenten entdeckt werden kann und durch die Analyse ein sehr großer Anteil an Restvarianz verbleibt, der bei der PAF in die spezifische Varianz und die Fehlervarianz unterschieden werden muss. Diese Einteilung beruht auf subjektiven Annahmen des Forschenden, weshalb der Informationsgewinn gegenüber der PCA als eher geringfügig eingeschätzt wird. Zudem werden mit der PCA geringfügig höhere Kommunalitäten erzielt und demnach auch ein geringfügig höherer Anteil der Varianz erklärt. Durch die Wahl der PCA mit orthogonaler Rotation ist es jedoch nicht möglich, einen kausalen Zusammenhang zwischen der Bewertung der Items und der Ladung

<sup>258</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 393; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390.

auf den beiden Hauptkomponenten abzuleiten. Die beiden Hauptkomponenten sind als inhaltliche Zusammenfassung der abgefragten Items zu verstehen, auf deren Grundlage der Akzeptanzeinfluss auf die Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles abgeleitet werden kann.<sup>259</sup>

Um die ermittelten Hauptkomponenten besser interpretieren zu können, wird der Anteil an Antworten differenziert nach der fünfstufigen Likert-Skala für die TOAF-Stichprobe zusätzlich ausgewertet. Auffällig ist, dass sich die drei, im Hinblick auf die Top Box und auf den Mittelwert am besten bewerteten Items der wahrgenommenen Wirkungen auf den ÖPNV beziehen. Demnach haben über 69 % der Befragten der Aussage zugestimmt, dass die Nutzung eines selbstfahrenden Elektroshuttles vermutlich genauso angenehm ist wie die Nutzung eines herkömmlichen Busses. Jeweils ca. 67 % haben die Aussagen, dass Fahrzeuge des revolutionären Entwicklungsansatzes künftig ein wichtiger Bestandteil des ÖPNV sein werden bzw. dass sich daraus eine Verbesserung für das ÖPNV-Angebot ergeben wird, mit den Werten vier oder fünf bewertet. (vgl. Abbildung 7-2)

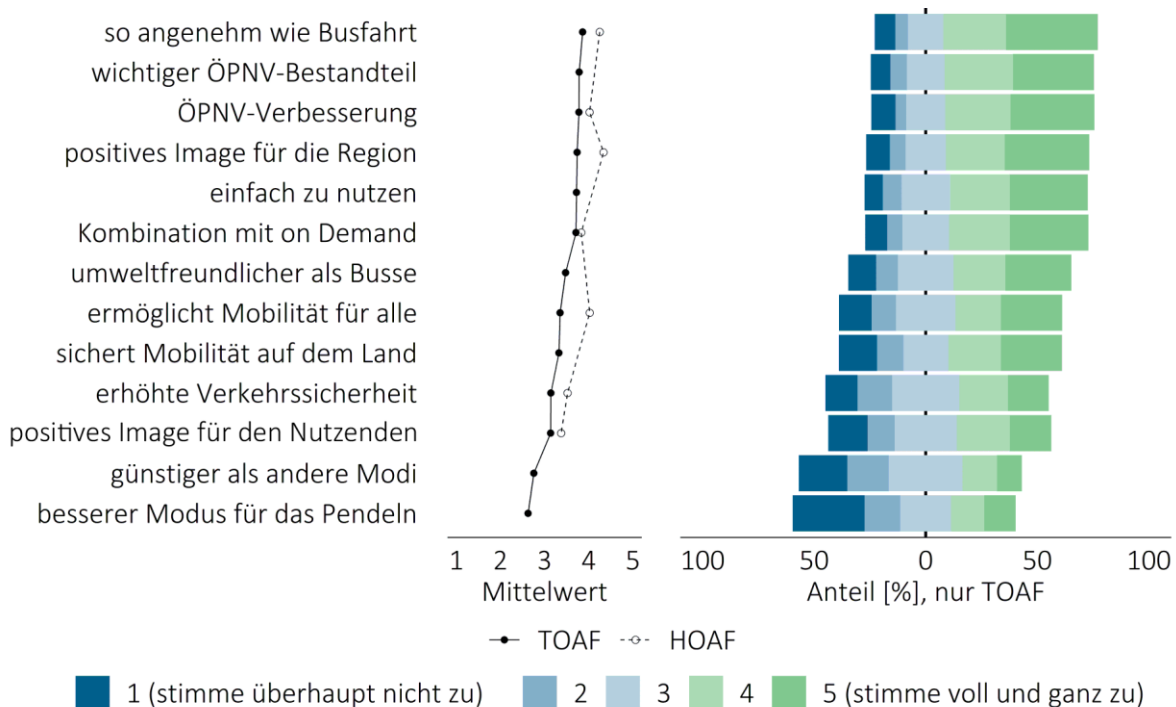
Im Vergleich dazu, beziehen sich drei der vier am schlechtesten bewerteten Items, die auf der Low Box die höchsten und gleichzeitig auf der Top Box die niedrigsten Anteile erhalten, auf mögliche persönliche Vorteile. Über 48 % sehen bei einer Nutzung selbstfahrender Elektroshuttle für das tägliche Pendeln anstelle des aktuellen Verkehrsmittels keine Vorteile. Ebenso bezweifeln über 40 %, dass selbstfahrende Elektroshuttles künftig günstiger als der herkömmliche Bus sein könnten und bewerten diese Aussage daher mit den Werten eins oder zwei. Knapp 30 % erwarten keine positive Wirkung auf das eigene Image, sollten sie ein selbstfahrendes Elektroshuttle benutzen. Ein ebenso großer Anteil der TOAF-Stichprobe bezweifelt zudem, dass selbstfahrende Elektroshuttles zu einer Erhöhung der Sicherheit im Straßenraum führen können. (vgl. Abbildung 7-2)

Im Hinblick auf die Mittelwerte, sind von der TOAF-Erhebung dieselben Items am positivsten bzw. am negativsten bewertet worden. Die HOAF-Stichprobe weicht bei den deckungsgleich abgefragten Items von dieser Rangfolge etwas ab. Generell werden die wahrgenommenen Wirkungen durch die online befragten Personen aus dem Projekt Hambach-Shuttle positiver bewertet als durch die Teilnehmenden der Onlinebefragung aus dem Projekt TERMINAL. Während diese Differenz zwischen den Mittelwerten entsprechend den Ergebnissen aus einem t-Test für vier Items signifikant ist, ist sie es für drei Items der wahrgenommenen Wirkung nicht. Demnach besteht eine statistische Übereinstimmung zwischen den Mittelwerten der Erwartung eines verbesserten ÖPNV-Angebotes und einer positiven Wirkung auf das eigene Image durch die Nutzung selbstfahrender Elektroshuttles. Auch bezüglich der Erwartung, dass die selbstfahrenden Elektroshuttles besonders dann positiv zu bewerten sind, wenn sie auf Abruf, also on Demand nutzbar sind, besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten aus den beiden Erhebungen. Dieses Item wird durch die Teilnehmenden aus der TOAF-Erhebung mit einem

---

<sup>259</sup> vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 390–394.

Anteil von über 62 % auf der Top Box im Übrigen sehr positiv bewertet und unterstreicht damit die Sinnhaftigkeit der Untersuchung von AIM im Rahmen dieser Dissertation. (vgl. Abbildung 7-2)



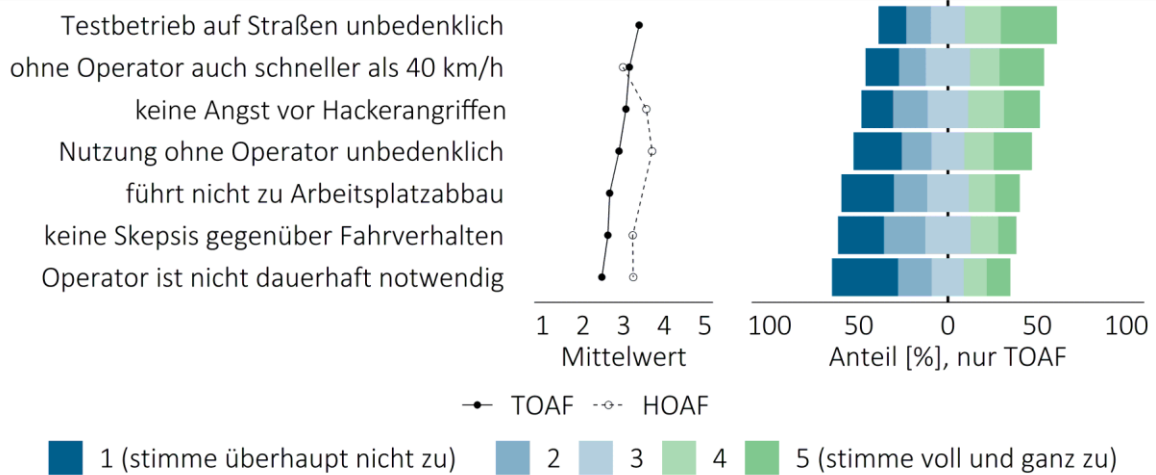
*Anmerkung:* Die Items sind entsprechend der Mittelwerte aus der TOAF-Erhebung in absteigender Reihenfolge geordnet.

**Abbildung 7-2:** Bewertung der Items zur wahrgenommenen Wirkung des automatisierten Fahrens

Um die Befürchtungen besser im Vergleich zu den wahrgenommenen Wirkungen bewerten zu können, sind deren Items umgepolt worden, das heißt die Ränge eins und zwei erhalten die Werte fünf und vier bzw. umgekehrt. Die beiden am positivsten bewerteten Befürchtungen finden sich mit einem Top-Box-Anteil von fast 52 % in der Befürwortung des Testbetriebs von selbstfahrenden Elektroshuttles auf öffentlichen Straßen und mit über 41 % in der Ablehnung der Beschränkung der Geschwindigkeit auf 40 km/h. Demnach wurde der Pilotbetrieb nur von wenigen Personen kritisch bewertet und erhält auf der umgepolten Likert-Skala einen Low-Box-Anteil von ca. 29 %. Das Item zur Höchstgeschwindigkeit erhält trotz der positiven Bewertung einen Anteil von knapp 34 % auf der Low Box. Demnach stimmten immerhin mehr als ein Drittel der Teilnehmenden an der TOAF-Erhebung einer solchen Deckelung der Höchstgeschwindigkeit zu. (vgl. Abbildung 7-3)

Am negativsten bewertet wird die Aussage, dass ein Sicherheitsfahrer bzw. Operator nicht dauerhaft im Fahrzeug sein muss, um dieses Überwachen und in kritischen Situationen übersteuern zu können. Mit einem Anteil von 56 % auf der Low Box und einem Anteil von 26 % auf der Top Box fordern befragte Personen aus der TOAF-Erhebung durchaus auch zukünftig eine solche Kontrollperson im Fahrzeug. Ein Grund hierfür könnte das zweite, ebenfalls am negativsten bewertete Statement sein, das eine Skepsis

bezüglich des Fahrverhaltens in unvorhergesehenen Situationen verneint. Demnach wählte ein Großteil der Teilnehmenden mit fast 49 % die Antwortkategorien eins und zwei und äußerte damit eine Skepsis gegenüber der reibungslosen Automatisierungsfunktion selbstfahrender Elektroshuttles. Knapp 26 % widersprachen dem und wählten die Antwortkategorien vier und fünf. (vgl. Abbildung 7-3)



*Anmerkung:* Die Items sind entsprechend der Mittelwerte aus der TOAF-Erhebung in absteigender Reihenfolge geordnet. Alle Items sind umgepolt worden, damit eine Vergleichbarkeit mit den Items der Hauptkomponente wahrgenommene Wirkung besteht.

**Abbildung 7-3:** Bewertung der Items zu Befürchtungen aufgrund des automatisierten Fahrens

Im Hinblick auf die Mittelwerte und den Vergleich dieser mit den Ergebnissen aus der HOAF-Erhebung, ergibt sich lediglich für den akzeptierten Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles ohne Operator und mit Geschwindigkeiten oberhalb von 40 km/h eine Übereinstimmung. Bei allen anderen Items ergibt der t-Test zum Vergleich der Mittelwerte jeweils eine signifikante Abweichung, wobei die Teilnehmenden aus der HOAF-Erhebung positiver bewerteten. Demnach ergeben sich aus der HOAF-Stichprobe nicht nur eine stärkere Wahrnehmung der Wirkungen, sondern zeitgleich auch weniger Befürchtungen für den Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles als aus der TOAF-Stichprobe. (vgl. Abbildung 7-3)

### 7.3.2 Clusteranalyse auf Grundlage der Faktorwerte

Aufbauend auf den mit der PCA entdeckten Hauptkomponenten zur Akzeptanz von selbstfahrenden Elektroshuttles wurde eine Clusteranalyse durchgeführt, um zu überprüfen, ob der von KUTTER (1972) in der Verkehrswissenschaft begründete Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen auch auf die Akzeptanz des automatisierten Fahrens übertragbar ist (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.3).

Vor der Clusteranalyse müssen jedoch zunächst die Faktorwerte für die befragten Personen anhand ihrer Bewertung abgeleitet werden. Diese Werte zur Angabe der Position einer Stichprobenperson auf den abgeleiteten Hauptkomponenten wurden mit dem in Kapitel 3.2.3 benannten Verfahren ermittelt.

Die extrahierten Gewichte bzw. Regressionskoeffizienten sind in Anhang D-7 aufgeführt. Mit Hilfe der Koeffizienten sind die z-transformierten Faktorwerte der beiden Hauptkomponenten berechnet worden.<sup>260</sup>

Da es sich bei den Faktorwerten um intervallskalierte Abweichungen zum bei null liegenden Mittelwert, mit Wertebereichen von -3,4 bis 2,1 für die wahrgenommene Wirkung ( $M = 0,00$ ,  $SD = 1,00$ ) und -2,8 bis 2,5 für Befürchtungen ( $M = 0,00$ ,  $SD = 1,00$ ), handelt, wird die Ähnlichkeit der befragten Personen aus der TOAF-Stichprobe mit Hilfe der euklidischen Distanz berechnet. Durch die Clusteranalyse wurden die Personen im Anschluss anhand dieser Faktorwerte gruppiert. Die dazu notwendige, iterative Sortierung der Objekte wurde erneut computergestützt durchgeführt. (vgl. Kapitel 3.2.3)

Für die Clusteranalyse wurde, wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, ein zweistufiges Verfahren angewendet. In der ersten Stufe wurde das von WARD (1963) entwickelte, hierarchisch-agglomerative Verfahren zur Clusteranalyse angewendet.<sup>261</sup> Aus dem Dendrogramm und Struktogramm (vgl. Anhang D-8) wurden insgesamt fünf Gruppierungen abgeleitet. Das Struktogramm würde prinzipiell auch eine Einteilung in drei oder in acht Gruppen zulassen. Eine qualitative und deskriptive Analyse der TOAF-Stichprobe differenziert nach verschiedenen Clusteranzahlen verdeutlicht jedoch, dass eine Einteilung in fünf Cluster vorzuziehen ist. Die Einteilung nach drei und nach acht Clustern wird daher im Rahmen dieser Dissertation nicht weiter vertieft.

In der zweiten Bearbeitungsstufe der Clusteranalyse wurde die Gruppeneinteilung aus dem Verfahren nach WARD (1963) als Startlösung für den von MACQUEEN (1967) entwickelten k-Means-Algorithmus genutzt. Es findet also eine Optimierung der Cluster nach WARD statt.<sup>262</sup> Durch dieses Verfahren wurde die TOAF-Stichprobe in die in Abbildung 7-4 dargestellten und in Tabelle 7-5 beschriebenen fünf Cluster eingeteilt. Nach inhaltlicher Interpretation der Lage der Cluster bzw. der Ausprägung nach wahrgenommenen Wirkungen und Befürchtungen können sie auf einer Skala von besorgten Pessimisten bis unbesorgten Optimisten eingeteilt werden. Die Lage der Unentschlossenen, die mit über 27 % das zweitgrößte Cluster sind, ist nicht eindeutig definierbar. Entsprechend der mittleren wahrgenommenen Wirkungen ist dieses Cluster einerseits als neutrales aber im Hinblick auf die mittleren Befürchtungen als viertes Cluster auf der Skala anzuordnen. (vgl. Abbildung 7-4 und Tabelle 7-5)

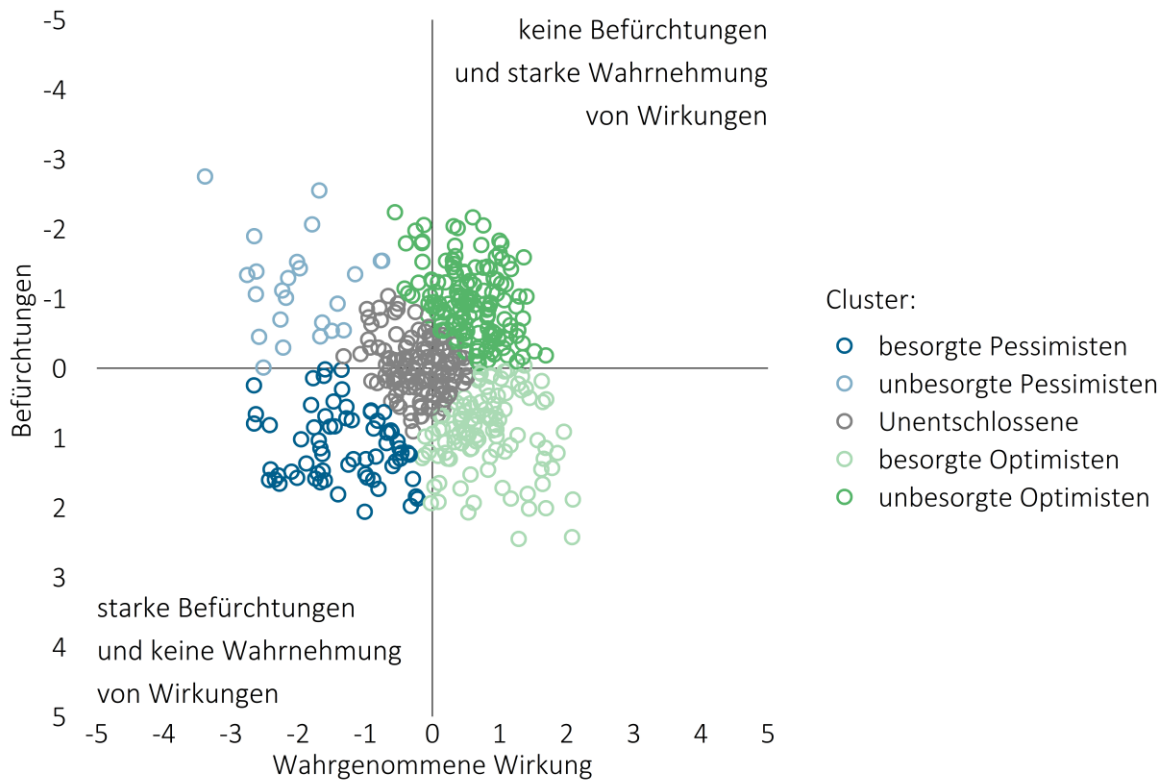
Den mit fast 31 % größten Anteil der Personen aus der TOAF-Stichprobe die alle zugrundeliegenden Items bewertet haben, macht die Gruppe der unbesorgten Optimisten aus. Deren mittlerer Faktorwert bei den Befürchtungen liegt mit -0,95 am zweitniedrigsten, während der mittlere Faktorwert bei der wahrgenommenen Wirkung mit 0,57 am zweithöchsten liegt. Dementsprechend bestätigt auch diese Analyse die in Kapitel 7.2 festgestellte, überwiegend positive Bewertung des automatisierten Fahrens bzw. der selbstfahrenden Elektroschuttles in der TOAF-Stichprobe. (vgl. Abbildung 7-4 und Tabelle 7-5)

---

<sup>260</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 370 f., 401-404; vgl. GRICE, 2001, S. 433.

<sup>261</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. WARD, 1963, S. 236–241; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 459 f., 462-465; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 459 ff., 465-469.

<sup>262</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 bzw. vgl. MACQUEEN, 1967, S. 281–288; vgl. BORTZ, SCHUSTER, 2010, S. 461 f., 465 f.; vgl. BACKHAUS, ERICHSON et al., 2018, S. 458 f.



**Abbildung 7-4:** Identifizierte Cluster in Abhängigkeit von der wahrgenommenen Wirkung durch und den Befürchtungen aufgrund des automatisierten Fahrens

**Tabelle 7-5:** Anteile der Stichprobe und Lage der Zentroide differenziert nach den identifizierten Clustern

Cluster	Anteil an TOAF-Stichprobe	Wahrgenommene Wirkung		Befürchtungen	
		M	SD	M	SD
besorgte Pessimisten	14,1 %	-1,30	0,68	1,12	0,50
unbesorgte Pessimisten	5,5 %	-2,10	0,73	-1,30	0,78
Unentschlossene	27,4 %	-0,21	0,39	-0,01	0,39
besorgte Optimisten	22,3 %	0,80	0,29	0,93	0,56
unbesorgte Optimisten	30,7 %	0,57	0,49	-0,95	0,51

*Anmerkung:* Die Berechnung wurde auf Grundlage von N = 475 vollständig beantworteten Item-Batterien aus der TOAF-Erhebung durchgeführt. Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben.

Das Cluster der unbesorgten Pessimisten ist mit einem Anteil von unter sechs Prozent die seltenste Personengruppe. Die für eine Mindestqualität bei gruppenspezifischen Analysen mindestens notwendige Anzahl von 30 Personen wird dementsprechend von dieser Gruppe unterschritten. Alle anderen Cluster halten diese Mindestanzahl hingegen ein. Durch die Personen aus dem Cluster der unbesorgten Pessimisten werden die Wirkungen selbstfahrender Elektroschuttles mit einem Faktorwert von -2,10 am deutlichsten negativ bewertet. Gleiches gibt für die Befürchtungen mit einem Faktorwert

von -1,30. Demzufolge haben die Personen aus diesem Cluster die fünfstufige Likert-Skala bei allen Items, unabhängig von der Zugehörigkeit zu den beiden Faktoren, eher mit einem niedrigen Wert bewertet. (vgl. Abbildung 7-4 und Tabelle 7-5)

Die Gruppe, die mit einem mittleren Faktorwert von 0,80 die Wirkungen am positivsten wahrnimmt, ist die Gruppe der besorgten Optimisten und ist mit einem Stichprobenanteil von über 22 % vertreten. Gleichzeitig hat dieses Cluster aber auch den zweithöchsten, mittleren Faktorwert im Hinblick auf die Befürchtungen. Es handelt sich also um Personen, die einerseits viele, positive Wirkungen durch das automatisierte Fahren bzw. von selbstfahrenden Elektroschuttles erwarten und andererseits viele Befürchtungen in diesem Zusammenhang haben. (vgl. Abbildung 7-4 und Tabelle 7-5)

Das Cluster, das mit einem mittleren Faktorwert von 1,12 die meisten Befürchtungen gegenüber dem automatisierten Fahren hat, ist die Gruppe der besorgten Pessimisten. Gleichzeitig hat diese Gruppe mit durchschnittlich -1,30 auch den zweitniedrigsten Faktorwert bei der wahrgenommenen Wirkung. Dem Cluster sind insgesamt ca. 14 % der TOAF-Stichprobe zuzuordnen. (vgl. Abbildung 7-4 und Tabelle 7-5)

### 7.3.3 Korrelationsanalyse zur Technologieakzeptanz

Wie bereits zu Beginn des vorherigen Kapitels erläutert, wurden die Zusammenhänge mit dem Cluster und den Faktorwerten einer Person sowie mit soziodemographischen Eigenschaften überprüft, um eine Anwendbarkeit der verhaltenshomogenen Personengruppen nach KUTTER (1972) im Kontext der Akzeptanz evaluieren zu können. Wie Kapitel 7.2 verdeutlicht, sind dabei auch die Technologieaffinität und der Kenntnisstand zum automatisierten Fahren zu berücksichtigen.

Die für alle erhobenen Variablen berechneten Zusammenhänge werden entsprechend der Konvention von COHEN (1988) nachfolgend nur dann berücksichtigt, wenn mindestens ein mittlerer Zusammenhang aufgedeckt, das heißt eine Rangkorrelation nach Spearman von  $\rho \geq 0,30$  bzw. bei dichotomen Variablen eine Effektstärke Cramérs  $V \geq 0,30$  mit statistischer Signifikanz ( $p$ -Wert  $< 0,05$ ) aufgedeckt wurde. Sofern zwischen zwei Variablen ein großer Zusammenhang mit einer Rangkorrelation ab 0,50 analysiert wurde, wird dies durch Anteilsmerkmale der jeweiligen Ausprägungskombinationen zusätzlich beschrieben. Dies gilt auch bei dichotomen Variablen mit mittlerer und großer Effektstärke ab 0,50, um die Richtung des Zusammenhangs ableiten zu können. (vgl. Kapitel 3.2.4)

Mit den in Kapitel 7.1 vorgestellten, soziodemographischen Eigenschaften der TOAF-Stichprobe ergeben sich für die beiden Hauptkomponenten, die Technologieakzeptanz und den Kenntnisstand kaum mittlere oder große Zusammenhänge. Eine Ausnahme macht hierbei lediglich das Land, in dem eine befragte Person wohnhaft ist. Allerdings beschränken sich diese Zusammenhänge auf die Unterscheidung zwischen einem Wohnort in Deutschland und dem Wohnort in einem anderen Land der Grenzregion, also Frankreich, Luxemburg oder Belgien. Die Effektstärke dieser dichotomen Variablen im Zusammenhang mit dem Kenntnisstand liegt jeweils im mittleren Bereich und ist hoch signifikant. (vgl. Tabelle 7-6)



Im Hinblick auf die Anteilsmerkmale nach Ausprägungskombinationen zwischen dem Kenntnisstand und dem Wohnort der befragten Personen ist dieser Zusammenhang ebenfalls zu beobachten. Hier liegt der Anteil der Personen, die angegeben haben, keine Kenntnis zum automatisierten Fahren zu haben, mit über 30 % bei den Franzosen, Luxemburgern und Belgiern deutlich höher als bei den Deutschen mit etwas mehr als 11 %. Auf der anderen Seite haben die in Deutschland wohnhaften Personen mit ca. 52 % statt 29 % deutlich häufiger angegeben, über ein fundiertes, theoretisches Wissen zu verfügen. Über 11 % der Personen mit einem Wohnort in Deutschland haben gar angegeben, bereits mit einem selbstfahrenden Elektroshuttle gefahren zu sein, während es bei den Teilnehmenden der TOAF-Erhebung aus den drei übrigen Ländern lediglich knapp 7 % waren.

Da allerdings keine Zusammenhänge mit der aktuellen Lebenssituation, dem Geschlecht, dem Alter, dem Wohnort oder der Mobilitätsausstattung beobachtbar sind, kann der Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen nach KUTTER (1972) zumindest im Hinblick auf die mit der TOAF-Stichprobe erhobenen Akzeptanzwerte nicht bestätigt werden. Daraus ergibt sich jedoch noch keine Widerlegung des Ansatzes im Hinblick auf die eigentliche Nutzungsintention bzw. Nutzungswahrscheinlichkeit des automatisierten Fahrens. Diese kann neben der erhobenen Technologieakzeptanz und -affinität einer Person dennoch durch soziodemographische Eigenschaften sowie die Mobilitätsausstattung beeinflusst sein. Der Einfluss erfolgt dann allerdings zu einem späteren Zeitpunkt und wird nicht durch die Akzeptanz vermittelt, sondern erfolgt begleitend dazu. Diese Annahme wird im Kapitel 8.2.4 überprüft.

**Tabelle 7-6:** Korrelationen der Akzeptanz von selbstfahrenden Elektroshuttles

Variablen	1	2	3	4
1: Wahrgenommene Wirkung				
2: Befürchtungen	-,08			
3: angestrebter Erprobungszeitpunkt	-,29**	,30**		
4: Kenntnisstand	,07	-,28**	-,32**	
5: in Deutschland wohnhaft	,10	,29**	,16**	,30**

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe N = 475 aus der TOAF-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Wahrgenommene Wirkung und Befürchtung sind nach den Quartilen von 1 bis 4 geordnet. Angestrebter Erprobungszeitpunkt ist von 1 = unter den ersten bis 3 = unter den letzten geordnet. Kenntnisstand ist von 0 = keine Kenntnis bis 3 = Praxiserfahrung geordnet. In Deutschland wohnhaft ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.

Abschließend besteht zwischen der Technologieaffinität, die in Anlehnung an ROGERS (1983) über den angestrebten Zeitpunkt zur Erprobung neuer Technologien erhoben wurde<sup>263</sup>, und dem Faktorwert, den eine Person für die Hauptkomponente Befürchtungen erhält, ein mittlerer, positiver und hoch signifikanter Zusammenhang. Dementsprechend nehmen die Befürchtungen mit einem später liegenden Erprobungszeitpunkt tendenziell zu, wodurch diese Personen tendenziell eher weniger Teil der Cluster mit einer positiven Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles sind. Der angestrebte Erprobungszeitpunkt neuer Technologien steht, wie bereits in Kapitel 7.2 beschrieben, wiederum in einem hoch signifikanten, mittleren, negativen Zusammenhang mit dem Kenntnisstand zum automatisierten Fahren. (vgl. Tabelle 7-6)

## 7.4 Analyse der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttles

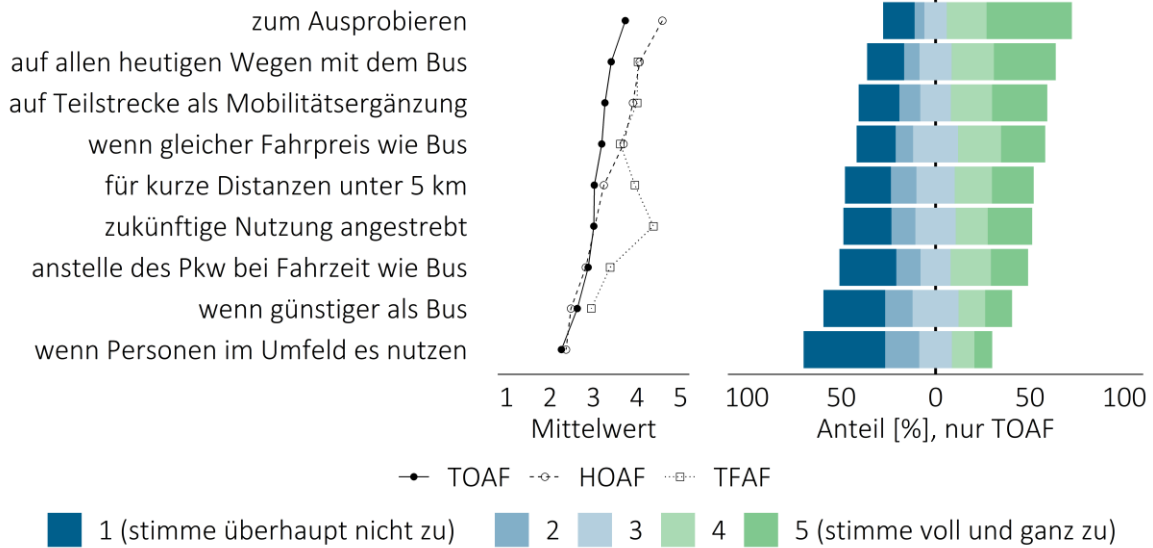
Entsprechend den beschriebenen Technologieakzeptanz-Modellen UTAUT und TAM bzw. TAM2 hat die Akzeptanz einer Technologie einen Einfluss auf die Nutzungsintention. Diese Nutzungsintention wurde in den verschiedenen Erhebungen aus den beiden zugrundeliegenden Forschungsprojekten TERMINAL und Hambach-Shuttle mit unterschiedlichen Variablen erhoben. Nachfolgend werden die Ergebnisse vergleichend vorgestellt, wobei der Fokus auf die TOAF-Erhebung gelegt wird. Im Anschluss daran wurden erneut die Zusammenhänge zwischen den Erhebungen analysiert.

### 7.4.1 Anlass zur Nutzung

Sowohl in der TOAF- als auch in der HOAF-Erhebung wird das Item einer vorrangigen Nutzungsintention allein zu Erprobungszwecken am positivsten bewertet. Dieses Item erfährt auf der fünfstufigen Likert-Skala bei der TOAF-Erhebung einen Anteil von über 66 % auf der Top Box. Die Low Bow erhält lediglich einen Anteil von ca. 22 % und damit den niedrigsten Wert. Wie ein Vergleich der Mittelwerte zeigt, wird diese Nutzungsintention von den Personen der HOAF-Erhebung etwas positiver bewertet, wobei ein durchgeführter t-Test ergeben hat, dass diese Abweichung zwischen den beiden Stichproben signifikant ist. Demzufolge besteht das größte Nutzungspotenzial selbstfahrender Elektroshuttles zum Zeitpunkt der Erhebung vor allem in Testfahrten zur Erprobung der Technologie. Diese Intention könnte durch den aktuellen technischen Stand sowie die damit einhergehenden, in Kapitel 4.3 beschriebenen und ggf. von den Teilnehmenden wahrgenommenen Systemgrenzen beeinflusst worden sein. (vgl. Abbildung 7-5)

---

<sup>263</sup> vgl. Kapitel 3.2.3 und 7.2 bzw. vgl. ROGERS, 1983, S. 245–251; vgl. KARNOWSKI, KÜMPEL, 2016, S. 102 f.



*Anmerkung:* Die Items sind entsprechend der Mittelwerte aus der TOAF-Erhebung in absteigender Reihenfolge geordnet.

**Abbildung 7-5:** Bewertung der Items zur Nutzungsintention selbstfahrender Elektroschuttle

Eine Nutzung für die alltägliche Mobilität wird von den Befragten der drei Erhebungen TOAF, HOAF und TFAF hauptsächlich für Wege mit den heutigen, konventionellen Linienbussen oder als Ergänzung der heutigen Verkehrsmittel auf Teilstrecken, also auf der ersten oder letzten Meile, für wahrscheinlich gehalten. In der TOAF-Erhebung haben über 55 % die Aussage zur Nutzung anstelle der heutigen Busse mit dem Wert vier oder fünf bewertet. Die Low Box hat mit fast 28 % dennoch ein recht großer Teil der Befragten ausgewählt. Für die Aussage zur Nutzung auf der ersten oder der letzten Meile sind es ca. 51 % auf der Top und fast ein Drittel auf der Low Box. Im Hinblick auf den Mittelwert ist beobachtbar, dass die befragten Personen aus der HOAF- und der TFAF-Erhebung die beiden Aussagen erneut etwas positiver bewertet haben. Eine Varianzanalyse (engl.: Analysis of Variance; ANOVA) ergab einen p-Wert, der eine statistische Signifikanz für diesen Unterschied nachweist. Eine nachgelagerte Post-Hoc-Analyse mit Hilfe eines mit Bonferroni-Korrektur durgeführten t-Tests ergab wiederum, dass dieser signifikante Unterschied nur im Vergleich der TOAF-Stichprobe mit den anderen beiden Erhebungen zu beobachten ist. Die beiden Mittelwerte aus der HOAF- und der TFAF-Stichprobe unterscheiden sich hingegen jeweils nicht signifikant voneinander, was an der grafischen Darstellung ebenfalls ersichtlich ist. (vgl. Abbildung 7-5)

Auffällig ist, dass sich die Mittelwerte für die verbleibenden Items aus der HOAF-Stichprobe an die der TOAF-Stichprobe annähern, während die mittleren Bewertungen der TFAF-Stichprobe deutlich höher liegen. Diese Unterschiede der TFAF- zur TOAF- und/oder HOAF-Erhebung sind jedoch, entsprechend den Ergebnissen einer ANOVA bzw. eines t-Tests, nur für die Intention zur generellen, zukünftigen Nutzung und zur Nutzung ausschließlich für kurze Wege, mit weniger als fünf Kilometern, signifikant.

Der Vergleich der TOAF- und der HOAF-Mittelwerte ergibt hingegen keinen signifikanten Unterschied, was wiederum aus der grafischen Darstellung der Mittelwerte sichtbar wird. (vgl. Abbildung 7-5)

Einer Beeinflussung der Nutzungsintention durch Personen aus dem Umfeld, die ein selbstfahrendes Elektroshuttle bereits nutzen, wird sowohl bei der HOAF- als auch bei der TOAF-Erhebung überwiegend widersprochen. Dementsprechend handelt es sich um das von der TOAF-Stichprobe am negativsten bewertete Statement mit einem Anteil von über 61 % auf der Low Box und einem Anteil von etwas mehr als 21 % auf der Top Box. Ebenfalls abgelehnt werden die Nutzungsintentionen aufgrund vorteilhafter Angebotsparameter wie einem günstigeren Fahrpreis oder einer vergleichbaren Fahrzeit wie beim konventionellen Bus. In der Aussage zur zeitlichen Komponente wurde zusätzlich der Wechsel vom Pkw abgefragt. Während der finanzielle Einfluss mit einem Low-Box-Anteil von über 47 % und einem Top-Box-Anteil von etwas mehr als 28 % deutlich verneint wird, erfährt der zeitliche Einfluss bzw. der Umstieg vom Pkw mit einem Top-Box-Anteil von ca. 41 % gegenüber von 43 % auf der Low Box dennoch eine hohe Zustimmung. Der Umstieg vom Pkw in Kombination mit einer gleichen Fahrzeit wie bei einem herkömmlichen Bus, wird dementsprechend durchaus divers beurteilt. (vgl. Abbildung 7-5)

Neben den eben beschriebenen Items wurde die Nutzungsintention eines Angebotes mit selbstfahrenden Elektroshuttles in Konkurrenz zu einem konventionellen Linienbus sowohl in der HOAF- als auch in der TOAF-Erhebung ermittelt. Dabei standen für die Befragten im Hinblick auf die Anwesenheit eines Operators bzw. einer Sicherheitsperson, die das Fahrzeug in Notfällen übersteuern kann, verschiedene Angebotskonzepte zur Auswahl. Es wurde hierbei auch der in Kapitel 4.2.5 beschriebene, durch das Gesetz zum autonomen Fahren zukünftig ermöglichte Betrieb, mit einer technischen Aufsicht aus einer Leitzentrale, berücksichtigt. Solche Angebote werden in der folgenden Auswertung als Shuttle mit Remote-Operator bezeichnet. Zudem wird aufgrund der geringen HOAF-Stichprobe nur das Ergebnis aus der TOAF-Erhebung detailliert beschrieben. Die Anteilswerte aus der HOAF-Erhebung sind dennoch in Tabelle 7-7 dargestellt.

Entsprechend dieser Ergebnisse würde mit insgesamt über 53 % die Mehrheit der Befragten aus der TOAF-Stichprobe das selbstfahrende Elektroshuttle wählen, wenn es parallel zu einem konventionellen Linienbus angeboten wird. Mit über 28 Prozentpunkten würde der Großteil dieser Personen jedoch das Angebot mit einem im Fahrzeug anwesenden Operator nutzen. Etwa neun Prozent würden das Shuttle mit Remote-Operator nutzen und knapp 16 Prozent ein fahrerloses Shuttle, bei dem kein Fahrer bzw. keine Fahrerin und kein Operator mehr anwesend sind. Dementsprechend wird von den Teilnehmenden aus der Erhebung zum aktuellen Zeitpunkt die in den Pilotbetrieben meist angebotene Form bevorzugt. Ein ähnlich hoher Anteil dieses Angebotes wird auch durch die Ergebnisse aus der HOAF-Erhebung bestätigt, auch wenn hier der Anteil der Personen, die ein fahrerloses Shuttle nutzen würden, noch etwas höher ist. (vgl. Tabelle 7-7)

Ein Grund für den Wunsch nach einer Person, die in Notfällen eingreifen und das Fahrzeug übersteuern kann, liegt vermutlich in den in Kapitel 4.3 erläuterten Systemgrenzen der aktuellen Fahrzeugmodelle

des revolutionären Entwicklungsansatzes. Wie die befragten Fachpersonen aus der in Kapitel 6.2 vorgestellten Leitbildanalyse bereits hervorgehoben haben, muss zunächst ein ausreichendes Vertrauen in die Technologie geschaffen werden, bevor ein fahrerloser Betrieb möglich ist.

Sowohl in der TOAF- als auch in der HOAF-Erhebung würde ein mit jeweils ca. 24 % relativ hoher Anteil keine Unterscheidung zwischen einem selbstfahrenden Elektroshuttle und einem konventionellen Bus machen. Diese Personen würden nach eigener Aussage jedes der Angebote nutzen. Lediglich etwas unter 17 % der TOAF-Stichprobe würden den konventionellen Bus bevorzugen. (vgl. Tabelle 7-7)

**Tabelle 7-7:** Nutzungsintention verschiedener Angebotskonzepte anstelle eines konventionellen Linienbusses

Kenngröße	Onlinefragebögen	
	HOAF	TOAF
Personenstichprobe	54	797
bevorzugte Nutzung		
keines der Angebote	5,6 %	6,3 %
konventioneller Bus	1,9 %	16,6 %
Shuttle mit Operator	22,2 %	28,5 %
Shuttle mit Remote-Operator	7,4 %	8,9 %
fahrerloses Shuttle	38,9 %	15,8 %
Alle Angebote	24,1 %	24,0 %

Zusammenfassend sprechen demnach sowohl die Ergebnisse aus den neun Items zur Nutzungsintention als auch die Ergebnisse zur Nutzungsintention in Konkurrenz zu einem konventionellen Linienbus dafür, dass das Nutzungspotenzial in den aktuell erprobten Pilotbetrieben am höchsten ist. Die Erprobung der selbstfahrenden Elektroshuttles auf Routen, die als Bestandteil oder Ergänzung des heutigen ÖPNV angeboten und zum aktuellen Zeitpunkt mit einem Operator betrieben werden, entsprechen den bevorzugten Rahmenbedingungen der befragten Personen und schaffen zugleich wichtige Grundlagen für eine technische Weiterentwicklung.

#### 7.4.2 Korrelationsanalyse der Nutzungsintention

Wie schon bei der Akzeptanz wurde auch für die erhobene Nutzungsintention des automatisierten Fahrens überprüft, ob diese in einem Zusammenhang mit soziodemographischen Eigenschaften oder der Mobilitätsausstattung der befragten Personen steht. Erneut werden diese Untersuchungsergebnisse aufgrund der in Kapitel 7.1 beschriebenen Stichprobeneigenschaften lediglich für die TOAF-Erhebung vorgestellt. Die Analyse ergibt jedoch keine mittleren oder großen Zusammenhänge entsprechend der Konvention von COHEN (1988). Es können also keine Rangkorrelationen nach Spearman und auch keine Effektstärken mit Werten für  $\rho$  bzw. Cramérs  $V$  ab 0,30 gemessen werden. Im Hinblick auf die Nutzung

selbstfahrender Elektroshuttles muss der personengruppenspezifische Ansatz nach KUTTER (1972) auf der empirischen Grundlage der TOAF-Erhebung demnach widerlegt werden. Soziodemographische Personeneigenschaften haben tendenziell eher keinen Einfluss darauf, ob eine Person eine Nutzung von selbstfahrenden Elektroshuttles anstrebt oder nicht.

Eine Korrelationsanalyse der Nutzungsintention mit den erhobenen Akzeptanzwerten der befragten Personen ergibt ein anderes Bild. Hier besteht zwischen beinahe allen Variablen der Akzeptanz und der Nutzungsintention ein hoch signifikanter, mittlerer bis großer Zusammenhang. Für die Faktorwerte der Hauptkomponente der wahrgenommenen Wirkung ist dieser Zusammenhang positiv, im Hinblick auf die Befürchtungen hingegen erwartungsgemäß negativ. Ein zunehmend später liegender Zeitpunkt der angestrebten Erprobung neuer Technologien, geht wiederum mit einer abnehmenden Nutzungsintention einher, was ebenfalls zu erwarten war. (vgl. Tabelle 7-8)

Aufgrund der hohen Anzahl der entdeckten Zusammenhänge werden nachfolgend lediglich diejenigen mit einer hohen Rangkorrelation nach Spearman von  $\rho \geq 0,50$  und mit einem p-Wert  $< 0,05$  beschrieben. Mittlere, signifikante Zusammenhänge sind Tabelle 7-8 zu entnehmen.

Der größte zu beobachtende Zusammenhang mit einer positiven Rangkorrelation von 0,65 besteht zwischen dem Faktorwert zur wahrgenommenen Wirkung einer Person und der Nutzungsintention auf allen zukünftigen Wegen. Die Analyse der Anteilsmerkmale nach Ausprägungskombinationen bestätigt diesen Zusammenhang. Während Personen mit einem Faktorwert kleiner oder gleich dem ersten Quartil mit einem Anteil von fast 82 % auf der Low Box und einem Anteil von unter 7 % auf der Top Box eine solche Nutzung eher ablehnen, wird sie von Personen mit einem Faktorwert größer dem dritten Quartil mit einem Low-Box-Anteil von 6 % und einem Top-Box-Anteil von über 78 % angestrebt. (vgl. Tabelle 7-8 und Abbildung 7-6)

Die übrigen Nutzungsintentionen hängen ähnlich mit den wahrgenommenen Wirkungen einer Person zusammen, wobei die Anteile auf der Top Box fast durchgängig etwas höher und die Anteile auf der Low Box etwas niedriger liegen als bei der Nutzungsintention für alle zukünftigen Wege. Einzig die Nutzungsintention anstelle des Pkw bei einer gleichen Fahrzeit wie mit dem Bus liegt im Hinblick auf die Top Box für die dritte und vierte Klasse der gruppierten Faktorwerte etwas niedriger und im Hinblick auf die Low Box für die zweite, dritte und vierte Gruppe etwas höher. Auch der Top-Box-Anteil zur Nutzungsintention bei einem mit Bussen vergleichbaren Preis liegt für Personen mit einem Faktorwert größer dem dritten Quartil etwas oberhalb des Wertes zur Nutzungsintention für alle zukünftigen Wege. Im Hinblick auf die Low Box liegt der Anteil dieser Ausprägungskombination hingegen etwas höher. Gleiches gilt für die Nutzungsintention für eine Probefahrt. (vgl. Abbildung 7-6)

Für alle beschriebenen Nutzungsintentionen stellt sich das Anteilsmerkmal auf der Low Box für Personen mit einem Faktorwert der wahrgenommenen Wirkung zwischen dem ersten und zweiten Quartil deutlich niedriger dar als für Personen mit einem Faktorwert zwischen dem zweiten und dritten Quartil. Werden die Anteile mit einer Linie verbunden, hat der Verlauf der Kurve an dieser Stelle einen Knick,

denn die Anteilsmerkmale für die übrigen Ausprägungskombinationen sind auf der Low Box beinahe auf einer Ebene mit denen aus der zweiten Gruppe der Faktorworte. (vgl. Abbildung 7-6)

**Tabelle 7-8:** Korrelationen der Nutzungsintention und der Akzeptanz von selbstfahrenden Elektroschuttles

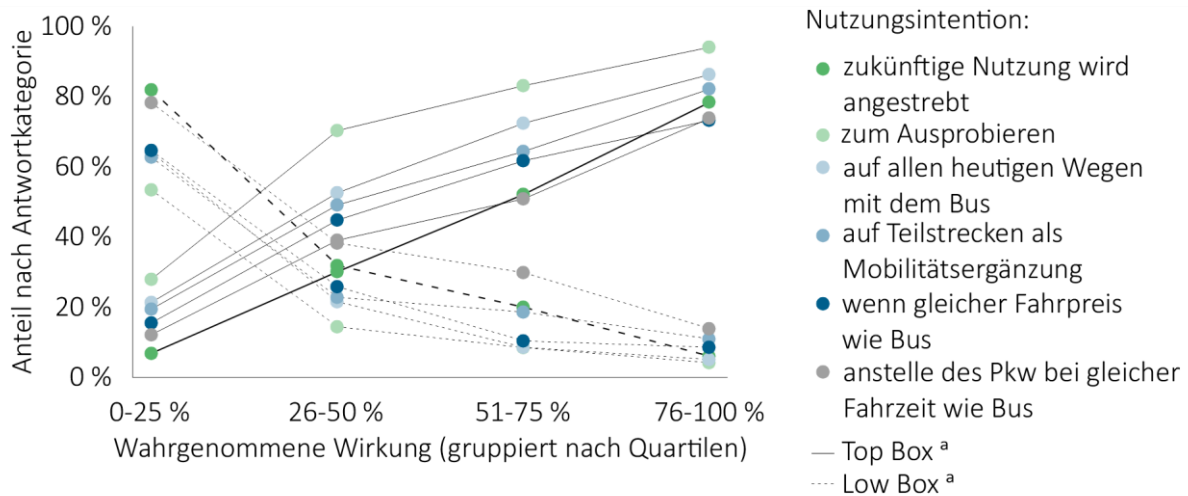
Variablen	1	2	4	5	6	7	8	9	10
1: Wahrgenommene Wirkung									
2: Befürchtungen	-,08								
3: angestrebter Erprobungszeitpunkt	-,29**	,30**							
Nutzungsintention									
4: zum Ausprobieren	,59**	-,36**	-,33**						
5: zukünftige Nutzung wird angestrebt	,65**	-,30**	-,04	,64**					
6: auf allen heutigen Wegen mit dem Bus	,59**	-,42**	-,24**	,60**	,61**				
7: auf Teilstrecke als Mobilitätsergänzung	,54**	-,29**	-,24**	,55**	,57**	,54**			
8: anstelle des Pkw bei gleicher Fahrzeit wie Bus	,53**	-,33**	-,22**	,50**	,56**	,59**	,52**		
9: wenn gleicher Fahrpreis wie Bus	,53**	-,25**	-,19**	,50**	,50**	,59**	,51**	,49**	
10: anstelle eines konventionellen Busses	,46**	-,33**	-,30**	,51**	,43**	,43**	,39**	,43**	,45**

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe je nach Wertepaar N = 475 oder N = 797 aus TOAF-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05.

\*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$  angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Wahrgenommene Wirkung und Befürchtung sind nach den Quartilen von 1 bis 4 geordnet. Angestrebter Erprobungszeitpunkt ist von 1 = „unter den ersten“ bis 3 = „unter den letzten“ geordnet. Nutzungsintentionen sind von 1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 5 = „stimme voll und ganz zu“ geordnet. Die Nutzungsintention anstelle eines konventionellen Busses ist von 1 = „keines der Angebote“ bis 5 = „fahrerloses Shuttle“ geordnet, die Antwortoption „alle Angebote“ bleibt unberücksichtigt.



*Anmerkung:* Die Variablen sind entsprechend der Höhe der Rangkorrelation in absteigender Reihenfolge angeordnet. Es werden nur große, signifikante Zusammenhänge mit  $\rho \geq 0,50$  und  $p\text{-Wert} < 0,05$  dargestellt.

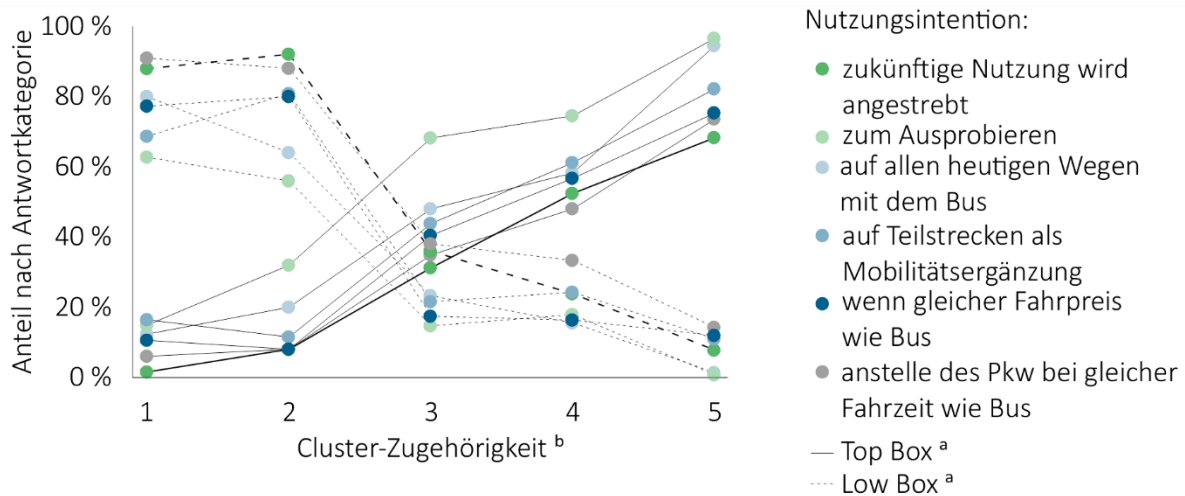
<sup>a</sup> Dickere Linien entsprechen der generellen Nutzungsintention für alle zukünftigen Wege.

**Abbildung 7-6:** Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Wirkung und der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttle

Im Hinblick auf die Anteilsmerkmale differenziert nach Ausprägungskombinationen, macht sich dieser Zusammenhang zwischen der Nutzungsintention und der wahrgenommenen Wirkung auch bei der Clusterzugehörigkeit der Stichprobenpersonen bemerkbar. Betrachtet man auch hier das Item zur Nutzung auf allen künftigen Wegen, so liegt der Top-Box-Anteil bei besorgten Pessimisten bei unter 2 % und bei Personen, die dem Cluster der unbesorgten Optimisten zuzuordnen sind, bei über 86 %. Die entsprechend dazugehörenden Low-Box-Anteile liegen bei fast 88 % bzw. bei knapp 8 %. (vgl. Abbildung 7-7)

Bezüglich der Low Box ist erneut ein charakteristischer Knick feststellbar, der beim Wechsel zwischen dem zweiten und dem dritten Cluster erfolgt. Demnach liegen die entsprechenden Anteile der Personen aus der Gruppe der Unentschlossenen im Vergleich zur Gruppe der unbesorgten Pessimisten deutlich niedriger, das heißt eine Nutzung für die abgefragten Situationen wird deutlich positiver bewertet. Dies macht sich auch in einem leichten Knick der Kurven der Top Box bemerkbar. (vgl. Abbildung 7-7)





*Anmerkung:* Die Variablen sind entsprechend der Höhe der Rangkorrelation zwischen der Wahrgenommenen Wirkung und der Nutzungsintention in absteigender Reihenfolge angeordnet. Es werden nur große, signifikante Zusammenhänge mit  $p \geq 0,50$  und  $p\text{-Wert} < 0,05$  dargestellt.

<sup>a</sup> Dickere Linien entsprechen der Nutzungsintention für alle Wege die heute mit dem Bus zurückgelegt werden.

<sup>b</sup> Clusterordnung: 1 = besorgte Pessimisten, 2 = unbesorgte Pessimisten, 3 = Unentschlossene, 4 = besorgte Optimisten und 5 = unbesorgte Optimisten.

**Abbildung 7-7:** Zusammenhang zwischen der Cluster-Zugehörigkeit und der Nutzungsintention selbstfahrender Elektroshuttle

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Ausprägungskombination zwischen der Cluster-Zugehörigkeit und der angestrebten Nutzung in Konkurrenz zu einem konventionellen Linienbus.

Personen aus dem Cluster der unbesorgten Optimisten können sich demzufolge eine Nutzung eines fahrerlosen Shuttles ohne Operator mit einem Top-Box-Anteil von ca. 63 % deutlich häufiger vorstellen, als beispielsweise die teilnehmenden Personen aus dem Cluster der besorgten Pessimisten, von denen sich keiner eine solche Nutzung vorstellen kann. Die Gruppen der besorgten Optimisten und der Unentschlossenen können sich hingegen am ehesten eine Nutzung vorstellen, sofern, wie in aktuellen Testbetrieben üblich, ein Operator dauerhaft im Fahrzeug vorhanden ist. Die entsprechenden Anteile liegen bei knapp 53 % für die Unentschlossenen und fast 58 % für die besorgten Optimisten. Für die zwei Cluster der besorgten und der unbesorgten Pessimisten ist es eher nicht vorstellbar, ein selbstfahrendes Elektroshuttle zu nutzen, sofern es in Konkurrenz zum Linienbus angeboten wird. Diese Teilnehmenden an der TOAF-Erhebung würden mit einem Anteil von knapp 65 % bei den besorgten Pessimisten und von fast 41 % bei den unbesorgten Pessimisten am ehesten einen konventionellen Bus wählen.

Abschließend ist zu berücksichtigen, dass mittlere und große Zusammenhänge zwischen den Variablen zur Erhebung der Nutzungsintention beobachtbar sind. Dies gilt mit positiver und stark signifikanter Rangkorrelation insbesondere für die drei Nutzungsintentionen zur Erprobung der selbstfahrenden

Elektroshuttles, zur allgemeinen, zukünftigen Nutzung und zur Nutzungsintention auf allen heutigen Wegen mit dem Bus. Die Korrelationsmatrix zwischen diesen drei Variablen enthält ausschließlich Werte größer oder gleich 0,6. (vgl. Tabelle 7-8)

## 8 Nutzung von und Bedürfnisse an automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen <sup>264</sup>

Nachfolgendes Kapitel dient zur Vorstellung und Analyse der erhobenen Nutzung von und Bedürfnisse an IM und AIM.<sup>265</sup> Die Nutzung wird maßgeblich aus den Buchungsdaten und Wegeprotokollen aus dem on-Demand-Testbetrieb der HFIM-Erhebung abgeleitet, die im BMVI-geförderten Forschungsprojekt Hambach-Shuttle durchgeführt wurde. Vergleichend dazu werden die Wegeprotokolle aus dem Testbetrieb zum automatisierten Fahren des EFRE/Interreg-geförderten Forschungsprojektes TERMINAL, also aus der TFAF-Erhebung, herangezogen, da in diesem Testbetrieb zeitgleich die Nutzung einer IM erhoben wurde. Der Fokus wird dabei auf die neun Personen gelegt, die das Angebot über einen längeren Zeitraum dauerhaft nutzen konnten. Begleitend werden neben diesen beobachteten Verhaltensdaten jedoch auch erhobene Daten zum vorab von den Fahrgästen prognostizierten Nutzungsverhalten aus der HFIM-Erhebung sowie die Nutzungsintention von und die Bedürfnisse an IM aus der in TERMINAL durchgeführten Onlinebefragung zu MoD<sup>266</sup>, also der TOIM-Erhebung, herangezogen. Komplettiert wird die Datenanalyse durch einen Vergleich mit den Nutzungsintentionen und Bedürfnissen, die begleitend zu den in TERMINAL durchgeführten Workshops erhoben wurden. Diese abschließende Betrachtung der Daten aus der WAIM-Erhebung ermöglicht einen Vergleich der erhobenen Daten zu IM mit erhobenen Daten zu AIM.<sup>267</sup>

### 8.1 Stichprobenszusammensetzung

Um die Rahmenbedingungen für einen Vergleich der Erhebungsdaten ableiten zu können, werden nachfolgend zunächst die Ausprägungen der HFIM-, TOIM- und WAIM-Stichproben differenziert nach Personeneigenschaften vorgestellt. Insbesondere für den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen, durch KUTTER (1972) begründeten und in dieser Dissertation zugrunde gelegten Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen ist die Stichprobenszusammensetzung von großer Bedeutung.

Im Vergleich zur TOAF-Stichprobe, die der Akzeptanzerhebung des automatisierten Fahrens diente, sind alle drei nachfolgend beschriebenen Stichproben jeweils sehr klein (vgl. Kapitel 7.1). Mit insgesamt 261 Personen, die an Workshops teilgenommen und alle mindestens für eine Auswertung relevanten

---

<sup>264</sup> Teile dieses Kapitels, insbesondere die Ergebnisse aus den Erhebungsinstrumenten aus dem Forschungsprojekt TERMINAL, wurden bereits in ähnlicher Form durch das Projektkonsortium TERMINAL in 2022 auf den Seiten 20 und 21 einer Handreichung für Verkehrsbetriebe sowie in den projektbegleitenden Publikationen von BOUSONVILLE, RÖSLER, WOLNIAK et al. 2022 und BOUSONVILLE, RÖSLER, VOGT, WOLNIAK 2022 veröffentlicht.

<sup>265</sup> Individualisierte Mobilitätsdienstleistungen (IM) und automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen (AIM), vgl. Kapitel 1.

<sup>266</sup> Mobility on Demand (MoD). (vgl. Kapitel 3.1.2)

<sup>267</sup> Erläuterung der Bezeichnung der Erhebungsinstrumente: Hambach-Shuttle-Erhebung fahrbegleitend zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (HFIM), TERMINAL-Erhebung fahrbegleitend zum automatisierten Fahren (TFAF), TERMINAL Onlinebefragung zu individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (TOIM) und Workshop-Konzept zu automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen (WAIM). (vgl. Kapitel 3.2.2)

Fragen des begleitenden Fragebogens beantwortet haben, ist die WAIM-Stichprobe dabei die größte. Jedoch konnten nicht alle Personengruppen in ausreichendem Umfang befragt werden, weshalb zusätzlich die TOIM-Stichprobe mit insgesamt 150 Personen detailliert betrachtet wird. Zudem können die Unterschiede zwischen den Anforderungen an bzw. die Nutzungsintentionen von IM und AIM lediglich durch die detaillierte Betrachtung beider Stichproben abgeleitet werden. Tatsächliche Nutzungen für IM sind aus der HFIM- bzw. der TFAF-Erhebung abzuleiten, wobei nachfolgend lediglich die Eigenschaften der befragten Personen aus der HFIM-Stichprobe betrachtet werden, da die TFAF-Stichprobe bereits in Kapitel 7.1 vorgestellt wurde. Obwohl an der WAIM- und an der TOIM-Erhebung auch Personen mit Wohnsitz in der Grenzregion zwischen Deutschland, Frankreich, Luxemburg und Belgien teilgenommen haben, werden nachfolgend die jeweiligen Anteile mit den entsprechenden Anteilsmerkmalen der in Kapitel 3.2.1 ermittelten, deutschen Gesamtbevölkerung der Personen ab 15 Jahren, die aus den für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten abgeleitet wurden, verglichen.

Während die HFIM- und die TOIM-Erhebung mit jeweils ca. 61 % den Anteil der berufstätigen Personen an der Grundgesamtheit sehr gut abbilden und die für eine Mindestqualität von gruppenspezifischen Analysen notwendige Anzahl von 30 Personen erreichen, ist diese Gruppe in der Stichprobe der WAIM-Erhebung mit ca. 13 % deutlich unterrepräsentiert.<sup>268</sup> Dies gilt umso mehr unter der Berücksichtigung, dass ein Großteil der Berufstätigen aus der WAIM-Stichprobe in Workshops an Einrichtungen zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung befragt wurde. Da die körperlichen und/oder geistigen Einschränkungen der Personen aus diesen Einrichtungen vermutlich einen großen Einfluss auf das Nutzungsverhalten und die Bedürfnisse an Mobilitätsangebote haben, ist eine gruppenspezifische Analyse der quantitativen Fragebogendaten aus der WAIM-Erhebung für berufstätige Personen nicht möglich. Bei einer Reduktion der befragten, berufstätigen Personen auf Personen ohne Behinderung, hat diese Gruppe jedoch nur noch einen Anteil von ca. 5 % und unterschreitet mit 13 Personen die geforderte Mindestanzahl von 30 Personen deutlich. Ein Versuch, den Anteil dieser Personengruppe an der Gesamtstichprobe zu erhöhen, scheiterte mehrfach an den pandemiebedingten Einschränkungen und an der geringen Bereitschaft berufstätiger Personen nach Feierabend an einem Workshop von eineinhalb Stunden teilzunehmen. (vgl. Kapitel 3.2.2 sowie 3.3 und Anhang C-4)

Die Personengruppen aus der Bildungsphase werden durch die WAIM-Stichprobe in ihren Anteilen ebenfalls nicht gut repräsentiert, überschreiten aber dennoch die mindestens angestrebte Anzahl von 30 Personen. Dadurch sind sie mit einem Anteil der Personen in der Schulbildung von über 31 %, von Auszubildenden mit ca. 16 % und Studierenden mit ca. 26 % im Vergleich zur Grundgesamtheit deutlich überrepräsentiert. Während die Schüler und Schülerinnen in der HFIM-Erhebung mit ca. 13 % ebenfalls deutlich überrepräsentiert sind, sind die Auszubildenden und die Studierenden mit jeweils unter 2 % nicht ausreichend repräsentiert. In der TOIM-Stichprobe sind hingegen die Studierenden mit einem Anteil von ca. 36 % im Vergleich zur Grundgesamtheit der über 15-jährigen zu häufig vertreten, während

---

<sup>268</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 3,0 % in Schulbildung, 1,8 % in Ausbildung, 3,8 % im Studium, 58,4 % berufstätig, 7,8 % zurzeit nicht berufstätig und 25,1 % im Ruhestand (vgl. Kapitel 3.2.1).

Personen in der Schulbildung mit unter 1 % unterrepräsentiert sind und Auszubildende nicht befragt wurden. Studierende werden neben der WAIM-Stichprobe demnach am besten von der TOIM-Stichprobe repräsentiert und überschreiten auch hier die Mindestanzahl von 30 Personen. (vgl. Anhang C-4)

Während zurzeit nicht berufstätige Personen in den drei Erhebungen entweder gar nicht oder wenn dann nur in unzureichendem Umfang befragt wurden, handelt es sich bei den Personen, die sich im Ruhestand befinden, in der HFIM-Stichprobe um eine mit knapp 21 % gut repräsentierte Gruppe. Die Mindestanzahl von 30 Personen wird dadurch jedoch nicht erreicht. Während die Gruppe in der TOIM-Erhebung mit einem Anteil von ca. 2 % kaum erfasst wurde, ist der Anteil in der WAIM-Erhebung mit über 14 % relativ hoch, wodurch die Personen im Ruhestand die Mindestanzahl von 30 Personen in dieser Stichprobe überschreiten. (vgl. Anhang C-4)

Zusammenfassend ist eine personengruppenspezifische Analyse nach Lebensphasen mit der Stichprobe aus der WAIM-Erhebung, bei Vernachlässigung des hohen Anteils von Personen mit körperlichen und/oder geistigen Einschränkungen, für alle Gruppen mit Ausnahme der zurzeit nicht berufstätigen Personen möglich. Wird der Anteil der Personen, die in Einrichtungen zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung befragt wurden, berücksichtigt, ist eine personengruppenspezifische Analyse auch für berufstätige Personen nicht möglich. Ergänzt und verglichen werden kann eine solche Analyse durch die personengruppenspezifische Analyse der HFIM-Stichprobe für Berufstätige und der TOIM-Stichprobe für Studierende und Berufstätige.

Sowohl in der HFIM-Stichprobe aus dem Projekt Hambach-Shuttle als auch in den beiden im Rahmen des Projektes TERMINAL erhobenen Stichproben aus der TOIM- und der WAIM-Erhebung, haben das weibliche und männliche Geschlecht mehr oder weniger gleiche Anteile. Nur in der HFIM-Stichprobe sind die Männer mit einem Personenanteil von ca. 58 % etwas überrepräsentiert. Mit einem Anteil der männlichen Personen von ca. 48 % bzw. von etwas mehr als 45 % in der TOIM- bzw. WAIM-Stichprobe, ist die Geschlechterverteilung im Vergleich zu den auf das Jahr 2019 gewichteten MOP-Datensätzen gut repräsentiert.<sup>269</sup> Insgesamt wird in allen drei Erhebungen die Mindestanzahl von 30 Personen durch beide Geschlechter überschritten. Dadurch ist eine Mindestqualität des gruppenspezifischen Vergleichs nach weiblichen und männlichen Personen für alle drei Erhebungen gewährleistet. (vgl. Anhang C-4)

Im Hinblick auf die Altersverteilung wurden in der WAIM- und der TOIM-Stichprobe mit einem Anteil von fast 74 % bzw. von ca. 50 % nahezu ausschließlich Personen unter 30 Jahren befragt. Diese Gruppe ist im Vergleich zur Grundgesamtheit damit deutlich überrepräsentiert. Dies geht einher mit dem jeweils hohen Anteil an Personen in der Bildungsphase und trifft auch auf die HFIM-Stichprobe zu, bei der die entsprechende Altersgruppe einen Anteil von ca. 26 % einnimmt. Während die Altersgruppen der

---

<sup>269</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 51,3 % weiblich und 48,7 % männlich (vgl. Kapitel 3.2.1).

30- bis 44-jährigen und der 45- bis 59-jährigen in der WAIM-Erhebung mit jeweils weniger als 6 % unterrepräsentiert sind, ist die Personengruppe zwischen 30 und 44 Jahren bei der TOIM-Stichprobe durch einen Anteil von ca. 26 % überrepräsentiert. Die Gruppe der 45- bis 59-jährigen ist hingegen mit einem Anteil von unter 20 % auch hier unterrepräsentiert. Diese Altersgruppe ist ausschließlich in der HFIM-Stichprobe mit fast 38 % im Vergleich zur Grundgesamtheit zu häufig vertreten. Der mit fast 25 % bei der HFIM- und fast 15 % bei der WAIM-Erhebung hohe Anteil der Personen ab 60 Jahren, ist dagegen etwas zu niedrig. Dies gilt auch für den Anteil dieser Altersklasse an der TOIM-Erhebung mit unter 5 %. (vgl. Anhang C-4)

Während in der HFIM-Erhebung alle Altersgruppen die Mindestanzahl von 30 Personen unterschreiten, trifft dies in der TOIM-Erhebung lediglich auf die Altersklassen 45 bis 59 Jahre und 60 Jahre oder älter zu und in der WAIM-Erhebung auf die Altersklassen 30 bis 44 Jahre und 45 bis 59 Jahre. (vgl. Anhang C-4) Zusammenfassend ist eine gruppenspezifische Auswertung nach Altersklassen daher lediglich für die Personen unter 30 Jahren und die Personen ab 60 Jahren mit der WAIM-Erhebung sinnvoll. Ergänzt und verglichen werden kann dies mit den Analysen für die Altersgruppen unter 30 Jahren und von 30 bis 44 Jahren aus der TOIM-Erhebung.

Da sich an den Erhebungen im Forschungsprojekt TERMINAL auch Personen mit Wohnsitz in Frankreich, Luxemburg und Belgien beteiligt haben, müssen für einen Vergleich mit den Erhebungsergebnissen aus dem Forschungsprojekt Hambach-Shuttle die Anteile der Personen nach dem Land des Wohnortes ermittelt werden. Sowohl in der TOIM- als auch in der WAIM-Erhebung haben mit über 91 % bzw. 81 % fast ausschließlich Personen mit Wohnsitz in Deutschland teilgenommen. Die einzige etwas stärker vertretene Personengruppe aus den anderen Ländern der Grenzregion sind die Personen in Schulbildung aus Luxemburg mit einem Anteil von ca. 17 % an der WAIM-Stichprobe. Eine gruppenspezifische Analyse der WAIM-Stichprobe ist daher zusätzlich nach Personen aus Deutschland und Personen aus Luxemburg zu unterscheiden. Generell ist eine nach dem Land des Wohnortes differenzierte Analyse der TOIM- und WAIM-Stichproben jedoch aufgrund des vernachlässigbaren Anteils der Teilnehmenden mit Wohnsitz in Frankreich, Luxemburg und Belgien nicht sinnvoll und zulässig.

Um den Einfluss des ortsspezifisch verfügbaren ÖV-Angebots auf das Verkehrsmittelwahlverhalten zu berücksichtigen werden die Stichproben auch nach der maßgeblichen Einwohnerzahl des Wohnortes verglichen. Diese wird aus der erhobenen Postleitzahl abgeleitet (vgl. Kapitel 7.1). Die Postleitzahl wurde jedoch nur für die beiden Stichproben TOIM und WAIM aus dem Projekt TERMINAL erhoben. Für die HFIM-Stichprobe lag die Einwohnerzahlklasse bereits a priori vor, da ausschließlich Personen aus dem Ortsteil Hambach an der Weinstraße und damit Personen aus einer Gemeinde mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern dazu berechtigt waren, den Fahrservice zu nutzen. (vgl. Anhang C-5)

Der Großteil der befragten Personen aus der TOIM-Erhebung war mit fast 62 % zum Erhebungszeitpunkt in einer Gemeinde mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern wohnhaft, der mit ca. 21 % zweitgrößte

Teil gab an in einer Postleitzahlregion mit Gemeinden mit maximal 5.000 Einwohnern zu wohnen und der drittgrößte Teil mit fast 12 % ist einem Wohnort mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern zuzuordnen. Die übrigen Stichprobenpersonen haben angegeben in einem Wohnort mit maximal 100.000 bis unter 500.000 Einwohnern zu wohnen, das heißt Gemeinden mit über 500.000 Einwohnern sind in der TOIM-Stichprobe nicht vertreten. (vgl. Anhang C-5)

Das gleiche gilt für die WAIM-Stichprobe, wobei hier die Personen mit Wohnort in Gemeinden mit unter 5.000 Einwohnern mit ca. 31 % am stärksten vertreten sind. Der zweitgrößte Teil stammt mit über 30 % aus Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern und der drittgrößte Teil mit knapp 29 % aus Gemeinden mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern. Die übrigen knapp 10 % sind erneut Gemeinden mit 100.000 bis unter 500.000 Einwohnern zuzuordnen während die Bewohner und Bewohnerinnen von Gemeinden mit über 500.000 Einwohnern nicht an den Workshops teilgenommen haben. (vgl. Anhang C-5)

Insgesamt werden in der WAIM-Stichprobe die Bewohner und Bewohnerinnen aus den beiden Gemeindegrößenklassen mit 5.000 bis unter 20.000 sowie 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern gut repräsentiert und diejenigen aus Gemeinden mit unter 5.000 Einwohnern sind in Vergleich zur Grundgesamtheit der für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten etwas überrepräsentiert. Alle drei Gruppen überschreiten die Mindestanzahl von 30 Personen. In der TOIM-Stichprobe sind die Bewohner und Bewohnerinnen von Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern im Vergleich zur Grundgesamtheit deutlich überrepräsentiert, während Personen aus der niedrigsten Einwohnerzahlklassen etwas zu stark und Personen aus der zweiten Klasse etwas zu geringfügig in der Stichprobe vertreten sind. Lediglich die Gruppe der Teilnehmenden mit Wohnsitz in Gemeinden mit unter 5.000 Einwohnern und in Gemeinden mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern sind in der TOIM-Stichprobe mit mindestens 30 Personen vertreten, wodurch eine Mindestqualität von spezifischen Analysen für dies Gruppen gewährleistet ist.<sup>270</sup> (vgl. Anhang C-5)

Zusammenfassend sind die Erhebungsergebnisse aus der WAIM-Erhebung lediglich für Bewohner und Bewohnerinnen aus Klein- und Mittelstädten übertragbar. Ein gruppenspezifischer Vergleich mit Ergebnissen aus der TOIM- und der HFIM-Erhebung ist nur für Personen mit Wohnsitz in Gemeinden mit unter 5.000 Einwohnern und/oder mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern sinnvoll.

Neben der Einwohnerzahlklasse, zur Berücksichtigung der infrastrukturellen Verfügbarkeit des ÖV-Angebotes, wurde zusätzlich die individuelle Ausstattung einer Person mit Mobilitätswerkzeugen erhoben. Im Vergleich zur Grundgesamtheit, entsprechend der für das Jahr 2019 gewichteten MOP-Daten, liegt der Anteil der Personen mit Führerschein mit fast 97 % und damit einhergehend die Pkw-Verfügbarkeit mit ca. 80 % bei der TOIM-Stichprobe etwas zu hoch. In der HFIM-Stichprobe sind diese

---

<sup>270</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 13,5 % mit unter 5.000 Einwohnern, 25,1 % mit 5.000 bis unter 20.000 Einwohnern, 27,4 % mit 20.000 bis unter 100.000 Einwohnern, 16,1 % mit 100.000 bis unter 500.000 Einwohner und 18,0 % mit 500.000 Einwohnern oder mehr (vgl. Kapitel 3.2.1).

beiden Anteilsmerkmale mit ca. 79 % bzw. fast 73 % dagegen zu niedrig. In der WAIM-Erhebung wurde der Führerscheinbesitz erst in den digital durchgeführten und während der Corona-Pandemie ergänzten Workshops erhoben. Daher wird ausschließlich die durchgängig erhobene Pkw-Verfügbarkeit betrachtet. Aufgrund des großen Anteils der Personen in der Schulbildung bzw. der Personen unter 17 Jahren, ist dieser Anteil mit ca. 52 % stark unterrepräsentiert.<sup>271</sup> Während die Personengruppe ohne Führerscheinbesitz weder in der HFIM- noch in der TOIM-Erhebung die mindestens angestrebte Anzahl von 30 Personen erreicht, wird dieses Kriterium für die Personen mit Führerscheinbesitz erfüllt. Zusätzlich sind in der TOIM- und der WAIM-Stichprobe auch jeweils mehr als 30 Personen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit vertreten. In der HFIM-Erhebung trifft dies hingegen lediglich für die Personen mit Pkw-Verfügbarkeit zu. (vgl. Anhang C-6)

Der hohe Anteil von Personen in der Bildungsphase an der TOIM- und der WAIM-Stichprobe, macht sich auch durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Personen mit einer Zeitkarte für den ÖV mit über 57 % bzw. über 64 % bemerkbar. Dadurch sind sowohl die Personen mit als auch die Personen ohne Zeitkartenbesitz in den Stichproben mit mehr als 30 Personen vertreten. In der HFIM-Stichprobe ist dieser Anteil mit unter 12 % im Vergleich zur Grundgesamtheit hingegen deutlich unterrepräsentiert, weshalb die Mindestanzahl von 30 Personen durch diese Gruppe nicht erreicht wird. (vgl. Anhang C-6) Zusammenfassend können die Ergebnisse differenziert nach Pkw-Verfügbarkeit und Zeitkartenbesitz zwischen der TOIM- und der WAIM-Erhebung verglichen werden. Für die HFIM-Erhebung ist lediglich ein personengruppenspezifischer Vergleich für Personen mit Pkw-Verfügbarkeit und Personen ohne Zeitkartenbesitz sinnvoll.

Wie der Fahrservice der HFIM-Erhebung in den Testzeiträumen (vgl. Kapitel 3.2.2) genutzt wurde, wird mit zwei verschiedenen Datensätzen analysiert. Es wurden Daten von insgesamt 3.285 Buchungen während des wissenschaftlich begleiteten Testzeitraums aus dem System ausgelesen, für Analysen anonymisiert und aufbereitet. Zusätzlich liegen 120 Wegeprotokolle aus der fahrtbegleitenden Befragung vor. (vgl. Anhang C-7)

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die verantwortlichen Personen für die in den Buchungsdaten und Wegeprotokollen dokumentierten Wege nicht identisch mit den Teilnehmenden aus der Befragung sind, die vorab durchgeführt und deren Stichprobe bisher beschrieben wurde. Aufgrund der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Umstände liegt jedoch eine, aus Datenschutzgründen nicht genauer definierbare Überschneidungsmenge vor. Es ist davon auszugehen, dass diese so groß ist, dass die Werte vergleichbar und die Unterschiede aus der Nutzungsintention und der tatsächlichen Nutzung in einem späteren Analyseschritt abgeleitet werden können.

Die während der Testphase der HFIM-Erhebung registrierten und buchungsberechtigten Personen konnten vor der Datenanonymisierung durch die MoD Holding GmbH, die für den Fahrbetrieb zuständig

---

<sup>271</sup> Anteile an der für 2019 gewichteten MOP-Stichprobe der Personen ab 15 Jahren: 86,3 % Personen mit Führerscheinbesitz, 75,8 % Personen mit Pkw-Verfügbarkeit und 23,0 % ÖV-Zeitkartenbesitz (vgl. Kapitel 3.2.1).



war, in drei Gruppen eingeteilt werden. Diese sind unbeeinflusste, direkt beeinflusste und indirekt beeinflusste Personen. Während unbeeinflusste Personen Nutzende waren, die während des Testzeitraums Mitarbeitende bei der MoD Holding GmbH waren, handelte es sich bei direkt beeinflussten Personen um Mitarbeitende der MoD Holding GmbH. Eine Eigennutzung war aufgrund der Lage des Firmenstandortes während des Testzeitraums nicht vermeidbar und ermöglichte zudem eine leichte Überprüfbarkeit der Funktionsfähigkeit und der Einhaltung der Betriebszeiten durch das Fahrpersonal. Indirekt beeinflusste Personen wiederum stammten aus dem Bekannten- und Verwandtschaftskreis der Belegschaft der MoD Holding GmbH und wurden vor allem während der ersten Testphase zur Erprobung der Technologie akquiriert. Mit 69 Personen sind fast 80 % der Accounts der Gruppe der unbeeinflussten Personen zuzuordnen. Mit insgesamt 2.255 Buchungsanfragen und fast 69 % ist ein Großteil der aus dem System ausgelesenen Daten für den gesamten wissenschaftlich begleiteten Testzeitraum vom 15. Juli bis zum 5. Oktober 2019 auf diese Personengruppe zurückzuführen. Nachfolgend wird diese Teilmenge der Buchungsanfragen als Auswertungsstichprobe bezeichnet. (vgl. Anhang C-7)

Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben wurde, wurde die gesamte wissenschaftlich begleitete Testphase in zwei Abschnitte unterteilt, wobei im ersten Abschnitt vom 15. Juli bis zum 11. August 2019 keine Bündelung von Fahrten durchgeführt wurde. Bei diesem Angebot handelt es sich nach der Definition aus Kapitel 5.1.2 also um ein Ridehailing-Angebot. In der verbleibenden Testphase vom 12. August bis zum 5. Oktober 2019 wurden Fahrten gebündelt bzw. gepoolt weshalb es sich um ein Ridepooling-Angebot handelt. Mit einem Anteil von fast 71 %, bezogen auf die Auswertungsstichprobe, fand ein Großteil der erfolgreich durchgeführten Buchungen in der Ridepooling-Testphase der HFIM-Erhebung statt. Mit unter 32 % ist der Anteil der ausgefüllten Wegeprotokolle aus diesem Zeitraum dennoch niedriger. Es war also eine gewisse Berichtsmüdigkeit zu beobachten. (vgl. Anhang C-7)

Während des Testzeitraums war es häufig beobachtbar, dass Buchungsanfragen mit denselben Start- und Zielpunkten sowie derselben Abfahrtszeit von registrierten Personen innerhalb desselben fünf-Minuten-Intervalls mehrfach wiederholt wurden, falls die bereits getätigten Buchungsanfragen ohne Erfolg gewesen sind. Solche Buchungsanfragen werden nachfolgend als Wiederholungsbuchungen bezeichnet. Ihr Anteil lag im Hinblick auf alle Buchungsdaten bei mehr als 17 % und im Hinblick auf die Daten der unbeeinflussten Personen bei etwas mehr als 22 %. Jeweils mehr als 99 % der Wiederholungsbuchungen wurden wegen eines nicht verfügbaren Fahrzeugs oder eines Abbruchs durch die buchende Person nicht durchgeführt. Wird der Anteil der erfolgreichen Buchungen nach Abzug der nicht erfolgreichen Wiederholungsbuchungen berechnet, so liegt dieser im Hinblick auf die Gesamtstichprobe bei fast 66 % und im Hinblick auf die Auswertungsstichprobe bei ca. 64 %. (vgl. Anhang C-7)

Im Testzeitraum der HFIM-Erhebung stand für einen relativ hohen Anteil an Buchungsanfragen kein Fahrzeug zur Verfügung. Nach Abzug der nicht erfolgreichen Wiederholungsbuchungen lag dieser Anteil bei knapp 25 %, bezogen auf die Gesamtstichprobe, und bei über 28 % im Hinblick auf die Anfragen der

unbeeinflussten Personen. Dieser hohe Anteil ist auf die mit zwei Fahrzeugen kleine Betriebsflotte zurückzuführen. Eine Auswirkung auf die Fahrzeugverfügbarkeit durch die Eigennutzung der direkt und indirekt beeinflussten Personen ist hingegen nur selten zu beobachten. Lediglich ca. 6 % der aufgrund eines nicht verfügbaren Fahrzeugs abgelehnten Anfragen lagen in Zeiträumen, in welchen mindestens eine Fahrt von direkt oder indirekt beeinflussten Personen durchgeführt wurde.

Die vergleichend zur HFIM-Erhebung herangezogenen Wegeprotokolle aus der im Forschungsprojekt TERMINAL durchgeführten TFAF-Erhebung sind auch nach einer Gesamtstichprobe von 413 sowie einer Auswertungsstichprobe von 207 fahrbegleitend ausgefüllten Fragebögen zu unterscheiden. Bei der zweiten, reduzierten Stichprobe handelt es sich um die Protokolle der Teilnehmenden, die alle Fragen beantwortet haben, die für eine Auswertung mindestens relevant sind. Diese Wegeprotokolle sind also der in Kapitel 7.1 beschriebenen Stichprobe von 60 Personen zuzuordnen. (vgl. Anhang C-7)

Insgesamt neun Personen, von denen fünf Personen alle relevanten Fragen beantwortet haben, erhielten dabei die Berechtigung, den angebotenen, grenzüberschreitenden Fahrservice über einen längeren Zeitraum zu nutzen. Der Anteil der durch diese Personen ausgefüllten Wegeprotokolle liegt im Hinblick auf die Gesamtstichprobe bei ca. 86 % und im Hinblick auf die Auswertungsstichprobe bei fast 79 %. (vgl. Anhang C-7)

## 8.2 Nutzung und Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Nachfolgend wird zunächst beschrieben, wie die Fahrgäste aus dem Testbetrieb der HFIM- und der TFAF-Erhebung das jeweils testweise zur Verfügung gestellte Mobilitätsangebot in Anspruch nahmen und welche Betriebskenngrößen sich daraus ergeben. Anschließend werden diese Ergebnisse mit der erhobenen Nutzungsintention aus der Vorabbefragung verglichen. Parameter zur Beschreibung des Verhaltens der Fahrgäste in der HFIM-Erhebung werden jeweils für die Auswertungsstichprobe, also die Buchungsdaten und Fahrtenprotokolle der unbeeinflussten Personen, ermittelt. Parameter, die die Funktion und die Effizienz des Angebotes beschreiben, werden für die vollständige Stichprobe ermittelt.

### 8.2.1 Gemessene Nutzung individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Mit fast 77 % der erfolgreich durchgeführten Fahrten aus der Auswertungsstichprobe hat die Mehrheit der buchenden Personen den Fahrservice der HFIM-Erhebung alleine, also nicht innerhalb einer Gruppenbuchung, in Anspruch genommen. Knapp 17 % der Fahrten unbeeinflusster Personen wurden für zwei und unter 7 % für drei oder mehr Fahrgäste gebucht. Ein Grund hierfür liegt vermutlich auch in der Kapazität der beiden eingesetzten Fahrzeuge, die eine Buchung für größere Gruppen nicht ermöglicht hat. So wurden mit dem Tesla Model X fünf buchbare Sitzplätze und mit dem Tesla Model S drei Sitzplätze angeboten. In diesem Zusammenhang wurden über 66 % der Buchungsanfragen aus der

Gesamtstichprobe mit vier oder mehr Fahrgästen nicht durchgeführt, während dieser Anteil bei Gruppengrößen von eins bis drei Personen in weniger als 33 % der Fälle abgelehnt werden musste. Diese Nutzung führte bei der HFIM-Erhebung in der Phase ohne Pooling zu einem Besetzungsgrad von ca. 1,2 Personen im kleineren und von etwas mehr als 1,3 Personen im größeren Fahrzeug. Während der Testphase mit Pooling lag der Besetzungsgrad der beiden Fahrzeuge bei etwas mehr als 1,3 bzw. bei ca. 1,5 Personen. Im Vergleich dazu wurde im Fahrbetrieb der TFAF-Erhebung ein Besetzungsgrad von 1,4 Personen erreicht. (vgl. Tabelle 8-1)

In der Testphase ohne Fahrtenbündelung konnte der Besetzungsgrad in der HFIM-Erhebung direkt aus der bei der Buchung angegebenen Gruppengröße abgeleitet werden. In der Testphase mit Pooling wurde hingegen zunächst für jede Fahrt die zeitliche Überschneidung mit einer anderen Fahrt mit demselben Fahrzeug ermittelt. Für diese zeitlichen Überschneidungen wurde anschließend die jeweilige Anzahl an Fahrgästen der betroffenen, erfolgreich durchgeführten Buchungsvorgänge aufsummiert und der maximale Wert für die jeweilige Fahrt abgeleitet. Es handelt sich demnach um den Mittelwert der maximalen Fahrgastanzahl pro Fahrt. Im Vergleich dazu wurde der Besetzungsgrad in der TFAF-Erhebung ausschließlich auf Grundlage der Wegeprotokolle von Fahrgästen berechnet, die das Angebot über einen längeren Zeitraum nutzen konnten. Die Fahrgastanzahl wurde direkt in den Wegeprotokollen angegeben und daher tendenziell mehrfach dokumentiert, da idealerweise jeder Fahrgast ein eigenes Wegeprotokoll ausgefüllt hat. Daher wurden auch hier mit Hilfe der angegebenen Parameter in den Wegeprotokollen gebündelte Fahrten identifiziert und für die Berechnung des Besetzungsgrades auf eine einzige Fahrt mit maximal angegebener Fahrgastzahl reduziert.

Die Ergebnisse zum Besetzungsgrad verdeutlichen erneut die bereits in Kapitel 5.2 hervorgehobene Bedeutung des Pooling im Hinblick auf die umweltpolitischen Ziele. Dies gilt insbesondere für die HFIM-Erhebung, denn der durchschnittliche Besetzungsgrad in privaten Pkw liegt entsprechend den Daten aus der MiD 2017 in Deutschland mit 1,4 Personen pro Pkw-Fahrt etwas höher als in beiden Fahrzeugen der Testphase ohne Fahrtenbündelung und auch etwas höher als im Tesla Model S in der Testphase mit Fahrtenbündelung.<sup>272</sup> In den Szenarien von KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2022), die auf einer Befragung der Fahrgäste des Ridepooling-Angebotes MOIA in Hamburg aufbauen und in Kapitel 5.2 bereits vorgestellt wurden, wird jedoch aufgezeigt, dass bei einer entsprechend verkehrspolitischen Steuerung und bei optimaler Abstimmung der Fahrzeugflotte auf die Nachfrage eine Steigerung des Besetzungsgrades von ca. 1,3 im Status-Quo-Szenario auf über 1,8 im Szenario mit der stärksten Nutzung zunehmen kann.<sup>273</sup>

Der Besetzungsgrad hängt bei IM bzw. bei AIM unmittelbar mit dem Anteil der Fahrten zusammen, bei denen eine Bündelung stattfindet. Diese sogenannte Bündelungsrate, lag während der Testphase mit Fahrtenbündelung bei der HFIM-Erhebung, je nach Fahrzeugmodell, zwischen ca. 17 % und 18 %. Bei der

---

<sup>272</sup> vgl. NOBIS, KUHNIMHOF et al., 2019, S. 25.

<sup>273</sup> vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2022, S. 14 f., 22 f.

TFAF-Erhebung lag der entsprechende Wert mit über 43 % deutlich höher. Die Fahrtenbündelung wurde wie oben beschrieben berechnet. (vgl. Tabelle 8-1)

Erneut werden nachfolgend zum Vergleich die entsprechenden Werte aus anderen Studien und/oder Veröffentlichungen von IM-betreibenden Unternehmen beschrieben. Entsprechend den Ergebnissen von KNIE, RUHRORT et al. (2020) zu den Angeboten des Mobilitätsdienstleistenden CleverShuttle in Berlin, Dresden, Leipzig und München, wurde mit knapp 50 % eine deutlich höhere Bündelungsrate erzielt. Dieses wird durch einen Vergleich mit dem entsprechenden Wert das MOIA-Angebotes aus Hamburg, der bei ca. 60 % liegt, bestätigt.<sup>274</sup>

**Tabelle 8-1:** Besetzungsgrad und Bündelungsrate

Kenngröße	Buchungsdaten	fahrtbegleitende Erhebung
	HFIM	TFAF
Gesamtstichprobe		
ohne Fahrtenbündelung	527	
mit Fahrtenbündelung	1.260	356 <sup>a</sup>
Besetzungsgrad		
ohne Fahrtenbündelung	1,2 bzw. 1,3 <sup>b</sup>	
mit Fahrtenbündelung	1,3 bzw. 1,5 <sup>b</sup>	1,4
Bündelungsrate	18,0 % bzw. 17,1 % <sup>c</sup>	43,4 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Es werden nur die Wegeprotokolle der dauerhaft nutzenden Personen berücksichtigt.

<sup>b</sup> Die erste Zahl gibt das Ergebnis für das Tesla Model S und die zweite für das Tesla Model X an.

<sup>c</sup> Die erste Zahl gibt das Ergebnis für das Tesla Model S und die zweite für das Tesla Model X an. Ergebnis entspricht dem Anteil der gebündelten an allen erfolgreich durchgeführten Buchungsvorgängen aus der Testphase vom 12. August 2019 bis zum 5. Oktober 2019.

Die Ermittlung der Fahrtenbündelung auf Grundlage der zeitlichen Überschneidung von Fahrten führt jedoch zu einer positiven Überschätzung des Ergebnisses. So liegt die Bündelungsrate im Extremfall bei beispielsweise zehn Fahrten, die jeweils zu einem Prozent der Fahrzeit gebündelt wurden, bei 100 % und suggeriert eine sehr hohe Effizienz. Dementsprechend fordern LIEBCHEN, LEHNERT et al. (2020) eine Berechnung der sogenannten Systemeffizienz durch Division der gebuchten Pkm durch die Summe aller Fahrzeugkilometer (Fzgkm), die für IM oder konkret für ein Ridepooling-Angebot messbar sind. Für eine

<sup>274</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 3 f.; vgl. MOIA, 2022.

solche Berechnung müssen allerdings neben dem Umwegfaktor durch die Bündelung von durchgeführten Fahrten auch die Wegelängen für Fahrten ohne Fahrgäste, also die sogenannten Leerkilometer, bekannt sein. Diese fallen bei IM- bzw. AIM-Angeboten beispielsweise bei der Abholung des nächsten Fahrgastes an.<sup>275</sup> Der Umwegfaktor sowie die Leerkilometer können jedoch weder aus den Buchungsdaten der HFIM-Erhebung noch aus den Wegeprotokollen der TFAF-Erhebung abgeleitet werden.

Um den Ausführungen von LIEBCHEN, LEHNERT et al. (2020) Rechnung zu tragen, wird für die Ergebnisse aus der HFIM-Erhebung zusätzlich der Anteil der durch das jeweilige Fahrzeug gebündelten Fahrzeit mit zwei oder mehr Buchungen berechnet. Im Hinblick auf die Gesamtstichprobe aus der Testphase mit einer Fahrtenbündelung, liegt dieser Anteil beim Tesla Model S bei über 8 % und beim Tesla Model X bei ca. 7 %. Daraus ergibt sich durchschnittlich für jeden Fahrgast eine gebündelte Fahrzeit von knapp 14 % im Tesla Model S und von etwas mehr als 11 % im Tesla Model X. Verglichen mit einem mittleren Anteil an gebündelter Fahrzeit von 35 % aus den Angeboten von CleverShuttle, liegt dieser Wert dennoch sehr niedrig.<sup>276</sup>

Die niedrige Bündelungsrate könnte neben der geringeren Bevölkerungsdichte in der kreisfreien Stadt Neustadt an der Weinstraße gegenüber von Großstädten wie Berlin oder Hamburg und einer damit einhergehenden, potenziell niedrigeren Buchungsanfrage, auch im relativ kurzen Testzeitraum, begründet liegen. Aus den Daten von KNIE, RUHRORT et al. (2020) kann die Tendenz abgeleitet werden, dass die Bündelungsrate mit einem zunehmend länger zurückliegenden Einführungszeitpunkt des Angebotes ansteigt. In Dresden wurde das CleverShuttle-Angebot später eingeführt als in Berlin, München und Leipzig und die Bündelungsrate lag zum Zeitpunkt der Studie mit 40 % etwas niedriger als in den anderen Städten mit rund 50 %. Ein kausaler Zusammenhang wurde jedoch nicht überprüft.<sup>277</sup>

Auch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge im Verhältnis zur Größe des Bedienegebietes könnte einen Einfluss auf die Bündelungsrate und den durchschnittlichen Anteil der gebündelten Fahrzeit haben. In der HFIM-Erhebung war diese Fahrzeugdichte in Fahrzeugen pro Flächeneinheit mit zwei Fahrzeugen, die für Fahrten in einem Bedienegebiet von insgesamt 8,7 km<sup>2</sup> buchbar waren, sehr gering und lag bei 0,23 Fahrzeugen pro km<sup>2</sup>. Daraus dürften sich teilweise sehr weite Wege und sehr lange Fahrzeiten bei der Abholung von Fahrgästen ergeben haben, die im Umkehrschluss wiederum zu sehr langen Wartezeiten geführt und damit nicht die Kriterien für eine Durchführung der Fahrten erfüllt hätten. Durch dieses verringerte Aufkommen an Buchungsvorgängen wurde indirekt auch das Potenzial an möglichen Fahrtenbündelungen reduziert. In Hamburg hat das MOIA-Angebot, das mit ca. 60 % eine höhere Bündelungsrate erreicht, aktuell eine Fahrzeugdichte von fast 1,3 Fahrzeugen pro km<sup>2</sup>.<sup>278</sup>

---

<sup>275</sup> vgl. LIEBCHEN, LEHNERT et al., 2020, S. 19 f., 2021, S. 138–142.

<sup>276</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 3 f.

<sup>277</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 3.

<sup>278</sup> vgl. MOIA, 2022.

Bei Betrachtung der Wegelängen, die mit den Buchungen in der HFIM-Erhebung durchgeführt wurden, fällt auf, dass diese mit durchschnittlich ca. 3,4 km sehr kurz sind. Die Wegelängen wurden in der HFIM-Erhebung jedoch nicht direkt erhoben, sondern wurden auf Grundlage der Start- und Endpunkte der Buchungsdaten mit einer für einzelne Relationen im Bediengebiet ermittelten und anschließend auf alle Wege übertragenen Erhöhung der Luftliniendistanz um 60 Prozentpunkte berechnet. Das erste Quartil der Wegelängen, das sich hieraus ergibt, liegt bei knapp 2,8 km und das dritte Quartil bei etwas mehr als 4,3 km. (vgl. Tabelle 8-2)

Die Wegelängen, die in den Wegeprotokollen der Personen angegeben wurden, die das Angebot aus der TFAF-Erhebung über einen längeren Zeitraum nutzen konnten, sind mit durchschnittlich 12 km deutlich länger. Sie liegen damit auf gleicher Höhe wie die mittlere Wegelänge in Deutschland entsprechend den Daten aus der MiD 2017. Werden die mittleren Wegelängen auf Grundlage der Daten aus der MiD 2017 differenziert nach den Verkehrsmodi berechnet, so liegen die protokollierten Wegelängen mit dem Fahrservice aus der HFIM-Erhebung auf ähnlicher Höhe wie die durchschnittlichen Wegelängen mit dem Fahrrad, mit ca. 4 km, oder beim zu Fuß gehen, mit ca. 2 km.<sup>279</sup>(vgl. Tabelle 8-2)

**Tabelle 8-2:** Wegelängen und Wegedauer

Kenngröße	Buchungsdaten		fahrtbegleitende Erhebung	
	HFIM		TFAF	
	M	SD	M	SD
Wegelänge in Kilometer				
Luftliniendistanz	2,2	0,8		
Fahrweg	3,4 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	12,0	6,2
Wegedauer in Minuten				
	8,0	12,9		

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 1.787 erfolgreich durchgeführte Buchungen bei der HFIM-Erhebung und N = 365 Wegeprotokolle bei der TFAF-Erhebung. Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt. Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben.

<sup>a</sup> Berechnung durch eine Überhöhung der Luftliniendistanz um das 1,6-fache.

Die Unterschiede zwischen der HFIM-Erhebung und der TFAF-Erhebung lassen sich auch durch das unterschiedliche, zur Verfügung gestellte Angebot erklären. Während der Fahrservice in Neustadt an der Weinstraße im Rahmen des Forschungsprojektes Hambach-Shuttle im Flächenbetrieb angeboten wurde, wobei die maximale Ausdehnung von Süden nach Nord-Westen bei einer Wegelänge von

<sup>279</sup> vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 45 ff.

ca. 9 km liegt, wurde das TFAF-Angebot auf zwei Testrouten mit einer Länge von 25 km bzw. 32 km betrieben. Die Fahrgäste der Erhebung aus dem Forschungsprojekt TERMINAL konnten das Angebot daher innerhalb eines deutlich größeren Bediengebietes nutzen, wenngleich es sich um einen Korridorbetrieb mit vorgegebener Fahrtrichtung handelte. (vgl. Kapitel 3.2.2 bzw. Kapitel 4.2.1)

Eine ähnliches Ergebnis ist auch den simulierten Szenarien von KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2021, 2022) zu entnehmen, die für das Ridepooling-Angebot MOIA in der Stadt Hamburg basierend auf Erhebungen erstellt wurden. Demnach steigt die mittlere Fahrtlänge der simulierten Agenten bei einer MOIA-Nutzung mit einem größer werdenden Bediengebiet von ca. 6,9 auf über 9,8 km an. Die Autoren betonen jedoch auch, dass dieser Anstieg nicht proportional ist, weshalb entsprechende Angebote voraussichtlich auch bei noch größeren Bediengebieten für Wegelängen im mittleren Bereich genutzt werden.<sup>280</sup>

Als weiterer Hinweis auf die potenzielle Nutzung solcher flexibilisierten Mobilitätsangebote, auch im Hinblick auf eine Fahrzeugautomatisierung also auf AIM, dienen die von den Teilnehmenden der WAIM-Erhebung beschriebenen Wege mit Nutzungsintention für ein beispielhaft zur Verfügung gestelltes Angebot. Dieses Angebot stellt eine Mischung aus einem Flächen- und einem Korridorbetrieb dar, da es einerseits im Wohnort der befragten Personen nutzbar wäre, andererseits aber auch für Fahrten in umliegende Ortschaften in einem Umkreis von maximal 20 km genutzt werden könnte. Die mittlere Wegelänge, die sich aus dieser Erhebung ergibt liegt mit ca. 10,2 km und einer Standardabweichung von 9,6 km demnach zwischen den Ergebnissen aus der HFIM-Erhebung und der TFAF-Erhebung. Das 25 % Quantil liegt in diesem Zusammenhang bei einer Länge von 3 km und das 75 % Quantil bei 15 km. Dieses Ergebnis bestätigt also die gemessenen Werte aus der HFIM- und der TFAF-Erhebung sowie aus der Simulationsstudie von KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2021, 2022).

Gleiches gilt für die Reisezeit, die mit diesen Wegelängen einhergeht. Während die Fahrzeit, aus den analysierten Buchungsdaten der HFIM-Erhebung bei durchschnittlich acht Minuten liegt, erreicht sie bei den beschriebenen Wegen aus der WAIM-Erhebung einen Mittelwert von ca. 19 Minuten. Die Reisezeit wurde bei der WAIM-Erhebung allerdings für das aktuell am ehesten für den Weg genutzte Verkehrsmittel abgefragt und variiert damit bei gleichen Distanzen dennoch stark. Die Standardabweichung der genannten Reisezeiten aus den Workshops ist mit fast 16 Minuten dementsprechend höher als bei den Buchungsdaten aus der HFIM-Erhebung mit ca. 13 Minuten.

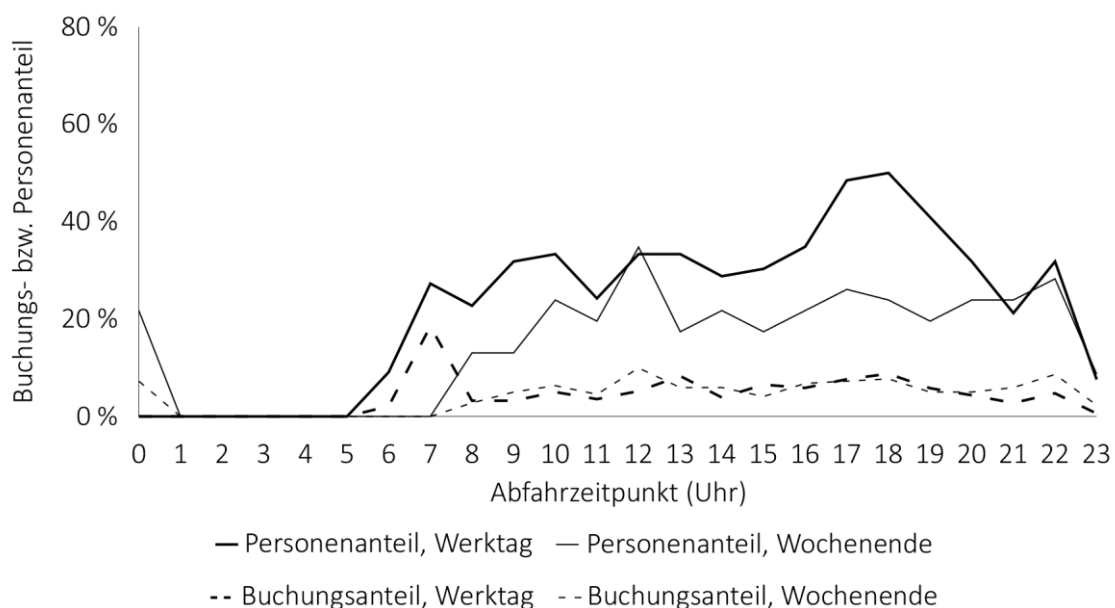
Neben der Fahrzeit bzw. Reisezeit konnte in der HFIM-Erhebung mit der geplanten Abfahrtszeit eine bedeutende, weitere zeitliche Komponente aus den Buchungsdaten ausgelesen und analysiert werden. Da sich die Buchungsanzahl ohne Wiederholungsbuchungen durch die 69 unbeeinflussten, registrierten Personen mit einer Spannweite von einer bis 178 Nutzungen innerhalb des 82-tägigen Testzeitraums stark unterscheidet und auch einen Einfluss auf die Verteilung der gewünschten Abfahrtszeiten über die

---

<sup>280</sup> vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2021, S. 73.

Tagesstunden hat, wird zusätzlich analysiert, welcher Anteil der registrierten Personen für welche Abfahrtszeit innerhalb der gesamten HFIM-Erhebung eine Fahrt gebucht hat. Dieser Wert ist zudem besser vergleichbar mit der Nutzungsintention für verschiedene Abfahrtszeiträume, die vorab in der HFIM-Erhebung ermittelt wurde. Bei der Analyse ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass über den Tageswechsel von sonntags bis donnerstags eine Nutzung von 22 Uhr abends bis 6 Uhr morgens und freitags und samstags von 1 Uhr nachts bis 8 Uhr morgens nicht möglich war.

Eine Analyse der Buchungsanfragen der unbeeinflussten Personen aus der HFIM-Erhebung verdeutlicht, dass der angebotene Fahrservice mit einem Anteil von mehr als 18 % an Werktagen am häufigsten für eine Nutzung zwischen 7 und 8 Uhr angefragt wurde. Betrachtet man jedoch nicht den Anteil der Buchungen, sondern den Anteil der unbeeinflussten Personen, so hat mit ca. 50 % die Mehrheit der Personen innerhalb des gesamten Testphase mindestens eine Nutzung an Werktagen zwischen 18 und 19 Uhr eingeplant. Daraus lässt sich ableiten, dass Personen, die den Fahrservice häufiger in Anspruch genommen haben, ihn häufiger für morgendliche Wege nutzen wollten und die Buchungsverteilung dadurch stark beeinflusst haben. An Wochenenden ist dieser Einfluss hingegen nicht beobachtbar, denn hier liegt das Maximum mit 10 % der Buchungsanfragen und knapp 35 % der Personen bei 12 Uhr mittags. (vgl. Abbildung 8-1)



**Abbildung 8-1:** Abfahrtszeitpunkte individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Die am zweithäufigsten angestrebte Nutzung an Wochenenden liegt ebenfalls abends. So wurden knapp 9 % der Buchungsanfragen unbeeinflusster Personen für einen Zeitpunkt von 22 bis 23 Uhr gestellt. Daraus ergibt sich ein Anteil von über 28 % der unbeeinflussten Personen, die eine



entsprechende Abfahrtszeit mindestens einmal innerhalb des Testzeitraums angefragt haben. (vgl. Abbildung 8-1)

Demnach wurde der Fahrservice sowohl an Werktagen als auch an Wochenenden sehr häufig für abendliche Wege gebucht. Wird die Anzahl der Personen berechnet, die zu bestimmten Tageszeiträumen innerhalb der gesamten Testphase mindestens eine Buchungsanfrage gestellt haben, so ist der größte Personenanteil mit fast 77 % im Zeitraum zwischen 18 und 24 Uhr zu finden. Etwa 75 % der Personen aus der Gruppe der unbeeinflussten Nutzenden haben mindestens eine Buchungsanfrage zwischen 16 und 18 Uhr gestellt. Dies geht einher mit den Nutzungsintentionen aus der Vorabbefragung der HFIM-Erhebung, nach welcher die beiden Zeiträume von den befragten Personen mit über 79 % für 18 bis 24 Uhr und ca. 67 % für 16 bis 18 Uhr am positivsten bewertet wurden. Demnach steigt das Nutzungspotenzial auf Personenebene sowohl in der Vorabbefragung als auch in den Buchungsdaten der HFIM-Erhebung mit der Tageszeit an. Auf ein ähnliches Ergebnis, allerdings bezogen auf tatsächlich zurückgelegte Wege, kommen die bereits thematisierten Studien von KNIE, RUHRORT et al. (2020) sowie KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2021, 2022).<sup>281</sup>

Aufgrund der geringen Anzahl an registrierten, unbeeinflussten Personen im Testzeitraum ist jedoch der Buchungsanteil differenziert nach Personen aussagekräftiger, da die Buchungshäufigkeit zwischen den Personen stark variiert und mehrheitlich eher eine seltene Nutzung vermuten lässt. So liegt der Median der Buchungsanfragen durch unbeeinflusste Personen während des gesamten Nutzungszeitraums bei 14 Buchungen, während der Mittelwert bei etwas über 25 liegt. Mit Blick auf die maximale Anzahl von 178 Buchungen durch eine einzige unbeeinflusste, registrierte Person, die aus den Buchungsdaten für diese Personengruppe entnommen wurde, wird daher die stark linksschiefe Verteilung deutlich. Dies belegt ebenfalls das dritte Quartil, das zeigt, dass 75 % der unbeeinflussten Personen aus der HFIM-Erhebung innerhalb der 82 Tage Testzeitraum maximal 34 Buchungen pro Person vorgenommen haben. Nimmt man also den Median als Referenzwert, so lässt sich aus der HFIM-Erhebung eher eine spontane und nicht eine regelmäßige Nutzung während des Testzeitraums von unter 1,2 Buchungen pro Person und Woche ableiten. Ähnliches Schlussfolgern KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2021, 2022) in ihrer Analyse von Wegedaten des IM-Angebotes MOIA sowie der Status-Quo-Simulation.<sup>282</sup>

Der Grund, weshalb hier der Anteil bzw. die Anzahl der Buchungsanfragen und nicht der tatsächlich im Testbetrieb umgesetzten Fahrten betrachtet wird, liegt in der geringen Fahrzeugflotte begründet, die, wie bereits erwähnt, zu einem relativ hohen Anteil an abgelehnten Buchungsanfragen geführt hat. Das Nutzungspotenzial bzw. das Nutzungsverhalten werden demnach durch die Nutzungsintention bzw. durch die Buchungsanfragen besser repräsentiert.

Die hohe Anzahl an abgelehnten Buchungsanfragen führt jedoch, insbesondere im Hinblick auf die in der HFIM-Erhebung fahrtbegleitend erhobenen Befragungsergebnisse zu einer erheblichen Schiefe in der Stichprobe. So wurden lediglich Personen befragt, bei denen die Buchungsfrage erfolgreich war und

---

<sup>281</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 4–7; vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2022, S. 14 f.

<sup>282</sup> vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2022, S. 14.

die das Angebot demnach voraussichtlich positiver bewerteten als dies Personen gemacht hätten, bei denen eine Buchungsanfrage aufgrund der geringen Fahrzeugflotte abgelehnt wurde.

Aufgrund der Zielsetzung der IM, ein zeitlich und räumlich flexibel nutzbares Mobilitätsangebot zur Verfügung zu stellen (vgl. Kapitel 5.1), ist die Vorlaufzeit, mit der unbeeinflusste Personen aus der HFIM-Erhebung während des Testzeitraums Buchungsanfragen gestellt haben, von besonderem Interesse. Diese Zeit ist aus den Buchungsdaten lediglich für die tatsächlich durchgeführten Fahrten ermittelbar und deutet auf eine spontane Nutzung hin. So liegt das 75-Prozent-Quantil der Stichprobe bei etwas mehr als zehn Minuten und der Median bei ca. sieben Minuten. Die Teilnehmenden aus den Testphasen der HFIM-Erhebung haben die zeitliche Flexibilität des zur Verfügung gestellten Angebotes demnach mehrheitlich in Anspruch genommen. Aufgrund der im Testzeitraum maximal zulässigen Vorlaufzeit von zwei Tagen handelt es sich dennoch um eine stark linksschiefe Verteilung mit einem, gegenüber dem Median, deutlich größeren Mittelwert und mit einer hohen Standardabweichung ( $M = 43,3$ ,  $SD = 206,3$ ).

Der Anspruch an eine zeitlich flexible Nutzung kann jedoch nur erfüllt werden, wenn das Angebot zuverlässig nutzbar ist, Fahrgäste am Einstiegsort nicht zu lange warten müssen und am Zielpunkt nicht mit einer großen Verspätung ankommen. Diese Voraussetzung wurde während der beiden Testphasen der HFIM-Erhebung eingehalten. Durchschnittlich mussten die Fahrgäste mit einer Verzögerung der Abfahrtszeit und einer Verspätung am Ausstiegsort von jeweils unter zwei Minuten rechnen, wobei die Standardabweichung bei etwas mehr als drei bzw. bei ca. dreieinhalb Minuten lag. Insgesamt sind die unbeeinflussten Personen, die den Fahrservice in Neustadt an der Weinstraße nutzen durften, daher mit dem Angebot sehr zufrieden gewesen.

Die Zufriedenheit im Hinblick auf Angebotsparameter, wie die Wartezeit bzw. die Verzögerung am Einstiegspunkt, den Bestellvorgang, die Ein- und Ausstiegssituation, den Fahrzeugzugang und den Nutzungskomfort, wurde in der HFIM-Erhebung mit einer fahrtbegleitenden Fahrgastbefragung ermittelt. Grundlage war die Bewertung der Zufriedenheit mit den Parametern über eine fünfstufige Likert-Skala. Alle genannten Parameter erhielten dabei sehr positive Bewertungen mit Top Box Anteilen von jeweils 88 % oder mehr.

### 8.2.2 Nutzungsintention

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels beschrieben, wird das beobachtete Nutzungsverhalten von IM-Angeboten aus der HFIM- sowie der TFAF-Erhebung um eine erhobene Nutzungsintention sowohl von IM- als auch AIM-Angeboten aus der TOIM- sowie der WAIM-Erhebung ergänzt. Grundlage sind bei der WAIM-Erhebung die quantitativen Daten aus den Fragebögen, die begleitend zur Durchführung der qualitativen Workshops abgefragt wurden. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Wie bereits in der Befragung zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens, wurden in der TOIM-Erhebung ebenfalls der Kenntnisstand zur Technologie sowie die bereits gesammelten Praxiserfahrungen mit IM-

Angeboten erhoben. Demnach haben knapp 19 % der Befragten angegeben, dass Sie den Begriff Mobility on Demand bzw. das darunter zu verstehende Angebotskonzept bereits kennen. Weitere fast 3 % haben angegeben, dass sie ein entsprechendes Angebot bereits genutzt haben. Da in diesem Zusammenhang jedoch der von einer Person angestrebte Erprobungszeitpunkt neuer bzw. innovativer Technologien nicht abgefragt wurde, ist eine Ableitung der Technologieaffinität in Anlehnung an die Diffusionstheorie von ROGERS (1983) nicht möglich. Dennoch wäre davon auszugehen, dass Personen mit einem gewissen Kenntnisstand oder mit Praxiserfahrungen eine Nutzung eher anstreben, als Personen ohne dieses Wissen oder diese Erfahrungen. Dies bestätigt sich durch Berechnung der Rangkorrelation nach Spearman jedoch nicht.

Fast 89 % der Teilnehmenden aus der Vorabbefragung der HFIM-Erhebung haben angegeben, dass sie sich mindestens eine wöchentliche Nutzung über einen Zeitraum von acht Wochen vorstellen können.<sup>283</sup> Bei diesem hohen Anteil ist jedoch davon auszugehen, dass er vom Effekt der sozialen Erwünschtheit geprägt ist.<sup>284</sup> So war die Teilnahme an der Vorabbefragung für die meisten Befragten eine grundlegende Voraussetzung zur Nutzung des Fahrservices (vgl. Kapitel 3.2.2). Dadurch könnte ein Teil der Stichprobe davon ausgegangen sein, dass eine positive Bewertung Vorteile im Hinblick auf die Nutzungserlaubnis mit sich bringt. (vgl. Tabelle 8-3)

Im Vergleich dazu wurde die Nutzungsintention sowohl in der TOIM- als auch in der WAIM-Erhebung mit einer fünfstufigen Likert-Skala ermittelt, wobei in der TOIM-Erhebung zunächst ebenfalls die Intention zur Nutzung eines IM-Angebotes abgefragt wurde.<sup>285</sup> Mit knapp 47 % auf der Top Box streben demnach weniger als die Hälfte der Befragten eine Nutzung an. Am Ende des Fragebogens wird dieselbe Frage nochmals für ein AIM-Angebot mit identischen Angebotseigenschaften wiederholt. In diesem Fall lag die Zustimmung mit einem Anteil der Top Box von knapp 51 % etwas höher. Im Vergleich dazu liegt die Nutzungsintention für das in der WAIM-Erhebung vorgestellte AIM-Konzept mit einem Anteil von knapp 63 % nochmals etwas höher.<sup>286</sup> Im Fragebogen aus der WAIM-Erhebung wurden jedoch nur Personen zur Nutzungsintention befragt, die vorab die Eigenschaften für einen Weg beschrieben haben, auf dem sie sich grundsätzlich eine Nutzung vorstellen könnten. (vgl. Tabelle 8-3)

---

<sup>283</sup> Das während der verschiedenen Testphasen zur Verfügung gestellte Mobilitätsangebot wurde mit seinen wesentlichen Angebotsparametern in Kapitel 3.2.2 detailliert beschrieben.

<sup>284</sup> Unter sozialer Erwünschtheit wird ein Effekt verstanden, durch welchen Personen häufig nicht wahrheitsgemäß antworten, wenn sie glauben, dass ihre eigene Meinung stark von der gesellschaftlich akzeptierten oder erwünschten Antwort abweicht. In einem solchen Fall antworten die Teilnehmenden häufiger so, wie sie glauben, dass es der sozialen Erwünschtheit entspricht. (vgl. HÄDER, 2019, S. 222–228)

<sup>285</sup> In der TOIM-Erhebung wurde das zu bewertende IM-Angebot wie folgt definiert: Es handelt sich um einen öffentlich zugänglichen Fahrservice, bei dem die Nutzenden ein Shuttle mithilfe einer App bestellen können. Dieses Shuttle bringt die Nutzenden zum gewünschten Zielort, der sich in einem vordefinierten Servicegebiet befindet (maximale Entfernung von 20 Kilometer). Fahrtenwünsche von anderen Nutzenden mit gleicher Zielrichtung und/oder sich überschneidenden Fahrtrouten werden gebündelt und gemeinsam durchgeführt.

<sup>286</sup> Im fahrbegleitenden Fragebogen der WAIM-Erhebung wurde das zu bewertende AIM-Angebot wie folgt definiert: Ein selbstfahrendes Fahrzeug ohne Fahrer oder Fahrerin bzw. ohne Servicepersonal, ähnlich einem Großraumtaxi, das über eine App auf dem Smartphone oder Tablet, per Computer, per Telefon oder per Bestellportal an einer Haltestelle buchbar ist, bei dem bei spontaner Buchung eine Wartezeit von ca. fünf bis zehn Minuten bis zur Abholung nicht überschritten wird, die voraussichtliche Ankunftszeit prognostiziert wird, die Ein- und Ausstiegspunkte fußläufig erreichbar sind und das in einem Servicegebiet nutzbar ist, das den eigenen Wohnort und die umliegenden Ortschaften in einem Umkreis von 20 km umfasst.

Die Teilnehmenden aus der TOIM-Erhebung, die die generelle Nutzungsintention mit der Top Box oder mindestens mit dem Wert drei beantwortet haben, wurden zusätzlich nach ihrer Bereitschaft zur Nutzung in Abhängigkeit von der Distanz und der Verbindungsfunktion des Weges befragt. Die Antworten der Teilnehmenden bestätigen die beobachteten Wegelängen aus den analysierten Buchungsdaten der HFIM-Erhebung. Demnach kann sich auch hier mit über 61 % die Mehrheit eine Nutzung vor allem für Wege mittlerer Distanzen zwischen drei und zehn Kilometer vorstellen. Bei längeren Wegen mit mehr als zehn Kilometern ist der Anteil der befragten Personen aus der TOIM-Erhebung mit über 47 % jedoch auch sehr hoch. Zudem wird eine Nutzung auf kurzen Wegen unter drei Kilometern von über 83 % der TOIM-Stichprobe abgelehnt und geht damit wiederum nicht mit den beobachteten Werten aus der HFIM-Erhebung einher. (vgl. Tabelle 8-3)

Nur bedingt vergleichbar sind entsprechende Anteile aus der WAIM-Erhebung, die auf Grundlage der genannten Distanzen der beschriebenen, potenziellen Wege berechnet wurden. Hier ergänzen sich die Anteile aus den drei Distanzklassen daher zu einer Summe von 100 %, während sich bei der TOIM-Erhebung für die beschriebenen Distanzklassen jeweils eine Summe von 100 % aus der Intention zur Nutzung und deren Ablehnung ergibt. Dennoch zeigt auch diese Auswertung, dass sich die Befragten mit einem Anteil von fast 44 % eine künftige Nutzung von AIM-Angeboten hauptsächlich für mittlere Wege mit 3 bis 10 km vorstellen können. (vgl. Tabelle 8-3)

Da die betreibenden Unternehmen von IM-Angeboten neben der langfristigen Automatisierung der Fahrzeuge auch eine Nutzung der Angebote in intermodaler und multimodaler Weise anstreben (vgl. Kapitel 5.1), wurde zusätzlich in der TOIM-Erhebung befragt, ob ein Einsatz vor allem auf der ersten oder letzten Meile eines Weges in Ergänzung zum heutigen ÖPNV-Angebot vorstellbar ist. Immerhin ca. 30 % der Teilnehmenden kann sich eine solche Nutzung vorstellen. Gleichmaßen haben knapp 20 % der Personen aus der WAIM-Erhebung angegeben, dass es sich bei dem beschriebenen Weg um einen Teil des Gesamtweges handelt. Welche Verkehrsmittel dabei kombiniert wurden, wird im nachfolgenden Kapitel näher beleuchtet. (vgl. Tabelle 8-3)

**Tabelle 8-3:** Nutzungsintention (automatisierter) individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Kenngröße	Vorabbefragung der Fahrgäste im Testbetrieb	Onlinefragebogen	Workshop-Konzept
	HFIM	TOIM	WAIM
Gesamtstichprobe	77	150	261
Nutzungsintention IM	88,7 % <sup>a</sup>	46,7 % <sup>b</sup>	
Nutzungsintention AIM		50,7 % <sup>b</sup>	62,8 % <sup>b</sup>
distanzabhängige Nutzungsintention IM bzw. AIM			
kurze Wege unter 3 km		16,5 %	22,3 % <sup>c</sup>
mittlere Wege von 3 bis 10 km		61,2 %	43,8 % <sup>c</sup>
längere Wege über 10 km		47,6 %	33,9 % <sup>c</sup>
erster/ letzte Meile/ Teilwege		30,1 %	19,8 %
alle Arten von Wegen		19,4 %	
zweckabhängige Nutzungsintention IM bzw. AIM			
Arbeit und/oder Bildung	44,4 % <sup>d</sup>	57,3 % <sup>d</sup>	40,6 % <sup>b</sup>
Einkauf	80,6 % <sup>e</sup>	31,1 %	31,8 % <sup>b</sup>
Erledigung und/oder Service <sup>f</sup>	72,2 % <sup>g</sup>	57,3 % <sup>g</sup>	
Arztbesuch	70,8 %	43,7 %	42,5 % <sup>b</sup>
Freizeit	90,3 %	77,7 %	49,4 % <sup>b</sup>
Nutzungsablehnung IM	11,3 % <sup>a</sup>	32,0 % <sup>h</sup>	
Nutzungsablehnung AIM		24,0 % <sup>i</sup>	16,9 % <sup>g</sup>

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Anteil der sich eine mindestens wöchentliche Nutzung über einen Zeitraum von acht Wochen vorstellen kann.

<sup>b</sup> Anteil der Top Box einer fünfstufigen Likert-Skala.

<sup>c</sup> Anteile sind aus den angegebenen Wegelängen berechnet worden und bedingt vergleichbar mit Ergebnissen der TOIM-Erhebung.

<sup>d</sup> Die Nutzungsintention wurde getrennt nach Arbeitswegen und Wegen zu Bildungseinrichtungen erhoben und anschließend kombiniert.

<sup>e</sup> Die Nutzungsintention wurde getrennt nach Einkaufswegen des täglichen und besonderen Bedarfs erhoben und anschließend kombiniert.

<sup>f</sup> Bei Servicewegen handelt es sich um Wege bei denen jemand abgeholt oder wo hingebacht wird.

<sup>g</sup> Die Nutzungsintention wurde getrennt nach sonstigen Erledigungen und Servicewegen erhoben und anschließend kombiniert.

<sup>h</sup> Anteil der Low Box einer fünfstufigen Likert-Skala inkl. dem Anteil, der bei der Angabe der Zwecke eine Nutzung explizit abgelehnt hat.

<sup>i</sup> Anteil der Low Box einer fünfstufigen Likert-Skala.

Abschließend wird die beobachtete Nutzung für verschiedene Wegezwecke aus der HFIM-Erhebung mit der entsprechenden Nutzungsintention aus den Befragungen der HFIM-, der TOIM- und der WAIM-Erhebung verglichen. Mit fast 37 % der ausgefüllten Wegeprotokolle aus der HFIM-Erhebung ist der am häufigsten benannte Zweck zur Nutzung des angebotenen Fahrservices der Freizeitweck. Demnach haben knapp 53 % der teilnehmenden Personen, die ein Wegeprotokoll ausgefüllt haben, mindestens ein Protokoll für einen Freizeitweg ausgefüllt. Dies geht tendenziell in eine ähnliche Richtung wie das Ergebnis aus der dazugehörigen Vorabbefragung, bei der über 90 % der befragten Personen angegeben haben, dass sie sich eine Nutzung des IM-Angebotes für Freizeitwege vorstellen können, während den übrigen Zwecken ein geringeres Potenzial zugeordnet wurde. Gleiches gilt für die Ergebnisse aus der TOIM-Erhebung, bei der fast 78 % der online zum Thema befragten Personen den Freizeitweck als Grund für eine potenzielle Nutzung angegeben haben. Bei der WAIM-Erhebung wurde die Nutzungsintention zunächst über eine fünfstufige Likert-Skala erhoben, wobei Freizeitwege einen Anteil von 49 % auf der Top Box und damit erneut die höchste Zustimmung erhalten haben. Anschließend wurden die Teilnehmenden darum gebeten, aus den positiv bewerteten Wegezwecken dieser ersten Einschätzung den wahrscheinlichsten Nutzungsgrund auszuwählen und einen Weg für ihn zu beschreiben (vgl. Kapitel 3.2.2). Mit einem Anteil von fast 36 % an allen, beschriebenen Wegen, dient der Großteil der angestrebten Nutzung erneut dem Freizeitweck und liegt damit fast auf einer Höhe mit dem Anteil der Wegeprotokolle aus der HFIM-Erhebung. (vgl. Tabelle 8-3)

Auch die bereits thematisierten Studien zur Nutzung von IM-Angeboten heben hervor, dass IM-Angebote hauptsächlich für den Freizeitweck genutzt werden.<sup>287</sup> Die hohe Bedeutung von Freizeitaktivitäten für die Mobilität im Allgemeinen, geht aus der MiD 2017 hervor, nach welcher der hauptsächliche Zweck für zurückgelegte Wege in Deutschland, mit einem Anteil von ca. 28 % Freizeitaktivitäten sind.<sup>288</sup>

Wie die Ergebnisse der MiD 2017 außerdem zeigen, unterscheiden sich die Anteile des mit insgesamt ca. 27 % in Deutschland am zweithäufigsten auftretenden Zwecks aus Arbeitswegen und dienstlichen Wegen stark nach Personengruppen, insbesondere nach der aktuellen Lebensphase. Gleiches gilt auch für die Wege zu Bildungszwecken, die in Deutschland einen Wegeanteil von ca. 7 % haben. Während berufstätige Personen im Wochenverlauf einen sehr großen Anteil des Tages am Arbeitsplatz verbringen, halten sie sich nur selten an Bildungseinrichtungen auf. Besonders für Personen in der Schulbildung, aber auch für Studierende ist der umgekehrte Effekt beobachtbar. Personen im Ruhestand hingegen verfolgen die beiden Zwecke nur sehr selten.<sup>289</sup> Diese Erkenntnis der MiD 2017 bestätigt den Ansatz des personengruppenspezifischen Mobilitätsverhaltens, der durch KUTTER (1972) begründet wurde und dieser Dissertation und insbesondere den Workshops aus der WAIM-Erhebung zugrunde

---

<sup>287</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 4; vgl. KAGERBAUER, KOSTORZ et al., 2021, S. 7.

<sup>288</sup> vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 61 f.

<sup>289</sup> vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 7–10.

liegt. Aus diesen Gründen wurden der Arbeits- und der Bildungszweck in dieser Erhebung nicht getrennt abgefragt, da eine Zuordnung über die jeweilige Personengruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit möglich ist und die Beantwortungszeit des quantitativen Fragebogens durch eine Bündelung reduziert werden konnte. Nachfolgend werden die Wege dieser beiden Zwecke bei den anderen Erhebungen vereinfachend und zur besseren Vergleichbarkeit ebenfalls zusammengefasst.

Während in der Vorabbefragung der HFIM-Erhebung eine Nutzung für Arbeitswege und/oder Wege zu Bildungseinrichtungen mit einem Anteil von etwas mehr als 44 % an der Gesamtstichprobe für die Teilnehmenden am seltensten vorstellbar war, haben immerhin ca. 36 % der teilnehmenden Fahrgäste, die fahrtbegleitende Fragebögen beantwortet haben, mindestens ein Wegeprotokoll auf dem Weg zur Arbeit oder zu einer Bildungseinrichtung ausgefüllt. Dies entspricht dem drittgrößten Anteil an der Gesamtstichprobe im Vergleich zu den übrigen Zwecken. Daraus ergibt sich ein Anteil von ca. 30 % an allen Wegeprotokollen für diese beiden Zwecke. Die Nutzung des IM-Angebotes für den Arbeitszweck oder auf Wegen zu Bildungseinrichtungen ist damit der zweithäufigste Zweck gewesen und wurde demnach von den Teilnehmenden vorab deutlich unterschätzt. Im Vergleich dazu haben die Befragten aus der TOIM-Erhebung mit einem Anteil von über 57 % an allen Stichprobenpersonen den Weg zur Arbeitsstelle und/oder Bildungseinrichtung als den zweitwahrscheinlichsten Grund für die Nutzung von IM-Angeboten identifiziert. Die Auswertung der Top Box der fünfstufigen Likert-Skala aus der WAIM-Erhebung ergab einen Anteil von knapp 41 % und damit wiederum den drittwichtigsten Zweck zur Nutzungsintention für AIM. Mit Blick auf den anschließend präzisierten Zweck im Zusammenhang mit einer Wegebeschreibung, waren Wege zum Ort der Arbeitsstelle oder Bildungsreinrichtung mit ca. 29 % wiederum der zweitwichtigste, potenzielle Nutzungsgrund der beschriebenen AIM. (vgl. Tabelle 8-3)

Im Vergleich dazu betonen auch KNIE, RUHRORT et al. (2020) dass immerhin ein Viertel der in ihrer Studie befragten Personen das CleverShuttle-Angebot für Wege zur Arbeit oder für geschäftliche Zwecke und damit am zweithäufigsten aus diesen Gründen in Anspruch genommen haben.<sup>290</sup>

Zusammenfassend sind Freizeitaktivitäten der häufigste Grund für die Nutzung sowohl von IM- als auch von AIM-Angeboten. Dies spiegelt sich in allen drei betrachteten Erhebungen wider. Im Hinblick auf die Gesamtzahl der Wege, nicht aber im Hinblick auf die befragten Personen, ist der zweitwichtigste Grund eine Nutzung auf Arbeitswegen und/oder Wegen zur Bildungseinrichtung.

### 8.2.3 Verkehrsmittelwahl

Eine wichtige Kenngröße der Nutzungsintention von IM- und AIM-Angeboten im Hinblick auf deren Umweltwirkungen ist die differenzierte Betrachtung nach den potenziell ersetzten Verkehrsmitteln und die Identifizierung von Parametern, um diese Verlagerungen in die eine oder andere Richtung beeinflussen zu können. Dazu wurde in der HFIM-, der TOIM- und der TOAF-Erhebung jeweils die Bedeutung verschiedener Angebotsparameter auf die Verkehrsmittelwahl, mit einer fünfstufigen Likert-

---

<sup>290</sup> vgl. KNIE, RUHRORT et al., 2020, S. 4.

Skala von unbedeutend bis hohe Bedeutung bzw. von überhaupt nicht wichtig bis sehr wichtig ermittelt. Während die abgefragten Items in der TOIM- und der TOAF-Erhebung identisch sind und teilweise nach ihrer inhaltlichen Bedeutung in zeitliche und räumliche Komponenten sowie die Angebotsqualität gruppiert werden können, trifft dies auf die Items aus der HFIM-Erhebung nicht zu.

Nachfolgend werden daher ausschließlich die Einflussfaktoren aus der TOAF- und der TOIM-Erhebung vergleichend nach den drei genannten Gruppen sowie den verbleibenden Items beschrieben. Die TOAF-Erhebung wird dabei betrachtet, obwohl sie sich nicht primär mit dem Thema der IM befasst hat, da es sich hierbei um die größte im Dissertationsvorhaben erhobene Stichprobe handelt und sie damit eine wichtige Vergleichsgröße darstellt. Mittlere Werte aller Items sowie vergleichbare, durchschnittliche Einzelwerte aus der HFIM-Erhebung, sind Anhang E-1 zu entnehmen.

Auch wenn alle abgefragten Items, mit Ausnahme der modernen Technologie, in den drei Erhebungen jeweils einen Mittelwert von mindestens drei oder höher erhalten und ihnen damit auf der fünfstufigen Likert-Skala durchweg eine Bedeutung für die Verkehrsmittelwahl beigemessen wird, werden die Items der zeitlichen Komponenten durchschnittlich am positivsten und die der räumlichen Komponenten als am unbedeutendsten bewertet. Sowohl in der TOAF- als auch der TOIM-Erhebung ist die wichtigste zeitliche Komponente mit einem mittleren Wert von 4,2 bzw. 4,4 die Pünktlichkeit bzw. die Einhaltung der gebuchten Abfahrts- und Ankunftszeit. Die zeitliche Flexibilität, also die Möglichkeit eine Fahrt bedarfsgerecht zu buchen, wann auch immer sie benötigt wird, ist ein Parameter, der von den IM- bzw. den AIM-Angeboten durch die Individualisierung gegenüber dem klassischen ÖPNV optimiert werden soll (vgl. Kapitel 5.1). Ihre Bedeutung liegt mit einem durchschnittlichen Wert von 3,9 bei der TOAF- und von 4,3 bei der TOIM-Erhebung dicht hinter der Pünktlichkeit als zweitwichtigste zeitliche Komponente. Die häufig als Vorteil des automatisierten Fahrens hervorgehobene Möglichkeit die Fahrzeit zu nutzen, wird hingegen in beiden Erhebungen mit mittleren Werten von 3,7 bzw. von 3,6 als etwas weniger bedeutend bewertet. (vgl. Anhang E-1)

Analog zur zeitlichen Flexibilität ist auch die räumliche Flexibilität von herausragender Bedeutung für IM- bzw. AIM-Angebote (vgl. Kapitel 5.1). Für die Verkehrsmittelwahl wurde ihr hingegen mit Mittelwerten von 3,7 bei der TOAF- und 3,9 bei der TOIM-Befragung eine niedrigere Bedeutung zugewiesen. Im Vergleich zu anderen räumlichen Angebotskomponenten wurde sie dennoch von den Teilnehmenden als am bedeutendsten bewertet. (vgl. Anhang E-1)

Die dritte Gruppe an Items thematisiert jeweils Parameter, die nach DIN EN 13816:2002-07 bzw. nach FGSV (2006) für die Angebotsqualität von ÖPNV-Angeboten von Bedeutung sind.<sup>291</sup> Das innerhalb dieser Gruppe und im Vergleich über alle abgefragten Items mit einem mittleren Wert von 4,3 bzw. 4,7 als am bedeutendsten bewertete Item ist sowohl in der TOAF- als auch der TOIM-Erhebung die Zuverlässigkeit. Die Zuverlässigkeit beschreibt, entsprechend der Formulierung des abgefragten Items, ob eine gebuchte Fahrt im Anschluss an den Buchungsvorgang stattfindet oder durch das System abgebrochen wird, also

---

<sup>291</sup> vgl. DIN EN 13816:2002-07, Anhang A; vgl. FGSV, 2006, S. 11.



ausfällt. Ein weiterer Parameter, der die Angebotsqualität beschreibt, ist in der Sicherheit zu finden, die von den befragten Personen der beiden Erhebungen mit einem durchschnittlichen Wert von 4,2 bei der TOAF- bzw. von 4,0 bei der TOIM-Erhebung ebenfalls als bedeutend bewertet wurde. Weitere Parameter wie der Fahrkomfort oder das vor Ort vorhandene ÖPNV-Angebot, die ebenfalls der Item-Gruppe zur Beschreibung der Angebotsqualität zugeordnet werden, wurden hingegen als weniger bedeutend bewertet. (vgl. Anhang E-1)

Neben den zeitlichen Komponenten, den räumlichen Komponenten und auch der Angebotsqualität sind insbesondere auch die Kostenkomponenten wichtige Eingangsgrößen zur Beschreibung und Abbildung des Verkehrsmittelwahlverhaltens in Modellen.<sup>292</sup> Die befragten Personen aus der TOAF- und der TOIM-Erhebung haben diesem Parameter mit einer durchschnittlichen Bewertung von 3,2 bzw. 3,7 jedoch eher eine mittlere Bedeutung für die Verkehrsmittelwahl zugordnet. Ein ebenfalls als eher unbedeutend bewerteter Angebotsparameter findet sich in der Umweltwirkung des Verkehrsmittels. Allgemein dürfte dieser Parameter im Hinblick auf das gestiegene Umweltbewusstsein der letzten Jahre zunehmend an Bedeutung gewinnen.<sup>293</sup> (vgl. Anhang E-1)

Ein Angebotsparameter, den sich die IM insbesondere im Hinblick auf die Digitalisierung und die Nutzung von Algorithmen zur Prozessautomatisierung zunutze machen und künftige AIM durch den Einsatz von selbstfahrenden Fahrzeugen weiter verstärken werden, ist die Nutzung neuer Technologien (vgl. Kapitel 5.1). Jedoch wird es von den befragten Personen aus der TOAF- als auch aus der TOIM-Erhebung mit Mittelwerten von 3,0 bzw. von 2,7 eher als unbedeutend für die Verkehrsmittelwahl bewertet, ob ein Mobilitätsangebot eine neue Technologie nutzt bzw. zur Verfügung stellt. (vgl. Anhang E-1)

Neben der Ausprägung verschiedener Angebotsparameter, könnte die Nutzung eines neu zur Verfügung gestellten Verkehrsmittels auch mit der Zufriedenheit mit der bisherigen Mobilität zusammenhängen. In der Mobilitätsforschung wird häufig in Wirkungsmodellen unterstellt, dass die subjektive Bewertung, ob die eigenen Mobilitätsziele mit den verfügbaren Verkehrsmitteln erreichbar sind, einen Einfluss auf die Wahl des Verkehrsmittels hat. Dieser Einfluss wurde ursprünglich von AJZEN (1991) in der bereits vorgestellten TPB unter dem Konstrukt PBC definiert.<sup>294</sup> Bewertet eine Person die eigene Mobilität demnach schlecht, ist es möglich daraus abzuleiten, dass die vorhandene, persönliche Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln subjektiv nicht als zielführend bewertet oder wahrgenommen wird, um die eigenen Mobilitätsbedürfnisse zu erfüllen. Steht demnach ein neuer, durch die betrachtete Person besser bewerteter Modus zur Verfügung, könnte dies die Verkehrsmittelwahl verändern.

---

<sup>292</sup> vgl. u.a. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 ff.

<sup>293</sup> Entsprechend der Umweltbewusstsein-Studie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) sowie des Umweltbundesamtes (UBA), hat die wahrgenommene Bedeutung des Umwelt- und Klimaschutzes von 2016 bis 2019 in der Bevölkerung zugenommen. Außerdem hat insbesondere das Umweltverhalten, also das berichtete, eigene Verhalten in Lebensbereichen, die für die Umwelt relevant sind und in denen sich eine Person für die Umwelt bzw. für den Klimaschutz engagiert, zugenommen. (vgl. BMUV, UBA, 2022, S. 25 f., 32-37)

<sup>294</sup> Theory of Planned Behavior (TPB) und Perceived Behaviour Control (PBC), vgl. Kapitel 3.2.1 bzw. vgl. AJZEN, 1991, 2005, S. 117–141; vgl. HUNECKE, 2015, S. 11–16.

Wird die auf der fünfstufigen Likert-Skala angegebene Zufriedenheit der befragten Personen betrachtet, so ist jedoch feststellbar, dass dieser Prozess für neue Mobilitätsdienstleistungen herausfordernd sein könnte, da bereits eine mittlere bis hohe Zufriedenheit vorliegt, sowohl in der TOAF-Erhebung ( $M = 4,0$ ,  $SD = 1,1$ ) als auch in der TOIM-Erhebung ( $M = 3,9$ ,  $SD = 1,1$ ). Dies wird auch bei Betrachtung der Anteile auf der Top Box deutlich. In der TOAF-Erhebung ergibt sich eine Zustimmung bzw. Zufriedenheit von über 72 % der Stichprobe. In der TOIM-Erhebung liegt dieser Wert mit fast 69 % geringfügig niedriger.

Inwiefern die Einstellungen der befragten Personen zur Bedeutung verschiedener Angebotsparameter einen Einfluss auf die Nutzungsintention von IM- bzw. AIM-Angeboten sowie auf das potenziell ersetzte Verkehrsmittel haben, wird im nachfolgenden Kapitel untersucht. In diesem Abschnitt wird analysiert, welches Verkehrsmittel von den Fahrgästen aus der HFIM- und TFAF-Erhebung durch die Mitfahrt im Testbetrieb ersetzt wurde und welches Verkehrsmittel die Teilnehmenden in der WAIM-Erhebung auf den beschriebenen, potenziellen Wegen theoretisch ersetzen würden. Es muss beachtet werden, dass in der HFIM- und der WAIM-Erhebung für die Fahrgäste theoretisch alle klassischen Verkehrsmittel zur Verfügung standen, während in der TFAF-Erhebung im grenzüberschreitenden Raum hauptsächlich der MIV als Alternative zur Verfügung stand. Dies gilt insbesondere für Personen, die den angebotenen Fahrservice über einen längeren Zeitraum nutzten. (vgl. Kapitel 7.1)

In diesem Zusammenhang wurde für 98 % der protokollierten Fahrten aus der TFAF-Erhebung der MIV, also die Fahrt mit einem Pkw als fahrzeugführende bzw. mitfahrende Person oder die Fahrt mit einem Moped, Mofa oder Motorrad, ersetzt (vgl. Tabelle 8-4). Nachfolgend werden aus den oben genannten Gründen lediglich die Ergebnisse aus der HFIM- und der WAIM-Erhebung miteinander verglichen. Während die Fahrgäste aus der HFIM-Erhebung explizit nach dem ersetzten, maßgeblichen Verkehrsmittel gefragt wurden, ist es im Fragebogen der WAIM-Erhebung möglich gewesen, mehrere ersetzte Modi anzugeben. Daher wurde für die beschriebenen Wege der WAIM-Erhebung das hauptsächlich benutzte Verkehrsmittel festgelegt. Dabei wurde die Notation des Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) als Grundlage genutzt. Diese Notation wurde von CHLOND, LIPPS et al. (1996) für das MOP 1994 übernommen und anschließend in den folgenden Jahrgängen weiterentwickelt.<sup>295</sup>

Vergleicht man die Ergebnisse aus der HFIM- und der WAIM-Erhebung, so sind die Anteile der ersetzten, maßgeblichen Verkehrsmittel in beiden Erhebungen, zumindest für den MIV und den ÖV inklusive der Wege mit dem Taxi, auf einem ähnlichen Niveau. Mit etwas mehr als 31 % in der HFIM-Erhebung und ca. 35 % in der WAIM-Erhebung, wurde in beiden Erhebungen in ungefähr einem Drittel der Wege der ÖV oder das Taxi durch das IM-Angebot bzw. durch das potenzielle AIM-Angebot ersetzt. Positiver zu bewerten ist, dass der größte Teil der Wege, nach den Aussagen der befragten Personen, sowohl in der

---

<sup>295</sup> Das hauptsächlich Verkehrsmittel wurde in Anlehnung an die Notation des DIW (vgl. CHLOND, LIPPS et al., 1996, S. 12; vgl. u.a. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 125) ermittelt: ÖPFV > ÖPNV > Taxi > Pkw-Mitfahrer > Pkw-Fahrer > Mofa, Moped, Motorrad > Fahrrad > zu Fuß > Sonstiges. Wegeketten in denen der ÖPFV benutzt wurde, werden dem ÖPFV zugeordnet, da davon ausgegangen wird, dass dieser für den größten Streckenabschnitt genutzt wurde.

HFIM- als auch der WAIM-Erhebung mit über 56 % bzw. mit ca. 55 % einen Weg des MIV ersetzen würde. (vgl. Tabelle 8-4)

**Tabelle 8-4:** Einfluss automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen auf die Verkehrsmittelwahl

Kenngröße	fahrtbegleitende Befragung		Workshop-Konzept
	HFIM	TFAF	WAIM
Gesamtstichprobe	120	207	261
ersetzer Verkehrsmodus			
zu Fuß	11,3 %		5,6 % <sup>a</sup>
Fahrrad	0,9 %	1,0%	4,3 % <sup>a</sup>
MIV	56,5 %	98,0%	55,1 % <sup>a</sup>
ÖV inkl. Taxi	31,3 %	0,0%	35,0 % <sup>a</sup>
Sonstige	0,0 %	1,0%	0,0 % <sup>a</sup>

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Angegebenes, hauptsächliches Verkehrsmittel in Anlehnung an die Notation des DIW (vgl. CHLOND, LIPPS et al., 1996, S. 12; vgl. u.a. ECKE, CHLOND et al., 2020, S. 125): ÖPFV > ÖPNV > Taxi > Pkw-Mitfahrer > Pkw-Fahrer > Mofa, Moped, Motorrad > Fahrrad > zu Fuß > Sonstiges. Wegekettens in denen der ÖPFV benutzt wurde, werden demzufolge dem ÖPFV zugeordnet, da davon ausgegangen wird, dass dieser für den größten Streckenabschnitt eingesetzt wurde.

Im Hinblick auf den NMIV sind in der Gesamtsumme demzufolge ebenfalls vergleichbare Anteile zu beobachten. Wie bereits beschrieben wurde, wurde der angebotene Fahrservice in der HFIM-Erhebung sehr häufig für sehr kurze Wege genutzt, weshalb es nicht verwundert, dass die meisten Wege, die den NMIV ersetzt haben, ehemals Fußwege gewesen sind. In den Ergebnissen der WAIM-Erhebung, wurden Fuß- und Radwege mit Anteilen von über 5 % bzw. über 4 % an allen potenziellen AIM-Wege in etwa gleich häufig ersetzt. (vgl. Tabelle 8-4)

Zusammenfassend ersetzen die IM- bzw. AIM-Angebote potenziell zu einem sehr großen Teil Wege mit dem MIV. Mit über einem Drittel ist allerdings auch der Anteil der Wege, der ehemalige Wege mit dem ÖV ersetzt hat, nicht zu vernachlässigen. In der Studie von KNIE, RUHRORT et al. (2020) liegt der Anteil der ersetzten ÖV-Wege sogar höher als der ersetzte Anteil der Pkw-Wege. Dies liegt den Autoren zufolge im mit 30 % hohen Anteil der Nutzenden ohne Führerschein und mit 36 % ebenfalls sehr hohen Anteil ohne Pkw-Besitz im Haushalt. Verglichen mit der eingangs beschriebenen Mobilitätsausstattung, sind jedoch in der HFIM- und der WAIM-Stichprobe ähnlich hohe Werte beobachtbar (vgl. Kapitel 8.1 bzw. Anhang C-6).

Aufgrund der beschriebenen Ziele der IM zur Förderung von Inter- und Multimodalität und den damit zusammenhängenden, bisher nicht quantifizierbaren Wirkungen auf entsprechende Verhaltensweisen (vgl. Kapitel 5.2), wurde in der WAIM-Erhebung zusätzlich ermittelt, ob das AIM-Angebot potenziell für den gesamten beschriebenen Weg oder nur für einen Teil des Weges bzw. der Wegekette genutzt wird. Insgesamt haben knapp 20 % der befragten Personen in diesem Zusammenhang eine Nutzung auf einem Teil des beschriebenen Weges und damit eine potenziell intermodale Nutzung des AIM-Angebot vorgesehen (vgl. Tabelle 8-5).

**Tabelle 8-5:** Einfluss automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen auf intermodale Verhaltensweisen

erzeugte Verhaltensweise	ersetzte Verhaltensweise		Summe
	monomodal	intermodal	
AIM-Nutzung			
monomodal: Nutzung für einen Gesamtweg	59,5 %	20,7 %	80,2 %
intermodal: Nutzung für einen Teilweg	11,2 %	8,6 %	19,8 %
Summe	70,7 %	29,3 %	

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 261 Personen aus der WAIM-Erhebung. Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt.

Im Hinblick auf die in der WAIM-Erhebung mögliche Benennung mehrerer, auf dem beschriebenen Weg eingesetzter Verkehrsmittel, ersetzt das neu zur Verfügung gestellte AIM-Angebot in über 29 % der Fälle bereits bestehende, intermodale Verhaltensweisen, also Kombinationen aus verschiedenen Angeboten. Werden die Nutzungsintention auf Teilwegen und die aktuelle Verkehrsmittelwahl differenziert nach Mono- und Intermodalität in einer Kreuztabelle betrachtet, so wird deutlich, dass das in der WAIM-Erhebung bewertete AIM-Angebot intermodale Verhaltensweisen eher reduziert als sie zu fördern. So werden zwar ca. elf Prozentpunkte des Anteils der vorab monomodalen Verkehrsmittelwahl nur auf einem Teil des Weges durch das AIM-Angebot ersetzt und damit intermodal, gleichzeitig wird aber mit fast 21 Prozentpunkten der Großteil der vorab intermodalen Wegekette durch eine monomodale Nutzung des AIM-Angebotes ersetzt. (vgl. Tabelle 8-5)

#### 8.2.4 Korrelationsanalyse zur Nutzungsintention

Analog zu den Zusammenhängen der Akzeptanz des automatisierten Fahrens bzw. von selbstfahrenden Elektroshuttles mit soziodemographischen Personeneigenschaften aus den Kapiteln 7.3 und 7.4, werden nachfolgend auch für die Nutzungsintention von IM und AIM die Ergebnisse einer durchgeführten Korrelationsanalyse vorgestellt. Da die beobachteten Nutzungen aus den Buchungsdaten und die fahrtbegleitend protokollierten Wege der HFIM-Erhebung aus Datenschutzgründen nicht zuverlässig mit den Stichprobenpersonen aus der Vorabbefragung verknüpft

werden können, wurden die Korrelationen lediglich auf Grundlage der TOIM- und der WAIM-Stichprobe berechnet und analysiert. Die jeweiligen Einschränkungen aus dem in Kapitel 8.1 beschriebenen Stichprobenumfang sind bei einer Betrachtung und Analyse der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Zunächst werden die Zusammenhänge der Nutzungsintention mit Personeneigenschaften für IM aus der TOIM-Erhebung vorgestellt, bevor vergleichbare Analyseergebnisse für AIM aus der WAIM-Stichprobe beschrieben werden. Dabei werden jeweils ausschließlich Variablen berücksichtigt, die in mindestens einer Beziehung zu Variablen der Nutzungsintention einen mittleren oder großen Zusammenhang nach der Konvention von COHEN (1988) aufweisen. Dazu müssen die Rangkorrelationen nach Spearmans  $\rho$  bzw. die Effektstärken mit Cramérs  $V$  größer oder gleich 0,30 sein.

Im Hinblick auf die Nutzungsintention von IM, sind statistisch signifikante Zusammenhänge mit den soziodemographischen Personeneigenschaften vor allem für die in der Befragung angegebenen Wegezwecke beobachtbar. Es handelt sich jedoch meist um niedrige oder mittlere Zusammenhänge, entsprechend der Einteilung von COHEN (1988). Mittlere und große Effektstärken sind lediglich zwischen der Personengruppe, dem Alter und der Haushaltsgröße auf der einen und der angestrebten Nutzung für Wege zu Bildungseinrichtungen sowie für Erledigungen auf der anderen Seite beobachtbar. Zusätzlich besteht ein mittlerer, positiver Zusammenhang zwischen dem Alter der Personen aus der TOIM-Stichprobe und der generellen Nutzungsintention unabhängig von der Anbindungsfunktion oder der Länge des Weges. All diese Zusammenhänge sind statistisch signifikant. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss jedoch die Klassifizierung der Variablenausprägungen berücksichtigt werden, die insbesondere bei der erhobenen beruflichen bzw. schulischen Lebenssituation aufgrund des geringen Stichprobenumfangs notwendig war (vgl. Kapitel 8.1). Dementsprechend wurde die Variable, die eigentlich aus sechs Rängen besteht, dichotomisiert und auf die beiden Gruppen der Studierenden und der Berufstätigen reduziert. (vgl. Anhang F-1)

Der größte Zusammenhang ist zwischen der dichotomisierten Variablen der Personengruppen und der ebenfalls dichotomen Variablen der Nutzungsintention für Wege zu oder von Bildungseinrichtungen beobachtbar. Die auf Grundlage eines Chi-Quadrat-Test ermittelte Effektstärke liegt bei 0,51 und demnach entsprechend der Konvention von COHEN (1988) im hohen Bereich. Mit einem  $p$ -Wert unter 0,01 handelt es sich zudem um einen hoch signifikanten Zusammenhang. Eine Analyse der entsprechenden Kreuztabelle verdeutlicht diesen a priori zu erwartenden Zusammenhang, nach welchem Personen im Studium mit einem Anteil von ca. 64 % deutlich häufiger IM auf Wegen zu oder von Bildungseinrichtungen nutzen möchten wie Berufstätige mit ca. 15 %. (vgl. Anhang F-1)

Weitere, signifikante Zusammenhänge finden sich zwischen der angegebenen Bedeutung verschiedener Parameter für die Verkehrsmittelwahl, der Zufriedenheit mit der eigenen Mobilität und erneut der Nutzungsintention für verschiedene Wegezwecke und für Wege mit unterschiedlichen Längen oder Anbindungsfunktionen. Entsprechend der Klassifizierung nach COHEN (1988) finden sich Effektstärken mittlerer Höhe zwischen der empfundenen Bedeutung des Fahrkomforts, dem vor Ort vorhandenen

ÖPNV-Angebot, der Bereitstellung moderner Technologien im Verkehrsmittel und der Zufriedenheit mit der eigenen Mobilität auf der einen und der Nutzungsintention für Arbeits- und Freizeitwege sowie längere Wege über 10 km, Wege der erste bzw. letzten Meile im Zusammenhang mit dem ÖPNV und allen potenziellen Wegen unabhängig der Länge oder der Distanz auf der anderen Seite. Am größten ist dieser Zusammenhang zwischen dem für eine Person verfügbaren ÖPNV-Angebot und der angestrebten Nutzung von IM-Angeboten auf Freizeitwegen. Für alle anderen soziodemographischen Eigenschaften oder Einstellungen besteht hingegen kein Zusammenhang mit der Nutzungsintention für Aktivitäten in der Freizeit. Dies spricht dafür, dass dieser, wie in diesem Kapitel bereits beschriebene, hauptsächliche Zweck zur Nutzung von IM-Angeboten unabhängig von Gruppen ist und auf die gesamte Stichprobe zutrifft. (vgl. Anhang F-1)

Eine weitere, a priori zu erwartende Rangkorrelation, die sich aus den in der TOIM-Erhebung ermittelten Kenngrößen zur Nutzungsintention von IM ergibt, liegt in der Interkorrelation der generell durch eine Person angegebenen Nutzungsintention und der angestrebten Häufigkeit zur Nutzung. Mit einem Wert von 0,38 für Spearmans  $\rho$  und einem p-Wert unter 0,01 handelt es sich dabei um eine positive, mittlere Korrelation.

Werden auf gleiche Weise die Zusammenhänge zwischen den Variablen zur angestrebten Nutzung und den soziodemographischen Eigenschaften aus der WAIM-Stichprobe analysiert, ist unter anderem ein statistisch signifikanter, positiver Einfluss der Mobilitätseinschränkung einer Person auf die generelle Nutzungsintention in mittlerer Höhe zu beobachten. Der Wert  $\rho$  dieser Rangkorrelation liegt bei 0,32 und hat einen p-Wert unter 0,01. Demnach scheinen Personen, die in den Workshops an Einrichtungen zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung befragt wurden, eine etwas höhere Nutzungsintention zu haben als Personen aus den anderen Workshops.

Zusätzlich deutet eine Effektstärke des auf Grundlage eines Chi-Quadrat-Tests ermittelten Cramérs  $V$  in Höhe von 0,35 mit einem p-Wert von 0,04 auf einen signifikanten, mittleren Zusammenhang zwischen dem Land der durchgeführten Workshops mit Personen in der Schulbildung und der Nutzungsintention für Freizeitwege. Grund hierfür ist, dass die befragten Schüler und Schülerinnen aus Luxembourg häufiger einen potenziellen Weg für eine Freizeitaktivität beschrieben haben, als die befragten Personen an Schulen in Deutschland.

Weitere, statistisch signifikante, in den Daten der WAIM-Erhebung beobachtbare Zusammenhänge finden sich zwischen der Einwohnerzahlklasse und der Wegelänge sowie zwischen dem Herkunftsland der Schüler bzw. Schülerinnen und der Reisezeit. Die negative Rangkorrelation zwischen der Wegelänge und der Einwohnerzahl, die für die Untersuchungen der Dissertation eher relevant ist, liegt bei einem Wert für Spearmans  $\rho$  in Höhe von -0,42 mit einem p-Wert unter 0,01. Die abnehmende Wegelänge mit einer ansteigenden Einwohnerzahlklasse bzw. mit der Siedlungsstruktur geht mit den Ergebnissen aus der MiD 2017 einher, die beispielsweise für Einwohner von Regiopolen oder Großstädten eine mittlere

Wegelänge von 11 km angibt, während der Wert für Einwohner von kleinstädtischen, dörflichen Räumen bei 14 km liegt.<sup>296</sup>

Bei einer Analyse der Zusammenhänge zwischen soziodemographischen Personeneigenschaften und dem potenziell ersetzten Verkehrsmittel, ergibt sich lediglich ein Einfluss der AIM auf die Pkw-Nutzung. Insbesondere für die Pkw-Verfügbarkeit entspricht die Effektstärke mit einem Cramérs V von 0,70 und einem p-Wert von unter 0,01 einem hohen, signifikanten Zusammenhang mit dem Ersatz des Pkw durch das AIM-Angebot. Dieser Zusammenhang ist selbsterklärend und dient streng genommen ausschließlich als Validierung der erhobenen Daten. So ersetzen Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit, die an der WAIM-Erhebung teilgenommen haben, ausschließlich andere Verkehrsmittel. Interessant ist aber durchaus, dass Personen mit Pkw-Verfügbarkeit zu einem sehr hohen Anteil von fast 68 % auf den beschriebenen Wegen eine Fahrt mit dem Pkw als Fahrer bzw. Fahrerin durch die Nutzung des AIM-Angebots ersetzen würden. Da die Personengruppe und das Alter mit der Pkw-Verfügbarkeit zusammenhängen, ist auch der mittlere, signifikante Zusammenhang dieser Personeneigenschaften mit dem potenziellen Ersatz von Pkw-Wegen durch eine AIM-Nutzung selbsterklärend. (vgl. Anhang F-2)

Weiterhin sind wiederum Unterschiede zwischen den in der WAIM-Erhebung befragten Schülern und Schülerinnen aus Deutschland gegenüber denen aus Luxemburg beobachtbar, denn die Teilnehmenden aus Luxemburg haben deutlich häufiger angegeben, dass sie durch die Nutzung des beschriebenen AIM-Angebotes einen Fußweg ersetzen würden, als die Teilnehmenden aus deutschen Schulen. Es handelt sich hierbei um einen signifikanten, mittleren Zusammenhang mit einem Cramérs V von 0,38 und einem p-Wert unter 0,01.

Abschließend wurden die Zusammenhänge zwischen der Nutzungsintention einer in der WAIM-Erhebung befragten Person und den Eigenschaften der beschriebenen, potenziellen Wege untersucht. Mit Blick auf die Konvention von COHEN (1988) deuten die auf Grundlage von Chi-Quadrat-Tests ermittelten Effektstärken lediglich auf niedrige, signifikante Zusammenhänge zwischen der Nutzungsintention für Einkaufswege auf der einen Seite und dem potenziellen Ersatz eines Pkw-Weges als Fahrer bzw. Fahrerin und der angegebenen Wegelänge auf der anderen Seite hin. (vgl. Anhang F-3) Darüber hinaus sind mittlere und hohe Zusammenhänge vor allem zwischen den Nutzungsintentionen oder zwischen den Wegeeigenschaften aus den Daten der WAIM-Erhebung ableitbar. Ein signifikanter mittlerer Zusammenhang besteht beispielsweise zwischen der Nutzungsintention für Freizeitaktivitäten und der angestrebten Nutzung für andere Wegezwecke. Dies bestätigt das bereits zuvor entdeckte und beschriebene, hauptsächliche Potenzial von AIM-Angeboten für Freizeitwege. Da es für die meisten Teilnehmenden aus der WAIM-Erhebung gut oder sehr gut vorstellbar war, das vorgestellte Angebot für

---

<sup>296</sup> vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 28.

Freizeitaktivitäten zu nutzen, geht diese hohe Nutzungsintention per se mit einer angegebenen, hohen Nutzungsintention für andere Wegezwecke einher. (vgl. Anhang F-3)

Eine hohe, signifikante Interkorrelation mit einem Wert für Spearmans  $\rho$  in Höhe von 0,51 und einem p-Wert unter 0,01, besteht zwischen den beiden Nutzungsintentionen für Einkaufswege und für Termine bei Ärzten oder sonstigen Einrichtungen des Gesundheitswesens. Kann sich eine Person eine Nutzung für Wege zu einem Arzt vorstellen, ist sie demnach tendenziell eher dazu bereit, ein AIM-Angebot auch für das Einkaufen zu nutzen. (vgl. Anhang F-3)

Zusammenhänge zwischen den beschriebenen, potenziellen Wegeeigenschaften bestehen in mittlerer Höhe zwischen der Nutzung des AIM-Angebotes anstelle eines Pkw-Weges auf der einen Seite und der Nutzung anstelle des ÖPNV auf der anderen Seite. Dies spiegelt erneut die entdeckte Substitution von intermodalen Wegen durch die potenzielle Nutzung von AIM wider. (vgl. Anhang F-3)

### 8.3 Anforderungen an Angebotsparameter

Neben der Nutzungsintention wurden die TOIM- und WAIM-Stichprobenpersonen nach der Bedeutung verschiedener Angebotsparameter befragt. Thematisiert wurden der Fahrzeugzugang, die zeitlich und/oder räumlich flexible Nutzung bzw. Bereitstellung des Angebotes, die Fahrtkosten, die Bezahlungsmöglichkeit und die Bündelung von Fahrten. Diese Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, wie Unternehmen, die solche Mobilitätsdienstleistungen oder klassische Angebote des ÖPNV betreiben, Angebotskonzepte ausgestalten sollten, um ein bedarfsgerechtes Angebot erstellen zu können.

#### 8.3.1 Zugang zum Fahrzeug

Im Hinblick auf den Fahrzeugzugang wurden zwei verschiedene Parameter abgefragt. Einerseits wurden Teilnehmende aus der TOIM- und der WAIM-Erhebung nach dem bevorzugten Medium zur Bestellung einer Fahrt mit einem IM- bzw. AIM-Angebot befragt und andererseits sollten die Personen aus der WAIM-Stichprobe verschiedene technische und/oder bauliche Gestaltungsformen der Ein- und Ausstiegssituation bewerten.

Die befragten Personen, sowohl in der TOIM- als auch der WAIM-Erhebung, haben die Applikation auf dem Smartphone oder Tablet mit einem durchschnittlichen Wert von 4,6 bzw. 4,7 auf einer fünfstufigen Likert-Skala als am bedeutendsten Bewertet und finden diese Möglichkeit zur Bestellung von IM- bzw. AIM-Angeboten insgesamt sehr wichtig. Obwohl die Bedeutung in der TOIM-Erhebung nicht direkt mit der Likert-Skala, sondern mit einer abgefragten Reihung entsprechend der Bedeutung erhoben wurde, sind die Unterschiede der beiden Mittelwerte nicht signifikant. Die Übereinstimmung der Erhebungen wird auch bei einem Vergleich der Anteilswerte der Top bzw. der Low Box deutlich. So liegt der Anteil der Top Box mit über 88 % bei der TOIM- und ca. 93 % bei der WAIM-Erhebung jeweils sehr hoch und der Anteil der Low Box mit knapp 4 % bei der TOIM- und etwas mehr als 3 % bei der WAIM-Erhebung sehr niedrig. (vgl. Tabelle 8-6)



Auch die Mittelwerte zur erhobenen Bedeutung einer Buchung über eine Website unterscheiden sich, entsprechend den Ergebnissen eines t-Tests, zwischen den beiden Erhebungen nicht signifikant. Sie liegen mit einem Wert von 3,1 in der TOIM- und von 3,2 in der WAIM-Erhebung jedoch eher im mittleren Bereich. Dementsprechend haben jeweils mit unter 45 % bzw. knapp 34 % auf der Top Box weniger als die Hälfte diese Buchungsmöglichkeit als wichtig oder sehr wichtig empfunden. Unter ein Drittel der TOIM- und der WAIM-Stichprobe hat die Buchung über eine Website mit den ersten beiden Werten auf der Likert-Skala bzw. der Low Box bewertet. (vgl. Tabelle 8-6)

**Tabelle 8-6:** Bedeutung verschiedener Bestellmöglichkeiten und Ein- und Ausstiegsarten

Kenngröße	Onlinefragebogen		Workshop-Konzept	
	TOIM		WAIM	
	M	SD	M	SD
<b>Buchungsmöglichkeiten</b>				
Applikation <sup>a</sup>	4,6	0,9	4,7	0,8
Website für den Browser <sup>a</sup>	3,1	1,2	3,2	1,2
Messengerdienst	2,8	1,3		
E-Mail	2,0	1,0		
Telefonanruf <sup>b</sup>	2,2	1,2	3,1	1,4
Bestellautomat an Haltestelle			3,2	1,3
<b>Art des Ein- und Ausstiegs</b>				
in-App-Anzeige <sup>c</sup>			4,2	0,9
Markierung im Straßenraum <sup>d</sup>			3,1	1,3
bauliche Haltestelle <sup>d</sup>			3,3	1,3

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 150 Personen aus der TOIM-Erhebung und N = 217 Personen aus der WAIM-Erhebung mit einer mittleren oder hohen Nutzungsintention für AIM-Wege (Werte drei bis fünf auf der Likert-Skala). Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt. Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben. Alle Parameter konnten mit einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 (niedrige Bedeutung) bis 5 (hohe Bedeutung) bewertet werden.

<sup>a</sup> Ein t-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen Mittelwerten aus der TOIM- und der WAIM-Erhebung.

<sup>b</sup> Ein t-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten aus der TOIM- und der WAIM-Erhebung.

<sup>c</sup> In unmittelbarer Nähe zum aktuellen Standort bzw. zum Zielpunkt.

<sup>d</sup> In einer von der befragten Person maximal akzeptierten Entfernung.

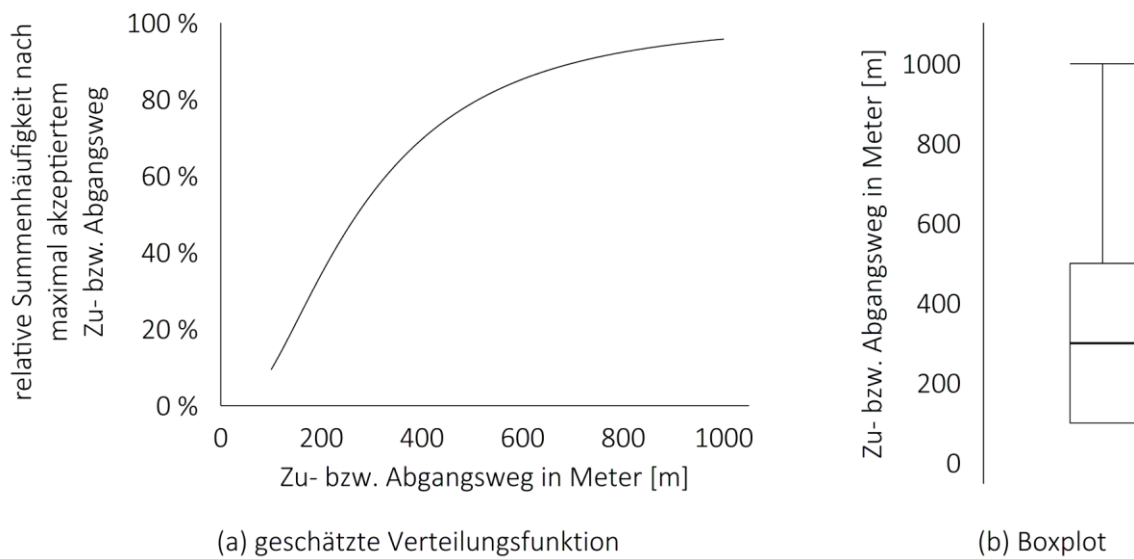
Eine Buchung über einen Telefonanruf wurde ebenfalls in beiden Erhebungen bewertet, wurde von den Teilnehmenden der WAIM-Erhebung jedoch mit einem Mittelwert von 3,1 und einem Anteil der Top Box von ca. 40 % wichtiger empfunden als durch die TOIM-Stichprobe. Hier liegt der Anteil der Personen, der einen Telefonanruf als Buchungsmöglichkeit im Hinblick auf die Bedeutung an erster oder zweiter Stelle einordnete, bei unter 15 %. Über alle befragten Personen ergibt sich ein mittlerer Bedeutungsrang von 2,2. (vgl. Tabelle 8-6)

Weitere Buchungsmöglichkeiten die entweder ausschließlich in der TOIM- oder in der WAIM-Erhebung abgefragt wurden, finden sich in der Bestellung über einen Messengerdienst auf dem Smartphone, über eine E-Mail oder über einen Bestellautomaten an baulichen Haltestellen. All diese Möglichkeiten wurden auf der fünfstufigen Likert-Skala eher im niedrigen bis mittleren Bereich mit Werten zwischen 2,2 und 3,2 bewertet. (vgl. Tabelle 8-6)

Die Befragten der WAIM-Erhebung wurden zusätzlich nach der Gestaltung der Ein- und Ausstiegssituation befragt. Demnach bevorzugten die meisten Teilnehmenden eine Darstellung des jeweiligen Ein- und Ausstiegspunktes ausschließlich in der App, wobei der Ein- bzw. Ausstieg dann in unmittelbarer Nähe zum aktuellen Standort bzw. zum Zielpunkt der Person erfolgen sollte. Während diese Art des Zugangs mit einem mittleren Wert von 4,2 und einem Anteil auf der Top Box von ca. 78 % eher positiv bewertet wurde, erhielten die übrigen, beschriebenen Varianten eher Bewertungen im mittleren Bereich der fünfstufigen Likert-Skala. So wurde der Ein- bzw. Ausstieg an einer baulichen Haltestelle mit einem Mittelwert von 3,3 und an einer im Straßenraum markierten Stelle mit mittleren 3,1 bewertet. Die Anteile der Top Box liegen in diesem Zusammenhang mit einem Anteil von knapp 45 % bei baulichen Haltestellen und etwas mehr als 42 % bei Markierungen nur unwesentlich höher wie die Anteile der Low Box mit jeweils ca. 30 %. (vgl. Tabelle 8-6)

Für Personen, die eine bauliche Haltestelle forderten, scheint die Überdachung am wichtigsten zu sein. So bewerteten die Befragten der WAIM-Erhebung diese Ausgestaltungsvariante mit einem mittleren Wert von 4,5 auf der fünfstufigen Likert-Skala, wobei die Standardabweichung bei 0,9 liegt. Dies macht einen Anteil von knapp 88 % auf der Top Box aus. Die Anteile der Top Box für Aushänge und Sitzbänke an Haltestellen liegen hingegen lediglich bei etwas mehr als 68 % bzw. bei ca. 54 %. Die Mittelwerte auf der fünfstufigen Likert-Skala liegen in diesen Fällen bei 3,9 bzw. 3,6 mit einer Standardabweichung von 1,2 bzw. 1,3.

Ein weiterer wichtiger Parameter, der in der WAIM-Erhebung direkt abgefragt wurde, ist die maximal akzeptierte Entfernung des Ein- und Ausstiegspunktes vom aktuellen Standort bzw. vom Ziel des Weges. Mit einer Maximum-Likelihood-Schätzung konnte eine passende Verteilungsfunktion für die Summenhäufigkeit geschätzt werden. Die dabei als am passendsten identifizierte Verteilungsfunktion ist die logarithmierte Normalverteilung. Die Verteilungskurve und die zugrundeliegenden Parameter werden in Abbildung 8-2 a dargestellt bzw. angegeben.



*Anmerkung:* In den Grafiken (a) und (b) wird der in der WAIM-Erhebung abgefragte Wertebereich von 100 bis 1.000 Meter deutlich sichtbar. (a) zeigt eine logarithmierte Normalverteilung mit Erwartungswert und Standardabweichung von  $\mu_y = 5,60$  bzw.  $\sigma_y = 0,76$ .

**Abbildung 8-2:** Maximal akzeptierter Zu- bzw. Abgangsweg für AIM-Angebote

Der aus der WAIM-Erhebung abgeleitete Interquartilsabstand des maximal akzeptierten Zu- bzw. Abgangsweges für AIM-Angebote hat seine Untergrenze bei 100 Metern und seine Obergrenze bei 500 Metern. Der Median liegt mit 300 Metern etwas niedriger als der Mittelwert mit 356 Metern, weshalb von einer rechtsschiefen Verteilung gesprochen werden kann. (vgl. Abbildung 8-2 b)

In der WAIM-Erhebung wurde zusätzlich der Bedarf nach der Verfügbarkeit eines Servicepersonals, das beim Ein- und Ausstieg oder mit Gepäck behilflich ist, erfragt. Mit einem mittleren Wert von ca. 3,5 und einem Anteil von fast 57 % auf der Top Box gab ein Großteil der Teilnehmenden an, dass ein solches Personal auch im vollständig automatisierten Fahrbetrieb zumindest optional auf Abruf verfügbar sein sollte. Das komplementäre Item, das eine dauerhafte Anwesenheit forderte, lehnte der Großteil der Befragten mit einem durchschnittlichen Wert von ca. 2,8 auf der fünfstufigen Likert-Skala und einem Low-Box-Anteil von fast 47 % dementsprechend ab.

### 8.3.2 Flexibilität

Eine Angebotseigenschaft, die für IM- bzw. AIM-Angebote charakteristisch ist, ist die flexible räumliche und zeitliche Nutzbarkeit (vgl. Kapitel 5). Um den Bedarf bzw. den Anspruch der Bevölkerung nach einer zusätzlichen Reservierungsmöglichkeit zu erheben, wurde mit dem begleitenden Fragebogen zur WAIM-Erhebung die Bedeutung dieser Funktion mit Hilfe einer fünfstufigen Likert-Skala abgefragt. Mit einem mittleren Wert von ca. 4,4 und einem Top-Box-Anteil von über 86 % wird deutlich, dass der Großteil der

Teilnehmenden trotz der Vorteile einer flexiblen Nutzung die Möglichkeit zur Buchung auf eine vorab definierte Abfahrtszeit für notwendig hält. Dies wird durch die Betrachtung der Low Box noch deutlicher, denn keine Stichprobenperson hat dieses Item mit den beiden niedrigsten Skalenwerten beantwortet. (vgl. Tabelle 8-7)

**Tabelle 8-7:** Bedeutung einer Reservierungsmöglichkeit

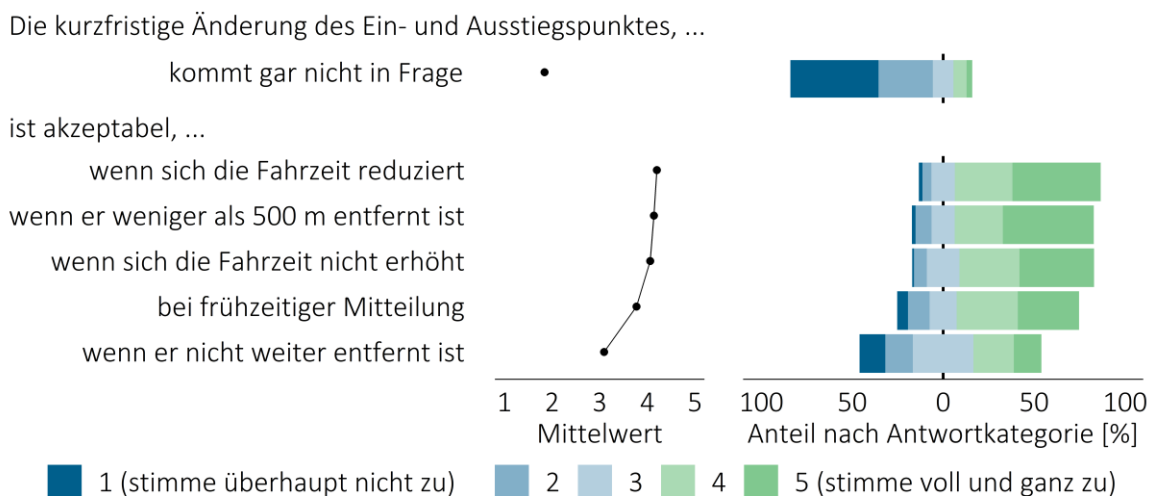
Kenngröße	Onlinefragebogen		Workshop-Konzept	
	TOIM		WAIM	
	M	SD	M	SD
Reservierungsmöglichkeit			4,4	0,7
mehrere Tage vorab	3,0	1,3		
ein Tag vorab	3,5	1,1		
bis zu vier Stunden vorab	3,8	1,2		
bis zu eine Stunde vorab	3,1	1,4		

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 150 Personen aus der TOIM-Erhebung und N = 217 Personen aus der WAIM-Erhebung mit einer mittleren oder hohen Nutzungsintention für AIM-Wege (Werte drei bis fünf auf der Likert-Skala). Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt. Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben. Alle Parameter konnten mit einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 (niedrige Zustimmung oder negative Bewertung) bis 5 (hohe Zustimmung oder positive Bewertung) bewertet werden.

Im Hinblick auf die benötigte Vorlaufzeit für die Buchung einer Fahrt mit einem IM-Angebot werden im Fragebogen TOIM-Erhebung insgesamt vier verschiedene Zeiträume zur Abstimmung mit einer fünfstufigen Likert-Skala bereitgestellt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine Vorlaufzeit von bis zu vier Stunden bzw. maximal einem Tag ausreichend zu sein scheint. So haben die Teilnehmenden die Vorlaufzeit von bis zu vier Stunden mit einem durchschnittlichen Wert von ca. 3,8 und einem Anteil von 66 % auf der Top Box am positivsten bewertet. Dicht dahinter folgt der Zeitraum zur Reservierungsmöglichkeit bis zu einen Tag im Voraus mit einem Mittelwert von ca. 3,5 auf der Likert-Skala bzw. einem Top-Box-Anteil von 53 %. Der Anteil der Low Box liegt bei diesen beiden Items jeweils bei 16 %. Bei den Zeiträumen für eine Buchung von maximal einer Stunde vorab oder von mehreren Tagen vorab liegt der Low-Box-Anteil mit über 38 % bzw. 43 % hingegen deutlich höher. Diese beiden Items werden durchschnittlich jeweils mit einem Wert von knapp drei auf der fünfstufigen Likert-Skala bewertet. (vgl. Tabelle 8-7)

Die Flexibilisierung der Angebote bringt nicht nur Vorteil für die Fahrgäste mit sich, sondern ermöglicht auch eine flexible Änderung des Abfahrzeitpunktes oder der Ein- und Ausstiegspunkte, um den Betrieb zu optimieren oder um spontane Buchungen ebenfalls umsetzen zu können.

Die kurzfristige Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes, wird von der Mehrheit der befragten Personen aus der TOIM-Erhebung, zumindest unter gewissen Umständen, akzeptiert. So wurde das Item, das diese Anpassung kategorisch ablehnt, mit einem mittleren Wert von ca. 1,9 auf der fünfstufigen Likert-Skala und einem Low-Box-Anteil von über 78 % nicht bestätigt. Auch die Bedingung, dass durch eine solche Änderung der Zu- und/oder Abgangsweg nicht verlängert werden darf, wurde mit einem Low-Box-Anteil von mehr als 29 % häufig abgelehnt. Ein Mittelwert von ca. 3,1 und Top-Box-Anteil von über 37 % belegen jedoch auch, dass ein großer Teil der Befragten diesem Item zustimmte. (vgl. Abbildung 8-3) Sofern die Änderung des Ein- und/oder Ausstiegspunktes jedoch rechtzeitig mitgeteilt wird, haben die befragten Personen der TOIM-Erhebung mehrheitlich nichts dagegen einzuwenden. Das dazugehörige Item erhielt eine durchschnittliche Bewertung von fast 3,8 und einen Top-Box-Anteil von über 67 %. Die Items, die die Zustimmung an eine gleichbleibende bzw. verkürzte Fahrzeit oder einen maximalen Zu- bzw. Abgangsweg von 500 Metern knüpfen, erhielten jeweils hohe Zustimmungen mit Mittelwerten zwischen 4,0 und 4,2 und Anteilen an der Top Box zwischen 74 % und 80 %. (vgl. Abbildung 8-3)

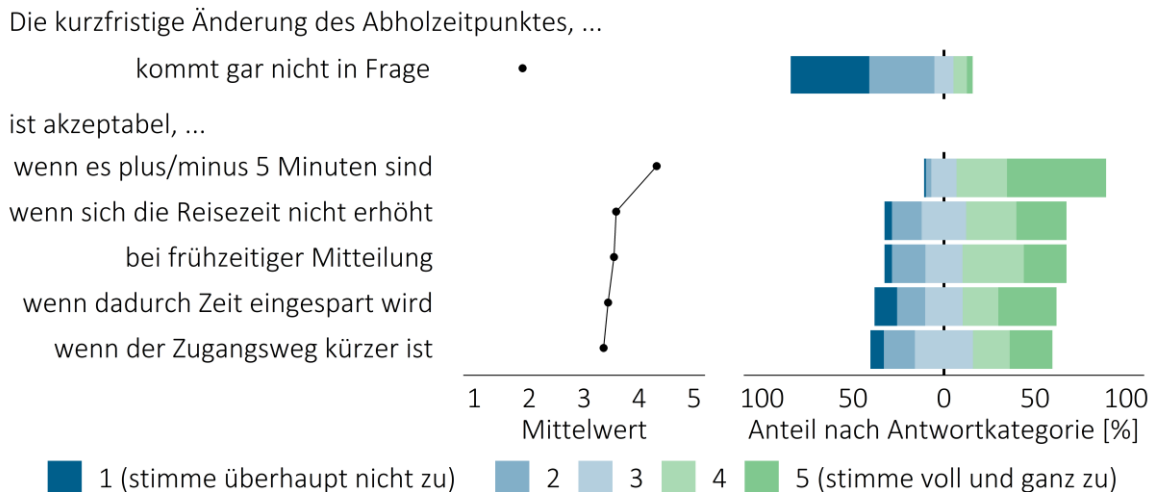


*Anmerkung:* Mit Ausnahme der ablehnenden Haltung, sind die Items entsprechend der Mittelwerte aus der TOIM-Erhebung in absteigender Reihenfolge geordnet.

**Abbildung 8-3:** Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes

Auf gleiche Weise wurde die kurzfristige Änderung der Abfahrtszeit abgefragt. Diese wurde ebenfalls von der großen Mehrheit der Teilnehmenden an der TOIM-Erhebung akzeptiert. Hier liegt der Anteil der Low Box zum ablehnenden Item bei knapp 79 % und der Mittelwert auf der fünfstufigen Likert-Skala bei ca. 1,9. Allerdings scheint die Zustimmung in diesem Fall an eine maximale Verschiebung um fünf Minuten geknüpft zu sein. Das entsprechende Item erhielt mit einem durchschnittlichen Wert

von ca. 4,3 auf der fünfstufigen Likert-Skala und einem Top-Box-Anteil von über 82 % die positivste Bewertung. Die Items die eine Änderung an eine verkürzte oder gleichbleibende Reisezeit, an einen verkürzten Zugangsweg oder eine frühzeitige Mitteilung knüpfen, erhielten hingegen Zustimmungswerte zwischen 3,3 und 3,6 bzw. Top-Box-Anteile zwischen 43 % und 57 %. (vgl. Abbildung 8-4)



*Anmerkung:* Mit Ausnahme der ablehnenen Haltung, sind die Items entsprechend der Mittelwerte aus der TOIM-Erhebung in absteigender Reihenfolge geordnet.

**Abbildung 8-4:** Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung des Abholzeitpunktes

Personen, die eines der Items zur kurzfristigen Änderung des Ein- und/oder Ausstiegspunktes oder des Abholzeitpunktes positiv bewerteten sind zusätzlich nach einem Zeitraum befragt worden, in welchem eine solche Änderung akzeptabel wäre. Zur Auswahl standen Zeiträume bis zu zehn, 20 oder 60 Minuten vor der Abfahrt. Mit einem Anteil von fast 49 % wurde eine Mitteilung spätestens 20 Minuten vor der Abfahrt von der Mehrheit der Befragten als ausreichend angegeben. Etwa 38 % forderten jedoch auch einen Zeitraum von bis zu 60 Minuten. Demzufolge wird eine Änderung des Zu- und Abgangs, die erst zehn Minuten vor der Fahrt mitgeteilt wird, als zu kurzfristig empfunden.

### 8.3.3 Fahrtkosten und Bezahlung

Da die Kostenkomponente in der Vergangenheit als eine sehr wichtige Kenngröße für die Modellierung des Verkehrsmittelwahlverhaltens und die Zahlungsbereitschaft als ein Hinweis auf die Akzeptanz von Produkten und Dienstleistungen identifiziert wurden,<sup>297</sup> wurden diese Parameter in den HFIM-, TOIM- und WAIM-Erhebungen ebenfalls abgefragt. Die erhobene Zahlungsbereitschaft aus der TFAF- und der

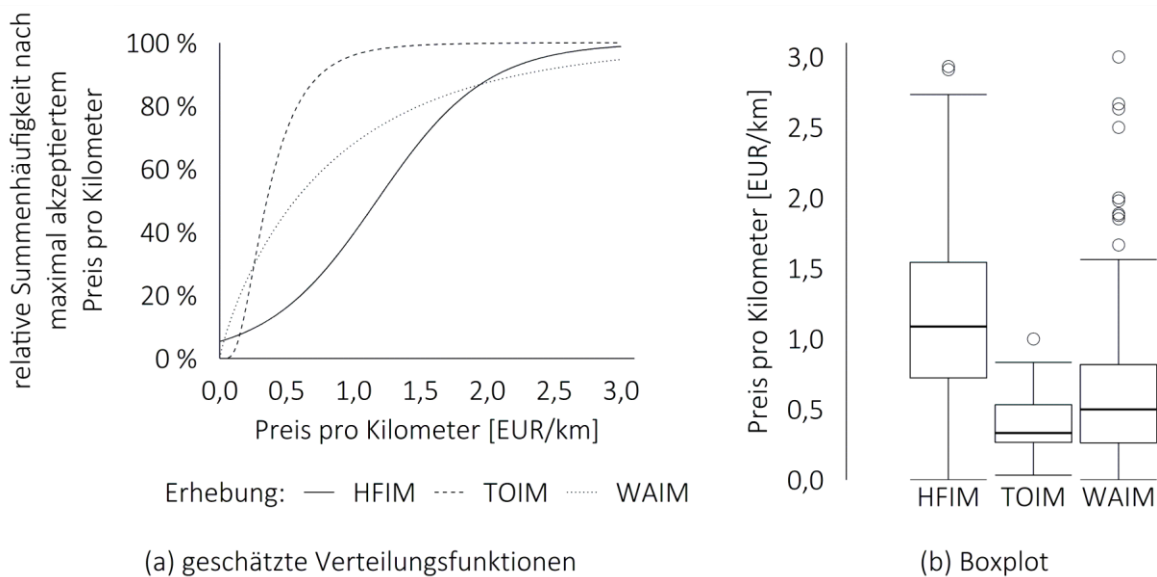
<sup>297</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.

HFAP-Erhebung wurde bereits in Kapitel 7.2 analysiert und wird in diesem Zusammenhang nicht nochmals aufgegriffen.

Da im fahrtbegleitenden Fragebogen der HFIM-Erhebung der absolute Fahrpreis abgefragt wird, den die Fahrgäste bereit wären zu zahlen, muss dieser für eine Vergleichbarkeit durch die Länge des dazugehörigen Weges dividiert werden. Für alle 120 Wegeprotokolle konnte dafür der passende Weg aus den Buchungsdaten ermittelt und die Wegelänge durch Überhöhung der Luftliniendistanz um den Faktor 1,6 abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 8.2.1). Bei der WAIM-Erhebung wurde der von den Befragten angegebene maximal akzeptierte Fahrpreis ebenfalls durch die benannte Länge des beschriebenen Weges dividiert. Bei den Daten der TOIM-Erhebung ist der Fahrpreis pro Kilometer durch die im Fragebogen vorgegebene Wegelänge von 15 Kilometern direkt ermittelbar.

Mit Hilfe einer anschließenden Maximum-Likelihood-Schätzung der zur jeweiligen Summenhäufigkeit passenden Verteilungsfunktion, ergibt sich für jede der drei Erhebungen ein anderes Ergebnis. Während die Verteilung der erhobenen Zahlungsbereitschaft pro Kilometer aus der HFIM-Erhebung am ehesten einer logistischen Verteilung entspricht, kann die Verteilung aus der TOIM-Erhebung am besten durch eine logarithmierte Normalverteilung abgebildet werden. Die Zahlungsbereitschaft aus der WAIM-Erhebung kann auf Grundlage der Maximum-Likelihood-Schätzung wiederum am ehesten durch eine Weibullfunktion angenähert werden. Die Verteilungskurven und deren Parameter sind in Abbildung 8-5 a angegeben.

Die höchste Zahlungsbereitschaft lag entsprechend der Verteilungsfunktionen bei den Fahrgästen aus der HFIM-Erhebung vor. Dies wird auch im Hinblick auf die Boxplots deutlich. Der Interquartilsabstand aus der HFIM-Erhebung geht von 0,74 Euro pro Kilometer bis 1,58 Euro pro Kilometer und liegt demnach oberhalb von dem aus der TOIM-Erhebung mit einem Bereich von 0,27 Euro pro Kilometer bis 0,53 Euro pro Kilometer. Aus der WAIM-Erhebung ist ein Interquartilsabstand von 0,26 bis 1,00 Euro pro Kilometer ableitbar. Auch der Median und der Mittelwert liegen bei der Stichprobe aus dem Projekt Hambach-Shuttle am höchsten. Im Hinblick auf die Mittelwerte ist dieser Unterschied entsprechend dem Ergebnis aus einer ANOVA mit einem p-Wert unter 0,01 hoch signifikant. Ein anschließender Post-Hoc t-Test mit bonferroni-Korrektur zeigt, dass dieser signifikante Unterschied auf alle Vergleiche zwischen den drei Stichproben zutrifft, da jeweils ein p-Wert unter 0,05 erzielt wird. (vgl. Abbildung 8-5 b)



*Anmerkung:* in den Grafiken (a) und (b) wird ausschließlich der Wertebereich von 0 bis 3 EUR/km dargestellt. (a) zeigt für die HFIM-Erhebung eine logistische Verteilungsfunktion mit Wendepunkt und Steigung von  $\mu_y = 1,17$ ,  $k_y = 0,41$ , für die TOIM-Erhebung eine logarithmierte Normalverteilung mit Erwartungswert und Standardabweichung von  $\mu_y = -1,04$ ,  $\sigma_y = 0,59$  und für die WAIM-Erhebung eine Weibullverteilung mit Form- und Skalenparameter von  $k_y = 0,86$ ,  $\lambda_y = 0,86$ .

**Abbildung 8-5:** Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste der Testbetriebe im Vergleich

Auf die Frage, welches Tarifsystem die Teilnehmenden der TOIM-Erhebung bevorzugen würden, wählten mit ca. 55 % die Mehrheit eine Abrechnung pro Fahrt und damit das klassische Abrechnungssystem des ÖPNV aus. Immerhin fast 36 % gaben jedoch an eine Abrechnung pro Kilometer zu bevorzugen, was den Angebotskonzepten der IM bzw. AIM entgegenkommen dürfte, da die Wegelängen je nach Angebotstyp stark variieren könnten. Die restlichen etwas mehr als 9 % bevorzugten eine Abrechnung pro Zeiteinheit.

Ebenfalls in der TOIM-Erhebung wurde die bevorzugte Bezahlmethode abgefragt. Neben der Karten- und Bargeldzahlung wurden auch der Bankeinzug im Euro-Zahlungsverkehrsraum, der Single Euro Payments Area (SEPA), und elektronische Zahlungssystemen (engl.: *electronical payment system* bzw. *e-Payment*) als Auswahloptionen angegeben. Mit fast 32 % wurde das SEPA-Lastschriftmandat dabei von den befragten Personen am häufigsten benannt. Eine solche Zahlungsmethode bedingt jedoch einen Account für die Nutzung der IM- bzw. AIM-Angebote. Die Ergebnisse aus der Marktstudie in Kapitel 5 zeigten jedoch, dass Unternehmen, die IM-Angebote bereitstellen, diesen Weg bereits verfolgen.

Die Kartenzahlung per EC-Karte und e-Payment-Methoden wurden mit jeweils ca. 25 % am zweithäufigsten ausgewählt. Eine Barzahlung und eine Bezahlung mit der Kreditkarte wurden mit knapp 6 % bzw. unter 12 % hingegen nur selten als bevorzugte Bezahlmethode ausgewählt.



### 8.3.4 Fahrtenbündelung

Eine wichtige Eigenschaft für IM- und AIM-Angebotskonzepte ist die Bündelung von Fahrtenwünschen mit gleicher Zielrichtung und überlappenden Routenabschnitten. Dies gilt insbesondere für Ridepooling- bzw. Robotaxi-Angebote. (vgl. Kapitel 5)

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 erwähnt wurde, wurden beim Fahrservice der HFIM-Erhebung in der letzten Testphase Fahrtenwünsche gebündelt. Während dieses Zeitraums wurden die Fahrgäste mit Hilfe des fahrtbegleitenden Fragebogens nach ihrer Meinung zur Bündelung befragt. Da die Stichprobe mit lediglich 38 entsprechenden Wegeprotokollen jedoch sehr gering ist, können die Ergebnisse lediglich für tendenzielle Einschätzungen herangezogen werden.

Von insgesamt vier Items, bezieht sich das am positivsten bewertete auf den Beitrag zum Klimaschutz. Hier lag die Zustimmung mit einem Anteil der Top Box von über 94 % sehr hoch. Der Mittelwert auf der fünfstufigen Likert-Skala liegt mit ca. 4,7 ebenfalls sehr hoch. Die Freude über die Gesellschaft anderer Personen und die unbesorgte Mitfahrt auch bei nächtlichen Fahrten, erfahren hingegen mit einem Mittelwert von 3,3 bzw. 3,4 deutlich weniger Zustimmung. Bei beiden Items liegt der Anteil der Low Box mit ca. 35 % bzw. knapp 31 % etwas höher als bei den anderen Items. Immerhin 42 % der Befragten beantworteten das letzte der vier Items, das aussagt, dass es irrelevant ist, ob eine Fahrt gebündelt wird oder nicht, mit den höchsten beiden Antwortkategorien auf der fünfstufigen Likert-Skala. Diese Aussage erhält damit eine durchschnittliche Bewertung von 3,4.

Aussagekräftiger sind hingegen die diesbezüglichen Ergebnisse aus der WAIM-Erhebung. Personen die das im begleitenden Fragebogen vorgestellte Angebot nutzen würden und die Nutzungsintention auf der fünfstufigen Likert-Skala mindestens mit dem Wert drei bewertet haben, wurden zusätzlich nach ihrer Nutzungsintention im Fall einer Fahrtenbündelung befragt. Im Mittel lag diese Bewertung bei ca. 3,7, wobei sie ohne Fahrtenbündelung für diese Personengruppe bei durchschnittlich 4,0 lag. Damit hat sich der Anteil der Top Box durch die Fahrtenbündelung von fast 68 % auf ca. 60 % reduziert.

Personen, die auch bezüglich der Nutzungsintention im Bündelungsfall einen Wert von mindestens drei auf der fünfstufigen Likert-Skala angegeben haben, wurden zudem nach den in diesem Zusammenhang geforderten Rahmenbedingungen befragt.

Die in der WAIM-Erhebung ermittelte Veränderung der Nutzungsintention durch Verlängerung der Fahrzeit bei Fahrtenbündelung wird in Kapitel 8.4.3 beschrieben. Entsprechend diesen Ergebnissen wurden auch die Teilnehmenden aus der HFIM-Erhebung nach einer maximal akzeptierten Fahrzeitverlängerung befragt. Für 75 % der befragten Personen ist eine Fahrzeitverlängerung von etwa zehn Minuten akzeptabel. Die Untergrenze des Interquartilsabstandes und der Median liegen jeweils bei fünf Minuten. Durchschnittlich wurde ein Wert von etwa sieben Minuten angegeben. Es handelt sich also um eine rechtsschiefe Verteilung. Die Schätzung einer passenden Verteilungsfunktion für die relative Summenhäufigkeit der maximal akzeptierten Fahrzeitverlängerung durch die Bündelung von Fahrtenwünschen mit der Maximum-Likelihood-Methode ergibt eine normalverteilte Funktion.

Auf die Frage nach einer möglichen Preisanpassung aufgrund der Fahrtenbündelung gaben die befragten Personen der WAIM-Erhebung eine durchschnittliche Reduktion auf ca. 75 % des ursprünglichen Wertes an. Da der entsprechende Median ebenfalls bei einer Reduktion auf 75 % liegt, ist die Verteilung nahezu symmetrisch. Der Interquartilsabstand geht von 60 % bis 100 %. Die Maximum-Likelihood-Schätzung ergab in diesem Fall eine logistische Verteilungsfunktion.

### 8.3.5 Korrelationsanalyse geforderter Angebotsparameter für individualisierte Mobilitätsdienstleistungen

Um die Anwendbarkeit der verhaltenshomogenen Personengruppen nach KUTTER (1972) für genannte Anforderungen an IM-Angebote überprüfen zu können, wurden für die Daten aus der TOIM-Erhebung entsprechende Zusammenhangsanalysen mit den Variablen zu soziodemographischen Eigenschaften und der Mobilitätsausstattung durchgeführt. Entsprechend der Konvention von COHEN (1988) wurden dabei keine großen und nur wenige mittlere Zusammenhänge mit statistischer Signifikanz entdeckt. Am ehesten zu benennen wäre hierbei der statistisch signifikante Zusammenhang zwischen der bevorzugten Buchungsmöglichkeit und dem Alter einer Person. Demnach sinkt die Befürwortung der Buchung über eine Website im Internet beispielsweise mit zunehmendem Alter. (vgl. Anhang F-4)

Diese Vermutung wird durch einen mittleren Zusammenhang mit hoher Signifikanz bestätigt, der nicht in Anhang F-4 aufgeführt ist. Demnach haben berufstätige Personen aus der TOIM-Erhebung deutlich häufiger eine Buchung über eine Website abgelehnt als Studierende.

Weitere mittlere Zusammenhänge, die nicht in der Tabelle in Anhang F-4 aufgeführt sind, die jedoch ebenfalls eine hohe statistische Signifikanz haben, finden sich zwischen dem Haushaltsnettoeinkommen einer Person und der bevorzugten Bezahlung über ein SEPA-Lastschriftmandat. Gleichzeitig wurde ein mittlerer Zusammenhang zwischen dem Land des Wohnsitzes und der Forderung einer Kartenzahlung erhoben, wobei in Deutschland wohnhafte Personen diese Zahlungsmethode seltener forderten.

Weitere mittlere und signifikante Zusammenhänge deuten darauf hin, dass die in der TOIM-Erhebung befragten Personen mit Wohnsitz in Deutschland häufiger eine Buchung über eine App und gleichzeitig seltener über einen Telefonanruf als wichtig erachten, wie Personen, die zum Zeitpunkt der Befragung in einem anderen Land wohnhaft waren.

Auch für die Mobilitätseinstellung ist aus den Daten der TOIM-Erhebung kein großer Zusammenhang mit den Anforderungen an die Ausgestaltung von IM-Angeboten erkennbar. Ein mittlerer, statistisch signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der Bedeutung der Nutzbarkeit der Reisezeit für die Wahl des Verkehrsmittels und der bevorzugten Buchung über eine Website im Internet. Weiterhin bestehen mittlere Zusammenhänge zwischen der Bedeutung des Komforts bzw. des örtlichen ÖPNV-Angebotes für die Verkehrsmittelwahl und der Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung der Abfahrtszeit, sofern dadurch eine Zeitersparnis erreicht werden kann. (vgl. Anhang F-5)

Ein weiterer, positiver, mittlerer Zusammenhang, der in der TOIM-Erhebung entdeckt wurde, aber nicht in Anhang F-5 angegeben wird, besteht zwischen der Bedeutung der Pünktlichkeit für die Wahl des Verkehrsmittels und dem Zeitraum, in welchem Änderungen kurzfristig akzeptiert werden.

In den Daten der TOIM-Erhebung wurden zusätzlich mittlere und hohe Zusammenhänge zwischen den Parametern des Fahrzeugzugangs bzw. -abgangs und den preislichen Angebotskomponenten entdeckt. Diese sind für sinnvolle Zusammenhänge in Anhang F-6 dargestellt.

Besonders zwischen der gewünschten Bezahlung pro Fahrt und der Bezahlung pro Kilometer besteht mit einem Wert von 0,83 für das Zusammenhangsmaß Cramérs  $V$  eine hohe Effektstärke. Dieser hoch signifikante Zusammenhang, wird bei einer Betrachtung der Merkmalskombinationen noch deutlicher. So forderte keine befragte Person der TOIM-Erhebung, die eine Bezahlung pro Fahrt als bedeutend erachtet hat, gleichzeitig eine Bezahlung pro Kilometer. Weiter finden sich unter den Personen, die eine Bezahlung pro Fahrt ablehnten, etwas mehr als 20 %, die auch eine Bezahlung pro Kilometer ablehnten. (vgl. Anhang F-6)

Ein Ähnliches Verhältnis ist zwischen den Bezahlmethoden per SEPA-Lastschriftmandat und mit Karte beobachtbar. Es handelt sich um einen großen, signifikanten Zusammenhang mit einem Wert von 0,53 für Cramérs  $V$ . Personen der TOIM-Erhebung, die angaben, dass eine Bezahlung über das SEPA-Lastschriftmandat wichtig ist, haben gleichzeitig eine Kartenbezahlung abgelehnt. Unter den Personen, die keine Bezahlung per SEPA-Lastschrift forderten, forderten mit über 55 % stattdessen häufig eine Kartenzahlung. (vgl. Anhang F-6)

Bei einer Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Akzeptanz kurzfristiger Änderungen des Ein- und/oder Ausstiegspunktes und kurzfristiger Änderungen des Abfahrzeitpunktes, sind insbesondere bei der erstgenannten Variablen-Gruppe Interkorrelationen beobachtbar. Neben hauptsächlich mittleren Zusammenhängen ist besonders der Zusammenhang der Akzeptanz bei gleichbleibender Reisezeit mit der Akzeptanz bei verkürzter Reisezeit zu nennen. Mit einer positiven Rangkorrelation von 0,63 wird deutlich, dass beides miteinander einhergeht. Eine Betrachtung der Merkmalskombinationen bestätigt dies. So haben ca. 57 % der Personen, die das Item zur Akzeptanz der Änderung bei gleichbleibender Reisezeit mit den Werten eins oder zwei auf der fünfstufigen Likert-Skala beantwortet haben, auch das Item zur Akzeptanz bei reduzierter Reisezeit mit den Skalenwerten eins oder zwei beantwortet. Damit gleichbedeutend haben ca. 85 % der Personen aus der Top Box für die Akzeptanz bei gleicher Reisezeit auch das Item zur reduzierten Reisezeit mit den Werten vier oder fünf beantwortet. (vgl. Anhang F-7)

Eine signifikante und negative Interkorrelation mit Spearmans  $\rho$  von -0,51 ist für die Akzeptanz einer Änderung des Ein- und/oder Ausstiegspunktes bei rechtzeitiger Mitteilung mit der generellen Ablehnung einer solchen Änderung beobachtbar. Haben Personen aus der TOIM-Erhebung das Item zur Akzeptanz bei rechtzeitiger Mitteilung mit den Skalenwerten der Top Box beantwortet, so haben Sie die generelle Ablehnung in über 92 % der Fälle mit den Skalenwerten der Low Box beantwortet. (vgl. Anhang F-7)

Personen, die die kurzfristige Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes mit Auswahl der Werte vier oder fünf auf der fünfstufigen Likert-Skala des entsprechenden Items generell ablehnten, lehnten zumindest zu einem Drittel auch die kurzfristige Änderung der Abfahrtszeit ab. Über 55 % dieser Personen haben hingegen die Skalenwerte eins und zwei ausgewählt und demnach angegeben, dass sie die kurzfristige Änderung der Abfahrtszeit nicht pauschal ablehnen, auch wenn sie dies für die Änderung des Ein- und/oder Ausstiegspunktes tun. Befragte Personen die eine kurzfristige Anpassung der Ein- und/oder Ausstiegspunkte hingegen durchaus akzeptieren würden und das ablehnende Item mit den Werten eins oder zwei beantwortet haben, haben dies in ca. 86 % der Fälle auch für das ablehnende Item zur kurzfristigen Änderung der Abfahrtszeit gemacht. Daraus ergibt sich eine positive Rangkorrelation von 0,56 mit einem p-Wert unter 0,01. (vgl. Anhang F-7)

Zusammenfassend bedeutet dies für Betreibende von IM- bzw. AIM-Angeboten, dass ein Großteil der befragten Personen bzw. potenziell Nutzenden sowohl die kurzfristige Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes als auch die kurzfristige Änderung der Abfahrtszeit akzeptieren würde. Eine Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes sollte aber möglichst nicht zu einer Verlängerung der gesamten Reisezeit führen. Da aber über die Hälfte der Befragten, die die Änderung des Ein- und Ausstiegspunktes kategorisch ablehnen würde, die kurzfristige Änderung der Abfahrtszeit akzeptieren würde, sollten Betreibende auf geänderte Rahmenbedingungen zunächst durch die Anpassung der Abfahrtszeit anstelle des Ein- und Ausstiegspunktes reagieren.

Abschließend wurde der Zusammenhang zwischen den Variablen zu den geforderten Angebotsparametern mit der Nutzungsintention der betreffenden Personen untersucht. Hierbei sind jedoch keine großen Zusammenhänge nach der Konvention von COHEN (1988) beobachtbar. Es besteht lediglich ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der Nutzungsintention und der Forderung einer Buchung von bis zu vier Stunden vorab. Zusätzlich besteht ein Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke zwischen der Nutzungsintention einer Person und der Bevorzugung eines SEPA-Lastschriftmandats zur Bezahlung. Personen, die ein SEPA-Lastschriftmandat als Bezahlmethode bevorzugten, haben häufig eine niedrigere Nutzungsintention angegeben.

### 8.3.6 Korrelationsanalyse geforderter Angebotsparameter für automatisierte und individualisierte Mobilitätsdienstleistungen

Analog zu den Analysen auf Grundlage der TOIM-Erhebung wurden auch die Daten aus dem begleitenden Fragebogen der WAIM-Erhebung auf Zusammenhänge untersucht. Im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen den geforderten Parametern für AIM-Angebote mit soziodemographischen Personeneigenschaften und der Ausstattung der befragten Personen mit Mobilitätswerkzeugen wurden jedoch keine großen Zusammenhänge nach der Konvention von COHEN (1988) entdeckt. Vergleichbar mit den Ergebnissen auf Grundlage der TOIM-Erhebung kann hiermit die Anwendbarkeit des Ansatzes von KUTTER (1972) nicht belegt werden.

Die beiden größten, mittleren Zusammenhänge mit statistischer Signifikanz bestehen zwischen dem Alter der befragten Personen und der Forderung eines kilometerbasierten Fahrpreises sowie zwischen der Mobilitätseinschränkung einer Person und der Forderung einer baulichen Haltestelle für den Ein- bzw. Ausstieg aus dem Fahrzeug. Entsprechend der Merkmalskombinationen forderten Personen aus den Workshops an Einrichtungen zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung deutlich häufiger eine bauliche Haltestelle, als die übrigen Personen. Ein ähnlicher mittlerer Zusammenhang ergibt sich für diese Personengruppe mit dem Ein- bzw. Ausstieg an einer im öffentlichen Straßenraum mit einem Symbol markierten Stelle. Die bauliche Haltestelle wird zusätzlich von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit etwas seltener gefordert, als von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit. (vgl. Anhang F-9)

Weitere mittlere Zusammenhänge, die in Anhang F-9 nicht angegeben werden, finden sich bei einer Unterscheidung der Schüler und Schülerinnen aus den Workshops an deutschen Schulen von denjenigen an der luxemburgischen Schule. Da solche Daten jedoch nur schwer verallgemeinerbar bzw. übertragbar sind und keine Relevanz für die Dissertation haben, werden sie nachfolgend nicht näher thematisiert.

Wird der Zusammenhang zwischen den soziodemographischen Eigenschaften und der Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen mit der Nutzungsintention bei einer Fahrtenbündelung untersucht, sind positive, mittlere Zusammenhänge mit der Personengruppenzugehörigkeit, dem Alter und der Einwohnerzahl beobachtbar. Aufgrund der Ordnung der Personengruppen von Personen in der Schulbildung bis zu Personen im Ruhestand, ist diese Rangkorrelation jedoch mit der entsprechenden Korrelation mit den Altersklassen gleichzusetzen. Bei einer alternativen Unterscheidung des Alters der Teilnehmenden aus der WAIM-Erhebung in Personen unter 45 Jahren und Personen mit 45 Jahren oder älter, wird deutlich, dass dieser Zusammenhang hauptsächlich durch diese beiden, altersspezifischen Gruppen beeinflusst wird. (vgl. Anhang F-10)

Abschließend wurden die Interkorrelationen zwischen den in der WAIM-Erhebung abgefragten Parametern von AIM-Angeboten untersucht. In diesem Zusammenhang wurden zwei mittlere Rangkorrelationen mit statistischer Signifikanz identifiziert. Demnach forderten befragte Personen häufiger einen Ein- bzw. Ausstieg an einer virtuellen Haltestelle die in der App angezeigt wird, wenn sie gleichzeitig die Applikation als wichtige Buchungsmöglichkeit definiert haben. Personen, die hingegen angaben, dass eine Buchung über einen Telefonanruf sehr wichtig ist, haben damit gleichbedeutend häufiger eine Ein- bzw. Ausstieg an baulichen Haltestellen gefordert. (vgl. Anhang F-11)

## 8.4 Sensitivitätsanalyse der Nutzungsintention

Für Verkehrsunternehmen und -verbände sowie andere mobilitätsdienstleistende Unternehmen ist es von besonderem Interesse herauszufinden, welche Angebotsparameter die Nutzungsintention künftiger Fahrgäste von IM- und AIM-Angeboten beeinflussen. Aus diesem Grund wurden die Teilnehmenden der

WAIM-Erhebung zusätzlich zu ihrer Nutzungsintention bei sich ändernden Angebotsparametern befragt. Dabei wurden die jeweiligen Parameter isoliert betrachtet, das heißt den Befragten wurde eine Situation geschildert, bei der die Ausprägung der betrachteten Angebotskomponente verändert wurde, während die Ausprägungen der übrigen Angebotskomponenten konstant geblieben sind. Damit kann die Empfindlichkeit der Nutzungsintention auf die Variation der jeweiligen Inputfaktoren gemessen werden. Eine solche Untersuchung wird auch Sensitivitätsanalyse genannt.<sup>298</sup>

Wie bereits erwähnt, sind in der Verkehrswissenschaft vor allem die zeitlichen Komponenten und die Kostenkomponenten der verschiedenen Modi wichtige Eingangsgrößen für die Modellierung des Verkehrsmittelwahlverhaltens.<sup>299</sup> Aus diesem Grund wurde die Sensitivitätsanalyse auf die jeweiligen Parameter beschränkt. Für die Zeitkomponente wurde neben der Wartezeit und der Verlängerung der Fahrzeit durch eine Fahrtenbündelung auch der Zu- bzw. Abgangsweg erhoben, der direkt in eine Zu- bzw. Abgangszeit überführt werden kann. Es wurden jeweils ausschließlich die Personen aus der WAIM-Erhebung befragt, die die Nutzungsintention für das im Fragebogen vorgestellte AIM-Angebot auf der fünfstufigen Likert-Skala mindestens mit dem Wert drei bewertet haben. Im Hinblick auf die Fahrzeitverlängerung wurde die befragte Personengruppe nochmals eingeschränkt, indem ausschließlich Personen befragt wurden, die eine Nutzung auch bei Fahrtenbündelung mit einem Wert von mindestens drei auf der fünfstufigen Likert-Skala anstreben.

#### 8.4.1 Einfluss des Zu- bzw. Abgangsweges

Entsprechend den Ergebnissen aus der WAIM-Erhebung nimmt die durchschnittliche Nutzungsintention, ausgehend von dem maximal akzeptierten Zu- bzw. Abgangsweg einer Person, bei einer sukzessiven Erhöhung um bis zu 400 Meter von einem Wert von 4,0 auf einen Wert von ca. 2,3 auf der fünfstufigen Likert-Skala ab. Dies entspricht, für die Erhöhungsstufen um 200 bzw. 400 Meter, jeweils einer Abnahme um neun bis elf Prozentpunkte pro 100 Meter Wegeverlängerung. (vgl. Abbildung 8-6)

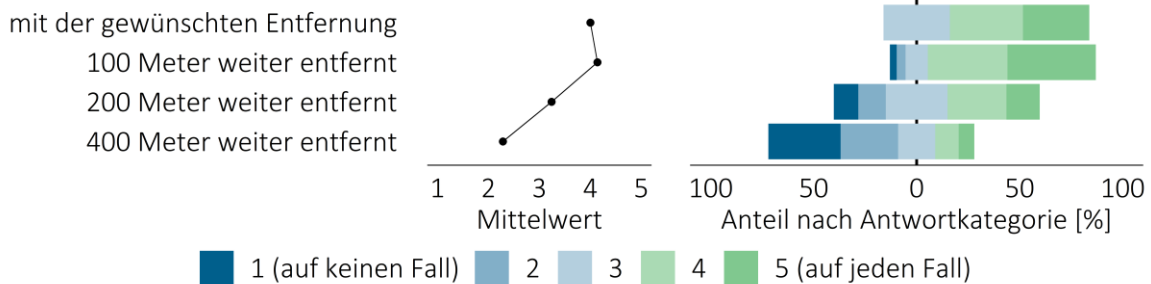
Etwas aussagekräftiger ist die Sensitivität der Anteile der Top Box und der Low Box durch die Variation des Zu- bzw. Abgangsweges. Aufgrund der fehlenden Reflexion der Teilnehmenden liegt der Anteil der Top Box bei der ersten Erhöhungsstufe des Zu- bzw. Abgangsweges um 100 Meter mit fast 82 % deutlich höher als bei der angegebenen generellen Nutzungsintention mit knapp 68 %. Daher wird nachfolgend die erste Erhöhungsstufe als Vergleichsgröße genommen. Wird der Zu- bzw. Abgangsweg um weitere 100 Meter erhöht sinkt der Top-Box-Anteil stark auf knapp 45 % ab. Bei einer Erhöhung um weitere 300 Meter gegenüber der ersten Erhöhungsstufe, nimmt der Anteil der Top Box sogar auf ca. 19 % ab. Gleichzeitig steigen die Anteile der Low Box von unter 8 % bei Erhöhung um 100 Meter auf knapp 25 % bei Erhöhung um 200 Meter und letztlich auf ca. 63 % bei Erhöhung um 400 Meter gegenüber dem von den befragten Personen als akzeptabel angegebenen Zu- bzw. Abgangsweg. Daraus errechnet sich für den

---

<sup>298</sup> vgl. HÖLSCHER, HELMS, 2018, S. 142–145; vgl. TASCHNER, 2017, S. 123 f.

<sup>299</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.

Anteil der Top Box, bei einem Vergleich mit der ersten Erhöhungsstufe, eine Abnahme um 0,002 bis 0,004 Prozentpunkte pro Meter Wegeverlängerung. Bezüglich der Low Box ergibt sich auf analoge Weise eine rechnerische Zunahme um knapp 0,002 Prozentpunkte pro Meter. (vgl. Abbildung 8-6)



*Anmerkung:* Die durchschnittlich für die beschriebenen, potenziellen AIM-Wege gewünschte maximale Entfernung liegt bei 356 Meter.

**Abbildung 8-6:** Einfluss der Erhöhung des Zu- bzw. Abgangsweges auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

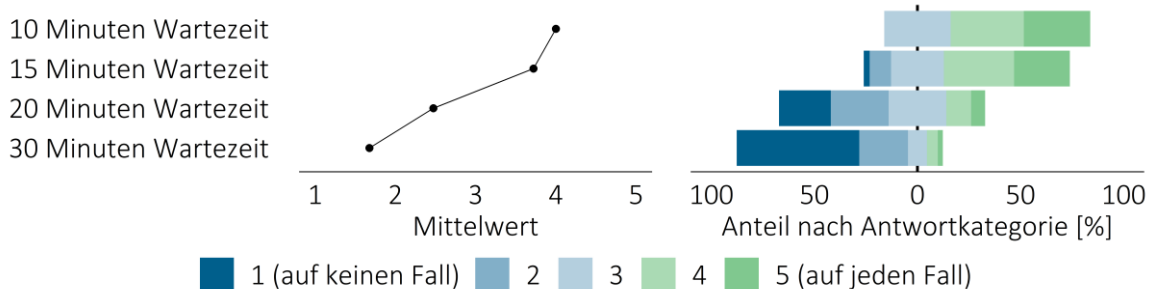
Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass entsprechend der Konvention von COHEN (1988) ein geringer, signifikanter Zusammenhang zwischen der maximal akzeptierten Entfernung des Ein- bzw. Ausstiegspunktes vom aktuellen Standort bzw. Zielpunkt und der Nutzungsintention bei Erhöhung dieses Zu- bzw. Abgangsweges besteht. Dementsprechend sinkt die Nutzungsintention bei Personen, die einen längeren Zu- bzw. Abgangsweg für akzeptabel halten, tendenziell weniger stark als bei Personen, die von vornherein eine sehr geringe Entfernung fordern.

#### 8.4.2 Einfluss der Wartezeit

Das Angebot, das im Workshop-begleitenden Fragebogen der WAIM-Erhebung beschrieben und von den Teilnehmenden bewertet wurde, sah eine maximale Wartezeit von zehn Minuten bis zur Abholung bei einer Spontanbuchung vor. Mit einer Wartezeit von zehn Minuten scheint der kritische Wert für das in der WAIM-Erhebung hypothetisch bereitgestellte AIM-Angebot bereits erreicht zu sein. Die erste Erhöhungsstufe um weitere fünf Minuten Wartezeit, führt bereits zu einer leichten Abnahme des mittleren Wertes auf der fünfstufigen Likert-Skala von 4,0 auf ca. 3,7 um ca. 1,4 Prozentpunkte pro Minute. Spätestens die 15 Minuten sind als kritischer Wert anzusehen, denn bei einer weiteren Erhöhung um fünf Minuten reduziert sich die erhobene Nutzungsintention nochmals deutlich auf einen durchschnittlichen Wert von unter 2,5. Dies entspricht einer Reduktion um ca. 3,8 Prozentpunkte pro Minute. Die Abnahme der Nutzungsintention, die mit der letzten Erhöhung auf eine Gesamtwartezeit von 30 Minuten einhergeht, ist wiederum etwas moderater und liegt im Vergleich zum Ausgangswert bei ca. 2,9 Prozentpunkten pro Minute. Daraus ergibt sich ein Wert auf der fünfstufigen Likert-Skala von ca. 1,7. (vgl. Abbildung 8-7)

Der kritische Wert rund um die 15 Minuten Wartezeit ist auch an den Anteilen der Top Box zu erkennen. Während der Anteil der Top Box ausgehend von den unter 68 % bei zehn Minuten Wartezeit auf ca. 61 % bei 15 Minuten Wartezeit recht geringfügig abnimmt, sinkt er bei einer Wartezeit von 20 Minuten auf unter 19 % rapide ab. Bei einer Wartezeit von insgesamt 30 Minuten haben nur noch knapp 8 % der Teilnehmenden aus der WAIM-Erhebung die Werte vier oder fünf auf der fünfstufigen Likert-Skala zur Nutzungsintention ausgewählt. Diese Zusammenhänge werden auch im Hinblick auf die Abnahme pro Minute Wartezeitzunahme ersichtlich. Während der Top-Box-Anteil im Vergleich zum Ausgangswert bei einer Zunahme auf 15 Minuten Wartezeit lediglich um etwas mehr als 0,01 Prozentpunkte pro Minute abnimmt, nimmt er bei einer weiteren Zunahme auf 20 Minuten um fast 0,05 Prozentpunkte pro Minute ab. Der Vergleich mit dem Top-Box-Anteil bei einer 30-minütigen Wartezeit ergibt wiederum eine etwas niedrigere Abnahme von ca. 0,03 Prozentpunkten pro Minute. (vgl. Abbildung 8-7)

Analog dazu steigt der Anteil der Low Box auf ca. 13 % bei einer Wartezeit von 15 Minuten, ca. 53 % bei 20 Minuten und etwa 83 % bei 30 Minuten an. Dies entspricht einer Anteilszunahme von unter 0,03 Prozentpunkten pro Minute bei einer Erhöhung von zehn auf 15 Minuten, ca. 0,05 Prozentpunkten pro Minute bei einer Erhöhung von zehn auf 20 Minuten und ca. 0,04 Prozentpunkten pro Minute bei einer Erhöhung von zehn auf 30 Minuten Wartezeit. (vgl. Abbildung 8-7)



**Abbildung 8-7:** Einfluss der Erhöhung der Wartezeit auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Im Hinblick auf diese Sensitivitätsanalyse sollte berücksichtigt werden, dass ein signifikanter, mittlerer Zusammenhang zwischen der Nutzungsintention bei 20 Minuten Wartezeit und der Nutzungsintention für Freizeitwege zu beobachten ist. Demnach wurde das Item von Personen, die sich die Nutzung des AIM-Angebotes vor allem für Freizeitwege vorstellen können, positiver bewertet und deutet auf eine erhöhte Akzeptanz einer Wartezeitzunahme bei Wegen dieses Zwecks hin.

Darüber hinaus bestehen, nach der Klassifikation von COHEN (1988), mittlere, signifikante Korrelationen mit der Nutzungsintention bei einem zunehmenden Zu- bzw. Abgangsweg. Personen die eine hohe Nutzungsintention trotz einer zunehmenden Entfernung der Ein- bzw. Ausstiegspunkte angegeben haben (vgl. Abbildung 8-6), haben demnach eher hohe Werte auf der Likert-Skala zur Nutzungsintention

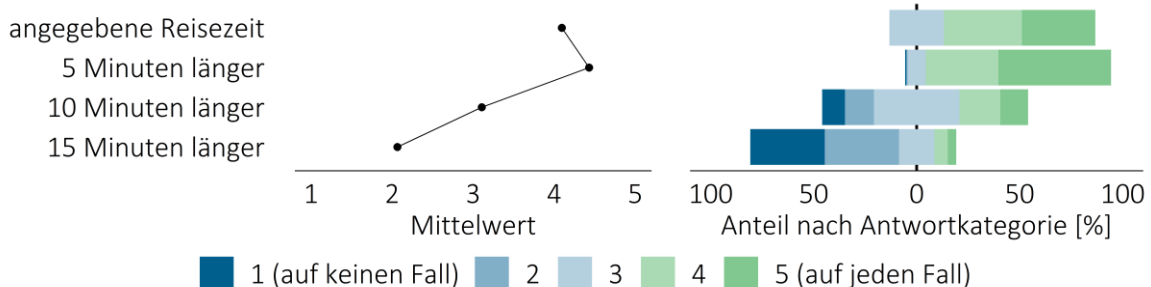


bei einer Wartezeitverlängerung angegeben (vgl. Abbildung 8-7). Die isolierte Betrachtung der Einflüsse, wie sie im Rahmen der Sensitivitätsanalyse erfolgt, spiegelt demnach die Realität nicht wider.

#### 8.4.3 Einfluss der Fahrzeitverlängerung durch Fahrtenbündelung

Die durchschnittliche Nutzungsintention nimmt, ausgehend von der für den beschriebenen Weg angegebenen Reisezeit, bei einer sukzessiven Erhöhung der Fahrzeit auf bis zu 15 zusätzliche Minuten, aufgrund von Fahrtenbündelungen, von einem Wert von ca. 4,1 auf einen Wert von ca. 2,1 auf der fünfstufigen Likert-Skala ab. Dies entspricht für die Erhöhungsstufen um zehn bzw. 15 Minuten einer Abnahme um ca. 2,4 bzw. 3,3 Prozentpunkte pro Minute. (vgl. Abbildung 8-8)

Durch die fehlende Reflexion der bereits gemachten Angaben, liegt der Anteil der Top Box bei einer Erhöhung der Fahrzeit um fünf Minuten mit ca. 90 % deutlich höher als bei der angegebenen Reisezeit mit einem Anteil von unter 74 %. Daher wird nachfolgend erneut die erste Erhöhungsstufe als Vergleichsgröße herangezogen, um die Sensitivität der Fahrzeitverlängerung durch Fahrtenbündelung auf die Nutzungsintention bzw. die Top-Box- und Low-Box-Anteile zu beurteilen. Wird durch die Bündelung von Fahrten die Fahrzeit um weitere fünf Minuten erhöht, sinkt der Top-Box-Anteil um fast zweidrittel auf ca. 33 % ab. Bei einer Erhöhung um zehn Minuten gegenüber der ersten Erhöhungsstufe, nimmt der Anteil der Top Box sogar auf unter 11 % ab. Gleichzeitig steigen die Anteile der Low Box von etwa einem Prozent bei Fahrzeitverlängerung um fünf Minuten auf knapp 25 % bei Verlängerung um zehn Minuten und letztlich auf ca. 72 % bei Verlängerung um 15 Minuten gegenüber der angegebenen Reisezeit für den potenziellen Nutzungsweg. Daraus errechnet sich für den Anteil der Top Box, bei einem Vergleich mit der ersten Erhöhungsstufe, eine Abnahme um ca. 0,08 bis 0,11 Prozentpunkte pro Minute Fahrzeitverlängerung. Bezüglich der Low Box ergibt sich auf analoge Weise eine rechnerische Zunahme um knapp 0,05 Prozentpunkte bzw. 0,07 Prozentpunkte pro Minute. (vgl. Abbildung 8-8)



*Anmerkung:* Die angegebene Reisezeit mit den heutzutage auf den beschriebenen Wegen benutzten Verkehrsmitteln, die potenziell durch das AIM-Angebot ersetzt werden, liegt durchschnittlich bei 19 Minuten.

**Abbildung 8-8:** Einfluss der Fahrzeitverlängerung durch Fahrtenbündelung auf die Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

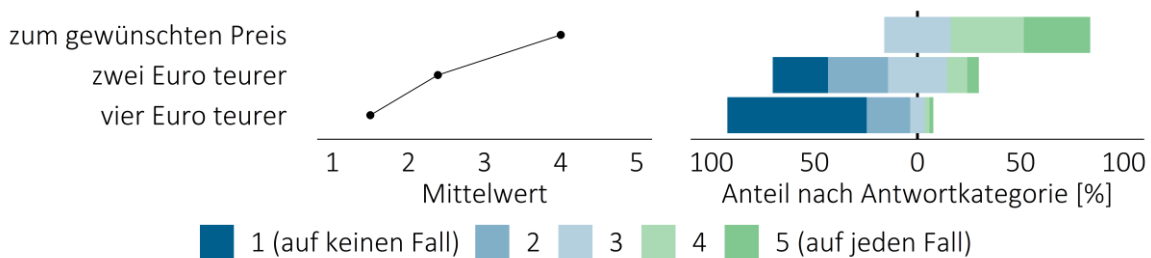
Bei der Interpretation des erhobenen Einflusses der Fahrzeitverlängerung durch die Fahrtenbündelung auf die von den Befragten angegebene Nutzungsintention muss berücksichtigt werden, dass nach der

Konvention von COHEN (1988) eine mittlere, signifikante Rangkorrelation mit der Nutzungsintention bei zunehmender Wartezeit besteht. Personen die eine hohe Nutzungsintention trotz einer zunehmenden Wartezeit angegeben haben (vgl. Abbildung 8-7), haben demnach auch eher hohe Werte auf der Likert-Skala zur Nutzungsintention bei Fahrzeitverlängerung durch die Bündelung von Fahrten angegeben (vgl. Abbildung 8-8). Eine isolierte Betrachtung der Einflüsse, wie es im Rahmen der Sensitivitätsanalyse erfolgt ist, spiegelt die Realität demnach voraussichtlich nur bedingt wider.

#### 8.4.4 Einfluss des Fahrpreises

Abschließend wird die in der WAIM-Erhebung abgefragte Preissensitivität auf die Nutzungsintention analysiert und beschrieben. Verglichen mit der Nutzungsintention bei einem, vom jeweiligen Befragten angegebenen, akzeptablen Fahrpreis, sinkt der durchschnittliche Wert auf der fünfstufigen Likert-Skala von 4,0 auf ca. 2,4 bei Erhöhung um zwei Euro und auf ca. 1,5 bei Erhöhung um vier Euro ab. Damit sinkt dieser Wert bei der ersten Erhöhungsstufe im Vergleich zum Ausgangspreis um ca. 20 Prozentpunkte und bei der zweiten Erhöhungsstufe um etwas mehr als 15 Prozentpunkte ab. (vgl. Abbildung 8-9)

Der Anteil der Top Box nimmt im Zusammenhang mit dieser Preissteigerung von den unter 68 %, beim eigenen, benannten Fahrpreis, auf etwas mehr als 15 % bei einer Erhöhung um zwei Euro und auf ca. 4 % bei einer Erhöhung um vier Euro ab. Daraus ergibt sich rechnerisch eine Abnahme zwischen 0,16 und 0,26 Prozentpunkten pro Fahrpreiszunahme um einen Euro. Gleichzeitig steigt der Anteil der Low Box auf knapp 56 % bei zwei Euro Preiszunahme und fast 89 % bei vier Euro Preiszunahme an. Dies entspricht wiederum einer Zunahme um 0,22 bis 0,28 Prozentpunkten pro Euro. (vgl. Abbildung 8-9)



*Anmerkung:* Der durchschnittlich für die beschriebenen, potenziellen AIM-Wege gewünschte maximale Fahrpreis liegt bei 4,90 Euro.

**Abbildung 8-9:** Einfluss der Fahrpreiszunahme auf die Nutzungsintention individualisierter und automatisierter Mobilitätsdienstleistungen

Im Hinblick auf dieses Ergebnis ist zu berücksichtigen, dass einerseits eine mittlere, negative Korrelation zwischen dem maximal akzeptierten Fahrpreis pro Kilometer und der Länge des potenziellen Weges und andererseits eine niedrige bis mittlere, positive Korrelation zwischen dem Fahrpreis pro Kilometer bzw. der Wegelänge und der Nutzungsintention bei Fahrpreiserhöhung besteht. Dementsprechend haben Personen, die längere Wege beschrieben haben, eine höhere Nutzungsintention angegeben, trotz des

zunehmenden Fahrpreises, aber gleichzeitig einen niedrigeren Fahrpreis pro Kilometer benannt. Demnach sollte die Fahrpreiserhöhung künftiger Mobilitätsangebote möglichst gestaffelt anhand der Wegedistanz erfolgen.

## 9 Personengruppenspezifische Anforderungen an Angebotskonzepte

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den Gruppenarbeiten der WAIM-Erhebung differenziert nach den jeweiligen Personengruppen vorgestellt und miteinander verglichen. In den Workshops haben die Gruppen jeweils aus ihrer Sicht optimale Angebotskonzepte entwickelt und dadurch auch die Anforderungen für ihre Personengruppe genauer definiert. Für Workshops, in denen es mehrere Arbeitsgruppen gab, werden die definierten Angebotskonzepte zusammengefasst und in einer Gesamtschau beschrieben. Soziodemographische Eigenschaften der Workshop-Teilnehmenden wurden mit Hilfe des begleitenden Fragebogens erhoben, der bereits im Kapitel 8 detailliert analysiert wurde. In Anhang C-8 bis Anhang C-13 sind diese Eigenschaften differenziert nach Workshop-Gruppen tabellarisch aufgeführt und werden bei Bedarf für eine bessere Einordnung und Interpretation der Ergebnisse herangezogen.

### 9.1 Anforderungen an Angebotskonzepte von Schülern und Schülerinnen

In der WAIM-Erhebung wurden insgesamt drei Workshops mit Schülern und Schülerinnen durchgeführt, wobei die Teilnehmenden des ersten Workshops in drei und die des zweiten und dritten Workshops jeweils in sechs Arbeitsgruppen eingeteilt wurden. Alle drei Workshops fanden an Schulen vor Ort statt, wobei es sich beim dritten Workshop um eine Schule in Luxembourg handelte.

Fast alle Gruppen der Schüler und Schülerinnen haben Angebote entwickelt, die am ehesten dem Angebotstyp Roboshuttle entsprechen (vgl. Kapitel 5.2). In der abschließenden Diskussionsrunde des ersten Workshops wurde jedoch angemerkt, dass die Nutzenden in ihrem Account für jeden Weg, je nach Tageszeit, Zweck und Terminbindung, festlegen können, ob sie einer Fahrtenbündelung zustimmen oder nicht. Damit übereinstimmend hat eine Gruppe des dritten Workshops angegeben, dass es für eine Bündelung von Fahrtenwünschen und die damit einhergehende Verlängerung der Reisezeit einer expliziten Zustimmung der Person bedarf, die das Fahrzeug als erstes gebucht hat bzw. zum jeweiligen Zeitpunkt im Fahrzeug mitfährt. In solchen Fällen kann von einem kombinierten Angebot gesprochen werden, da der Nutzende die Wahlfreiheit zwischen beiden Angebotstypen hat. Zusätzlich gab es in jedem Workshop jeweils eine Gruppe, die von der für Roboshuttle und Robotaxi üblichen, spontanen Nutzung abwich und zusätzlich eine Reservierung auf eine bestimmte Abfahrtszeit forderte. Die Gruppe des ersten Workshops definierte dabei eine Möglichkeit zur Dauerreservierung für Routinefahrten, wie etwa den Weg zum Arbeitsplatz.

Einigkeit zwischen den Arbeitsgruppen der drei Workshops herrscht auch im Hinblick auf die Fahrzeuge, die in den definierten Angebotskonzepten eingesetzt werden sollen. Arbeitsgruppen, die sich hierzu geäußert haben, oder Aussagen, die in der jeweils abschließenden Diskussionsrunde getätigt wurden, verdeutlichen, dass es in der Angebotsflotte nicht nur ein Fahrzeugmodell geben sollte. Stattdessen sind

mehreren Fahrzeuggrößen zu kombinieren, wodurch die Anzahl der Sitzplatzkapazität für jede Fahrt an die Anzahl an Fahrgästen angepasst und eine optimierte Auslastung ermöglicht werden kann.

In der geforderten räumlichen Verfügbarkeit wird möglicherweise der etwas höhere Anteil der Personen des dritten Workshops, die in Postleitzahlregionen mit einer maximalen Gemeindegröße von unter 5.000 Einwohnern leben, bemerkbar (vgl. Anhang C-8). Denn während sich die Arbeitsgruppen des ersten und zweiten Workshops hierzu nicht geäußert haben, wurde in der allgemeinen Diskussion am Ende des dritten Workshops gefordert, dass das Betriebsgebiet ein Einzugsgebiet mit einem Radius von 25 Kilometern umfassen sollte. Im begleitenden Fragebogen wurde hingegen ein Angebot bewertet, das in einem Einzugsgebiet mit einem Radius von lediglich 20 Kilometern verfügbar ist (vgl. Kapitel 3.2.2). Die Verfügbarkeit differenziert nach Tageszeiten und Wochentagen ist weder in den Angebotskonzepten der Kleingruppen noch in den abschließenden Diskussionen thematisiert worden.

Entsprechend PILLAT, MANZ (2021) stehen besonders zeitliche, räumliche und preisliche Komponenten eines Mobilitätsangebotes im Fokus von Modellen und Simulationen zur Verkehrsnachfrage.<sup>300</sup> Aus diesem Grund wurden die Teilnehmenden der Workshops darum gebeten, insbesondere diese Angebotsparameter detailliert zu diskutieren und festzulegen, wobei Zu- und Abgangswege wiederum in eine zeitliche Komponente, nämlich die Zu- und Abgangszeit überführt werden können. Auch die Schüler und Schülerinnen haben in diesem Zusammenhang in fast allen Arbeitsgruppen entsprechende Werte definiert. (vgl. Tabelle 9-1)

Die definierte Wartezeit, die aus Sicht der Teilnehmenden bei der automatisierten Routenplanung der AIM-Angebote nicht überschritten werden sollte, liegt bei zwei Gruppen des ersten Workshops jeweils bei maximal zehn Minuten. Die dritte Gruppe hat in diesem Zusammenhang wiederum definiert, dass die akzeptierte Wartezeit im Account für jeden Weg individuell festgelegt werden kann. Im zweiten Workshop mit Schülern und Schülerinnen lag diese Wartezeitobergrenze bei den Gruppen zwischen sechs und 15 Minuten und im Durchschnitt bei elf Minuten, also ähnlich hoch. Gleiches gilt für den dritten Workshop, bei dem über alle Gruppen hinweg ein Wertebereich von fünf bis 20 Minuten und ein mittlerer Wert von zehn Minuten angegeben wurde. Zusätzlich wurde im letzten Workshop von einer Gruppe angemerkt, dass die Wartezeiten abhängig von siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen und von den Tageszeiten unterschiedlich definiert werden sollten. (vgl. Tabelle 9-1)

Durch das Bündeln von Fahrtenwünschen bzw. durch das Pooling, kann es zu einer Verlängerung der Reisezeit kommen. Daher war es die Aufgabe der Arbeitsgruppen, hierfür ebenfalls eine Obergrenze festzulegen, bis zu der ein Pooling bei der automatischen Routenplanung durchgeführt werden soll. Im ersten Workshop liegt diese, von den Gruppen definierte Reisezeitverlängerung über alle Gruppen hinweg in einem Wertebereich zwischen fünf und zehn Minuten bzw. bei einem mittleren Wert von sieben Minuten. Eine Gruppe dieses Workshops gab an, dass auch hierbei für jede Buchungsanfrage eine

---

<sup>300</sup> vgl. PILLAT, MANZ, 2021, S. 279 f.

individuelle Toleranzgrenze durch die Nutzenden festgelegt werden kann. Im zweiten Workshop definierten die Schüler und Schülerinnen in ihren Arbeitsgruppen Grenzwerte in ähnlicher Höhe mit Werten von drei bis zehn und durchschnittlich acht Minuten. Im Durchschnitt ist im dritten Workshop ebenfalls eine maximale Reisezeitverlängerung durch die Fahrtenbündelung von acht Minuten definiert worden. Der aus den definierten Angebotskonzepten resultierende Wertebereich liegt dabei zwischen fünf und zehn Minuten. Eine Gruppe des dritten Workshops wies zusätzlich darauf hin, dass die Reisezeitverlängerung in einem angemessenen Verhältnis zur ursprünglichen Fahrzeit ohne Pooling stehen sollte. (vgl. Tabelle 9-1)

**Tabelle 9-1:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Schülern und Schülerinnen

Angebotseigenschaft	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3 (Luxembourg)
zeitliche Komponente			
Wartezeit in Minuten	10 <sup>a</sup>	6 – 15 ( $\bar{x} = 11$ )	5 – 20 ( $\bar{x} = 10$ ) <sup>b</sup>
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten	5 – 10 ( $\bar{x} = 7$ ) <sup>a</sup>	3 – 10 ( $\bar{x} = 8$ ) <sup>c</sup>	5 – 10 ( $\bar{x} = 8$ ) <sup>d</sup>
Zu- und Abgangsweg in Meter	250 – 800 ( $\bar{x} = 467$ ) <sup>e</sup>	100 – 1.000 ( $\bar{x} = 429$ ) <sup>e</sup>	100 – 500 ( $\bar{x} = 250$ ) <sup>f</sup>
preisliche Komponente			
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	0,50 – 1,00 ( $\bar{x} = 0,80$ )	0,20 – 1,00 ( $\bar{x} = 0,58$ )	
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,25 – 0,30 ( $\bar{x} = 0,28$ ) <sup>g</sup>	0,04 – 0,25 ( $\bar{x} = 0,18$ )	5 – 30 % des Fahrpreises <sup>h</sup>

*Weitere Angaben:*

<sup>a</sup> Eine individuelle Toleranz kann im Account definiert werden.

<sup>b</sup> Abhängig von siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen und der Tageszeit.

<sup>c</sup> Maximal 50 % der ursprünglichen Fahrzeit und/oder 15 Sekunden pro Kilometer.

<sup>d</sup> Eine Fahrtenbündelung und eine damit einhergehende Reisezeitverlängerung bedürfen einer expliziten Zustimmung der Person, die das Fahrzeug als erstes gebucht hat bzw. die zum jeweiligen Zeitpunkt im Fahrzeug mitfährt. Die Reisezeitverlängerung ist von der Fahrzeit ohne Pooling abhängig.

<sup>e</sup> Für Personen mit Mobilitätseinschränkungen, besteht bei Nachweis der Einschränkung ggf. die Möglichkeit einer Tür-zu-Tür-Bedienung.

<sup>f</sup> Je nach siedlungsstrukturellen Gegebenheiten besteht ggf. die Möglichkeit einer Tür-zu-Tür-Bedienung.

<sup>g</sup> Auf geteilten Streckenabschnitten dividiert sich der Fahrpreis durch die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt im Fahrzeug befindlichen Personen.

<sup>h</sup> Stufenweise Reduktion in Abhängigkeit von der Fahrgastanzahl.

Als letzte, indirekt zeitliche Komponente, wurde von den Arbeitsgruppen der drei Workshops an Schulen jeweils die maximal akzeptierte Entfernung des Einstiegsortes vom Startpunkt bzw. des Ausstiegsortes vom Zielpunkt des Weges definiert. Dieser Zu- bzw. Abgangsweg liegt bei den Gruppen des ersten Workshops in einem Wertebereich von 250 bis 800 und im Durchschnitt bei 467 Meter. Die Spannweite der im zweiten Workshop angegebenen Zu- und Abgangswege fällt im Vergleich dazu mit 100 bis 1.000 Meter etwas größer aus, liegt über alle Gruppen hinweg mit einem Mittelwert von 429 Meter

jedoch ähnlich hoch. Lediglich im dritten Workshop forderten die Schüler und Schülerinnen mit einem Wertebereich von 100 bis 500 Meter und einem Mittelwert von 250 Meter deutlich näherliegende Ein- und Ausstiegspunkte. In allen drei Workshops gab es jedoch auch Forderungen nach einer Abholung direkt am Startpunkt und einem Ausstieg direkt am Zielpunkt des Weges, also einer Tür-zu-Tür-Bedienung bzw. Door-to-Door-Bedienung. Während eine solche Bedienung in den ersten beiden Workshops ausschließlich für Personen mit Mobilitätseinschränkungen gefordert wurde, sah eine Gruppe des dritten Workshops eine Tür-zu-Tür-Bedienung insbesondere in ländlichen Räumen als notwendig an. (vgl. Tabelle 9-1)

Im Hinblick auf die preislichen Komponenten forderten die Schüler und Schülerinnen des ersten Workshops in den durch die Arbeitsgruppen definierten Angebotskonzepten einen Fahrpreis zwischen 0,50 und 1,00 Euro pro Kilometer. Durchschnittlich ergibt sich daraus ein Fahrpreis von 0,80 Euro pro Kilometer. Die Teilnehmenden aus dem zweiten Workshop forderten mit einem mittleren Wert von 0,58 und einem Wertebereich von 0,20 bis 1,00 Euro pro Kilometer einen etwas niedrigeren Preis. Im dritten Workshop hat keine der Gruppen hierzu einen genauen Wert definiert. (vgl. Tabelle 9-1)

Kommt es zu einer Fahrtenbündelung, so wird in allen drei Workshops von den meisten Arbeitsgruppen gefordert, dass es zu einer Preisreduktion kommt. Im ersten Workshop liegt die geforderte Reduktion der Gruppen in einem Bereich von 0,25 bis 0,30 und bei mittleren 0,28 Euro pro Kilometer. Analog zu den Verhältnissen beim Fahrpreis ohne Pooling liegen auch in diesem Zusammenhang die Werte der Gruppen aus dem zweiten Workshop etwas niedriger. Die Arbeitsgruppen der Schüler und Schülerinnen dieses Workshops forderten eine Preisreduktion zwischen 0,04 und 0,25 Euro pro Kilometer, woraus sich ein Mittelwert von 0,18 Euro pro Kilometer ergibt. Erneut hat auch in diesem Zusammenhang keine der Gruppen aus dem dritten Workshop eine konkrete Aussage gemacht. Eine Gruppe ordnete dennoch eine Reduktion durch die Forderung einer prozentualen Reduktion des ursprünglichen Fahrpreises an. Demnach sollte sich der Preis um fünf bis 30 % reduzieren. Eine weitere Gruppe gab an, dass diese Reduktion mit zunehmender Anzahl der Fahrgäste stufenweise erfolgen sollte. (vgl. Tabelle 9-1)

Angebotsparameter, die den Nutzungskomfort beeinflussen und durch die technologische Entwicklung bzw. durch die Digitalisierung in Zukunft ganz neu ausgestaltet werden können, wurden durch die Gruppen ebenfalls definiert. Die voraussichtlich hohe Technologieaffinität der Schüler und Schülerinnen macht sich in diesem Zusammenhang stark bemerkbar, da alle Arbeitsgruppen der drei Workshops die Gestaltung des Ein- und Ausstiegspunktes in Form einer virtuellen Haltestelle bevorzugen. Dabei werden der Ein- und Ausstiegspunkt und meist auch der Zu- und Abgangsweg in der App auf dem Smartphone oder Tablet dargestellt. An Stellen im Straßenraum, an denen eine Errichtung möglich ist, sollte dies, nach Meinung der meisten Gruppen, mit baulichen Haltestellen kombiniert werden. Eine Gruppe des zweiten Workshops hob hervor, dass hierbei nicht die Haltestelle an sich im Vordergrund steht, sondern vor allem eine Sitzbank und eine Überdachung bedeutend sind. In Verbindung mit den teils kurzen Abständen zwischen den Haltepunkten, die sich aus den geforderten, mitunter sehr kurzen Zu- und

Abgangswegen (vgl. Tabelle 9-1) ergeben, ist eine Forderung nach einem dichten Haltestellennetz jedoch nur schwer umsetzbar. Vermutlich betonten daher mehrere Gruppen des zweiten und dritten Workshops, dass das bestehende Bushaltestellennetz mitbenutzt werden und lediglich durch die virtuellen Haltestellen aus der in-App-Anzeige ergänzt werden sollte. In Fällen, in denen eine Tür-zu-Tür-Bedienung (vgl. Tabelle 9-1) gefordert wurde, ist die Gestaltung des Ein- und Ausstiegspunktes irrelevant.

Mit diesen Ergebnissen übereinstimmend, erfolgt die Buchung der von den Schülern und Schülerinnen aus allen drei Workshops entwickelten Angebotskonzepte hauptsächlich über die App und eine im Internetbrowser aufrufbare Website. Im Hinblick auf andere Personengruppen, wie etwa Personen im Ruhestand, gaben die meisten Gruppen jedoch an, dass weitere Buchungsmöglichkeiten ermöglicht werden sollten. Konkret wurde die Buchung über einen Telefonanruf oder an Automaten genannt. Letztere könnten an Haltestellen, in öffentlichen Einrichtungen oder beispielsweise auch in Diskotheken errichtet werden.

Möglichkeiten zur Bezahlung wurden lediglich in der abschließenden Diskussion des dritten Workshops thematisiert. Die Schüler und Schülerinnen verwiesen neben dem klassischen bargeldlosen Bezahlen meist auf die im Onlinehandel ermöglichten Zahlungsarten, die den elektronischen Zahlungssystemen bzw. e-Payment-Systemen zuzuordnen sind. Neben der Karten- bzw. Kreditkartenzahlung und den e-Payment-Methoden, wurde jedoch auch der Barzahlung, zum Beispiel mit aufladbaren Prepaidkarten, eine Daseinsberechtigung zugewiesen.

Entsprechend ihres Alters sind Schüler und Schülerinnen meist nicht oder, wenn nur situativ, auf Hilfe beim Ein- oder Ausstieg bzw. beim Transport und Verstauen von Gepäck angewiesen. Aus diesem Grund ist es nicht überraschend, dass nur eine Gruppe im zweiten und eine Gruppe im dritten Workshop eine dauerhafte, physische Anwesenheit einer, vom Betreibenden abgestellten Person forderten. Aufgrund ihres Tätigkeitsfeldes wird diese Person im Rahmen der Dissertation auch als Servicepersonal bezeichnet. Zwei weitere Gruppen, ebenfalls des zweiten bzw. dritten Workshops, forderten, dass eine solche Person zwar dauerhaft zur Verfügung steht, jedoch nicht physisch vor Ort anwesend ist. Eine solche Person steht remote zur Verfügung, kann also über eine Kommunikationseinrichtung im Fahrzeug kontaktiert werden oder die Geschehnisse im Fahrzeug überwachen. Die übrigen Gruppen des ersten Workshops und mehrere Gruppen der anderen beiden Workshops forderten eine situative Anwesenheit auf Abruf. Nachtfahrten sind eine solche Situation, die häufiger genannt wurde und verdeutlichen, ähnlich wie die remote-Anwesenheit, dass dem Servicepersonal für Schüler und Schülerinnen vorrangig eine Kommunikations- und Sicherheitsrolle zukommt. Die übrigen Arbeitsgruppen des zweiten und dritten Workshops sahen in ihren Konzepten eine zusätzliche, kostenpflichtige Bestellmöglichkeit eines Servicepersonals vor. Dabei wurde allerdings angemerkt, dass Personen bei Nachweis einer körperlichen Behinderung von den Kosten befreit werden sollten.

Neben Informationen durch das Servicepersonal wurde von mehreren Arbeitsgruppen des dritten Workshops eine Darstellung von Echtzeitinformationen in der App gefordert. Inhalte sollten vor allem



aktuelle Verspätungen sein. Eine weitere Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit findet sich in der Installation eines Notfallknopfes im Fahrzeug, die in einigen Angebotskonzepten des ersten und dritten Workshops erwähnt wurde. Ein solcher Notfallknopf bringt das Fahrzeug zum Stillstand und öffnet automatisch die Türen. Zusätzlich wurden im dritten Workshop mehrfach die dauerhafte Überwachung mit Kameras und eine Ausweispflicht beim Fahrzeugzugang gefordert.

## 9.2 Anforderungen an Angebotskonzept von Auszubildenden

Für die abschließende Gruppenarbeit zur Diskussion der Antworten aus dem begleitenden Fragebogen und zur Entwicklung eines Angebotskonzeptes, wurden die Auszubildenden des ersten und zweiten Workshops jeweils in drei Arbeitsgruppen eingeteilt.

Alle Gruppen der Auszubildenden entwickelten bzw. beschrieben ein Konzept für den Angebotstyp Roboshuttle (vgl. Kapitel 5.2) und forderten, sofern sie sich zum Fahrzeugtyp geäußert haben, den Einsatz von Shuttles mit bis zu neun oder Kleinbusse mit mehr als neun Sitzplätzen. Eine Gruppe des ersten Workshops hob im Hinblick auf mögliche Mobilitätseinschränkungen hervor, dass diese Fahrzeuge barrierefrei sein sollten. Zwei Gruppe aus dem zweiten Workshop hoben den voraussichtlich häufigen Nutzungsfall von Fahrten zu und von Partys hervor, indem sie ihr Konzept mit der Wortschöpfung „Carty“ betitelten bzw. eine Bar mit Freigetränken im Fahrzeug forderten.

In der abschließenden Diskussionsrunde des ersten Workshops wurde zudem angemerkt, dass die Nutzer und Nutzerinnen in ihrem Account für jede Buchung definieren können, ob eine Terminbindung besteht. Dieser Hinweis muss vom hinterlegten Algorithmus bei der automatisierten Routenplanung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere bei Fahrten zum Bahnhof, bei denen der Anschlusszug nicht verpasst werden darf. Zudem solle das Angebot in eine einheitliche App zur Buchung mehrerer verschiedener Verkehrsmittel integriert werden. Diese Angebote sollten, je nach Bedarf, in einer einzigen Buchung kombiniert werden können, also intermodale Verhaltensweisen fördern. Solche Apps bzw. Mobilitätsplattformen werden, wie bereits definiert, als MaaS bezeichnet.<sup>301</sup>

Im ersten Workshop forderten zwei der drei Gruppen eine deutliche Erweiterung des im Fragebogen definierten Einsatzgebietes. So gaben dies Gruppen an, dass das entwickelte Angebotskonzept nicht innerhalb einer Betriebsfläche mit einem Radius von 20, sondern mit einem Radius von 40 Kilometer buchbar sein sollte. Im zweiten Workshop wurde sogar ein noch größeres Einsatzgebiet gefordert. Die hier genannten Radien liegen in einem Wertebereich von 50 bis 60 Kilometer und ergeben einen mittleren Radius von 53 Kilometer. Dies könnte, analog zu den Workshops an Schulen, im häufigen Wohnsitz der befragten Auszubildenden in Postleitzahlregionen mit kleineren Gemeinden begründet liegen (vgl. Anhang C-9). Alle Gruppen, die eine zeitliche Verfügbarkeit des Angebotes definiert haben, forderten, dass das Angebot rund um die Uhr an sieben Tagen der Woche nutzbar ist.

---

<sup>301</sup> Mobility as a Service (MaaS). (vgl. Kapitel 5)

Die von den Arbeitsgruppen der Auszubildenden definierte Wartezeit, die bei der automatisierten Routenplanung der AIM-Angebote nicht überschritten werden sollte, liegt im ersten Workshop in einem Wertebereich von fünf bis 12 Minuten und im zweiten Workshop in einem Wertebereich von sieben bis 15 Minuten. Durchschnittlich forderten die Auszubildenden in den Angebotskonzepten des ersten Workshops damit eine maximale Wartezeit von elf und in denen des zweiten Workshops von 12 Minuten. Diese Werte sind vergleichbar mit denen aus den Workshops an Schulen. Wie bereits erwähnt wurde, wurde zusätzlich in der abschließenden Diskussion des ersten Workshops darauf hingewiesen, dass terminlich einzuhaltende Ankunftszeiten, insbesondere bei einer Buchung in einer MaaS-App mit Anschlussverbindungen im ÖV, eingehalten werden sollten. Zudem forderte eine Gruppe des ersten Workshops eine Vergünstigung, falls die von den Betreibenden festgelegte maximale Wartezeit nicht eingehalten werden kann. (vgl. Tabelle 9-2)

Auch die maximale Reisezeitverlängerung durch das Pooling, die die Auszubildenden in ihren entwickelten Angebotskonzepten forderten, ist vergleichbar mit den Forderungen der Schüler und Schülerinnen. Die von den Gruppen des ersten Workshops definierte Reisezeitverlängerung liegt über alle Gruppen hinweg in einem Wertebereich zwischen fünf und zehn Minuten bzw. bei einem mittleren Wert von sieben Minuten. In der abschließenden Diskussion wurde zudem darauf hingewiesen, dass die Reisezeitverlängerung in einem angemessenen Verhältnis zur Fahrzeit ohne Pooling stehen sollte. Im zweiten Workshop definierten die Auszubildenden in ihren Arbeitsgruppen Grenzwerte in ähnlicher Höhe mit Werten von drei bis 15 und durchschnittlich neun Minuten. (vgl. Tabelle 9-2)

Während die Arbeitsgruppen des ersten Workshops mit einem Wertebereich von 100 bis 200 und einem Mittelwert von 167 Metern sehr geringe Entfernungen für den Zu- und Abgangsweg forderten, sind die Werte aus dem zweiten Workshop der Auszubildenden zumindest im Hinblick auf den Mittelwert mit 450 Metern vergleichbar mit den Forderungen der Schüler und Schülerinnen. Der Wertebereich von 150 bis 700 Meter verdeutlicht jedoch, dass die Arbeitsgruppen auch im zweiten Workshop teilweise sehr geringe Entfernungen forderten. Zusätzlich forderte eine Gruppe des ersten Workshops eine Tür-zu-Tür-Bedienung, sofern dies am jeweiligen Ein- bzw. Ausstiegspunkt umsetzbar ist. (vgl. Tabelle 9-2)

Der von den Auszubildenden geforderte Fahrpreis pro Kilometer liegt bei den Angebotskonzepten aus dem ersten Workshop in einem Wertebereich zwischen 0,50 und 1,00 Euro pro Kilometer. Im Schnitt ergibt sich daraus ein Preis von 0,77 Euro pro Kilometer, wobei eine Gruppe spezifizierte, dass nur jeder vollständig zurückgelegte Kilometer abgerechnet werden sollte. Während die maximale Wartezeit, die Reisezeitverlängerung bei Pooling und die Länge der Zu- und Abgangswege in den Angebotskonzepten des zweiten Workshops höher als in denen des ersten Workshops lagen, ist es beim Fahrpreis umgekehrt. Hier forderten die Gruppen des zweiten Workshops Fahrpreise in einem Wertebereich zwischen 0,30 und 0,50 Euro pro Kilometer, woraus sich ein Mittelwert von 0,38 Euro pro Kilometer ergibt. (vgl. Tabelle 9-2)

Wie die Schüler und Schülerinnen, forderten auch Arbeitsgruppen der Auszubildenden eine Reduktion des Fahrpreises, sofern Fahrtenwünsche gebündelt werden. Im ersten Workshop liegt diese in einem Bereich von 0,25 bis 0,50 und bei mittleren 0,35 Euro pro Kilometer. Die Gruppe, die beim Fahrpreis angemerkt hatte, dass nur jeder vollständig zurückgelegte Kilometer abgerechnet werden sollte, gibt im Umkehrschluss an, dass die Preisreduktion ebenfalls nur für jeden vollständig gebündelten Kilometer gewährleistet wird. Da die Gruppen aus dem zweiten Workshop einen niedrigeren Fahrpreis forderten, liegt die geforderte Pooling-Preisreduktion ebenfalls niedriger, mit einem Wertebereich von 0,10 bis 0,25 bzw. mit einem Durchschnitt von 0,17 Euro pro Kilometer. (vgl. Tabelle 9-2)

**Tabelle 9-2:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Auszubildenden

Angebotseigenschaft	Workshop 1	Workshop 2
zeitliche Komponente		
Wartezeit in Minuten	5 – 12 ( $\bar{x} = 11$ )	7 – 15 ( $\bar{x} = 12$ )
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten	5 – 10 ( $\bar{x} = 7$ )	3 – 15 ( $\bar{x} = 9$ )
Zu- und Abgangsweg in Meter	100 – 200 ( $\bar{x} = 167$ ) <sup>a</sup>	150 – 700 ( $\bar{x} = 450$ )
preisliche Komponente		
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	0,50 – 1,00 ( $\bar{x} = 0,77$ ) <sup>b</sup>	0,30 – 0,50 ( $\bar{x} = 0,38$ )
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,25 – 0,50 ( $\bar{x} = 0,35$ ) <sup>b</sup>	0,10 – 0,25 ( $\bar{x} = 0,17$ )

*Weitere Angaben:*

<sup>a</sup> Wo möglich mit Tür-zu-Tür-Bedienung.

<sup>b</sup> Berechnet wird ausschließlich jeder vollständig zurückgelegte Kilometer (Abrundung).

Jeweils zwei von drei Gruppen der Workshops mit Auszubildenden definierten die Art des Ein- und Ausstiegspunktes für ihr Angebotskonzept. Auffällig ist, dass die beiden Gruppen des ersten Workshops, die durchschnittlich einen kürzeren Zu- und Abgangsweg forderten, ausschließlich eine Anzeige von virtuellen Haltestellen in der App vorsahen. Die beiden Gruppen des zweiten Workshops, die auch längere Wege bis zum Ein- und Ausstiegspunkt für akzeptabel hielten, forderten hingegen bauliche Haltestellen mit einer Sitzbank und einer Überdachung. Daraus kann geschlossen werden, dass die Auszubildenden die infrastrukturelle Umsetzbarkeit ihrer Angebotskonzepte berücksichtigten und nicht ausschließlich Wünsche ausformulierten.

Diejenigen Arbeitsgruppen, die eine bauliche Haltestelle gefordert haben, sahen auch eine Buchung der Fahrt über einen Automaten an der Haltestelle oder einen Telefonanruf vor. Eine Buchung über die App oder eine im Internet aufrufbare Website ist zusätzlich in allen Konzepten der Auszubildenden definiert worden.

Möglichkeiten zur Bezahlung wurden lediglich von einer Gruppe des zweiten Workshops thematisiert, gehen aber erneut mit der Fokussierung auf die App beim Fahrzeugzugang und bei der Buchung einher. So wurden ausschließlich bargeldlose Zahlungsmethoden, wie eine Kartenzahlung oder eine Bezahlung über die App, also über ein e-Payment-Zahlungssystem, vorgesehen. Zusätzlich erwähnte die Gruppe, dass auch der Erwerb einer Zeitkarte möglich sein sollte.

Wie schon bei den Schülern und Schülerinnen ist davon auszugehen, dass Auszubildende seltener auf Hilfestellungen beim Ein- und Ausstieg oder beim Transport von Gepäck angewiesen sind. Daher ist es nicht überraschend, dass kaum eine Arbeitsgruppe die Verfügbarkeit eines Servicepersonal angab. Diejenigen Gruppen, die sich mit diesem Thema beschäftigten, forderten eine dauerhafte Anwesenheit einer solchen Person. Während zwei Gruppen dies nicht näher ausführten, ergänzte eine Gruppe, dass das Servicepersonal insbesondere bei Nachtfahrten anwesend sein sollte. Vergleichbar mit der Rolle einer solchen Person für Schüler und Schülerinnen, ist sie demnach auch für Auszubildende maßgeblich zur Erhöhung des Sicherheitsgefühls relevant. Weitere Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit, die von den Arbeitsgruppen des ersten Workshops gefordert wurden, sind die Kameraüberwachung des Fahrzeugraums, die Installation eines Notfallknopfes, eine Ausweispflicht beim Fahrzeugzugang und eine Gurtpflicht. In der abschließenden Diskussionsrunde des ersten Workshops wurde zudem eine Bereitstellung von Echtzeitinformationen über Verspätungen des Fahrzeugs gefordert.

### 9.3 Anforderungen an Angebotskonzepte von Studierenden

Studierende, die innerhalb der WAIM-Erhebung an Workshops teilgenommen haben, wurden ebenfalls in Arbeitsgruppen eingeteilt. Im ersten Präsenz-Workshop konnten insgesamt vier Gruppen und im zweiten insgesamt zwei Gruppen gebildet werden. Die beiden digital durchgeführten Workshops ergaben jeweils drei Arbeitsgruppen.

Die meisten Gruppen der Studierenden entwickelten bzw. beschrieben ein Konzept für den Angebotstyp Roboshuttle, es gab jedoch auch Gruppen, die ein kombiniertes Angebot beschrieben. So forderten zum Beispiel zwei Gruppen des dritten Workshops die Wahlfreiheit der nutzenden Person, ob sie ein Robotaxi oder ein Roboshuttle buchen möchte. Ein anderes Beispiel ist eine Gruppe des vierten Workshops, die definierte, dass es im ländlichen Raum ein Robotaxi- und im städtischen ein Roboshuttle-Angebot geben sollte. Von einer Gruppe des vierten Workshops wurde eine Unterscheidung nach Tageszeiten definiert, wobei tagsüber Fahrten gebündelt und nachts lediglich eine Buchung als Robotaxi möglich sein sollte. Eine Gruppe des dritten Workshops definierte darüber hinaus, dass es im ländlichen Raum zu den Hauptfahrzeiten auch einen Taktfahrplan geben sollte, der aber dennoch einen räumlich flexiblen Zu- bzw. Ausstieg ermöglicht. Fahrten sollten außerdem auf eine bestimmte Abfahrtszeit reservierbar sein, also nicht spontan gebucht werden. Die Möglichkeit, eine Fahrt für eine bestimmte Abfahrtszeit zu reservieren, forderten auch eine weitere Gruppe aus dem dritten und eine aus dem vierten Workshop mit Studierenden.

Sofern sich die Gruppen zum Fahrzeugtyp geäußert haben, forderten sie meist den Einsatz von Shuttles mit fünf bis acht Sitzplätzen oder von Kleinbussen mit 12 bis 20 Sitzplätzen. Lediglich die Gruppe, die für städtische und ländliche Räume unterschiedliche Angebote forderte, kann sich im ländlichen Raum auch den Einsatz von Pkws für das Robotaxi-Angebot vorstellen. Zwei Gruppen hoben zusätzlich hervor, dass das Fahrzeug barrierefrei sein müsse.

Jeweils zwei Gruppen des dritten und des vierten Workshops forderten variierende Angebotsflächen, je nach siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen. Dabei wurde argumentiert, dass Wege in ländlichen Räumen durchschnittlich länger sind und deshalb in ländlichen Räumen ein größeres Betriebsgebiet notwendig sei. Sofern sich Gruppen konkret dazu äußerten, gaben sie demzufolge für das Einsatzgebiet im ländlichen Raum einen Radius in einem Wertebereich zwischen zehn und 30 und durchschnittlich von 20 Kilometer an. Im städtischen Bereich lagen die entsprechenden Angaben in einem Wertebereich von fünf bis zehn und durchschnittlich bei knapp neun Kilometer. Im Hinblick auf die Betriebszeiten äußerte sich lediglich eine Gruppe aus den Workshops mit Studierenden und forderte eine Nutzbarkeit rund um die Uhr an sieben Tagen die Woche.

Die von den Gruppen der Studierenden definierte Wartezeit, die bei der automatisierten Routenplanung der AIM-Angebote möglichst nicht überschritten werden sollte, liegt im ersten und vierten Workshop jeweils in einem Wertebereich von zehn bis 20 Minuten, im dritten Workshop von fünf bis 20 Minuten und im zweiten Workshop in einem Wertebereich von fünf bis sieben Minuten. Im dritten und vierten Workshop ergibt sich daraus jeweils eine durchschnittliche maximale Wartezeit von 13 Minuten und im ersten Workshop von 14 Minuten. Diese ist mehr als doppelt so hoch im Vergleich zur mittleren geforderten maximalen Wartezeit aus dem ersten Workshop, die bei sechs Minuten liegt. Abgesehen von diesem Wert sind die mittleren Wartezeiten demnach vergleichbar mit denen aus den Workshops mit Schülern und Schülerinnen bzw. mit Auszubildenden. Zudem definierte sowohl im dritten als auch im vierten Workshop mit Studierenden jeweils eine Gruppe unterschiedliche Wartezeiten im städtischen wie im ländlichen Raum. Für den ländlichen Raum wurden dabei längere Wartezeiten als akzeptabel definiert als für städtische Räume. (vgl. Tabelle 9-3)

Zur maximalen Reisezeitverlängerung durch das Pooling äußerten sich lediglich vier Arbeitsgruppen des ersten Workshops und eine Arbeitsgruppe des dritten Workshops. Drei der vier Gruppen aus dem ersten Workshop gaben eine maximal akzeptable Reisezeitverlängerung von fünf Minuten an, während die vierte Gruppe festlegte, dass die gesamte Reisezeit durch die Fahrtenbündelung nicht um mehr als 25 % der Fahrzeit ohne Pooling verlängert werden darf. Die Gruppe des dritten Workshops definierte eine maximale Reisezeitverlängerung von zehn Minuten. (vgl. Tabelle 9-3)

Durchschnittlich forderten alle Arbeitsgruppen der vier Workshops mit Studierenden relativ kurze Zu- und Abgangswege mit 289 Metern im ersten, 200 Metern im zweiten, 217 Metern im dritten und 300 Metern im vierten Workshop. Die von den einzelnen Arbeitsgruppen angegebenen Werte liegen im ersten Workshop in einem Bereich von 250 bis 300 Metern, während im zweiten Workshop beide

Gruppen eine maximale Distanz von 200 Metern angegeben haben. In den digital durchgeführten Workshops haben die Arbeitsgruppen jeweils Werte zwischen 100 und 500 Metern definiert. Mit Ausnahme des dritten Workshops mit Schülern und Schülerinnen und des zweiten Workshops mit Auszubildenden, forderten die Studierenden in den Arbeitsgruppen daher kürzere Zu- und Abgangswege als die bisher betrachteten Personengruppen. Zusätzlich forderte jeweils eine Gruppe des dritten und vierten Workshops unterschiedliche Distanzen für den städtischen und den ländlichen Raum, wobei keine Einigkeit bestand, wo die weiter entfernten Ein- und Ausstiegspunkte verortet sein sollten. Eine weitere Gruppe des dritten Workshops legte bei ihrem kombinierten Angebotskonzept für Robotaxis kürzere Zu- und Abgangswege als für Roboshuttles fest. Für das Robotaxi wurde, wie auch von einer anderen Gruppe aus dem ersten Workshop, eine Tür-zu-Tür-Bedienung gefordert. (vgl. Tabelle 9-3)

**Tabelle 9-3:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Studierenden

Angebotseigenschaft	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3 (digital)	Workshop 4 (digital)
<b>zeitliche Komponente</b>				
Wartezeit in Minuten	10 – 20 ( $\bar{x}$ = 14)	5 – 7 ( $\bar{x}$ = 6)	5 – 20 ( $\bar{x}$ = 13) <sup>a</sup>	10 – 20 ( $\bar{x}$ = 13) <sup>a</sup>
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten	5 ( $\bar{x}$ = 5) <sup>b</sup>		10	
Zu- und Abgangsweg in Meter	250 – 300 ( $\bar{x}$ = 289)	200 ( $\bar{x}$ = 200)	100 – 500 ( $\bar{x}$ = 217) <sup>c</sup>	100 – 500 ( $\bar{x}$ = 300) <sup>c</sup>
<b>preisliche Komponente</b>				
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	0,25 – 0,80 ( $\bar{x}$ = 0,59) <sup>d</sup>	1,00	0,50 ( $\bar{x}$ = 0,50) <sup>e</sup>	0,55 – 0,60 ( $\bar{x}$ = 0,58) <sup>e</sup>
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,20 <sup>f</sup>	<sup>g</sup>	<sup>h</sup>	0,20 (ab 3 Personen) <sup>h</sup>

*Weitere Angaben:*

<sup>a</sup> Unterschiedlich je nach siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen.

<sup>b</sup> Maximal 25 % der ursprünglichen Fahrzeit ohne Pooling.

<sup>c</sup> Unterschiedlich je nach Angebotsform und/oder Räumlichkeit: Robotaxis und Angebote in ländlichen Räumen haben eher kürzere, Roboshuttles und Angebote im städtischen Raum eher weitere Zu- und Abgangswege. Stellenweise wird zusätzlich eine Tür-zu-Tür-Bedienung gefordert.

<sup>d</sup> Unterschiedlich je nach siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen: in ländlichen Räumen wird ein geringerer Fahrpreis angestrebt, da Wege dort durchschnittlich länger sind.

<sup>e</sup> Der angegebene Kilometer-Preis gilt nur bis zu einer definierten Wegelänge und wird danach entweder reduziert oder die Mehrkilometer werden nicht berechnet.

<sup>f</sup> Es wird eine Reduktion um 20 % des Fahrpreises ohne Pooling gefordert.

<sup>g</sup> Es wird eine Reduktion um 5 % je angefallener Reisezeitverlängerung durch das Pooling gefordert. Auf geteilten Streckenabschnitten dividiert sich der Fahrpreis durch die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt im Fahrzeug befindlichen Personen.

<sup>h</sup> Es wird eine Reduktion in undefinierter Höhe gefordert.

Sofern mehrere Gruppen in einem Workshop mit Studierenden einen Fahrpreis für das entwickelte Angebotskonzept definierten, lag der sich daraus ergebende Mittelwert über die Workshops hinweg in etwa gleich hoch. So gaben die Arbeitsgruppen des ersten Workshops Fahrpreise zwischen 0,25 und 0,80 und im Mittel von 0,59 Euro pro Kilometer an. Im Vergleich dazu definierten im dritten Workshop zwei Gruppen jeweils einen Fahrpreis, der bei 0,50 Euro pro Kilometer lag und im dritten Workshop gaben die Arbeitsgruppen Fahrpreise zwischen 0,55 und 0,60 Euro pro Kilometer an, woraus sich ein Mittelwert von 0,58 Euro pro Kilometer ergibt. Im zweiten Workshop mit Studierenden definierte lediglich eine der beiden Arbeitsgruppen einen Fahrpreis, der bei 1,00 Euro pro Kilometer lag. Die geforderten Fahrpreise liegen damit in einem vergleichbaren Bereich, wie die der Arbeitsgruppen mit Schülern und Schülerinnen bzw. Auszubildenden. Zusätzlich definierte eine Gruppe des ersten Workshops, dass die Fahrpreise in ländlichen Räumen niedriger sein sollten, da die Wege der dort wohnenden Personen durchschnittlich länger sind. Jeweils eine Gruppe aus dem dritten und vierten Workshop griff diesen Zusammenhang zwischen der Distanz des Weges und dem zu zahlenden Fahrpreis ebenfalls auf, indem gefordert wurde, dass der Fahrpreis nur bis zu einem bestimmten Maximalbetrag je Kilometer abgerechnet werden solle. Dieses Abrechnungsmodell fordert ab diesem Maximalbetrag entweder geringere Kosten pro Kilometer oder keine weiteren Kosten. (vgl. Tabelle 9-3)

Wie Schüler und Schülerinnen bzw. die Auszubildende, forderten auch Arbeitsgruppen der Studierenden eine Preisreduktion, sollten Fahrtenwünsche gebündelt werden, konkretisierten diese häufig jedoch nicht. Lediglich im ersten und im vierten Workshop gab es jeweils eine Gruppe, die eine konkrete Preisreduktion um 0,20 Euro pro Kilometer forderte. Die Gruppe des vierten Workshops ergänzte als weitere Voraussetzung, dass diese Reduktion erst ab einer Fahrgastzahl von drei oder mehr Personen erfolgt. Andere Gruppen aus dem ersten und zweiten Workshop gaben entweder prozentuale Werte an, oder forderten, dass der Fahrpreis auf den gebündelten Streckenabschnitten durch die Anzahl der im Fahrzeug befindlichen Personen dividiert wird. (vgl. Tabelle 9-3)

Im ersten Workshop mit Studierenden forderten alle Arbeitsgruppen für die Ein- und Ausstiegspunkte virtuelle Haltestellen, die in der App angezeigt werden. Zwei Gruppen dieses Workshops forderten zusätzlich eine Markierung mit einem Symbol im öffentlichen Straßenraum und die Nutzung der bereits bestehenden baulichen Haltestellen. Während im zweiten Workshop von den Arbeitsgruppen keine detaillierte Ausgestaltung für den Zu- und Abgang definiert wurde, differenzierten die Gruppen des dritten und vierten Workshops diesen detaillierter aus. Wurde zwischen städtischem und ländlichem Raum unterschieden, forderten die meisten Gruppen für städtische Räume virtuelle Haltestellen mit in-App-Anzeige oder Markierungen im öffentlichen Straßenraum und für die ländlichen Räume bauliche Haltestellen. Bei kombinierten Angeboten wurde wiederum für das Robotaxi eine virtuelle Haltestelle mit in-App-Anzeige und für das Roboshuttle eine bauliche Haltestelle gefordert. Bei Gruppen, die eine Tür-zu-Tür-Bedienung definierten, ist aus technischen Gründen lediglich eine virtuelle Haltestelle, die in der App angezeigt wird, umsetzbar bzw. es ist keine detaillierte Ausgestaltung notwendig.

Vergleichbar mit den Buchungsmöglichkeiten der Arbeitsgruppen der Auszubildenden wurde von allen Arbeitsgruppen aus den Workshops mit Studierenden als maßgebliches Medium zur Buchung einer Fahrt die App oder eine im Internetbrowser aufrufbare Website angegeben. Gruppen, die die Nutzung des bestehenden Haltestellennetzes forderten, forderten zusätzlich eine Ergänzung dieser Haltestellen mit Bestellautomaten. Eine weitere Gruppe des dritten Workshops forderte zudem die Errichtung solcher Automaten auch an anderen Punkten im Bediengebiet, wie etwa in öffentlichen Einrichtungen, an Supermärkten oder in Fitnessstudios. Arbeitsgruppen, die zwischen städtischem und ländlichem Raum oder bei kombinierten Angeboten zwischen Robotaxi und Roboshuttle unterschieden, forderten im städtischen Raum bzw. für das Robotaxi eine Buchung über die App und im ländlichen Raum bzw. für das Roboshuttle eine zusätzliche Möglichkeit der Buchung über Automaten oder über Telefonanrufe. Ausschließlich die Arbeitsgruppen der digital durchgeführten Workshops mit Studierenden definierten für ihre Angebotskonzepte Bezahlmöglichkeiten. Vergleichbar mit den Ergebnissen aus den Workshops mit Auszubildenden wurde von allen Gruppen der Fokus auf das e-Payment gelegt. Demnach sollten die gebuchten Fahrten über die App, PayPal oder ein ähnliches Medium sowie mit der Karte bezahlt werden. Zusätzlich nannten einige Gruppen die Möglichkeit einer Prepaid- bzw. Guthabekarte. Eine Gruppe des dritten Workshops definierte, dass Prepaidkarten an den Bestellautomaten der Haltestellen aufgeladen werden können. Eine Arbeitsgruppe aus dem vierten Workshop differenziert die Möglichkeiten zur Bezahlung wiederum nach städtischem und ländlichem Raum. Während dieses Angebotskonzept für den städtischen Raum ausschließlich das Zahlungssystem e-Payment vorsieht, bestehen im ländlichen Raum weitere bargeldlose Zahlungsarten sowie die Möglichkeit der Barzahlung. Eine weitere Gruppe aus dem vierten Workshop sah die Barzahlung ausschließlich für Personen mit Mobilitätseinschränkung vor, die ein Servicepersonal anfordern können. Die Fahrt kann dann bei diesem kostenlos bereitgestellten Personal in bar bezahlt werden.

In jedem der vier Workshops mit Studierenden wurde zudem von mindestens einer Arbeitsgruppe die Möglichkeit zum Kauf einer Zeitkarte oder eines Abonnements definiert. Eine Gruppe definierte, dass, wie bereits heute im ÖV, Schüler und Schülerinnen, Auszubildende, Studierende und auch Personen im Ruhestand einen Rabatt erhalten sollten.

Studierende gehören wie Personen in der Schul- oder beruflichen Ausbildung zu einem Anteil der Bevölkerung, der seltener auf Hilfestellungen beim Ein- und Ausstieg oder beim Transport von Gepäck angewiesen ist. Daher definierte keine der Arbeitsgruppen der Studierenden, dass ein Servicepersonal dauerhaft in allen Fahrzeugen anwesend ist. In den meisten Angebotskonzepten wurde festgelegt, dass das Servicepersonal situativ auf Abruf im Fahrzeug anwesend sein sollte. Meist muss es dabei kostenpflichtig dazu gebucht werden, wobei Personen mit nachgewiesenen Mobilitätseinschränkungen von diesen Kosten befreit werden. Eine Arbeitsgruppe des dritten Workshops definierte zusätzlich, dass nicht nur Personen mit Mobilitätseinschränkungen einen solchen Anspruch haben, sondern dass auch bei Fahrten mit Personen im Ruhestand oder mit Kindern ein Servicepersonal anwesend sein sollte. Zwei Gruppen, eine aus dem ersten und eine aus dem dritten Workshop, forderten zur Erfüllung dieser



zusätzlichen Option die Einführung zweier Fahrzeugflotten, wobei eine stets ohne und eine stets mit Servicepersonal unterwegs ist. Eine Gruppe des vierten Workshops wollte zusätzlich Hotspots und Infopoints in den Städten anbieten, an denen dort angestelltes Personal für Fragen und sonstige Hilfestellungen zur Verfügung steht. Für Personengruppen, die nicht auf physische Hilfe angewiesen sind, definierten vier Arbeitsgruppen, dass ein Servicepersonal jederzeit über eine visuelle und/oder auditive Möglichkeit zur Kontaktaufnahme im Fahrzeug, also remote, zur Verfügung steht.

Maßnahmen, die die Arbeitsgruppen der Studierenden zur Gewährleistung der Sicherheit definierten, sind ein Notfallknopf im Fahrzeug, die Ausweispflicht beim Zugang und eine Kameraüberwachung. Zur Information der Nutzenden forderte eine Gruppe des vierten Workshops zudem einen Live-Tracker, mit dem die Anfahrt des Fahrzeugs nachverfolgt werden kann.

## 9.4 Anforderungen an Angebotskonzepte von Berufstätigen

Vor der Corona-Pandemie waren die Bemühungen, einen Workshop mit Berufstätigen durchzuführen, nicht erfolgreich. Vier Personen wurden dennoch auf einer Tagung für Berufstätige mit Hilfe des quantitativen Fragebogens befragt. Diese werden nachfolgend jedoch nicht berücksichtigt, da kein in Gruppenarbeit definiertes Konzept für AIM-Angebote vorliegt. Demnach stehen lediglich die definierten Angebotskonzepte aus den während der Corona-Pandemie digital durchgeführten Workshops zur Verfügung. Da auch hier jeweils nur eine sehr geringe Anzahl an Teilnehmenden erzielt werden konnte, wurden die Berufstätigen, anders als bei den bisher betrachteten Personengruppen, am Ende des Workshops nicht in verschiedene Gruppen unterteilt, sondern definierten gemeinsam ein Angebotskonzept. Eine Differenzierung nach Workshops ist daher nicht zielführend. Aus diesem Grund werden die Angebotskonzepte aus den drei Workshops nachfolgend nicht nur einzeln, sondern auch für die Gesamtheit über alle Workshops beschrieben.

Die Berufstätigen definierten in allen drei Workshops jeweils ein kombiniertes Angebot, bei dem die Nutzer und Nutzerinnen gegen einen Aufpreis anstelle eines Roboshuttle auch ein Robotaxi bestellen können. Im ersten Workshop wurde dies speziell für ländliche Regionen jedoch anders definiert. Bei dem Angebot aus diesem Workshop, handelt es sich standardisiert um ein Robotaxi, das nur bei Toleranz des Fahrgastes und bei ausreichender Anzahl an Buchungsvorgängen eine Bündelung von Fahrtenwünschen ermöglicht, also zu einem Roboshuttle wird. Für das im zweiten Workshop definierte Angebotskonzept wurde außerdem gefordert, dass die Fahrtenbuchungen nachts nicht mehr gebündelt werden und dementsprechend in diesem Zeitraum auch kein Aufpreis mehr für das Robotaxi bezahlt werden muss. Die Teilnehmenden des dritten Workshops definierten zudem, dass ihr Angebot mit Hilfe einer MaaS-App bzw. einer Mobilitätsplattform buchbar und mit anderen Verkehrsmitteln kombinierbar sein soll. Berufstätige des ersten Workshops wichen teilweise vom Gedanken einer flexiblen on-Demand-Nutzung ab und forderten zusätzlich zum regulären Angebot vereinzelte Fahrten in ländlichen Räumen mit festen

Abfahrtszeitpunkten, die wichtige Orte wie Arzthäuser, Vereine oder soziale Einrichtungen anfahren sollten. Diese Fahrten sollten auch mit einer längeren Vorlaufzeit reservierbar sein. Die Berufstätigen des dritten Workshops forderten die Möglichkeit zur Reservierung eines Fahrzeuges auf eine bestimmte Abfahrtszeit.

In den Workshops wurde von den Berufstätigen entweder ein Shuttle mit sechs bis acht oder ein Kleinbus mit zehn bis zwölf Sitzplätzen gefordert. Wichtig war den Berufstätigen aus dem zweiten und dritten Workshop jeweils, dass genügend Stauraum für Gepäck zur Verfügung steht, wobei angeregt wurde, dass größere Gepäckstücke angemeldet werden müssten und dafür ein gestaffelter Aufpreis zu bezahlen sein sollte. Die Barrierefreiheit des Fahrzeugs wurde ebenfalls von allen Gruppen als sehr wichtig empfunden.

Zur räumlichen Verfügbarkeit, also der Größe des Einsatzgebietes, machten lediglich die Berufstätigen aus dem zweiten Workshop eine Aussage. Diese gaben an, dass das Angebot mindestens innerhalb der jeweils zutreffenden Ortsgrenzen nutzbar sein sollte. Eine Nutzung über diese Grenzen hinweg sollte im Rahmen des definierten Angebotskonzeptes durch einen Austausch von Flottenfahrzeugen oder einen Umstieg der Fahrgäste an der Ortsgrenze ermöglicht werden. In zeitlicher Hinsicht wurde von jedem Workshop der Berufstätigen eine Nutzbarkeit rund um die Uhr an allen Wochentagen definiert.

Eine konkrete maximale Wartezeit wurde in keinem der drei Workshops von den Berufstätigen definiert. Jedoch gaben alle drei Arbeitsgruppen für ihr beschriebenes Angebotskonzept an, dass die akzeptierte Wartezeit vom jeweils Nutzenden individuell eingestellt werden kann. Je nach Gruppe sollte dies sogar in Abhängigkeit vom Wegezweck, der Tageszeit und einer Terminbindung im Anschluss an die gebuchte Fahrt möglich sein. (vgl. Tabelle 9-4)

Zur maximalen Reisezeitverlängerung durch das Pooling äußerte sich lediglich die Arbeitsgruppe aus dem zweiten Workshop. Diese gab an, dass auch hier von der nutzenden Person für den betreffenden Weg eine individuelle Toleranzgrenze eingestellt werden kann. (vgl. Tabelle 9-4)

Ausschließlich die Arbeitsgruppen der ersten beiden Workshops mit Berufstätigen definierten für ihr Angebotskonzept einen maximalen Zu- bzw. Abgangsweg. Die Ein- und Ausstiegspunkte sollten im Konzept der ersten Gruppe maximal 200 Meter vom aktuellen Standort bzw. vom Zielpunkt entfernt liegen. Im zweiten Workshop wurde, je nach Örtlichkeit im Bediengebiet, eine maximale Entfernung von 200 bis 600 Metern vorgesehen. Durchschnittlich ergibt sich hieraus über beide Gruppen hinweg ein Zu- und Abgangsweg von 300 Metern. Beide Gruppen definierten zusätzlich, dass, sofern es im Hinblick auf die räumlichen und sicherheitsrelevanten Rahmenbedingungen möglich ist, eine Tür-zu-Tür-Bedienung bevorzugt wird. Dafür wurde gefordert, dass die Fahrzeuge des Robotaxi- oder Roboshuttle-Angebotes im öffentlichen Straßenraum bevorrechtigt werden und überall halten können. Damit entsprechen diese Forderungen in etwa denen der definierten Angebotskonzepte aus den Workshops mit Studierenden. (vgl. Tabelle 9-4)

Die geforderten Fahrpreise der Angebotskonzepte aus den drei Workshops mit Berufstätigen liegen zwischen 0,40 und 1,00 und durchschnittlich bei 0,68 Euro pro Kilometer. Der Fahrpreis ist damit in etwa so hoch wie bei den bisher betrachteten Personengruppen. Die zweite Gruppe schränkte den genannten Fahrpreis jedoch ein und forderte, dass er ab Wegelängen von mehr als drei Kilometern stufenweise reduziert wird. Die Gruppen des ersten und dritten Workshops griffen zusätzlich den damaligen Diskurs über einen kostenlosen oder mit 365-Euro-Tickets stark vergünstigten ÖPNV auf und forderten langfristig ein kostenloses Angebot, um die Attraktivität gegenüber dem MIV zu steigern. Dieser Diskurs wurde im Anschluss durch die steigenden Energiepreise im Zusammenhang mit dem Ukraine-Krieg weiter gefördert, weshalb auch ein 9-Euro-Ticket für 90 Tage eingeführt wurde.<sup>302</sup> (vgl. Tabelle 9-4)

Aus den oben beschriebenen und von den Berufstätigen definierten Angebotskonzepten geht hervor, dass die Teilnehmenden in allen drei Workshops bei Bündelung von Fahrtenwünschen einen reduzierten Preis bzw. bei Wahl eines Robotaxis einen Aufpreis befürworteten. Damit stimmen die Berufstätigen in diesem Punkt mit den Angaben der bisher betrachteten Personengruppen überein. Die Arbeitsgruppen des zweiten und dritten Workshops konkretisierten die Höhe der geforderten Preisreduktion bzw. den Preisunterschied dabei nicht. Die Berufstätigen des ersten Workshops gaben hingegen an, dass eine Fahrt im Pooling-Fall 0,50 Euro pro Kilometer günstiger sein sollte. (vgl. Tabelle 9-4)

**Tabelle 9-4:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Berufstätigen

Angebotseigenschaft	Workshop 1 (digital)	Workshop 2 (digital)	Workshop 3 (digital)	Gesamt (alle Workshops)
<b>zeitliche Komponente</b>				
Wartezeit in Minuten	a	a	a	
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten		b		
Zu- und Abgangsweg in Meter	200 <sup>b</sup>	200 – 600 <sup>b</sup>		200 – 600 ( $\bar{x}$ = 300)
<b>preisliche Komponente</b>				
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	1,00 <sup>c</sup>	0,50 – 0,70 <sup>d</sup>	0,40 – 0,50 <sup>c</sup>	0,40 – 1,00 ( $\bar{x}$ = 0,68)
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,50	e	e	

*Weitere Angaben:*

<sup>a</sup> Nutzende können eine individuelle Toleranz für die maximale Wartezeit angeben.

<sup>b</sup> Nutzende können eine individuelle Toleranz für die maximale Reisezeitverlängerung durch Pooling angeben.

<sup>c</sup> Langfristig und mit politischer Förderung wird ein kostenloser Betrieb gefordert.

<sup>d</sup> Der angegebene Kilometer-Preis gilt nur bis zu einer Wegelänge von drei Kilometern, danach wird er reduziert. Für Gruppenbuchungen gibt es ebenfalls einen Rabatt.

<sup>f</sup> Die Höhe der Reduktion wurde nicht definiert.

<sup>302</sup> vgl. u.a. VDV, 2019; DEUTSCHER BUNDESTAG, 2020; VDV, 2020c, 2022.

Ausschließlich die Berufstätigen des zweiten Workshops definierten für ihr Angebotskonzept die Art der Ein- und Ausstiegspunkte. Von den Teilnehmenden wurde eine Anzeige des Ein- und Ausstiegspunktes in der Applikation für ausreichend empfunden. Langfristig konnte sich die Arbeitsgruppe jedoch auch den Bau von Haltebuchten im öffentlichen Straßenraum vorstellen, sofern, aufgrund eines geringeren Modal-Split-Anteils des MIV zukünftig Flächen zur Verfügung stehen. Dass die Art des Fahrzeugzugangs lediglich in diesem Workshop definiert wurde, ist aufgrund der über alle Workshops hinweg geforderte Tür-zu-Tür-Bedienung nicht überraschend.

Auch im Hinblick auf die Buchungsmöglichkeiten äußerte sich lediglich die Arbeitsgruppe des zweiten Workshops mit Berufstätigen. Übereinstimmend mit den bisher betrachteten Personengruppen lag der Fokus auf der Buchung über eine App oder eine Website im Internet. Es wurde jedoch hervorgehoben, dass insbesondere für ältere Personen die Bereitstellung eines Bestellautomaten an Haltestellen oder eine Buchung über einen Telefonanruf sinnvoll wären. Zu den Bezahlungsmöglichkeiten äußerte sich keine der Gruppen, doch aufgrund der Fokussierung auf die App und die Website bei der Bestellung ist es naheliegend, dass, wie bei den bisherigen Personengruppen, das e-Payment und andere bargeldlose Bezahlungsmöglichkeiten bevorzugt werden würden.

Neben dem Kauf einer Einzelfahrt definierten die Berufstätigen des zweiten und dritten Workshops die Möglichkeit eines Abonnements oder einer Zeitkarte, analog zum heutigen ÖV. Als denkbar wurden dabei auch innovative Konzepte wie Abonnements für bestimmte Wegelängen oder ausschließlich für wiederkehrende Routinefahrten, zum Beispiel den Arbeitsweg, definiert.

Vergleichbar mit Schülern und Schülerinnen, Auszubildenden und Studierenden, forderte keine Gruppe der berufstätigen Personen eine dauerhafte Anwesenheit eines Servicepersonals im Fahrzeug. Dennoch sollte, mit Ausnahme des definierten Angebotskonzeptes aus dem dritten Workshop, eine solche Hilfsperson situativ auf Abruf verfügbar sein. Während im ersten Workshop für die Nutzenden ein Aufpreis oder ein Nachweis einer Mobilitätseinschränkung für das zusätzliche Servicepersonal definiert wurde, wurde es im zweiten Workshop kostenlos für bedürftige Personen zur Verfügung gestellt. Sollte ein Nutzer oder eine Nutzerin des zweiten Angebotskonzeptes den zusätzlichen Service in Anspruch nehmen, ohne dass er bzw. sie eine Berechtigung dazu hat, sollte diese Buchungsmöglichkeit für die betreffende Person aus Sicht der Teilnehmenden für einen bestimmten Zeitraum deaktiviert werden. Dass im dritten Workshop ein Servicepersonal nur in Notfällen zur Verfügung gestellt werden und in den ersten beiden Workshops zusätzlich bei Nachtfahrten immer anwesend sein sollte, hebt die Bedeutung einer solchen Person für das Sicherheitsgefühl der Berufstätigen hervor. Damit stimmt das Rollenprofil der Serviceperson aus Sicht der Berufstätigen mit dem aus Sicht der Schüler und Schülerinnen sowie der Auszubildenden überein.

Eine weitere Sicherheitsmaßnahme, die die Arbeitsgruppen des zweiten und dritten Workshops mit Berufstätigen definierten, ist die Ausweispflicht beim Betreten des Fahrzeugs über die App oder den Personalausweis. Zusätzlich definierte die dritte Arbeitsgruppe, dass es einen Notrufknopf geben und die Fahrgäste selbst entscheiden sollten, mit welchen anderen Personen sie einer Fahrtenbündelung

zustimmen. So wären aus Sicht dieser Gruppe auch personengruppenspezifische Fahrten, wie etwa ein Roboshuttle ausschließlich für weibliche Fahrgäste, denkbar. Berufstätige aus dem ersten Workshop griffen zudem die im Zuge der Corona-Pandemie gestiegene Bedeutung von Hygienemaßnahmen auf und forderten eine regelmäßige Reinigung des Fahrzeugs.

## 9.5 Anforderungen an Angebotskonzepte von Personen im Ruhestand

Mit Personen im Ruhestand konnte vor Ausbruch der Corona-Pandemie ein Workshop in einer Einrichtung für betreutes Wohnen durchgeführt werden. Allerdings wich die Durchführung sehr stark von dem in Kapitel 3.2.2 beschriebenen, üblichen Ablauf des Workshops ab. So wurde der begleitende Fragebogen von den Teilnehmenden mit Unterstützung der Pfleger und Pflegerinnen noch vor dem Workshop ausgefüllt. Daher mussten viele Antworten im Rahmen einer Plausibilisierung korrigiert oder aus dem Datensatz entfernt werden. Im Workshop selbst wurde, nach der üblichen Einführung in das Thema eine allgemeine Diskussionsrunde mit allen Teilnehmenden durchgeführt. Die dabei gemachten Aussagen der Personen im Ruhestand wurden protokolliert und werden nachfolgend anstelle eines definierten Angebotskonzeptes als Ergebnis aus diesem Workshop vorgestellt. Neben diesem Workshop konnten während der Corona-Pandemie zwei weitere, digital durchgeführte Workshops mit Personen im Ruhestand mit dem üblichen Konzept durchgeführt werden. Da, wie bereits bei den Berufstätigen, die Bereitschaft zur Teilnahme allerdings sehr gering ausfiel, wurden auch hier am Ende des Workshops keine Kleingruppen gebildet, sodass für jeden Workshop lediglich ein Angebotskonzept vorliegt. Daher werden alle Ergebnisse nachfolgend zusätzlich für die Gesamtheit über alle Workshops beschrieben.

In allen drei Workshops der Personen im Ruhestand wurde ein kombiniertes Angebot gefordert. Während in der allgemeinen Diskussionsrunde mit den Teilnehmenden aus der Einrichtung des betreuten Wohnens betont wurde, dass die Nutzenden kostenlos für jeden Weg individuell festlegen können, ob sie ein Pooling akzeptieren oder nicht, wurde im Angebotskonzept des zweiten Workshops definiert, dass eine Wahl des Robotaxis anstelle des Roboshuttles nur bei Bezahlung einer Zusatzgebühr möglich ist. Im dritten Workshop wurde die Kombination dadurch definiert, dass es sich bei dem beschriebenen Angebot regulär um ein Roboshuttle handelt, das allerdings für Fahrten zwischen 19 Uhr abends und 9 Uhr morgens auf die Bündelung von Fahrtenwünschen verzichtet, wodurch es sich zu diesen Zeiten ein Robotaxi ist. Analog zu einigen Angebotskonzepten aus den Workshops mit anderen Personengruppen, forderten die Teilnehmenden des zweiten Workshops, abweichend vom Konzept der MoD, ein Angebot mit zusätzlichen Fahrten zu festen Abfahrtszeitpunkten und zu festen Zielen. Als Beispiele für wichtige Ziele werktags wurden Ärztehäuser, Supermärkte und Baumärkte, an Wochenenden Vereine oder Kirchen genannt. Zusätzlich wurde von Personen im Ruhestand aus den ersten beiden Workshops eine Möglichkeit zur Reservierung der Abfahrtszeit gefordert. Die Personen aus der Einrichtung des betreuten Wohnens forderten sogar, dass das Fahrzeug für einen ganzen

Ausgang oder Tag reservierbar sein sollte. Entsprechend der Beschreibung in der allgemeinen Diskussionsrunde sollte das Fahrzeug in einem solchen Fall warten, während der oder die Nutzende beim Einkaufen, bei einem Arzttermin oder ähnlichem ist. Die Wartezeit wurde als kostenlos definiert, das heißt bei einer Buchung über einen ganzen Ausgang oder Tag müssten nur die Fahrtkosten bezahlt werden. Zusätzlich wurde angemerkt, dass eine Buchung generell mindestens zwei Stunden vor der Abfahrt durchgeführt werden können sollte.

Im Hinblick auf das Fahrzeugmodell legten die Teilnehmenden aller drei Workshops den Fokus auf die Barrierefreiheit und den verfügbaren Stauraum. Fahrzeugparameter, die dafür eingehalten sein sollten, wurden jeweils detailliert beschrieben. Demnach sollte das Fahrzeug aus Sicht der Personen aus der Einrichtung des betreuten Wohnens über eine automatisch ausfahrende Rampe niveaugleich zugänglich sein. Zudem wurde gefordert, dass ausreichend Stauraum für Rollstühle, Rollatoren und andere Gehilfen freigehalten wird. Auch im zweiten Workshop mit Personen im Ruhestand wurden solche Eigenschaften zur Förderung der Barrierefreiheit definiert. Zudem wurde angegeben, dass sowohl Kleinbusse mit 12 Sitzplätzen als auch Pkw mit vier bis fünf Sitzplätzen eingesetzt werden sollten. Schließlich definierten auch die Teilnehmenden des dritten Workshops, dass das Fahrzeug in jedem Fall genügend Stauraum für alle denkbaren Gehilfen und Gepäck bereithalten sollte. Denkbar seien Shuttles mit sechs Sitzplätzen, die, je nach Bedarf, aber auch durch größere Fahrzeuge ergänzt werden können.

Während die räumliche Verfügbarkeit in keinem der drei Workshops detailliert definiert wurde, waren sich die Personen im Ruhestand aus dem zweiten und dritten Workshop einig, dass das jeweilige Angebot rund um die Uhr an sieben Tagen in der Woche verfügbar sein sollte. Im zweiten Workshop merkten die Teilnehmenden aber an, dass in den Nachtstunden eine reduzierte Verfügbarkeit durchaus akzeptabel wäre.

Im Vergleich zu den bisher betrachteten Personengruppen, definierten die teilnehmenden Personen im Ruhestand aus den ersten beiden Workshops in ihren Angebotskonzepten sehr lange Wartezeiten in einem Wertebereich von 15 bis 60 Minuten. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Wartezeit von über 31 Minuten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass jeweils eine Reservierung auf eine bestimmte Abfahrtszeit möglich sein sollte. (vgl. Tabelle 9-5)

Während zur maximalen Reisezeitverlängerung durch die Bündelung von Fahrtenwünschen in keinem der drei Workshops eine detaillierte Aussage gemacht wurde, wurden für die Zu- bzw. Abgangswege Distanzen in einem Wertebereich zwischen 100 und 400 Metern gefordert. Daraus ergibt sich ein mittlerer Wert von 250 Metern. Zusätzlich forderten die Teilnehmenden in allen drei Workshops eine Tür-zu-Tür-Bedienung, falls dies möglich ist. Damit stehen die Forderungen im Einklang mit denen der Berufstätigen. Die mit zunehmendem Alter einhergehende geringere Mobilität wird im folgenden Zusatz zum Angebotskonzept aus dem zweiten Workshop deutlich. Demnach sollten in räumlichen Lagen mit vermehrten Steigungen geringere Zu- bzw. Abgangswege ermöglicht werden. (vgl. Tabelle 9-5)

Um den Fahrpreis pro Kilometer zu definieren, beschrieben die Teilnehmenden des ersten Workshops ein Nutzungsszenario für einen knapp 3,5 Kilometer langen Weg, auf dem sie heute das Taxi nehmen würden. Dieses würde in ihrem Wohnort auf dieser Strecke durchschnittlich acht Euro kosten. Ausgehend von diesem Preis legten die Personen im Ruhestand einen Preis von fünf Euro fest, aus dem wiederum ein Fahrpreis von 1,43 Euro pro Kilometer resultiert. Während dieser kilometerbezogene Fahrpreis deutlich höher liegt, als die Fahrpreise aus den Angeboten der anderen Personengruppen, wurden im zweiten und dritten Workshop mit 0,75 bzw. 0,50 Euro pro Kilometer vergleichbarere Preise definiert. Insgesamt resultiert daraus ein durchschnittlicher Fahrpreis von 0,89 Euro pro Kilometer, der ebenfalls mit den Ergebnissen aus den Workshops mit Schülern und Schülerinnen, Auszubildenden, Studierenden und Berufstätigen vergleichbar ist. Auch die Teilnehmenden des dritten Workshops orientierten sich bei diesem Preis am aktuellen Taxipreis bzw. forderten, dass der Preis nicht höher als 20 % des aktuellen, örtlichen Taxipreises liegen sollte. Zusätzlich forderte diese Gruppe, wie schon einige Gruppen der Berufstätigen, langfristig ein kostenloses Angebot. Nichtsdestotrotz scheinen Personen im Ruhestand eine höhere Zahlungsbereitschaft zu haben, denn zusätzlich zum Fahrpreis pro Kilometer, wurde von den Teilnehmenden des zweiten Workshops eine Gebühr von 1,90 Euro pro Fahrt definiert. (vgl. Tabelle 9-5)

**Tabelle 9-5:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Personen im Ruhestand

Angebotseigenschaft	Workshop 1 (nur Diskussion)	Workshop 2 (digital)	Workshop 3 (digital)	Gesamt (alle Workshops)
<b>zeitliche Komponente</b>				
Wartezeit in Minuten	15 – 20	30 – 60		15 – 60 ( $\bar{x}$ = 31,3)
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten				
Zu- und Abgangsweg in Meter	200	100 – 400 <sup>a</sup>	300	100 – 400 ( $\bar{x}$ = 250)
<b>preisliche Komponente</b>				
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	1,43 <sup>b</sup>	0,75 <sup>c</sup>	0,50 <sup>d</sup>	0,50 – 1,43 ( $\bar{x}$ = 0,89)
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,00	0,25		0,00 – 0,25 ( $\bar{x}$ = 0,13)

*Weitere Angaben:*

<sup>a</sup> In Abhängigkeit von den topographischen Verhältnissen vor Ort: je stärker die Steigungen im Wohnort sind, desto geringer sollte die Entfernung sein.

<sup>b</sup> Angabe eines Referenzszenarios mit einem ca. 3,5 Kilometer langen Weg, für den ein Fahrpreis von fünf Euro gefordert wurde.

<sup>c</sup> Zuzüglich eines Grundpreises von 1,90 Euro pro Fahrt.

<sup>d</sup> Maximal 20 % des örtlichen Taxipreises bzw. langfristig kostenlos mit Hilfe einer politischen Förderung.

Lediglich die Personen im Ruhestand aus den ersten beiden Workshops definierten eine Preisanpassung, sofern es sich um eine Roboshuttle- anstelle einer Robotaxi-Buchung handelt. Bewohner der Einrichtung des betreuten Wohnens betonten in der allgemeinen Diskussionsrunde, dass der Fahrpreis nicht reduziert werden solle. Einerseits sei das Pooling auch eine gute Möglichkeit, um mit anderen Personen in Kontakt zu kommen und andererseits wurde gefordert, dass die dadurch zusätzlich erwirtschafteten Gelder in die Reinigung der Fahrzeuge investiert werden. Auch die Teilnehmenden des zweiten Workshops forderten mit einer Preisreduktion von 0,25 Euro pro Kilometer einen relativ niedrigen Wert. Dies macht sich in einem Durchschnittswert von nur 0,13 Euro pro Kilometer über alle Workshops hinweg bemerkbar. (vgl. Tabelle 9-5)

Die Teilnehmenden des ersten Workshops gaben an, dass die Ein- und Ausstiegspunkte, sofern eine Tür-zu-Tür-Bedienung nicht möglich ist, gut gekennzeichnet sein sollten. Dafür wurde eine Markierung durch ein Symbol im öffentlichen Straßenraum als geeignet bewertet. Im Hinblick auf die Abholung am aktuellen Standort wurden, auch wenn dieser bevorzugt werden würde, Sicherheitsbedenken geäußert. In einem solchen Fall wäre der exakte Wohnort bekannt und auch ermittelbar, dass sich niemand im Haus aufhält. Die Bewohner des betreuten Wohnens befürchteten in diesem Zusammenhang, dass Einbrecher dies ausnutzen könnten. Die Teilnehmenden aus dem zweiten Workshop definierten, dass es überall, wo es baulich umsetzbar ist, eine Haltestelle mit einer Sitzbank und einer Überdachung geben sollte. Aufgrund der geforderten Zu- und Abgangswege bzw. der bevorzugten Tür-zu-Tür-Bedienung wäre alternativ eine Anzeige von virtuellen Haltestellen in der App jedoch auch ausreichend. Zudem forderten die Teilnehmenden, dass insbesondere in ländlichen Räumen in einer Bürgerversammlung festgelegt werden sollte, wo exakt die Haltestellen zu errichten seien. Auch im Angebotskonzept des dritten Workshops mit Personen im Ruhestand wurde für den regulären Ein- und Ausstieg bei einer Tür-zu-Tür-Bedienung eine virtuelle Haltestelle als zielführend definiert. Dabei wurde angemerkt, dass die Art des Ein- und Ausstiegspunktes mit dem genutzten Medium zur Buchung der Fahrt zusammenhängt. Sofern eine Buchung über einen Telefonanruf stattfindet, ist eine virtuelle Anzeige des Zugangspunktes nicht möglich, weshalb in einem solchen Fall der Zutrieb über eine bauliche Haltestelle erfolgen sollte. In diesem Zusammenhang wurde im dritten Workshop neben der App und einer im Internetbrowser aufrufbaren Website auch eine Möglichkeit zur Buchung über einen Telefonanruf gefordert. Während sich die Teilnehmenden des zweiten Workshops zu den Buchungsmöglichkeiten nicht äußerten, wurde in der allgemeinen Diskussionsrunde mit den Teilnehmenden des ersten Workshops deutlich, dass auch hier, zumindest zum aktuellen Zeitpunkt, eine Buchung über einen Telefonanruf gewährleistet werden muss. Zusätzlich wurde betont, dass zum aktuellen Stand eine Benutzung einer App auf dem Smartphone nicht vorstellbar sei, da die Teilnehmenden im Umgang mit der Technologie noch nicht geschult worden seien. Allerdings wäre eine App oder ein anderes, kleines Gerät, das immer mitgenommen werden und mit dem eine Buchung per Knopfdruck erfolgen kann, zielführender als eine Website.



Als Bezahlungsmöglichkeiten forderten die Personen im Ruhestand aus dem ersten Workshop eine Barzahlung oder eine Bezahlung über einen Bankeinzug mit Hilfe eines SEPA-Lastschriftmandats. Letztere Zahlungsweise kann wiederum dem e-Payment zugeordnet werden. Damit einhergehend wurde im dritten Workshop eine Bezahlung über die App, also ebenfalls über das Zahlungssystem e-Payment und über eine Kartenzahlung gefordert. Damit scheint die Bereitschaft zur Bezahlung von Mobilitätsleistungen auch mit zunehmendem Alter mit bargeldlosen Verfahren, die im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen ohne Personaleinsatz eine wichtige, technische Voraussetzung sind, vorhanden zu sein.

Vergleichbar mit Schülern und Schülerinnen, Auszubildenden, Studierenden und Berufstätigen, forderten die Personen im Ruhestand aus allen drei Workshops keine dauerhafte Anwesenheit eines Servicepersonals im Fahrzeug. Dennoch waren sich die Teilnehmenden der drei Workshops einig, dass eine Verfügbarkeit auf Abruf gewährleistet sein sollte. Die zusätzliche Buchung eines Servicepersonals sollte für Personen mit Mobilitätseinschränkungen kostenlos und für alle anderen kostenpflichtig sein. Insbesondere im ersten Workshop mit den Teilnehmenden aus der Einrichtung des betreuten Wohnens wurde betont, dass das Servicepersonal ein wichtiger Faktor für das Sicherheitsempfinden sei, da einige befragte Personen in ein selbstfahrendes Fahrzeug ohne die Anwesenheit einer solchen Person nicht einsteigen würden. Als weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit solle es eine dauerhafte Videoüberwachung und ein Notrufknopf im Fahrzeug geben. Dieser Knopf solle im Fall von Krankheiten, Übelkeit, technischen Problemen oder anderen Notfällen betätigt werden, um das Fahrzeug zum Stehen zu bringen. Zusätzlich schien die Sauberkeit des Fahrzeugs für die Teilnehmenden dieses Workshops eine wichtige Voraussetzung zu sein. Obwohl der Workshop vor der Corona-Pandemie stattfand, wurden Desinfektionsspender im Fahrzeug und eine regelmäßige Reinigung gefordert. Zusätzlich sollte vor der Buchung einer Fahrt der aktuelle Sauberkeitsstatus des Fahrzeugs angegeben werden. Eine Sicherheitsmaßnahme, die die Teilnehmenden aus dem dritten Workshop definierten ist, dass das Fahrzeug, wie bereits erwähnt, in den Abend- und Nachtstunden als Robotaxi eingesetzt wird, also kein Pooling vornimmt.

## 9.6 Anforderungen an Angebotskonzepte von mobilitätseingeschränkten Personen

Eine besondere Gruppe im Rahmen der Workshops stellen Personen mit Mobilitätseinschränkungen dar. Aufgrund des häufig nicht vorhandenen Führerscheines bzw. der nicht vorhandenen Pkw-Verfügbarkeit solcher Personen (vgl. Anhang C-13) bieten sich durch die Fahrzeugautomatisierung neue Chancen für eine erhöhte Mobilitätsbeteiligung. Daher wurden noch vor der Corona-Pandemie zwei Workshops in einer Einrichtung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung durchgeführt. Aufgrund der Komplexität der Thematik und einem größeren Anteil an Teilnehmenden mit kognitiven Einschränkungen, konnten im ersten Workshop im Anschluss an die Einführung und die Beantwortung

des quantitativen Fragebogens keine Angebotskonzepte in Gruppenarbeit entwickelt werden. Im zweiten Workshop wurde auf diesen Umstand reagiert, indem die Gesamtzeit des Workshops von ursprünglich zwei auf drei Stunden verlängert wurde. Dadurch konnten zwei Arbeitsgruppen gebildet werden, deren entwickelte Angebotskonzepte nachfolgend beschrieben werden.

Beide Arbeitsgruppen des zweiten Workshops entwickelten ein Roboshuttle-Angebot und legten dabei Wert auf ein barrierefreies Fahrzeug. Schon während des Ausfüllens des quantitativen Fragebogens und der Gruppenarbeit berichteten die Teilnehmenden von vielen, negativen Erfahrungen beim Zu- und Abgang von Fahrzeugen des ÖV. Dementsprechend detailliert wurde dieser Aspekt für das Fahrzeug des jeweiligen Angebotskonzeptes beschrieben. Das Fahrzeug sollte eine automatisch ausfahrende Rampe besitzen, über die ein Ein- und Ausstieg niveaugleich möglich ist. Das Ein- und Ausfahren der Rampe sollte zusätzlich über einen Knopf am Fahrzeug möglich sein. Im Fahrzeug angekommen muss aus Sicht der Teilnehmenden genügend Stauraum für Gepäck und Gehilfen geben. Für Rollstuhlfahrende sollte es eine automatische Funktion zum Feststellen bzw. Verriegeln des Rollstuhls geben. Zudem wurde gefordert, dass bereits während des Buchungsvorgangs eine Information über die noch verfügbaren Rollstuhlplätze im Fahrzeug bereitgestellt wird.

Während die zeitliche Verfügbarkeit von keiner der beiden Gruppen definiert wurde, macht sich an der geforderten räumlichen Verfügbarkeit der überwiegende Wohnsitz der Teilnehmenden in weniger dicht besiedelten Regionen bemerkbar (vgl. Anhang C-13). Abweichend von dem angegebenen Radius des Einsatzgebietes von 20 Kilometer aus dem begleitenden Fragebogen, wurde von der ersten Gruppe ein Radius von 40 und von der zweiten Gruppe sogar ein Radius von 80 Kilometern gefordert.

Lediglich die zweite Gruppe definierte eine maximale Wartezeit und Reisezeitverlängerung bei einer Fahrtenbündelung. Mit zehn Minuten liegt die Wartezeit auf einem vergleichbaren Niveau mit Werten aus den Workshops mit Schülern und Schülerinnen, Auszubildenden oder Studierenden. Die Pooling-Reisezeitverlängerung liegt mit maximal drei Minuten hingegen deutlich niedriger. (vgl. Tabelle 9-6)

Bei der definierten maximalen Entfernung des Ein- bzw. Ausstiegspunktes vom Start- bzw. Zielpunkt, waren sich die beiden Gruppen einig. Mit 100 Metern forderten sie den kürzesten Zu- bzw. Abgangsweg aller betrachteten Personengruppen. Aufgrund der Mobilitätseinschränkung der Teilnehmenden sind diese kurzen Wege selbsterklärend und werden durch die Forderung einer Tür-zu-Tür-Bedienung, falls es umsetzbar ist, noch deutlicher. (vgl. Tabelle 9-6)

Ein Fahrpreis pro Kilometer sowie die geforderte Reduktion des Preises bei einer Fahrtenbündelung, sind wiederum lediglich von der ersten Arbeitsgruppe des zweiten Workshops definiert worden. Die Werte sind erneut mit denen der bisher betrachteten Personengruppen vergleichbar und liegen bei einem Fahrpreis von 0,80 Euro pro Kilometer und einer Pooling-Preisreduktion von 0,30 Euro pro

Kilometer. Beide Arbeitsgruppen gaben zudem an, dass zusätzlich eine Monats- oder Jahreskarte erwerbbar sein sollte, wobei die zweite Gruppe einen Preis von 80 Euro pro Jahr angab. (vgl. Tabelle 9-6)

**Tabelle 9-6:** Zeitliche und preisliche Komponenten der Angebotskonzepte von Personen mit Mobilitätseinschränkungen

Angebotseigenschaft	Workshop 2
zeitliche Komponente	
Wartezeit in Minuten	10
Pooling-Reisezeitverlängerung in Minuten	3
Zu- und Abgangsweg in Meter	100 ( $\bar{x} = 100$ )
preisliche Komponente	
Fahrpreis in Euro pro Kilometer	0,80
Pooling-Preisreduktion in Euro pro Kilometer	0,30

Beide Gruppen aus dem zweiten Workshop mit Personen mit Mobilitätseinschränkungen sind sich einig, dass die bereits verfügbaren Haltestellen des ÖV für das Roboshuttle-Angebot genutzt werden sollten. Besonders wichtig erscheint den Teilnehmenden dabei die Überdachung zu sein. In Fällen, in denen, aufgrund des kurzen Zu- und Abgangsweges von maximal 100 Metern, ein Zustieg an einer baulichen Haltestelle nicht möglich ist, würde aber auch eine Darstellung einer virtuellen Haltestelle in der App ausreichend sein.

In diesem Zusammenhang wurde die App als wichtigstes Medium zur Bestellung einer Fahrt definiert, wobei die erste Gruppe auch die Möglichkeit zur Bestellung über einen Telefonanruf oder einen Bestellautomaten an Haltestellen und die zweite Gruppe eine Bestellung über eine Website im Internet forderte. Die Bezahlungsmöglichkeiten wurden von keiner der beiden Gruppen definiert.

Aufgrund der Mobilitätseinschränkungen der Teilnehmenden, ist es überraschend, dass sie, vergleichbar mit den bisher betrachteten Personengruppen, keine dauerhafte Anwesenheit des Servicepersonals forderten. Auch die teilnehmenden Personen mit Mobilitätseinschränkungen forderten lediglich eine Verfügbarkeit auf Abruf. Rahmenbedingungen, unter welchen eine solche bereitgestellte Person zusätzlich angefordert werden kann, sind neben einer nachgewiesenen Behinderung oder vorübergehenden Mobilitätseinschränkung beispielsweise auch das Mitführen von Gepäckstücken oder auch schlechtes Wetter. Letzteres betrifft vermutlich Rollstuhlfahrende, die insbesondere bei nassen und glatten Oberflächen auf der Rampe Schwierigkeiten beim Fahrzeugzugang haben könnten.

Zur Erhöhung der Sicherheit forderten beide Gruppen, wie auch bereits andere Gruppen aus den bereits beschriebenen Workshops, einen Notruf-Knopf oder eine Sprechereinrichtung, durch welche das Fahrzeug zum Stehen gebracht und Hilfe angefordert werden können.

## Wirkungsanalyse

## 10 Beispielhafte Untersuchung von Umweltwirkungen

Um die potenziellen Wirkungen von AIM-Angeboten auf die verkehrliche Situation und die Umwelt ermitteln zu können, wurde eine stark vereinfachte Beispielrechnung durchgeführt. Da die Daten aus den Erhebungen der Dissertation ausschließlich für die deutsche Bevölkerung aus Gemeinden mit unter 50.000 Einwohnern und Einwohnerinnen repräsentativ sind (vgl. Anhang C), wurde ein entsprechender Beispielraum, mit für diese Siedlungsstrukturen durchschnittlichen Eigenschaften, definiert. Die Bevölkerungsanteile, differenziert nach den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen verhaltenshomogenen Personengruppen, wurde mit Hilfe der für das Jahr 2019 gewichteten Datensätze aus dem MOP bestimmt (vgl. Kapitel 3.2.1). Demnach ist mit 59 % der 30.000 Bewohner und Bewohnerinnen im Beispielraum der größte Teil berufstätig und mit 25 % im Ruhestand. Die übrigen Personengruppen der Schüler und Schülerinnen, der Auszubildenden, der Studierenden und der zurzeit nicht berufstätigen sind mit Anteilen zwischen zwei und sieben Prozent jeweils deutlich seltener vertreten. Zusätzlich wurde angenommen, dass 70 % der Einwohner und Einwohnerinnen im Zentrum der Gemeinde wohnhaft sind. Der Status Quo zum Verkehrsgeschehen im Jahr 2019 wurde auf Grundlage des Wegedatensatzes aus den gewichteten MOP-Daten, differenziert nach diesen Gruppen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Anteile differenziert nach Wegezwecken, Verkehrsmodi und Wegelängen berechnet. Da diese Berechnung zunächst differenziert nach den Personengruppen erfolgte, wird der in Kapitel 3.2.1 erläuterte Ansatz der verhaltenshomogenen Personengruppen nach KUTTER (1972) aufgegriffen.

Um den Modal-Split-Anteil des Busverkehrs im Beispielraum ermitteln zu können, wurde zusätzlich mit Hilfe von durchschnittlichen Kennwerten zum Busverkehr in Gemeinden mit unter 50.000 Einwohnern und Einwohnerinnen ein Linienbusangebot definiert. Grundlage zur Ermittlung der durchschnittlichen Angebots- und Nutzungsparameter waren Statistiken des VDV (2020a).<sup>303</sup> Die berechnete und sich daraus ergebende Wegeanzahl und Verkehrsleistung differenziert nach Verkehrsmitteln wurde abschließend mit den Anteilen aus den MiD- und MOP-Datensätze hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft.

Im Detail wurde für den Nahverkehr im Beispielraum angenommen, dass in den Randgebieten der Gemeinde sowie in den umliegenden Ortschaften lediglich ein rudimentäres, auf den Schulverkehr ausgelegtes Linienbusangebot zur Verfügung steht. Der Beispielraum umfasst 30.000 Personen, von denen, wie oben beschrieben, 70 % im Ortszentrum und 30 % in den Randgebieten wohnhaft sind, und verfügt über insgesamt drei Buslinien. Zwei Linien dienen zur Deckung der Nachfrage im Ortszentrum und eine Linie bindet die Wohngebiete in Ortsrandlage und die umliegenden Ortschaften an das Zentrum bzw. den Anschluss zum SPNV und SPFV an. Für die beiden Linien im Ortszentrum wurde angenommen, dass diese in einem durchschnittlich 30-minütigen Takt zwischen 5 und 22 Uhr fahren,

---

<sup>303</sup> vgl. VDV, 2020a.

während für die dritte Linie ein stündlicher Takt angenommen wurde. Es wird jeweils ein verdichteter Takt während den Hauptverkehrszeiten angenommen.

Für die beiden Linien aus dem Ortszentrum wurde eine Länge von 13 bzw. 15 Kilometer mit insgesamt 38 bzw. 33 Haltestellen in einem Abstand von durchschnittlich 500 Metern angenommen. Daraus ergibt sich rechnerisch eine gesamte Umlaufzeit von 73 bzw. 85 Minuten. Die dritte, für das Beispiel angenommene Buslinie fährt auf insgesamt 34 Kilometern 45 Haltestellen in einem Abstand von ca. 750 Metern an und erreicht eine Umlaufzeit von 147 Minuten. Aufgrund des weiten Zu- und Abgangsweges wird mit der erhobenen, maximal akzeptierten Entfernung der Ein- und Ausstiegspunkte für AIM-Angebote (vgl. Kapitel 8.3.1) auch für das Linienbusangebot der Randlage bzw. Region eine reduzierte Nachfrage angenommen.

Auf Grundlage der Statistiken des VDV (2020a) und ergänzender Annahmen wurden für das definierte Linienbusangebot die folgenden Angebots- und Nutzungsparameter überschlägig berechnet. Demnach erreicht die Linie im Randgebiet bei 40.691 angebotenen Platzkilometern (Platzkm) pro Tag lediglich eine durchschnittliche Auslastung von ca. 2,5 %. Die Linien aus dem Ortskern erzielen eine Auslastung von ca. 16 % bei insgesamt 75.398 Platzkm pro Tag. Die Auslastung des Busangebotes liegt demnach insgesamt bei etwas mehr als 11 %. Dieser Wert liegt in einem vergleichbaren Bereich der aus der VDV-Statistik ermittelten, dokumentierten Werte von Verkehrsunternehmen- und verbänden aus Gemeinden mit weniger als 50.000 Einwohnern und Einwohnerinnen. Deren Auslastung liegt im Mittel bei ca. 17 % und in einem Wertebereich zwischen ca. einem und fast 60 %.<sup>304</sup>

Auf Grundlage dieser Annahmen und Berechnungen wurde der in Abbildung 10-1 dargestellte Modal Split der Verkehrsleistung in Pkm ermittelt. Der mit ca. 78 % größte Teil der durch die im Beispielraum wohnhaften Personen zurückgelegten Kilometer ist dem MIV zuzurechnen. Der NMIV hat mit insgesamt unter 6 % einen verschwindend geringen Anteil an der Gesamtverkehrsleistung. Dies gilt ebenso für den ÖV mit einem Gesamtanteil von etwas mehr als 12 %. Der Anteil des beschriebenen Linienbusangebotes liegt dabei bei etwa 2 %. Diese Werte liegen in einem Wertebereich der vergleichbar mit den Statistiken aus der MiD 2017, differenziert nach siedlungsstrukturellen Raumtypen, ist.<sup>305</sup> (vgl. Abbildung 10-1)

Um die Wirkungen eines AIM-Angebotes auf den Modal Split und die CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen ermitteln zu können, wird angenommen, dass sich die identifizierten Cluster aus Kapitel 7.3.2 gleichmäßig über alle Bevölkerungsgruppen verteilen. Grundlage dieser Annahme ist, dass in der Zusammenhangsanalyse kein signifikanter Einfluss soziodemographischer Eigenschaften oder der Mobilitätsausstattung auf die Akzeptanz automatisierter Elektroschuttles identifiziert werden konnte, der entsprechend COHEN (1988) als groß zu klassifizieren ist. Auf Grundlage dieser Cluster, die die Befürchtungen und wahrgenommenen

---

<sup>304</sup> Eigene Berechnungen, basierend auf VDV, 2020a, S. 57–65.

<sup>305</sup> Gemeinden, die entsprechend der RegioStaR-Raumtypologie den Mittelstädten oder dem städtischen, kleinstädtischen und dörflichen Räumen zuzuordnen sind, haben folgende Modal-Split-Anteile: Fuß- und Radverkehr jeweils von zwei bis drei Prozent, MIV von 80 bis 84 % und ÖV von elf bis 16 %. ( vgl. NOBIS, KUHNIMHOF, 2018, S. 48)

Wirkungen einer Person gegenüber dem automatisierten Fahren abbilden, wurde mit Hilfe der zusätzlich abgefragten Nutzungsintention eine Nutzung des AIM-Angebotes abgeleitet. Diese Nutzung entspricht dem Anteil der Top Box des Items zur generell angestrebten Nutzungsintention. Der Einfluss der Cluster-Zugehörigkeit auf diesen Top-Box-Anteil wurde in Kapitel 7.4.2 beschrieben. Die Annahme der Nutzung, die sich direkt aus der Nutzungsintention ergibt, steht in Einklang mit den in Kapitel 3.2.3 beschriebenen, theoretischen Überlegungen zur TPB bzw. TRA, dem TAM und der UTAUT.<sup>306</sup> Zusätzlich wird eine Zunahme der Personen des Clusters mit positiver Einstellung gegenüber den selbstfahrenden Elektroschuttles und mit höherer Nutzungsintention mit einer zunehmenden Erprobung des Angebotes angenommen. Diese Überlegung folgt inhaltlich der Diffusionstheorie nach ROGERS (1983). Der Anteil der unbesorgten Optimisten nimmt entsprechend dieser Annahme von knapp 31 % in 2025 auf 50 % im Jahr 2050 zu, während der Anteil der besorgten Pessimisten ausgehend von ca. 14 % im Jahr 2025 bis zum Jahr 2050 nur um einen halben Prozentpunkt abnimmt. Die Anteilsentwicklungen der übrigen Gruppen wurden dementsprechend interpoliert. Eine soziodemographische Bevölkerungsfortschreibung, zum Beispiel eine Zunahme des prozentualen Anteils von Personen im Ruhestand an der Gesamtbevölkerung zur Abbildung des demographischen Wandels, wurde hingegen nicht berücksichtigt. Daher werden daraus ableitbare Änderungen am Modal Split des Status Quo in Abbildung 10-1 nicht berücksichtigt. Die Abbildung veranschaulicht lediglich mögliche Auswirkungen auf den Modal Split durch die sich ändernde AIM-Nachfrage aufgrund der Entwicklungen der definierten Cluster.

Neben der generellen Nutzung der AIM differenziert nach Cluster-Zugehörigkeit wird angenommen, dass ein geringfügiger Anteil der Bevölkerung immer wieder Erprobungsfahrten durchführt. Der Umfang liegt jeweils bei ca. 27 % der Bevölkerung und einem Weg pro Monat. Bei Personen mit regelmäßiger Nutzung, wird entsprechend den Ergebnissen aus Kapitel 8.2.1 angenommen, dass diese das Angebot im Jahr 2025 durchschnittlich für etwas mehr als einen Weg pro Woche in Anspruch nehmen. Dieser Wert steigt im Rahmen der Beispielrechnung bis zum Jahr 2050 auf fünf Wege pro Woche an.

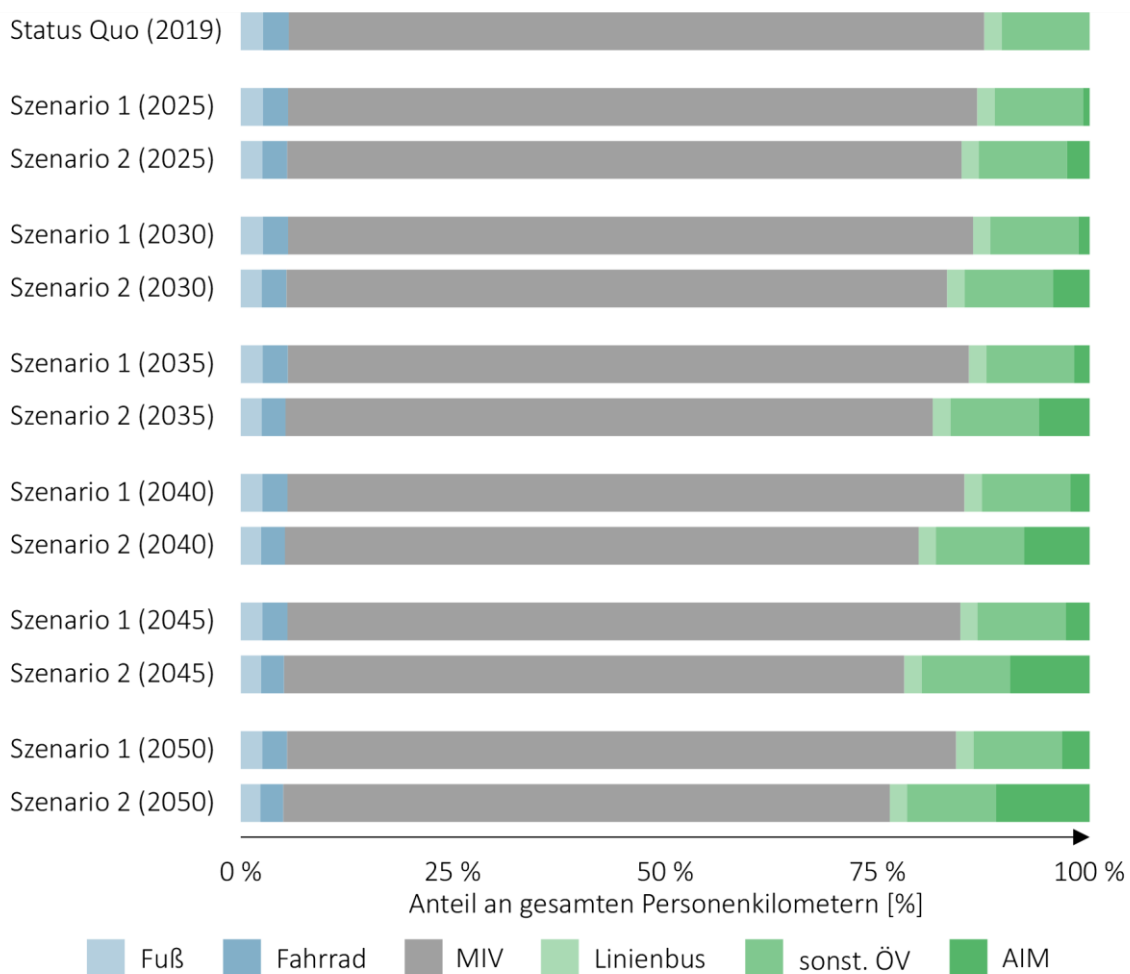
Um die Ergebnisse zum möglichen Entwicklungsrahmen von AIM-Angeboten (vgl. Kapitel 4 bis 6) und die Intention der Verkehrsunternehmen und -verbände zum vorrangigen Einsatz als ÖPNV-Ergänzung aufzugreifen, wurden die Wirkungen nicht für eine großflächige Verfügbarkeit berechnet. Es wurde stattdessen untersucht, welche Wirkungen möglich sind, wenn ein solches Angebot nur in begrenztem Maß implementiert wird. Dazu wurden zunächst zwei Szenarien definiert. Während im ersten Szenario lediglich Personen im Einzugsgebiet der Buslinie aus dem Stadtrandgebiet und den umliegenden Ortschaften, also 30 % der Gesamtbevölkerung, einen Nutzungszugang für das AIM-Angebot erhalten, kann das Angebot im zweiten Szenario von allen genutzt werden. Zusätzlich wurde in beiden Szenarien angenommen, dass das Angebot nicht für Relationen buchbar ist, die auch mit einer der drei Buslinien umgesetzt werden können. Daher wurde in der Beispieluntersuchung angenommen, dass keine Wege vom Nah- oder Fernverkehr durch das AIM-Angebot ersetzt werden, wodurch ausschließlich Wege, die

---

<sup>306</sup> Theory of Planned Behavior (TPB), Theory of Reasoned Action (TRA), Technology Acceptance Model (TAM) und Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), vgl. Kapitel 3.2.3.

heute zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit dem MIV zurückgelegt werden, durch das AIM-Angebot ersetzt werden. Dies erfordert jedoch Maßnahmen, durch die die Nutzung des Angebotes räumlich und zeitlich reglementiert wird, ohne dass das Angebot zu unattraktiv für die Nutzenden wird. Vereinfachend wurden diese Maßnahmen im Rahmen dieser Beispieluntersuchung nicht ausgearbeitet.

Neben der Beschränkung des Verkehrsmittelersatzes wurde zusätzlich auf Grundlage der Ergebnisse aus Kapitel 8.2.3 angenommen, dass der Anteil der verlagerten intermodalen Wege, bei denen das AIM-Angebot nur auf einem Teil des Weges genutzt wird, die Wegeanteile aller Verkehrsmodi erhöht. Der verbleibende Wegeanteil wurde dazu mit Hilfe von Berechnungen auf Grundlage intermodaler Wegeketten aus den gewichteten MOP-Datensätzen anteilig den anderen Modi zugeordnet.



**Anmerkung:** In Szenario 1 erhalten ausschließlich wohnhafte Personen aus dem Randgebiet und den umliegenden Ortsteilen, für die das AIM-Angebot zur Behebung von ÖV-Erschließungslücken ergänzt wurde, einen Zugang zur Nutzung. In Szenario 2 erhalten alle im Beispielraum wohnhaften Personen einen Zugang zum AIM-Angebot.

**Abbildung 10-1:** Beispielhafte Wirkungen von automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen auf den Modal Split



Mit Hilfe dieser angenommenen Nutzung und den Zusammenhängen zwischen Wegezweck, ersetzttem Verkehrsmittel, intermodalen Verhaltensweisen und der Wegelänge (vgl. Kapitel 3.2.1, 8 und 9), wurde erneut der Modal Split der Verkehrsleistung mit AIM-Angebot für die beiden beschriebenen Szenarien berechnet. (vgl. Abbildung 10-1)

Mit den genannten Einschränkungen hat das Angebot kaum eine Auswirkung auf die Nutzung des NMIV und des ÖV. In Fällen, in denen NMIV-Wege durch das AIM-Angebot substituiert wurden, wird dies häufig durch induzierte, intermodale Verhaltensweisen auf anderen Wegen wieder kompensiert. Der größte Modal Shift findet daher zwischen dem MIV und dem AIM-Angebot statt. Insgesamt sinkt der MIV-Anteil im ersten Szenario von über 81 % im Jahr 2025 auf knapp 79 % im Jahr 2050. Der Anteil der AIM steigt zeitgleich von unter einem Prozent in 2025 auf etwas mehr als drei Prozent in 2050. Im zweiten Szenario sind diese Werte deutlich höher, mit einer MIV-Reduktion von etwas mehr als 79 % in 2025 auf über 71 % in 2050 bzw. mit einer AIM-Zunahme von knapp 3 % in 2025 auf 11 % in 2050. (vgl. Abbildung 10-1)

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist es wichtig zu berücksichtigen, dass bei MIV-Wege vereinfachend nicht unterschieden wurde, ob die AIM-nutzende Person auf dem ursprünglichen Weg aus dem MOP-Datensatz Fahrer bzw. Fahrerin war oder lediglich mitgefahren ist. Nimmt man an, dass alle anderen Personen, die im Fahrzeug mit dieser Person mitgefahren sind, ebenfalls das AIM-Angebot nutzen würden, könnte der Modal-Shift vom MIV zur AIM im Besten Fall zusätzlich minimal ansteigen. Auf Grundlage der Erhebungsergebnisse könnte rechnerisch ebenfalls aufgezeigt werden, welche Wirkungen beispielsweise durch einen fahrerlosen Betrieb anstelle eines Betriebes mit Sicherheitsfahrer oder durch eine Preissteigerung zu erwarten sind. Dies wird im Rahmen dieses Kapitels jedoch vereinfachend ebenfalls nicht näher betrachtet.

Um die Wirkungen auf die Umwelt aufzuzeigen, wurde zunächst die Verkehrsleistung in Fzghm ermittelt und anschließend mit den Emissionsfaktoren aus der Datenbank des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) sowie entsprechenden Werten des UBA multipliziert.<sup>307</sup> Dabei wurde die Reduktion der Emissionsfaktoren durch eine technische Weiterentwicklung und durch eine veränderte Zusammensetzung des Pkw-Bestandes aus der HBEFA für die Emissionsfaktoren des UBA übertragen. Dies gilt jedoch nur bis zum Jahr 2030. Danach wurden die spezifischen Verbräuche konstant gehalten, um den Einfluss weiterer Annahmen zu vermeiden.

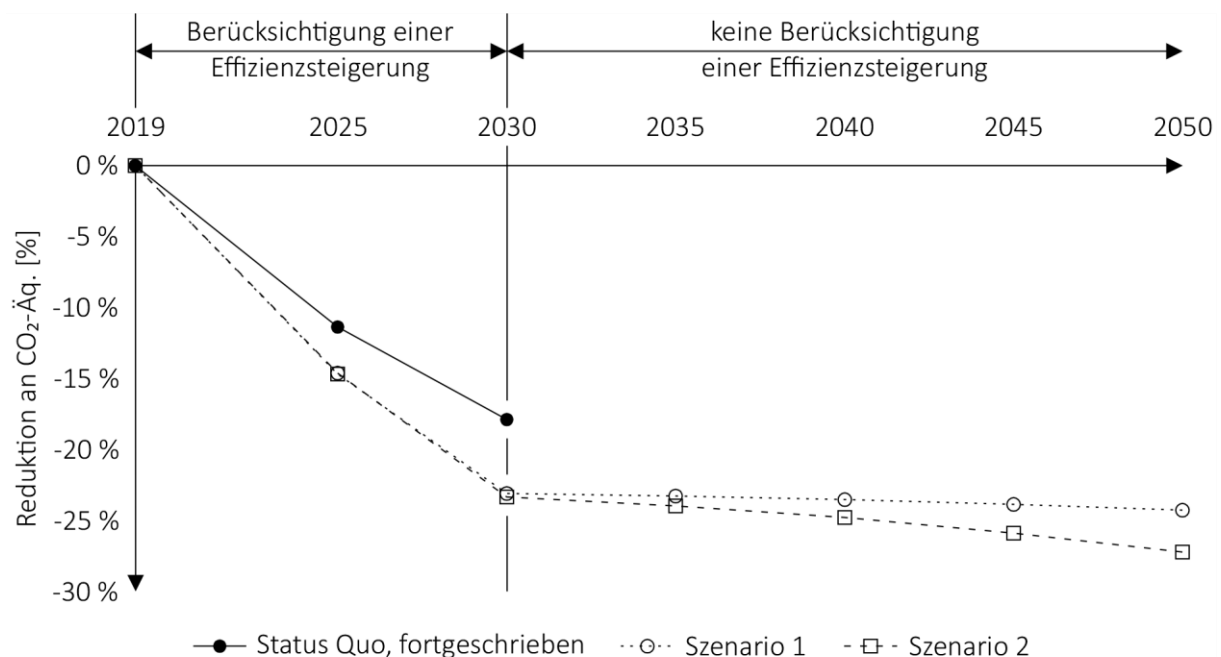
Der Fokus liegt im Folgenden auf den CO<sub>2</sub>-Äq., da für diese die in Kapitel 1 beschriebenen politischen Ziele definiert wurden. Zur Berechnung wurden außerdem zwei weitere Annahmen getroffen. Es wird, Kapitel 8.2.1 bzw. den Ergebnissen von KNIE, RUHRORT et al. (2020) sowie KAGERBAUER, KOSTORZ et al. (2021, 2022) entsprechend, ein Besetzungsgrad von 1,5 und dessen Zunahme bis auf 1,8 in 2050 angenommen. Damit gleichbedeutend steigt auch der Bündelungsgrad der Fahrtenwünsche. Dies wird

---

<sup>307</sup> vgl. ALLEKOTTE, BERGK et al., 2020, S. 213–217; vgl. ALLEKOTTE, ALTHAUS et al., 2021.

vereinfachend jedoch nicht explizit ausgewiesen. Darüber hinaus wird ein Leerkilometeranteil von 25 % sowie dessen Abnahme auf 10 % im Jahr 2050 angenommen. Für die Berechnung der Emissionen wurden außerdem die Emissionsfaktoren eines Elektroautos (engl.: Battery Electric Vehicle; BEV) angesetzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits ein geringfügig ergänztes AIM-Angebot, ergänzt um passende Nutzungseinschränkungen, zu einer signifikanten Reduktion der Treibhausgasemissionen führen kann. Im Vergleich zum Status Quo in 2019 liegen die CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen im Untersuchungsgebiet mit AIM-Angebot im Jahr 2030 maximal 23 % niedriger. Im Vergleich zur Reduktion bis zum Jahr 2030 ohne AIM, alleine durch die Berücksichtigung reduzierter Emissionsfaktoren und veränderter Anteile verschiedener Energieträger am Pkw-Bestand, können die CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen durch die AIM damit um maximal fünf Prozentpunkte zusätzlich reduziert werden. Bis zum Jahr 2050 ist eine weitere Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äq. Emissionen im Untersuchungsgebiet von maximal vier Prozentpunkten möglich. Im Vergleich zum Status Quo aus dem Jahr 2019 wird damit eine Reduktion von maximal 27 % erreicht. (vgl. Abbildung 10-2)



*Anmerkung:* In Szenario 1 erhalten ausschließlich wohnhafte Personen aus dem Randgebiet und den umliegenden Ortsteilen, für die das AIM-Angebot zur Behebung von ÖV-Erschließungslücken ergänzt wurde, einen Zugang zur Nutzung. In Szenario 2 erhalten alle im Beispielraum wohnhaften Personen einen Zugang zum AIM-Angebot.

**Abbildung 10-2:** Beispielhafte Wirkungen von automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen auf Kohlenstoffdioxid-äquivalente Emissionen des Verkehrs im Untersuchungsgebiet

Es muss bei der Interpretation dieser Ergebnisse jedoch berücksichtigt werden, dass zum einen ein signifikant steigender Anteil der Personengruppen mit hoher Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttle

sowie die Bündelung von Fahrtenwünschen und ein hoher Besetzungsgrad für eine solche Entwicklung notwendig sind. Es muss außerdem vermieden werden, dass das Angebot in Konkurrenz zum bestehenden ÖPNV-Angebot betrieben wird, da dies perspektivisch zu hohen Verlagerungen vom ÖPNV auf das AIM-Angebot führen kann. (vgl. Kapitel 8.2.3)

## 11 Fazit und Handlungsempfehlungen

Zu Beginn der Dissertation wurde die Zielsetzung aufgestellt, die Akzeptanz und Nutzungsintention automatisierter Fahrzeuge und der damit verbundenen AIM-Angebote zu erheben sowie die Bedürfnisse künftiger Nutzer und Nutzerinnen an die Angebotsparameter zu ermitteln. Auf dieser Grundlage sollten das zukünftige Nutzungsverhalten sowie dessen Wirkungen auf das Verkehrssystem und auf die Umwelt prognostiziert und Einsatzempfehlungen formuliert werden. Diese Ergebnisse stellen einen wichtigen Beitrag für die häufig diskutierte und geforderte Verkehrswende, insbesondere für den dafür benötigten Wandel des Mobilitätsverhaltens, dar. Um diese Ziele zu erreichen, wurden vier Forschungsfragen definiert, deren Beantwortung im Rahmen der Dissertation nachfolgend kritisch beleuchtet wird. Darauf aufbauend werden jeweils Handlungsempfehlungen für relevante Akteure abgeleitet.

Nach einer theoretischen Einführung in die Themen des Mobilitätsverhaltens, der Technologieakzeptanz und der quantitativen und qualitativen Erhebung und Analyse von empirischen Daten wurde zunächst der Entwicklungsrahmen der Technologie und der damit verbundenen Mobilitätsangebote definiert. Im Zentrum stand dabei die Forschungsfrage, welche AIM-Angebotskonzepte zukünftig technisch und rechtlich realisierbar sind.

In Kapitel 4 konnten diesbezüglich zunächst Systemgrenzen aufgezeigt werden, die insbesondere beim Einsatz selbstfahrender Elektroshuttles zu berücksichtigen sind. Grundlage bildete eine Analyse der auf dem Markt verfügbaren Fahrzeuge und die mit den Testrouten aus den Forschungsprojekten Hambach-Shuttle und TERMINAL gemachten Erfahrungen. Die Systemgrenzen sind nach räumlich-technischen, funktional-technischen und rechtlichen Systemgrenzen zu unterscheiden.

Für räumlich-technische Systemgrenzen, die sich aus dem Zusammenspiel der Fahrzeugabmessungen und den Straßenraumbreiten ergeben, kann zukünftig eine abnehmende Bedeutung angenommen werden. Grund hierfür ist, dass die Fahrzeuge künftig mit digitalen Kommunikationsmöglichkeiten wie V2X mit anderen Verkehrsteilnehmenden interagieren und auch in beengten Verhältnissen einen Betrieb mit höherer Geschwindigkeit ermöglichen können. Dies geht einher mit der Weiterentwicklung der Fahrzeugkomponenten, die auch die Relevanz der funktional-technischen Systemgrenzen langfristig obsolet werden lässt. Zuletzt zeigt auch das im Juli 2021 verabschiedete Gesetz zum autonomen Fahren, dass die rechtlichen Systemgrenzen für den Fahrbetrieb zumindest langfristig ebenfalls von geringerer Bedeutung sind. Die Erfahrungen aus dem Testbetrieb und der Akzeptanzforschung, nicht nur im Zusammenhang mit dieser Dissertation, zeigen jedoch, dass die Systemgrenzen momentan sowohl die Verkehrs- als auch die Straßenraumplanung und Stadtentwicklung vor große Herausforderungen stellen. Im Umgang mit den Systemgrenzen sowie in der Erprobung und Weiterentwicklung der Technologien werden daher auch zukünftig ein Rechtsrahmen und politische Steuerungselemente benötigt, die Handlungsspielräume, insbesondere für Kommunen, Forschungseinrichtungen und Betreibende von Mobilitätsangeboten schaffen.

Dies bestätigt sich auch im Zusammenhang mit potenziellen Entwicklungspfaden der Automatisierung und den damit verbundenen Mobilitätsangeboten. So verdeutlicht die Markstudie aus Kapitel 5 die Anforderungen an politische Steuerungsmaßnahmen und Genehmigungsvoraussetzungen. Die bereits angestoßene und zukünftig weiter anzupassende Novellierung des PBefG aufgrund der veränderten Angebotsmöglichkeiten durch IM und AIM darf sich nicht negativ auf die Wahrung öffentlicher Verkehrsinteressen und die klimapolitischen Ziele auswirken. Daher sind die Vorgabe einer minimalen Bündelung von Fahrtenwünschen und eine Integration der Angebote in den ÖPNV zielführende Instrumente, die von kommunalen Akteuren fokussiert werden sollten. Roboshuttles sind gegenüber Robotaxen zu priorisieren, mit dem Ziel das zunehmende Verkehrsaufkommen einzudämmen und auf diese Weise auch die Lebensbedingungen in den Städten und auf dem Land zu verbessern. Im Idealfall können die neuen Angebotstypen, deren Entwicklungspfade in Kapitel 5 herausgearbeitet wurden, auf diese Weise zu einer Qualitätssteigerung für den Nutzenden und zu einer erheblichen finanziellen und auch umwelttechnischen Entlastung führen.

Sowohl die Anforderungen an AIM-Angebote, als auch die Herausforderungen im Zusammenhang mit Systemgrenzen, wurden auch von den befragten Fachpersonen aus der in Kapitel 6 vorgestellten Analyse von Leitbildern thematisiert. Mit Hilfe einer Leitbildanalyse konnten sowohl die für machbar als auch die für wünschenswert gehaltenen Entwicklungen sowie wichtige Voraussetzungen ermittelt werden. Im Zusammenspiel mit den benannten Hemmnissen wurden darauf aufbauend zwei Zukunftsszenarien entwickelt. Diese beschreiben eine zeitlich und technisch für machbar gehaltene Entwicklung aus Sicht der Verkehrsunternehmen und -verbände sowie shuttleherstellenden Unternehmen als auch aus Sicht der Automobilindustrie. Das Szenario der Automobilindustrie zeigt dabei deutlich, dass auch in diesem Sektor ein Einsatz automatisierter Fahrzeuge als öffentliches Mobilitätsangebot angestrebt wird. Dieses soll jedoch in Konkurrenz zu bestehenden Verkehrsangeboten in gewinnbringender Form und ausschließlich in Megacities betrieben werden. Vor allem Verkehrsunternehmen und -verbände streben hingegen einen Einsatz in heutigen ÖPNV-Erschließungslücken und als Erste- und Letzte-Meile-Angebot an. Sehr langfristig, aber aufgrund der aktuellen Systemgrenzen zeitlich noch nicht absehbar, ist auch ein Einsatz im ländlichen Raum vorstellbar. Bei einem solchen Einsatz steht die Daseinsvorsorge im Vordergrund, die die entsprechenden Unternehmen mit öffentlichen Verkehrsangeboten erfüllen müssen.

Insbesondere die Ergebnisse aus Kapitel 7 geben eine Antwort auf die Forschungsfrage, welchen Einfluss das automatisierte Fahren auf die Nutzungsintention potenzieller Fahrgäste hat. Aufbauend auf den Erhebungen aus den dissertationsbegleitenden Forschungsprojekten wurde eine Faktorenanalyse mit einer nachgelagerten Clusteranalyse durchgeführt. Entsprechend den theoretischen Überlegungen verschiedener Modelle zur Technologieakzeptanz, wie etwa dem TAM oder der UTAUT, wurden zwei latente Variablen bzw. psychologische Konstrukte identifiziert, die die Nutzungsintention einer Person direkt beeinflussen. Im Hinblick auf die Nutzung eines selbstfahrenden Elektroschlusses sind dies zum

einen Befürchtungen und zum anderen wahrgenommene Wirkungen, die eine Person im Hinblick auf die Technologie hat bzw. identifizieren kann. Wie die Akzeptanzmodelle aus der Literatur jedoch auch zeigen, kann diese Nutzungsintention nicht direkt in eine tatsächliche Nutzung überführt werden. Um den Einfluss der Nutzungsintention auf die Nutzung analysieren zu können, ist jedoch eine zweistufiges Verfahren notwendig. In einer Vorabbefragung sind zunächst die Nutzungsintentionen zu erheben, bevor in einer zweiten Feldphase, im Rahmen eines Reallabors beobachtet wird, welche Personen und in welcher Form diese Personen das selbstfahrende Elektroshuttle nutzen. Da die Akzeptanzerhebung im Rahmen der Dissertation, auch aufgrund der Corona-Pandemie (vgl. Kapitel 3.3), jedoch nicht an die Erprobung in den Testfahrten gekoppelt war, ist eine solche Analyse nicht möglich. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, dem, wie beschrieben, durch eine größer angelegte Langzeitstudie begegnet werden könnte. Diese könnte die beiden Konstrukte sowie die Nutzungsintention bei Teilnehmenden eines Testbetriebs vorab erheben und die tatsächliche Nutzung somit in Bezug zur Nutzungsintention setzen. Darauf aufbauend wäre zusätzlich eine regressionsanalytische Modellschätzung möglich, die für weitere Untersuchungen in Simulationsmodellen zur Verkehrsnachfrage und zum Verkehrsmittelwahlverhalten implementiert werden könnte.

Dennoch zeigen die Ergebnisse aus Kapitel 7 eindeutig einen Einfluss der Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttles auf die Nutzungsintention der damit verbundenen Mobilitätsangebote. Dies wurde mit Hilfe von verschiedenen Items zur Nutzung in verschiedene Situationen erhoben. Darauf aufbauende Zusammenhangsanalysen ergaben eine große Korrelation bzw. Effektstärke, die auch durch eine Analyse der Merkmalskombinationen bestätigt werden konnte. Dies gilt besonders für die in der Clusteranalyse identifizierten Personengruppen. Entsprechend dieses Ergebnisses können die befragten Personen, je nach Ausprägung der Befürchtungen und wahrgenommenen Wirkungen, in die Gruppen der besorgten Pessimisten, der unbesorgten Pessimisten, der Unentschlossenen, der besorgten Optimisten und der unbesorgten Optimisten eingeteilt werden. Eine Korrelation mit soziodemographischen Eigenschaften und der Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen, die in der Verkehrswissenschaft üblicherweise zur Einteilung in verhaltenshomogene Personengruppen genutzt werden, konnte jedoch nicht belegt werden. Dadurch sind die identifizierten Akzeptanzgruppen nicht ohne Weiteres mit den gängigen Mobilitätsdatensätzen, wie etwa aus der MiD oder dem MOP, verknüpfbar. Dieses Problem könnte ebenfalls durch eine, bereits vorgeschlagene, größer angelegte Studie behoben werden und stellt demnach einen weiteren Bedarf an die Forschung dar.

Da IM bzw. AIM per Definition stark auf die Bedürfnisse der Nutzer und Nutzerinnen zugeschnitten sind und entsprechend ihres Namens ein individualisiertes Mobilitätsangebot zur Verfügung stellen, wurden die Anforderungen der befragten Personen an die Ausgestaltung der Angebotsparameter erhoben. Die Untersuchungen und Analysen in diesem Zusammenhang wurden in den Kapiteln 8 und 9 ausführlich beschrieben und beantworten die Forschungsfrage, welche Bedürfnisse potenzielle Fahrgäste von IM bzw. AIM-Angeboten haben und welche Nutzungspräferenzen sich daraus ergeben.

Die Ergebnisse zeigen unter anderem, dass sich die zunehmende Digitalisierung des Alltags auch in den Anforderungen der befragten Personen niederschlägt. So werden maßgeblich digitale Möglichkeiten zur Buchung und Bezahlung, insbesondere eine App auf dem Smartphone, gefordert. Dies geht einher mit den analysierten Angebotsparametern bereits verfügbarer IM (vgl. Kapitel 5) und wird auch in den, von den Workshopgruppen entwickelten, Angebotskonzepten deutlich. Zudem ist der Einfluss der zeitlichen, räumlichen und preislichen Komponenten auf die Nutzungsintention deutlich geworden, was wiederum in Einklang mit den üblichen Eingangsparametern für Verkehrsmodelle steht.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird empfohlen, insbesondere in der Ausgestaltung der IM bzw. der AIM, verstärkt auf die Bedürfnisse der Fahrgäste einzugehen. Dies wird durch die Digitalisierung und die Prozess- und Fahrzeugautomatisierung in besonderem Maß möglich und birgt ein großes Potenzial, um die Qualität und Attraktivität der Mobilitätsangebote zu erhöhen.

Wie und in welcher Form die IM- und die AIM-Angebote genutzt werden könnten, verdeutlichen die Ergebnisse aus dem testweise angebotenen Fahrservice im Projekt Hambach-Shuttle und die beschriebenen Wege und Angebotskonzepte aus den personengruppenspezifischen Workshops im Projekt TERMINAL. (vgl. Kapitel 8.2.1 und 9). In der Literatur gibt es momentan nur wenige Studien, die das beobachtete Nutzungsverhalten von IM-Angeboten ähnlich detailliert beleuchten. Hier besteht ebenfalls weiterer Forschungsbedarf. Eine einfache Möglichkeit, dieses Thema weiter voranzutreiben, ist die Bereitstellung von Buchungsdaten für die Mobilitätsforschung. Diese Daten sind für Betreibende von IM-Angeboten, selbstverständlich nach einer datenschutzrechtlichen Bereinigung, aufgrund der Digitalisierung einfach zugänglich und bereits im Buchungssystem bzw. Fahrtenplanungs-Algorithmus implementiert.

Die erhobenen Daten und der definierte Entwicklungsrahmen wurden abschließend in einer beispielhaften Berechnung zusammengeführt, um die vierte Forschungsfrage, welche Umweltwirkungen auf Grundlage der AIM möglich sind, beantworten zu können. Die Ergebnisse aus der Beispieluntersuchung werden in Kapitel 10 beschrieben und bestätigen vor allem den Einfluss der identifizierten Gruppen zur Akzeptanz selbstfahrender Elektroshuttle. Mit einem zunehmenden Anteil an positiv eingestellten Personen steigt auch der Anteil der AIM am Modal Split der Verkehrsleistung an. Entsprechend der ebenfalls in dieser Dissertation thematisierten Diffusionstheorie kann der Anteil positiv gestimmten Personen durch Kommunikationsprozesse gesteigert werden. Daher wird empfohlen auch zukünftig die Technologie des automatisierten Fahrens in Forschungsprojekten und Testbetrieben zu erproben und öffentlichkeitswirksam zu demonstrieren.

Die in der Beispielrechnung ermittelten, positiven Umweltwirkungen sind auf den Einsatz des AIM-Angebotes zur Behebung von ÖV-Erschließungslücken und als Ergänzung zum ÖPNV sowie auf einen hohen Anteil gebündelter Fahrtenwünsche zurückzuführen. Dies verdeutlicht erneut die Bedeutung der politischen Steuerungselemente zum Einsatz von AIM-Angeboten. Die Ergebnisse der beispielhaften Untersuchung können jedoch ausschließlich als tendenzielle Hinweise verstanden werden und müssen

in weiteren Forschungsarbeiten, zum Beispiel auf Grundlage einer fundierten Simulationsstudie, belegt werden. Eingangsdaten für das Simulationsmodell könnten wiederum aus der bereits empfohlenen, zweistufigen Erhebung der Nutzungsintention und der tatsächlichen Nutzung entnommen werden.

Zusammenfassend wurden alle vier Forschungsfragen im Rahmen der Dissertation beantwortet. So wurden zunächst Systemgrenzen, potenzielle Entwicklungspfade und Zukunftsszenarien ermittelt. Daraus lässt sich ableiten welche AIM-Angebote zukünftig technisch und rechtlich realisierbar sind. Der Einfluss der Automatisierungstechnologie auf die Nutzungsintention wird mit Hilfe der ermittelten latenten Variablen und Cluster deutlich belegt. Die Bedürfnisse der potenziellen Fahrgäste wurden sowohl in quantitativer als auch qualitativer Weise ermittelt und stellen auch eine wichtige Grundlage für die beispielhafte Untersuchung der Umweltwirkungen dar.

Nichtsdestotrotz wurden weitere Forschungsbedarfe identifiziert und Handlungsempfehlungen gemacht. Neben der Schaffung optimaler Rahmenbedingungen für den weiteren Testbetrieb wird auch die Durchführung einer groß angelegten, zweistufigen Studie empfohlen. Bei der Ausgestaltung von IM- bzw. AIM-Angeboten wird zudem empfohlen, verstärkt auf die Bedürfnisse der Fahrgäste einzugehen und die Angebotsparameter individualisiert auszugestalten. In der Kombination all dieser Bedingungen ergibt sich aus den AIM-Angeboten ein großes Potenzial zur Schließung vorhandener Lücken im ÖV-Angebot und zur Reduktion der Umweltwirkungen des Verkehrssektors.



## Literaturverzeichnis

- 1&1 DRILLISCH AG (o. J. [2021]): *Netzaufbau. Unser Weg zum 5G-Netz*. Online verfügbar unter: <https://www.1und1.ag/unser-weg-zu-5g>, Stand: 16.09.2021.
- 5GAA (o. J. [2016]): *The Case for Cellular V2X for Safety and Cooperated Driving*.
- AGORA VERKEHRSWENDE (2017): *Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende*, Berlin.
- AGORA VERKEHRSWENDE (2020): *Auto tankt Internet. Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur*, Berlin.
- AGORA VERKEHRSWENDE (2021): *ÖV-Atlas Deutschland*. Online verfügbar unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/oev-atlas-deutschland/>.
- AJZEN, I. (1991): *The Theory of Planned Behavior*. In: *Organizational Behavior and Human Decision Process* 50, 179–211.
- AJZEN, I. (2005): *Attitudeds, Personality and Behavior. Second Edition*. Open University Press, Maidenhead.
- ALCÁNTARA, S., SONNBERGER, M. (2016): *Vorstellungen über die Zukunft des Stuttgarter Mobilitätssystems. Eine Leitbildanalyse*, Stuttgart.
- ALLEKOTTE, M., ALTHAUS, H.-J., BERGK, F., BIEMANN, K., KNÖRR, W., SUTTER, D. (2021): *Umweltfreundlich mobil! Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland*.
- ALLEKOTTE, M., BERGK, F., BIEMANN, K., DEREGOWSKI, C., KNÖRR, W., ALTHAUS, H.-J., SUTTER, D., BERGMANN, T. (2020): *Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Abschlussbericht*, Dessau-Roßlau.
- ARNOLD, C., KLEE, C. (2016): *Akzeptanz von Produktinnovationen. Eine Einführung*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- BACHER, J., PÖGE, A., WENZIG, K. (2010): *Clusteranalyse. Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren*. Oldenbourg Verlag, München.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (2018): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- BARILLÈRE-SCHOLZ, M., BÜTTNER, C., BECKER, A. (2020): *Mobilität 4.0: Deutschlands erste autonome Buslinie in Bad Birnbach als Pionierleistung für neue Verkehrskonzepte*. In: *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*, RIENER, A., APPEL, A., DORNER, W., HUBER, T., KOLB, J. C., WAGNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, Berlin, 15–22.
- BCS (o. J.): *Branchen-Kennzahlen. Aktuelle Zahlen und Daten zum CarSharing in Deutschland*. Online verfügbar unter: <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-daten-zum-carsharing-deutschland>, Stand: 10.12.2018.
- BCS (2018): *Datenblatt CarSharing in Deutschland. Stand 01.01.2018*.
- BCS (2021): *Datenblatt CarSharing in deutschland. Stand 01.01.2021*.
- BEIKER, S. A. (2015): *Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge*. In: *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, MAURER, M., GERDES, J. C., LENZ, B., WINNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, 197–217.
- BiB (2021): *Fakten zur demografischen Entwicklung Deutschlands 2010-2020. Bericht des Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung*, Frankfurt am Main.
- BLASIUS, J. (2014): *Skalierungsverfahren*. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, BAUR, N., BLASIUS, J. (Hrsg.), Springer VS, Wiesbaden, 1051–1062.
- BLUT, M., WANG, C. (2020): *Technology readiness: a meta-analysis of conceptualizations of the construct and its impact on technology usage*. In: *Journal of the Academy of Marketing Science* 48, 649–669.
- BMU (2016): *Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*, Erfurt.
- BMU (2019): *Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050*.
- BMUV, UBA (2022): *Umweltbewusstsein in Deutschland 2020. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*.

- BMVI (2015): *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten*, Berlin.
- BMVI (2017a): *Bericht zum Stand der Umsetzung der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren*, Berlin.
- BMVI (2017b): *Ethik Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Eingesetzt durch den Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur*.
- BMVI (2020): *RegioStaR - Referenzdateien zur regionalstatistischen Raumtypologie*. Online verfügbar unter: [www.bmvi.de/regiostar](http://www.bmvi.de/regiostar), Stand: 27.08.2021.
- BMW (2019): *Freuräume für Innovationen. Das Handbuch für Reallabore*, Berlin.
- BORTZ, J., SCHUSTER, C. (2010): *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- BOUSONVILLE, T., RÖSLER, I., VOGT, J., WOLNIAK, N. (2022): *Performance and acceptance of a partially automated shuttle service for commuters using a Tesla Model X*. In: *Transportation Research Procedia* 64 (2022), 98–106.
- BOUSONVILLE, T., RÖSLER, I., WOLNIAK, N., VOGT, J., WIEKER, H. (2022): *Evaluating a rural cross-border automated shuttle service operated by a Tesla Model X*. In: *14th ITS European Congress*, Paper ID 218.
- BRANDT, C., BÖKER, B., BULLINGER, A., CONRADS, M., DUISBERG, A., STAHL-ROLF, S. (2019): *Fallstudie: Autonome Bus Bad Birnbach*.
- BURMEISTER, J. (2013): *Bussysteme - Weltweit eine Alternative zum schienengebundenen Nahverkehr*. In: *Nahverkehrspraxis* 3, 30–34.
- BUS&BAHN (2021): *Malaga mit „Automost“ beim automatisierten ÖV vorne*. Online verfügbar unter: <https://www.busundbahn.de/nachrichten/fahrzeuge-technik/detail/news/malaga-mit-automost-beim-automatisierten-oev-vorne.html>, Stand: 27.08.2021.
- BVG (2021): *Die "See-Meile" geht in die zweite Runde. Hochautomatisierte Kleinbusse kommen mit weiterer Linie nach Alt-Tegel zurück*, Berlin.
- BVTM (2021): *Geschäftsbericht 2019 / 2020*, Berlin.
- CHLOND, B., LIPPS, O., ZUMKELLER, D. (1996): *Auswertung der Paneluntersuchung zum Verkehrsverhalten*, Karlsruhe.
- COHEN, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates, New York.
- CONTINENTAL AG (o. J.): *Assistenzkonzepte für Aquaplaning*. Online verfügbar unter: [https://www.continental-automotive.com/DE/Passenger-Cars/Technology-Trends/Road-Condition-Observer/Assistenzkonzepte-fur-Aquaplaning-\(1\)](https://www.continental-automotive.com/DE/Passenger-Cars/Technology-Trends/Road-Condition-Observer/Assistenzkonzepte-fur-Aquaplaning-(1)), Stand: 17.09.2021.
- DAHMEN, L. (2021): *Telekom versorgt Deutschland mit 5G im Eiltempo*.
- DAIMLER AG (2017): *Der autonome Stadtbus. Mercedes-Benz Future Bus mit CityPilot: Der autonom fahrende Stadtbus der Zukunft – sicher, effizient und komfortabel*. Online verfügbar unter: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Der-autonome-Stadtbus-Mercedes-Benz-Future-Bus-mit-CityPilot-Der-autonom-fahrende-Stadtbus-der-Zukunft--sicher-effizient-und-komfortabel.xhtml?oid=16690388>, Stand: 28.08.2021.
- DAIMLER AG (2020): *Fahrerloses Parken. Automated Valet Parking*. Online verfügbar unter: <https://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/fahrerlos-geparkt.html>, Stand: 12.09.2021.
- DANDL, F., BRACHER, B., BOGENBERGER, K. (2017): *Mikrosimulation elektrischer Robotertaxis in München*. In: *Straßenverkehrstechnik* 10.2017, 683–694.
- DAVIS, F. D. (1989): *Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology*. In: *MIS Quarterly* Vol. 13 No. 3, 319–340.
- DAVIS, F. D., BAGOZZI, R. P., WARSHAW, P. R. (1989): *User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of two Theoretical Models*. In: *Management Science* Vol. 35 No. 8, 982–1003.
- DEUTSCH, V. (2018a): *Perspektive autonomer und bedarfsgesteuerter Betriebsformen in einem erweiterten ÖPNV-Markt*. In: *Straßenverkehrstechnik* 4.2018, 258–267.
- DEUTSCH, V. (2018b): *Weniger oder mehr Verkehr - Auswirkungen von Uber, Lyft & Co. auf das Verkehrsaufkommen in Städten*. In: *Straßenverkehrstechnik* 11.2018, 815–818.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2020): *Kostenloser öffentlicher Personennahverkehr in Deutschland*. In: WD 5 - 3000 - 009/20. Online verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/ausarbeitungen>, Stand: 10.04.2022.

- DIN EN 13816:2002-07, *Transport - Logistik und Dienstleistungen - Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität; Deutsche Fassung EN 13816:2002.*
- DR. ING. H.C. F. PORSCHE AG (2019): *Weltneuheit im 911: Hohe Fahrstabilität auch bei Regen.*
- DZIUBAN, C. D., SHIRKEY, E. C. (1974): *When is a Correlation Matrix Appropriate for Factor Analysis. Some Decision Rules.* In: *Psychological Bulletin* Vol. 81 No. 6, 358–361.
- EASYRAIN I.S.P.A. (o. J.a): *Discover AIS.* Online verfügbar unter: <https://easyrain.it/ais/>, Stand: 17.09.2021.
- EASYRAIN I.S.P.A. (o. J.b): *Discover DAI.* Online verfügbar unter: <https://easyrain.it/dai/>, Stand: 17.09.2021.
- ECKE, L., CHLOND, B., MAGDOLEN, M., VORTISCH, P. (2020): *Deutsches Mobilitätspanel (MOP) - Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen. Bericht 2018/2020: Alltagsmobilität, Karlsruhe.*
- FGSV (2001): *Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen.*
- FGSV (2006): *Hinweise für die Qualitätssicherung im ÖPNV, Köln.*
- FGSV (2009): *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. RASt 06, Köln.*
- FGSV (2017): *Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen im Personenverkehr. Teilpapier 1: Definitionen.*
- FGSV (2020): *Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen. BBSV, Köln.*
- FIEDLER, C., KLÜSENER, S., SULAK, H. (2018): *Bevölkerung in Deutschland, Wiesbaden.*
- FILIPPI, A., MOERMAN, K., DAALDEROP, G., ALEXANDER, P. D., SCHOBER, F., PFLIEGEL, W. (o. J. [2016]): *Ready to go: 802.11p als Kommunikationsstandard im Vergleich zu LTE und 5G.*
- FILLENBERG, S. (2018): *Cellular-V2X: Führende Automobil-, Telekommunikations- und ITS-Unternehmen beenden erfolgreich ersten Feldversuch in Japan.*
- FISCHER, A. (2019): *Weltpremiere: Bosch und Daimler erhalten Zulassung für fahrerloses Parken ohne menschliche Überwachung.* Online verfügbar unter: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/weltpremiere-bosch-und-daimler-erhalten-zulassung-fuer-fahrerloses-parken-ohne-menschliche-ueberwachung-194624.html>, Stand: 12.09.2021.
- FISCHER, A. (2020): *Vollautomatisiertes und fahrerloses Parken kommt an den Flughafen Stuttgart. Apcoa, Bosch und Mercedes-Benz arbeiten am weltweit ersten Serieneinsatz von Automated Valet Parking.* Online verfügbar unter: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/apcoa-bosch-und-mercedes-benz-arbeiten-am-weltweit-ersten-serieneinsatz-von-automated-valet-parking-am-flughafen-stuttgart-219648.html>, Stand: 12.09.2021.
- FLÄMIG, H. (2015): *Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes.* In: *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.*, MAURER, M., GERDES, J. C., LENZ, B., WINNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, 377–398.
- FRIEDRICH, M., HARTL, M. (2016): *MEGAFON. Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Schlussbericht.*
- GEIGER, T. (2021): *Automatisiertes Fahren mit Staupilot: Freihändig in der S-Klasse.* Online verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/technik-ernetzung/autonomes-fahren-staupilot-s-klasse/>, Stand: 10.09.2021.
- GEORGI, D., BRÜNDLER-ULRICH, S., SCHAFFNER, D., FEDERSPIEL, E., WOLF, P., ABPLANALP, R., MINDER, B., FRÖLICHER, J. (2019): *ShareCity. Sharing-Ansätze, Sharing-Verhalten, Sharing-Strategien, Sharing-Cases in Städten.* Springer Gabler, Wiesbaden.
- GERPOTT, T. J. (2020): *Connected Car.* In: *Handbuch Digitale Wirtschaft*, KOLLMANN, T. (Hrsg.), Springer Gabler, Wiesbaden, 1071–1089.
- GIES, J., LINDLOFF, K. (2018): *Wie können neue Mobilitätsangebote stadtverträglich sein? Novellierung des PBefG sollte neben rechtlichen auch stadtplanerische Kriterien berücksichtigen.* In: *Der Nahverkehr* 5/2018, 13–16.
- GIESEL, K. D. (2007): *Leitbilder in den Sozialwissenschaften. Begriffe, Theorien und Forschungskonzepte.* VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- GOWER, J. C., LEGENDRE, P. (1986): *Metric and Euclidean Properties of Dissimilarity Coefficients.* In: *Journal of Classification* 3, 5–48.
- GRICE, J. W. (2001): *Computing and Evaluation Factor Scores.* In: *Psychological Methods* Vol. 6 No. 4, 430–450.

- GSMA (2017): *Safer and Smarter Driving: The Rollout of Cellular V2X Services in Europe*, London.
- GUADAGNOLI, E., VELICER, W. F. (1988): *Relation of Sample Size to the Stability of Component Patterns*. In: *Psychological Bulletin* Vol. 103 No. 2, 265–275.
- GUHLMANN, E. (1959): *Die Anwendung der Schleppkurve bei der Projektierung von Straßen*. In: *Straßentechnik - Beilage zu Bauplanung, Bautechnik*. 7. Jg. Nummer 9, 1959, 100–102.
- GUTTMAN, L. (1954): *Some Necessary Condition for Common-Factor Analysis*. In: *Psychometrika* Vol. 19 No. 2, 149–161.
- HAAN, G. DE, KUCKARTZ, U., RHEINGANS-HEINTZE, A. (2000): *Bürgerbeteiligung in Lokale Agenda 21-Initiativen. Analysen zu Kommunikations- und Organisationsformen*. Leske + Budrich, Opladen.
- HÄDER, M. (2019): *Empirische Sozialforschung. Eine Einführung*. Springer VS, Wiesbaden.
- HANDL, A., KUHLENKASPER, T. (2017): *Multivariate Analysemethoden. Theorie und Praxis mit R*. In: *Statistik und ihre Anwendungen*. Springer Spektrum, Berlin.
- HEINRICH, S. (2017): *Flash Memory in the emerging age of autonomy*. Online verfügbar unter: [https://www.flashmemorysummit.com/English/Collaterals/Proceedings/2017/20170808\\_FT12\\_Heinrich.pdf](https://www.flashmemorysummit.com/English/Collaterals/Proceedings/2017/20170808_FT12_Heinrich.pdf), Stand: 16.09.2021.
- HELFFERICH, C. (2014): *Leitfaden- und Experteninterviews*. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, BAUR, N., BLASIUS, J. (Hrsg.), Springer VS, Wiesbaden, 559–574.
- HERGET, M., SOMMER, C., GIES, J. (2021): *Zukunftsfähiger ÖPNV in ländlichen Räumen. Herausforderungen und wichtige Weichenstellungen*. In: *Internationales Verkehrswesen* (73) 2 | 2021, 12–15.
- HERTZBERG, J., LINGEMANN, K., NÜCHTER, A. (2012): *Mobile Roboter. Eine Einführung aus Sicht der Informatik*. Springer Vieweg.
- HÖLSCHER, R., HELMS, N. (2018): *Investition und Finanzierung*. De Gruyter, Berlin, Boston.
- HORN, J. L. (1965): *A Rationale and Test for the Number of Factors in Factor Analysis*. In: *Psychometrika* Vol. 30 No. 2, 179–185.
- HUNECKE, M. (2015): *Mobilitätsverhalten verstehen und verändern. Psychologische Beiträge zur interdisziplinären Mobilitätsforschung*. In: *Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung*. Springer VS, Wiesbaden.
- HUNSICKER, F., KNIE, A., LOBENBERG, G., LOHRMANN, D., MEIER, U., NORDHOFF, S., PFEIFFER, S. (2017): *Pilotbetrieb mit autonomen Shuttles auf dem Berliner EUREF-Campus. Erfahrungsbericht vom ersten Testfeld zur integrierten urbanen Mobilität der Zukunft*. In: *Internationales Verkehrswesen* (69) 3 | 2017, 56–59.
- IOKI (o.J.): *Was ist eigentlich... die sogenannte erste und letzte Meile?* Online verfügbar unter: <https://ioki.com/was-ist-eigentlich-die-sogenannte-erste-und-letzte-meile/>, Stand: 27.08.2021.
- IRIZAR E-MOBILITY (2021): *AutoMOST wins the ITS award for autonomous and connected vehicles*. Online verfügbar unter: <https://irizar-emobility.com/en/events-and-latest-news/news/automost-wins-the-its-award-for-autonomous-and-connected-vehicles>, Stand: 27.08.2021.
- JENDRISCHIK, M. (2019): *Autonomes Fahren: Fünf Level bis zum selbstfahrenden Auto*. Online verfügbar unter: <https://www.cleantalking.de/autonomes-fahren-fuenf-level-bis-zum-selbstfahrenden-auto/>, Stand: 06.02.2022.
- JOHANNING, V., MILDNER, R. (2015): *Car IT kompakt. Das Auto der Zukunft - Vernetzt und autonom fahren*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- KAGERBAUER, M., KOSTORZ, N., WILKES, G., DANDL, F., ENGELHARDT, R., GLÖCKL, U., FRAEDRICH, E., ZWICK, F. (2021): *Ridepooling in der Modellierung des Gesamtverkehrs. Methodenbericht zur MOIA Begleitforschung*.
- KAGERBAUER, M., KOSTORZ, N., WILKES, G., DANDL, F., ENGELHARDT, R., GLÖCKL, U., FRAEDRICH, E., ZWICK, F. (2022): *Ridepooling in Hamburg auf dem Weg in die Zukunft. Ergebnisbericht zur MOIA Begleitforschung*, Berlin.
- KAISER, H. F. (1958): *The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis*. In: *Psychometrika* Vol. 23 No. 3, 187–200.
- KAISER, H. F. (1959): *Computer Program for Varimax Rotation in Factor Analysis*. In: *Educational and Psychological Measurement* Vol. XIX No. 3, 413–420.
- KAISER, H. F. (1970): *A Second Generation Little Jiffy*. In: *Psychometrika* Vol. 35 No. 4, 401–415.
- KAISER, H. F. (1974): *An Index of Factorial Simplicity*. In: *Psychometrika* Vol. 39 No. 1, 31–36.

- KAISER, H. F., RICE, J. (1974): *Little Jiffy, Mark IV*. In: *Educational and Psychological Measurement* Vol. 34 Nr. 1, 111–117.
- KARNOWSKI, V., KÜMPEL, A. S. (2016): *Diffusion of Innovations von Everett M. Rogers (1962)*. In: *Schlüsselwerke der Medienwirkungsforschung*, POTTHOFF, M. (Hrsg.), Springer VS, Wiesbaden, 97–107.
- KARRER, K., GLASER, C., CLEMENS, C., BRUDER, C. (2009): *Technikaffinität erfassen - der Fragebogen TA-EG*. In: *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*, LICHTENSTEIN, A., STÖBEL, C., CLEMENS, C. (Hrsg.), VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 196–201.
- KBA (2021a): *Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter. 1. Januar 2021. FZ 15*. In: *Fahrzeugzulassungen (FZ)*, Flensburg.
- KBA (2021b): *Glossar. Stand: 15.02.2021*, Flensburg.
- KBA (2021c): *Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Segmenten und Modellreihen. Monatsergebnisse Dezember 2020. FZ 11*. Online verfügbar unter: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/monatl\\_neuzulassungen\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/monatl_neuzulassungen_node.html), Stand: 09.09.2021.
- KIESEL, H. (2014): *Gewichtung*. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, BAUR, N., BLASIUS, J. (Hrsg.), Springer VS, Wiesbaden, 349–356.
- KNIE, A., RUHRORT, L., GÖDDE, J., PFAFF, T. (2020): *Ride-Pooling-Dienste und ihre Bedeutung für den Verkehr. Nachfragemuster und Nutzungsmotive am Beispiel von "CleverShuttl". Eine Untersuchung auf Grundlage von Buchungsdaten und Kundenbefragungen in vier deutschen Städten*. In: *WZB Discussion Paper SP III 2020-601*.
- KOLB, J. C., WECH, L., SCHWABE, M., RUZOK, C., TROST, C. (2020): *Technische Aspekte des automatisierten Fahrens am Projekt des autonomen Shuttlebusses in Bad Birnbach*. In: *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*, RIENER, A., APPEL, A., DORNER, W., HUBER, T., KOLB, J. C., WAGNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, Berlin, 57–91.
- KOLESCH, D., NEUMANN, J., SCHEID, C., ENGEL, T., RENTSCHLER, C., LANGER, M., FÜHR, A., REINHARDT, M., RADOMSKI, S., SAUTER, D. (2022): *SENSARE - Sensorbasierte Stadtgebietsanalyse für Starkregengefährdungen zur Warnung und Resilienzverbesserung der Verkehrsinfrastruktur*.
- KÖLLNER, C. (2020): *Car-to-X. Fahrzeugvernetzung per C-V2X oder pWLAN?* Online verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/car-to-x/automatisiertes-fahren/fahrzeugvernetzung-per-c-v2x-oder-pwlan-/17822610>, Stand: 14.09.2021.
- KOTH, H., MEHLER, S. (2018): *Nachfragegesteuerte Verkehre oder On-Demand-Ridepooling? Entscheidender Erfolgsfaktor für den ländlichen Raum bleibt die differenzierte Bedienung*. In: *Der Nahverkehr* 6/2018, 36–39.
- KRAIL, M., HELLEKES, J., SCHNEIDER, U., DÜTSCHKE, E., SCHELLER, M., RÜDIGER, D., STEINDL, A., LUCHMANN, I., WARMUTH, V., FLÄMIG, H., SCHADE, W., MADER, S. (2019): *Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr. Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie*, Karlsruhe.
- KRUMMHEUER, F., PULLIG, A., PELLMAN-JANSSEN, M. (2017): *Evolutionär zur Door2Door-Mobilität. Die Deutsche Bahn treibt mit der App Wohin-Du-Willst die Digitalisierung von Rufbus, AST und Co. voran und hat heute schon den Betrieb autonomer Flotten im Blick*. In: *Der Nahverkehr* 10/2017, 49–55.
- KRZANICH, B. (2016): *Data is the New Oil in the Future of Automated Driving*. Online verfügbar unter: <https://newsroom.intel.com/editorials/krzanich-the-future-of-automated-driving/#gs.bghedv>, Stand: 16.09.2021.
- KUCKARTZ, U. (2010): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- KUCZORA, V. (2015): *Straßenentwurf mit CARD/1. Grundlagen*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- KÜHL, C. (2018): *Autonomes Fahren. Robotaxis für Singapur*. Online verfügbar unter: <https://www.automotiveit.eu/exklusiv/robotaxis-fuer-singapur-180.html>, Stand: 18.09.2021.
- KUß, A., WILDNER, R., KREIS, H. (2014): *Marktforschung. Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse*. Springer Gabler, Wiesbaden.

- KUTTER, E. (1972): *Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs*. In: *Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen*, Braunschweig.
- LEHNERT, M., LIEBCHEN, C., MELZER, K.-M., VIERGUTZ, K. (2018): *Ride-Sharing: Chancen und Regulierungskontext einer neuen Mobilitätsform. Erfahrungen, Perspektiven, Regelungsrahmen und Qualitätsstandards wurden auf dem Forum "Neue Mobilitätsformen" an der TH Wildau diskutiert*. In: *Der Nahverkehr* 5/2018, 6–12.
- LIEBCHEN, C., LEHNERT, M., MEHLERT, C., SCHIEFELBUSCH, M. (2020): *Ridepooling-Effizienz messbar machen. Betriebliche Effizienzgrößen für Ridepooling-Systeme*. In: *Der Nahverkehr* 9/2020, 18–21.
- LIEBCHEN, C., LEHNERT, M., MEHLERT, C., SCHIEFELBUSCH, M. (2021): *Betriebliche Effizienzgrößen für Ridepooling-Systeme*. In: *Making Connected Mobility Work. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, PROFF, H. (Hrsg.), Springer Gabler, Wiesbaden, 135–150.
- LIN, P. (2015): *Why Ethics Matters for Autonomous Cars*. In: *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte.*, MAURER, M., GERDES, J. C., LENZ, B., WINNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, 69–85.
- MAAS ALIANCE (o. J.): *What is Maas?* Online verfügbar unter: <https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/>, Stand: 24.11.2018.
- MACQUEEN, J. (1967): *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*. In: *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Volume 1: Statistics*, LE CAM, L. M., NEYMAN, J. (Hrsg.), University of California Press, Berkeley, Los Angeles, 281–297.
- MAINZER MOBILITÄT (o. J.): *Autonomer E-Kleinbus*. Online verfügbar unter: <https://www.mainzer-mobilitaet.de/emma.html>, Stand: 24.04.2019.
- MARZ, L., DIERKES, M. (1992): *Leitbildprägung und Leitbildgestaltung. Zum Beitrag der Technikgenese für eine prospektive Technikfolgen-Regulierung*. In: *WZB Discussion Paper FS II 92-105*.
- MATHESON, R. (2016): *Startup bringing driverless taxi service to Singapore. Fleet of autonomous vehicles will serve as convenient form of public transit while reducing emissions*.
- MBRDNA (o. J.): *Introducing DRIVE PILOT: An Automated Driving System for the Highway*, Sunnyvale (USA).
- MERCEDES-BENZ AG (2021): *Mercedes-Benz erhält weltweit erste internationale gültige Systemgenehmigung für hochautomatisiertes Fahren*. Online verfügbar unter: <https://group.mercedes-benz.com/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/systemgenehmigung-fuer-hochautomatisiertes-fahren.html>, Stand: 17.02.2022.
- MITTAG, H.-J. (2017): *Statistik. Eine Einführung mit interaktiven Elementen*. Springer Spektrum, Berlin.
- MOIA (2022): *In Hamburg sagt man MOIA. Zwischenbilanz MOIA Ridepooling in Hamburg (Stand: 31.01.2022)*.
- MUECK, M., KARLS, I. (2018): *Networking Vehicles to Everything. Evolving Automotive Solutions*. De Gruyter, Boston, Berlin.
- MUTH, F. (2019): *Automatisiertes Fahren im ÖPNV. Ein Überblick über die Erprobung bei Schnellbahn, Straßenbahn, Bus und Shuttle*. In: *Der Nahverkehr* 10/2019, 27–34.
- NEHRKE, G. (2018): *Digitale Integration: Neue Kooperationen zwischen CarSharing und ÖPNV*. In: *Verkehr und Technik* 05.18, 151–156.
- NOBIS, C., HERGET, M. (2020): *Mobilität in ländlichen Räumen. Betrachtungen aus Sicht der Verkehrswende und der Gleichwertigkeit von Lebensverhältnissen*. In: *Internationales Verkehrswesen* (72) 4 | 2020, 40–43.
- NOBIS, C., KUHNIMHOF, T. (2018): *Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*, Bonn, Berlin.
- NOBIS, C., KUHNIMHOF, T., FOLLMER, R., BÄUMER, M. (2019): *Mobilität in Deutschland - MiD Zeitreihenbericht 2002 - 2008 - 2017. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*, Bonn, Berlin.
- OECD (2015): *Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*.
- OECD (2017): *Shared Mobility Simulations for Helsinki*.
- PANDY, A. (2019): *Hochautomatisierte Nutzfahrzeuge. #zfexperts*. Online verfügbar unter: [https://www.zf.com/mobile/de/stories\\_18368.html#](https://www.zf.com/mobile/de/stories_18368.html#), Stand: 11.08.2021.
- PECH, A., WARMUTH, G., KLAUS, J., ZEININGER, J. (2009): *Parkhäuser - Garagen. Grundlagen, Planung, Betrieb*. SpringerWienNewYork.

- PILLAT, J., MANZ, W. (2021): *Modelle des Personenverkehrs*. In: *Stadtverkehrsplanung Band 2. Analyse, Prognose und Bewertung*, VALLÉ, D., ENGEL, B., VOGT, W. (Hrsg.), Springer Vieweg, Berlin, 273–339.
- R+V, MAINZER MOBILITÄT (2018): *Bitte einsteigen: Autonomer Elektrokleinbus öffnet seine Türen in Mainz. Mainzer Mobilität und R+V Versicherung starten innovatives Projekt am Winterhafen in Mainz*.
- REESAS, G., KINDL, A., SCHÄFER, T. (2017): *Neue Mobilitätsformen und ÖPNV - gegenseitige Ergänzung oder Konkurrenz? Teil 1*. In: *Verkehr und Technik* 03.17, 87–89.
- RENTSCHLER, C., HERRMANN, L., KURTH, D., MANZ, W., RUMBERG, M. (2020): *Technische und rechtliche Systemgrenzen in der Routenplanung autonomer Shuttlebusse*. In: *Neue Dimensionen der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, PROFF, H. (Hrsg.), Springer Gabler, 319–331.
- RENTSCHLER, C., MANZ, W. (2019): *Transformation der Personenbeförderung. Individualisierte Mobilitätsdienstleistungen und ihre Entwicklungstendenzen*. In: *Straßenverkehrstechnik* 5.2019, 315–324.
- RIENER, A., APPEL, A., DORNER, W., HUBER, T., KOLB, J. C., WAGNER, H. (Hrsg.) (2020): *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*. Springer Vieweg, Berlin.
- RITZ, J. (2018): *Mobilitätswende - autonome Autos erobern unsere Straßen. Ressourcenverbrauch, Ökonomie und Sicherheit*. Springer.
- ROBERT BOSCH GMBH (o. J.): *Automatisiertes Fahren. Redundanz? Aber sicher!* Online verfügbar unter: <https://www.bosch.com/de/stories/redundante-systeme-automatisiertes-fahren/>, Stand: 08.09.2021.
- ROGERS, M. E. (1983): *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York.
- ROJAS-MÉNDEZ, J. I., PARASURAMAN, A., PAPADOPOULOS, N. (2017): *Demographics, attitudes, and technology readiness. A cross-cultural analysis and model validation*. In: *Marketing Intelligence & Planning* Vol. 35 No. 1.
- RUBIN, J. (1967): *Optimal Classification into Groups: An Approach for Solving the Taxonomy Problem*. In: *Journal of Theoretical Biology* 15, 103–144.
- SAE INTERNATIONAL (2021): *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016*, USA, Schweiz.
- SCHUMACHER, O. (2018): *Faktenblatt: Autonomer Bus Bad Birnbach*.
- SCHWARTZ, S. H. (1977): *Normative Influence on Altruism*. In: *Advances in Experimental Social Psychology* Vol. 10.
- SHAH, S. A. A., AHMED, E., IMRAN, M., ZEADALLY, S. (2018): *5G for Vehicular Communications*. In: *IEEE Communications Magazine* 56 1, 111–117.
- SHAHEEN, S., COHEN, A., YELCHURU, B., SARKHILI, S. (2017): *Mobility on Demand Operational Concept Report*.
- SINNER, M., BRAWAND, S., WEIDMANN, U. (2017): *Große Chance durch Automatisierung im ÖPNV. Netzplanung mit autonomen Bussen am Beispiel des Kantons Zug*. In: *Der Nahverkehr* 10/2017, 30–36.
- SOMMER, C., SCHÄFER, F., LÖCKER, G., HATTOP, T., SAIGHANI, A. (2016): *Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen. Planungsleitfaden für Handlungsmöglichkeiten von ÖPNV-Aufgabenträgern und Verkehrsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte flexibler Bedienungsformen*, Berlin.
- STEIN, P. (2014): *Forschungsdesigns für die quantitative Sozialforschung*. In: *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, BAUR, N., BLASIUS, J. (Hrsg.), Springer VS, Wiesbaden, 135–151.
- STEINHAUSEN, D., LANGER, K. (1977): *Clusteranalyse. Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation. Mit zahlreichen Algorithmen, FORTRAN-Programmen, Anwendungsbeispielen und einer Kurzdarstellung der multivariaten statistischen Verfahren*. De Gruyter, Berlin, New York.
- STOKAR, T. VON, PETER, M., ZANDONELLA, R., ANGST, V., PÄRLI, K., HILDESHEIMER, G., SCHERRER, J., SCHMID, W. (2018): *Sharing Economy - teilen statt besitzen*. vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- STREICHER, F. (2021): *Opensignal Studie zu deutschen 5G Mobilfunknetzen: O2 bietet schnellstes 5G Netz in Deutschland*.
- TASCHNER, A. (2017): *Business Cases. Ein anwendungsorientierter Leitfaden*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- TELEFÓNICA GERMANY GMBH & CO. OHG (o. J. [2021]): *Mit 5G bieten wir Kunden neue Perspektiven*. Online verfügbar unter: <https://www.telefonica.de/5g.html>, Stand: 16.09.2021.

- TERMINAL (2022): *Handreichung für Verkehrsbetriebe zur Einführung von grenzüberschreitenden automatisierten ÖPNV-Verbindungen. Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Projekt TERMINAL.*
- THEURL, T., HAUCAP, J., DEMARY, V., PRIDDAT, B. P., PAECH, N. (2015): *Ökonomie des Teilens — nachhaltig und innovativ?* In: *Wirtschaftsdienst* 95, 87–105.
- VDA (2015): *Automatisierung. Von Fahrassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*, Berlin.
- VDV (o. J.a): *Innovationslandkarte "Autonomes Fahren im ÖPNV"*. Online verfügbar unter: <https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx>, Stand: 11.08.2021.
- VDV (o. J.b): *Mobi-Wissen. Busse und Bahnen von A bis Z*. Online verfügbar unter: [www.mobi-wissen.de](http://www.mobi-wissen.de), Stand: 07.12.2018.
- VDV (2009): *Finanzierungsbedarf des ÖPNV bis 2025. Untersuchung im Auftrag des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen, des Deutschen Städtetages, der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen*, Köln.
- VDV (2015): *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen*, Köln.
- VDV (2018): *Deutschland mobil 2030. Szenarien für die Umsetzung der Verkehrswende in Deutschland*, Köln.
- VDV (2019): *Freifahrt oder 365-Euro-Tickets: Kosten und Wirkung für die Verkehrswende*.
- VDV (o. J. [2019]): *Städtische Schnellbussysteme - flexibel, aufwandsarm, attraktiv. Die Potenziale des Busses für Luftreinhaltung und Klimaschutzziele nutzen*, Köln.
- VDV (2020a): *2019. Statistik*, Köln.
- VDV (2020b): *Kurs halten: Bus & Bahn bleiben Motor der Mobilitätswende. Fahrgäste zurückgewinnen und die Mobilitätswende vorantreiben*, Köln.
- VDV (2020c): *VDV: 365-Euro-Tickets bremsen die Verkehrswende aus. Verband fordert Angebotsoffensive für den ÖPNV.*
- VDV (2022): *"9 für 90" ÖPNV-Ticket: Verkehrsunternehmen und Verbände arbeiten an branchenweiter Umsetzung. Angebot wird im Rahmen des Energie-Entlastungspakets allen Fahrgästen zur Verfügung stehen.*
- VENKATESH, V., BALA, H. (2008): *Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions*. In: *Decision Sciences* Volume 39 Number 2, 273–314.
- VENKATESH, V., DAVIS, F. D. (2000): *A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies*. In: *Management Science* Vol. 46 No. 2, 186–204.
- VENKATESH, V., MORRIS, M. G., DAVIS, G. B., DAVIS, F. D. (2003): *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*. In: *MIS Quarterly* Vol. 27 No. 3, 426–478.
- VODAFONE GMBH (2021): *Vodafone-Netzausbau: Der Stand der Dinge*. Online verfügbar unter: <https://www.vodafone.de/business/featured/technologie/fortschritt-ausbau-vodafone-netz/>, Stand: 16.09.2021.
- WARD, J. H. (1963): *Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function*. In: *Journal of the American Statistical Association* Vol. 58 No. 301, 236–244.
- WEBER, R., MISENER, J., PARK, V. (2019): *C-V2X – A Communication Technology for Cooperative, Connected and Automated Mobility*. In: *ITG-Fb. 288: Mobilitätskommunikation. Technologien und Anwendungen. Vorträge der 24. ITG-Fachtagung, 15. - 16. Mai 2019 in Osnabrück*, VDE, Berlin, 111–116.
- WERNER, J., KARL, A. (2018): *Marktwirkungen "digitalisierter Mobilität" und damit verbundene Herausforderungen ihrer Regulierung*. In: *Verkehr und Technik* 05.18.
- WINTERSBERGER, P., FRISON, A.-K., THANG, I., RIENER, A. (2020): *Mensch oder Maschine? Direktvergleich von automatisiert und manuell gesteuertem Nahverkehr*. In: *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Analysen und Bewertungen zum Fallbeispiel Bad Birnbach aus technischer, gesellschaftlicher und planerischer Sicht*, RIENER, A., APPEL, A., DORNER, W., HUBER, T., KOLB, J. C., WAGNER, H. (Hrsg.), Springer Vieweg, Berlin, 95–113.
- WITTMER, R. (2008): *Raumstrukturelle Einflüsse auf das Verkehrsverhalten - Nutzbarkeit der Ergebnisse großräumiger und lokaler Haushaltsbefragungen für makroskopische Verkehrsplanungsmodelle*. In: *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden*.
- WOOD, M., ROBBEL, P., MAASS, M., TEBBENS, R. D., MEIJS, M., HARB, M., REACH, J., ROBINSON, K., WITTMANN, D., SRIVASTAVA, T., BOUZOURAA, M. E., LIU, S., WANG, Y., KNOBEL, C., BOYMANNS, D., LÖHNING, M., DEHLINK, B., KAULE, D., KRÜGER, R.,



FRTUNIKJ, J., RAISCH, F., GRUBER, M., STECK, J., MEJIA-HERNANDEZ, J., SYGUDA, S., BÜHLER, P., KLONECKI, K., SCHNARZ, P., WILTSCHKO, T., PUKALLUS, S., SEDLACZEK, K., GARBACIK, N., SMERZA, D., LI, D., TIMMONS, A., BELLOTTI, M., O'BRIEN, M., SCHÖLLHORN, M., DANNEBAUM, U., WEAST, J., TATOURIAN, A., DORNIEDEN, B., SCHNETTER, P., THEMANN, P., WEIDNER, T., SCHLICHT, P. (2019): *Safety First For Automated Driving*.

WULFF, F. (2019): *Frequenzversteigerung beendet. Präsident Homann: "6,5 Mrd. Euro und vier erfolgreiche Bieter. Die Auktion war ein Erfolg"*.

# Anhang

## Anhang A Leitbildanalyse

### Anhang A-1: Funktionsanalytisches Modell zum Leitbild-Begriff

Leitfunktion	
kollektive Projektion	Ein Leitbild bündelt konkrete Zielvorstellungen einer Person. Dies beinhaltet Dinge, die die Person als wünschenswert und machbar erachtet.
synchrone Voradaption	Noch bevor verschiedene Personen aufeinandertreffen, ermöglichen Leitbilder Kommunikations- und Kooperationsprozesse zwischen ihnen.
funktionales Äquivalent	Durch die Leitbilder richtete sich der Diskurs zwischen den Personen auf einen gemeinsamen Zielpunkt aus.
Bildfunktion	
kognitiver Aktivator	Kreative Problemlösungen werden durch einen Wechsel zwischen begrifflichen und bildlichen Repräsentationsformen vereinfacht. Leitbilder stellen hierzu eine Möglichkeit dar.
individueller Mobilisator	Durch Leitbilder werden „die kognitiven, [...] emotionalen, volitiven und affektiven Potenziale“ <sup>308</sup> der Personen aktiviert. Dadurch wird der Grad der persönlichen Involviertheit erhöht.
interpersoneller Stabilisator	Im Entwicklungsprozess treten Spannungen zwischen verschiedenen Personen auf. Diese werden durch Leitbilder gedämpft.

*Anmerkung:* In Anlehnung an MARZ, DIERKES (1992).

<sup>308</sup> MARZ, DIERKES, 1992, S. 7.

**Anhang A-2: Machbarkeitsprojektion**

Dimension	Bedeutung	N
Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens		
ÖPNV-Integration	ÖPNV-Angebote, die anderen codierten Angeboten nicht entsprechen (meist Testbetriebe).	23
nachhaltige ÖPNV-Angebotslücken	Einsatz in den vom ÖPNV unerschlossenen Gebieten und mit Angeboten, die heute unwirtschaftlich sind.	13
automatisierte Busse	Einsatz in Klein-, Linien-, Regional- oder Fernbussen.	2
Werksgelände	Einsatz auf halböffentlichen und privaten Geländen.	4
Pkw-Verkehr	Einsatz im Verkehr mit Personenkraftwagen.	18
Geschäftsmodell in Megacities	Einsatz als gewinnbringendes Mobilitätsangebot, das explizit in Megacities angeboten wird.	8
sonstige Anwendungsgebiete	Sonstige, weitere Anwendungsgebiete, die anderen codierten Einsatzformen nicht entsprechen.	2
Planungsgrundlagen	Grundlagen zur Definition von Einsatzformen und Einsatzgebieten.	3
technische und zeitliche Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung		
Shuttle	Shuttlefahrzeuge	23
größere Gefäßgrößen (Busse)	Klein-, Linien-, Regional- und Fernbusse	11
Pkw	Personenkraftwagen	34
Entwicklung des vernetzten Fahrens		
Vernetzung von Fahrzeugmodellen	Datenerhebung und -weitergabe automatisierter und vernetzter Fahrzeuge.	17
Datenmanagement	Schaffung von Systemen und Infrastrukturen zum Datenaustausch und Datenmanagement.	11

**Anhang A-3: Wunschprojektion**

Dimension	Bedeutung	N
Einsatzformen und Einsatzgebiete des automatisierten und vernetzten Fahrens nachhaltige ÖPNV-Angebotslücken	Einsatz in den vom ÖPNV unerschlossenen Gebieten und mit Angeboten, die heute unwirtschaftlich sind.	18
automatisierte Busse	Einsatz in Klein-, Linien-, Regional- oder Fernbussen.	3
Werksgelände	Einsatz auf halböffentlichen und privaten Geländen.	3
Geschäftsmodell in Megacities	Einsatz als gewinnbringendes Mobilitätsangebot, das explizit in Megacities angeboten wird.	3
Planungsgrundlagen	Grundlagen zur Definition von Einsatzformen und Einsatzgebieten.	5
technische und zeitliche Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung fahrerloses Fahren	Automatisierte Fahrfunktionen, die keine physische Anwesenheit eines Operators oder eines Fahrers zur Überwachung oder Übersteuerung erfordern.	7
selbstlernend und intelligent	Fahrzeugmodelle, die, beispielsweise in Form von künstlicher Intelligenz, selbstständig auf veränderte Rahmenbedingungen reagieren können.	8
Unabhängigkeit	Unabhängigkeit von den Fahrzeugherstellenden bei Einsatz, Reparatur und Instandhaltung.	1
Entwicklung des vernetzten Fahrens Vernetzung und Datenmanagement	Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur, mit einheitlichen Datenstandards und einem zentralen Datenmanagementsystem.	13

**Anhang A-4:** Perspektivische Synchronisation

Dimension	Bedeutung	N
interne Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz		
sinnvoller Use-Case	Sinnvolle Anwendungsfälle müssen vorab definiert werden und bestimmen den Entwicklungsansatz.	14
Wirtschaftlichkeit	Die Finanzkraft der Herstellenden und die finanzielle Machbarkeit von Einsatzformen sind bedeutend.	25
Erkenntnisse unter konstanten Bedingungen	Sammlung erster Erkenntnisse durch den heutigen Testbetrieb unter konstanten Einsatzbedingungen.	7
externe Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz		
Akzeptanz und Nutzungspotenzial	Akzeptanz durch Nutzer bzw. Käufer und eine (lokal) ausreichende Nachfrage bei Mobilitätsangeboten.	15
rechtlicher Rahmen	Gesetze über Zulassungs- und Einsatzbedingungen.	10
infrastruktureller Rahmen	Straßen- und Kommunikationsinfrastruktur, die das automatisierte und vernetzte Fahren benötigen.	15
wichtige Technologieaspekte		
fahrerloser Betrieb	Automatisierte Fahrfunktionen, die keine physische Anwesenheit eines Operators oder eines Fahrers zur Überwachung oder Übersteuerung erfordern.	3
Verhalten antizipieren	Systeme, die Situationen und das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmender antizipieren können.	2
Geschwindigkeit	Maximalgeschwindigkeiten der Fahrzeuge versus zulässige Höchstgeschwindigkeit im Straßenraum.	4
Sicherheit	Die Sicherheit automatisierter Systeme muss vor der Zulassung und dem Einsatz gewährleistet sein.	11
evolutionäre Entwicklung	Eine schrittweise Entwicklung der Technologie.	6
Voraussetzungen für das vernetzte Fahren		
Datenmanagement und -verfügbarkeit	Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur, mit einheitlichen Datenstandards und einem zentralen Datenmanagementsystem.	14

**Anhang A-5: Perspektivische Desynchronisation (Abgrenzung)**

Dimension	Bedeutung	N
Abgrenzung zu potenziellen Einsatzformen		
Abgrenzung Individualverkehr	Ablehnung des Einsatzes im Individualverkehr und den potenziell negativen verkehrlichen Wirkungen.	8
Ablehnung ÖPNV-Konkurrenz	Ablehnung von möglichen Geschäftsmodellen, die in Konkurrenz zum ÖPNV stehen.	3
Abgrenzung ÖPNV	Abgrenzung zukünftig angestrebter Einsatzformen von den Formen und Einsatzbedingungen heutiger ÖPNV- oder Taxi-Angebote.	10
Abgrenzung zu Entwicklungsansätzen		
Abgrenzung evolutionärer Ansatz	Abgrenzung des eigenen Entwicklungsansatzes vom evolutionären Ansatz oder den damit verbundenen Unternehmen.	7
Abgrenzung revolutionärer Ansatz	Abgrenzung des eigenen Entwicklungsansatzes vom revolutionären Ansatz oder den damit verbundenen Unternehmen.	4
Abgrenzung Konkurrenz	Wahrnehmung anderer Unternehmen als Konkurrenten und Ablehnung von deren Entwicklungsansätzen.	6
Ablehnende Haltungen und Aussagen		
Fragliche Potenzialabschätzung	Betonung der Fraglichkeit der vielen Prognosen zur (zeitlichen) und technischen Entwicklung.	4
Verantwortung Datenmanagement	Ablehnung der möglichen Meldepflicht von Daten für Fahrzeugherstellende und der Verantwortung in der Schaffung eines Datenmanagementsystems.	3

**Anhang A-6: Perspektivische Desynchronisation (Herausforderungen und Hemmnisse)**

Dimension	Bedeutung	N
interne Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz		
Wirtschaftlichkeit	Die Finanzkraft der Herstellenden und hohe Kosten erschweren die Entwicklung und den Einsatz.	19
externe Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz		
Akzeptanz und Nutzungspotenzial	Akzeptanz und Nutzungspotenziale sind fraglich und mit aktuellen Fahrzeugen schwer zu erheben.	10
rechtlicher und politischer Rahmen	Gesetze und politische Verfahren verzögern oder verhindern den Einsatz und die Entwicklung.	15
infrastruktureller Rahmen	Die fehlende Kommunikations- und die verfügbare Straßeninfrastruktur erschweren den Einsatz.	14
Testfeldbedingungen	Beschaffung und Betrieb der aktuell unausgereiften Technologie erschweren die Testfelddurchführung.	6
komplexes Verkehrsgeschehen in Städten	Der komplexe, städtische Mischverkehr erschwert den Einsatz.	7
Verantwortung bei Kommunen	Kommunen benötigen viele Kompetenzen.	5
wichtige Technologieaspekte		
fahrerloser Betrieb	Fahren ohne Operator oder Fahrzeugführende ist auch zukünftig mit vielen Herausforderungen verbunden.	11
Geschwindigkeit	Die niedrige Maximalgeschwindigkeit der aktuellen Shuttles reduziert den Einsatz und die Attraktivität.	7
unausgereifte Technologie	Die aktuelle Technologie ist nur begrenzt einsetzbar.	19
äußere Einflussfaktoren	Umfeld- und Wetterereignisse können den Einsatz des automatisierten Fahrens verhindern.	12
größere Gefäßgrößen (Busse)	Die Automatisierung großer Fahrzeuge ist komplex.	6
Voraussetzungen für das vernetzte Fahren		
Datenmanagement und -verfügbarkeit	Große Datenmengen erschweren die technische Umsetzung und erfordern hohe Energiemengen und ein Datenmanagement.	20



**Anhang A-7: Coenästhetische Resonanz**

Dimension	Bedeutung	N
<b>Expertise</b>		
Expertise	Die Person betont ihr fundiertes Expertenwissen zu einer bestimmten Fragestellung.	3
Nicht-Expertise	Die Person äußert sich unsicher oder betont, dass sie bei einer bestimmten Thematik kein Experte ist.	22
<b>Erfahrungswerte</b>		
Berufserfahrung revolutionär	Die Person kennt sich aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit sehr gut mit den Fahrzeugmodellen des revolutionären Entwicklungsansatzes aus.	25
Praxiserfahrung revolutionär	Die Person verfügt über praktische Erfahrungen mit Fahrzeugmodellen des revolutionären Ansatzes.	6
Berufserfahrung evolutionär	Die Person kennt sich aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit sehr gut mit den Fahrzeugmodellen des evolutionären Entwicklungsansatzes aus.	7
Berufserfahrung Vernetzung und Daten	Die Person kennt sich aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeiten sehr gut mit dem vernetzten Fahren oder mit Themen zum Datenmanagement aus.	8
<b>Emotionalität</b>		
Gruppenzugehörigkeit	Die Person betont ihre Verbundenheit mit einer bestimmten Gruppe, die Berührungspunkte mit der Thematik hat.	8
persönliche Verbundenheit	Aus den Äußerungen der Person lässt sich eine (emotionale) Verbundenheit zur Thematik ableiten.	35
persönliche Meinung	Die Person äußert sich persönlich und kann dabei von der allgemeinen Einstellung in der Sozietät oder von den Vorgaben des Arbeitgebers abweichen.	21

**Anhang A-8: Sozietätsstiftende Imagination**

Dimension	Bedeutung	N
Bezugnahme zum öffentlichen Verkehr ÖV-Branche	Die Person verwendet oder verweist auf formulierte Leitbilder, Praxisbeispiele und Studien, die der ÖV-Branche zugeordnet werden können.	9
Fachbegriffe Mobilitätsangebote	Die Person nutzt Begriffe zu Mobilitätsangeboten, die im Zusammenhang mit der Thematik stehen und zuvor nicht in Fragestellungen erwähnt wurden.	39
Bezugnahme zur Automobilindustrie Automobilbranche	Die Person verwendet oder verweist auf formulierte Leitbilder, Praxisbeispiele und Studien, die der Automobilbranche zugeordnet werden können.	4
Themenfeld Automatisierung Fachbegriffe Automatisierung	Die Person nutzt Begriffe der Automatisierung, die zuvor nicht in Fragestellungen erwähnt wurden.	23
Themenfeld vernetztes Fahren Fachbegriffe Vernetzung und Daten	Die Person nutzt Begriffe des vernetzten Fahrens und des Datenmanagements, die zuvor nicht in Fragestellungen erwähnt wurden.	41

**Anhang A-9: Semantische Sukzession**

Dimension	Bedeutung	N
Situationsbeschreibung	Die Person beschreibt eine aktuelle oder zukünftige Situation in bildhafter Sprache.	17
Metapher	Die Person beschreibt eine aktuelle oder zukünftige Situation mit Hilfe eines Bildes aus einem anderen Kontext.	16

**Anhang A-10:** Jaccard-Koeffizient projizierter Einsatzgebiete und Einsatzformen

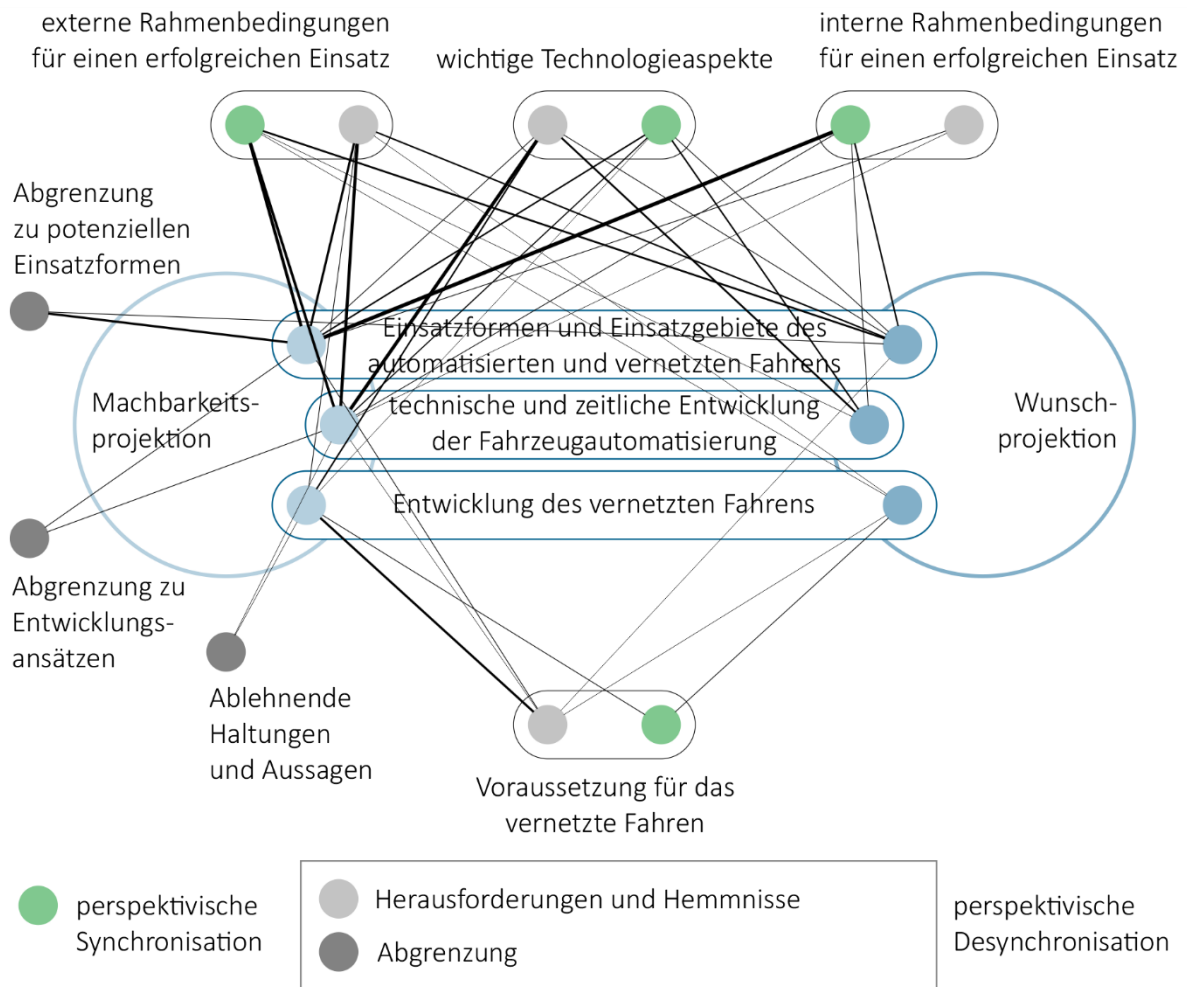
Interviews	Pers. 1	Pers. 2	Pers. 3	Pers. 4	Pers. 5	Pers. 6	Pers. 7	Pers. 8
Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden								
Pers. 1								
Pers. 2	0,57							
Pers. 3	0,67	0,33						
Pers. 4	0,71	0,80	0,44					
Fachperson eines shuttleherstellenden Unternehmens								
Pers. 5	0,67	0,50	0,78	0,63				
Fachpersonen aus der Automobilindustrie								
Pers. 6	0,22	0,14	0,20	0,29	0,20			
Pers. 7	0,22	0,14	0,20	0,29	0,20	1,00		
Pers. 8	0,25	0,17	0,22	0,33	0,22	0,40	0,40	

*Anmerkung:* Da die Dimensionen „Planungsgrundlagen“ und „sonstige Anwendungsgebiete“ aus Anhang A-2 und Anhang A-3 ausschließlich in einem bzw. in zwei Interviews codiert wurden und damit eher einer Einzelmeinung als einer typischen Position in einer Sozietät entsprechen, werden sie in der Auswertung nicht berücksichtigt.

**Anhang A-11:** Jaccard-Koeffizient der projizierten Technologie

Interviews	Pers. 1	Pers. 2	Pers. 3	Pers. 4	Pers. 5	Pers. 6	Pers. 7	Pers. 8
Fachpersonen von Verkehrsunternehmen und -verbänden								
Pers. 1								
Pers. 2	0,43							
Pers. 3	0,33	0,56						
Pers. 4	0,29	0,57	0,44					
Fachperson eines shuttleherstellenden Unternehmens								
Pers. 5	0,43	0,50	0,56	0,57				
Fachpersonen aus der Automobilindustrie								
Pers. 6	0,25	0,50	0,75	0,38	0,33			
Pers. 7	0,29	0,38	0,63	0,25	0,22	0,83		
Pers. 8	0,14	0,25	0,50	0,39	0,11	0,67	0,80	

*Anmerkung:* Da die Leitbilddimension „Unabhängigkeit“ aus Anhang A-3 nur in einem Interviewtext codiert wurde und damit eher einer Einzelmeinung als einer typischen Position in einer Sozietät entspricht wurde sie in der Auswertung nicht berücksichtigt.



**Anmerkung:** Die Dicke der Verbindungslinien verdeutlicht, wie viele Segmente gemeinsam mit den verbundenen thematischen Gruppen codiert wurden. Der Zusammenhang zwischen den verbundenen Leitbilddimensionen nimmt mit der Dicke der Linie zu. Leitbilddimensionen zweiter Ordnung werden entsprechend ihrer thematischen Gruppen durch eine Umgebungslinie verknüpft.

**Anhang A-12:** Kollektive Projektion, perspektivische Synchronisation und Desynchronisation im Vergleich

## Anhang B Zitatstellen zur Leitbildanalyse

### Sozietät „Shuttle“:

#### Anhang B-1:

*[Beim] öffentlichen Personennahverkehr [...] wird es sicherlich so sein, dass die ersten Anwendungsfälle in Testfeldern liegen und die gibt es ja schon überall in der Republik. Bad Birnbach ist da zu nennen, mittlerweile gibt es aber zahlreiche weitere Testfelder, wo die Easy Miles dieser Welt auf irgendwelchen Testfeldern mit irgendwelchen Experimentierklauseln temporär unterwegs sind und Erfahrungen sammeln.*

#### Anhang B-2:

*The goal with the predefined routs is that we are able to master our environment. It is all about repeatability, so that we know how the environment changes over the seasons and that we learn this specific use case, scenario, rout and environment. We learn it, we program it and then we improve the behavior of the vehicle on this specific ground.*

#### Anhang B-3:

*Die größten Herausforderungen sind [...] die Umfelderkennung und Überschneidung der Informationen, verbunden mit der im digitalen Raum abgebildeten menschlichen Fähigkeit, Dinge voraussehen zu können, Verhalten vorausberechnen zu können. Das, was wir ständig tun, wenn wir Auto fahren [...]. Diese menschlichen Fähigkeiten müssen [...] in eine künstliche Intelligenz münden, die [...] so ausgebaut ist, dass sie an die menschlichen Fähigkeiten der Vorausberechnung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer heranreicht.*

*Nach meiner [...] ethischen Einschätzung, ist das [...] die Voraussetzung, dass es in der breiten Masse Anwendung finden kann. Ich meine [die] Minimierung von Unfällen und Schäden im Vergleich zum Bestand.*

**Anhang B-4:**

*Aber ich bin schon der Überzeugung, dass es auch hier ein evolutionärer Charakter sein wird. Das zeigt sich [...] in den Maßnahmen [der] Mobilitätsanbieter [...] in der ganzen Republik. [...] Sie nähern sich [der Thematik durch] Testgebiete, wo diese neue Technologie [...] erprobt wird und da geht es ganz an der Basis los. Da geht es darum, überhaupt herauszufinden, wie wird das vom Kunden angenommen, also das Kundenempfinden, die Kundenakzeptanz.*

*[...] Wir machen [das] ja wegen unseren Fahrgästen und die sollen sich [...] sicher fühlen und sicher und wohl ankommen. Das ist ein wesentlicher Aspekt, der muss bearbeitet werden. Das ist ein evolutionärer Schritt. Der muss erkundet werden, der muss erforscht werden, der muss gegebenenfalls [...] in gewisser Weise, im positiven Sinne, gesteuert werden, durch mitnehmen, durch Angst nehmen und durch Berührungsskepsis abbauen. Das ist nichts Revolutionäres, da kannst du nicht einfach einen Schalter umlegen und [...] zehntausend automatisierte Fahrzeuge [einsetzen]. Das funktioniert nicht, das ist ein Prozess und insofern evolutionär.*

**Anhang B-5:**

*Wir haben jetzt ganz viele tolle Shuttleprojekte und [...] haben bundesweit [...] immer sehr hohe Akzeptanzwerte. Man muss aber auch sagen, dass da heute natürlich noch ein Fahrer an Board ist, also ein Operator, der das System erklärt. Da bleibt dann die Frage, wie reagiert ein deutscher Fahrgast auf ein fahrerloses System, wenn das wirklich kommt?*

**Anhang B-6:**

*Allerdings fahren wir mit sehr langsamen Geschwindigkeiten, das heißt wir sind für andere Verkehrsteilnehmer teilweise ein nerviges Hindernis. Und man muss [...] ein bisschen schauen, inwieweit man die Akzeptanz in der gesamten Bevölkerung erreichen kann. Also es gibt sicherlich Bevölkerungsgruppen, wie zum Beispiel ältere Menschen oder gehbehinderte Menschen, die auf diese Fahrzeuge gerne zurückgreifen würden. Aber es gibt eben auch andere [...], die auf diese Fahrzeuge nicht angewiesen sind, das heißt, die würden dann im Zweifel wahrscheinlich doch zu Fuß gehen, wenn sie [...] schnell von A nach B kommen müssten [...].*

**Anhang B-7:**

*Aber wir sehen sehr häufig [...] auf dem Testgelände [...], dass es [...] sehr viele Hemmnisse gibt: Sei es durch Witterungsbedingungen, sei es durch Systemausfälle oder dass einfach kleine Kinderkrankheiten an den Fahrzeugen auftreten, die uns am Fahren hindern, dass mal die Lokalisierung nicht gut funktioniert oder irgendein Hardware-Teil ausfällt. Das kann alles aktuell noch vorkommen und da muss sich einfach die Technik aus meiner Sicht noch stark verbessern, bevor wir da den nächsten Automatisierungsgrad erreichen.*

**Anhang B-8:**

*Das sind leider keine selbstlernenden Systeme. Alles, was die Fahrzeuge können oder in Zukunft können werden, muss durch Softwareupdates implementiert werden [...]. Wir haben da in den letzten drei Jahren [...] wenig sichtbaren Fortschritt gesehen. Also die Fahrzeuge fahren zwar automatisiert auf ihren vorgegebenen Routen, aber selbstständiges Ausweichen [bei] Hindernissen oder gar auf Teilstrecken den Begleiter komplett rauszunehmen, ist noch lange nicht in Sicht.*

**Anhang B-9:**

*Then we have multiple timelines to take off this on-board steward, because it's kind of a bottleneck for the business plan [...], because these vehicles are [...] expensive, because of the technology, low volumes and so on, but on the other side, you also have a driver as you would have in a standard mini bus. The goal [...] is really to take off the on-board steward as soon as possible, but we also have this software learning and safety topics, that we have to deal with, and the regulation, that we have to get someone on board.*

**Anhang B-10:**

*Die heutigen Shuttlemodelle sind eindeutig in Level zwei, weil ich immer noch, rechtlich gesehen, einen Fahrer im Loop halten muss, also einen Fahrzeugführer.*

*Zum Sommer kommt voraussichtlich ein Gesetz, was erstmalig in Deutschland das autonome Fahren ermöglichen soll. Da muss ich aber auch sagen, es ist eben kein Level fünf, sondern Level vier. Ich glaube auch, gerade für die meisten Anwendungen, die wir brauchen oder die [...] sinnhaft sind, wäre [...] Level vier gut. Es geht ja darum in spezifischen Szenarien fahrerlos zu funktionieren.*

**Anhang B-11:**

*Rechtlich [...] wird [...] viel gehen, wenn das Gesetz kommen sollte, aber es wird natürlich auch wieder viel davon abhängen, wie man das dann umsetzt und diese Verantwortung verteilt. Also [...] wie geht das denn ohne 5G-Netz? Wie ist das mit einer Funkverbindung? Muss die immer bestehen bleiben? Wer übernimmt dann die Verantwortung, wenn das wirklich fahrerlos ist? Kann man das einfach so in den Verkehr geben oder wird es eine neue Person, Rechtsfigur geben?*

*Es entwickelt sich ja jetzt auch dazu, dass man sagt, es gibt eine Art technische Aufsicht, also einen Menschen, der im Betrieb für die Fahrzeuge die Aufsicht übernehmen [...] und wie ein Fluglotse immer Anfragen annehmen könnte. Wenn das Fahrzeug dann zum Stehen kommt, wendet es sich an die Leitstelle und meldet: ‚Ich habe hier eine Mülltonne, die muss ich umfahren, darf ich das?‘ Und die Person bestätigt dann: ‚Ja [...]. Du fährst jetzt um die Mülltonne und dann gehst du wieder in deine Spur zurück.‘ Das ist ja alles denkbar.*

**Anhang B-12:**

*[Ich] kann mir schon vorstellen, dass wir im Jahr 2025 flächendeckend fahren werden. [...] Man kann sich [...] vorstellen, dass jedes Verkehrsunternehmen oder jeder Landkreis in Deutschland den ersten Pilotbetrieb oder Flottenbetrieb mit ungefähr fünf Fahrzeugen bekommen kann. Das halte ich für möglich [...], dass wir schon 2025 sehr weite Testfelder und Möglichkeiten sehen [...]. Ich glaube [...], dass es dann zum Ende dieses Jahrzehnts, also vielleicht spätestens 2030, [...] viele neue Konzepte geben wird, so, dass das [...] in einem Flächenrollout [...] angekommen sein wird.*

**Anhang B-13:**

*Wir haben angefangen auf dem Privatgelände [...], sind dann rausgegangen auf das öffentliche Straßenland [...], wo wir in Tempo-30-Zonen fahren und das ist [...] unser Use-Case [...]. Das heißt, entweder wir erschließen bisher vom ÖPNV unterversorgte Gebiete, Stichwort ‚erste, letzte Meile‘, von der U-Bahn- oder S-Bahn-Station ins Wohngebiet, [...] auf kleinen [...], engen Straßen, wo bisher kein anderer ÖPNV stattfindet. Oder wir erschließen komplett neu geschaffene Quartiere [...]. Also es gibt aktuell [...] eine ganze Reihe von Entwicklungsgebieten, wo Wohnungen [...] aber auch Gewerbeparks gebaut werden und da [...] wollen wir [...] von Beginn an dabei sein und dort die Mobilität [...] anbieten.*

**Anhang B-14:**

*2030 könnte ich mir vorstellen, dass wir vielleicht [...] fünf oder sechs Gebiete haben, wo wir im Regelbetrieb [...] mit automatisierten Fahrzeugen unterwegs sein werden und 2050 dann hoffentlich flächendeckend alle unterversorgten Gebiete mit den entsprechenden Fahrzeugen bedienen. Das [...] wäre jetzt so meine persönliche Einschätzung.*

**Anhang B-15:**

*Das wird am Anfang vielleicht keine 70er-Zone oder kein Überlandverkehr sein, sondern eher [...] erste, letzte Meile oder Stadtquartierserschließung oder einzelne Linien, wie im Bad Birnbach Use Case. Da gibt es dann vielleicht eine etwas weiter entfernte dörfliche Gemeinde ohne direkten Zugang zum Schienenverkehrssystem und dann baue ich [...] einen Betrieb auf, der dort, wo sich ein Bus heutzutage nicht lohnt, ein automatisiertes oder fahrerloses Konzept fahren kann.*



**Anhang B-16:**

*Der ländliche Raum ist ein bisschen die Königsdisziplin, denn man hat sehr wenige Fahrgäste, das heißt man würde [...] nicht sehr viel Fahrgeld generieren. Auf der anderen Seite hat man [...] weite Strecken zu fahren, über Land, das heißt auch mit relativ hohen Geschwindigkeiten. Dieses Zusammenspiel irgendwie wirtschaftlich unter einen Hut zu bekommen, ist glaube ich die Endstufe beim autonomen Fahren. Das heißt [...], es gibt [...] eine ganze Reihe an Forschungsprojekten, die meisten spielen sich aber in Städten ab und die wenigsten auf dem Land. Mit den aktuellen Geschwindigkeiten [...] auf dem Land von A nach B zu fahren, macht [...] einfach noch keinen Spaß. Klar macht das Sinn und es führt eigentlich kein Weg daran vorbei irgendwann die Linienbusse dort abzuziehen. Die großen Busse, wo dann maximal drei oder vier Leute drinsitzen, nach Fahrplan fahren zu lassen, ist eigentlich nicht sinnvoll. Die Zukunft muss es sein, kleinere Gefäßgrößen einzusetzen, die dann wirklich nur nach Bedarf, also On-Demand fahren. Aber, wie gesagt, da muss sich an der Geschwindigkeit noch einiges ändern und man muss sich überlegen, ob das dann auch noch wirtschaftlich zu betreiben ist.*

**Anhang B-17:**

*[Das automatisierte Fahren] ermöglicht, aus meiner Sicht, in Zukunft den Personennahverkehr preislich attraktiv zu halten und neue Gebiete zu erschließen. Ich meine damit vor allen Dingen ländliche Gebiete, die sicher nicht die Ersten sein werden, die erschlossen werden. Dort leben aber auch Menschen und der ÖPNV hat eine Daseinsvorsorge auch in diesen Winkeln.*

*[...] Es wird dann in den ländlichen Bereich gehen, wenn es erschwinglich ist, [...] wenn die [...] Verkehrsunternehmen und vor allen Dingen diejenigen, die den Personennahverkehr finanzieren [,] eine wirtschaftliche Perspektive haben und wenn es attraktiv ist. Das ist besonders dann der Fall, wenn die Technologie [...] so weit vorangeschritten ist, dass es wirtschaftlich wird. Wirtschaftlich wird es [...], wenn kein Fahrer mehr an Board ist oder sein muss. [...] So, dass es auch für die Aufgabenträger wirtschaftlich ist, dort einen autonomen Verkehr [...] anzubieten.*

**Anhang B-18:**

*Der ÖPNV bräuchte aber den automatisierten Bus und da sehe ich den Industrieansatz, also den Ansatz der Automobilhersteller, eigentlich immer noch viel stärker.*

**Anhang B-19:**

*Jetzt [...] zu den großen Bussen. Wenn ich ÖPNV-Straßen nehme, wenn ich mal ganz wild denke und ich die Fahrzeuge aus den Innenstädten verbanne, wenn ich dann wirklich Leitstraßen habe [...], dann ist es leichter.*

**Anhang B-20:**

*Bis wir die großen Busse automatisiert haben werden, wird es noch sehr lange dauern. Dafür ist der Stadtverkehr [...] viel zu komplex. Aus meiner Sicht vergehen da auch nochmal locker 25 bis 30 Jahre, bis wir wirklich darüber sprechen können, die komplette Fahrzeugflotte [...] automatisiert oder komplett autonom fahren zu lassen.*

*[...] Aktuell sind wir dabei unsere Busflotte bis 2030 zu elektrifizieren. [...] Wenn dieser Schritt getan ist, kann man sich, denke ich, dann auch in den 2030-er-Jahren langsam Gedanken machen, wie es in Richtung Automatisierung weitergehen kann.*

**Anhang B-21:**

*[...] small vehicles are kind of easier to drive automatically or autonomously, because most of the time the algorithm drives the center of the vehicle. If you have a wheelbase, which is more or less small, it is easier to drive from the middle of the vehicle. Then every technology is merging in the middle and they drive the vehicle in the middle. This is why [many] manufacturers use steered wheels on both axes, because if you have also the rear wheels turning, then the front passes the obstacle and the rear will follow the same trajectory. This makes it easier to program the vehicle, because then you only take care of the front of the vehicle, from the middle to the front, and you know automatically, that the rear will follow the same footprint. [...] But doing that on a very big bus, like 12 to 13 meters, could be also a bit challenging, because then you would take more space in the curves and again you would drive the center of the vehicle, not each corner, not the front, not the rear, but the center of the vehicle.*

*There are some challenges here, but [shuttle manufacturers] already run the software on bigger vehicles, like 22 seats and it works so far.*

**Anhang B-22:**

*Das ist eine Glaskugel. Wissen Sie, wer hat 2005 an das Smartphone gedacht? 2007 war es da. Haben wir 2007 gedacht, dass dann 2015, 2017 alles nur noch mit diesem schönen Teil funktioniert? Nein. Aber, manchmal haben wir gedacht, eine Schnellfahrstrecke zwischen Frankfurt und Karlsruhe wird so 1990 da sein. 1970 hat man angefangen zu planen und 2020 ist sie immer noch nicht da.*

*Eigentlich muss man es durch den technischen Fortschritt erwarten, dass es schneller kommt. Das heißt in fünf bis zehn Jahren ist es eigentlich zu erwarten. Aber, dann kann es doch wieder bis 2040 dauern.*

**Anhang B-23:**

*Also erst einmal wäre es schon wichtig, solche Straßen zu planen, die auch verkehrlich einen Nutzen bringen. Es ist aktuell ja gerade so, dass natürlich eher touristische Anwendungsfälle erprobt werden. [Solche] kann ich mir trotzdem vorstellen, weil natürlich auch so etwas ersetzt werden kann und andere Betriebs- oder Umläufe gefahren werden können, wenn so etwas realisiert wird. Aber ich sage mal, auf einem Kilometer im Kreis zu fahren, ist jetzt nicht der Anwendungsfall, damit es in die Fläche kommen wird oder einen Nutzen hat.*

**Anhang B-24:**

*Wo kann [...] dieser Modalanteil von diesen Dingen sein? Wir sagen ja als ÖV-Vertreter [...], dass wir schon gerne bis 2030 unseren Anteil irgendwie verdoppeln würden. Das heißt, je nachdem wo wir uns befinden, sind wir in den Städten bei teilweise 20, 30, 40 Prozent und in der Theorie sind wir aber bei 5 Prozent. Dann ist ja die Frage, schaffen wir es mit solchen Angeboten diesen Modal-Split zu erhöhen? Man muss eben berücksichtigen, nur, weil es jetzt einen autonomen Shuttle gibt, wird keiner sagen, ich will umsteigen und ich will jetzt mein Auto abschaffen.*

**Anhang B-25:**

*Es geht ja nicht darum, irgendwie einzelne Linienbusse zu automatisieren, die stark und immer voll sind. Man automatisiert ja auch um Kosten einzusparen. Dieses System will ich also nicht nutzen, um den starken Linienbus auszutauschen, sondern um es da einzusetzen, wo es eben noch kein Angebot gibt.*

**Anhang B-26:**

*Wenn natürlich [...], einzelne Stadtareale komplett umgebaut werden würden und entsprechende Informationssysteme bereitstehen – wie ein digitaler Zwilling oder eine HD-Karte [...] – in Konversionsflächen, in denen man diese Bauflächen komplett neu konzipiert und zum Beispiel eine Art Cloud, eine HD-Netzkarte, die beschreibt wie das Straßengebiet aussieht, hinterlegt ist, kann ich auch On Demand fahren.*

*Aber den ÖV kennzeichnet ja aus, dass ich fahrplanbasiert [...] Strecken oder Verkehre bediene. Deswegen glaube ich, dass das auch der erste Anwendungsfall sein wird.*

**Anhang B-27:**

*One of the biggest challenges will be the anticipation, because you never know, what could happen next. It is all about anticipation, [...] to predict the behavior of the other people.*

*I would say, the easier way is, to make all the vehicles connected and then they can share each other their intention of driving [...]. Then you will electronically avoid any collision, because every car which is around you, will send you its intention and then you can act with this input. You know that this car wants to turn left and you know that you could potentially cross the path but then you would have a collision. Therefore you will break, [...] because this car told you three or five seconds ago, that it will turn left. This gives you the opportunity to anticipate and slow down.*

**Anhang B-28:**

Das wäre toll, wenn ich als Kommune oder als Stadt irgendwo eine Art intelligente HD-Karte relativ aktuell halte. Dann hätte ich [...] ein Datenmanagementsystem für die Privatfahrzeuge als auch für die ÖV-Fahrzeuge. Ich denke ÖV-Fahrzeuge haben den Vorteil, dass sie mehr oder weniger jedes Mal die gleiche Strecke abfahren und die MIV-Fahrzeuge haben den Vorteil, dass sie überall durch die Gegend verkehren. Wenn natürlich ein [...] sehr fortschrittliches Fahrzeug mit entsprechender Sensortechnik ausgestattet durch eine Straße fährt und dann etwas erkennt, wäre das sehr spannend. Dann muss man sich die Frage stellen, ob so etwas verpflichtend sein könnte, solche Mobilitäts-, Verkehrs- oder Infrastrukturdaten irgendwo an eine zentrale Stelle zu pinnen. Aber [...] das [wäre] gut, wenn sozusagen das Shuttle, das regelmäßig diese eine Strecke bedient, eine selbstaktualisierende Karte hat.

Das ist ja eigentlich auch das, was passiert. Es wird ja eine Karte irgendwo im Fahrzeug selbst gespeichert oder irgendwo in einer Cloud hinterlegt. Das Fahrzeug fährt die Strecke ab und erkennt [...], was die Soll- und was die Ist-Situation ist [...]. Wenn das System [...] so intelligent ist, um zu sagen, ich stelle hier [...] eine Soll-Ist-Abweichung fest, es ist Wasser im System, oder wie auch immer, und [...] man so etwas automatisch verwerten könnte, wäre das krass. Ich weiß aber nicht, ob es schon solche Entwicklungen gibt. Aber das wäre auf alle Fälle der richtige Ansatz [...].

**Anhang B-29:**

Aktuell, mit der Sensorik, die in den Shuttles verbaut ist, [...] kann man da [...] keine Rückschlüsse drauf ziehen. Wenn es stark regnet, oder es sogar Überschwemmungen gibt, dann werden unsere Fahrzeuge an eine Systemgrenze stoßen.

[...] Also wie gesagt, wir haben, klar Lidar-Sensorik, Radar-Sensorik soll kommen, und GPS-Lokalisierung, aber das führt natürlich alles nicht dazu, dass unsere Fahrzeuge wissen, ich darf jetzt heute diese Strecke nicht befahren, weil sie überschwemmt ist oder es gibt irgendwelche andere Gründe, die eben dagegensprechen, dort lang zu fahren.

**Sozietät „Automobil“:****Anhang B-30:**

Automobilhersteller [haben] mit einem Park-Piepser angefangen, dann kam die Rückfahrkamera, dann der Surround-View, dann kam das Selbstlenkende und jetzt sind wir soweit, dass wir Remote Parking haben und über autonomes Parken in Parkhäusern sprechen. [...]

Die Chancen sind [...], dass sich der Kunde daran gewöhnt, dass wir als Hersteller immer besser werden und die Systeme gesichert an den Markt bringen. [...] solche Fahrerassistenzsysteme [...] müssen funktionieren. Da hat der Kunde auch einen Anspruch und ein Recht auf Sicherheit [...]. Wenn [...] bei einem Laptop ein Monitor-Scharnier abbricht, dann ist es ein Garantiefall [...], aber wenn beim assistierten Fahren was schiefgeht, kostet das womöglich Menschenleben. [Der] Vorteil ist eine erhöhte Sicherheit und eine langsame Angewöhnung des Kunden.

**Anhang B-31:**

Der deutsche Ansatz [...], ist ein Sicherheitsdenken. Wenn man sich mal die Sensoren ansieht, die wir für Level-drei-Systeme geplant haben [...] dann sieht man, dass wir da verschiedenartige [...] Sensortechnologien nutzen. Wenn wir zum Beispiel durch Nebel fahren, ist die Kamera Mist, da haben wir einen Radar-Sensor. Wenn wir [...] ein hochgenaues Umfeldmodell brauchen, [...] haben wir als Backup noch den Lidar-Sensor, machen [...] eine Sensordatenfusion und regeln auf Grundlage [mehrerer] Sensordaten [...] eine Bewegungsstrategie des Fahrzeugs. Das ist mehrfach redundant abgesichert über verschiedene Sensortypen. Ich sehe die Herausforderung [...], dass das für den Kunden erstmal sehr, sehr teuer wird, weil er die ganzen Sensoren bezahlen muss.

**Anhang B-32:**

Beim individuellen Verkehr [...] wird das [...] bei den [...] hochpreisigen Modellen anfangen [...]. Ich glaube [...] nicht, dass so ein Renault Zoe in der nächsten oder übernächsten Generation autonom fährt.

**Anhang B-33:**

Ich glaube das wird genauso funktionieren wie mit der Elektromobilität. Da hat Tesla 2008 oder 2009 ernsthaft angefangen und hat dann ziemlich lange herumgedümpelt. Mittlerweile setzt sich das durch [...].

**Anhang B-34:**

Es gibt verschiedene Auffassungen dieser Level, aber [...] im Moment [sind wir] bei Systemen, [...] die [...] aktiv ins Fahren eingreifen und unterstützen, zum Beispiel eine Spurmittenführung. Für mich sind das Level-zwei-Systeme. Im Moment sind wir bei Level zwei.

Level drei wird dann mit der S-Klasse, mit einem Staupiloten, dieses Jahr im Herbst oder Anfang nächstes Jahr kommen. [...] Es gibt ja Mind-off, Eyes-off und dieses Eyes-off wird dann bei Level drei mit sehr begrenzten Nebentätigkeiten kommen. Im Moment stehen wir an der Schwelle zwischen Level zwei und Level drei.

Da haben wir [...] noch eine Level-zwei-plus-Geschichte eingeführt. [...] Da nehmen Sie [...] die Hände vom Lenkrad und schauen auf die Straße. Sie sind weiterhin im Verkehrsgeschehen mit eingebunden, müssen auch eingreifen, aber sie brauchen die Hände nicht mehr am Lenkrad zu haben. Das wäre dann so ein Level zwei plus System.

**Anhang B-35:**

*Level drei [...] ist jetzt erstmal eine Funktion für die Autobahn und eher für langsamere Geschwindigkeiten, weil dort einfach die Komplexität geringer ist, die man adressieren muss. Alle fahren in die gleiche Richtung, man hat eine bauliche Trennung und so weiter. Das vereinfacht natürlich auch deutlich das Fahren oder die möglichen Inzidenzen, die vorkommen könnten.*

*Und das ganze Thema Level vier, das sehen wir eigentlich zeitlich schon noch weiter draußen, weil eben die Komplexität steigt. Level vier ist ja hauptsächlich im Bereich Robotertaxi, Stadtverkehr und so weiter und da ist die Komplexität, die der Verkehr bietet, deutlich höher und der technische Aufwand im Auto ist auch deutlich höher.*

**Anhang B-36:**

*Wir bekommen in diesem Jahr ein Level-drei-System von einem ernstzunehmenden Hersteller, von Mercedes. Wir werden im Laufe des Jahres vielleicht auch noch [...] in ganz bestimmten, kleinen Anwendungsfällen ein Level vier sehen. Und bis Level vier in die Breite geht, also bis die Maschine die Rückfallebene ist, bis man Hands-off und Mind-off machen kann, [...] sind wir [...] bei 2026 oder 2027, aber auch da in sehr begrenzten Märkten und Anwendungsdomänen. Diese Science-Fiction-Geschichte, dass ich mich irgendwie durch den Stadtverkehr über eine Landstraße ins nächste Dorf, in eine Spielstraße fahren lasse und dabei irgendwelche Filme schauen kann, das wird noch ziemlich lange dauern. Es wird anfangen mit gut beherrschbaren Domänen, also in baulich getrennten Fahrtrichtungen, wie zum Beispiel auf Autobahnen oder in einem gewissen Geschwindigkeitsbereich, in Gegenden mit einer sehr guten Abdeckung, was diese Connect-Geschichten und hochgenaue Kartendaten angeht. Da wird es anfangen und es wird dann auch wieder evolutionär in die Breite gehen.*

**Anhang B-37:**

*Ich glaube, dass es 2030 im Bereich Owned Autonomy ziemlich wenig mit Level vier sein wird. Im Bereich Shared Autonomy mag es sein, dass es in irgendwelchen Megacities solche Systeme gibt, die man sich buchen kann. Aber Level-vier-Systeme sind im Jahr 2030 nicht das, was bei uns den Alltag durchdrungen hat.*

*Im Jahr 2050, glaube ich, sieht das schon ein bisschen anders aus. Ich glaube da wird es ganz normal sein, dass man große, monotone Fahraufgaben, die länger dauern, dem System übergibt. [...] ich glaube im Jahr 2050 werden Level-vier-Fahrzeuge schon Teil von unserem Alltag sein. 2030 auf gar keinen Fall.*

**Anhang B-38:**

Level vier wird sich [...] erst dann so richtig in der Breite durchsetzen [...], wenn sich damit ein Geschäftsmodell ergibt. Dieses Geschäftsmodell [...] basiert sehr stark auf dem Thema On-Demand-Mobility. Das kann man auch [...] gleichsetzen mit dem Thema ‚nicht mehr Besitz des Fahrzeugs durch private Ortskunden‘, sondern das Fahrzeug gehört einem Dienstleister, Vermittler, Provider oder ähnliches [...]. [Das] setzt dann voraus, dass ein genügend hoher Durchsatz an Fahrten möglich ist. Das kann sich [...] nur [...] in großen Ballungsräumen, in Konglomeraten rechnen. [...] Und wenn wir ganz realistisch sind, sind wir da [...] in den großen Megalopolis der Welt, ob das jetzt in China ist oder in den USA. In großen Ballungsräumen, da macht das [...] eher Sinn oder wir können zumindest mal sagen, dort wird es zuerst eingeführt.

**Anhang B-39:**

Ich würde es auf alle Fälle später als 2030 sehen. Ob es jetzt wirklich 2050 ist? Das erscheint mir ziemlich weit in der Zukunft, aber 2030 wird das schon überdauern. Man darf das Geschäftsmodell dahinter nicht vergessen. Man macht ja letztlich den Taxis, die es heute gibt, Konkurrenz und auch dem öffentlichen Nahverkehr. Es ist aber so, dass selbst im Taxi-Bereich und im öffentlichen Nahverkehr nicht viel Geld verdient wird [...]. Das sind [...] keine Rendite-Champions. Im öffentlichen Nahverkehr ist es [...] sogar defizitär, wie wir wissen, wenn man das bei vielen Städten wie Berlin mal anschaut. Und auch Taxifahrer werden nicht beliebig reich. [...] und jetzt ist [...] Level vier an der Stelle noch angetreten, mit dem Auftrag billiger zu sein als das Taxi. Das heißt, da wird dann noch weniger verdient und trotzdem ist eine sehr teure Technik an Bord [...].

**Anhang B-40:**

Wenn [...] niemand an Bord ist, ist mit Vandalismus, Verschmutzungen, diversen Sonderfällen [...] oder dieses oder jenes zu rechnen. Da kann man sich alles Mögliche ausmalen, was man nicht adressieren kann, wenn niemand im Auto ist. [...]

Der andere große Punkt bei Level vier ist immer die Frage, ‚Wo bleibe ich stehen?‘, also diese Pick-Up- und Drop-Off-Locations, PU/DU abgekürzt. Das ist etwas Kritisches, weil der Taxifahrer bleibt letztlich irgendwo stehen [...] und zwar unter Missachtung jeglicher Straßenverkehrsordnung. Er fährt einfach in eine Einfahrt rein, fährt einfach auf den Bürgersteig drauf und so weiter. [...] Das macht unser potenzielles Level-vier-Fahrzeug sicher nicht, weil es sich an Gesetze halten muss. Wo bleibt es dann genau stehen? Wo kann man gefahrlos aussteigen in so einer Mega-City? Vielleicht nicht genau da, wo der Kunde jetzt hinwill? Dadurch wird es dann auch wieder ein Stück weit uninteressant.

**Anhang B-41:**

[Bei] Level vier ist [...] die Komplexität, die der Verkehr bietet, deutlich höher und der technische Aufwand im Auto ist auch deutlich höher. Die Sensorik muss dort 360°, dreifach redundant funktionieren und das bedeutet einen riesen Datenfluss aus den Sensoren. Das bedeutet eine riesen Rechenleistung im Auto. Das bedeutet auch einen sehr hohen Energieverbrauch im Auto [...], für das Rechnen dieser Datenströme, die im Gigabit-pro-Sekunde-Bereich liegen und ausgewertet werden müssen.

**Anhang B-42:**

Wenn diese Information in einem Backend vorliegt, also irgendwo auf einem Zentralrechner, dann können diese Informationen vom Fahrzeug über verschiedene Schnittstellen abgerufen werden. Es gibt einmal die Direktkommunikation, die aber noch in den Kinderschuhen steckt und die sich vielleicht auch gar nicht so häufig anbietet. Dann gibt es [...] die [...] Backend-Kommunikation, wenn also das Fahrzeug mit dem Netzwerk kommuniziert [...] und da abfragt, welche Routen zum Beispiel freigegeben sind. Mit [...] Streckensperrungen kann man das heute auch schon machen. Für Level drei wird das auch aktiv gemacht, zum Beispiel, wenn Autobahnteilstücke nicht befahrbar sind, aufgrund von Baustellen, Unfällen und so weiter. Da sehe ich jetzt gar keinen prinzipiellen Unterschied. Das heißt, man sperrt einfach einen Streckenbereich und die Navigation findet dann eine neue Navigationsroute, weil sie die Strecke [...] als nicht befahrbar klassifiziert.

**Anhang B-43:**

Eine Schwierigkeit sehe ich jetzt [...] sehr wohl aus der Sicht des Fahrzeugherstellers: dass nämlich der [...] Baulastträger, also derjenige, der die Straße, die Straßenführung, die Befahrbarkeit und so weiter sichern muss, schon eine Herausforderung hat. Er muss [...] diese Informationen erst mal bekommen. Also es muss irgendeine Form von Sensorik geben und wenn es am Ende eine Meldestelle ist, bei der jemand anruft, dass [...] eine Unterführung überflutet ist. Das muss der irgendwie erkennen und er muss die Information in seiner [...] Verkehrsleitzentrale ‚A‘ aufnehmen, ‚B‘ bewerten und ‚C‘ anschließend wieder so aufbereiten, dass die Information für uns hilfreich ist. Also diese Kette muss vorne durchlaufen werden, durch jemand anderes, der nicht der Fahrzeughersteller ist. Unsere Aufgabe beginnt erst ab diesem Punkt. Wenn wir die Information erst einmal haben, können wir sehr leicht damit umgehen. Die Problematik liegt also glaube ich eine Stufe weiter vorne.

**Anhang B-44:**

Das Fahrzeug muss mit anderen Fahrzeugen, [...] mit der Infrastruktur, [...] mit irgendwelchen Backends [...] kommunizieren und zwar immer in beide Richtungen. Das heißt ein Fahrzeug hat eine Sensorik an Board, mit der es Dinge aufnimmt und auch Gefahren erkennt. Es muss das in ein Backend melden, andere Fahrzeuge müssen dann die Informationen abrufen können und müssen ihre Routenstrategie dann anpassen. Das heißt ein Fahrzeug ist Datennehmer und Datengeber und alles muss dann mit allem [...] vernetzt sein. Das große Problem ist, dass man sich da auf einen gemeinsamen Standard einigt. 5G oder WLAN-P sind da jetzt in Diskussion. Dann ist das Thema, wer bekommt welche Daten? Also das Thema Datenhoheit. Dann, dass das alles miteinander kompatibel sein muss. Das sind [...] Dinge, da muss man sich als Industrie Standards setzen. So wie man das irgendwann mit Tankpistolen und jetzt mit Steckern gemacht hat [...]. Das größte Problem wird sein, dass man sich auf Standards einigt.



**Anhang B-45:**

[Einen Standard] braucht man nicht. [...] Weil es [...] Provider gibt, die [...] verschiedene Standards beherrschen und uns diese Informationen zur Verfügung stellen. Das gibt es als Service und manche haben daraus ein Geschäftsmodell gemacht [...]. Dadurch ist auch nicht unbedingt eine 100-prozentige Standardisierung notwendig, die [...] immer irgendwo endet. Also spätestens an der Landesgrenze, spätestens an der Regionsgrenze [...] und auch über die Zeit gibt es neue Standards. Das heißt, natürlich wäre es am schönsten, wenn es einen einheitlichen Standard [...] gäbe. Aber das haben wir [...] bei anderen Kommunikationsthemen gesehen, das etabliert sich [...] nicht [...]. In einem Testfeld wurde das zum Beispiel versucht, da habe ich [...] mitgearbeitet, und da sieht man [...], dass [...] es dann doch wieder in tausend Einzelprobleme zerfällt und sich im Detail [...] wieder Eigeninitiativen durchsetzen. [...] Provider [...] schalten sich dazwischen, holen sich aus verschiedensten Quellen die Informationen, von der Schilderbrücke bis zu vielleicht diesen Überflutungsinformationen [...], machen daraus ein Geschäftsmodell und stellen das einheitlich auf einer Schnittstelle [...] zur Verfügung. Man zahlt dann [...] für die Information und für die Bereitstellung [...]. Solche Angebote gibt es, ob sich das jetzt durchsetzt ist unklar, aber ich halte es auf alle Fälle für etwas, was zumindest diese Standardisierung etwas entschärft [...].

**Anhang B-46:**

Und dann wird das Datenmanagement ein großes Problem sein [...]. Da fallen extrem viele Daten an. Wie werden die Daten modelliert? Wie werden sie verteilt? Wie werden auf Basis dieser Daten Entscheidungen getroffen? [...]

Das ist anspruchsvoller als man glaubt [...] und das ist auch der Punkt, wo ich glaube, die Automobilindustrie muss da mit großen Datenfirmen, die mit großen Datenmengen in ihrer Verarbeitung Erfahrung haben, zusammenarbeiten.

**Anhang B-47:**

Also, wenn man sich anguckt, wie in manchen Ecken [...] das Handynetz ausgebaut ist und wenn die mit dem gleichen Elan 5G ausbauen, dann wird das auf weiten Strecken nichts mit der V2X-Kommunikation [...]. Das WLAN-P ist halt ein anderer Standard. [...] Erstens gibt es einmal die Hemmnisse und die Bedenken beim 5G-Netzausbau. Dann die Frage, wie weit reicht dieses WLAN-P? Ist das irgendwie schneller ausgebaut? Was sind die Daten, die da durchgehen? Da kenne ich mich nicht aus. Wichtig ist nur, dass man sich auf einen Standard einigt und [...] dass man das Netz ausbaut. [...] Das wird auch ein Hemmnis werden glaube ich, also der Netzausbau.

Das heißt, das eine ist: Ist es sinnvoll? Zahlt jemand was dafür? Brauche ich das um irgendetwas zu machen? Das andere ist: Habe ich überhaupt die Infrastruktur? Das ist wie der Spurhalteassistent in manchen Fahrzeugen. Manche Länder haben keine Fahrbahnmarkierungen, da ist der beste Spurhalteassistent nichts wert, weil wo nichts da ist, kann ich nichts regeln. So wird es auch mit diesen notwendigen Technologien sein.

**Anhang B-48:**

*[Man] kann erkennen, ob sich Wetterbedingungen lokal irgendwo zuspitzen und man könnte das natürlich auch hinaus kommunizieren. Wir sind sozusagen ständig mit einem Backend irgendwo in Verbindung [...]. Dort kann das dann ausgewertet werden und kann über Backend-Backend-Kommunikation vielleicht an ein anderes Backend, zum Beispiel das des Straßennetzbetreibers, gemeldet werden. Allerdings sind das natürlich alles Kosten, die da entstehen und da ist die Frage, ob das irgendwie auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Denn man darf das nicht unterschätzen, diese Kommunikation ist für den Einzelnen, der mit dem Handy arbeitet, oft sehr preiswert. [...] Aber, wenn man ganze Flotten ausrüstet, die im Prinzip 24 Stunden am Tag mit dem Internet eine Verbindung haben müssen und auch noch mit einer hohen Verfügbarkeit, Security und was da sonst noch dranhängt, dann wird das auch nicht so billig. Dann kann auch jede Datennutzung, die man mehr darüber versendet, wieder teurer werden. Also man möchte sich da jetzt nicht ohne Notwendigkeit in [...] Meldeverpflichtungen reinbegeben, es sei denn, es gibt auch einen gewissen Gegenvorteil dafür.*

**Anhang B-49:**

*Wir können mit den Sensoren erkennen, wenn sich Wetterbedingungen schlechter darstellen, [...] zum Beispiel starker Regen [...], weil wir dann [...] die Automatisierung einschränken müssen. [Die Systeme] funktionieren [...] bei hervorragendem Wetter und [...] leichten Wettereinschränkungen, aber es gibt [...] Grenzfälle, bei denen man sagt, ‚da kann ich [...] selbst als Mensch nicht mehr sicher fahren‘ und dann ist auch beim automatisierten Fahren eine Grenze erreicht.*

**Anhang B-50:**

*Ich muss aber [...] sagen, eines werden wir nicht erkennen können mit der Sensorik, die heute verfügbar ist: [...] wirkliche Überflutungen. Es gibt keinen Sensor, der sagen kann wie hoch die Wassertiefe [...] ist. Wir können [...] sagen, es regnet stark und die Sichtweite ist eingeschränkt. Wir können Schnee und so weiter [...] sehen, aber wenn ich [...] eine Überflutung in einer Unterführung [...] habe, kann ich nicht einschätzen auf Grundlage dessen, was die Kamera da sieht, wie hoch das Wasser da drinsteht. Also da müssen wir [...] wesentlich früher die Automatisierung abschalten, wenn wir in Gebiete fahren, wo das potentiell vorkommen könnte. Vielleicht muss man der Karte auch potenziell überflutbare Gebiete hinzufügen, bei denen man weiß, dass dort Senken existieren, die häufiger mal überflutet sind, also alle 10 Jahre oder häufiger. So, dass diese dann [...] speziell getagt werden, sodass man die bei extremeren Wettersituationen auf keinen Fall mehr durchfährt oder für die Automatisierung sperrt. Da kann der Fahrer natürlich immer noch mit manueller Fahrt durchfahren. [...] Aber, wenn wir verantwortlich sind, ab Level drei ist ja der OEM [...] für die Handlung des Fahrzeugs verantwortlich, glaube ich, können wir momentan mit keinem Stand der Technik feststellen, wie tief eine Fahrbahn überflutet ist und ob man noch durchfahren kann oder nicht. Und ich glaube auch der Mensch hat da Schwierigkeiten, das einzuschätzen. Da hat selbst ein erfahrener Autofahrer keine Chance [...]. Deswegen ist das für Sensoren absolut außerhalb der Reichweite [...]. Da würde ich nicht vor 2035/2040 sagen, dass so etwas zuverlässig funktioniert. Ich rede auch nicht von Sensoren, die das ab und zu vielleicht [...] können. Es kann schon sein, dass im Forschungsniveau so etwas mit vielleicht 80 Prozent erkannt werden kann, aber reicht das dann? Für die Automatisierung brauchen wir sehr, sehr zuverlässige Informationen, um Risiken sicher zu vermeiden. Und deswegen sind dann Sensoren, die das auch mal erkennen können, nicht geeignet, [...] weil es hier vielleicht auch um Menschenleben geht. Und da sehe ich momentan gar keine Technologie.*

**Anhang B-51:**

*[Porsche hat] so einen Wet Mode. Aquaplaning Detection haben [die] schon geplant oder schon im Angebot [...]. Und zwar sind das [...] Ultraschallsensoren, die in den Radkästen verbaut sind. Das kann man sich wie ein Mikrofon vorstellen, das die Tröpfchen, die dann an die Innenseite der Radkästen schlagen, misst und dann von der Art und Weise und von der Frequenz her umrechnen kann, wie hoch das Wasser ist und dann [wegen] Aquaplaning-Gefahr [...] Fahrwerksysteme runterregelt, so, dass man ein bisschen sicherer fährt [...] und nicht von der Straße fliegt.*

*Das ist jetzt ein ganz, ganz primitiver Sensor. So ein Aquaplaning-Sensor. Diese Informationen könnte man aber an die nachfolgenden Fahrzeuge mit einem GPS-Tag weiterleiten. ‚Vorsicht hier ist eine größere Pfütze auf der Fahrbahn.‘*

**Anhang B-52:**

*Ich tue mir auch bei den ‚Chancen und Risiken‘ ein bisschen schwer, denn ich glaube, man muss es differenzierter betrachten. Also woran ich spontan denken musste ist Singapur. Wenn Sie sich die Ergebnisse dort ansehen, das ist praktisch eine sehr dezidierte Strecke und tatsächlich politisch stark gefördert und gewollt. Da sieht man schon, dass es sich mehr oder weniger durchsetzt. Es ist jetzt noch kein Standard, aber es setzt sich durch – unter sehr spezifischen Randbedingungen. Wenn ich die betrachte, dann kann ich wahrscheinlich Chancen und Risiken [...] besser darstellen.*

*Ich glaube, wenn man eher den Individualverkehr betrachtet, also unseren Zugang, dann stellen sich [...] andere Chancen und Risiken dar. Deshalb ist es so schwer, so etwas gegenüberzustellen. Ich glaube auch, wir werden eher [...] davon weggehen müssen, [...] dass es [...] einen Ansatz gibt, der sich global, weltweit durchsetzt. Ich glaube eher, dass das differenzierter passiert [...].*

**Anhang B-53:**

*Im städtischen wird ganz klar Shared Autonomy eingesetzt, das ist so. Die Menschen haben dort keine Garagen und haben auch gar keine Lust mehr auf eigene Autos, weil das viel zu viel Kapital bindet. Im ländlichen Bereich ist, glaube ich, der Hang und der Zug zum Auto noch höher, das heißt, da wird es eher in Richtung Owned Autonomy gehen.*

*Ich glaube aber auch, dass im städtischen Bereich [...] eher die technologieaffineren Menschen sind, wobei man im Bereich des ländlichen [...] häufiger auf die Autobahnen muss. Ich würde es deshalb weniger in diese Kategorien ländlich und städtisch unterscheiden, sondern ich würde eher in Use Cases denken. Der Mensch, der in einem ländlichen Bereich wohnt, aber häufige Dienstreisen hat, der wird sich [...] eher zu einem autonomen Fahrzeug hinreißen lassen, als jemand der im städtischen Bereich ist und überhaupt [...] keine größeren Transport Use Cases hat. [...] Das heißt ich würde es eher Use-Case-abhängig machen und weniger von der Verortung.*

**Anhang B-54:**

Im Moment ist das [...] relativ einfach, da ist die Rückfallebene immer noch der Mensch, das System lässt sich aktivieren oder nicht aktivieren und der Kunde ist [...] in der Verantwortung. Er kann es auch übersteuern. Schwieriger wird es, wenn das Fahrzeug alles regelt und da ist noch nicht einmal Level drei das große Problem, denn da ist die Rückfallebene immer noch der Mensch, der dann innerhalb von 20 bis 30 Sekunden eingreifen muss. Aber wenn die Rückfallebene die Maschine ist, wenn irgendetwas versagt, dann wird die Maschine zu einem selbstständigen Entscheidungsträger, also zu einem Träger von moralischer Verantwortung. Da gab es mal einen schönen Aufsatz, [...] der sich damit beschäftigt hat, dass wir uns daran gewöhnen müssen, dass es diesen krassen Fall gibt: ‚Ziehe ich das Auto im Notfall nach rechts und fahre eine alte Oma um oder nach links und treffe die Mutter mit dem Kinderwagen?‘ Wenn ein Mensch solche Entscheidungen macht, kann man es ‚menschliches Versagen‘ nennen, aber ob wir als Gesellschaft Maschinen akzeptieren [...], die moralische Entscheidungen treffen, [...] wird [...] gesellschaftlich ein großes Problem werden und für uns als Industrie auch eine Haftungsfrage. Wenn mit so einem Fahrzeug etwas passiert, ist der Hersteller in der Verantwortung. Deshalb gibt es [...] Black Boxes oder Assistenzmonitorspeicher, in denen man [...] die kompletten Sensordaten aufzeichnet und auch die Aktionen, die darauf gefahren wurden, falls es irgendwann einmal zu einem Crash kommt oder zu einer Verhandlung.

## Anhang C Stichprobenzusammensetzung

**Anhang C-1:** Personeneigenschaften der zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens befragten Personen

Kenngröße	Onlinefragebögen		fahrtbegleitende Erhebung	
	HOAF	TOAF	HFAF	TFAF
Personenstichprobe	54	797	149	60
Personengruppe				
in Schulbildung	1,9 %	0,4 %	5,4 %	3,3 %
in Ausbildung	0,0 %	0,8 %	0,7 %	0,0 %
im Studium	9,3 %	8,0 %	2,0 %	5,0 %
Berufstätig	75,9 %	66,2 %	47,0 %	65,0 %
zurzeit nicht berufstätig	7,4 %	4,3 %	0,0 %	1,7 %
im Ruhestand	5,6 %	18,9 %	45,0 %	25,0 %
Sonstige	0,0 %	1,4 %	0,0 %	0,0 %
Geschlecht				
männlich	72,2 %	53,8 %	48,3 %	53,3 %
weiblich	27,8 %	46,0 %	51,7 %	46,7 %
divers	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %
Altersklassen				
unter 30 Jahre	13,0 %	14,4 %	9,4 %	15,0 %
30 bis 44 Jahre	40,7 %	21,6 %	13,4 %	26,7 %
45 bis 59 Jahre	35,2 %	35,6 %	24,8 %	33,3 %
60 Jahre und älter	11,1 %	28,4 %	52,3 %	25,0 %
Mobilitätseinschränkung	1,9 %		2,7 %	0,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-2:** Wohnort der zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens befragten Personen

Kenngröße	Onlinefragebögen		fahrtbegleitende Erhebung	
	HOAF	TOAF	HFAF	TFAF
Personenstichprobe	54	797	149	60
Einwohnerzahl des Wohnortes <sup>a</sup>				
unter 5.000	8,2 %	19,2 %	5,6 %	18,2 %
5.000 bis 19.999	10,2 %	41,4 %	23,2 %	58,2 %
20.000 bis 99.999	73,5 %	22,4 %	48,6 %	5,5 %
100.000 bis 499.000	8,2 %	16,6 %	11,3 %	18,2 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,4 %	11,3 %	0,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Vereinfachend wird die Einwohnerzahl der größten Gemeinde in der Postleitzahlregion einer Person angegeben.

**Anhang C-3:** Mobilitätsausstattung der zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens befragten Personen

Kenngröße	Onlinefragebögen		fahrtbegleitende Erhebung	
	HOAF	TOAF	HFAF	TFAF
Personenstichprobe	54	797	149	60
Führerscheinbesitz	100,0 %	93,2 %	93,3 %	96,7 %
Pkw-Verfügbarkeit	92,6 %	85,9 %	87,2 %	96,7 %
Zeitkartenbesitz	16,7 %	21,1 % <sup>a</sup>	16,1 %	13,3 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Zusätzlich haben sechs Prozent der befragten angegeben, dass sie keine Zeitkarte besitzen, da in Luxemburg der ÖPNV kostenlos ist.

**Anhang C-4:** Personeneigenschaften der zur Nutzung (automatisierter und) individualisierter Mobilitätsdienstleistungen befragten Personen

Kenngröße	Vorabbefragung der Fahrgäste im Testbetrieb	Onlinefragebogen	Workshop-Konzept
	HFIM	TOIM	WAIM
Personenstichprobe	77	150	261
Personengruppe			
in Schulbildung	13,0 %	0,7 %	30,7 %
in Ausbildung	1,3 %	0,0 %	16,1 %
im Studium	2,6 %	36,0 %	26,1 %
Berufstätig	61,0 %	60,7 %	13,0 %
zurzeit nicht berufstätig	1,3 %	0,0 %	0,0 %
im Ruhestand	20,8 %	2,0 %	14,2 %
Sonstige	0,0 %	0,7 %	0,0 %
Geschlecht			
Männlich	58,1 %	48,0 %	45,2 %
Weiblich	41,9 %	52,0 %	54,8 %
Divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Altersklassen			
unter 30 Jahre	26,0 %	50,0 %	73,9 %
30 bis 44 Jahre	11,7 %	26,0 %	5,7 %
45 bis 59 Jahre	37,6 %	19,3 %	5,7 %
60 Jahre und älter	24,7 %	4,7 %	14,6 %
Mobilitätseinschränkung			8,4 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-5:** Wohnort der zur Nutzung (automatisierter und) individualisierter Mobilitätsdienstleistungen befragten Personen

Kenngröße	Vorabbefragung der Fahrgäste im Testbetrieb	Onlinefragebogen	Workshop-Konzept
	HFIM	TOIM	WAIM
Personenstichprobe	77	150	261
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion			
unter 5.000		21,1 %	31,1 %
5.000 bis 19.999		11,6 %	28,7 %
20.000 bis 99.999	100 % <sup>a</sup>	61,9 %	30,3 %
100.000 bis 499.000		5,4 %	9,8 %
500.000 oder mehr		0,0 %	0,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Da nur Einwohner und Einwohnerinnen aus dem Ortsteil Hambach der kreisfreien Stadt Neustadt an der Weinstraße befragt wurden, kann angenommen werden, dass alle Stichprobenpersonen in einer Postleitzahlregion mit dieser maximalen Einwohnerzahl sesshaft sind.

**Anhang C-6:** Mobilitätsausstattung der zur Nutzung (automatisierter und) individualisierter Mobilitätsdienstleistungen befragten Personen

Kenngröße	Vorabbefragung der Fahrgäste im Testbetrieb	Onlinefragebogen	Workshop-Konzept
	HFIM	TOIM	WAIM
Personenstichprobe	77	150	261
Führerscheinbesitz	79,2 %	96,7 %	
Pkw-Verfügbarkeit	72,7 %	80,0%	52,1 %
Zeitkartenbesitz	11,7 %	57,3 % <sup>a</sup>	64,4 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Zusätzlich haben zwei Prozent der befragten angegeben, dass sie keine Zeitkarte besitzen, da in Luxemburg der ÖPNV kostenlos ist.



**Anhang C-7: Protokollierte Wege aus dem Testbetrieb**

Kenngröße	Buchungsdaten		fahrtbegleitende Erhebung	
	HFIM		HFIM	TFAF
Gesamtstichprobe	3.285			413
Auswertungsstichprobe	2.255		120	207
Anteile an Gesamtstichprobe				
Wegeprotokolle dauerhaft nutzender Personen				86,2 %
Pooling-Zeitraum <sup>a</sup>	70,5 %			
Wiederholungsbuchungen <sup>b</sup>	17,5 %			
erfolgreiche Buchungen <sup>c</sup>	65,8 %			
Anteil an Auswertungsstichprobe				
Wegeprotokolle dauerhaft nutzender Personen				78,7 %
Pooling-Zeitraum <sup>a</sup>	70,9 %		31,7 %	
Wiederholungsbuchungen <sup>b</sup>	22,4 %			
erfolgreiche Buchungen <sup>c</sup>	64,1 %			

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile unberücksichtigt.

<sup>a</sup> Der gesamte Testzeitraum im Forschungsprojekt Hambach-Shuttle ging vom 15. Juli 2019 bis zum 5. Oktober 2019. Der Zeitraum in dem eine Bündelung von Fahrten (Pooling) durchgeführt wurde ging vom 12. August 2019 bis zum 5. Oktober 2019. Es werden nur die Anteile an den erfolgreichen Buchungen berücksichtigt.

<sup>b</sup> Wiederholungsbuchungen sind Buchungsanfragen, die innerhalb eines fünf-Minuten-Intervalls vom selben Account gestellt wurden und identische Start-, Ziel- und Abfahrtszeitpunkte hatten.

<sup>c</sup> Bezogen auf die Anzahl ohne erfolglose Wiederholungsbuchungen.

**Anhang C-8:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Schüler und Schülerinnen

Kenngröße	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3 (Luxemburg)
Anzahl angemeldeter Personen	14	24	51
Geschlecht			
männlich	35,7 %	21,7 %	32,0 %
weiblich	64,3 %	78,3 %	68,0 %
divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	17,5 Jahre	15,0 Jahre	16,1 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion			
unter 5.000	0,0 %	37,5 %	85,7 %
5.000 bis 19.999	100,0 %	58,3 %	11,9 %
20.000 bis 99.999	0,0 %	4,2 %	0,0 %
100.000 bis 499.000	0,0 %	0,0 %	2,4 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	92,9 %	12,5 %	8,0 %
mit Zeitkarten-Besitz	50,0 %	69,6 %	88,2 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-9:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Auszubildenden

Kenngröße	Workshop 1	Workshop 2
Anzahl angemeldeter Personen	17	20
Geschlecht		
männlich	58,8 %	65,0 %
weiblich	41,2 %	35,0 %
divers	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	20,0 Jahre	20,9 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion		
unter 5.000	58,8 %	65,0 %
5.000 bis 19.999	23,5 %	25,0 %
20.000 bis 99.999	17,6 %	10,0 %
100.000 bis 499.000	0,0 %	0,0 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	70,6 %	80,0 %
mit Zeitkarten-Besitz	35,3 %	25,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-10:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Studierenden

KenngroÙe	Workshop 1	Workshop 2	Workshop 3 (digital)	Workshop 4 (digital)
Anzahl angemeldeter Personen	27	13	22	16
Geschlecht				
männlich	53,8 %	33,3 %	47,6 %	37,5 %
weiblich	46,2 %	66,7 %	52,4 %	62,5 %
divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	21,6 Jahre	22,9 Jahre	24,8 Jahre	24,8 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion				
unter 5.000	14,8 %	15,4 %	14,3 %	18,8 %
5.000 bis 19.999	40,7 %	0,0 %	14,3 %	25,0 %
20.000 bis 99.999	7,4 %	84,6 %	61,9 %	50,0 %
100.000 bis 499.000	37,0 %	0,0 %	9,5 %	6,3 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	88,9 %	53,8 %	85,7 %	93,3 %
mit Zeitkarten-Besitz	96,3 %	100,0 %	100,0 %	93,3 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-11:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Berufstätigen

Kenngroße	Workshop 1 (digital)	Workshop 2 (digital)	Workshop 3 (digital)	Gesamt (alle Workshops)
Anzahl angemeldeter Personen	3	8	4	15
Geschlecht				
männlich	33,3 %	50,0 %	33,3 %	42,9 %
weiblich	66,7 %	50,0 %	66,7 %	57,1 %
divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	46,0 Jahre	38,1 Jahre	41,5 Jahre	40,6 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion				
unter 5.000	0,0 %	12,5 %	25,0 %	13,3 %
5.000 bis 19.999	33,3 %	25,0 %	0,0 %	20,0 %
20.000 bis 99.999	66,7 %	62,5 %	50,0 %	60,0 %
100.000 bis 499.000	0,0 %	0,0 %	25,0 %	6,7 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	50,0 %	87,5 %	100,0 %	85,7 %
mit Zeitkarten-Besitz	33,3 %	12,5 %	25,0 %	20,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-12:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Personen im Ruhestand

KenngroÙe	Workshop 1 (nur Diskussion)	Workshop 2 (digital)	Workshop 3 (digital)	Gesamt (alle Workshops)
Anzahl angemeldeter Personen	33	5	10	48
Geschlecht				
männlich	75,8 %	100,0 %	30,0 %	68,8 %
weiblich	24,2 %	0,0 %	70,0 %	31,3 %
divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	84,8 Jahre	72,3 Jahre	73,1 Jahre	81,3 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion				
unter 5.000	0,0 %	20,0 %	20,0 %	6,3 %
5.000 bis 19.999	0,0 %	20,0 %	20,0 %	8,3 %
20.000 bis 99.999	100,0 %	40,0 %	10,0 %	75,0 %
100.000 bis 499.000	0,0 %	0,0 %	50,0 %	10,4 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	18,8 %	100,0 %	100,0 %	44,7 %
mit Zeitkarten-Besitz	25,0 %	0,0 %	0,0 %	17,0 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

**Anhang C-13:** Soziodemographische Eigenschaften und Mobilitätsausstattung der am Workshop teilnehmenden Personen mit Mobilitätseinschränkungen

Kenngröße	Workshop 1	Workshop 2	Gesamt (alle Workshops)
Anzahl angemeldeter Personen	14	8	22
Geschlecht			
männlich	42,9 %	50,0 %	45,5 %
weiblich	57,1 %	50,0 %	54,5 %
divers	0,0 %	0,0 %	0,0 %
durchschnittliches Alter	42,1 Jahre	48,3 Jahre	44,3 Jahre
Einwohnerzahl der größten Gemeinde der Postleitzahlregion			
unter 5.000	7,1 %	25,0 %	13,6 %
5.000 bis 19.999	14,3 %	75,0 %	36,4 %
20.000 bis 99.999	21,4 %	0,0 %	13,6 %
100.000 bis 499.000	57,1 %	0,0 %	36,4 %
500.000 oder mehr	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mit Pkw-Verfügbarkeit	7,1 %	12,5 %	9,1 %
mit Zeitkarten-Besitz	92,9 %	50,0 %	77,3 %

*Anmerkung:* Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Anteile und des Mittelwertes unberücksichtigt.

## Anhang D Faktoren- und Clusteranalyse zur Technologieakzeptanz

### Anhang D-1: Measure of Sampling Adequacy der Items zur Erhebung der Technologieakzeptanz

Nr.	Statement	MSA
Item 1	Der Einsatz von selbstfahrenden Shuttles sichert die Mobilität im ländlichen Raum.	0,95
Item 2	Selbstfahrende Shuttles können ein wichtiger Bestandteil des existierenden ÖPNV-Systems werden.	0,95
Item 3	Von selbstfahrenden Shuttles erhoffe ich mir zukünftig ein besseres ÖPNV-Angebot.	0,95
Item 4	Selbstfahrende Shuttles sind besonders für Personen mit begrenzter Mobilität (durch Behinderung oder altersbedingt) vorteilhaft.	0,95
Item 5	Ich denke einen selbstfahrenden Shuttle für mein tägliches Pendeln zu nutzen wäre besser als das Verkehrsmittel das ich derzeit verwende.	0,95
Item 6	Selbstfahrende Shuttles sind dann interessant, wenn sie auf Abruf zu bestellen sind.	0,95
Item 7	Selbstfahrende elektrische Shuttles sind umweltfreundlicher als herkömmliche Busse.	0,95
Item 8	Selbstfahrende Shuttles sind vermutlich billiger als andere Verkehrsmittel.	0,95
Item 9	Einen selbstfahrenden Shuttle zu benutzen ist genauso einfach wie andere ÖPNV-Angebote.	0,95
Item 10	Ich gebe ein positives Image ab, wenn ich ein innovatives Verkehrsmittel wie einen selbstfahrenden Shuttle benutze.	0,94
Item 11	Ich bin nicht skeptisch, wie zuverlässig selbstfahrende Shuttles in unvorhergesehenen Situationen reagieren. <sup>a</sup>	0,94
Item 12	Selbstfahrende Shuttles erhöhen die Sicherheit im Verkehr.	0,96
Item 13	Ich habe keine Angst vor Hackerangriffen, die den selbstfahrenden Shuttle beeinträchtigen könnten. <sup>a</sup>	0,96
Item 14	Ich bin nicht besorgt darüber, dass selbstfahrende Shuttles auf öffentlichen Straßen getestet werden. <sup>a</sup>	0,96
Item 15	Mir ist nicht unwohl bei dem Gedanken, einen selbstfahrenden Shuttle ohne Fahrbegleiter nachts zu nutzen. <sup>a</sup>	0,91
Item 16	Ich stelle mir die Fahrt mit einem selbstfahrenden Shuttle genauso angenehm vor wie bei einem herkömmlichen Bus.	0,93
Item 17	Ein Fahrer muss nicht immer als Rückfalllösung für das System da sein. <sup>a</sup>	0,86
Item 18	Ich finde, vollständig selbstfahrende öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Straßenbahn, etc.) dürfen auch schneller als 40 km/h fahren. <sup>a</sup>	0,86
Item 19	Selbstfahrende Shuttles sind nicht mit dem Abbau von Arbeitsplätzen verbunden. <sup>a</sup>	0,91
Item 20	Selbstfahrende Shuttles hier in der Region anzubieten ist sicherlich gut für das Image der Region.	0,94

Anmerkung: Measure of Sampling Adequacy (MSA).

<sup>a</sup> Negativ gepolte Items wurden für die Analyse umgepolt und hier entsprechend umformuliert.



## Anhang D-2: Interkorrelation der Items zur Erhebung der Technologieakzeptanz

Item	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
1	3,32	1,43																					
2	3,78	1,25	<b>,53</b>																				
3	3,78	1,29	<b>,54</b>	<b>,66</b>																			
4	3,35	1,37	<b>,47</b>	<b>,40</b>	<b>,45</b>																		
5	2,63	1,42	<b>,36</b>	<b>,43</b>	<b>,42</b>	<b>,30</b>																	
6	3,71	1,28	<b>,35</b>	<b>,40</b>	<b>,41</b>	<b>,28</b>	<b>,29</b>																
7	3,48	1,34	<b>,39</b>	<b>,42</b>	<b>,47</b>	<b>,32</b>	<b>,33</b>	<b>,33</b>															
8	2,75	1,26	<b>,40</b>	<b>,34</b>	<b>,36</b>	<b>,31</b>	<b>,33</b>	<b>,24</b>	<b>,30</b>														
9	3,72	1,25	<b>,43</b>	<b>,54</b>	<b>,45</b>	<b>,29</b>	<b>,27</b>	<b>,31</b>	<b>,34</b>	<b>,28</b>													
10	3,14	1,34	<b>,49</b>	<b>,55</b>	<b>,42</b>	<b>,47</b>	<b>,47</b>	<b>,34</b>	<b>,46</b>	<b>,28</b>	<b>,41</b>												
11	2,61	1,29	<b>,20</b>	<b>,30</b>	<b>,25</b>	<b>,14</b>	<b>,19</b>	<b>,04</b>	<b>,18</b>	<b>,13</b>	<b>,19</b>	<b>,32</b>											
12	3,14	1,29	<b>,46</b>	<b>,57</b>	<b>,35</b>	<b>,38</b>	<b>,33</b>	<b>,39</b>	<b>,39</b>	<b>,31</b>	<b>,44</b>	<b>,51</b>	<b>,37</b>										
13	3,06	1,38	<b>,20</b>	<b>,21</b>	<b>,18</b>	<b>,09</b>	<b>,13</b>	<b>,01</b>	<b>,15</b>	<b>,05</b>	<b>,17</b>	<b>,20</b>	<b>,35</b>	<b>,23</b>									
14	3,38	1,44	<b>,22</b>	<b>,37</b>	<b>,32</b>	<b>,12</b>	<b>,16</b>	<b>,16</b>	<b>,22</b>	<b>,12</b>	<b>,29</b>	<b>,24</b>	<b>,37</b>	<b>,32</b>	<b>,33</b>								
15	2,88	1,50	<b>,30</b>	<b>,37</b>	<b>,30</b>	<b>,20</b>	<b>,23</b>	<b>,15</b>	<b>,14</b>	<b>,20</b>	<b>,33</b>	<b>,25</b>	<b>,42</b>	<b>,33</b>	<b>,32</b>	<b>,38</b>							
16	3,86	1,27	<b>,42</b>	<b>,61</b>	<b>,53</b>	<b>,36</b>	<b>,34</b>	<b>,30</b>	<b>,38</b>	<b>,27</b>	<b>,59</b>	<b>,44</b>	<b>,25</b>	<b>,53</b>	<b>,17</b>	<b>,27</b>	<b>,36</b>						
17	2,46	1,43	<b>,18</b>	<b>,29</b>	<b>,21</b>	<b>,06</b>	<b>,20</b>	<b>,12</b>	<b>,09</b>	<b>,20</b>	<b>,25</b>	<b>,19</b>	<b>,43</b>	<b>,27</b>	<b>,35</b>	<b>,48</b>	<b>,57</b>	<b>,25</b>					
18	3,14	1,43	<b>,13</b>	<b>,22</b>	<b>,17</b>	<b>,03</b>	<b>,08</b>	<b>,03</b>	<b>,03</b>	<b>,10</b>	<b>,25</b>	<b>,10</b>	<b>,33</b>	<b>,22</b>	<b>,37</b>	<b>,39</b>	<b>,45</b>	<b>,24</b>	<b>,48</b>				
19	2,65	1,40	<b>,14</b>	<b>,23</b>	<b>,20</b>	<b>,12</b>	<b>,16</b>	<b>,09</b>	<b>,14</b>	<b>,06</b>	<b>,11</b>	<b>,19</b>	<b>,30</b>	<b>,19</b>	<b>,28</b>	<b>,36</b>	<b>,25</b>	<b>,17</b>	<b>,28</b>	<b>,29</b>			
20	3,74	1,31	<b>,50</b>	<b>,58</b>	<b>,43</b>	<b>,44</b>	<b>,44</b>	<b>,41</b>	<b>,43</b>	<b>,32</b>	<b>,50</b>	<b>,56</b>	<b>,21</b>	<b>,45</b>	<b>,12</b>	<b>,28</b>	<b>,27</b>	<b>,57</b>	<b>,24</b>	<b>,18</b>	<b>,17</b>		

Anmerkung: Gesamtstichprobe N = 475 vollständig beantwortete Item-Batterien aus der TOAF-Erhebung. Negativ gepolte Items wurden für die Analyse umgepolt. \* entspricht einem p-Wert < 0,05 und \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wurden Rangkorrelationen nach Spearman berechnet. Korrelationskoeffizienten > ,50 und mit einem p-Wert < 0,05 wurden fett markiert.



—●— Eigenwerte PCA —○— Eigenwerte PAF ..... KG-Kriterium --- Parallel PCA -.- Parallel PAF

**Anhang D-3:** Bestimmung der Faktor- bzw. Hauptkomponentenanzahl

**Anhang D-4:** Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation

Variable	Hauptkomponenten		Kommunalität
	Komponente 1	Komponente 2	
Komponente 1: „Wahrgenommene Wirkung“			
Item 3	<b>0,81</b>	-0,19	0,69
Item 2	<b>0,77</b>	-0,27	0,67
Item 20	<b>0,77</b>	-0,16	0,62
Item 10	<b>0,73</b>	-0,18	0,56
Item 1	<b>0,71</b>	-0,14	0,52
Item 16	<b>0,70</b>	-0,25	0,55
Item 12	<b>0,67</b>	-0,32	0,55
Item 7	<b>0,66</b>	-0,06	0,44
Item 6	<b>0,64</b>	0,03	0,41
Item 9	<b>0,63</b>	-0,22	0,44
Item 4	<b>0,63</b>	0,00	0,40
Item 5	0,59	-0,12	0,36
Item 8	0,53	-0,07	0,28
Komponente 2: „Befürchtungen“			
Item 17	-0,11	<b>0,76</b>	0,59
Item 18	-0,02	<b>0,73</b>	0,53
Item 15	-0,25	<b>0,68</b>	0,53
Item 11	-0,17	<b>0,66</b>	0,46
Item 14	-0,22	<b>0,65</b>	0,48
Item 13	-0,07	<b>0,62</b>	0,39
Item 19	-0,10	0,53	0,29
Eigenwert	6,23	3,52	
erklärter Varianzanteil	31,2 %	17,6 %	

*Anmerkung:* Die Items sind nach Faktorzugehörigkeit und Faktorladung absteigend geordnet. Faktorladungen > 0,60 sind fett markiert.

**Anhang D-5:** Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse mit Promax-Rotation

Variable	Hauptkomponenten		Kommunalität
	Komponente 1	Komponente 1	
Komponente 1: „Wahrgenommene Wirkung“			
Item 3	<b>0,83</b>	-0,01	0,69
Item 20	<b>0,79</b>	0,00	0,62
Item 2	<b>0,78</b>	-0,10	0,67
Item 10	<b>0,74</b>	-0,02	0,56
Item 1	<b>0,72</b>	0,01	0,52
Item 16	<b>0,70</b>	-0,10	0,55
Item 7	<b>0,69</b>	0,09	0,44
Item 6	<b>0,68</b>	0,18	0,41
Item 4	<b>0,67</b>	0,14	0,40
Item 12	<b>0,65</b>	-0,18	0,55
Item 9	<b>0,63</b>	-0,09	0,44
Item 5	<b>0,61</b>	0,01	0,36
Item 8	0,55	0,04	0,28
Komponente 2: „Befürchtungen“			
Item 17	0,02	<b>0,78</b>	0,59
Item 18	0,11	<b>0,76</b>	0,53
Item 15	-0,15	<b>0,66</b>	0,53
Item 11	-0,06	<b>0,65</b>	0,46
Item 14	-0,12	<b>0,63</b>	0,48
Item 13	0,03	<b>0,64</b>	0,39
Item 19	-0,02	0,53	0,29
Eigenwert	6,45	3,31	
erklärter Varianzanteil	32,2 %	16,5 %	

*Anmerkung:* Die Items sind nach Faktorzugehörigkeit und Faktorladung absteigend geordnet. Faktorladungen > 0,60 sind fett markiert. Die Promax-Rotation ergab eine mittlere Korrelation von -0,37.

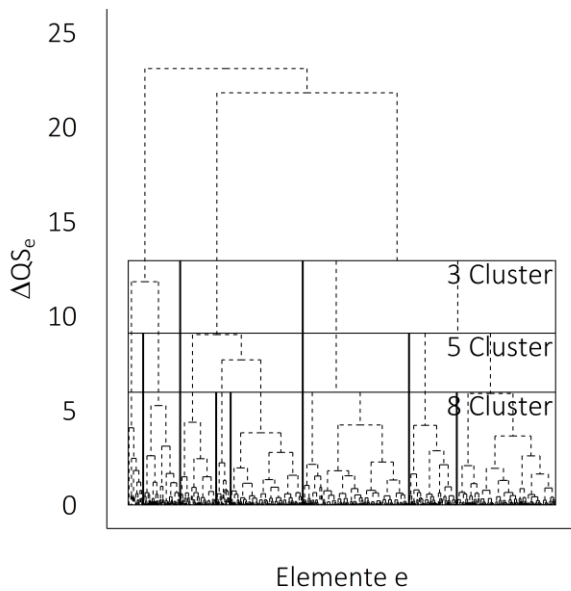
**Anhang D-6:** Ergebnisse der Hauptachsenanalyse mit Promax-Rotation

Variable	Faktorladung		Kommunalität
	Faktor 1	Faktor 2	
Faktor 1: „Wahrgenommene Wirkung“			
Item 3	<b>0,82</b>	0,00	0,68
Item 20	<b>0,77</b>	0,00	0,59
Item 2	<b>0,76</b>	-0,10	0,66
Item 10	<b>0,71</b>	-0,02	0,52
Item 1	<b>0,69</b>	0,00	0,47
Item 16	<b>0,66</b>	-0,10	0,51
Item 7	<b>0,65</b>	0,07	0,39
Item 6	<b>0,63</b>	0,14	0,34
Item 4	<b>0,62</b>	0,11	0,34
Item 12	<b>0,62</b>	-0,18	0,51
Item 9	0,58	-0,10	0,40
Item 5	0,56	-0,01	0,31
Item 8	0,49	0,01	0,23
Faktor 2: „Befürchtungen“			
Item 17	0,07	<b>0,77</b>	0,54
Item 18	0,14	<b>0,71</b>	0,44
Item 15	-0,10	<b>0,63</b>	0,47
Item 11	-0,04	0,59	0,37
Item 14	-0,09	0,58	0,40
Item 13	0,04	0,55	0,28
Item 19	-0,02	0,44	0,20
Eigenwert	5,83	2,82	
erklärter Varianzanteil	29,1 %	14,1 %	

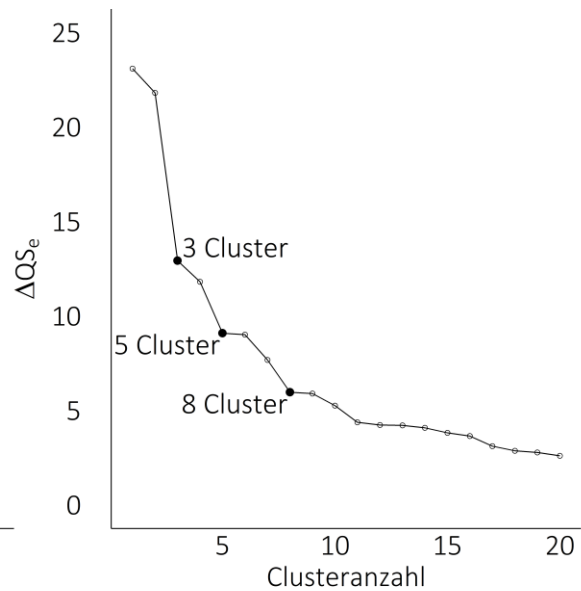
*Anmerkung:* Die Items sind nach Faktorzugehörigkeit und Faktorladung absteigend geordnet. Faktorladungen > 0,60 sind fett markiert. Die Promax-Rotation ergab eine mittlere Korrelation von -0,45.

**Anhang D-7:** Regressionskoeffizienten zur Bestimmung der Faktorwerte für die Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation

Variable	Regressionskoeffizienten	
	Wahrgenommene Wirkung: $\beta_{ww}$	Befürchtungen: $\beta_B$
Item 1	,12	,03
Item 2	,12	-,01
Item 3	,14	,03
Item 4	,12	,07
Item 5	,10	,02
Item 6	,12	,08
Item 7	,12	,05
Item 8	,09	,03
Item 9	,10	-,01
Item 10	,12	,02
Item 11	,04	,21
Item 12	,10	-,04
Item 13	,05	,21
Item 14	,03	,20
Item 15	,03	,21
Item 16	,11	-,01
Item 17	,06	,25
Item 18	,08	,25
Item 19	,03	,17
Item 20	,13	,03



(a) Dendrogramm



(b) Strukturgramm (Auszug erster 20 Cluster)

**Anhang D-8:** Dendrogramm und Strukturgramm zur Bestimmung der Cluster-Anzahl

## Anhang E Bedürfnisse an Angebotsparameter

**Anhang E-1:** Bewertung von Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl

Kenngröße	Vorabbefragung der Fahrgäste im Testbetrieb		Onlinebefragungen			
			zu individualisierten Mobilitätsdienst- leistungen		zum automatisierten Fahren	
	HFIM		TOIM		TOAF	
	M	SD	M	SD	M	SD
<b>zeitliche Komponenten</b>						
Reisezeit	4,3	0,8	4,2	1,0	3,9	1,2
Pünktlichkeit			4,4	0,9	4,2	1,1
zeitliche Flexibilität	4,2	1,0	4,3	0,9	3,9	1,1
Nutzung der Fahrzeit			3,6	1,2	3,7	1,4
<b>räumliche Komponenten</b>						
Reiseweite			3,0	1,3	3,4	1,2
Zu- und Abgangsweg			3,4	1,1	3,1	1,4
räumliche Flexibilität	4,5	0,6	3,9	1,2	3,7	1,2
<b>Angebotsqualität</b>						
Fahrkomfort	3,6 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>	3,5	1,1	3,6	1,1
Zuverlässigkeit			4,7	0,6	4,3	1,0
Sicherheit			4,0	1,1	4,2	1,1
vorhandenes ÖPNV-Angebot			3,9	1,2	3,3	1,5
<b>sonstige Komponenten</b>						
Reisekosten			3,7	1,1	3,2	1,4
Umweltverträglichkeit			3,5	1,2	3,6	1,2
moderne Technologie			2,7	1,2	3,0	1,3

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 77 Personen in der Vorabbefragung der HFIM-Erhebung, N = 150 Personen in der TOIM-Erhebung und N = 797 Personen in der TOAF-Erhebung. Fehlende Angaben bleiben bei der Berechnung der Statistiken unberücksichtigt. Die Mittelwerte werden in den Spalten M und die Standardabweichungen in den Spalten SD (engl.: standard deviation) angegeben. Alle Parameter konnten mit einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 (niedrige Bedeutung) bis 5 (hohe Bedeutung) bewertet werden.

<sup>a</sup> Erhebung des allgemeinen Begriffs „Komfort“ ergänzt durch eine Abfrage der persönlichen Definition des Begriffs. Innerhalb dieser Begriffsdefinition sind von den Befragten neben Begriffen zur Ausstattung der Fahrzeuge (40,3 %) und zum Fahrgefühl (35,1 %) häufig auch andere Angebotsparameter, insbesondere der zeitlichen Komponente (Reisezeit = 22,1 %, zeitliche Flexibilität = 14,3 %), benannt worden.

## Anhang F Korrelationsanalysen

Anhang F-1: Korrelation der Nutzungsintention individualisierter Mobilitätsdienstleistungen

Kenngröße	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Soziodemographie</b>													
1: Personengruppe	-												
2: Alter	-												
3: Haushaltsgröße	-												
<b>Mobilitätseinstellung</b>													
4: Fahrkomfort	-												
5: vorhandenes ÖPNV-Angebot	-												
6: moderne Technologie	-												
7: Mobilitätzufriedenheit	-												
<b>Nutzungsintention</b>													
8: Arbeitswege	,12	,23	,19	,12	,20	,24	,35*						
9: Bildungswege	,51**	,34*	,26*	,07	,30	,29	,28	-					
10: Erledigungen	,18	,21	,33**	,18	,19	,17	,30	-					
11: Freizeitwege	,03	,11	,03	,18	,46**	,12	,18	-					
12: längere Wege über 10 km	,02	,09	,08	,30*	,19	,27	,20	,01	,01	,19	,04		
13: erste/letzte Meile	,02	,06	,15	,25	,34*	,19	,33*	,06	,07	,08	,05	-	
14: alle Arten von Wegen	,08	,42**	,08	,20	,25	,37**	,28	,18	,04	,16	,05	-	-

Anmerkung: Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Personengruppen sind dichotom nach 0 = studierend und 1 = berufstätig unterschieden. Das Alter ist von 1 = unter 30 Jahre bis 4 = 60 Jahre oder älter geordnet. Die Haushaltsgröße ist von 1 = 1 Person bis 3 = 3 oder mehr Personen geordnet. Variablen zur Mobilitätseinstellung sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet. Die Variablen zur Nutzungsintention sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.



**Anhang F-2:** Korrelation des Einflusses automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen auf die Verkehrsmittelwahl

Variable	1	2	3	4	6
<b>Soziodemographie</b>					
1: Personengruppe					
2: Mobilitätseinschränkung	-				
3: Alter	-	-			
4: Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-		
<b>Potenziell ersetzter Modus</b>					
6: Pkw als fahrende Person	,43**	,23**	,41**	<b>,70**</b>	
7: Pkw als mitfahrende Person	,45**	,10	,42**	,42**	,40**

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 261 aus der WAIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05.

\*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben.

Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Personengruppen sind von 1 = in Schulbildung bis 5 = im Ruhestand geordnet. Bei der Korrelationsberechnung wurden jeweils Personen mit Mobilitätseinschränkungen ignoriert um diesen Einfluss zu minimieren. Die Mobilitätseinschränkung ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Das Alter ist von 1 = unter 20 Jahre bis 5 = 60 Jahre oder älter geordnet. Die Pkw-Verfügbarkeit ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Die Variablen zum potenziell ersetzten Verkehrsmittel sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.

**Anhang F-3:** Korrelationen der Nutzungsintention und der Eigenschaften potenzieller Wege mit automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Nutzungsintention</b>								
1: Arbeit und/oder Bildung								
2: Einkaufen	,19**							
3: Arztbesuch	,24**	<b>,51**</b>						
4: Freizeitaktivität	,36**	,37**	,37**					
<b>Potenziell ersetzter Modus</b>								
5: Pkw als fahrende Person	,08	,27**	,18	,18				
6: Pkw als mitfahrende Person	,06	,09	,14	,17	,40**			
7: ÖPNV	,07	,16	,10	,11	,41**	,25**		
<b>Wegeigenschaften</b>								
8: Reiseweite	,05	-,17*	-,10	,00	,25**	,16	,20*	
9: Reisezeit	,10	,00	-,04	,05	,21*	,12	,12	<b>,66**</b>

*Anmerkung:* Gesamtstichprobe N = 261 aus der WAIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05.

\*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben.

Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Nutzungsintentionen sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet. Potenziell ersetzte Verkehrsmittel sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Reiseweite und Reisezeit sind nach den Quartilen von 1 bis 4 geordnet.

**Anhang F-4:** Korrelation der Bedeutung von Angebotsparametern individualisierter Mobilitätsdienstleistungen mit Personeneigenschaften

Kenngröße	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Soziodemographie</b>										
1: Geschlecht	-									
2: Alter		-								
3: Einwohnerzahl			-							
4: Zeitkartenbesitz				-						
<b>Buchungsmöglichkeiten</b>										
5: Website für den Browser	,30	-,49**	,08	,38*						
6: E-Mail	,26	,11	-,35**	,26	,10					
<b>Akzeptanz kurzfristiger Änderung</b>										
7: Ein-/ Ausstiegsort, bei gleicher Reisezeit	,33*	,12	,03	,14	,13	,13				
8: Ein-/ Ausstiegsort, bei gleichem Zu-/ Abgangsweg	,36*	,06	,03	,23	-,10	,02	,15			
9: Abfahrtszeit, wenn maximal plus/ minus fünf Minuten	,22	,20	-,34**	,12	-,04	,21*	-,02	-,11		
10: Abfahrtszeit, bei Zeitersparnis	,13	,20	-,02	,36*	-,23*	,10	,10	,12	-,07	
11: Fahrpreis pro Zeiteinheit	,28*	,36*	,12	,17	-	-	-	-	-	-

**Anmerkung:**

Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben. Das Geschlecht ist dichotom mit 0 = männlich und 1 = weiblich. Das Alter ist von 1 = unter 30 Jahre bis 4 = ab 60 Jahre geordnet. Die Einwohnerzahl ist von 1 = unter 20.000 Einwohner bis 3 = ab 100.000 Einwohner geordnet. Der Zeitkartenbesitz ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Buchungsmöglichkeiten und die Akzeptanz kurzfristiger Änderungen sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet. Der Fahrpreis pro Zeiteinheit ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.

**Anhang F-5:** Korrelation der Bedeutung von Angebotsparametern individualisierter Mobilitätsdienstleistungen mit Mobilitätseinstellungen

Variable	1	2	3	4
<b>Mobilitätseinstellung</b>				
1: Nutzung der Fahrzeit				
2: Fahrkomfort	-			
3: vorhandenes ÖPNV-Angebot	-	-		
<b>Buchungsmöglichkeiten</b>				
4: Website für den Browser	-,30**	-,16	,20	
<b>Akzeptanz kurzfristiger Änderungen</b>				
5: Abfahrtszeit, bei Zeitersparnis	,26*	,30**	-,30**	-,23**

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Alle Variablen sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet.

**Anhang F-6:** Korrelationen des Zu- und Abgangs mit Tarifsystemen und Zahlungsmethoden bei individualisierten Mobilitätsdienstleistungen

Kenngröße	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Buchungsmöglichkeiten</b>													
1: Website für den Browser													
2: Messengerdienst	-,44**												
3: E-Mail	,10	-,28**											
4: Telefonanruf	-,29**	-,19	-,32**										
<b>Reservierungsmöglichkeiten</b>													
5: mehrere Tage vorab	-,01	,07	,08	,11									
6: ein Tag vorab	-,14	-,04	,26*	,04	,21*								
7: bis zu eine Stunde vorab	,04	,01	-,07	-,04	-,34**	-,34**							
<b>Akzeptanz kurzfristiger Änderung</b>													
8: Abfahrtszeit, wenn maximal plus/ minus fünf Minuten	-,04	-,14	,21*	,05	,16	,25*	-,37**						
<b>Tarif bzw. Abrechnungsmethode</b>													
9: pro Fahrt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10: pro Kilometer	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>,83**</b>	-	-	-	-
11: pro Zeiteinheit (Zeitkarte)	-	-	-	-	-	-	-	-	,35**	,24*	-	-	-
<b>Zahlungsmethode</b>													
12: Kartenzahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	,04	,11	,12	-	-
13: SEPA-Lastschriftmandat	-	-	-	-	-	-	-	-	,02	,02	,00	<b>,53**</b>	-
14: ePayment (PayPal oder ähnliches)	-	-	-	-	-	-	-	-	,07	,01	,09	,44**	,39**

**Anmerkung:**

Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Buchungs- und Reservierungsmöglichkeiten sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet. Tarifsysteme und Zahlungsmethoden sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.

**Anhang F-7:** Korrelationen zur Akzeptanz der kurzfristigen Änderung von Wegeeigenschaften bei individualisierten Mobilitätsdienstleistungen

Kenngroße	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Akzeptanz einer kurzfristigen Änderung des Ein- bzw. Ausstiegortes										
1: bei maximal 500 Meter Zugangs- bzw. Abgangsweg										
2: bei Reduktion der Reisezeit	,37**									
3: bei gleichbleibender Reisezeit	,23*	<b>,63**</b>								
4: bei rechtzeitiger Information	,41*	,35**	,23*							
5: wenn der Zu- bzw. Abgangsweg nicht länger wird	-,33**	-,10	,06	-,19						
6: nicht akzeptabel	-,35**	-,28*	-,20	<b>-,51**</b>	<b>,40**</b>					
Akzeptanz einer kurzfristiger Änderung der Abfahrtszeit										
7: bei Zeitersparnis	,13	,21*	,10	-,03	,12	,08				
8: bei gleichbleibender Reisezeit	,07	,15	,22*	-,02	,06	-,08	,49**			
9: bei rechtzeitiger Information	,26*	,03	,06	,35**	-,12	-,35**	,03	,39**		
10: wenn der Zu- bzw. Abgangsweg kürzer wird	,05	,19	,15	,11	,10	-,06	,24*	,37**	,45**	
11: nicht akzeptabel	-,34**	-,08	,06	-,33**	,32**	<b>,56**</b>	,09	-,18	-,44**	-,18

**Anmerkung:**

Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearman's  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramér's V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p Wert < 0,05 werden fett geschrieben. Alle Kenngrößen sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet.

**Anhang F-8:** Korrelation der Nutzungsintention mit Anforderungen an Angebotsparameter von individualisierten Mobilitätsdienstleistungen

Variable	1	2	3
1: Nutzungsintention			
2: Buchung bis zu vier Stunden vorab	,31**		
Zahlungsmethode			
3: Kartenzahlung	,27*	-	
4: SEPA-Lastschriftmandat	,31*	-	<b>,53**</b>

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe N = 150 aus der TOIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Die Nutzungsintention und der Wunsch zur Buchung bis zu vier Stunden vorab, sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet. Zahlungsmethoden sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja.

**Anhang F-9:** Korrelation der Bedeutung von Angebotsparametern automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen mit Personeneigenschaften

Variable	1	2	3	4	5	6	7
<b>Soziodemographie</b>							
1: Alter							
2: Mobilitätseinschränkung	-						
3: Einwohnerzahl	-	-					
4: Pkw-Verfügbarkeit	-	-	-				
<b>Zahlungsbereitschaft</b>							
5: Preis pro Kilometer	,39**	,26**	,30**	,18			
<b>Buchungsmöglichkeiten</b>							
6: Applikation	-,11	,31*	,00	,22*	-,05		
<b>Art des Ein- und Ausstiegs</b>							
7: Markierung im Straßenraum <sup>a</sup>	,04	,37**	,01	,21	-,06	,10	
8: bauliche Haltestelle <sup>a</sup>	,17*	,40**	-,04	,36**	-,03	-,05	,15*

**Anmerkung:**

Gesamtstichprobe N = 217 Personen, die bereit wären ein AIM-Angebot zu nutzen, von insgesamt 261 Personen aus der WAIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Das Alter ist von 1 = unter 20 Jahre bis 5 = 60 Jahre oder älter geordnet. Die Mobilitätseinschränkung und die Pkw-Verfügbarkeit sind dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Der Preis pro Kilometer ist entsprechend der Quartile von 1 bis 4 geordnet. Die Buchungsmöglichkeiten und die Variablen zur Art des Ein- und Ausstiegspunktes sind von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet.

<sup>a</sup> In einer von der befragten Person maximal akzeptierten Entfernung.



**Anhang F-10:** Korrelation der Nutzungsintention automatisierter und individualisierter Mobilitätsdienstleistungen bei Fahrtenbündelung mit Personeneigenschaften

Variable	1	2	3	4
<b>Soziodemographie</b>				
1: Personengruppen				
2: Mobilitätseinschränkung	-			
3: Alter	-	-		
4: Einwohnerzahl	-	-	-	
5: Nutzungsintention bei Fahrtenbündelung	,39**	,26*	,35**	,34**

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe N = 217 Personen, die bereit wären ein AIM-Angebot zu nutzen, von insgesamt 261 Personen aus der WAIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben.

Die Personengruppen sind von 1 = in Schulbildung bis 5 = im Ruhestand geordnet, wobei für die Korrelationsberechnung Personen mit Mobilitätseinschränkungen ignoriert wurden um diesen Einfluss zu minimieren. Die Mobilitätseinschränkung ist dichotom mit 0 = nein und 1 = ja. Das Alter ist von 1 = unter 20 Jahre bis 5 = 60 Jahre oder älter geordnet. Die Einwohnerzahl ist von 1 = unter 5.000 Einwohner bis 4 = ab 100.000 Einwohner geordnet. Die Nutzungsintention für gebündelte Fahrten ist von 1 = ablehnende Haltung bis 5 = zustimmende Haltung geordnet.

**Anhang F-11:** Korrelationen der Buchungsmöglichkeiten mit verschiedenen Ein- und Ausstiegsmöglichkeiten bei automatisierten und individualisierten Mobilitätsdienstleistungen

Variable	1	2	3
Buchungsmöglichkeiten			
1: Applikation			
2: Telefonanruf	-,11		
Art des Ein- und Ausstiegs			
3: in-App-Anzeige <sup>a</sup>	,41**	-,10	
4: bauliche Haltestelle <sup>b</sup>	-,05	,32**	,01

*Anmerkung:*

Gesamtstichprobe N = 217 Personen, die bereit wären ein AIM-Angebot zu nutzen, von insgesamt 261 Personen aus der WAIM-Erhebung. \* entspricht einem p-Wert < 0,05. \*\* entspricht einem p-Wert < 0,01. Es wird Spearmans  $\rho$ , bei dichotomen Variablen Cramérs V angegeben. Variablen werden nur berücksichtigt, wenn sie mindestens einen Zusammenhang ab 0,30 mit p-Wert < 0,05 erreichen. Werte ab 0,50 mit p-Wert < 0,05 werden fett geschrieben. Alle Variablen sind von 1 = niedrige Bedeutung bis 5 = hohe Bedeutung geordnet.

<sup>a</sup> In unmittelbarer Nähe zum aktuellen Standort bzw. zum Zielpunkt.

<sup>b</sup> In einer von der befragten Person maximal akzeptierten Entfernung.

## Anhang G Lebenslauf

### Berufserfahrung

Seit 01/2022	Assistenz der technischen Geschäftsführung und der Unternehmensbereichsleitung Infrastruktur bei der Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH (AVG) in Karlsruhe
05/2017 – 12/2021	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mobilität & Verkehr (imove) der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK)
11/2016 – 04/2017	Ehrenamtlicher Entwicklungshelfer bei CODEINSE, Gemeinnützige Organisation in Riobamba, Ecuador
01/2015 – 10/2016	Studentische Hilfskraft bei der INOVAPLAN GmbH, Planungs- und Beratungsgesellschaft für Verkehrswesen in Karlsruhe
05/2011 – 01/2012	Studentische Hilfskraft am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

### Ausbildung

2020 – 2023	Doktorand im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK)
2015 – 2016	Master-Studium Mobilität und Infrastruktur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Abschluss Master of Science (M.Sc.)
2014 – 2015	Master-Studium Bauingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Wechsel in den Master-Studiengang Mobilität und Infrastruktur
2010 – 2014	Bachelor-Studium Bauingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Abschluss Bachelor of Science (B.Sc.)
2009 – 2010	Freiwilliges Soziales Jahr bei Pais:Project, Rotherham, Großbritannien
2002 – 2009	Friedrich-Abel-Gymnasium mit dem Abschluss der allgemeinen Hochschulreife, Vaihingen Enz



# Zuletzt erschienene Bände der Grünen Reihe

## **Band 75: Fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit (MARS)**

Wilko Manz, Nicolas Mellinger, Daniel Görge, Andreas Weißmann, Kay Gimm, Hagen Saul, Maik Bargmann

## **Band 74: Stress- und Sicherheitsempfinden - Chancen und Potenziale zur Förderung der Radverkehrssicherheit**

Nicolas Mellinger

## **Band 73: Teilsignalisierung von Knotenpunkten - Untersuchungen zu Verkehrsablauf und Einsatzmöglichkeiten -**

Johannes Roos

## **Band 72: Pendlerverkehr im ländlichen Raum - Ansatzpunkte für eine kollaborative Mobilität**

Sascha Baron

## **Band 71: Erfassung und Bewertung der Arbeit von Verkehrsverbänden**

Oliver Dümmler

## **Band 70: Fahrradmitnahme im Schienenpersonennahverkehr**

Sascha Baron, Dr. Michal Beim, Oliver Dümmler, Volker Schmitt

## **Band 69: Verkehrsmanagement Fußball-Weltmeisterschaft 2006 – Konzept, Akzeptanz Wirkung, Übertragbarkeit**

Hartmut H. Topp, Stephan Bogusch, Torsten von Einem, Annette Spellerberg, Christina West

## **Band 68: Wir gestalten Mobilität - Ehemalige berichten aus heutiger Arbeit**

Hartmut Topp, Karin Arndt, Juliane Krause, Volker Böhn, Frank Schleicher-Jester, Silvia Körntgen, Ralf Huber-Erlar, Martin Haag, Jan Riel, Kristin Blomqvist, Ulrike Huwer, Tadashi Ito, Christine Krämer, Joachim Kröh

## **Band 67: Segway in public spaces**

André Darmochwal

## **Band 66: S-Bahn - Planung & Betrieb**

Joachim F. Kröh, Michael Heilmann, Joel Forthoffer, Christian Schindler, Werner Schreiner

## **Band 65: Öffentlicher Nachtverkehr in Großstadtregionen - Konzeptentwicklung am Beispiel Berlin**

André Darmochwal

## **Band 64: Basic Conditions for the Implementation of Speed Adaptation Technologies in Germany**

Christoph Menzel

## **Band 63: Intelligent Speed Adaptation - Expertenstatements**

Christoph Menzel, Annette Spellerberg, Heiner Erke, Werner Köppel, Volker Meewes, Kai Tobias, Andras Varhelyi, Magnus Hjalmdahl, Hans-Jürgen Marker, Christoph Huß, Joachim Feldges, Klaus Brandenburg, Heiner Müller-Merbach, Lothar Kaufmann

## **Band 62: Verkehr und Tourismus in sensiblen Naturräumen**

Reinhard Grebe, Stephan Zimmermann, Horst Schumacher, Veronika Holzer, Christiane Brandenburg, Hartmut Strunz, Wolfgang Heinze, Gernot Steinberg, Werner Schreiner, Sébastien Morelle, Mathias Herrmann

## **Band 61: Straßenbahnen in Fußgängerzonen - Verträglichkeit und Gestaltung**

Martin Schmidt

## **Band 60: Visionen für Stadt und Verkehr**

Kurt Ackermann, Thomas Sieverts, Hartmut Topp, Uwe Köhler, Gisela Stete, Juliane Krause, Silvia Körntgen, Peter Kirchhoff, Klaus J. Beckmann, Joachim F. Kröh, Karlheinz Jacobitz, Jörg Nagel, Robert Schnüll, Gerd Sammer, Wolfgang J. Berger, Peter Müller

## **Band 59: Lärmschutz und gestalterische Integration hochbelasteter Straßen durch Einhausung**

Pia Lohnes

## **Band 58: mobil & barrierefrei planen, bauen, nachrüsten**

Andrea Rau, Gunnar Heipp, Ursula Fuss, Bernhard Claus, Heinrich Mockenhaupt, Dirk Bräuer, Jürg Rüeegger, Carola Mennicken u.a.

## **Band 57: Integration von S- und U-Bahn-Systemen**

Bernhard Meier



**Grüne Reihe Nr. 76**

**Institut für Mobilität & Verkehr | Institute for Mobility & Transport | Paul-Ehrlich-Straße 14 | 67663 Kaiserslautern**

**[www.imove-kl.de](http://www.imove-kl.de)**

**[info@imove-kl.de](mailto:info@imove-kl.de) | Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz**

**ISSN: 1613-5040 | D 386**