



Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg („TaBuLa“)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Endbericht des Projektes TaBuLa

Prof. Dr.-Ing Carsten Gertz, Jacqueline Maaß, Matthias Grote, Tyll Diebold, Rebekka Mantel, Ole Röntgen, Julia Stargardt, Lennard Werner, Julia Wolf



DOI: <https://doi.org/10.15480/882.3611>

urn:nbn:de:gbv:830-882.0138889

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.

BIBLIOGRAFISCHE INFORMATION

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

Von der Homepage des Instituts für Verkehrsplanung und Logistik ist diese Publikation auch als PDF-Datei abrufbar unter:
<http://www.tuhh.de/vpl>.

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Technische Universität Hamburg (TUHH),
Institut für Verkehrsplanung und Logistik – W8
Am Schwarzenberg-Campus 3, 21073 Hamburg
<https://www.tuhh.de/vpl>
Telefon +49 40 42878-3519
Fax +49 40 42731 41 98

SATZ & LAYOUT

Nadia Nabaoui-Engelhard, W8

TITELBILD

Dominik Pietzko



Endbericht des Projektes TaBuLa

Prof. Dr.-Ing. Carsten Gertz², Jacqueline Maaß², Matthias Grote²,
Tyll Diebold², Rebekka Mantel², Ole Röntgen², Julia Stargardt¹,
Lennard Werner², Julia Wolf³

2021

PROJEKT

Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse
im Kreis Herzogtum Lauenburg („TaBuLa“)



PROJEKTPARTNERINNEN

Technische Universität Hamburg (TUHH), Kreis Herzogtum Lauenburg



FÖRDERUNG

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde anteilig mit
Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
(BMVI) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FÖRDERKENNZIFFER

16AVF2152

PROJEKTVOLUMEN

2,25 Mio.€ (davon 1,92 Mio. € Förderanteil durch BMVI)

PROJEKTLAUFZEIT

01/2018 – 03/2021

UNTER MITARBEIT VON

Tim Hirt²

LEKTORAT

Pia Groß², Maike Loose², Jacqueline Maaß²

FOTOS

Tyll Diebold², Matthias Grote², Julius Lohse², Dominik Pietzko, Lennard
Werner²

¹ Kreis Herzogtum Lauenburg

² Technische Universität Hamburg

³ Interlink GmbH, Partner im Büro autoBus



Die beiden baugleichen TaBuLaShuttles in Blau und Rot beklebt stehen im Sonnenuntergang auf dem Lösch- und Ladeplatz in der schönen Altstadt Lauenburgs.

Quelle: Tyll Diebold

KURZFASSUNG

Im Projekt TaBuLa wurden die Akzeptanz und die Einsatzmöglichkeiten automatisierter Busse im ÖPNV unter realen Bedingungen mit Fahrgästen und im Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmenden untersucht. Dazu wurde ein automatisierter Kleinbus in der technisch höchst anspruchsvollen Testumgebung der schleswig-holsteinischen Kleinstadt Lauenburg/Elbe betrieben. Sowohl der komplexe Prozess von Beschaffung und Zulassung als auch die Streckenerüchtigung konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Seit Herbst 2019 fährt das Shuttle in Lauenburg an der Elbe und konnte für das Projekt zahlreiche Forschungsfragen beantworten und die gesteckten Ziele erreichen:

1. Den Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen,
2. Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV,
3. die Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen festzustellen und zu untersuchen,
4. anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren,
5. den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielles Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren und
6. eine Testumgebung für Technik des Autonomen Fahrens aufzubauen.

Der vorliegende Endbericht zeichnet den Projektverlauf anhand thematischer Stationen nach.

ABSTRACT

In the TaBuLa project, the acceptance, and possible uses of automated buses in local public transport systems were examined under real conditions with passengers and in mixed traffic with other road users. For this purpose, automated shuttle busses were operated in the technically highly demanding test environment in the town of Lauenburg/Elbe in the German Federate State of Schleswig-Holstein. The complex process of provisioning and homologation testing as well as roadway upgrading was successfully completed. TaBuLa Shuttle runs since fall 2019 in Lauenburg/Elbe and was able to answer multiple research questions and to reach the project goals:

1. Enable usage and analysis of an automated shuttle in public space,
2. Analysis of potentials and constraints of automated shuttles in public transport,
3. Detect and analyse interaction of an automated shuttle with potential users and passers-by,
4. Generate transferable and scalable findings in the testfield Lauenburg/Elbe,
5. Evaluate area of Shuttle testing as potential testfield for actual und future vehicles and
6. Establish a testing area for the technic of automated vehicles.

This final project report traces the course of the project sorted by themes.

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTS TABULA	15
1.1	Generelle Ziele des Projekts	15
1.2	Definierte Schwerpunkte der Projektpartner:innen und assoziierten Partner:innen im Projekt	16
2	VORAUSSETZUNGEN	20
3	PLANUNG UND ABLAUF	21
4	WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND	25
5	ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	28
6	FAHRZEUGBESCHAFFUNG UND AUSSTATTUNG	32
6.1	Ergebnisse	32
6.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	34
6.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	35
6.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	35
7	STRECKENERTÜCHTIGUNG	36
7.1	Ergebnisse	36
7.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	38
7.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	38
7.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	39
8	BETRIEB DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLEBUSSES	40
8.1	Ergebnisse und Erkenntnisse zum Shuttlebetrieb	40
8.1.1	Kurzfassung zu den wichtigsten Ergebnissen	41
8.1.2	Betriebskennzahlen	43
8.1.3	Einschätzung und Ausblick auf Möglichkeiten	46

8.1.4	Workshop zur Sammlung aller wesentlichen Einschätzung und Erkenntnisse für die Gegenwart und Zukunft des automatisierten Fahrens im ÖPNV	51
8.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	62
8.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	63
8.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans – Bürgerbus 4.0 als mögliches Zukunftsszenario	63
9	AKZEPTANZ VON AUTOMATISIERTEN BUSSEN – BEFRAGUNGEN	67
9.1	Ergebnisse	67
9.1.1	Zusammenfassung der Methodik und der Ergebnisse der einzelnen Studien	69
9.1.2	Rückschlüsse aus den Befragungen im Hinblick auf das Forschungsinteresse	76
9.1.3	Weitere Ergebnisse der FGB	83
9.1.4	Akzeptanz der Busfahrer:innen in beiden Erhebungswellen	86
9.1.5	Akzeptanz der Fahrzeugbegleiter:innen über verschiedene Forschungsprojekte	87
9.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	90
9.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	91
9.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	93
10	EINSATZ DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLES IM ÖFFENTLICHEN RAUM MIT INTERAKTION DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLES IM VERKEHRSGESCHEHEN	94
10.1	Ergebnisse	94
10.1.1	Verkehrsflusssimulationen	94
10.1.2	Verkehrssituationsanalysen	102
10.1.3	Bewertung der Ergebnisse von Verkehrsflusssimulationen und Verkehrssituationsanalysen	116
10.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	118
10.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	118
10.4	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	119

11	TESTZENTRUM	120
11.1	Ergebnisse	120
11.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	123
11.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	123
11.4	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	124
12	EXTERNE LEISTUNGEN DER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG – DATENLOGGER	125
12.1	Ergebnisse	126
12.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	126
12.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	127
12.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	127
13	DATENSCHUTZ	128
13.1	Ergebnisse	128
13.2	Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen	129
13.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	130
13.4	Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	130
14	VERNETZUNG DES PROJEKTS MIT ANDEREN FORSCHUNGSPROJEKTEN	131
14.1	Vernetzungstermine mit anderen Projekten zum automatisierten Fahren im ÖPNV (Auswahl)	131
14.2	Fachvorträge im Rahmen des Projektes (Auswahl)	132
14.3	Interviews im Rahmen der Fahrzeugbegleiter: innenbefragungen (siehe Kapitel 9 Akzeptanz von automatisierten Bussen – Befragungen)	133
14.4	Expert:inneninterviews im Rahmen des Testzentrums	133
14.5	Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen	134
14.6	Pressemitteilungen	135
14.7	Weiteres	135
15	VERÖFFENTLICHUNGEN DES PROJEKTS TABULA	136

ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Übersicht über alle Strecken des TaBuLa Shuttle, Strecke 3 geplanter Zustand	21
Abbildung 2:	Übersicht über den am Projektende in Betrieb befindlichen Streckenverlauf der Strecke 3 mit Haltestellen	22
Abbildung 3:	Screenshot der eigenen Webseite tabulashuttle.de vom 27.04.2021	27
Abbildung 4:	Zeitlicher Ablauf zur Realisierung des Fahrgastbetriebes mit stufenweiser Weiterentwicklung	40
Abbildung 5:	Anteil der Fahrgäste über den Tagesverlauf nach Startzeit des Umlaufes (n=1126)	44
Abbildung 6:	Anteil der Fahrgäste im Wochenverlauf (n=1131)	45
Abbildung 7:	Anzahl der Einsteiger je Haltestelle	45
Abbildung 8:	Anzahl der Aussteiger je Haltestelle	46
Abbildung 9:	Mittelwerte der Aussagenbewertungen der Akzeptanzbefragungen im Projekt TaBuLa	80
Abbildung 10:	Kombination der Aussagen zur Akzeptanz des fahrerlosen Shuttles und der Zukunftsperspektive und Nutzungsbereitschaft, nFGB=79/87, nHHBw2=227/210, nBFBw2=-/49	81
Abbildung 11:	Unterschiede TaBuLa Shuttle und konventioneller Linienbus, FGB n=94	83
Abbildung 12:	Voraussetzungen für die Nutzung von selbstfahrenden Shuttles, FGB: n=225	85
Abbildung 13:	Bereitschaft Weg zur Haltestelle zu gehen und Kategorie Wohnort, FGB: n=94	85
Abbildung 14:	Untersuchungsraum für die Mikroverkehrssimulation und der Teststrecke TaBuLa	94
Abbildung 15:	Belastungsschema der Knotenströme, der Spitzenstunde am Abend am Knoten I, Askaniering (ohne Fahrradfahrer:innen)	97
Abbildung 16:	Belastungsschema der Knotenströme, der Spitzenstunde am Abend am Knoten II, Büchner Weg (ohne Fahrradfahrer:innen)	97
Abbildung 17:	Bemessungsstärken für den Untersuchungsraum der zu Grunde gelegten Spitzenstunde von 16-17 Uhr am Askaniering und Büchner Weg für die weitere Simulation	98
Abbildung 18:	Mittlere Verlustzeit (Wartezeit) aller Knotenströme und Szenarien mit zugehöriger Standardabweichung	98
Abbildung 19:	Mittlere max. Rückstaulängen aller Simulationsläufe je Knotenstrom und Szenario	99
Abbildung 20:	Reisezeiten auf der Bundesstraße in der Spitzenstunde in den Szenarien	99
Abbildung 21:	Bildausschnitt der VISSM-Verkehrssimulation mit Blick auf die Bundesstraße 5/Berliner Straße	101

Abbildung 22: Bildausschnitt der VISSIM Verkehrssimulation mit Blick auf die Kreuzung Askaniering/Berliner Straße, TaBuLa Shuttle in schwarz dargestellt	101
Abbildung 23: Übersichtskarte mit Verortung der fünf Beobachtungsstandorte	103
Abbildung 24: Fotos des Aufbaus der Kamera an der Bundesstraße	104
Abbildung 25: Impressionen Beobachtungsraum Berliner Straße 2, Fahrtrichtung Osten	106
Abbildung 26: Belegung mit parkenden/haltenden Fahrzeugen sowie die Dauer auf Höhe Berliner Straße 2	107
Abbildung 27: Impression Beobachtungsraum Berliner Straße 14 in Fahrtrichtung Osten	109
Abbildung 28: Impression des Beobachtungsraumes Berliner Straße/Büchener Weg in Fahrtrichtung Osten	111
Abbildung 29: Impression vom Kamerastandort östlich des Knotenpunktes Berliner Straße/Büchener Weg Richtung Osten mit Abzweigung zum Großen Sandberg im Hintergrund	112
Abbildung 30: Impression Beobachtungsraum Elbstraße 100 in Richtung Westen blickend	114

TABELLEN

Tabelle 1: Schwerpunkte der einzelnen Projektpartner:innen (zum Zeitpunkt der Antragstellung) im Projekt	16
Tabelle 2: Meilensteine im Projekt TaBuLa	21
Tabelle 3: Faktische Projektziele von TaBuLa	24
Tabelle 4: Metadaten der Akzeptanzbefragungen im Projekt TaBuLa	68
Tabelle 5: Messgrößen, Messeinheiten, Messfrequenz, Messbereich und Auflösung des Datenloggers	125

I - DAS PROJEKT IM ÜBERBLICK

1 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTS TABULA

1.1 Generelle Ziele des Projekts

Das Projekt TaBuLa hatte als übergeordnete Zielsetzung, die Anwendung eines automatisierten Shuttles im Echtbetrieb mit Fahrgästen und im Mischbetrieb mit anderen Fahrzeugen auf der Straße zu installieren. Es sollten erste Erfahrungen mit solch einem System im öffentlichen Straßenverkehr gesammelt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im Einzelnen hierfür folgende Unterziele durch das Projekt für den Antrag definiert:

1. Den Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen,
2. Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV,
3. die Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen festzustellen und zu untersuchen,
4. anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren,
5. den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielles Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren und
6. eine Testumgebung für Technik des Autonomen Fahrens aufzubauen.

Inhaltlich wurde das Projekt somit in zwei Bereiche geteilt, das **Teilprojekt Umsetzung und Betrieb** mit den Unterzielen 1-4, sowie das **Teilprojekt Testzentrum** mit den Unterzielen 5-6.

Der weitere Bericht gliedert sich unter Abschnitt II fortlaufend nach den einzelnen Projektthemen. Es werden für jedes Einzelthema zunächst die Ergebnisse dargestellt und die Themen dann mit Bezug zu den jeweiligen Unterzielen eingeordnet, wobei ein Thema oftmals mehreren Projektzielen zuarbeitet. Anknüpfend wird in den folgenden Unterkapiteln eines jeden Themas jeweils direkt auf die Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeiten zum jeweiligen Thema sowie dem voraussichtlichen Nutzen der in der Thematik geleisteten Arbeit eingegangen.

1.2 Definierte Schwerpunkte der Projektpartner:innen und assoziierten Partner:innen im Projekt

Für das Projekt haben die Partner:innen entsprechend ihrer Fähigkeiten und individuellen Interessenslagen unterschiedliche Schwerpunkte zur Erreichung der Projektziele beigetragen sowie bei Forschung und Entwicklung bei den einzelnen Themenbereichen auch individuell gesetzt. Auch wenn während des Projekts die Verkehrsbetriebe Hamburg Holstein (VHH) als assoziierte Partner im Kreis Herzogtum Lauenburg mit aufgegangen sind, werden sie der Einfachheit halber für die Rückbezüge auf den Projektantrag oder die ersten Phasen des Projekts weiter als „Partner“ im Bericht benannt. Die nachfolgende Tabelle 1 aus dem Projektantrag gibt hier einen Überblick über die von den Partner:innen im Projekt gesetzten Schwerpunkte.

Tabelle 1: Schwerpunkte der einzelnen Projektpartner:innen (zum Zeitpunkt der Antragstellung) im Projekt

Projektpartner:innen	Schwerpunkte der Projektpartner:innen	
	Teilprojekt Umsetzung und Betrieb	Teilprojekt Testzentrum
Technische Universität Hamburg (TUHH)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Empfehlungen zur zielgerichteten Weiterentwicklung des (automatisierten) ÖPNV-Angebotes und der Verkehrsinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Empfehlungen zur konzeptionellen Gestaltung eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer, sozialer und rechtlicher Rahmenbedingungen
Kreis Herzogtum Lauenburg (Kreis)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Entwicklung eines sinnvoll einsetzbaren und nutzbaren ÖPNV-Systems ▶ Entwicklung einer zukunftsfähigen Alternative zu Sammeltaxiverkehren und Rufbussen ▶ Prüfen, ob durch automatisierte Verkehre ein „Bürgerbus 4.0“ entstehen kann ▶ Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem
Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Entwicklung eines sinnvoll einsetzbaren und nutzbaren ÖPNV-Systems ▶ Prüfen von Alternativen für klassische Kleinbusverkehre ▶ Prüfen der möglichen Wirkungen auf die klassischen Linienverkehre ▶ Prüfen der Veränderungserfordernisse für Struktur und Aufgaben eines Busverkehrsunternehmens 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem ▶ Erarbeitung von Anforderungen an automatisierte Busse

Technische Universität Hamburg

Für die Technische Universität Hamburg lag der Schwerpunkt im Bereich des **Teilprojekts Umsetzung und Betrieb** auf den Empfehlungen zur zielgerichteten Weiterentwicklung des (automatisierten) ÖPNV-Angebotes und der Verkehrsinfrastruktur. Es war von Interesse, unter welchen Aspekten automatisierte Fahrzeuge eine Bereicherung für das ÖPNV-Angebot sein könnten und welche Anpassungen und weiteren Entwicklungen im Bereich der Verkehrsinfrastruktur (siehe hierzu Kapitel 16) notwendig sind, um automatisierte Fahrzeuge für den ÖPNV einsetzen zu können.

Im Bereich des **Teilprojekts Testzentrum** standen für die TUHH die Empfehlungen zur konzeptionellen Gestaltung eines automatisierten ÖPNV unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer, sozialer und rechtlicher Rahmenbedingungen im Vordergrund. Hier sollten Parameter definiert werden, mit deren Hilfe die Bedingungen für einen automatisierten ÖPNV geschaffen werden könnten und wie diese dafür gestaltet sein müssen.

Kreis Herzogtum Lauenburg

Im Bereich des **Teilprojekts Umsetzung und Betrieb** standen für den Kreis Herzogtum Lauenburg insgesamt drei Schwerpunkte im Interessensfokus:

1. Entwicklung eines sinnvoll einsetzbaren und nutzbaren ÖPNV-Systems: Hier war insbesondere von Interesse, was automatisierte Fahrzeuge auf dem momentanen Stand der Technik für einen Beitrag leisten (können), um als Teil des ÖPNV-Systems zu funktionieren. Außerdem war von Interesse, inwieweit die bisherigen Aspekte in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Verlässlichkeit und Geschwindigkeit so anzupassen sind, dass ein automatisiertes Fahrzeug den Ansprüchen an ein ÖPNV-System erfüllen kann.
2. Entwicklung einer zukunftsfähigen Alternative zu Sammeltaxiverkehren und Rufbussen: Für den Kreis Herzogtum Lauenburg sollte getestet werden, inwieweit automatisierte Fahrzeuge eine mögliche Alternative zu Sammeltaxiverkehren und Rufbussen darstellen können. Hier stellte sich insbesondere die Frage der Programmierbarkeit. Wenn automatisierte Fahrzeuge vorwiegend auf einer virtuellen Schiene fahren, sollen über den Testbetrieb in TaBuLa Rückschlüsse über die Machbarkeit als Alternative zu Sammeltaxiverkehren und Rufbussen gezogen werden.

3. Prüfen, ob durch automatisierte Verkehre ein „Bürgerbus 4.0“ entstehen kann: Für den Kreis stellt sich die Frage, inwieweit ein automatisiertes Fahrzeug als Bürgerbus genutzt werden könnte. Ein Bürgerbus ist im Regelfall ein von einer Gemeinde angeschaffter Kleinbus, der von ehrenamtlichen Bürger:innen gefahren wird, um Personen in Gebieten zu befördern, die entweder nicht oder nur eingeschränkt an das ÖPNV-Netz angeschlossen sind oder auch, um Zeiten außerhalb einer fahrenden Schulbuslinie abzudecken.

Sowohl im **Teilprojekt Umsetzung und Betrieb** als auch im **Teilprojekt Testzentrum** stand die Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem im Vordergrund. Hier war für den Kreis Herzogtum Lauenburg vor allem von Interesse, ob und wie es gelingen kann, automatisierte Fahrzeuge in die vorhandenen Strukturen eines Bussystems zu integrieren.

Verkehrsbetriebe Hamburg Holstein (VHH)

Im Bereich des **Teilprojekts Umsetzung und Betrieb** standen für die Verkehrsbetriebe Hamburg Holstein insgesamt vier Schwerpunkte im Interessensfokus:

1. Entwicklung eines sinnvoll einsetzbaren und nutzbaren ÖPNV-Systems: Analog zum Kreis war auch für die VHH insbesondere von Interesse, was automatisierte Fahrzeuge auf dem momentanen Stand der Technik für einen Beitrag leisten (können), um als Teil des ÖPNV-Systems zu funktionieren. Ebenso inwieweit die bisherigen Aspekte in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Verlässlichkeit und Geschwindigkeit so anzupassen sind, dass ein automatisiertes Fahrzeug den Ansprüchen an ein ÖPNV-System erfüllen kann.
2. Prüfen von Alternativen für klassische Kleinbusverkehre: Für die VHH sollte getestet werden, inwieweit automatisierte Fahrzeuge eine mögliche Alternative zu klassischen Kleinbusverkehren darstellen können. Auch hier stellte sich insbesondere die Frage der Programmierbarkeit und Barrierefreiheit. Wenn automatisierte Fahrzeuge vorwiegend auf einer virtuellen Schiene fahren, sollten über die Tests in TaBuLa Rückschlüsse über die Machbarkeit als Alternative zu klassischen Kleinbusverkehren gezogen werden.
3. Prüfen der möglichen Wirkungen auf die klassischen Linienverkehre: Für die VHH stellte sich die Frage, inwieweit der Einsatz automatisierter Fahrzeuge Auswirkungen auf den klassischen Linienbusbetrieb hat. So könnte ein Zubringer-Shuttle auf der sog. ersten und letzten Meile einen Effekt auf die klassischen Linienverkehre haben.

4. Prüfen der Veränderungserfordernisse für Struktur und Aufgaben eines Busverkehrsunternehmens: Für ein Verkehrsunternehmen (und Aufgabenträger) galt es zu analysieren, was sich durch die Automatisierung für neue Anforderungen an gewohnte Prozessabläufe und an die Stellenprofile der beteiligten Mitarbeitenden ergeben. Es war zudem relevant, in welcher Form und mit welchen Akteur:innen mit welcher Aufgabenteilung künftig zu rechnen ist.

Im Bereich des **Teilprojekts Testzentrum** gibt es für die VHH zwei Fokuspunkte:

1. Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem: Im Teilprojekt Testzentrum stand die Erarbeitung von Anforderungen an ein automatisiertes Bussystem im Vordergrund. Hier war für die VHH vor allem von Interesse, ob und wie es gelingen kann, automatisierte Fahrzeuge in die vorhandenen Strukturen eines Bussystems zu integrieren und welche Auswirkungen dies auf den klassischen Linienverkehr hat bzw. welche Schnittstellen denkbar sind.
2. Erarbeitung von Anforderungen an automatisierte Busse: Busse mit ihren klassischen Merkmalen gelten als zentraler Bestandteil im ÖPNV-System. Im Teilprojekt Testzentrum stand die Erarbeitung von Anforderungen an die Fahrzeuge im Vordergrund. Hier war für die VHH vor allem von Interesse, inwiefern die Shuttles den heutigen und zukünftigen Anforderungen eines ÖPNV-Systems gerecht werden können und welchen Entwicklungsbedarf es noch gäbe, um diese sinnvoll einzusetzen.

2 VORAUSSETZUNGEN

Die Stakeholder zu Beginn oder vor einem Projekt zu identifizieren ist unabdingbar. Diese umfassen alle internen und externen Personengruppen, die von den unternehmerischen Tätigkeiten gegenwärtig oder in Zukunft betroffen sind. Darauf aufbauend können Maßnahmen für beispielsweise die Kommunikation mit den Stakeholdern oder das Risikomanagement entwickelt werden. Im Rahmen des Betriebs sind somit alle lokalen Akteur:innen Stakeholder, die in die Gruppen der Beteiligten, Betroffenen oder Interessierten fallen. Für die Beteiligten wurden Genehmigungsbehörden und eine technische Prüforganisation identifiziert sowie das Verkehrsunternehmen eingebunden. Als Betroffene gelten Nutzer:innen, Anwohner:innen und weitere Verkehrsteilnehmer:innen. Unter die Interessierten fallen die allgemeine Öffentlichkeit, Fachpublikum und lokale Politik.

Aus Sicht der Untersuchungen des Testzentrums wurde sich in den Gruppen der Genehmigungsbehörden und Verkehrsunternehmen auf die Befragung von Expert:innen aus der Metropolregion Hamburg beschränkt, bei den Fahrzeughersteller:innen und Komponentenhersteller:innen auf Europa.

Insgesamt stieß das Projekt bei allen Beteiligten Ämtern und Behörden sowie der Stadt Lauenburg/Elbe selbst und auch bei der Politik auf sehr offene Ohren. Daher konnten die Prozesse im Vorfeld zur Streckeneröffnung, Genehmigung etc. sehr zügig abgewickelt werden. Das ist für ein Projekt mit Prozessen, die Neuland betreten, nicht selbstverständlich. Insgesamt dauerte der Prozess, bis das Shuttle in Lauenburg/Elbe tatsächlich vor Ort war und die erste Strecke befahren werden konnte 15 Monate.

Durch die vollständige Finanzierung des Projektes aus öffentlichen Mitteln und die beteiligten Institutionen waren je nach erwarteter Vergabesumme Ausschreibungen erforderlich. Besondere Herausforderung war dabei die möglichst genaue Beschreibung der Anforderungen sowie die schwache Referenzlage für vergleichbare Projekte bei vielen Firmen. Dadurch waren als eine Voraussetzung eingehende Gespräche notwendig, ob die individuellen Leistungen tatsächlich erfolgsversprechend möglich sind.

Ferner war es notwendig, ein rechtliches Einvernehmen zwischen allen vertraglich Beteiligten zu schaffen und schriftlich zu fixieren. Der Aufwand ist bei nicht abschätzbaren Risiken, zuvor noch nicht vertrauten Partner:innen und internationalen Beziehungen besonders, und erforderte zielgerichtetes und frühzeitiges Agieren mit lösungsorientierten Mitarbeiter:innen. Weiterhin erscheint es nach wie vor unrealistisch, für eine innovative Lösung alle Risiken im Vorfeld mit entsprechenden Vertragslösungen abdecken zu können.

3 PLANUNG UND ABLAUF

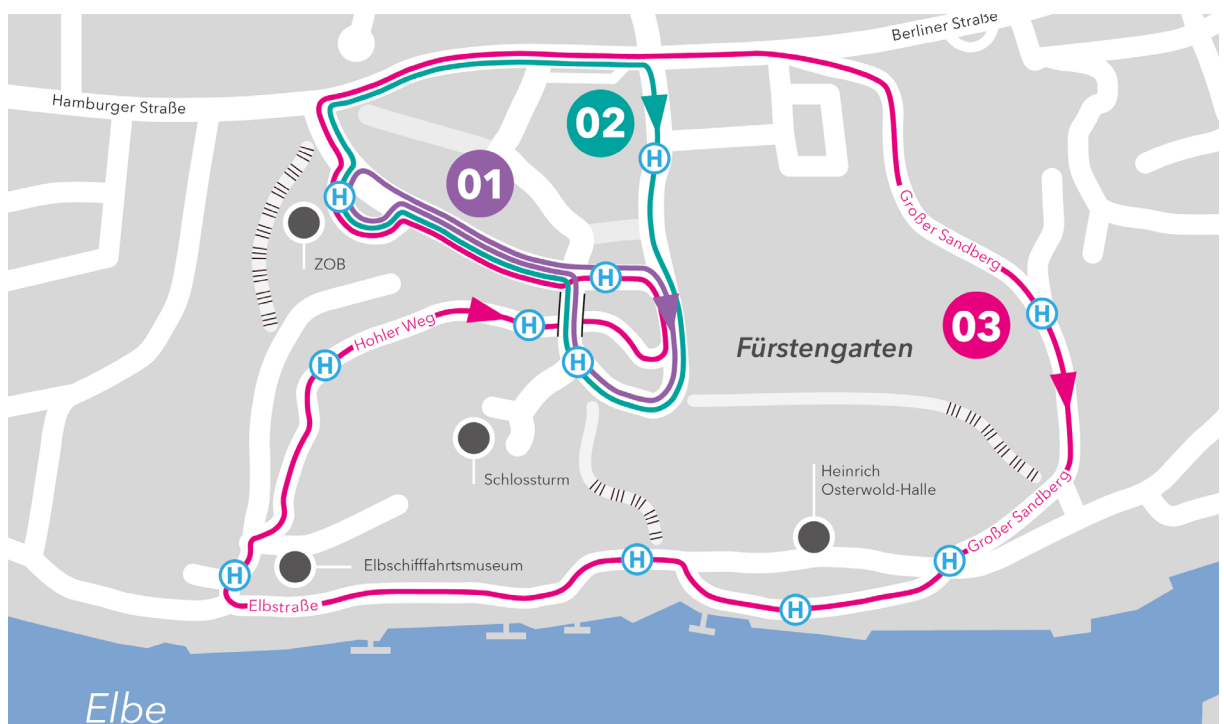
Gemäß Förderantrag und -bescheid ergaben sich folgende Meilensteine für das Projekt. Es wurde ein ausführlicher Projektterminplan in Microsoft Project erstellt, um Projektverlauf, -abhängigkeiten und -risiken beobachten zu können. Folgende Meilensteine kennzeichnen den Projektverlauf (Tabelle 2):

Insgesamt sollten bis zur dritten Teststufe (Strecke 3, Abbildung 1 und Abbildung 2) zunächst zwei kleinere Strecken (Strecke 1 und 2) einprogrammiert gefahren werden, um sich langsam voranzutasten, was den Schwierigkeitsgrad der Strecke, die fahrzeugtechnischen Möglichkeiten und die Lernkurve des Projekts insgesamt betraf.

Tabelle 2: Meilensteine im Projekt TaBuLa

Gepannter Termin (Veranlasser)	Meilenstein	Tatsächlicher Termin
28.02.2018 (BMVI)	Unterzeichnete Kooperationsvereinbarung	28.02.2018
01.01.2019 (BMVI)	Zulassung und Betrieb auf öffentlichen Straßen	09.09.2019
01.07.2019 (Partner:innen)	Aufnahme Fahrgastbetrieb mit Fahrzeugbegleitern	11.10.2019
01.01.2020 (Partner:innen)	Aufnahme Fahrgastbetrieb ohne Fahrzeugbegleiter	entfallen

Abbildung 1: Übersicht über alle Strecken des TaBuLa Shuttle, Strecke 3 geplanter Zustand



Quelle: boy | Strategie und Kommunikation GmbH

Abbildung 2: Übersicht über den am Projektende in Betrieb befindlichen Streckenverlauf der Strecke 3 mit Haltestellen



Quelle: boy | Strategie und Kommunikation GmbH

Legende:

- 01** Ausweichstrecke
- 03** Regelverlauf

Haltestellen:

- 01 ZOB
- 02 Kleiner Sandberg
- 03 Lösch- und Ladeplatz
- 04 Heinrich-Osterwold-Halle
- 05 Fährtreppe
- 06 Kirchplatz
- 07 Friedrichsbrücke (Schloss)

Nach Bedarf:

- 08 Markt
- 09 Amtplatz

Im Projektablauf kam es trotz aller Vorkehrungen zu folgenden Beeinträchtigungen der Planung:

- ▶ Vergabeverfahren nach EU-Vergaberecht: Es musste gemäß den Einkaufsrichtlinien der TUHH für Verträge für das Fahrzeug ein zweistufiges Vergabeverfahren durchgeführt werden, was den Zeitaufwand deutlich erhöhte.
- ▶ Die Vertragsabwicklungen zur Fahrzeugbestellung mit Fördermittelgebenden, Fahrzeugherstellenden und Versicherung nahmen mehrere Monate in Anspruch.

- ▶ Lieferzeit der Fahrzeuge: Das Fahrzeug musste für den Betrieb in Lauenburg/Elbe besonders angepasst werden, maßgeblich zu nennen ist hier der notwendige Allradantrieb für die Steigungen im Projektgebiet.
- ▶ Einzelbetriebserlaubnis und besondere Genehmigungsabläufe waren notwendig, für die in Deutschland noch keine Beispiele vorlagen, was zeitliche Mehraufwände bei allen Beteiligten bedingte.
- ▶ Die Anforderungen für einen reibungslosen Betrieb – insbesondere im Hinblick auf die Ortung – waren auf Strecke 3 erheblich, so dass die Strecke 3 erst ein halbes Jahr nach den Strecken 1 und 2 befahren werden konnte.
- ▶ Ein Betrieb ohne Begleiter:innen war weder rechtlich noch technisch im Jahr 2020 möglich.
- ▶ Im Jahr 2020 kam es zu erheblichen Einschränkungen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie. So wurde das Fahrzeug während der Lockdowns außer Betrieb genommen und zwischenmenschlich geplante Workshops, Befragungen und Veranstaltungen fielen fast vollständig aus. Im Sommer/Herbst 2020 wurden nur einzelne Personen befördert, damit Abstände im kleinen Fahrzeug besser eingehalten werden können.
- ▶ Das geplante Symposium für Juni 2020 musste erst auf März 2021 verschoben und dann erneut abgesagt werden. Es wird nun im Folgeprojekt TaBuLa-LOG (FKZ 01MM19013, gefördert vom BMVI) im Rahmen des ITS World Congress durchgeführt.

Insgesamt konnte dennoch ein Großteil der faktischen Ziele des Projektes durch eine kostenneutrale Projektverlängerung um neun Monate erreicht werden (siehe Tabelle 3).

Im Zuge der Planungen wurden über 10.000 E-Mails, 20 Sitzungen der Projektgruppe und 12 Sitzungen der Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit sowie mehr als 100 Termine mit Externen durchgeführt.

Tabelle 3: Faktische Projektziele von TaBuLa

Ziel	Wert (Ziel)	Wert (Ist)
Versuchsfahrzeug im Testbetrieb auf öffentlichen Straßen für einen längeren Zeitraum erproben	1,5 Jahre	1,5 Jahre
Akzeptanzbefragungen durchführen	3 Stück	3 Stück
Lichtsignalanlagen aufrüsten	2 Stück	2 Stück
Polleranlagen aufrüsten	2 Stück	2 Stück
Öffentlicher Fahrgastbetrieb	255 Tage (1 Jahr vom 24.03.2020 bis 23.03.2021)	135 Tage*
Workshops mit besonderen Fokusgruppen	12 Stück	4 Stück*
Automatisierte Wege	3,4 km	3,7 km
Anzahl der Operator:innenstopps auf anspruchsvollster Strecke auf 3 minimieren	max. 5 Stück	3 Stück
Fahrgastzahl	mind. 10.000 Personen	3.100 Personen*
Personen- oder Sachschäden bei Dritten durch den automatisierten Betrieb	0 Vorfälle	0 Vorfälle
Anlieger- und Busfahrer:innenbefragungen	5 Stück	5 Stück
Externe Beteiligte in Workshops, Befragungen, Interviews	mind. 1.000 Personen	1.250 Personen
Kommunikation zu anderen Projekten des automatisierten Fahrens	mind. 12 Projekte	> 20 Projekte
Anzahl Tabula-bedingter COVID-19-Fälle bei den Projektbeteiligten inkl. Fahrzeugbegleiter:innen und Gästen	max. 0 Fälle	0 Fälle
Öffentlichkeitswirksame Veranstaltung mit Wirkung auf mehr als 25.000 Personen	mind. 1 Veranstaltung	3 Veranstaltungen
Pressemitteilungen	mind. 12 Stück	20 Stück
*Aufgrund der COVID-19-Bedingungen konnten die Ziele zugunsten der Eindämmung der Pandemie nicht erreicht werden.		

4 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND

Es kam ein automatisiertes Shuttle der französischen Firma NAVYA zum Einsatz. Durch die schwierigen und besonderen Anforderungen an das Shuttle blieb von den möglichen Herstellenden nur NAVYA als Anbieter übrig, dessen Fahrzeug für die Anforderungen vor Ort geeignet war. Der Herstellermarkt ist auch zum Projektende weiterhin überschaubar. Es wurde über andere vom BMVI geförderte Projekte, die den gleichen Fahrzeugherstellenden hatten, ein Erfahrungsaustausch betrieben, so dass hier gegenseitig von Erfahrungen profitiert werden konnte. Eine Blaupause im eigentlichen Sinn über die rechtlichen und verwaltungstechnischen Anforderungen in Schleswig-Holstein lagen darüber hinaus noch nicht vor und wurden erst im Laufe des Projekts mit den Schwesterprojekten in Schleswig-Holstein generiert. Entsprechend kann von einem relativ geringen wissenschaftlichen Ausgangspunkt gesprochen werden. Das Projekt hat hier in kurzer Zeit mit anderen Projekten relatives Neuland betreten. Basis waren hier dementsprechend nur Vorläuferprojekte in anderen Bundesländern, deren Erfahrungen jedoch wegen landesrechtlichen Unterschieden nur zum Teil herangezogen werden konnten für die Zulassungs- und Genehmigungsanforderungen.

Auch der technische Stand musste von der Theorie in der Praxis immer wieder vor Ort überprüft und angepasst werden. Damit das Fahrzeug auf wenige Zentimeter genau auf seinen vorgesehenen Routen verkehrt, wurde auf Satellitenortung zurückgegriffen in Verbindung mit einer in Lauenburg/Elbe installierten GNSS-Referenzstation.

Es mussten zum Teil Aufrüstungen der Infrastruktur und Technik, insbesondere in Bezug auf die V2X-Kommunikation geleistet werden. Hierbei kam Technik zum Einsatz, die in Lauenburg/Elbe weiterentwickelt und bisher nur in wenigen Städten weltweit im Einsatz ist, darunter z. B. das Testfeld Hamburg oder der ShuttleBetrieb in Sion. Auf der Strecke wurden mit Hilfe der Firma Siemens und der Stadt Lauenburg/Elbe zwei Lichtsignalanlagen mit kommunikationsfähiger Technik (Roadside units mit G5-WLAN-Standard/ETSI 2019) ausgestattet, so dass das Fahrzeug von der Lichtsignalanlage eine Statusmeldung (SPAT-/MAP-Daten) je nach Fahrstreifennutzung erhält und dann entsprechend an der vorgesehenen Haltelinie stoppt oder die Lichtsignalanlage passiert.

Zwei vorhandene Polleranlagen in der zufahrtsbeschränkten Altstadt wurden mit GSM-Modulen ausgestattet. Dazu wurde auf dem Fahrzeugmobiltelefon eine eigenentwickelte App installiert, die automatisch bei Annäherung an die Polleranlage einen entsprechenden Anruf tätigt und den gewünschten Handlungsbefehl (z. B. Poller absenken) auslöst. Selbige App wurde auch dazu genutzt, den Standort des Fahrzeuges (bzw. eigentlich nur des dazugehörigen Mobiltelefons) durchgängig auf eine Karte im Internet zu übertragen, die während der Fahrzeitfenster des Shuttles öffentlich einsehbar war (nachfolgende Abbildung 3).

Das Projekt fußt auf den aktuellen das Projekt berührenden Gesetzen zur Fahrzeug- und Streckenzulassung, Personenbeförderungsrecht, Fahrerlaubnisrecht, infrastrukturellen Maßnahmen, Datenschutz und Forschung. Eine Beteiligung der Launeburger:innen und Anwohner:innen der geplanten Strecken erfolgte in separaten Terminen zu einem frühen Zeitpunkt, so dass die Eingaben und Anmerkungen für den Verlauf des Projekts berücksichtigt werden konnten. Über die Homepage der TUHH, weitere soziale Medien, die Stelle für Öffentlichkeitsarbeit der Stadt Lauenburg/Elbe sowie der VHH standen zahlreiche Kanäle für einen Austausch während der Projektlaufzeit zur Verfügung.

Abbildung 3: Screenshot der eigenen Webseite tabulashuttle.de vom 27.04.2021

TaBuLa
Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg

Mehr Informationen zum Projekt: [Home](#) [Projekthistorie](#) [TaBuLa-LOG](#) [Projektteam](#) [Ergebnisse](#) [FAQ](#) [Kontakt](#)

AKTUELLE BETRIEBSINFORMATION:
+++ Während des bundesweiten Lockdown findet kein Betrieb statt! +++
+++ Bleiben Sie gesund! +++

Haltestellen (bus stops)

01 ZOB	06 Kirchplatz
02 Kleiner Sandberg	07 Hohler Weg (Mitte)
03 Lösch- und Ladeplatz	08 Friedrichsbrücke (Schloss)
04 Heinrich Osterwold-Halle	09 Fürstengarten (Bedarfhalt, kein Regelbetrieb)
05 Fährtrappe	

	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Montag	kein Fahrgastbetrieb							
Dienstag bis Freitag	Fahrgastbetrieb							
Samstag	Fahrgastbetrieb							
Sonntag	kein Fahrgastbetrieb							

Icons: Wheelchair, Stroller, Person, No Bicycles, 18 km/h

Aktuelle Twittermeldungen:

Mo, 11.01.2021 12:47
Bericht im @NDR SH Magazin über unseren #autonomen #Transportroboter Laura: Der

Fr, 08.01.2021 10:56
Heute 18.00h im @NDR SH-Magazin: Vorstellung des #tabulaLog #Projekts. Interview mit Dr.

5 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

Zu Projektbeginn stand das Projektpartner:innen-Team aus Kreis, TUHH und VHH fest. Im Jahr 2018 zeigte sich beim Abschluss des Kooperationsvertrages ein rechtliches Problem in der Organisationsform der VHH, um direkt vom BMVI gefördert zu werden. Daraufhin erfolgte eine kostenneutrale Umstrukturierung, bei der die Verkehrsbetriebe zum assoziierten Partner und Nachunternehmer des Kreises wurden. Der zielorientierten Realisierung hat dieser Umstand keinen Abbruch getan, so dass in Kombination mit den nachfolgenden assoziierten Partner:innen ein optimales Team entstanden ist.

Weitere assoziierte Partner:innen:

- ▶ Büro autoBus (Interlink GmbH) unterstützte als Unterauftragnehmer der TUHH das Projekt mit umfassenden Beratungsleistungen zu Betrieb, Genehmigung und Beschaffung. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Realisierung eines Testzentrums für automatisierte Shuttles durchgeführt.
- ▶ Siemens stand dem Projekt mit technischer Unterstützung bei der Realisierung der V2X-Kommunikation zur Seite.
- ▶ Die Versorgungsbetriebe Elbe GmbH hat eine Garage zur Einstellung des Fahrzeugs mit Lademöglichkeit und mit Sanitärräumen, sowie technischen Support in der Außenstelle Lauenburg/Elbe zur Verfügung gestellt.
- ▶ Die Stadt Lauenburg/Elbe war für das Projekt mit erheblicher lokaler Unterstützung bei Genehmigungsprozessen und der Umsetzung zur Realisierung und Unterhaltung der Strecken beteiligt. Dazu wurden auch Räumlichkeiten bereitgestellt.

Darüber hinaus waren weitere Unternehmen als Nachunternehmer maßgeblich am Projekterfolg und Wissensgewinn beteiligt:

- ▶ TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG hat das Projekt in Hannover mit umfassenden Beratungsleistungen als Kfz-Sachverständigenorganisation unterstützt.
- ▶ Die Firma Nexave GmbH & Co. KG hat die Implementierung einer App im Fahrzeughandy zur Fahrzeugortung und Kommunikation mit Infrastrukturanlagen übernommen. Es wurde die Einbindung dieser Echtzeitdaten auf eine Homepage mit öffentlichem und internem Zugangsbereich für aktuelle Betriebsüberwachung und -information eingespielt.
- ▶ NAVYA aus Lyon als Fahrzeughersteller hat entsprechende Wartungen und Messarbeiten übernommen.
- ▶ Die Kanzlei Brock Müller Ziegenbein Rechtsanwälte Partnerschaft mbB aus Flensburg übernahmen die juristische Beratung bei Themen der Automatisierung und der Produkthaftung.
- ▶ Von der Firma Miovision Technologies Inc. aus Kanada wurde ein Verkehrsbeobachtungssystem angeschafft.
- ▶ Die Hochschule für angewandte Wissenschaften in Hamburg (HAW) hat als Unterauftragnehmer einen Datenlogger in das Shuttle eingebaut, um Daten zum Fahrzeugbetrieb zu sammeln und auszuwerten.
- ▶ Die Medizinische Hochschule Hannover lieferte mit ihrer Verkehrsunfallforschung und dem Projekt GIDAS (German In-Depth Accident Study) des BMVI Daten zu Unfällen mit Bussen bzw. Bushaltestellen.

Diese Liste ist bei Weitem nicht vollständig, es waren auch verschiedene lokale Betriebe involviert. Die Liste gibt vorrangig die Firmen an, die an innovativen Aspekten für das Projekt mitgewirkt haben.

Darüber hinaus gilt der besondere Dank von TaBuLa folgenden Projekten, die in der Anfangszeit das Vorhaben TaBuLa sehr unterstützt haben:

- ▶ Sion/Bern – SmartShuttle – Testbetrieb, PostAuto AG
- ▶ Neuhausen am Rheinfluss – Anwendung NAVYA Autonom Shuttle im Projekt „ÖV-Lab am Rheinfluss“, AMoTech GmbH
- ▶ Bad Birnbach – Autonomer Bus, Unternehmen DB Regio Bus
- ▶ Wusterhausen/Dosse – AutoNV_OPR, Technische Universität Berlin
- ▶ Berlin Charité – Stimulate, Berliner Verkehrsbetriebe

Eine intensive Zusammenarbeit hat sich darüber hinaus mit dem NAF-Bus-Projekt (gefördert vom BMVI in der gleichen Förderlinie) besonders mit der EurA AG und der Sylter Verkehrsgesellschaft während der gesamten Dauer beider Projekte entwickelt. Insbesondere der Wissenstransfer und auch die optimierte Kostenteilung bei der Beschaffung von Material, Schulungen und Zulassungsverfahren verdient den Dank des Projekts.

II ERGEBNISSE DES PROJEKTS TABULA

In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung der Projektergebnisse nach Themenbereichen. Die Reihung der Themenbereiche gibt hierbei keine Gewichtung wider, sondern soll rein logischen und zum Teil chronologischen Gesichtspunkten folgen. Für eine bessere Übersicht ist jedes thematische Kapitel zunächst strukturiert nach Ergebnissen mit ihren daran anschließenden Unterkapiteln für eine jeweilige Zuordnung zu den unter Abschnitt I genannten Unterzielen. Daran schließt sich jeweils ein Unterkapitel zur Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit für die inhaltlich dargestellten Punkte der Ergebnisse an, sowie ein Unterkapitel zum voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.

6 FAHRZEUGBESCHAFFUNG UND AUSSTATTUNG

Für die Fahrzeugbeschaffung und Ausstattung des automatisierten Shuttles war aufgrund des Vergaberechts ein europaweiter Teilnahmewettbewerb mit anschließendem Verhandlungsverfahren erforderlich. Die Unterlagen für das Verfahren wurden vom Projektteam angefertigt und nach dem Wettbewerb wurden Vertragsverhandlungen durchgeführt. Dieser Prozess hat gezeigt, dass die Fahrzeuge zwar heute schon im öffentlichen Raum im ÖPNV betrieben werden können, es jedoch noch nicht möglich ist, ein Fahrzeug mit allen MUSS- und KANN-Anforderungen des ÖPNV zu beschaffen.

6.1 Ergebnisse

Zur Beschaffung eines passenden Fahrzeugsystems wurde zunächst eine Marktsondierung der verfügbaren Fahrzeugherstellenden durchgeführt. Parallel zur Marktsondierung wurde ein Lastenheft mit konkreten MUSS- und KANN-Kriterien erstellt, um die zu beschaffende Leistung – ein oder zwei Shuttle-Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen inkl. Software-Lizenz und Dienstleistungen zur Inbetriebnahme und zum Betrieb – bzw. die Anforderungen an die Bieter:innen detailliert zu beschreiben und projektintern abzustimmen. Insgesamt kamen 236 Kriterien im Lastenheft zusammen, die neben den üblichen Anforderungen aus dem Personenbeförderungsbetrieb mit Linienbussen sowie den Anforderungen aus der Elektromobilität auch die am Markt verfügbare Technik rund um das automatisierte Fahren mit Klein-/Minibussen/People-Movern und die Anforderungen aus den spezifischen Gegebenheiten vor Ort berücksichtigte. Ein wesentlicher Teil der Kriterien richtete sich nach den Streckenanforderungen und war daher zwingend für die Bewältigung der Strecke 3 in Lauenburg/Elbe von den Herstellenden zu erfüllen (zu den einzelnen Strecken siehe Kapitel 7 Streckenertüchtigung).

Es wurde gegenüber dem im Antrag vorgesehenen Fahrzeugkauf durch das Projekt zur Angebotseinholung eine Mietlösung favorisiert, da der Stand der Technik sich in diesem Segment schnell ändern kann, weil es sich um ein neueres Forschungs- und Entwicklungsfeld handelt. Damit im Falle eines negativen Projektergebnisses die TUHH oder der Betreiber der Fahrzeuge nicht mit der Verwertung belastet wäre und die Mietoption einen Kostenvorteil aufwies, wurde der Mietlösung der Vorzug gegeben. Aufgrund der Beschaffungssumme von über 221.000 € wurde eine europaweite Bekanntmachung eines Teilnahmewettbewerbes im

Rahmen eines Verhandlungsverfahrens §17 gemäß Vergabeverordnung (VgV) gestartet. Neben dem Lastenheft wurden u. a. folgende Unterlagen für die Vergabe angefertigt bzw. zusammengestellt:

- ▶ Leistungsbeschreibung,
- ▶ Bewerbungsbedingungen,
- ▶ Aufforderung zur Angebotsabgabe,
- ▶ Angebotsvordruck,
- ▶ Eigenerklärung,
- ▶ Preisblatt,
- ▶ Vertragsbedingungen und
- ▶ Bewertungsmatrix.

Letztere diente der Auflistung der Bewertungskriterien für die Angebotsauswertung. Es wurden fünf Kriterien festgesetzt:

- ▶ Angebotspreis,
- ▶ Erfahrungen/Referenzen,
- ▶ Einsatzreife/Erreichen des Projektziels,
- ▶ Zulassungsfähigkeit,
- ▶ fristgerechter Liefertermin.

Der Angebotspreis wurde bei der Auswertung doppelt gewichtet. Fünf Herstellende (zwei aus Frankreich, einer aus den Niederlanden, zwei aus Deutschland) meldeten ihr Interesse an der Teilnahme am Verfahren an. In der Phase der Angebotsabgabe gaben zwei Bewerber:innen Angebote ab, die vom Projektkonsortium anhand der Bewertungskriterien geprüft wurden.

Jedoch konnte keiner der beiden Herstellenden alle Kriterien erfüllen, sodass die Ausschreibung daraufhin aufgehoben bzw. als freihändige Vergabe fortgesetzt wurde. Anschließend wurde mit den zwei verbliebenen Herstellern direkt verhandelt. Es erfolgten erneut Streckenbegehungen mit technischen Spezialisten der Hersteller.

Problematisch erwiesen sich bei den Herstellern die geforderten Kriterien zur garantierten Verfügbarkeit der Fahrzeuge während der Betriebszeiten sowie vertragliche/juristische Aspekte und die hohen technischen Anforderungen der Umsetzungsstufe 3 (Strecke 3).

Es verblieb insbesondere aufgrund der hohen Neigungen und der schmalen Gassen in Lauenburg/Elbe nur ein Hersteller (NAVYA), der den Zuschlag über die Miete eines Shuttles über 13 Monate inkl. aller notwendigen Serviceleistungen (Full-Service-Vertrag) und Implementierungen in Höhe von 303.838,56 € erhielt. Es folgten einzelne Nachträge für speziell im Nachhinein vom Auftraggeber gewünschte Nachrüstungen, sowie Streckenerweiterungen und -anpassungen. Die Miete eines zweiten Fahrzeugs im Rahmen des Projekts erwies sich nicht als sinnvoll.

Den hohen Kosten hierfür stand ein geringer Mehrwert für das Erkenntnisinteresse des Projekts gegenüber.

Zum Projektende erfolgte bezüglich der kostenneutralen Verlängerung und der Weiternutzung der Technik im Folgeprojekt TaBuLa-LOG erneut eine europaweite Abfrage der Interessensbekundungen der Herstellenden. Die Ausschreibung war in mehreren Losen aufgebaut und speziell für neue Herstellende am Markt im Sinne eines Testzentrums ausgerichtet. Es war ein Los enthalten, bei dem der jeweilige Herstellende den Aufwand für die Inbetriebnahme auf Strecke 3 bezahlt bekommen hätte und die Projektpartner:innen die Kosten für die technische Prüfstelle sowie Infrastruktur übernommen hätten. Alle fünf Herstellenden der ersten Runde wurden nochmals befragt. Zwei Herstellende gaben erneut Angebote ab. Obwohl zwei Jahre vergangen waren, konnte noch immer kein Herstellender alle MUSS-Kriterien erfüllen (die zusätzlich gegenüber 2018 im Umfang deutlich reduziert wurden). Die Ausschreibung wurde erneut aufgehoben und direkt mit den Herstellenden verhandelt. Dabei wurde deutlich, dass bis März 2021 weiterhin kein Herstellender außer NAVYA sich technisch in der Lage fühlte, die Strecke 3 mit ihren vielfältigen Herausforderungen zu bewältigen. Daraufhin wurde die Zusammenarbeit mit NAVYA fortgesetzt und ausgebaut.

6.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Für die Projektdurchführung war die Miete/der Kauf eines automatisierten Fahrzeugs die entscheidende Grundvoraussetzung. Daher können mehr oder weniger alle Projektziele als Bezugsrahmen für diese Maßnahme gelten.

Dabei sind vorrangig vier Ziele hervorzuheben:

Für die Erreichung des **Unterziels 1** (Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen) wurde das Verfahren einer Fahrzeugbeschaffung erfolgreich durchgeführt und so der Einsatz überhaupt ermöglicht. Gleichzeitig arbeitete dieses Thema der Erreichung von **Unterziel 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV) zu, indem diese nur durch das Durchlaufen des gesamten Prozesses von der tatsächlichen Beschaffung bis hin zum Betrieb identifiziert werden können. Auch für die Erreichung von **Unterziel 3** (Die Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen festzustellen und zu untersuchen) und **Unterziel 4** (Anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren), ist der tatsächliche Betrieb essenziell. Für die weiterführenden Untersuchungen zum **Unterziel 5** (den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielles Testfeld für die vorhandenen und

neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren) wurde über den europaweiten Teilnahmewettbewerb im Beschaffungsprozess eine Markterkundung und das Interesse am Testfeld ermittelt.

6.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Vorfeld wurde vom Projektteam festgelegt, dass die ursprüngliche Vorzugsvariante "Kauf von zwei Fahrzeugen" eher durch eine Mietoption zu ersetzen war, die eine vollumfängliche Serviceleistung des Herstellers NAVYA mit einbezog. Der zusätzliche Nutzen von zwei Fahrzeugen wurde für das Projekt TaBuLa als zu gering bewertet, weshalb dafür größere Investitionen in das erste Fahrzeug und wiederkehrende Verbesserungen im gesamten Projektverlauf möglich wurden. Aufgrund der schwierigen Streckenanforderungen war die Miete eines Fahrzeuges die bessere Option, um mit dem einzigen Hersteller möglichst viele Optionen zur Ausgestaltung offen zu halten. Etwaige Nachbesserungen oder etwaige technische Neuerungen konnten somit flexibler durch die TUHH gehandhabt werden. Zudem konnte davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeugtechnologie aufgrund der technologischen Entwicklung nach Ablauf des Projektes nicht mehr dem neusten Stand der Technik entsprechen würde.

Die (für die Strecke 3 in Lauenburg/Elbe gegebene) Monopolstellung des Herstellers NAVYA sowie die Tatsache, dass der Sitz der Firma in Frankreich liegt, verursachte zusätzliche Aufwände bei Kommunikation, Wartung und Verhandlungen über die gesamte Projektlaufzeit. Die zusätzlichen Aufwände waren mitentscheidend für den Projekterfolg.

6.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Fahrzeugbeschaffung bildete die Grundlage für den inhaltlichen Forschungskern des Projekts. Durch die europaweite Fahrzeugausschreibung mit einem dezidierten Anforderungskatalog (der mit Aufgabenträger des ÖPNV und Verkehrsbetrieben entwickelt wurde) konnte den Herstellern signalisiert und übergeben werden, was aus Sicht des ÖPNV für Notwendigkeiten und Aspekte zu beachten sind. Es ist davon auszugehen, dass Fahrzeughersteller sich damit weiterentwickeln können im Sinne eines Nachhaltigen ÖPNV. Die kostenneutrale Projektverlängerung sowie das Nachfolgeprojekt TaBuLa-LOG profitierten von den bereits im Projekt gesammelten Erfahrungen und der problemlosen Verlängerung der Fahrzeugmiete. Somit konnten zeitintensive Aspekte wie eine erneute Erarbeitung von Ausschreibungs- und Verhandlungsunterlagen mit Fahrzeug anbietenden im Nachfolgeprojekt entfallen.

7 STRECKENERTÜCHTIGUNG

Die Streckenertüchtigung zur Vorbereitung für den Shuttlebetrieb erfolgte in enger Zusammenarbeit mit allen beteiligten Behörden, Partner:innen und in Zusammenarbeit mit Siemens und NAVYA. Unter anderem mussten die Route des Fahrzeugs gepflegt (z. B. Grünschnitt) und gelbe Fahrbahnmarkierungen auf der Straße während des Projekts mehrmals erneuert werden. Baumaßnahmen waren zu beschildern und etwaige Beschädigungen durch das Fahrzeug bzw. die Routenanpassung zu reparieren (z. B. Gehwegerneuerung). Die Stadt Lauenburg/Elbe hat das Projekt unterstützt und Infrastrukturmaßnahmen umgesetzt oder mit Dritten koordiniert. Diese vorgenannten Maßnahmen zur Streckenertüchtigung sowie die Pflege der Strecke machten einen wesentlichen Kostenanteil innerhalb der Infrastrukturmaßnahmen für das Projekt aus. Für die Orientierung und Ortung des Fahrzeuges waren weitere Maßnahmen in Kooperation mit Siemens erforderlich, die ebenfalls einen hohen Anteil der Kosten ausmachten. Die Infrastrukturanforderungen und -maßnahmen sind im Detail in einer separaten Veröffentlichung erschienen (Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa).

7.1 Ergebnisse

Für die Nutzbarkeit der Strecke wurden folgende Investitions- und Unterhaltungsmaßnahmen an der Infrastruktur notwendig:

Vernetzung

- ▶ Pollerhochrüstung mit GSM-Modulen (*bleibt auch nach Ende des Projekts erhalten*)
- ▶ Lichtsignalanlage 1 Hochrüstung inkl. Steuergerät und roadside unit (RSU) (*bleibt erhalten*)
- ▶ Lichtsignalanlage 2 Hochrüstung inkl. Steuergerät und roadside unit (*bleibt erhalten*)

Ortung

- ▶ Installation der GNSS-Antenne
- ▶ Landmarker Beton – Lieferung und Aufstellung
- ▶ Landmarker Beton – Verkehrssicherung und Beschilderung
- ▶ Landmarker Holz

Beschilderung und Markierung

- ▶ Verkehrszeichen mit Hinweis auf das Testfeld bzw. die Fahrzeuge
- ▶ diverse Verkehrszeichen – Lieferung und Montage (Vorfahrt- sowie Halte-/Parkverbote und Warnbaken)
- ▶ Gelbmarkierung Askanerring und Bundesstraße 5 (B5) zur Ordnung der Parksituation und Verbreiterung von Fahrstreifen auf mind. 3 m Breite
- ▶ Weißmarkierung Hohler Weg (Haltelinie für Stopp-Schild)
- ▶ Erneuerung Gelbmarkierung Askanerring und B5 (Oktober 2019)
- ▶ Erneuerung Gelbmarkierung Askanerring und B5 (Februar 2020)
- ▶ Erneuerung Weißmarkierung Askanerring und Gelbmarkierung B5 (Juni 2020)

Unterstellung

- ▶ Garage – Unterhaltung
- ▶ Garage – Herstellung eines neuen Strom-Hausanschlusses zur Ladung von Fahrzeugen

Haltestellen

- ▶ Haltestelle Lösch- und Ladeplatz Neubau (*bleibt erhalten*)
- ▶ Haltestelle Fährtreppe Umbau (*bleibt erhalten*)
- ▶ Haltestellen (Lieferung und Montage dreier provisorischer Podeste)
- ▶ Haltestellenmasten inkl. wiederkehrend neuer Aushänge und Informationen
- ▶ Provisorische Haltestellenpodeste für die Barrierefreiheit

Unterhaltung Strecke

- ▶ Asphaltfeinbeton für Anrampung Parken
- ▶ Gehwegerneuerung nach Setzungen durch Parken
- ▶ Bauhofleistungen für Grünschnitt
- ▶ Bauhofleistungen für diverse weitere Arbeiten (z. B. Absperrungen für Veranstaltungen, Bauarbeiten oder Kartierungsfahrten)

Es wurden individuelle Lösungen entwickelt, die – trotz des Ziels die Infrastruktur möglichst so zu belassen, wie sie ist – notwendig wurden und einen relevanten Einfluss auf das Umfeld haben (z. B. Verschmälerung Gehwege, Aufheben von Parkständen oder Eingriff ins Ortsbild).

Die Maßnahmen wurden zumeist als temporäre Maßnahmen genehmigt. Dadurch wurde die Akzeptanz und Genehmigungsfähigkeit gesteigert. Die durch "bleibt erhalten" gekennzeichneten Maßnahmen bleiben auch nach Ende des Projekts bestehen und müssen nicht zurückgebaut werden. Sie stellen auch künftig einen Mehrwert für die Stadt Lauenburg/Elbe dar. Diese sind gleichzeitig auch die innovativsten und weltweit seltenen Lösungen, die hier in den öffentlichen Raum übergeben werden. Alle übrigen Maßnahmen werden im Folgeprojekt TaBuLa-LOG zurückgebaut, da der alleinige Nutzen dem spezifischen Shuttle galt.

7.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Für die Erreichung des **Unterziels 1** (Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen) wurde eine Streckenertüchtigung in der Stadt Lauenburg/Elbe auf den definierten Routen vorgenommen, damit das Fahrzeug auf den vorgesehenen Strecken zugelassen werden kann. Die Einrichtung der Strecken trug zur Erreichung des **Unterziels 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV) sowie **Unterziel 4** (Anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren), **Unterziel 5** (den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielle Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren) sowie **Unterziel 6** (Eine Testumgebung für autonome Busverkehre implementieren) bei.

7.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Ohne die Streckenertüchtigung wäre der Einsatz eines automatisierten Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr nicht zulässig oder durchführbar gewesen. Die entlang der Strecke vorgenommenen Eingriffe, wie das Aufstellen von Landmarkern zur Orientierung des Fahrzeugs oder die Markierung des Straßenraumes für den ruhenden Verkehr, waren zwingend erforderlich, damit das automatisierte Fahrzeug ohne Behinderungen die einprogrammierten Strecken sicher befahren kann. Ohne das Aufrüsten der bestehenden Lichtsignalanlagen wären die Knotenpunkte nicht automatisiert befahrbar gewesen. Gleiches gilt für die Polleanlagen in der Altstadt. Der Ausbau der Haltestellen führte zu deren barrierefreier Nutzbarkeit bspw. für Rollstuhlfahrer:innen, welche bisher nicht gegeben war wie z. B. die Heinrich-Osterwold-Halle.

7.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Im Verlauf des Projekts gab es zahlreiche Exkursionen und Wissenstransfers mit Veranstaltungen von anderen Städten, Behörden, Politiker:innen und Interessierten in Lauenburg/Elbe, die auch nach Projektende im Nachfolgeprojekt TaBuLa-LOG fortgesetzt werden. Die Erkenntnisse des Projekts sind ebenso in den aktuellen Lehrbetrieb des Instituts in Form von Vorlesungen und Exkursionen für Studierende eingeflossen und auch zur Vorstellung im Rahmen von Vorzeigeprojekten an der TUHH für den Zukunftstag für interessierte Schüler:innen genutzt worden. Es fanden auf entsprechenden Tagungen drei Vorträge zur notwendigen Infrastruktur im automatisierten Betrieb statt.

Es folgt in 2021 eine separate Veröffentlichung zum Thema Infrastruktur, die auch Bezug auf die Verkehrsunfalldaten nimmt, die aus Datenbeständen der Medizinischen Hochschule Hannover für den ÖPNV vorliegen.

Für das Folgeprojekt wurde durch die Streckenertüchtigung und die im Prozess gesammelten Erfahrungen ein schnellerer Einstieg durch den übermittelten Wissensvorsprung ermöglicht.

Die roadside units sind so konzipiert worden, dass sie nach Projektende von jedem Fahrzeug, das über eine On-Board Unit vernetzt ist, weitergenutzt werden können. So können neue Serienmodelle mittels WLAN-G5-Standard den Status der Signalgeber und Prognosedaten auch weiterhin empfangen. Die Stadt übernimmt hierfür den Weiterbetrieb.

Insgesamt gibt es mehr als 100 Projektbeteiligte bei den Partner:innen, die von dem gewonnenen Wissen im Bereich der Streckenanpassungsprozesse profitieren.

Die Infrastruktur wurde am 31.12.2020 samt dem Shuttle kostenneutral an das Folgeprojekt TaBuLa-LOG übergeben, das ebenfalls vom BMVI gefördert wird und in welchem dann die Technik weiterentwickelt wird.

8 BETRIEB DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLEBUSSES

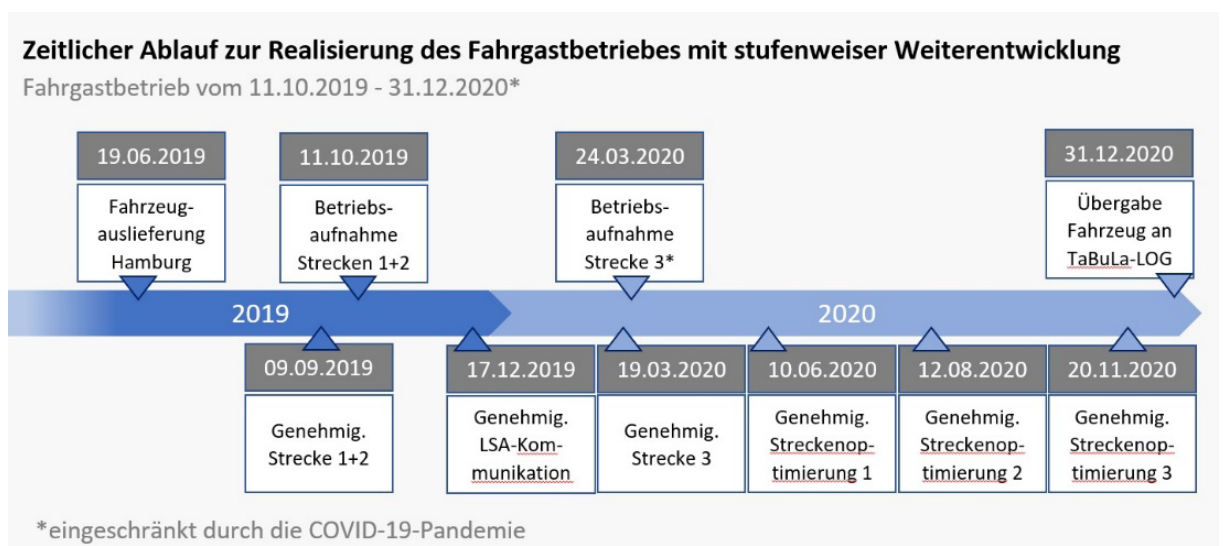
Der Betrieb eines automatisierten Shuttlebusses hat aus verschiedenen Blickwinkeln gezeigt, dass es möglich ist, einen regulären Betrieb (insbesondere für den Kreis oder die Betreibergesellschaft) einzurichten. Er steht jedoch vor besonderen, noch zu lösenden Problemen.

8.1 Ergebnisse und Erkenntnisse zum Shuttlebetrieb

Im Verlauf von drei Projektjahren sind sehr viele Erkenntnisse und Ergebnisse zusammengetragen worden, die zum Teil in eigenen Veröffentlichungen behandelt werden (Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa). Um dennoch einen kurzen und umfassenden Überblick über das Thema zu geben, wird nachfolgend in Kapitel 8.1.1 ein Einblick über die aus Projektsicht fünf wichtigsten Themenfelder gegeben, bevor in Kapitel 8.1.2 eine Einschätzung für weitere Möglichkeiten automatisierten Fahrens erfolgt. In Kapitel 8.1.3 werden dann zusammengefasst die Erkenntnisse und Ergebnisse des Workshops zur Gegenwart und Zukunft des automatisierten Fahrens im ÖPNV wiedergegeben.

Der Shuttlebetrieb selbst wurde stufenweise entwickelt und bis zum Projektende verbessert. Der Ablauf ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt (Abbildung 4).

Abbildung 4: Zeitlicher Ablauf zur Realisierung des Fahrgastbetriebes mit stufenweiser Weiterentwicklung



8.1.1 Kurzfassung zu den wichtigsten Ergebnissen

Zusammengefasst werden die Hauptaspekte und Ergebnisse aus dem Projekt unter fünf Rubriken summiert, die aus Projektsicht die wesentlichsten Felder im Hinblick auf die skizzierten Interessenslagen der Projektpartner:innen darstellen:

Wirtschaftlichkeit

Die Erkenntnisse aus dem Projekt TaBuLa zeigen, dass derzeit ein automatisiert fahrendes Shuttle nicht wirtschaftlich sinnvoll im ÖPNV eingesetzt werden kann. Die Anschaffung sowie der (Kosten-) Aufwand zur Inbetriebnahme eines jeweiligen Shuttles sind sehr hoch und nicht wirtschaftlich. Die Kosten betragen pro Fahrplankilometer im Rahmen des aktuellen anspruchsvollen Projektes mit den aktuellen Randbedingungen ungefähr das 10-fache eines regulären Busbetriebes eines 12-m-Standardbusses. Der Stand der Technik ist noch nicht so weit ausgereift, dass ein Shuttle eigenständig und ohne Begleitperson betrieben werden kann. Darüber hinaus fehlt ein gesetzlicher Rahmen. Die Versicherungskosten sind höher als die eines herkömmlich betriebenen Busses. Außerdem gibt es beim Betrieb eines automatisiert fahrenden Shuttles auf einer virtuellen Schiene zusätzliche Kostenpositionen, die es bei einer herkömmlichen Buslinie nicht gibt. Hierzu zählen zum Beispiel Lizenzen für Software samt Updates oder auch Streckenanpassungen der digitalen Route des Fahrzeugs. Im Vergleich zum herkömmlich betriebenen ÖPNV sind die Betriebskosten hoch und binden gleiche personelle Kapazitäten bei entsprechend weniger Fahrgästen, die mitfahren können. So wurden zum Betrieb des Shuttles zwischen Juni 2019 und dem Ende des Projekts etwa 360.000 € für Teil-/Busbetriebshofprojektleitung, Fahrpersonal, Werkstatt und Kfz-Versicherung seitens der VHH aufgewendet.

Verlässlichkeit

Darüber hinaus kann die Verlässlichkeit automatisiert fahrender Shuttles nicht bestätigt werden, da es im bisherigen Projektverlauf immer wieder zu unvorhergesehenen Ausfällen aufgrund der Technik und der Sensoren gekommen ist. Die systembedingte essentielle Positionierung des Shuttles über das globale Satellitennavigationssystem (GNSS) mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich erfordert zum einen eine stabile Mobilfunkverbindung zur Übermittlung der Korrektursignale von der

referenzierten Basisstation (vgl. SAPOS und Ntrip Protokoll) und zum anderen eine ausreichende Anzahl von Satelliten. Dies führt dazu, dass in bestimmten Gebieten, wie zum Beispiel bewaldeten Arealen oder engen Gassen, die Qualität des GNSS Systems für das automatisierte Fahren nicht ausreicht. In solchen Fällen ist eine ausreichende Qualität der Navigation über die Lidar als zweites Positionierungssystem notwendig. Im Falle, dass beide Systeme eine zu schlechte Datenqualität aufweisen, führt dies zwangsweise zum Stopp des Shuttles. Leider treten solche Fälle häufiger auf, als für einen durchgängig verlässlichen Betrieb angemessen wäre. Diese technischen Herausforderungen müssen behoben sein, bevor in Erwägung gezogen werden kann, derartige Shuttles einzusetzen. Mit stetigen Verbesserungen und wiederkehrenden Optimierungen an Fahrzeug- und Streckenprogrammierung sowie Beschilderung und Markierung waren mehrere Monate der Erprobung notwendig, bis der Betrieb auf der Strecke 3 stabil möglich war. Zum Projektende ist es möglich, nach einem festen Fahrplan zu fahren und einzelne Runden der 2,45 km langen Strecke störungsfrei ohne jegliche ungeplanten Eingriffe des Fahrzeugbegleitpersonals zu bewältigen. Das ist somit der angestrebte Erfolgsfall, der jedoch auch bedingt durch die Corona-Pandemie mit erzwungenen Betriebsstillständen, erst in den letzten Projektmonaten erreicht werden konnte.

Flexibilität

Der Einsatz eines automatisiert fahrenden Shuttles muss langfristig geplant werden. Dies gilt sowohl für den initialen Einsatz als auch für Änderungen einer bereits etablierten Route. Genehmigungen für den Betrieb eines Fahrzeugs erfolgen noch per Einzelgenehmigung und sind vergleichsweise aufwändig. Die Streckenführung muss langfristig im Voraus analysiert und bei Bedarf infrastrukturell umgebaut werden. Die vom Shuttle zu fahrende Strecke ist für die virtuelle Schiene digital zu erfassen und muss nötigenfalls immer wieder nachjustiert werden. Ein herkömmlicher Bus ist vergleichsweise flexibel einzusetzen und kann – z. B. bei Baumaßnahmen auf einer Straße – ohne großen Zusatzaufwand oder Unterstützung des Fahrzeugherstellers über eine Umleitung geroutet werden. Alternativ wäre z. B. eine erhebliche Menge an Kartographie eines großen Gebietes erforderlich unter Berücksichtigung der Sensitivität für leichte Veränderungen auf der Route (z. B. Veränderung der Vegetation). Die Vorausplanung ist bei einem potentiellen Einsatz zu berücksichtigen und stellt zum aktuellen Zeitpunkt noch einen Nachteil gegenüber einem herkömmlich betriebenen Fahrzeug dar.

Geschwindigkeit

Mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von maximal 18 km/h und einer durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit von 5 km/h kann der automatisierte Shuttlebus nicht mit dem herkömmlichen ÖPNV mithalten. Die Fahrten zum Ziel würden zum aktuellen Zeitpunkt deutlich länger dauern, als mit den heute eingesetzten Bussen. Bei höheren Geschwindigkeiten wie bspw. auf der Landstraße sind aufgrund der maximalen Höchstgeschwindigkeit von 18 km/h heute noch zu große Geschwindigkeitsdifferenzen vorhanden, um dort einen sicheren Betrieb zu ermöglichen. Die weitestgehend parallel verlaufende Linie 338 braucht für einen Umlauf laut Fahrplan 14 Minuten. Das Shuttle benötigt momentan 26 Minuten für einen Umlauf für Strecke 3.

Akzeptanz

Als überaus wichtig wird auch das Thema der Akzeptanz der Systeme eingestuft. Aufgrund der Relevanz und dem Forschungsschwerpunkt in dem Projekt wird dies näher in Kapitel 9 Akzeptanz von automatisierten Bussen – Befragungen und Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa betrachtet.

8.1.2 Betriebskennzahlen

Das Shuttle wurde von NAVYA am 20.06.2019 geliefert. Damit stand das Shuttle dem Projektteam insgesamt für 561 Tage im Projektzeitraum zur Verfügung. Der Projektzeitraum lässt sich in drei wesentliche Abschnitte aufteilen:

- ▶ Die Inbetriebnahme vom 20.06.2019 bis zum 10.10.2019 mit 113 Tagen
- ▶ Die erste Betriebsphase vom 11.10.2019 bis zum 18.05.2020 mit 221 Tagen
- ▶ Die zweite Betriebsphase vom 19.05.2020 bis zum 31.12.2020 mit 227 Tagen

Die Phase der Inbetriebnahme beinhaltet planmäßig keine öffentlichen Betriebstage. Ab der ersten Betriebsphase war ein planmäßiger Betrieb von Dienstag bis Samstag vorgesehen. Montags, sonn- und feiertags war kein planmäßiger Betrieb vorgesehen. Damit beinhaltet die erste Betriebsphase 149 potentielle Betriebstage und die zweite Betriebsphase 161 potentielle Betriebstage. Insgesamt waren folglich 310 potentielle

Betriebstage seit der öffentlichen Inbetriebnahme für den Fahrgastbetrieb am 11.10.2019 vorgesehen. Hiervon wurden schließlich 137 Betriebstage geleistet, wovon 35 Tage auf die erste und 102 Tage auf die zweite Betriebsphase entfielen. Demgegenüber sind 173 Betriebstage und damit 56 % der vorgesehenen Betriebstage ausgefallen. Die Gründe dafür sind vielfältig und stellen sich wie folgt dar:

- ▶ 55 Betriebstage aufgrund von Lockdown-Maßnahmen im Zuge der Corona-Pandemie.
- ▶ 43 Betriebstage aufgrund von nicht vorhandenem Fahrpersonal.
- ▶ 27 Betriebstage aufgrund von technischen Problemen am Shuttle.
- ▶ 20 Betriebstage aufgrund einer Untersuchung eines Betriebsunfalls mit der Verletzung eines Fahrzeugbegleiters.
- ▶ 17 Betriebstage aufgrund von Vor-Ort Einsätzen von NAVYA um Reparaturen am Shuttle oder Anpassungen an den Strecken vorzunehmen.
- ▶ 11 Betriebstage aufgrund von sonstigen Gründen, wie zum Beispiel Schulungen.

Während der geleisteten 102 Betriebstage in der zweiten Betriebsphase auf der Strecke 3 nutzen insgesamt 1.131 Fahrgäste das TaBuLa Shuttle. Diese Fahrgäste verteilten sich dabei wie folgt auf die Wochentage und über den Tagesverlauf. Auffällig ist dabei die verstärkte Nutzung zum Wochenende hin und in den Nachmittagsstunden (Abbildung 5 und Abbildung 6):

Abbildung 5: Anteil der Fahrgäste über den Tagesverlauf nach Startzeit des Umlaufes (n=1126)

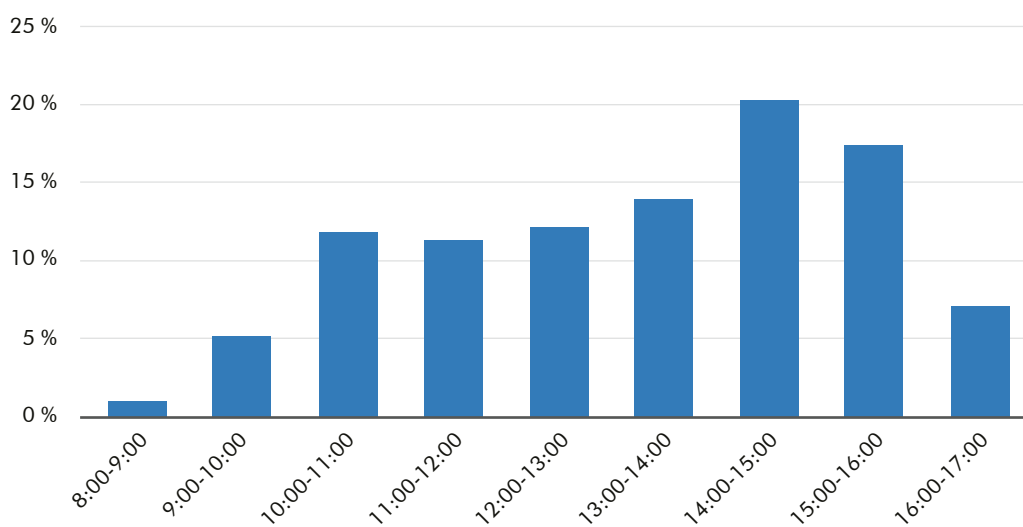
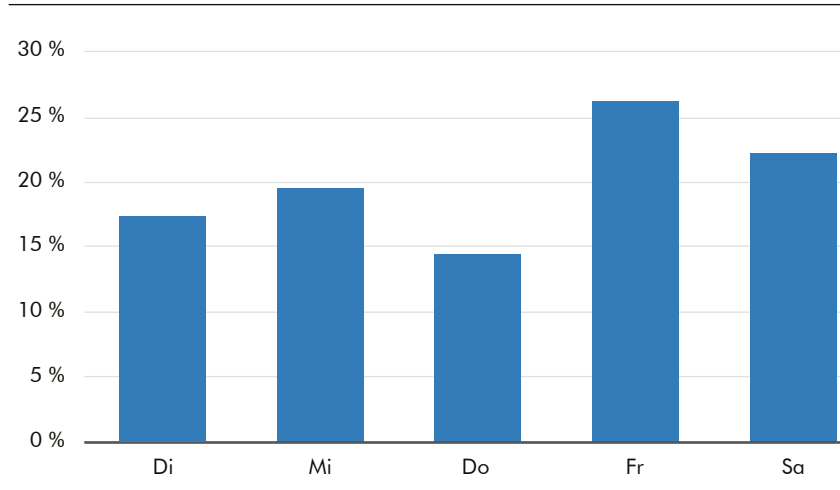


Abbildung 6: Anteil der Fahrgäste im Wochenverlauf (n=1131)

Als maßgebliche Ein- und Ausstiegshaltestelle hat sich der Lauenburger ZOB herauskristallisiert. Ein wesentlicher Grund ist, dass viele Fahrgäste das TaBuLa Shuttle für eine „Rundfahrt“ genutzt haben. Als weitere Einstiegshaltestellen haben sich die Haltestelle „Fährtreppe“ und „Kirchplatz“ in der Lauenburger Altstadt hervorgetan. Zum Ausstieg wurde zudem noch maßgeblich die Haltestelle „Kirchplatz“ genutzt (Abbildung 7 und Abbildung 8).

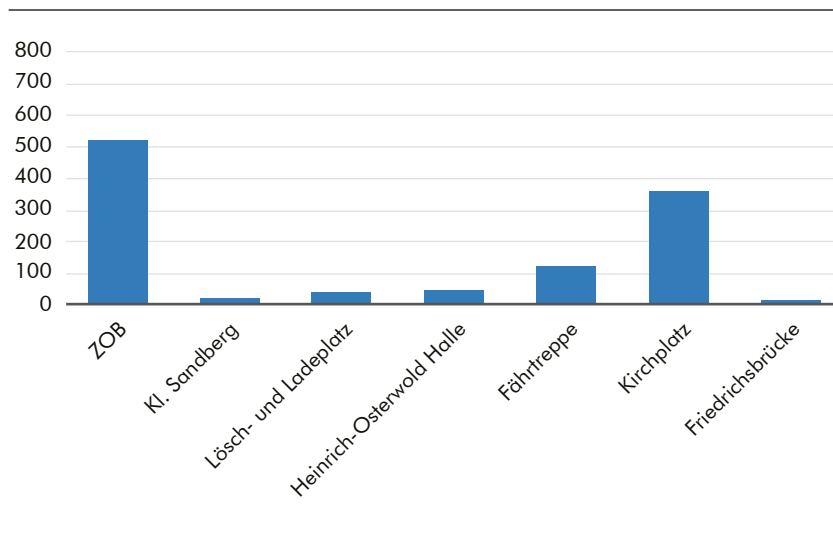
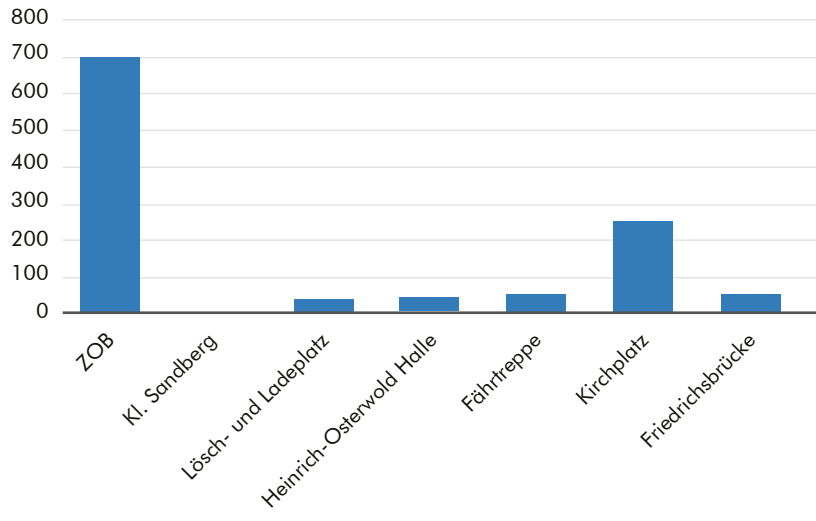
Abbildung 7: Anzahl der Einsteiger je Haltestelle

Abbildung 8: Anzahl der Aussteiger je Haltestelle

Insgesamt wurden im Projektzeitraum bis zum 31.12.2020 mit dem TaBuLa Shuttle 3.570 km zurückgelegt und dabei 5.320 kWh für das Shuttle und einem kleinen Anteil von Nebenverbrauchern (Handys, PC-Arbeitsstation, Datenlogger, Verkehrskameras) bereitgestellt für Kosten in Höhe von ca. 1.600 €. Dies entspricht rein theoretisch 1,49 kWh pro gefahrenem Kilometer inkl. Nutzung der Klimaanlage und dem Verbrauch der kleinen Zusatzgeräte.

8.1.3 Einschätzung und Ausblick auf Möglichkeiten

Nach diesem Abriss lässt sich sagen, dass die Forschung der Sensortechnik und Objekterkennung zunächst weiter vorangetrieben werden muss, um die Entwicklung automatisiert fahrender Shuttles zu fördern, bevor diese Shuttles sinnvoll im ÖPNV eingesetzt werden können. Perspektivisch ist es nicht ausgeschlossen, dass automatisiert oder gar autonom fahrende Shuttles eingesetzt werden können. Es ist konkret vorstellbar, dass bis 2035 der ÖPNV sinnvoll mit dem Einsatz von automatisiert fahrenden Shuttles in begrenzten Einsatzgebieten ergänzt werden kann, wenn die Forschung voranschreitet und dabei den Schwerpunkt auf Automatisierung und die Erweiterung des Genehmigungsrechts mit dem Schwerpunkt ÖPNV legt. Sollte der Betrieb technisch und seitens der Gesetzgebung vollständig autonom möglich werden, so wäre langfristig der Einsatz der Fahrzeuge wirtschaftlich.

Das Projekt hat gezeigt, dass es möglich ist, ein Shuttle auf einer vorher definierten und einprogrammierten Route („virtuelle Schiene“) automatisiert fahren zu lassen. Theoretisch ist es vorstellbar, die Erfahrungen auf eine oder mehrere Strecken einer klassischen Buslinie zu übertragen und einen konventionellen Bus mit einem automatisiert fahrenden Shuttle zu ergänzen oder zu ersetzen. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Anschaffung des Fahrzeugs sowie der Betrieb selbst zum heutigen Zeitpunkt sehr aufwändig und wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Technisch wäre dies heute auch nur auf sehr ausgewählten Routen nach eingehender Streckenanalyse möglich oder es müssten entsprechende Voraussetzungen für die Inbetriebnahme auf der zu befahrenden Strecke geschaffen werden. Diese könnten unter Umständen erhebliche infrastrukturelle Anpassungen samt einem hohen finanziellen Aufwand bedeuten und signifikante Auswirkungen auf den Individualverkehr haben. Außerdem sind die Fahrgastkapazitäten eines automatisiert fahrenden Shuttles im Vergleich zu einem herkömmlichen Bus zu gering, als dass der Einsatz sinnvoll wäre. Diese Hürden sind zum heutigen Zeitpunkt für einen praxistauglichen Einsatz zu hoch und erscheinen auch in den nächsten Jahren noch unüberwindbar.

Szenario klassischer Linienverkehr

Das Projekt TaBuLa und die erfolgreiche Implementierung eines automatisiert fahrenden Shuttles im Mischverkehr haben eindrucksvoll gezeigt, dass das automatisierte Fahren keine Utopie ist, sondern eine umsetzbare Idee in der heutigen Realität:

- ▶ Zum einen war der Automatisierungsgrad hoch und die Eingriffe durch die Begleitpersonen im Shuttle gering. Der Schritt zum vollständig autonomen Fahren erscheint nicht mehr weit entfernt, wenn die Technologie und die Gesetze in dieser Richtung weiterhin vorangetrieben werden.
- ▶ Zum anderen erfolgte die Beförderung von Fahrgästen in Anlehnung an den klassischen ÖPNV – nämlich auf einer fest definierten Buslinie mit fixen Haltestellen. Dabei wurden schrittweise die Komplexität der Route und die Anzahl der Haltestellen erhöht sowie der Fahrplan von flexiblen hin zu verlässlichen An- und Abfahrtszeiten weiterentwickelt und in der Praxis umgesetzt.

Beides in Kombination belegt, dass das automatisierte Fahren im klassischen Linienverkehr schon heute funktioniert.

Allerdings ist hierzu ein unverhältnismäßig hoher finanzieller Aufwand sowie starker Einsatz der Projektbeteiligten erforderlich gewesen. Die Implementierung sowie der Betrieb sind noch unwirtschaftlich, da sowohl die initialen Kosten bis zur Inbetriebnahme eines Shuttles deutlich höher sind, als die eines klassischen Linienbusses sowie auch der Betrieb selbst keine wesentlichen Kosteneinsparungspotentiale birgt, da bisher noch eine Begleitperson während des Betriebes im Shuttle anwesend sein muss. Somit amortisieren sich die hohen Anschaffungskosten nicht. Zusätzlich haben die bisher am Markt verfügbaren automatisiert fahrenden Shuttles eine erheblich geringere Kapazität als klassische Linienbusse und fahren dabei deutlich langsamer, so dass neben hohen Kosten gleichzeitig weniger Personen innerhalb eines längeren Zeitraumes befördert werden können. Perspektivisch wird es als denkbar angesehen, dass ein solches Shuttle im Linienverkehr eingesetzt werden kann, wenn die technischen und gesetzlichen Grundvoraussetzungen geschaffen sind und zusätzlich die Anschaffungskosten durch technische Weiterentwicklung, Standardisierung und Wettbewerb sowie die Betriebskosten durch vollständig autonomes Fahren ohne Begleitperson möglich werden. Der Einsatz eines Shuttles auf einer festen Linie wird für die Zukunft als möglich eingeschätzt. Dies erscheint allerdings nur realistisch für die Anbindung ansonsten nicht gut angebundene Bereiche einer Kleinstadt oder ländlich geprägter Regionen, die bisher mit dem klassischen Buslinienverkehr schlecht angebunden oder gar nicht erreichbar waren.

Szenario Sammeltaxi oder Rufbus

Für ein Sammeltaxi oder Rufbus in einer bestimmten Region – also ein Bus, der losgelöst von einer vorher definierten Linienführung mit einer klassischen Start- und Zielhaltestelle mit Zwischenhalten zu ausgewiesenen Fahrplanzeiten verkehrt, aber nur, wenn Fahrgäste sich eine Stunde vor Fahrtantritt angemeldet haben – müssten alle potentiellen Routen einprogrammiert werden. Dies kann – je nach regionaler Abgrenzung und Reichweite – viele hunderte Kilometer Fahrtstrecke der jeweiligen Hin- und Rückstrecke bedeuten, was wiederum mit der heutigen hier eingesetzten Technik einen erheblichen Programmieraufwand sowie riesige Datenmengen und entsprechende Speichervolumina mit sich bringt. Aufwand und Kosten werden zum aktuellen Zeitpunkt für solche Szenarien als unverhältnismäßig hoch eingeschätzt. Ferner bewegt sich ein Shuttle aktuell nur langsam voran. Im Kreis Herzogtum Lauenburg, mit insbesondere ländlich geprägtem Raum, wären überwiegend Landstraßen zu befahren. Das Befahren der Straßen mit nur 18 km/h würde durch die hohen Differenzgeschwindigkeiten im Großteil des Einsatzgebietes die Beteiligten im Straßenverkehr einerseits gefährden. Andererseits erreichten die Fahrgäste ihr Ziel

deutlich später als mit einem herkömmlichen Sammeltaxi bzw. Rufbus. Sollte die technologische Entwicklung ermöglichen, dass die virtuelle Schiene durch stärkere Automation nicht mehr notwendig ist oder alternativ die Programmierung und Speichermöglichkeiten einfach und kostengünstig umsetzbar werden und Fahrzeugbegleiter:innen nicht mehr notwendig, scheint das Einsatzgebiet Sammeltaxi und Rufbus sinnvoll zu sein. Eine Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit ist innerhalb der nächsten Jahre konkret vorstellbar. Aus diesem Grund wird das Szenario „Einsatz von Sammeltaxiverkehren und Rufbussen“ als zukünftig möglich eingestuft.

Szenario Bürgerbus

Womöglich ließe sich ein automatisiert fahrendes Shuttle als sogenannter Bürgerbus einsetzen. Bei einem Bürgerbus handelt es sich im Regelfall um einen von einer Gemeinde angeschafften Kleinbus, der von ehrenamtlich tätigen Bürger:innen gefahren wird, um Personen in Gebieten zu befördern, die entweder nicht oder nur eingeschränkt an das ÖPNV-Netz angeschlossen sind oder auch, um Zeiten außerhalb einer fahrenden Schulbuslinie abzudecken. Ein automatisiert fahrendes Shuttle als Bürgerbus 4.0 einzusetzen ist – ähnlich wie beim Einsatz als Sammeltaxi oder Rufbus – zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vorstellbar. Zusätzlich kommt die Komponente der Verlässlichkeit hinzu: Ein Bürgerbus fährt üblicherweise nach einem fest definierten Fahrplan. Die minutengenaue Verlässlichkeit ist bei einem automatisiert fahrenden Shuttle noch nicht gegeben, da es noch häufig zu unvorhergesehenen Ausfällen und Stopps kommt, die zu Verzögerungen führen, wenn keine Fahrzeugbegleitung die Steuerung übernimmt.

Vorteil vom Einsatz eines automatisiert fahrenden Shuttles (und perspektivisch eines autonom fahrenden Shuttles ohne Fahrer:in) ist jedoch die Unabhängigkeit vom Fahrpersonal. Ehrenamtliche Fahrer:innen eines Bürgerbusses für den konstanten Einsatz zu finden, ist der Erfahrung nach bereits heute sehr herausfordernd und wird sich vermutlich in der Zukunft noch schwieriger gestalten. Allerdings wird in Frage gestellt, dass der Einsatz wirtschaftlich tragfähig ist, da die Anschaffungskosten eines automatisiert fahrenden Shuttles heute noch höher sind, als die eines konventionellen Kleinbusses. Die Gemeinden im ländlich geprägten Raum haben im Regelfall keine Erfahrung beim Betreiben einer Buslinie, so dass hier der Aufgabenträger zentral die Organisation des Betriebes und vielleicht sogar die Finanzierung übernehmen müsste. Die Fahrgastraumgröße eines kleinen Shuttles stellt kein Problem dar, sondern ist äquivalent zu einem Kleinbus.

Unter Umständen ist in der Zukunft der Einsatz von automatisiert fahrenden Shuttles als Bürgerbus 4.0 denkbar, wenn die angegebenen Punkte entsprechend adressiert worden sind. Der praxistaugliche Einsatz wird in den nächsten 5 Jahren aber als unwirtschaftlich und daher eher unwahrscheinlich eingestuft. Dennoch wird diese Idee als die am ehesten realisierbare Einsatzmöglichkeit eingeschätzt und in Kapitel 8.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans – Bürgerbus 4.0 als mögliches Zukunftsszenario, näher analysiert.

Ausblick

Als Antwort auf die Frage einer Einschätzung zu Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV im ländlichen und kleinstädtischen Raum, kann nach Abschluss des Projekts zusammenfassend gesagt werden, dass der Stand der Technik es heute nicht, auch nicht annähernd oder mit Abstrichen, erlaubt, einen weitgehend automatisierten ÖPNV im ländlichen und kleinstädtischen Raum mit der gewohnten Verlässlichkeit zu erbringen. Da das eingesetzte Fahrzeug den Stand der Technik auf diesem Gebiet widerspiegelt, muss konsterniert werden, dass dieser Stand nicht den Anforderungen genügt. Auch wenn die Anforderungen im Projekt hoch waren und durch immerwährende Justierungen durchaus Fortschritte erzielt werden konnten, so legt eine gedankliche Transferleistung in den ländlichen Raum nahe, dass die dortigen Anforderungen mit dem aktuellen Stand der Technik nicht zu bewältigen sind.

Unter dieser Betrachtung stellte sich im Projekt die Forschungsfrage nach einem möglichen Einwirken auf die technische und bauliche Konzeption der Fahrzeuge.

Auch hier muss festgestellt werden, dass mit großem Aufwand bei allen Beteiligten die Anforderungen an das zu beschaffende Fahrzeug/System detailgenau definiert wurden. Ein Transfer dieser baulichen und konzeptionellen Details, festgeschrieben in einem Lastenheft, in ein zu beschaffendes Fahrzeug haben aber weitgehend nicht stattgefunden und letztendlich auch zur Nicht-Erfüllung weniger MUSS und vieler KANN-Kriterien geführt. Der Markt für diese Fahrzeuge/Systeme hat dies nicht zugelassen, eine Einflussnahme auf den Hersteller NAVYA war weitgehend nicht möglich. Im Umkehrschluss wurde mit dem gelieferten Fahrzeug so umgegangen, dass trotzdem ein aufschlussreicher Betrieb erstellt werden konnte.

8.1.4 Workshop zur Sammlung aller wesentlichen Einschätzung und Erkenntnisse für die Gegenwart und Zukunft des automatisierten Fahrens im ÖPNV

Vor dem Ende des Projekts wurde im November 2020 mit allen Projektpartnern (TUHH, Kreis und VHH) unter Moderation vom projektinternen Unterauftragnehmer Büro autoBus (Interlink GmbH) ein Workshop durchgeführt, in dem alle Erkenntnisse aus dem Betrieb des Shuttles gesammelt wurden. Alle Ergebnisse aus dem Workshop sind zur Wahrung der Übersichtlichkeit unter den Rubriken Betrieb, Wirtschaftlichkeit/Kosten, Akzeptanz und Kompatibilität, Rechtliches, Infrastruktur, technologischer Reifegrad sowie Leitstelle (Disposition) aufgelistet. Die Reihenfolge der einzelnen Punkte gibt dabei keine Gewichtung wieder.

Betrieb (siehe auch Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

- ▶ Der Erfahrungsaufbau über die in der Komplexität steigenden Umsetzungsstufen ergab eine positive Lernkurve für Fahrzeug und Fahrzeugbegleiter:innen
- ▶ Der Fahrkomfort ist noch ausbaubar, Sicherheitsgurte sind sinnvoll (Fahrzeug bremst sehr stark ab)
- ▶ Die Fahrgastplätze auf vorhandene Sitzplätze zu beschränken ist für die Sicherheit notwendig
- ▶ Die Fahrgeschwindigkeit ist gering
- ▶ Es ist kein verlässlicher Fahrplan in der Anfangsphase möglich gewesen, allerdings war auch keine Beförderungspflicht vorgesehen
- ▶ Die Streckenkomplexität wirkt sich auf die Fahrzeit aus
- ▶ Die Betriebszeit ist abhängig von der Reichweite des Elektrofahrzeugs, welche sehr durch die Außentemperatur beeinflusst wird (Klimaanlage/ Heizung verbraucht sehr viel Strom)
- ▶ Es ist ein beheizbarer und abschließbarer Abstellort in Streckennähe notwendig
- ▶ Der Betreuungsbedarf während des Betriebes ist sowohl im Fahrzeug als auch außerhalb vorhanden
- ▶ Eine Fahrzeugbegleitung bzw. eine Fahrer:in kann nur langfristig wegfallen, nicht kurzfristig
- ▶ Es konnte kein on-demand Betrieb getestet werden, nur Linienbetrieb (wegen gewählter Streckenführung ohne Alternativrouten)
- ▶ Es kam zu keinem Unfall mit Dritten
- ▶ Ein ausreichendes Sicherheitsgefühl ist für die Passagiere und andere Verkehrsteilnehmende gegeben

- ▶ Es gab zeitweise Personalmangel trotz drei geschulten Fahrer:innen, da das Shuttle insgesamt einen erhöhten Personalbedarf hat (Zusatzqualifikation von Fahrzeugbegleiter:innen notwendig, hoher Betreuungsaufwand)
- ▶ Die durch den Hersteller auferlegten Prozesse sind nicht praxistauglich für die Integration in ein bestehendes ÖPNV-System
- ▶ Störungen erfordern teilweise wochenlange Analysen zur Ursachenfindung und Prozessüberarbeitung
- ▶ Internationalisierung ist noch eher ein limitierender Faktor, der die Komplexität erhöht, Englisch ist ein Muss (auch bei den Fahrzeugbegleiter:innen zur Kommunikation)
- ▶ Neue Jobbeschreibungen und Qualifikationen entstehen

Wirtschaftlichkeit/ Kosten (siehe auch Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

- ▶ Die (Personal-)Kosten sind momentan unverhältnismäßig hoch (Personalaufwand Fahrzeugbegleitung, Leitstelle, Störungsbehebung etc.)
- ▶ Die Wirtschaftlichkeit steigt mit höherem Technologie-Reifegrad, vor allem bei Betrieb ohne Fahrzeugbegleitung
- ▶ Hoher Aufwand für Sonderposten (z. B. Nachjustierung der Kartographie und Freigabe dieser durch technische Prüfstelle)
- ▶ Kosten für das Fahrzeug im Verhältnis zum Nutzen noch sehr hoch
- ▶ Infrastrukturmaßnahmen teurer als bei regulärem Betrieb
- ▶ Anschaffungs- und initiale Kosten sehr hoch
- ▶ Neue und teure Kostenpositionen gegenüber Standardbussen in Form von Lizenz- und Wartungsgebühren für Software, Leitstelle etc.
- ▶ 1 Mio. € pro Betriebsjahr als Projektbudget war angemessen und ermöglichte die Umsetzung von allem Notwendigen, der Weiterentwicklung sowie der Begleitforschung.
- ▶ Hohe Kosten für Betrieb ohne Einnahmen durch Fahrgastverkehr (ohne Entgelte besteht eine größere Bereitschaft zur Mitfahrt)

Akzeptanz und Kompatibilität (siehe auch Kapitel 9 Akzeptanz von automatisierten Bussen – Befragungen und 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

- ▶ Hohes Interesse bei Tourist:innen und Medien
- ▶ Reguläre Fahrgäste mit Beförderungszweck bisher gering, wird nicht als Angebot wahrgenommen
- ▶ Andere Verkehrsteilnehmer:innen sind manchmal ungeduldig und wissen nicht genau, wie man sich verständigen soll (z. B. Situationen bei denen andere das Fahrzeug „vorlassen“)
- ▶ Akzeptanz steigt mit mehr Angebot

- ▶ Bürger:innen müssen selbst ausprobieren können
- ▶ Barrierefreiheit wird von den meisten Fahrgästen nicht erwartet – positive Überraschung
- ▶ Verkehrsfluss auf der Bundesstraße wird weniger beeinflusst als erwartet
- ▶ Extreme Regeltreue für andere Verkehrsteilnehmer:innen teilweise unverständlich, viel Kommunikation mit Fahrzeugbegleiter:innen erforderlich
- ▶ Unterschied von automatisiert und autonom ist nicht klar, Shuttle wird meist als autonom wahrgenommen obwohl es als automatisiert bezeichnet werden müsste
- ▶ Kostenloses Angebot, in Folge geringere Erwartungen
- ▶ Verständnis der Anwohner:innen für Maßnahmen war gegeben
- ▶ Akzeptanz im Unternehmen der VHH ist gespalten (z.T. Angst um den Arbeitsplatz)

Rechtliches (siehe auch Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

- ▶ Keine einheitlichen Standards oder ausdefinierte Prozesse – Ausnahmegenehmigungen erschweren Prozesse
- ▶ Vieles hängt an den beteiligten Personen (TaBuLa hatte Glück, engagierte Stakeholder zu haben)
- ▶ Verschiedene Zuständigkeiten durch Unterschiede in den lokalen behördlichen Strukturen und zum Teil länderübergreifende Aspekte zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein
- ▶ Betriebsort und Betriebssitz können bei örtlich beschränkten Zulassungen zu Unklarheiten in der Zuständigkeit führen
- ▶ Genehmigungen sind für Fahrzeug, Personenbeförderung und Infrastrukturmaßnahmen erforderlich – Die Verknüpfung der Genehmigung mit der Streckendatei macht Anpassungen kompliziert und aufwändig
- ▶ Einzelbetriebserlaubnis mit Gutachten (Erneuerung nach Änderungen an Softwarestand und Strecke notwendig)
- ▶ Die Technische Prüfstelle muss jeden einzelnen Schritt genehmigen
- ▶ Sonderauflagen bezüglich Lenkzeiten
- ▶ Haftungsfrage unklar bzw. konservativ auf Fahrzeugführer:in ausgerichtet
- ▶ Viele Ausnahmen müssen seitens Betreiber:in beantragt werden
- ▶ Behörden waren kooperativ auf allen Ebenen
- ▶ Verkehrliche Maßnahmen müssen angeordnet werden
- ▶ Fahrzeugbegleitung ist momentan noch Pflicht, fängt aber auch die Schwächen des Systems auf
- ▶ Rechtliches betrifft nicht nur das Fahren, sondern auch die Verträge untereinander und die Versicherungen

Infrastruktur (siehe auch Kapitel 7 Streckenerüchtigung)

- ▶ Zusätzliche Infrastruktur wird benötigt (RSU in LSA, Landmarker, verkehrliche Maßnahmen)
- ▶ Aufwändiger als bei regulärem ÖPNV
- ▶ RSU funktioniert grundsätzlich sehr gut
- ▶ Keine einheitlichen Standards vorhanden, starke Abhängigkeit von Fähigkeiten des NAVYA-Fahrzeugs (Liste an Anforderungen nicht für großes Roll-out zu empfehlen)
- ▶ Machbarkeit der anspruchsvollen Strecke 3 in Lauenburg/Elbe wurde zunächst negativ durch den Fahrzeughersteller bewertet, konnte nur durch gute Teamarbeit und mit viel Aufwand zur Umsetzung gebracht werden
- ▶ Viele Strecken sind seitens des Herstellers aufgrund ihrer Komplexität nicht realisierbar
- ▶ Weiterer Forschungsbedarf bei SPAT- und MAP-Daten (der RSU an der LSA)
- ▶ Keine einheitlichen Standards definiert, was eine Mehrfachnutzung von Daten einschränkt
- ▶ Umrüstungen aufwändig, aber Shuttle kommt mit wenigen zusätzlichen Strukturen aus
- ▶ Viele kleine Anpassungen zur Klarstellung von leichten Regelverletzungen und freihalten der Lichtraumprofile notwendig
- ▶ Streckenerüchtigung insgesamt viel Vorbereitung und hohe Kosten
- ▶ Shuttle braucht immer mind. 2,7 m Spurbreite (inkl. Sicherheitszone)
- ▶ „Operatorstopp“ als Lösung bei nicht bewältigbarer Fahrsituationen
- ▶ Noch keine Richtwerte für Umsetzung vorhanden (bei folgenden Merkmalen muss das oder das geschehen)
- ▶ Streckenanalyse von Hersteller:in erforderlich
- ▶ System ist auf leblose Normstrukturen ausgerichtet, chaotischere gewachsenere Strukturen stellen für Hersteller:innen ein großes Problem dar
- ▶ Bewaldete Abschnitte, schmale Fahrbahnen, komplexe Kreuzungen stellen Probleme für die Fahrzeugorientierung dar
- ▶ LIDAR braucht Orientierungspunkte, kurze Strecken nur LIDAR sonst immer GNSS erforderlich
- ▶ Anforderungen oder Risikofaktoren für Quartiere etc. sind identifiziert bei aktueller Technik
- ▶ Baumaßnahmen mussten durchgeführt werden

Technologischer Reifegrad

- ▶ Aktueller Stand entspricht SAE-Level 2-3, in Folge noch viele Schwachstellen und Unflexibilität, demnach kein Regelbetrieb möglich, auch Betrieb nicht ohne Fahrzeugbegleitung möglich
- ▶ Noch zu „digital“ im Fahrverhalten (keine Anpassung der Bremsleistung)
- ▶ Trotz breiter virtueller Fahrspur kein Ausweichen möglich, kaum Toleranz
- ▶ Hohe Sensibilität bzw. Sicherheitsorientierung führt zu vielen Stopps
- ▶ Von Außenstehenden wird höhere Automatisierung erwartet
- ▶ Software und Sensorfähigkeit passen sich einander an
- ▶ Eigene Routenfindung auf Netz noch nicht möglich
- ▶ Fahrzeug fährt eine digitale Schiene ab, keine aktiven Entscheidungen – technisch eher eine Straßenbahn
- ▶ Zu wenig Fortschritt in der Projektlaufzeit und keine enge Zusammenarbeit vom Hersteller des Fahrzeugs gewünscht, um Weiterentwicklung voranzutreiben

Leitstelle/Disposition

- ▶ Kommunikation sehr aufwändig (Sprache, Zeiten etc.)
- ▶ Keine Integration in Betriebsleitstelle VHH, da sehr aufwändig
- ▶ Integrationsprozess bis zum Stand Ende Projekt auch ohne Integration in Leitstelle sehr kompliziert
- ▶ Starke Abhängigkeit von NAVYA
- ▶ Leitstelle von NAVYA am Wochenende teilweise nicht besetzt
- ▶ NAVYA erwartet Infos über Betriebsabläufe, gibt selbst aber keine Informationen heraus
- ▶ 24/7 nicht möglich aufgrund von Rahmenbedingungen von NAVYA-Leitstellenverfügbarkeit, Personalbedarf und Reichweite
- ▶ Kontakt zu Fahrzeugbegleiter:in erfolgte über Smartphone
- ▶ Bedeutung des Sicherheitsempfindens der Fahrgäste (ab wann z. B. auch von Fahrgästen die Leitstelle gerufen werden würde) konnte wegen anwesender Fahrzeugbegleitung nicht herausgearbeitet werden
- ▶ Keine Standardprozesse, so aktuell nicht praxistauglich
- ▶ Auf- und Abrüstungszeit ist länger als beim Regelverkehr
- ▶ Benötigt Ansprechpartner:in vor Ort mit entsprechendem Know-How und Befugnissen
- ▶ Sprachliche Hürden zur Leitstelle von NAVYA, im Notfall wäre es für Fahrgäste *ohne Fahrzeugbegleiter:in* noch nicht zu bewältigen
- ▶ Zusätzliche Schnittstellen für eigene Leitstelle etc. müssen geschaffen oder gekauft werden

Im Rahmen des Workshops wurden daran anschließend Punkte gesammelt, die erfolgen oder umgesetzt werden müssten, damit automatisierte Fahrzeuge zukünftig zielgerichtet im ÖPNV einsetzbar werden. Die Punkte sind nach Themenfeldern sortiert und für einen besseren Überblick noch einmal innerhalb eines jeden Blocks unterteilt nach Betreiber:innensicht und Aufgabenträger:innensicht. Dabei können von beiden Gruppen die gleichen Punkte genannt worden sein. Aus Sicht der Aufgabenträger:innen waren zwei Punkte übergeordnet bzw. gehörten zu mehr als einem Themenfeld:

- ▶ Kosten müssen sinken
- ▶ Die Technik ist der Schlüssel für alles andere

Auch wenn nur diese Gruppe das so explizit ausformuliert hatte, waren sich im Workshop alle Anwesenden einig, dass diese beiden Aussagen für alle Anwesenden gelten können.

Technik

Aus **Betreiber:innensicht** müsste folgendes getan werden, damit automatisierte Fahrzeuge künftig im ÖPNV einsetzbar wären:

- ▶ Intuitiverer Umgang mit dem Fahrzeug (für Alle)
- ▶ Notfallkommunikation in jeder Sprache muss barrierefrei ermöglicht werden
- ▶ Zuverlässiger Service mit Rückmeldung in Minuten
- ▶ Nutzer:innenfreundlichkeit erhöhen durch Plug&Drive
- ▶ Agilere Handlungsmöglichkeiten
- ▶ Höhere Automatisierung
- ▶ Höhere Geschwindigkeiten und komplexere Szenarien erlauben
- ▶ Barrierefrei im Umgang von „8-88 Jahre“ (Sprache, „Sehen“ etc.)

Aus Sicht der **Aufgabenträger:innen** müsste hier folgendes getan werden:

- ▶ Das Fahrzeug muss im Raum ohne zusätzlich individuell installierte Infrastruktur auskommen
- ▶ Sensitivität des Shuttles anpassen (KI)
- ▶ Sensorik verbessern, um Änderungen von Infrastrukturen zu minimieren
- ▶ Technik ist Voraussetzung für Gesetzesänderungen/ Anpassungen
- ▶ Fahrzeug muss autonom (ohne Begleitung) fahren können
- ▶ Know-How aus der Automobil- bzw. der Busfertigung muss einfließen
- ▶ Das Fahrzeug muss schneller werden

- ▶ Das Fahrzeug muss sich in einem Raum selbständig bewegen können (ohne virtuelle Schiene)
- ▶ LSA müssen mit RSU ausgestattet sein
- ▶ Sinnvolle Einsatzgebiete müssen technisch autonom realisierbar sein
- ▶ Barrierefreiheit für eine Nutzbarkeit für alle Personen
- ▶ Marktreife

Betrieb

Aus **Betreiber:innensicht** müsste folgendes getan werden, damit automatisierte Fahrzeuge künftig im ÖPNV einsetzbar wären:

- ▶ Multimodalität
- ▶ In ländlichen Räumen eine gute Daseinsvorsorge liefern
- ▶ Flexibilität
- ▶ Barrierefreiheit
- ▶ Fahrplananschlüsse
- ▶ Randgebiete mit einbinden (auch „enge“ Wohngebiete)
- ▶ Entwicklung eines kundenfreundlichen Geschäftsmodells
- ▶ Schulungen und Personalaustausch, Personal „halten“ durch Qualifikation
- ▶ Verlässlichkeit
- ▶ On-Demand
- ▶ Integration als Baustein in „einen“ ÖPNV mit großen Bussen, Bahnen etc.

Aus Sicht der **Aufgabenträger:innen** müsste hier folgendes getan werden:

- ▶ Zuverlässiger
- ▶ Koordiniert und sinnvoll aufeinander abgestimmt als integrierter Baustein im ÖPNV
- ▶ 24/7
- ▶ Ohne Fahrerzeugbegleitung und integriert in eine Leitstelle
- ▶ Aufbau eines Service-Teams „vor Ort“
- ▶ Abbildung der gesamten Mobilitätskette über eine Plattform mit Einbindung der Shuttles
- ▶ Lösungen finden für die Zeit, wenn autonome und fahrgesteuerte Fahrzeuge gemischt auftreten
- ▶ Schnelligkeit = tatsächliche Konkurrenz zum herkömmlichen ÖPNV
- ▶ Sicherheit des Fahrzeugs gewährleisten
- ▶ Verlässlichkeit und Pünktlichkeit schaffen (z. B. Fahrplan)

Akzeptanz

Aus **Betreiber:innensicht** müsste folgendes getan werden, damit automatisierte Fahrzeuge künftig im ÖPNV einsetzbar wären:

- ▶ Durch bessere Integration in den fließenden Verkehr mehr Akzeptanz auf Seiten aller Verkehrsteilnehmer:innen schaffen
- ▶ Akzeptanzsteigerung durch das Füllen der „weißen Flecken“ auf der Landkarte – Anbindung der Peripherie
- ▶ Akzeptanzgewinne durch vermehrten Zugang schaffen (mehr Testfelder, mehr Alltagstauglichkeit)
- ▶ Menschen für den ÖV gewinnen durch verbessertes Angebot
- ▶ Verlässlichkeit und Planbarkeit
- ▶ Vorteile für den/die Nutzer:in verdeutlichen
- ▶ Mehr Akzeptanz im Unternehmen schaffen
- ▶ Akzeptanz bei anderen Verkehrsteilnehmer:innen durch Außenkommunikation
- ▶ Mehr Werbung, um mehr Akzeptanz zu schaffen
- ▶ Durch attraktive Geschäftsmodelle neue Nutzer:innen gewinnen

Aus Sicht der **Aufgabenträger:innen** müsste hier folgendes getan werden:

- ▶ Schnelligkeit = tatsächliche Konkurrenz zum herkömmlichen ÖPNV
- ▶ Sicherheit des Fahrzeugs gewährleisten
- ▶ Verlässlichkeit und Pünktlichkeit schaffen (z. B. Fahrplan)
- ▶ Öffentlichkeitsarbeit fortführen
- ▶ Technik „zum Anfassen“ zugänglich machen
- ▶ Mehr Zuverlässigkeit

Recht

Aus **Betreiber:innensicht** müsste folgendes getan werden, damit automatisierte Fahrzeuge künftig im ÖPNV einsetzbar wären:

- ▶ Rahmenbedingungen uniform von Bund und Ländern
- ▶ Klare Bedingungen für Bedarfsverkehre
- ▶ Verknüpfung mit On-Demand
- ▶ Beförderungsbedingungen anpassen an automatisierte Verkehre
- ▶ Regularien für neue Geschäftsmodelle
- ▶ Keine Pfaddateien der Software einzeln zulassen müssen
- ▶ Schnellere Genehmigung
- ▶ Grundlagen für Standards in der Infrastruktur und Zugehörigkeit der Verantwortlichen

Aus Sicht der **Aufgabenträger:innen** müsste hier folgendes getan werden:

- ▶ Standardverfahren notwendig
- ▶ On-Demand muss nach PBefG lösbar sein
- ▶ Aufgabenträger:innen muss den ÖPNV weiter koordinieren können (damit Nutzbarkeit für alle und überall gewährleistet wird) und nicht nur wirtschaftliche Interessen im Vordergrund stehen
- ▶ Zu erwarten mit der technischen Zuverlässigkeit
- ▶ Einheitliche Standardverfahren entwickeln und anwenden
- ▶ Person in Leitstelle, die mehrere Fahrzeuge betreut statt 1:1 für den/die Fahrzeugführer:in
- ▶ Einheitlicher Rechtsrahmen vs. Individuelle Verfahren

Anschließend hat sich der Workshop damit beschäftigt, was als nächste Schritte zu gestalten wären, welche Entwicklungen weiterhin zu beobachten sind, um das automatisierte Fahren voranzubringen. Unter der Fragestellung "Was können wir heute tun, um das automatisierte Fahren mitzugestalten bzw. uns darauf vorzubereiten? Welche nächsten Schritte sind sinnvoll?", wurden daher in der Gruppe der Betreiber:innen und der Gruppe der Aufgabenträger:innen folgende Punkte gesammelt:

Aus Sicht der **Betreiber:innen**

- ▶ Mehr Forschungsfelder und einfachere Genehmigungen im Zusammenhang mit Forschungsfeldern
- ▶ Herstellende müssen unter Druck gesetzt werden
- ▶ Herstellende mitnehmen und für Tests begeistern
- ▶ Mehr langfristige Projekte mit „Realbetriebscharakter“
- ▶ Technikentwicklung beobachten, um einschätzen zu können, welche Möglichkeiten sich bieten
- ▶ Austausch mit anderen Projekten
- ▶ Geschäftsmodelle flexibel denken (schrittweise Automatisierung)
- ▶ Flotten einsetzen (verschiedener Hersteller)
- ▶ Integration in die Leitstelle
- ▶ „Mitnehmen“ des Personals durch Einbezug und Schulungen
- ▶ Forschungsverbünde aus Unternehmen und Forschung fördern
- ▶ Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen über automatisierte Fahrzeuge bereits früh ansetzen (Fahrschulen, Verkehrserziehung etc.)

Aus Sicht der **Aufgabenträger:innen**

- ▶ Fahrzeug- und Komponentenhersteller werden gesucht, die anders funktionieren als NAVYA und die gemeinsam weiterentwickeln möchten
- ▶ Die klassischen Automobil- und Bushersteller:innen haben oft nicht das große Interesse an ÖPNV-Themen
- ▶ Serienreife muss zunächst erreicht werden

Im nächsten Schritt wurden alle anwesenden individuell zu ihren Einschätzungen zu möglichen Zukunftsszenarien für eine sinnvolle Anwendung von automatisierten Shuttles befragt. Dafür wurden die verschiedenen denkbaren Einsatzoptionen auf Zetteln vorbereitet und die Teilnehmer:innen sollten jede:r für sich diese dann auf einem Zeitstrahl verteilen, bis wann ihrer Ansicht nach, diese Optionen jeweils marktreif umsetzbar wären.

Für eine Auswertung wurde gesetzt: Wenn eine Option eine Dreiviertel-Mehrheit zu einem bestimmten Zeitpunkt hinter sich vereinen konnte, wurde dieser individuelle Zeitpunkt als Gruppenergebnis für diese Option gewertet. Generell bestehen für einen Einsatz von automatisierten Fahrzeugen zahlreiche Abhängigkeiten in Form von individuellen Gegebenheiten wie beispielsweise Regionalität (Stadt, ländlicher Raum etc.), Tageszeiten, Geschwindigkeiten, Gefäßgrößen etc., die eine Option beeinflussen. Dennoch kann dieses Schlaglicht von Einschätzungen durch das Erfahrungsspektrum der Teilnehmer:innen als eine erste qualifizierte Einschätzung betrachtet werden.

Das Projekt sieht vor den gesammelten Erfahrungen folgende Möglichkeiten für den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen:

- ▶ Kurzfristig (bis 2025) Einsatz überwiegend auf abgetrennten Arealen und Betriebshöfen
- ▶ Mittelfristig (bis 2035) wäre bei entsprechend technischem Fortschritt auch der Einsatz für Quartiersbusse denkbar
- ▶ Mittel- bis Langfristig (bis 2040) wäre der Einsatz für die Erste/Letzte Meile vorstellbar
- ▶ Langfristig (bis 2050) sind dann Intercitybusse, Nachtbusse, oder auch Linien(-regional-)busse denkbar
- ▶ Erst für einen Zeitraum nach 2050 sind dann von der Gruppe auch Punkt-zu-Punkt Services, Schul- und Linien-(Stadt-)busse vorstellbar.

Voraussetzungen für diese Zukunftsszenarien sind jedoch Weiterentwicklungen in verschiedenen Bereichen, die von der Gruppe des Workshops definiert wurden:

Fahrzeugtechnik

- ▶ Fahrzeuge, die miteinander kommunizieren oder mit KI ausgestattet sind
- ▶ Technisch höhere Geschwindigkeiten
- ▶ Vernetzte Fahrzeuge für höhere Geschwindigkeiten
- ▶ Verbesserung des Fahrkomforts durch angepasste Bremsgeschwindigkeiten etc.
- ▶ Nachtsicht und ggf. Objekterkennung
- ▶ Fahrzeug und Infrastruktur müssen überall die gleiche Sprache sprechen
- ▶ Viel Geld
- ▶ Einwandfreies Fahrzeug
- ▶ Wirklich autonomes Fahrzeug ohne Fahrzeugbegleitung (nur noch mit Leitstelle)
- ▶ Bessere und günstigere Komponenten
- ▶ Bessere Routinen/KI zur Interaktion mit Verkehrsteilnehmer:innen
- ▶ Übergreifende Zusammenarbeit von Hersteller:innen, Gesetzgeber:innen, Betreiber:innen und Forschung für Know-How-Transfer

Infrastruktur

- ▶ Vernetzungsplattform und Infrastruktur
- ▶ Vision Zero mitdenken (Kreisverkehre vs. LSA)
- ▶ Digitalisierung
- ▶ Vernetzung und vernetztes Fahren
- ▶ Förderung von Bund/ Ländern zur Ertüchtigung von Infrastrukturen
- ▶ Überall die gleichen Grundlagen für Genehmigungen etc.
- ▶ Sichere und eindeutige Verkehrswege
- ▶ Möglichst wenig externe Infrastruktur
- ▶ Flächendeckend die notwendige Bandbreite
- ▶ Nutzbare Ladesäulen im Straßenraum oder induktive Ladepunkte
- ▶ Verlässlichkeit

Betrieb

- ▶ Verlässlichkeit (Technik)
- ▶ Eine komplette Steuerung des Fahrzeugs aus der Leitstelle bei Störungen
- ▶ Integration in bestehendes ÖPNV-System
- ▶ Bessere Möglichkeit zur Integration in bisherige Betriebsstrukturen
- ▶ Verknüpfung innovativer Geschäftsmodelle mit dem konventionellen ÖPNV
- ▶ Anwendbarkeit von Seiten Betreiber und Fahrgast

- ▶ Fernsteuerung, Flexibilität
- ▶ Akzeptanz der Nutzer:innen
- ▶ Günstig
- ▶ Neue Jobs
- ▶ Leicht verständlich für Fahrzeugbegleiter:in und Fahrgäste

Recht

- ▶ Fortlaufende Weiterentwicklung rechtlicher Randbedingungen
- ▶ Präzedenzfälle/ Urteile/ Unfälle
- ▶ Einheitliche Standards
- ▶ Leichtere/ einfache Verfahren
- ▶ Leitfäden
- ▶ Rahmengesetzgebung und Handlungsleitfäden von Bund und Ländern
- ▶ Umgang mit leichten Regelverletzungen
- ▶ Vermeidung von zusätzlichen Verkehren durch Individualverkehr und Leerfahrten
- ▶ Dynamische Steuerung durch Aufgabenträger:in
- ▶ Hohe Auflagen/ Kosten für Verbrenner im Privatbesitz
- ▶ Gesetzesgrundlagen für jegliche Beteiligte
- ▶ Klare Haftung

8.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Der Betrieb eines automatisierten Shuttles trägt zur Erreichung des **Unterziels 1** bei (Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen). Darüber hinaus konnte mit Hilfe der Praxisanwendung das **Unterziel 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV) komplettiert werden. Durch den Betrieb konnten dann mit den Fahrer:innen, Fahrgästen und Anwohner:innen auch verschiedene Befragungen durchgeführt werden, die somit zur Erreichung des **Unterziels 3** (Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen feststellen und untersuchen) sowie **Unterziel 4** (Anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren) beitragen konnten. Durch die Wegbereitung des eingesetzten Shuttles konnten dann auch andere potentielle Hersteller die Teststrecken nutzen und die VHH das Potential des automatisierten Shuttles für reguläre Busverkehre evaluieren (**Unterziel 5 und 6**, Den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielle Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren, eine Testumgebung für autonome Busverkehre implementieren).

8.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Betrieb eines automatisierten Shuttlebusses hat als essenzieller Bestandteil des Projektes einen großen Stellenwert erhalten. Aufbauend auf der Beschaffung des Fahrzeugs und Ertüchtigung der Strecke wurde der Inbetriebnahme des Fahrzeugs ein entsprechend großer Arbeitsanteil eingeräumt, um einen möglichst problemlosen Betrieb zu gewährleisten. So war eine mehrstufige Inbetriebnahme von Strecke 1 über Strecke 2 zu Strecke 3 notwendig, um schrittweise die Grenzen der Technik auszuloten und nach und nach neue Funktionen (wie z. B. Poller- und Lichtsignalanlagen) in den Betrieb zu integrieren. Ohne diese Arbeiten wäre der Einsatz eines automatisierten Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr nicht zulässig oder durchführbar gewesen. Die vorgenommenen Eingriffe zur Ermöglichung des Betriebes, wie ein neuer Stromhausanschluss, die Komplettausrüstung der Lichtsignalanlagen sowie 90 Erprobungstage ohne Fahrgäste waren zwingend erforderlich, damit das automatisierte Fahrzeug ohne Einschränkungen betrieben werden kann.

Der gesamte Prozess der Kartographierung musste nach Anpassungen des Streckenverlaufs oder Vegetationsänderungen im Laufe des Projektes zweimal erneuert werden. Er nahm dadurch, zusammen mit wiederkehrenden Streckenoptimierungen, insgesamt knapp vier Wochen in Anspruch. Insgesamt war aufgrund der schwierigen Streckenanforderungen die mehrfache Durchführung dieser Schritte die beste Möglichkeit, um möglichst viele Optionen zur Ausgestaltung offen zu halten. Etwaige Nachbesserungen oder technische Neuerungen konnten somit flexibler durch die TUHH gehandhabt werden.

Die (für die Anforderungen der Strecke 3 gegebene) Monopolstellung des Herstellers sowie der Umstand, dass der Firmensitz in Frankreich liegt, verursachte auch bei diesen Schritten zusätzlichen Aufwand für Kommunikation und Durchführung. Die Aufwände waren jedoch mitentscheidend für den Projekterfolg.

8.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans – Bürgerbus 4.0 als mögliches Zukunftsszenario

Vorweg: Ein automatisiert fahrendes Shuttle als „Bürgerbus 4.0“ einzusetzen, ist – ähnlich wie beim Einsatz als Sammeltaxi oder Rufbus – zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vorstellbar. Die derzeit erzielbaren Höchstgeschwindigkeiten sind, gerade auf längeren Strecken zwischen Dörfern, nicht kompatibel mit den von Fahrgästen erwarteten Reisezei-

ten. Es entsteht ein beträchtlicher Aufwand zur Befahrbarmachung der von den autonom fahrenden Shuttles genutzten Wege (bspw. zur Kartographierung), der auch im laufenden Betrieb weiter anfällt und signifikante Kosten verursacht. Die nötige Stabilität des Betriebs ist noch nicht gegeben. Es kommt häufig zu unvorhergesehenen Ausfällen und Stopps, die zu Verzögerungen führen. Bleibt es bei direkt (umsteigefrei) erreichten Zielen in der Folge noch bei einer überschaubaren Verspätung, können sich bei Nutzung von Anschlüssen zu anderen Linien große Verzögerungen ergeben, da diese in den typischen Bürgerbus-Einsatzgebieten oft in Intervallen von 60- bis 120 Minuten oder gar noch längeren Abständen verkehren, wo dann ein Anschlussverlust gravierende Folgen hat.

Per Definition ist ein Bürgerbus Angebot des ÖPNV, bei dem bürgerschaftliches Engagement die Schließung einzelner Lücken des grundständigen Angebotes erlaubt. Ehrenamtlich tätige Fahrer:innen übernehmen die Beförderung von Menschen in Gebieten, die, häufig aus finanziellen Gründen, sonst nicht oder nur in nicht ausreichender Qualität an das reguläre ÖPNV-Netz angeschlossen sind. Auch in Randzeiten kann ein Bürgerbus das einzig verfügbare Angebot des öffentlichen Verkehrs sein. Bürgerbusse sind in aller Regel nur Ergänzung eines von Busbetrieben durchgeführten Angebotes, kein Ersatz und keine Konkurrenz. Zum Einsatz kommen Kleinbusse, häufig mit 8 Plätzen für Fahrgäste, so dass die zur Besetzung der ehrenamtlich durchgeführten Fahrten eingesetzten Fahrer:innen keinen Busführerschein benötigen. Größere konzentrierte Nachfrage, beispielsweise im Schulverkehr, können Bürgerbusse daher nicht bewältigen, ebenso setzt die ehrenamtliche Tätigkeit des Fahrpersonals Grenzen bei Betriebszeiten und Angebotsumfang. Bürgerbusse verkehren regelmäßig nach einem Fahrplan, der verlässliche Planung erlaubt, teilweise auch nur bei Bedarf auf gesonderte Anforderung (Rufbus).

Automatisiert fahrende Shuttle könnten als „Bürgerbus 4.0“ ähnliche Verkehrsfunktionen erfüllen: die Abdeckung von Ortschaften oder gar einzelnen Hofstellen, die aufgrund geringer Nachfrage nicht ausreichend an reguläre Angebote angebunden sind, auch in Randzeiten oder auf tangentialen Relationen. Sie könnten Ortschaften direkt mit nahe gelegenen Zielen, zum Beispiel Freund:innen oder einer Einkaufsgelegenheit im Nachbardorf verbinden. Sinnvoll wäre aber darüber hinaus auch in jedem Fall eine gute Integration in das reguläre ÖPNV-Netz aus Schienenverkehrsmitteln und mit größeren Fahrzeugen betriebenen Taktlinien des Busverkehrs. So können deutlich mehr Ziele, auch in größerer Distanz, erreicht werden. Zudem wird das Gesamtsystem ÖPNV insbesondere im ländlichen Raum durch die deutlich erweiterten Möglichkeiten, überhaupt zu gegebener Zeit zu einem gewünschten

Ort mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu gelangen, deutlich gestärkt. Ein Fahrzeug in der Größenordnung eines Bürgerbusses, gegebenenfalls auf 10 bis 15 Plätze erweitert, kann in den skizzierten Einsatzgebieten in der Regel die zu erwartende Verkehrsnachfrage gut abdecken. Der automatisierte Betrieb ermöglicht größere Freiheiten bei den Betriebszeiten und der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, da keine Kosten mehr für eine:n Fahrer:in anfallen, und überdies auch keine Restriktionen mehr durch die Verfügbarkeit ehrenamtlicher Fahrer:innen bestehen. Ein „Bürgerbus 4.0“ nach diesem Modell könnte also ein deutlich verbessertes Angebot für Bewohner:innen gerade ländlicher Regionen bringen. Obschon kein ehrenamtlich tätiges Fahrpersonal mehr nötig wäre, bliebe weiter Raum für bürgerliches Engagement. So wären weiterhin Service- und Begleitungsaufgaben zu erledigen: sei es bei Auskünften zu Verbindungen, der Behebung von kleineren technischen Störungen am Fahrzeug oder dem Herstellen subjektiver Sicherheit im Fahrzeug. Auch eine nötige Fahrzeugbegleitung könnte, wie heutiges Fahrpersonal, ehrenamtlich tätig sein. Bürger könnten weiterhin direkt über das Angebot (mit-) bestimmen, zum Beispiel durch die eigenverantwortliche Entscheidung von Haltepunkten oder Routen auf Basis der direkten Kenntnisse über die Verkehrsbedürfnisse in der Nachbarschaft. Der „Bürgerbus 4.0“ kombinierte damit idealerweise das bestehende oder zu weckende bürgerschaftliche Engagement mit den durch autonomen Betrieb entstehenden neuen Möglichkeiten.

Langfristig könnte ein „Bürgerbus 4.0“ bei gegebenen technischen Möglichkeiten auch als eine Art autonomes Rufmobil nach Ride-Pooling-Muster verkehren: Potentielle Fahrgäste melden ihren Fahrtwunsch mit einem gewissen Vorlauf an, ein System erstellt daraus Fahrpläne und ordnet diesen ggf. ein Fahrzeug zu. So ist ein zielgerichteter Einsatz der – weiterhin unter relevanten Kosten zu beschaffenden – Fahrzeuge für tatsächliche Nachfrage möglich. Zudem können die Fahrgäste ohne unnötige Umwege „auf Verdacht“ direkt an ihr Ziel gebracht werden. Gleichwohl entstehen durch diese Betriebsweise Nachteile bei der (zeitlichen) Verlässlichkeit: es wird ganz bewusst nicht mehr die Zusage gemacht, dass beispielsweise um 13:00 Uhr ein Fahrtangebot zum Arzt besteht, so dass ein Termin um 13:30 Uhr erreicht werden kann.

Um die zeitliche Variabilität eines On-Demand-Systems als „Bürgerbus 4.0“ einschätzen zu können, wurde ein solcher Betrieb in der Verkehrsmodellierungssoftware PTV VISUM simuliert. Modellregion war der südöstliche Teil des Kreises Herzogtum Lauenburg, abgegrenzt etwa durch die Autobahn A24 im Norden, eine Linie westlich der Strecke Schwarzenbek- Lauenburg/Elbe im Westen und die Landesgrenze im Süden und Osten. Auf einer Fläche von 330 km² leben etwa 50.000

Menschen, davon etwa 33.500 in den drei größeren Ortschaften Schwarzenbek, Lauenburg/Elbe und Büchen. Außerhalb dieser Gemeinden befinden sich überwiegend verstreute kleinere Dörfer, in denen es überwiegend selbst an Grundinfrastruktur wie einer Schule oder einer Einkaufsgelegenheit fehlt. Als Verkehrszellen wurden die Gemeinden genutzt. Grundlage für die angenommene Nachfrage waren die Informationen im Hamburger Verkehrsmodell der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende, das auch den Kreis Herzogtum Lauenburg als Teil der Metropolregion Hamburg abdeckt. Unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der genutzten Software wurde das Modell und damit auch die Nachfrage auf Fahrten innerhalb des betrachteten Gebietes beschränkt, also ohne ein- bzw. ausbrechende Verkehre. Als Zugangspunkte, an denen Fahrgäste in das Netz ein- oder aussteigen können, dienen die bestehenden Haltestellen. Die allein auf Gemeindeebene vorliegenden Nachfrage wird unter Berücksichtigung des Anteils der Gemeindegemeindeeinwohner, für die eine Haltestelle die am kürzesten erreichbare ist, verteilt. Zur zeitlichen Verteilung der Nachfrage wurden mehrere Szenarien angenommen, die auch absolute Tagesrandzeiten (bis 24 Uhr) einschlossen. In dem Modell entstehen Fahrtwünsche innerhalb der aggregiert vorgegebenen Grenzen zufällig, so dass mehrere Durchläufe trotz gleicher Rahmenbedingungen zu räumlich- und zeitlich aggregierter Nachfrage und dem Angebot jeweils andere Ergebnisse liefern.

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass mit On-Demand-Betrieb mit kurzen Vorbuchfristen (< 30 Minuten) größere Schwankungen bei Abfahrt-/Ankunftszeiten auftreten werden, sofern nicht die Fahrzeugflotte deutlich vergrößert wird. Ursache dafür sind insbesondere die langen Anfahrtszeiten in dem großen Bediengebiet, aber auch der inhärente Zielkonflikt von On-Demand-Systemen zwischen möglichst großer Flexibilität unter unvollständiger Information über die zu erwartenden Fahrtwünsche und möglichst hoher, wirtschaftlicher Flottenauslastung. Für einen „Bürgerbus 4.0“ bietet sich hier gegebenenfalls eine Kombination beider Betriebsarten an: zu einem Teil des Tages wird ein verlässlicher, fahrplanbasierter Verkehr angeboten, während in anderen Tageszeiten der Fokus auf größere Flexibilität gelegt wird. Relevante Faktoren für die Entscheidung für- und wider ein Modell sind auch die Entscheidungen und Präferenzen der Nutzenden solcher Angebote, zu denen es bislang an Informationen fehlt, sowie die Angebotsstruktur im umliegenden Netz: Verkehren Anschlusslinien alle 20 Minuten, ist eine verspätete Ankunft an der Umstiegshaltestelle aus dem „Bürgerbus“ eher verschmerzbar, als wenn ein Anschlussverlust eine Wartezeit von über einer Stunde bedeutet.

9 AKZEPTANZ VON AUTOMATISIERTEN BUSSEN – BEFRAGUNGEN

Da als Ergebnis der Akzeptanzuntersuchung und aus den Befragungen eigene Veröffentlichungen entstanden sind, werden unter diesem Kapitel nur die wesentlichen Faktoren sowie die Ergebnisse zusammengefasst. Für eine ausführliche Darstellung wird auf Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa für die Publikationen verwiesen.

9.1 Ergebnisse

Lucke¹ differenziert den Akzeptanzbegriff bezüglich drei Dimensionen: das Akzeptanzobjekt, das Akzeptanzsubjekt und die Akzeptanzkontextfaktoren, welche die Akzeptanz bedingen. Das Akzeptanzobjekt wird durch die Akzeptanzsubjekte im Rahmen der Kontextfaktoren angenommen oder abgelehnt. Dabei bezieht sich die Dimension des Akzeptanzobjekts auf die durch die Akzeptanzsubjekte wahrgenommenen Kosten und Nutzen, sowie Risiken der Technik und der Nutzung des automatisierten TaBuLa Shuttles. Die Akzeptanz des TaBuLa Shuttles durch die Akzeptanzsubjekte werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Beispielsweise sind folgende zu nennen: Einstellung und Haltung, persönliche Normen und Wertvorstellungen, emotionale Affekte, soziodemographische Faktoren, Umweltbewusstsein, Erwartungen und persönliche Einstellungen zum ÖPNV und autonomen Fahren, sowie wahrgenommene Handlungsmöglichkeiten. Im Projekt TaBuLa wurden verschiedene Akzeptanzsubjekte betrachtet. Unterschieden werden diese hinsichtlich des Zeitpunktes der Akzeptanzmessung:

- ▶ t0: Akzeptanzmessung vor dem Einsatz und ohne Erlebnis des TaBuLa Shuttle-Betriebes
- ▶ t1: Akzeptanzmessung während des TaBuLa Shuttle-Einsatzes in Lauenburg/Elbe und der Möglichkeit, Kontakt zum TaBuLa Shuttle aufzunehmen

1 Lucke (1995): Akzeptanz: Legitimität in der „Abstimmungsgesellschaft“, S. 89.

Zum Zeitpunkt t0 wurden zum einen eine Vergleichsgruppe befragt, zum anderen die Bevölkerung der Stadt Lauenburg/Elbe sowie Busfahrer:innen der VHH im Einsatzgebiet Lauenburgs sowie den angrenzenden Betriebshöfen. Diese Erhebungen dienen der Erfassung der Einstellungen der Befragungsteilnehmer:innen hinsichtlich des TaBuLa Shuttles in Lauenburg/Elbe und automatisierten Shuttles im Allgemeinen. Um die Einstellungen mit dem Erlebnis des TaBuLa Shuttles zu ermitteln, wurden im zweiten Zeitraum t1 die Erhebungen der Bevölkerung Lauenburgs und der Busfahrer:innen der VHH wiederholt. Zusätzlich wurden die Fahrgäste des TaBuLa Shuttles befragt. Die jeweils beiden Befragungen der Bevölkerung Lauenburgs und der Busfahrer:innen haben den Charakter von Trendstudien, da sie wiederholt den nahezu selben Fragebogen zu verschiedenen Zeitpunkten erheben.

In Tabelle 4 ist die Übersicht über die Metadaten der Befragungen abgebildet.

Tabelle 4: Metadaten der Akzeptanzbefragungen im Projekt TaBuLa

Erhebung	Welle	Ort der Befragung	Erhebungsmedium	Erhebungszeitraum	Adressaten	Stichprobenumfang	Rücklauf/Teilnahmequote
Vergleichsgruppenbefragung		Hamburg Rathausplatz	Fragebogen auf Papier vor Ort	Jun 19	Besucher einer Veranstaltung	141	keine
Haushaltsbefragung	W1	Lauenburg	Fragebogenpostkarte	Mai 19	Haushalte Lauenburgs	434	8,7 % der Haushalte
	W2	Lauenburg	Fragebogenpostkarte, Option Teilnahme via Online-Fragebogen	Aug 20		240	4,8 % der Haushalte
Fahrgastbefragung		Lauenburg im Fahrzeug	Online-Fragebogen	Jun bis Dez 2020	Fahrgäste	94	9,6 % der Fahrgäste
Busfahrer:innenbefragung	W1	Betriebshöfe: Lauenburg, Geesthacht, Bergedorf, Glinde, Billbrook	Fragebogen auf Papier	Mai 19	Busfahrer:innen	82	15,4 % der Busfahrer:innen
	W2			Okt 20		59	6 % der Busfahrer:innen

Weiterhin wurden mit den Akzeptanzkontextfaktoren die Rahmenbedingungen der Akzeptanzbildung betrachtet. Zu beachten waren die Testbetriebsrandbedingungen im Projekt TaBuLa. Die Akzeptanz hinsichtlich der alltäglichen Nutzung des neuen Verkehrsmittels war durch die Streckenführung, die Verfügbarkeit, die Betriebszeiten und die Fahrzeugkapazität beschränkt. Zusätzlich hemmten die durch die Corona-Pandemie bedingten Einschränkungen die Nutzung des TaBuLa Shuttles. Zum einen erfolgte dies durch die geminderte Kapazität des Shuttles, da nur drei Fahrgäste befördert werden konnten, zum anderen die Bereitschaft den Shuttle zu testen, da der ÖPNV gemieden wurde. Hinzu kamen die Lock-Downs, in denen der Betrieb eingestellt wurde.

9.1.1 Zusammenfassung der Methodik und der Ergebnisse der einzelnen Studien

In diesem Kapitel werden kurz die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Befragungen zusammengefasst.

Vergleichsgruppenbefragung (VGB)

Ziel und Informationen zur Erhebung: Auf der Veranstaltung „Sommer des Wissens“ – einem bunten Wissenschaftsfestival – auf dem Hamburger Rathausmarkt im Juni 2019 wurde der TaBuLa Shuttle in seiner Rohverfassung ohne Beklebungen vor dem Einsatz in Lauenburg/Elbe der breiten interessierten Öffentlichkeit präsentiert. Eine Befragung unter den Besucher:innen (VGB) hatte das Ziel, die Einstellungen zu automatisierten Shuttles zu erheben. Diese Befragung sollte die Vergleichsgruppe für die weiteren Befragungen im Projekt darstellen, da die Teilnehmer:innen lediglich den TaBuLa Shuttle in seiner Erscheinungsform besichtigten, jedoch keine Berührungsfläche mit der Einführung des TaBuLa Shuttles in Lauenburg/Elbe hatten und den Betrieb des Shuttles nicht erlebten. Es nahmen 141 Personen an der Befragung teil.

Einordnung der Stichprobe/Kritische Betrachtung: Der Großteil der Befragten der VGB kam aus Hamburg (69 %), 10 % aus Niedersachsen und Schleswig-Holstein und 8 % aus den anderen Bundesländern (keine Antwort: 13 %). Aufgrund des nicht eindeutig zuordenbaren Wohnorts der Befragten zu einem Regionstyp werden als Vergleichsgrundlage für die soziodemographischen und die Mobilitäts-Merkmale die Daten Deutschlands gewählt. Die Teilnehmenden der VGB waren überwiegend männlich, die Altersverteilung hingegen ist für Deutschland repräsentativ. Im Vergleich zu der Verteilung der Beschäftigung Deutschlands waren unter den Teilnehmenden vermehrt Personen in Ausbildung/Studium und weniger berufstätig. Es lebten 74 % in Großstädten, 7 % in Mittelstädten, 4 % in Kleinstädten und 3 % in Gemeinden (keine Antwort: 13 %).

Die Mobilität der Befragten der VGB ist durch eine hohe multimodale Verkehrsmittelnutzung geprägt. Der hohe Anteil der Befragten mit Monatskarten für den ÖPNV und der geringe Anteil derjenigen mit Zugriff auf ein Pkw zeigen, dass die Nutzung von Angeboten des ÖPNV alltäglich ist. 76 % der Befragten bewerteten die Erreichbarkeit mit (sehr) gut und 78 % waren (sehr) zufrieden mit dem aktuellen ÖPNV-Angebot an ihrem Ort.

Resümee: Die Teilnehmenden der VGB waren demnach an Wissenschaft interessierte Personen, die im urbanen Raum leben, vorzüglich Angebote des ÖPNV nutzen und im Vergleich zur Gesamtbevölkerung Deutschlands eher eine Subkultur darstellen. Fraglich ist, inwiefern sich diese als Vergleichsgruppe eignen.

Haushaltsbefragung der Bevölkerung Lauenburgs (HHB)

Ziel und Informationen zur Erhebung: Um die Einstellungen der Bevölkerung Lauenburgs während der Projektlaufzeit zu messen und Veränderungen durch die Einführung und das Erlebnis des TaBuLa Shuttles wahrzunehmen, wurden zwei HHB durchgeführt. Während die erste Haushaltsbefragung (HHBw1) kurz vor der Einführung des Shuttles in Lauenburg/Elbe stattfand, wurde die zweite Befragung (HHBw2) nach dreimonatiger Betriebslaufzeit der Route 3 durchgeführt. Aufgrund dessen können mittels Trendanalysen Differenzen in der Einstellung bezüglich verschiedener Aspekte identifiziert werden.

Die Fragebögen-Postkarten wurden im Laufe von drei Tagen an alle 5.000 Lauenburger Haushalte verteilt. Die ausgefüllten Postkarten konnten als Antwort-Sendung für die Teilnehmenden kostenlos per Post an die TUHH zurückgeschickt werden. Als Stichprobenziehung richtete sich die Haushaltsbefragung an die Person im Haushalt, welche als letzte Geburtstag hatte. Der Fragebogenpostkarte wurde zusätzlich ein aktueller Projektflyer mit in den Briefkasten geworfen. An der ersten Haushaltsbefragung nahmen 434 Lauenburger:innen teil. Bei der HHBw2 war die Teilnahme neben der Option der Postwurfsendung auch eine Teilnahme via Online-Fragebogen möglich. Der Fragebogen wurde mit SoSci Survey programmiert. Mithilfe eines QR-Codes auf der Postkarte gelang man direkt zur Online-Befragung. Mit dieser Option war das Ziel verbunden, den Rücklauf zu erhöhen. Insgesamt nahmen lediglich 25 von 240 Teilnehmenden online teil. Weiterhin wurden den Teilnehmenden der Online-Version der Haushaltsbefragung, welche bereits mit dem TaBuLa Shuttle gefahren waren, die Möglichkeit gegeben zusätzlich an der Fahrgastbefragung teilzunehmen. Dazu waren zwei Teilnehmende bereit.

Einordnung der Stichprobe/Kritische Betrachtung: Insgesamt hatte durch die Stichprobenziehung nur eine Person pro Haushalt die Möglichkeit, an den Haushaltsbefragungen teilzunehmen. Dadurch hatten die Haushalte mit mehreren Bewohner:innen eine geringere Chance, an den Befragungen teilzunehmen. Insgesamt nahmen jedoch vermehrt Personen, welche in Zweipersonenhaushalten leben, teil. Diejenigen, die in Drei- und Mehrpersonenhaushalte leben, nahmen weniger teil. Die Teilnahmequote der HHBw2 liegt mit 4,8 % der Haushalte deutlich unter der Teilnahmequote der HHBw1 mit 8,7 %. Ein Grund dafür kann sein, dass die Befragung im Sommer durchgeführt wurde. Die Postkartenverteilaktion fand in der letzten Woche der Schulferien Schleswig-Holsteins statt. Weiterhin wurden beide Befragungswellen nicht referenziert. Von insgesamt 566 Teilnehmenden nahmen 58 % nur an der HHBw1 teil, 23 % nur an der HHBw2 und 19 % an beiden Befragungen. Die Messung der Veränderung der Einstellungen ist demnach nur auf aggregierter Bevölkerungsebene möglich und stellt einen Einstellungstrend dar.

Da alle Befragten in Lauenburg/Elbe wohnen, dienen die Bevölkerungsstatistischen Daten der Stadt Lauenburg/Elbe als Vergleichsgrundlage. In der MiD ist die Stadt Lauenburg/Elbe dem zusammengefassten regionalstatistischen Raumtyp (RegioStaR 7²): Stadtregion – Mittelstadt, städtischer Raum zugeordnet. Diese dient als Vergleichsgrundlage für die Mobilitätsdaten. Die Teilnehmenden waren im Geschlechterverhältnis ausgeglichen. Der Anteil der 65-jährigen und ältere war überproportional und der der 25 % unterrepräsentiert. Insgesamt nahmen vermehrt Personen im Ruhestand an den Befragungen teil, während der Anteil der Berufstätigen geringer war. Die Verkehrsmittelnutzung war im Vergleich zur MiD ähnlich verteilt, der Führerscheinbesitz hingegen hoch. Mehr als die Hälfte bewerteten die Erreichbarkeit von Zielen mit dem ÖPNV als (sehr) gut und die Hälfte war mit dem ÖPNV-Angebot in Lauenburg/Elbe zufrieden.

Resümee: Die Bevölkerung Lauenburgs begrüßte das Projekt in ihrer Stadt und vor dem öffentlichen Betriebsbeginn wurden hohe Erwartungen an das neue Verkehrsmittel gestellt. Während eine Verbesserung des ÖPNV und der Mobilität in Lauenburg/Elbe erhofft wurden, war dennoch eine Skepsis bezüglich fehlender Sicherheit und Verkehrsbehinderungen gegenwärtig. Nachdem der TaBuLa Shuttle im Tagesgeschehen der Stadt erlebt wurde und Teile der Bevölkerung eine Fahrt unternahmen, war bei

2 BWVI: Regionalstatistische Raumtypologie: https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/G/regiostar-regionalstatistische-raumtypologie.pdf?__blob=publicationFile

den meisten eine große Akzeptanz zu vernehmen, während andere den Shuttle ablehnten. Jeder zweite Befragte sieht eine Zukunftsperspektive für automatisierte Shuttles und kann sich vorstellen diese alltäglich zu nutzen.

Fahrgastbefragung (FGB)

Ziel und Informationen zur Erhebung: Die Akzeptanz automatisierter ÖPNV-Angebote seitens der Nutzer:innen wird untersucht. Einstellungen, Erwartungen, Wünsche und Ängste von Nutzer:innen solcher Angebote sowie typen- und milieuspezifische Unterschiede hinsichtlich der Akzeptanz werden identifiziert. Ferner werden Auswirkungen automatisierter ÖPNV-Angebote auf das Mobilitätsverhalten (z. B. hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl) erforscht.

Da die Routen 1 und 2 lediglich kürzere Teststrecken waren, sollte sich die Fahrgastbefragung an die Fahrgäste der Route 3 richten, welche eine direkte Verbindung der Ober- mit der historischen Altstadt ermöglichte. Der Betrieb der Route 3 begann ab dem 19. Mai 2020 unter den Covid-19 Einschränkungen, dass nur drei Fahrgäste befördert werden können. Zwischen dem 18. Juni 2020 und dem 31. Dezember 2020 hatten die Fahrgäste die Möglichkeit an der Online-Befragung teilzunehmen und die letzte Fahrt mit dem TaBuLa Shuttle zu bewerten. Die Rekrutierungsmethode der Befragungsteilnehmer:innen wurde im Laufe der Zeit angepasst. Bis zum 24. August 2020 wurden die Fahrgäste für die Teilnahme an der Fahrgastbefragung im TaBuLa Shuttle durch die Fahrzeugbegleiter:innen aufgefordert, ihre E-Mail-Adresse auf einem gesonderten Zettel abzugeben. Im Nachhinein bekamen sie eine E-Mail mit den Zugangsdaten zur Online-Befragung. Für die Programmierung wurde SoSci Survey verwendet. Da der Rücklauf eher gering war, wurde den Fahrgästen ab dem 24. August 2020 ein Flyer mit dem Link und QR-Code zur Online-Fahrgastbefragung ausgehändigt. Daraufhin war der Rücklauf größer. Um die Fahrgäste zur Teilnahme an der Fahrgastbefragung zu motivieren, wurden unter den Teilnehmenden monatlich zwei Incentives (Wunschgutscheine) im Wert von 25 € verlost.

Im Befragungszeitraum gab es 81 Tage mit öffentlichem Fahrgastbetrieb. In dieser Zeit wurden 977 Fahrgäste befördert. 111 Fahrgäste nahmen an der Fahrgastbefragung teil. Aufgrund von unvollständigen Ergebnissen, wurden 17 Stichproben entfernt. Die Nettostichprobe von 94 Fahrgästen entspricht einer Teilnahmequote von 9,6 %.

Einordnung der Stichprobe/ Kritische Betrachtung: Die Ergebnisse der Fahrgastbefragung stellt die Einstellungen der Personengruppe dar, welche einen Test des TaBuLa Shuttles wagen. Diese sind dem autonomen Fahren gegenüber möglicherweise positiver eingestellt als diejenigen, die einen Test des Shuttles ablehnen. Weiterhin sind die Fahrgäste mit dem TaBuLa Shuttle unter den Einschränkungen der Corona-Pandemie gefahren. Das heißt, dass die Fahrgäste einen Mund-Nasen-Schutz tragen mussten und dass nur drei anstelle von zehn Fahrgästen befördert werden durften. Unter diesen Voraussetzungen haben nur die Personen den TaBuLa Shuttle getestet, welche die Möglichkeit der Ansteckung im Shuttle nicht befürchteten. Die reduzierte Personenbeförderungszahl hat die Folge, dass insgesamt weniger Personen den TaBuLa Shuttle testeten und demzufolge weniger an der Fahrgastbefragung teilnahmen als erwartet.

Die im Folgenden beschriebenen Teilnehmenden der FGB waren vornehmlich Personen, die sich nicht regelmäßig in Lauenburg/Elbe aufhalten (78 %, keine Antwort: 2 %). 21 % kamen aus Schleswig-Holstein, 19 % aus Hamburg, 18 % aus Niedersachsen und 41 % aus den restlichen Bundesländern, um den TaBuLa Shuttle zu testen (2 % keine Antwort). Der Wohnort nach den RegioStaR 7 Raumtypen der MiD ähnelte der Verteilung in Deutschland: 26 % lebten in einer Großstadt, 24 % in einer Mittelstadt, 27 % in einer Kleinstadt und 21 % in Gemeinden (2 % keine Antwort). Die Geschlechterverteilung war nahezu ausgeglichen, die Altersstruktur zeigte, dass der Anteil der 46- bis 65-jährigen überrepräsentiert war, während der Anteil der jüngeren und älteren geringer vertreten waren. Die Beschäftigung ähnelt der Verteilung in Deutschland. Ein Teilnehmer gab an in seiner Mobilität eingeschränkt zu sein.

Die Verkehrsmittelnutzung war eher multimodal, aber auch durch die Pkw-Nutzung geprägt. Der Führerscheinbesitz war eher hoch und vermehrt hatten die Teilnehmenden jederzeitigen Zugriff auf ein Pkw im Vergleich zur Gesamtbevölkerung Deutschlands. Auch der Monatskartenbesitz war eher hoch. Die Erreichbarkeit von Zielen mit dem ÖPNV am Wohnort wurde von 61 % als (sehr) gut eingeschätzt.

Resümee: Auch bei den Fahrgästen überwog bei weitem die Neugier als die Skepsis. Die Akzeptanz des TaBuLa Shuttles war bei den Fahrgästen sehr positiv. 73 % der Befragten vertrauten der Technik von automatisierten Shuttles und 98 % machten sich während der Fahrt keine Sorgen um ihre Sicherheit. Die Nutzungsbereitschaft von 76 % der Befragten bei einer möglichen Verstärkung des Angebots oder weiteren Verbreitung des Verkehrsmittels war hoch.

Busfahrer:innenbefragung im Fahrdienst der VHH (BFB)

Ziel und Informationen zur Erhebung: Da automatisierte Shuttles das Ziel haben, die sonst durch Busfahrer:innen durchgeführte Fahrtätigkeit automatisiert zu übernehmen, sind die Einstellungen der Busfahrer:innen hinsichtlich automatisiertem ÖPNV von Interesse. Weiterhin soll eine Trendanalyse der Einstellungsänderungen der Busfahrer:innen zu den Zeitpunkten t0 und t1 erhoben werden.

Für die BFB wurden den Busfahrer:innen im Einsatzgebiet Lauenburg/Elbe und den angrenzenden Betriebshöfen (Betriebshöfe: Lauenburg/Elbe, Geesthacht, Billbrook, Glinde, Bergedorf) die Fragebögen über die Personalfächer zugänglich gemacht. Die Einsammlung erfolgte mithilfe von Urnen. Während in BFBw1 nach Projektinformationen ca. 540 Busfahrer:innen an den Betriebshöfen beschäftigt waren, waren es in der BFBw2 ca. 1.000 Busfahrer:innen.

Einordnung der Stichprobe/ Kritische Betrachtung: Es ist anzumerken, dass 51 % der insgesamt 121 befragten Busfahrer:innen nur an der BFBw1, 32 % nur an der BFBw2 und 17 % an beiden Befragungen teilnahmen. Weiterhin haben die Busfahrer:innen, die nicht am Betriebshof Lauenburg/Elbe eingesetzt werden, möglicherweise keinen Bezug zu der Stadt Lauenburg. 75 % hielten sich nicht regelmäßig in Lauenburg/Elbe auf. Aufgrund dessen ist fraglich, ob diese Kontakt im Alltag zum TaBuLa Shuttle haben und mit dem Thema automatisierte Shuttles involviert sind. Die BFBw2 ist demnach nur bedingt der Gruppe t1 zuzuordnen, die Kontakt mit dem TaBuLa Shuttle haben. Neben dem Einsatz des TaBuLa Shuttles steht in Bergedorf der Einsatz von autonom fahrenden On-Demand Shuttles im Rahmen des RealLabHH Projektes 2021 – Teilprojekt 4 bevor³. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass das Thema automatisierter ÖPNV nicht unbekannt ist.

Unter den Teilnehmenden der BFB waren weniger Frauen als im Fahrdienst der VHH beschäftigt sind (ca. 33 %). Das Durchschnittsalter lag bei ca. 48 Jahren. In der BFBw1 waren die Teilnehmenden durchschnittlich 16 Jahre als Busfahrer:in bei der VHH beschäftigt und in BFBw2 zwölf Jahre. Die Betriebshöfe wurden in der BFBw2 den Befragten zugeordnet. Die Teilnahme nach Betriebshof ist folgende: Bergedorf 29 %, Billbrook 15 %, Geesthacht 20 %, Glinde 24 % und Lauenburg 7 %.

3 <https://reallab-hamburg.de/projekte/autonomes-fahren/> [abgerufen am 02.03.2021]

Resümee: Die Busfahrer:innen der VHH waren insgesamt eher skeptisch gegenüber dem automatisierten Shuttle. Sie befürchteten einen Arbeitsplatzabbau und fehlende Sicherheit in einem fahrerlosen Bus. Mit dem Erleben des TaBuLa Shuttle-Betriebs konnten sich einige Busfahrer:innen vorstellen, dass automatisierte Shuttles den ÖPNV ergänzen könnten, doch das "Unwohlsein" bei dem Gedanken eines Busses ohne Busfahrer:in stieg ebenfalls an. Eine generelle Zukunftsperspektive und Nutzungsbereitschaft signalisierte nur jede:r Fünfte Busfahrer:in. Insgesamt hatten die Befragten keine großen Erwartungen.

Interviews mit Fahrzeugbegleiter:innen

Ziel und Informationen zur Erhebung: Das Ziel der qualitativen Interviews mit Fahrzeugbegleiter:innen ist es, deren Erfahrungen zu erfassen, da sie die Expert:innen des Betriebs der automatisierten Kleinbusse sind und das Verhalten von Fahrgästen innerhalb des Shuttles kennen. Die Fahrzeugbegleiter:innen stehen in intensivem Kontakt zu den Fahrgästen und sind Akzeptanz-Mittler:innen zwischen dem Shuttle und den Fahrgästen. Sie beantworten Fragen, vermitteln Sicherheit und nehmen Ängste. Die Tätigkeitsfelder der Fahrzeugbegleiter:innen sollen beschrieben und mögliche Problemfelder identifiziert werden. Die Fahrzeugbegleiter:innen geben Aufschluss darüber, was im Betrieb, dem Betriebsablauf, der Kommunikation und der Technik noch nicht reibungslos funktioniert und wo noch investiert werden muss. Die Einstellungen gegenüber automatisierten Shuttles sollen erhoben werden, um herauszufinden, inwiefern die Erfahrung mit dem Betrieb die Akzeptanz der Fahrzeugbegleiter:innen verändert hat.

Es wurden neun telefonische Interviews mit Fahrzeugbegleiter:innen der drei Projekte AutoNV_OPR, NAF-Bus und TaBuLa in vier Einsatzgebieten (Ostpriegnitz-Ruppiner/Brandenburg, Enge-Sande/Schleswig-Holstein, Keitum/Schleswig-Holstein, Lauenburg/Schleswig-Holstein) durchgeführt. Die Interviews wurden Leitfaden-gestützt geführt, dauerten ca. 45 Minuten und wurden durch das Büro Schreibneu – Schreibservice Neumann transkribiert. Ausgewertet wurden sie mit der qualitativen Inhaltsanalyse.

Einordnung der Stichprobe/ Kritische Betrachtung: Die Interviews wurden von zwei Interviewer:innen durchgeführt. Aufgrund dessen kann es zu individuellen Schwerpunktsetzungen und Ausdrucksweisen unter den Fragen kommen. Des Weiteren hatten die verschiedenen Einsatzgebiete aufgrund des Raumtyps, wie dem ländlichen Raum (AutoNV_OPR und NAF-Bus Sylt), Kleinstadt (TaBuLa) und privates Campus-Gelände (NAF-Bus GreenTec Campus), und der Streckenführung sowie Topographie verschiedene Voraussetzungen an den Einsatz automatisierter Shuttles.

Die Fahrzeugbegleiter:innen waren zwischen 30 und 63 Jahre alt und hatten unterschiedlichen Bildungshintergrund. Während die Fahrzeugbegleiter:innen des Projekts TaBuLa, AutoNV_OPR und teilweise des NAF-Bus Sylt, bereits als Fahrpersonal bei den öffentlichen Verkehrsbetrieben im konventionellen Linienverkehr angestellt waren, wurden in den anderen Projekten Fahrzeugbegleiter:innen angeworben.

Alle Fahrzeugbegleiter:innen waren seit mindestens einem halben Jahr als solche beschäftigt. Die Motive zur Berufsausübung reichten von dem Interesse an der Tätigkeit, Innovation und Technik bis hin zu Neugier, Abwechslung und Bedarfsgründe.

Resümee: Die Fahrzeugbegleiter:innen hatten Interesse an Technik und Innovation und verfügten über eine Neugier, den automatisierten Shuttle zu begleiten. Die Akzeptanz des eingesetzten Fahrzeugs und seines Verhaltens bei den beim von der VHH eingesetzten Fahrpersonal war ausgesprochen hoch. Dies gilt auch für das in Betrieb befindliche Gesamtsystem, wie auch, durch Befragungen erhoben, kommende weiter entwickelte Fahrerlose Systeme. Die eingesetzten Kolleg:innen haben Ihre Aufgabe als herausragend empfunden, waren hoch motiviert und erfreut an diesem Projekt mitwirken zu können. Da sie die Fahrgäste ermutigten mitzufahren, und mit Informationen zum Shuttle versorgten, nahmen sie eine große Rolle bei der Akzeptanz der Fahrgäste ein.

9.1.2 Rückschlüsse aus den Befragungen im Hinblick auf das Forschungsinteresse

Für eine übergreifende Betrachtungsmöglichkeit zwischen Befragungen wurden für die einzelnen befragten Gruppen entsprechende Forschungsfragen formuliert. Die Forschungsfragen sind als Bezugsebene nachfolgend in den Unterkapiteln mit Q1-Q22 angegeben und werden in Kapitel 9.3 entsprechend der Befragungen für eine Übersicht aufgelistet.

Kenntnis des Projekts und Nutzung des TaBuLa Shuttles

Die Testbereitschaft der Befragten der VGB ist mit 55% mittelmäßig. Grund dafür kann die Entfernung der Wohnorte der Befragten und dem Einsatzort Lauenburg/Elbe sein.

Vor dem Einsatz des TaBuLa Shuttles in Lauenburg/Elbe hatten 86% der Bevölkerung von dem Projekt gehört und 79% hatten vor den Shuttle auszuprobieren, wenn er in Lauenburg fährt (HHBw1). Nachdem der Shuttle in Lauenburg/Elbe eingesetzt wurde und der Betrieb in der Stadt sichtbar war, stieg der Bekanntheitsgrad in der HHBw2 auf 94% (Q1). Entgegengesetzt dem Plan des Ausprobierens, hatten zum Befragungs-

zeitraum im August nach 79 Tagen des öffentlichen Betriebs in HHBw2 19 % den Shuttle getestet, 53 % waren noch nicht gefahren, hatten dies aber noch vor und 28 % lehnten eine Fahrt mit dem TaBuLa Shuttle ab. Von Denjenigen, die mit dem Shuttle bereits gefahren waren, nutzen ihn 41 % nur einmal, 30 % zweimal und 28 % mehr als zweimal (N=46).

Bei den BFB hatten in der BFBw1 72 % von dem Projekt TaBuLa gehört. Der Anteil der Busfahrer:innen, welche eine Testfahrt planten, ist mit 31 % gering. Mit dem Einsatz des Shuttles in Lauenburg/Elbe hatten in der BFBw2 85 % von dem Projekt gehört. Während 10 % eine Fahrt unternommen hatten, hatten 25 % eine Fahrt noch vor und 63 % lehnten die Fahrt ab (2 % keine Antwort, vgl. Q18). Ob der Grund für die geringe Testbereitschaft an der Ablehnung der Fahrt an sich oder der räumlichen Entfernung zum Einsatzgebiet liegt, ist ungewiss.

Bei der FGB hatten 89 % der Fahrgäste den TaBuLa Shuttle bereits einmal genutzt, 5 % zweimal und 5 % mehr als zweimal (Q8).

Hoffnungen und Befürchtungen zum Einsatz von automatisierten Shuttles

In den Erhebungen VGB, BFBw1, BFBw2 und HHBw1 wurde gefragt, welche Hoffnungen und Befürchtungen die Befragten in Bezug auf einen selbstfahrenden Kleinbus in Lauenburg/Elbe haben. In der HHBw2 wurde hingegen nach den Vor- und Nachteilen gefragt, welche der TaBuLa Shuttle den Befragten persönlich bringt.

Während die Lauenburger:innen durch den Einsatz des Shuttles in ihrer Innenstadt lokal betroffen sind und die Busfahrer:innen eine subjektive bzw. emotionale Betroffenheit durch den Test eines fahrerlosen Shuttles aufweisen, stellen die Befragten der VGB eine neutrale Gruppe ohne Betroffenheit dar. Insgesamt bezogen sich die meisten Befürchtungen auf den Einsatz des Shuttles und eine allgemeine Skepsis gegenüber automatisiertem ÖPNV. Sicherheitsbedenken wurden von allen als Befürchtung angegeben. Auf der anderen Seite erhofften sich nahezu alle Befragten eine Verbesserung des ÖPNV und der Mobilität. Ein Großteil der Befragten gab allerdings auch an, keine Hoffnungen zu haben.

Die Befragten der VGB hatten am häufigsten Sicherheitsbedenken und befürchteten technische Probleme. 30 % erhofften sich eine Verbesserung des ÖPNV und der Mobilität durch das neue Verkehrssystem. Weiterhin wurden Verkehrsentlastung, Innovation und mehr Sicherheit von mindestens 10 % erhofft.

Die lokal betroffenen Lauenburger:innen kennen die Verkehrssituation der Lauenburger Innenstadt und hatten am ehesten Sicherheitsbedenken, befürchteten Straßenverkehrsbehinderungen und Probleme durch fehlende Busfahrer:innen (Q2). In der HHBw2 gaben 31 % an, keine Nachteile durch den TaBuLa Shuttle zu haben. 22 % hingegen erlebten den Shuttle als Verkehrshindernis und 13 % sahen einen Nachteil in der Geschwindigkeit des Shuttles. Die in HHBw1 befürchteten Straßenverkehrsbehinderungen wurden durch den TaBuLa Shuttle für einige Realität. Mit dem Wissen, dass der TaBuLa Shuttle in Lauenburg/Elbe den ÖPNV ergänzen wird, erhofften sich 39 % ein verbessertes ÖPNV-Angebot und mehr Mobilität. Lediglich jeder Zehnte gab an, keine Hoffnungen zu haben. In der HHBw2 hatten die Lauenburger:innen den Betrieb des TaBuLa Shuttles erlebt und lediglich 11 % sahen Vorteile durch die Verbesserung des ÖPNV-Angebots und 38 % sahen keine Vorteile durch den TaBuLa Shuttle (Q3).

Die Busfahrer:innen wiederum zeigen in beiden Befragungswellen ähnliche Einstellungen auf. Die Meisten befürchten den Arbeitsplatzabbau und haben Sicherheitsbedenken. In BFBw1 werden nur wenige Hoffnungen genannt, während in der BFBw2 jeder Zehnte die Verbesserung des ÖPNV erhofft. Der Anteil derjenigen, die keine Hoffnungen in Bezug auf einen automatisierten Shuttle haben, ist in der BFBw2 deutlich höher als in BFBw1.

Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen im ÖPNV in Lauenburg/Elbe bei Einwohner:innen und Fahrpersonal (siehe separate Veröffentlichung Mantel/Diebold 2020, Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

Es wurden die Einstellungen der Bevölkerung Lauenburgs und des Fahrpersonals der VHH (HHBw1 und BFBw1) hinsichtlich des bevorstehenden Einsatzes des TaBuLa Shuttles in Lauenburg/Elbe untersucht und verglichen. Es konnte festgestellt werden, dass die Lauenburger Bevölkerung sehr hohe Erwartungen an den automatisierten Shuttle hat, Verbesserungen des ÖPNV und der Mobilität erhoffen, aber auch Verkehrsbehinderungen und fehlende Sicherheit befürchten. Die Bereitschaft den Shuttle zu testen ist hoch, die Unsicherheit mit einem fahrerlosen Bus zu fahren jedoch ebenso. Die Erwartungen der Busfahrer:innen hingegen sind eher rationaler Art, es bestehen Bedenken des Arbeitsplatzabbaus und der fehlenden Sicherheit. Die Busfahrer:innen fühlen sich bei dem Gedanken in einem selbstfahrenden Bus zu fahren unwohl und sie

erwarten weniger positive Veränderungen des ÖPNV als die Bevölkerung Lauenburgs. Obschon die Busfahrer:innen keine hohen Erwartungen bezüglich des Einsatzes des TaBuLa Shuttles haben, ist die Bereitschaft vorhanden, sich als Fahrzeugbegleiter:in oder Kontrollpersonal umzuschulen.

Die Erkenntnisse geben Aufschluss auf Forschungsfragen Q2 und Q17.

Akzeptanz eines automatisierten Shuttles in einer Kleinstadt – Analyse anhand einer Trendstudie und Fahrgastbefragung (siehe separate Veröffentlichung Mantel 2020, Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa)

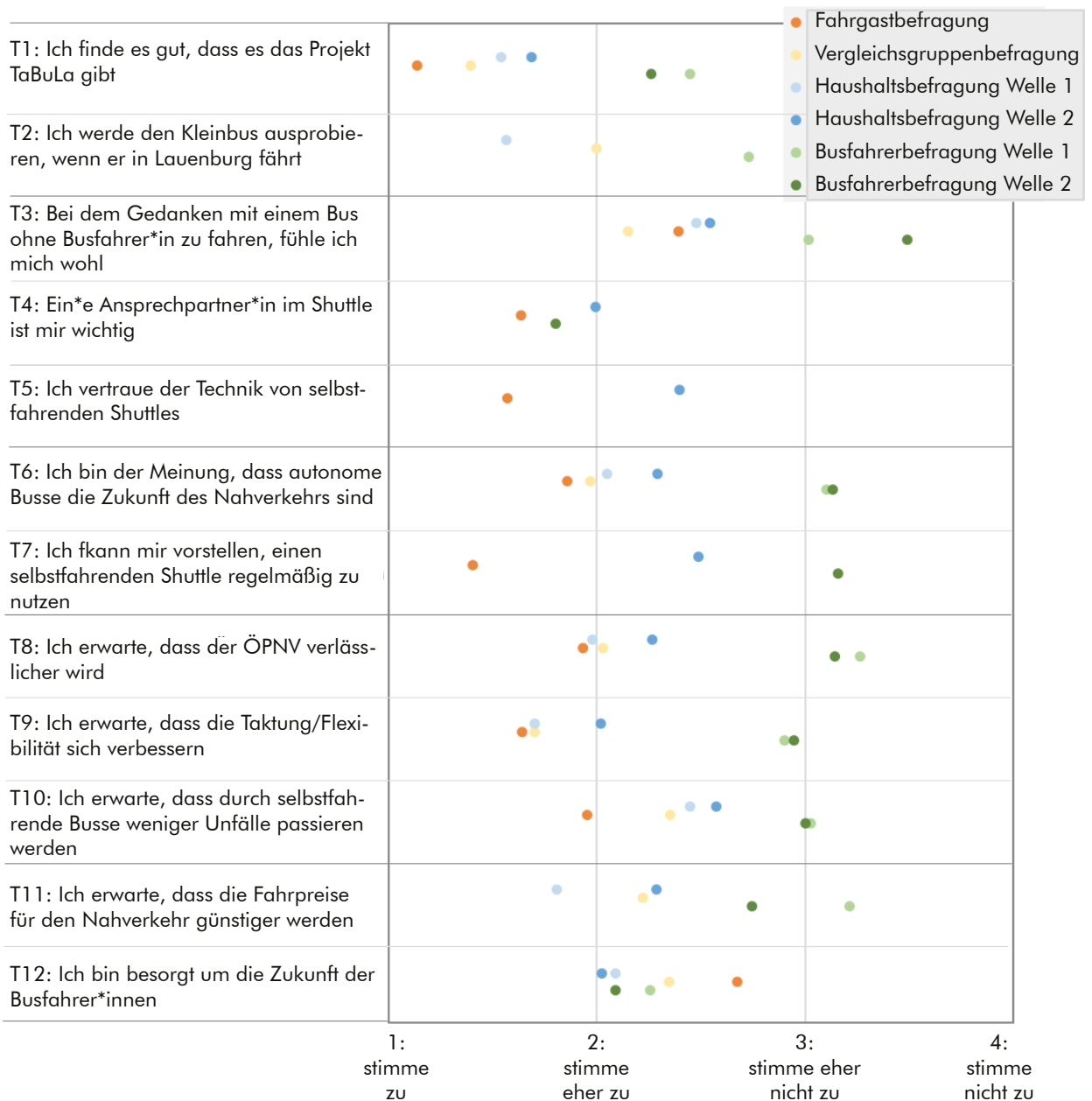
Es wurde die Akzeptanz im Laufe der Einführung des TaBuLa Shuttles durch die Bevölkerung Lauenburgs analysiert (HHBw1, HHBw2) und die Erkenntnisse durch die Ergebnisse der FGB ergänzt. Es konnte gezeigt werden, dass die Erwartungen an das neue Verkehrsmittel vor dem Einsatz des TaBuLa Shuttles hoch waren und sich mit dem Erlebnis des Shuttle-Betriebes in Lauenburg/Elbe minderten. Ein gegenläufiger Trend wurde unter den regelmäßigen ÖPNV-Nutzern festgestellt, welche vorerst skeptisch waren und mit dem Erlebnis des Betriebs positivere Einstellungen aufwiesen und eine größere Nutzungsbereitschaft signalisierten. Des Weiteren ließen sich die Lauenburger:innen in ihrem Meinungsbild hinsichtlich der Testbereitschaft deutlich differenzieren. Die Befragten, welche bereits mit dem TaBuLa Shuttle gefahren waren oder es noch vorhatten, zeigten positivere Einstellungen als diejenigen, welche eine Testfahrt ablehnten. Ein Großteil der Fahrgäste kam nicht aus Lauenburg/Elbe und nutzte den Shuttle zum Fahrtzweck des Austestens. Insgesamt wurde die Fahrt mit dem sehr positiv wahrgenommen. Es wurde ermittelt, dass die Hälfte der befragten Lauenburger:innen und Fahrgäste des TaBuLa Shuttles sich in einem Bus ohne Busfahrer:in wohlfühlen und Vertrauen in die Technik haben, während ca. 30 % beidem nicht zustimmen konnten. Eine Zukunftsperspektive für automatisierte Shuttles und Nutzungsbereitschaft signalisierten 50 %. Da nur jeder vierte Befragte regelmäßig Angebote des ÖPNV nutzt, wurde ein Nutzungspotenzial durch bisherige ÖPNV-Nichtnutzer:in identifiziert.

Die Erkenntnisse geben Aufschluss über die Forschungsfragen Q4, Q5, Q6, Q9, Q10, Q11, Q13 und Q14.

Akzeptanz von automatisierten Shuttles unter den Erhebungen

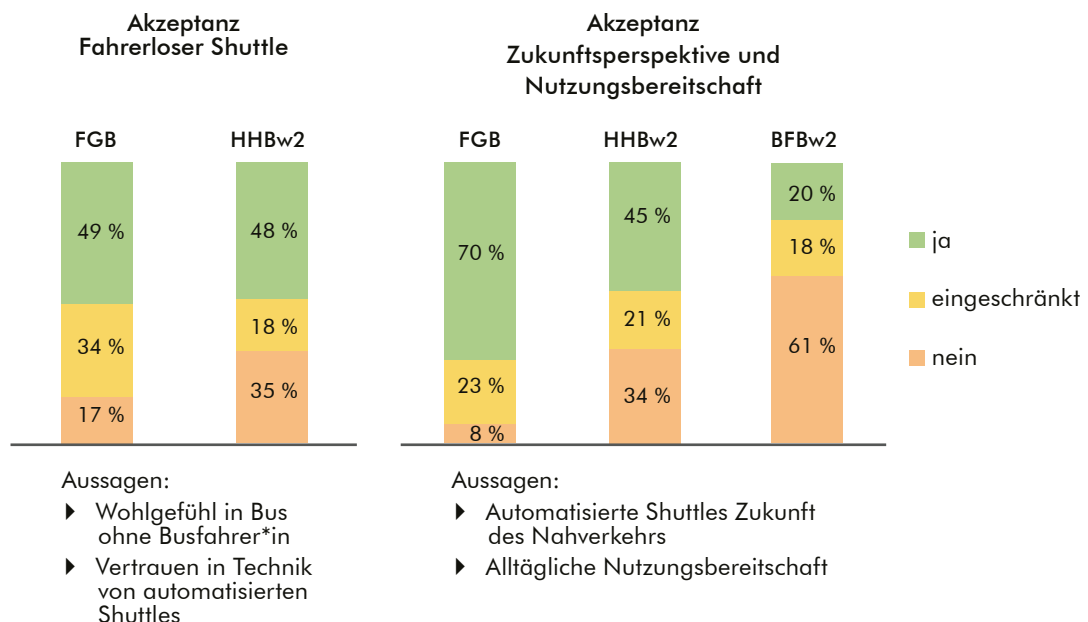
In Abbildung 9 sind die Mittelwerte der Aussagenbewertungen aller Befragungen dargestellt. Insgesamt fällt auf, dass die Befragten der FGB überwiegend die positivsten Einstellungen aufweisen, gefolgt von den Befragten der VGB. Die Mittelwerte der HHB befinden sich eher im Mittelfeld, während die Befragten der BFB die Aussagen im Allgemeinen eher ablehnen.

Abbildung 9: Mittelwerte der Aussagenbewertungen der Akzeptanzbefragungen im Projekt TaBuLa



Insgesamt ist die Offenheit dem Projekt gegenüber groß (T1), besonders die Befragten der FGB finden es gut, dass es das Projekt gibt. Die Zustimmung der Befragten der BFBw1 und BFBw2 ist ambivalent. Die Einschätzung des Akzeptanz-Aspektes fahrerloser Shuttle wird mit den Aussagen T3, T4 und T5 erhoben. Bei dem Gedanken mit einem fahrerlosen Bus zu fahren fühlen sich gleiche Anteile der potentiellen Nutzenden (VGB, FGB, HHB) wohl und nicht wohl. Die Befragten der BFB fühlen sich hingegen eher unwohl. Ein/e Ansprechpartner:in im Shuttle ist den Befragten zum Befragungszeitraum t1 eher wichtig. Größeres Vertrauen in die Technik haben die Befragten der FGB, die der HHBw2 sind hingegen ambivalent. Zusätzlich zu der Darstellung der Mittelwerte ist in Abbildung 10 die Variablenkombination von T3 und T5 dargestellt. Akzeptanz besteht, wenn beiden Aussagen (eher) zugestimmt wurde, während keine Akzeptanz definiert ist, wenn beiden Aussagen (eher) nicht zugestimmt wurden. Die eingeschränkte Akzeptanz bedeutet, dass nur einer Aussage zugestimmt wurde. Bei der FGB und der HHBw2 können die Hälfte der Befragten beiden Aussagen zustimmen. Jeder Dritte der HHBw2 lehnt allerdings beide Aussagen ab, während es bei der FGB nur 17 % sind. Im Vergleich zu den Befragten der FGB, hat die Bevölkerung Lauenburgs den TaBuLa Shuttle im städtischen Tagesgeschehen erlebt. Die Befragten der FGB hingegen erlebten den TaBuLa Shuttle bei einer Testfahrt während ihres Aufenthaltes in Lauenburg/Elbe. Alltägliche Begegnungen treten dadurch weniger auf.

Abbildung 10: Kombination der Aussagen zur Akzeptanz des fahrerlosen Shuttles und der Zukunftsperspektive und Nutzungsbereitschaft, nFGB=79/87, nHHBw2=227/210, nBFBw2=-/49



Eine Zukunftsperspektive (T6) für automatisierte Shuttles im ÖPNV wird eher von Befragten der FGB, VGB und HHBw1 gesehen. Die Befragten der HHBw2 sind weniger überzeugt und die Befragten der BFB sehen diese eher nicht. Hinsichtlich der alltäglichen Nutzungsbereitschaft differenzieren sich die Mittelwerte der Befragten der Akzeptanzsubjekte bezüglich des Zeitraums t1 stark. Ein Großteil der Befragten der FGB können sich eine Nutzung vorstellen, die Befragten der HHBw2 sind ambivalent und die der BFBw2 stimmen eher nicht zu. Es wird deutlich, dass die Befragten der FGB die größte Akzeptanz hinsichtlich der Zukunftsperspektive und Nutzungsbereitschaft aufweisen. Die Befragten der HHBw2 zeigen ein ähnliches Meinungsbild, wie bei dem Akzeptanz-Aspekt fahrerloser Shuttle, während 61 % der Befragten der BFBw2 beiden Aussagen nicht akzeptieren. Weitere Ausführungen dazu sind in Mantel 2021 (siehe

Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa) aufgeführt.

Des Weiteren werden unter den Befragungen eher eine Verbesserung der Taktung und Flexibilität (T9) erwartet als eine Steigerung der Verlässlichkeit (T8). Insgesamt ähneln sich die Mittelwerte der FGB, VGB und HHBw1, die Mittelwerte der Befragten der HHBw2 liegen im neutralen Bereich und die der BFB im ablehnenden Bereich. Weniger Unfälle (T10) erwarten am ehesten die Befragten der FGB. Die Befragten der VGB und HHB sind ambivalent und die der BFB sehen dies eher nicht. Besorgt um die Zukunft der Busfahrer:innen (T12) sind die Befragten der HHB, BFB und VGB, während die der FGB dies weniger sind.

Insgesamt fällt auf, dass sich die Mittelwerte der VGB und der HHBw1 ähneln. Beide Befragungen haben gemein, dass sie durchgeführt wurden, während der TaBuLa Shuttle noch nicht in Lauenburg/Elbe eingeführt war (t0). Demnach stellen sie die Einstellungsakzeptanz des automatisierten Shuttles dar, welcher noch nicht erlebt wurde. Die Einstellungsakzeptanz ist größtenteils erwartungsvoll und positiv. Lediglich hinsichtlich des Wohlfühls mit einem Bus ohne Busfahrer:in zu fahren (T3) variieren die Mittelwerte signifikant (VGB: $MW=2,15/SD=1,033$, HHBw1: $MW=2,48/SD=0,960$, $t(488)=3,0921$, $pt3=0,002$). Das Erlebnis des Shuttles wurde durch die FGB und HHBw2 erhoben (t1). Wenngleich nur jeder fünfte Befragte der HHBw2 den Shuttle gefahren war, wurde der Shuttle im städtischen Alltagsgeschehen erlebt. Während die Befragten der FGB sehr positive Einstellungen aufweisen, sind die der HHBw2 teilweise verhalten und setzen sich hinsichtlich der HHBw1 in einer ablehneren Richtung ab. Im Gegensatz zur FGB enthalten sie die Einstellungen der Befürworter:innen und Ablehner:innen automatisierter Shuttles. Mantel 2021 (ebd.) ermittelte, dass sich die Einstellungen der fahrtbereiten und Fahrt-ablehnenden Befragten stark voneinander differenzieren.

9.1.3 Weitere Ergebnisse der FGB

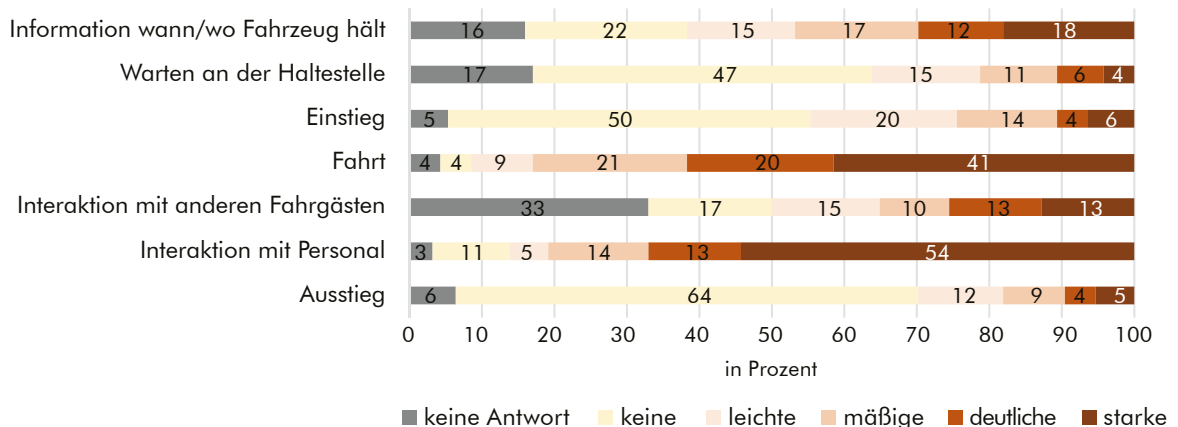
Über die bisherigen Interessenslagen hinaus konnten in der FGB weitere Erkenntnisse gesammelt werden, die nachfolgend dargestellt werden.

Betrieb

Mehr als 60% der Befragten der FGB schätzten ein, dass sich der TaBuLa Shuttle am ehesten durch die Interaktion mit dem Fahrzeugbegleiter:innen-Personal und der Fahrt an sich von einem konventionellen Linienbus unterscheidet (Abbildung 11). Deutlich wird dadurch, dass die Fahrzeugbegleiter:innen anders als die Busfahrer:innen konventioneller Linienbusse in engem Kontakt mit den Fahrgästen stehen und diese mit Informationen zur Technik und zum Shuttle versorgen. 30% gaben die Information an, wann und wo das Fahrzeug hält und 26% sahen Unterschiede in der Interaktion mit anderen Fahrgästen. Bezüglich des Wartens an der Haltestelle, des Ein- und Ausstiegs sahen nur wenige Unterschiede. (Q12)

Ein Großteil der Befragten empfand die Homepage mit Betriebsinformationen als hilfreich. 35 Fahrgästen genügten die Informationen an der Haltestelle nicht. Davon gaben 21 Fahrgäste 27 Hinweise. Beispielsweise wurde von 10 Fahrgästen genannt, dass sie sich einen Fahrplan bzw. genauere Ankunfts- und Abfahrtszeiten wünschten. Weiterhin wurden erkennbare Haltepunkte, dynamische Fahrgastinformationen an der Haltestelle, eine Lokalisierung des Shuttles, die Fahrtdauer, Verspätungsinformationen und eine Möglichkeit zur Fahrtbuchung genannt.

Abbildung 11: Unterschiede TaBuLa Shuttle und konventioneller Linienbus, FGB n=94



Vielen war ein Haltestellenaushang mit Informationen wichtig sowie, dass Standortinformationen des Shuttles auf dem Mobiltelefon abrufbar sind. Beim Warten an der Haltestelle wurde von einigen ein Haltewunschknopf gewünscht, um dem Shuttle zu signalisieren, dass man mitfahren möchte. Hilfreich sahen manche Signaltöne, welche der Shuttle abspielt, wenn er anhält oder die Türen schließt.

Die Nutzung und der Einstieg wurden von nahezu allen als einfach empfunden. Mit dem/der Fahrzeugbegleiter:in hatten ebenfalls sehr viele Fahrgäste gesprochen. Hilfe beim Einstieg war eher wenigen wichtig ebenso wie eine Rampe zum stufenlosen Einstieg in das Fahrzeug. Anzumerken ist, dass unter den Befragten nur eine Person mit eingeschränkter Mobilität war.

Gewünschte Eigenschaften des ÖPNV

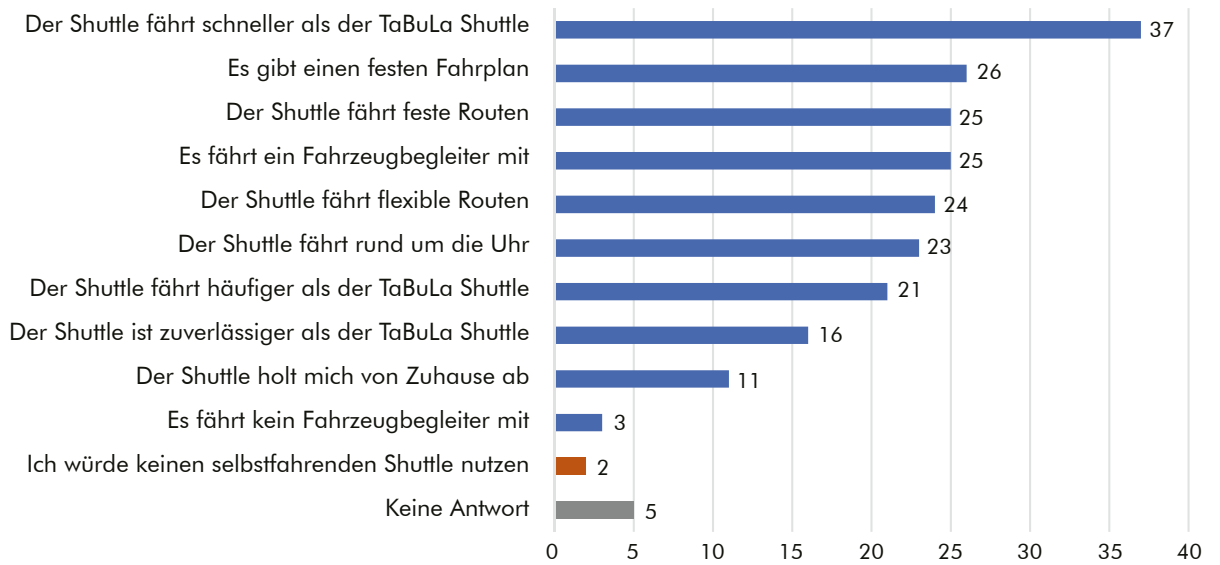
Um der Frage nachzugehen, wie sich die Fahrgäste einen ÖPNV vorstellen, den sie regelmäßig nutzen würden (Q15), wurde in der FGB ermittelt, was den Befragten am wichtigsten bei der Verkehrsmittelwahl ist. Sechs Aspekte sollten in eine Rangfolge von eins (höchster Rang: am Wichtigsten) bis sechs (niedrigster Rang: am wenigsten wichtig) geordnet werden. Es stellte sich heraus, dass die Flexibilität (Mittelwert: 2,5) und Verlässlichkeit (Mittelwert: 2,8) die wichtigsten Eigenschaften der Verkehrsmittel sind. Die Kosten (Mittelwert: 3,6), Schnelligkeit (Mittelwert: 3,7) und Umweltverträglichkeit (Mittelwert: 3,8) sind ähnlich wichtig und der Komfort (Mittelwert: 4,5) am wenigsten wichtig.

Weiterhin wurden die Fahrgäste gefragt, welche Voraussetzungen für eine Nutzung von selbstfahrenden Shuttles gegeben sein müssten. Diese durften maximal drei Aspekte auswählen. Für die meisten ist eine höhere Geschwindigkeit des Shuttles Voraussetzung für die Nutzung (Abbildung 12). Der TaBuLa Shuttle fährt maximal 18 Stundenkilometer. Eine höhere Geschwindigkeit ist für den zukünftigen Einsatz unumgänglich. Weiterhin werden von 28 % weitere Eigenschaften des konventionellen Linienbusses angegeben, wie ein festgelegter Fahrplan, festgelegte Routen, ein/e Fahrzeugbegleiter:in und Ansprechpartner:in im Bus. Die Eigenschaften eines flexiblen On-Demand Dienstes wie flexible Routen und einem Betrieb rund um die Uhr wurde ebenfalls von jedem Vierten genannt. Dass der Shuttle die Fahrgäste von Zuhause abholt, wurde hingegen von weniger Fahrgästen genannt. Nur zwei Fahrgäste gaben an, keinen selbstfahrenden Shuttle nutzen zu wollen.

Bei der Frage, wie weit die Fahrgäste bereit sind zu einer Haltestelle eines automatisierten Shuttles zu laufen sofern es selbstfahrende Shuttles in ihrem Ort gibt, gaben die Meisten (38 %) maximal fünf Minuten an (Abbildung 13). Die Unterschiede der Angaben durch die Befragten, hinsichtlich der Stadtkategorie des Wohnorts betrachtend, wird deutlich,

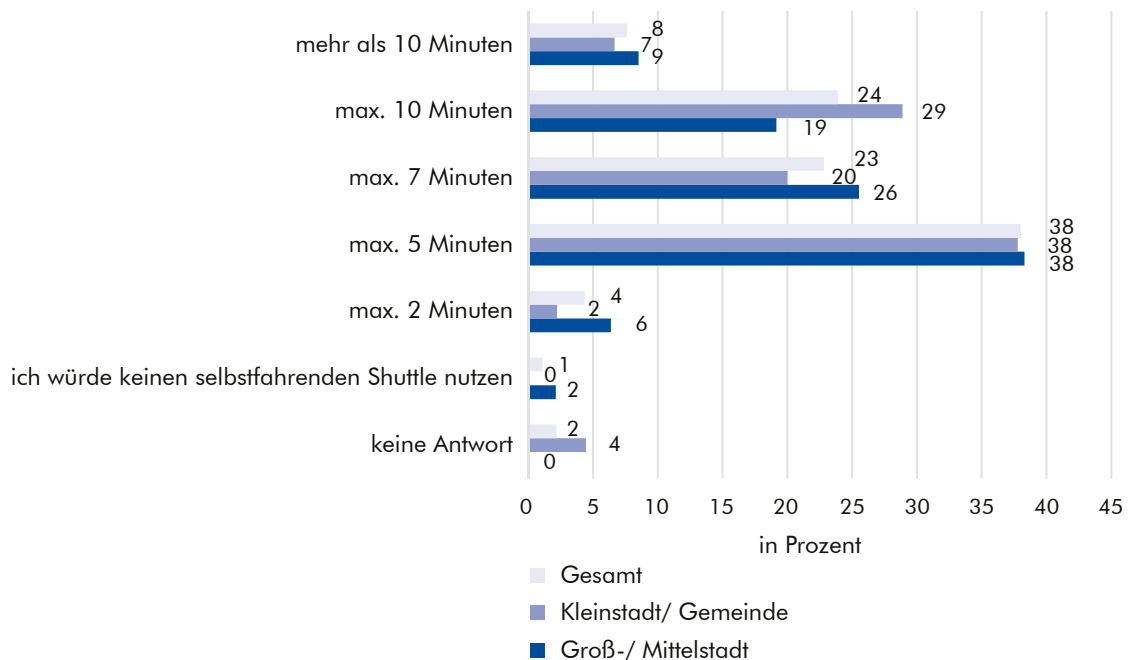
dass die Befragten aus Kleinstädten und Gemeinden eher bereit sind mehr als sieben Minuten zu gehen als die Befragten, welche in Groß- bzw. Mittelstädten leben.

Abbildung 12: Voraussetzungen für die Nutzung von selbstfahrenden Shuttles, FGB: n=225



Die Fahrgäste durften maximal drei Voraussetzungen auswählen.

Abbildung 13: Bereitschaft Weg zur Haltestelle zu gehen und Kategorie Wohnort, FGB: n=94



9.1.4 Akzeptanz der Busfahrer:innen in beiden Erhebungswellen

Im Folgenden werden die Veränderungen der Einstellungen der Busfahrer:innen zwischen der BFBw1 und BFBw2 untersucht (Q19). Mithilfe von zweistufigen T-Tests für unabhängige Stichproben wurden signifikante Mittelwertunterschiede der Bewertungen zwischen den Befragungswellen identifiziert. Ab einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ ist der Mittelwertunterschied in der Standardliteratur als statistisch signifikant zu erachten.

Die Busfahrer:innen gingen vor dem Einsatz des TaBuLa Shuttles (BFBw1) eher nicht davon aus, dass durch automatisierte Shuttles das Angebot auf schwach nachgefragten Linien verbessert werden kann (B3: $M=2,68$, $SD=0,121$, $n=69$) und dass durch die Shuttles neue Linien entstehen werden, die bisher noch nicht angeboten wurden (B4: $M=2,71$, $SD=0,133$, $n=66$). Beide Mittelwerte lagen eher im nicht zustimmenden Bereich der Bewertungsskala. In der BFBw2 hat sich diese Meinung statistisch signifikant verbessert und beides wird eher erwartet (B3: $M=2,25$, $SD=0,144$, $n=48$, $t(115) = 2,2842$, $p=0,0242$, B4: $M=2,22$, $SD=0,144$, $n=49$, $t(113) = 2,4679$, $p=0,0151$). Der TaBuLa Shuttle erschloss eine neue Buslinie in Lauenburg/Elbe und zeigte, dass dies möglich ist.

Weiterhin wurde ein signifikanter Mittelwertunterschied hinsichtlich des Wohlfühls, bei dem Gedanken in einem Bus ohne Busfahrer:in zu fahren, festgestellt (T3). Während die Busfahrer:innen in der BFBw1 dieser Aussage eher nicht zustimmten ($M=3,02$, $SD=0,129$, $n=63$), lag der Mittelwert der Aussagenbewertung in der BFBw2 statistisch signifikant stärker in der nicht zustimmenden Richtung ($M=3,49$, $SD=0,110$, $n=49$, $t(110)=-2,7026$, $p=0,008$). Wie bereits erläutert wurde, hat ein Großteil der Busfahrer:innen den TaBuLa Shuttle nicht getestet und diesen nicht in Lauenburg/Elbe erlebt. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Busfahrer:innen von dem Einsatz gehört haben und das Thema automatisierte Shuttles im Kollegenkreis diskutiert wurde. Mit der Information zum TaBuLa Shuttle und zum autonomen Shuttle des RealLab Hamburg Projekts in Bergedorf wird den Busfahrer:innen deutlich, dass ihnen der/die Fahrer:in im Bus wichtig ist, ebenso wie ein/e Ansprechpartner:in.

Ein weiterer signifikanter Mittelwertunterschied wurde hinsichtlich der Erwartung, dass die Fahrpreise durch automatisierte Shuttles sinken werden, festgestellt. In der BFBw1 gingen die Busfahrer:innen weniger davon aus, dass Fahrpreise sinken werden (T11: $M=3,21$, $SD=0,113$, $n=71$), während in der BFBw2 der Mittelwert stieg ($M=2,75$, $SD=0,150$, $n=51$) und sich dies mehr Busfahrer:innen vorstellen konnten ($t(120)=2,5238$, $p=0,0129$).

Insgesamt finden es die Befragten beider Erhebungen eher gut, dass sich die VHH in dem Projekt TaBuLa engagieren und empfinden die VHH als eher innovatives Unternehmen. Dass vor privaten autonomen Pkws erst autonome Shuttles im ÖPNV im täglichen Einsatz sind, wird eher nicht erwartet (B5). Wann automatisierte Shuttles ein alltägliches Verkehrsmittel darstellen, wird in beiden Befragungen unterschiedlich bewertet. Während in der BFBw1 28 % davon ausgehen, dass sich diese innerhalb der nächsten 15 Jahre durchsetzen, sind es in der BFBw2 nur 15%. Der Anteil derer, die der Meinung sind, dass sich automatisierte Shuttles nicht durchsetzen werden, steigt von 23 % (BFBw1) auf 32 % (BFBw2). Davon, dass sich der Beruf des Busfahrers in den nächsten Jahren verändern und komplexer wird, geht hingegen die Mehrheit der Busfahrer:innen aus. Die Busfahrer nehmen allerdings überwiegend an, davon nicht mehr betroffen zu sein. Den Einsatz als Fahrzeugbegleiter:in in einem automatisiert fahrenden Shuttle oder aus einem Kontrollzentrum heraus kann sich hingegen nicht die Mehrheit der Busfahrer:innen vorstellen, einige hingegen sind dem nicht abgeneigt.

9.1.5 Akzeptanz der Fahrzeugbegleiter:innen über verschiedene Forschungsprojekte

Die Fahrzeugbegleiter:innen beschrieben die beiden hauptsächlichen Tätigkeiten bei der Fahrt: das vorausschauende Fahren (7 Angaben) und Ansprechpartner:in für die Fahrgäste zu sein (6 Angaben). Weiterhin wurde die Kontrolle, dass alles funktioniert (2 Angaben) angegeben, sowie die Fahrtfreigabe bei Operator-Stopps (1 Angabe). Ein Fahrzeugbegleiter des TaBuLa Projekts beschrieb die Rolle des Fahrzeugbegleiters mit dem Ansehen eines Captains bzw. Pilot (VHH2), während ein anderer den Begriff Erklär-Bär wählte (NAF-GTC1). Dies macht deutlich, dass die Fahrzeugbegleiter:innen eine besondere Rolle im automatisierten Shuttle spielen, die sich von der Rolle des Fahrpersonals in einem konventionellen Linienbus abgrenzt.

Wer sind die Fahrgäste? (Q20)

Die Fahrgäste der Projekte AutoNV_OPR, TaBuLa und NAF-BUS Sylt waren vornehmlich Tourist:innen. Auf Sylt waren wenige Einheimische unter den Fahrgästen. Bei AutoNV_OPR und TaBuLa waren Einheimische anzutreffen, während auf dem GreenTec-Campus beide Gruppen vertreten waren. Hinsichtlich des Alters beschrieben die Fahrzeugbegleiter:innen, dass verschiedene Altersklassen unter den Fahrgästen vertreten waren. Vier Fahrzeugbegleiter gaben explizit an, dass Kinder unter den Fahrgästen waren (AutoNV_OPR, VHH1/2/3), aber auch Ältere

zeigten ein großes Interesse (VHH1/2/3, NAF-Sylt3). Unter den Fahrgästen waren insgesamt eher selten Personen mit eingeschränkter Mobilität. Drei Fahrzeugbegleiter:innen gaben an, keine befördert zu haben, sechs hatten selten Personen in Rollstühlen/mit Rollatoren befördert. Ein Fahrzeugbegleiter gab an, dass maximal ein Rollator in den Shuttle passt und dass es bei mehreren ein Platzproblem gäbe (AutoNV_OPR).

Fahrgästen, welche das erste Mal den automatisierten Shuttle nutzen, waren anfangs skeptisch und angespannt und während der Fahrt wuchs das Vertrauen. Die Rolle der Fahrzeugbegleitung, die Fragen beantwortete und ermutigte, in den Shuttle einzusteigen, hat dabei großen Einfluss auf die Akzeptanz der Fahrgäste.

Die Fahrtgeschwindigkeit des Shuttles wurde von einigen Fahrgästen als zu langsam empfunden (VHH1), diese hatten von der Technik mehr erwartet (NAF-GTC2). Außerdem wurde die Geschwindigkeit als größtes Manko angesehen (NAF-GTC1). Durch die Informationen der Fahrzeugbegleiter:innen, dass es Vorgaben des TÜV sind, stieg die Akzeptanz (VHH3). Weiterhin wird von den Fahrgästen die Verhältnismäßigkeit der Geschwindigkeit hinsichtlich der starken Bremsungen gesehen (VHH1/2). Unter den Fahrgästen des NAF Shuttles auf Sylt wurde die Geschwindigkeit als angenehm empfunden, insbesondere für eine Stadtrundfahrt (NAF-Sylt1/2), für die anderen Verkehrsteilnehmer:innen war die Geschwindigkeit allerdings zu niedrig.

Die starken Bremsungen bzw. not-Stopps wurden von den Fahrgästen auf verschiedene Weise erlebt. Nach der ersten Bremsung realisierten die Fahrgäste auf Sylt, dass sie sich während der Fahrt festhalten sollten (NAF-Sylt1). Die Verwunderung und das Erstaunen, was der abrupte Geschwindigkeitsverlust mit dem Körper des Fahrgastes macht, war groß (NAF-Sylt3). Eher positiv und mit Fassung erlebten die Fahrgäste der VHH1/2 und NAF-Sylt2 die Bremsungen, während die Fahrgäste bei AutoNV_OPR und NAF-GTC2 diese eher schreckhaft, negativ erlebten.

Wie läuft der Betrieb? (Q21)

Die am häufigsten genannten Störungen waren Störungen durch andere Verkehrsteilnehmer:innen. Diese hatten insgesamt unterschiedliche Reaktionen auf die automatisierten Shuttles (AutoNV_OPR, VHH2, NAF-GTC1, NAF-Sylt1). Vor allem Autofahrer:innen waren ungeduldig (VHH2, NAF-Sylt2) – insbesondere die Einheimischen (NAF-Sylt3) –, verständnislos (VHH1/3) und rücksichtslos (VHH1). Des Weiteren ist ein Problemfeld des Betriebs automatisierter Shuttles, dass Verkehrsregeln missachtet werden. Zum einen unabhängig von automatisierten

Shuttles, wie Falschparker:innen auf der Strecke, welche die Fahrlinie des Shuttles kreuzen und diesen somit behindern (AutoNV_OPR, VHH1, NAF-Sylt3), zum anderen auf das Fahrverhalten der Shuttle bezogen. Teilweise riskante Überholvorgänge gaben sechs der neun Interviewteilnehmer:innen an, welche zu starken Bremsungen der Shuttles führten.

Weiterhin wurde der benötigte Sicherheitsabstand zu den Shuttles häufig nicht eingehalten (AutoNV_OPR, VHH2) und die Vorfahrt genommen (NAF-Sylt1). Die unter Autofahrer:innen gewöhnliche interpersonelle Kommunikation, beispielsweise das Durchwinken an Vorfahrtsgeregelten Kreuzungen und Einmündungen, ist mit automatisierten Shuttles nicht möglich und führt zu Missverständnissen (VHH3). Insgesamt wurden weniger Störungen bei dem NAF-Bus Projekt im Einsatzgebiet auf dem GreenTec Campus genannt.

Durch die Infrastruktur hervorgerufenen Störungen waren beim Projekt TaBuLa die zeitweise fehlerhafte Kommunikation mit der Lichtsignalanlage (VHH1/2/3), sowie bei allen Einsatzgebieten außer auf dem GreenTec Campus auftretenden Ortungsprobleme.

Ein weiteres Problemfeld im Betrieb war, dass die Sensoren der automatisierten Shuttles Hindernisse erkannten, welche keine Hindernisse waren. Durch Angabe der Fahrzeugbegleiter:innen gab es Störungen durch Bewuchs wie Rasenwuchs, Hecken sowie fallende Blätter, welche als Hindernisse erkannt wurden. Bei schlechten Wetterverhältnissen wurden bei AutoNV_OPR, NAF-Bus auf dem GreenTec Campus und auf Sylt Regentropfen als Hindernisse erkannt.

Durch die Fahrgäste wurden überwiegend eher wenig Störungen hervorgerufen (AutoNV_OPR, VHH1/2/3, NAF-Sylt3), doch es kam auch vor, dass die Fahrgäste Tasten wie den Nothalteknopf am Bus austesteten (NAF-GTC1, NAF-Sylt1) oder zu zufällig mit dem Fuß im engen Shuttle an den Joystick, mit dem man den Bus steuern kann, kamen und dadurch einen Not-Stopp auslösten (NAF-Sylt1). Des Weiteren wurden technische Störungen genannt.

Durch die ermittelten Störungen im Betrieb können Betriebsempfehlungen abgeleitet werden. Insgesamt ist es notwendig, die Sensorik des Shuttles zu sensibilisieren, so dass echte Hindernisse von falschen Hindernissen wie Vegetation, Insekten oder Wassertropfen unterschieden werden können. Für eine reibungslosere Fahrt ist es weiterhin notwendig, dass sich die Geschwindigkeit des Shuttles bei Überholvorgängen anderer Fahrzeuge anpasst und nicht abbremst. Insgesamt müssten die Fahrwege von Bewuchs stetig freigehalten werden. Des Weiteren müssen geltende Verkehrsregeln durchgesetzt werden, sodass die Fahrlinie der Shuttles frei von Falschparkern ist. Ein durchgängiger Empfang ist für automatisierte Shuttles ebenfalls notwendig.

Zusätzlich würde der Betrieb reibungsloser ablaufen, wenn andere Verkehrsteilnehmer:innen ein Verständnis für automatisierte Shuttles im Allgemeinen und die Fahrteigenschaften im Speziellen hätten.

Welche Einstellungen haben Fahrzeugbegleiter:innen gegenüber autonomen Bussen? (Q22)

Die Fahrzeugbegleiter:innen wurden befragt, welche Einstellungen sie vor der Tätigkeit gegenüber automatisierten Shuttles hatten. Die meisten hatten Interesse an der Technik, waren neugierig und gespannt. Während ein Fahrzeugbegleiter des TaBuLa Projekts angab, ungläubig und erstaunt zu sein, war bei einem Fahrzeugbegleiter auf dem Green-Tec Campus Skepsis vorhanden. Keine großen Erwartungen hatte ein Fahrzeugbegleiter der VHH.

Da sie die Technik, Problemfelder, Möglichkeiten der Shuttles durch ihre Tätigkeit kennengelernt haben, ist von Interesse, wie sich die Einstellungen verändert haben. Während drei Fahrzeugbegleiter angaben, keine Veränderung der Akzeptanz erlebt zu haben, war die Akzeptanz bei drei anderen gewachsen. Ein Fahrzeugbegleiter hatte mehr Rücksicht, wenn er einen automatisierten Shuttle auf der Straße trifft (NAF-Sylt1). Ein anderer hatte keine Angst mehr vor dem Jobverlust (VHH1). Ein Fahrzeugbegleiter der VHH musste sich an die Nicht-Akzeptanz anderer Verkehrsteilnehmer:innen gewöhnen.

9.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Die dargestellten Forschungsarbeiten trugen maßgeblich zur Erreichung des **Unterziels 3** (Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen festzustellen und zu untersuchen) bei. Darüber hinaus tragen die Ergebnisse dieses Kapitels zur Erfüllung des **Unterziels 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV) bei. Die Befragungen und Untersuchungen stellen keine Vollerhebung dar, können aber dennoch in begrenztem Rahmen einen Beitrag für die Übertragbarkeit von Ergebnissen zu kleineren Städten im ländlicheren Raum beitragen (**Unterziel 4**).

9.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Vergleichsgruppenbefragung

Der Aufwand der Befragungsdurchführung war aufgrund der Erhebungsform der Auslage von Fragebögen auf einem Tisch neben dem TaBuLa Shuttle gering. Aufgrund dessen können die Ergebnisse als zusätzliche Erkenntnisse bezogen auf die soziodemographischen Merkmale der Teilnehmenden interpretiert werden.

Haushaltsbefragung

Die Erhebungen der Einstellungen der Lauenburger Bevölkerung zu automatisierten Shuttles sind von hohem Interesse, da diese den TaBuLa Shuttle alltäglich im öffentlichen Betrieb erleben können. Neben einer potentiellen Fahrt wird der Shuttle auch im Straßenverkehr durch die Lauenburger:innen als Fußgänger:in, Radfahrer:in und Autofahrer:in erlebt. Weiterhin müssen die Lauenburger:innen die für den Einsatz notwendigen Infrastrukturmaßnahmen dulden. All diese Begegnungen haben Einfluss auf die Akzeptanz des Shuttles. Besonders wichtig ist demnach neben der Erhebung der Einstellungen der Nutzer:innen auch die Einstellungen der Nichtnutzer:innen, welche mit den Haushaltsbefragungen erhoben werden. Folgende forschungsleitenden Fragen können mithilfe der Haushaltsbefragungen beantwortet werden:

- ▶ Q1: Wie verändert sich der Bekanntheitsgrad im Laufe des Projektes?
- ▶ Q2: Welche Hoffnungen/ Befürchtungen haben Lauenburger vor dem Einsatz des TaBuLa Shuttles?
- ▶ Q3: Welche Vor- und Nachteile sehen sie mit dem TaBuLa Shuttle?
- ▶ Q4: Wie verändert sich die Einstellung der Bevölkerung Lauenburgs mit der Einführung des TaBuLa Shuttles in Lauenburg/Elbe?
- ▶ Q5: Inwiefern unterscheiden sich die Einstellungen der Befragten, welche bereits mit dem TaBuLa Shuttle gefahren sind, von den Befragten, welche den TaBuLa Shuttle nicht getestet haben?
- ▶ Q6: Hinsichtlich welcher Merkmale unterscheiden sich Personen mit annehmender und ablehnender Haltung? Welche Einflussfaktoren bedingen die Akzeptanz?

Fahrgastbefragung

Insgesamt war die Durchführung der Fahrgastbefragung notwendig, um die Akzeptanz der Fahrgäste bezüglich des TaBuLa Shuttles und automatisierten Shuttles im Allgemeinen zu erheben. Das Erlebnis der TaBuLa Shuttle-Fahrt ist ein wichtiger Bestandteil des Meinungsbildungsprozesses bezüglich autonomen ÖPNV. Die Fahrgäste erleben im TaBuLa Shuttle hautnah, was die Technik bereits bewältigt und wo der/die Fahrzeugbegleiter:in noch eingreifen muss. Dabei werden Vorbehalte abgebaut und die Erfahrung in das soziale Umfeld der Fahrgäste getragen. Folgende forschungsleitenden Fragen können mithilfe der Fahrgastbefragung beantwortet werden:

- ▶ Q7: Wer sind die Fahrgäste in Lauenburg/Elbe?
- ▶ Q8: Wie sieht die Nutzung des TaBuLa Shuttles aus?
- ▶ Q9: Wie ist die Einstellung gegenüber automatisierten Shuttles?
- ▶ Q10: Wie wird Fahrt bewertet?
- ▶ Q11: Unterscheidet sich die Akzeptanz unter verschiedenen Personengruppen (bezüglich des Alters, Verkehrsmittelnutzung, etc.)?
- ▶ Q12: Worin unterscheidet sich der automatisierte Shuttle von einem konventionellen Bus oder Bahn?
- ▶ Q13: Ist eine zukünftige Nutzung vorstellbar?
- ▶ Q14: Welche Rolle spielt der/die Fahrzeugbegleiter:in bei der Akzeptanz des Angebotes?
- ▶ Q15: Wie stellen sich die Fahrgäste einen ÖPNV vor, den sie regelmäßig nutzen würden?
- ▶ Q16: Weitere Fragen zum Betrieb: Einstieg, Informationen an Haltestelle (Haltestellenaushang ist wichtig/ Haltewunschknopf an Haltestell), Standort auf Mobiltelefon abrufbar, Informationen auf Homepage, Rampe hilfreich, Signaltöne am Shuttle

Busfahrer:innenbefragung im Fahrdienst der VHH

Die zukünftig im ÖPNV eingesetzten autonomen Busse werden Teile der Aufgaben der Busfahrer:innen übernehmen. Aus diesem Hintergrund wird untersucht, wie die Akzeptanz der Busfahrer:innen gegenüber dem Pilottest ausfällt. Folgende forschungsleitenden Fragen können mithilfe der BFB beantwortet werden:

- ▶ Q17: Wie sind die Einstellungen der Busfahrer:innen zu dem Einsatz von automatisierten Kleinbussen?
- ▶ Q18: Wie viele Busfahrer:innen nutzen die Möglichkeit sich einen automatisierten Kleinbus in Lauenburg/Elbe anzuschauen?
- ▶ Q19: Verändert sich das Meinungsbild der Busfahrer:innen in der Projektlaufzeit zum Thema Automatisierung im ÖPNV?

Fahrzeuggesteuer:innen über verschiedene Projekte hinweg

Die Interviews mit den Fahrzeuggesteuer:innen wurden durchgeführt, um direkte Informationen von den Fahrzeuggesteuer:innen zu erheben, da diese den direkten Kontakt zu den Fahrgästen haben und einschätzen können, wie die Reaktionen auf den Shuttle sind. Weiterhin können sie einschätzen, wo Problemfelder des Betriebs sind. Diese Informationen ergänzen die quantitativen Befragungen der Bevölkerung, Fahrgäste und Busfahrer:innen. Folgende forschungsleitenden Fragen können aufgrund der Interviews mit den Fahrzeuggesteuer:innen beantwortet werden:

- ▶ Q20: Wer sind die Fahrgäste?
- ▶ Q21: Wie läuft der Betrieb?
- ▶ Q22: Welche Einstellungen haben Fahrzeuggesteuer:innen gegenüber autonomen Bussen?

9.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse konnten für zukünftige Projekte aufzeigen, wie sich die Einstellungen von unterschiedlichen Gruppen zu automatisierten Bussen für den ÖPNV durch einen realen Testbetrieb entwickelten, in welchen Bereichen und bei welchen Gruppen bereits eine hohe Akzeptanz vorhanden ist und wo es noch Potentiale für eine mögliche Minimierung von Berührungs- bzw. Nutzungsängsten gibt. Nichts desto trotz bleibt auch am Ende des Projekts die große Unbekannte wie die Akzeptanz sich entwickelt, wenn die Überwachung des Systems nur noch über eine Leitstelle erfolgt und kein/e physische/r Ansprechpartner:in mehr im Bus vorhanden ist. Für diese zentrale Fragestellung bilden die erzielten Ergebnisse eine sehr gute Grundlage für weitere zukünftige Projekte. Ebenso wird auf den Ergebnissen aber auch im Nachfolgeprojekt TaBuLa-LOG aufgebaut für die Akzeptanzuntersuchungen für eine Kombination von Personen- und Warenverkehren, die automatisiert betrieben werden. Insbesondere die Interaktion zwischen Fahrgästen und ihre Akzeptanz eines Transportroboters im automatisierten ÖPNV stehen hier im Vordergrund.

10 EINSATZ DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLES IM ÖFFENTLICHEN RAUM MIT INTERAKTION DES AUTOMATISIERTEN SHUTTLES IM VERKEHRSGESCHEHEN

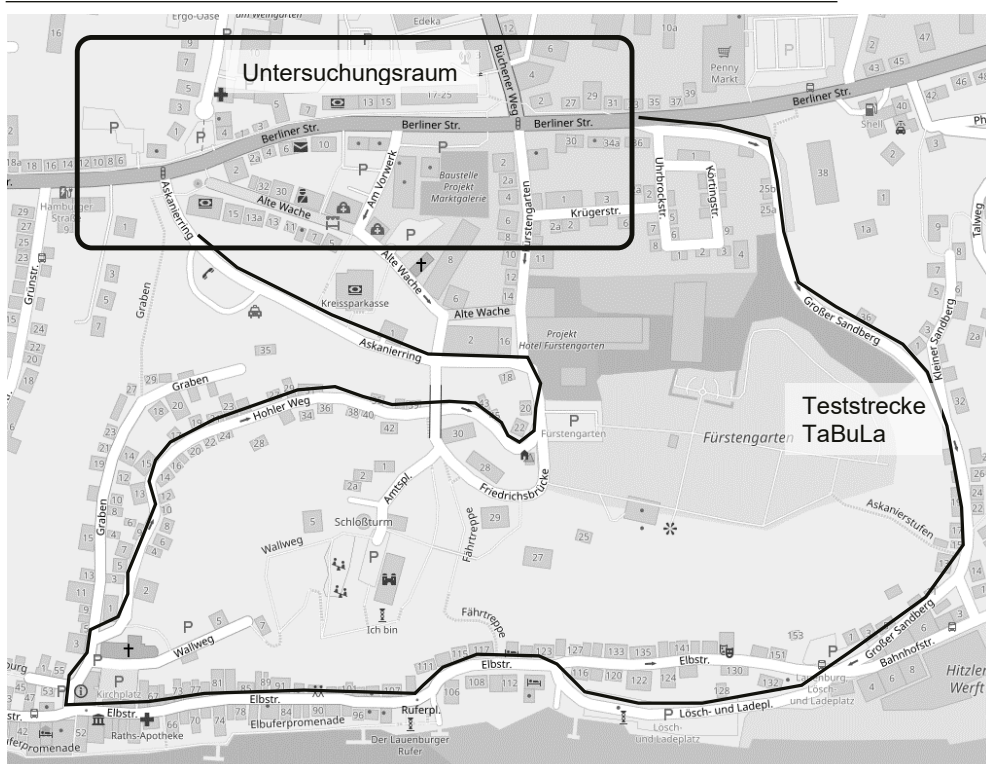
10.1 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst unter 10.1.1 Verkehrsflusssimulationen die vorgenommenen Simulationen dargestellt und anschließend unter Kapitel 10.1.2 Verkehrssituationsanalysen. Für beide Analysen wird dann anschließend eine entsprechende Einordnung in Kapitel 10.1.3 vorgenommen.

10.1.1 Verkehrsflusssimulationen

Für die Bundesstraße im Zuge der Strecken 2 und 3 mit den beiden hoch belasteten Knotenpunkten wurde eine mikroskopische Verkehrssimulation vor Inbetriebnahme des Shuttles erstellt. Durch verschiedene Szenarien wurde der zu erwartende Betrieb eines automatisch fahrenden Kleinbusses untersucht, um eine erste Einschätzung zu bekommen, ob und in welchem Umfang Störungen auf der Bundesstraße mit ca. 12.000 Kfz im DTV durch das Projekt entstehen können. In der nachfolgenden Abbildung 14 sind die beiden maßgeblichen Knotenpunkte und die Strecke dazwischen, auf der der Shuttlebus ca. zweimal pro Stunde mit max. 18 km/h verkehrt ist, dargestellt.

Abbildung 14: Untersuchungsraum für die Mikroverkehrssimulation und der Teststrecke TaBuLa



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von OpenStreetMaps

Methodik

Der Simulation mit dem Softwareprodukt VISSIM der PTV AG ging die Beschaffung von Unterlagen der Signalprogramme der beiden Knotenpunkte voraus. Weiterhin wurden im November 2018 Verkehrserhebungen durchgeführt, um das aktuelle Verkehrsgeschehen auf der Bundesstraße abbilden zu können. Aus dem Untersuchungsraum der Abbildung wird für die Verkehrsflusssimulation nur auf die Bundesstraße 5 (B5), sowie die angrenzenden Straßen durch ihre Zuflüsse und die Teststrecke (schwarzer Linienzug) für den automatisiert fahrenden Bus modelliert. Diese besitzt zwei Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen, die die zu untersuchenden Knotenpunkte bilden.

Es wurden die Szenarien auf Basis bestehender Projektvorlagen und des Datenblatts des Herstellers für die Fahreigenschaften des automatisierten Fahrzeuges erstellt. Die Auswirkungen sind durch das zweimalige Einfahren eines automatisiert fahrenden Busses in den Untersuchungsraum in der Spitzenstunde entstanden.

Das Fahrverhalten des automatisierten Busses wurde an den technischen und zu erwartenden Stand angepasst. Fehlende Daten wurden möglichst sicherheitsorientiert und pessimistisch angenommen. So wurde beim Folgeverhalten die maximale Voraus- und Zurückschauweite auf 50 m reduziert. Die Anzahl der Interaktionsobjekte wurde auf zwei Fahrzeuge reduziert und ein Stillstandabstand von 3 m ausgewählt. Neben diesen Einstellungen nach Herstellerangaben wurde für das Fahrverhalten angenommen, dass die Einhaltung des absoluten Bremswegabstandes zu jeder Zeit eingehalten wird und eine vorübergehende Unaufmerksamkeit nicht vorkommen kann. Somit wurde diese auf 0 s mit einer Wahrscheinlichkeit von 0% gesetzt. Im Folgemodell nach Wiedemann wurde der mittlere Stillstandabstand sowie der additive Einfluss des Sicherheitsabstands auf 3 m festgelegt. Da nicht zu erwarten ist, dass Reaktionszeiten und Wahrnehmungszeiten des automatisierten Kleinbusses variieren, wurde die Standardabweichung für den additiven Sicherheitsabstand auf 0 gesetzt.

Auch wenn auf der Route der Teststrecke kein Fahrstreifenwechsel stattfindet, wurde die minimale Nettoweglücke (vorne/hinten), wie vom Herstellenden angegeben, auf die benötigten 3 m verändert.

Da zum Querverhalten des Fahrzeuges keine Herstellerangaben vorliegen, wurden hier sicherheitsorientierte Annahmen getroffen. Neben der Wunschposition des Fahrzeuges am rechten Streckenrand wurden die Optionen "Nachbarfahrstreifen beachten", "versetztes Aufstellen" und "nächste Abbiegung berücksichtigen" aktiviert. Es wird angenommen, dass die Systeme des Fahrzeuges solche Dinge erkennen können. Der

Kollisionszeitgewinn wurde von 2 s auf 1 s herabgesetzt, damit auch für kleinere Verbesserungen der Kleinbus seitwärts ausweicht. Weitere Werte wurden in den Standardeinstellungen gelassen. Der Mindestseitenabstand wurde auf realistische 0,50 m im Stand und 1,50 m bei 50 km/h festgelegt.

Für die Reaktion auf Signalgeber wurde eine kontinuierliche Prüfung des Gelbverhaltens nach Grün-Ende sowie die Reaktion „Warten wie bei Rot“ für das Rotgelb-Verhalten nach Rot-Ende angenommen. Der Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand wurde auf 0 gesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Systeme keine Fehler machen und deshalb die höchstmögliche Sicherheit zu jedem Zeitpunkt gewährt wird.

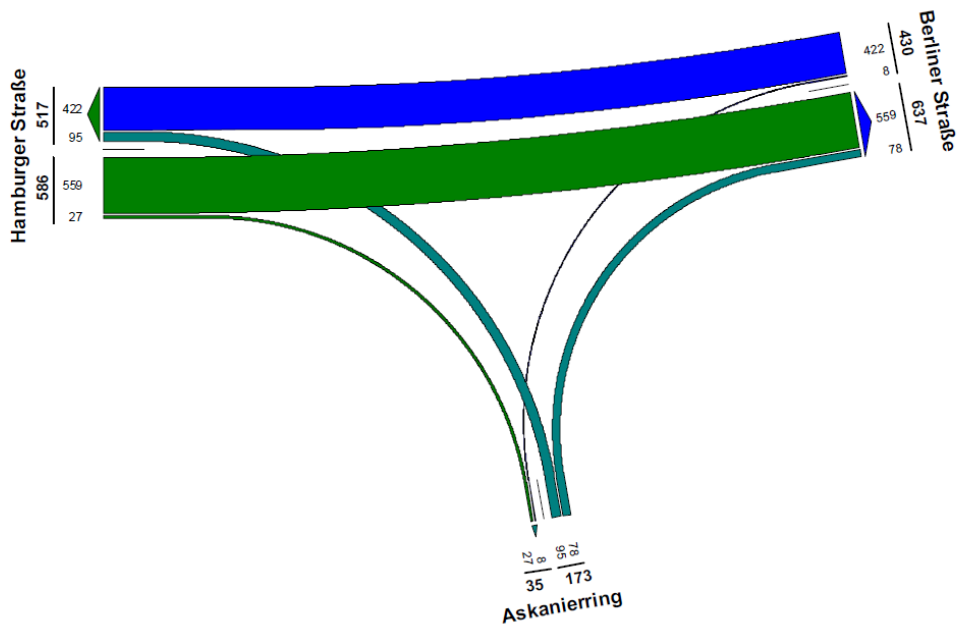
In Folge dessen wurden diverse Szenarien mit jeweils 100 Simulationen berechnet. Maßgeblich hier sind die Szenarien des Analysefalls als Referenz und die zweifache Durchfahrt des langsamen Shuttles in einem Prognoseplanfall. Sowie weitere Versuchsszenarien unter der Einschränkung, dass VISSM keines realistischen Überholmanöver unter Berücksichtigung des Gegenverkehrs (Nutzung des Gegenfahrstreifen unter Einfluss des Verkehrsgeschehens) abbilden kann (Szenario 4). U. a. folgende Szenarien wurden für die Spitzenstunde ausgewertet:

1. Analysefall ohne automatisierten Kleinbus
2. mit automatisiertem Kleinbus bei max. 18 km/h
3. mit manuell gefahrenem Kleinbus bei max. 6 km/h
4. mit automatisiertem Kleinbus bei max. 6 km/h mit Überholmöglichkeit (Simulation ist nur eingeschränkt möglich, Szenario liefert nur eingeschränkt vergleichbare Ergebnisse!)
5. mit automatisiertem Kleinbus mit Nothalt von 60-90 Sekunden (empirisch variierend mitten auf der Strecke zwischen den Knotenpunkten)

Bewertung der Ergebnisse und Einordnung

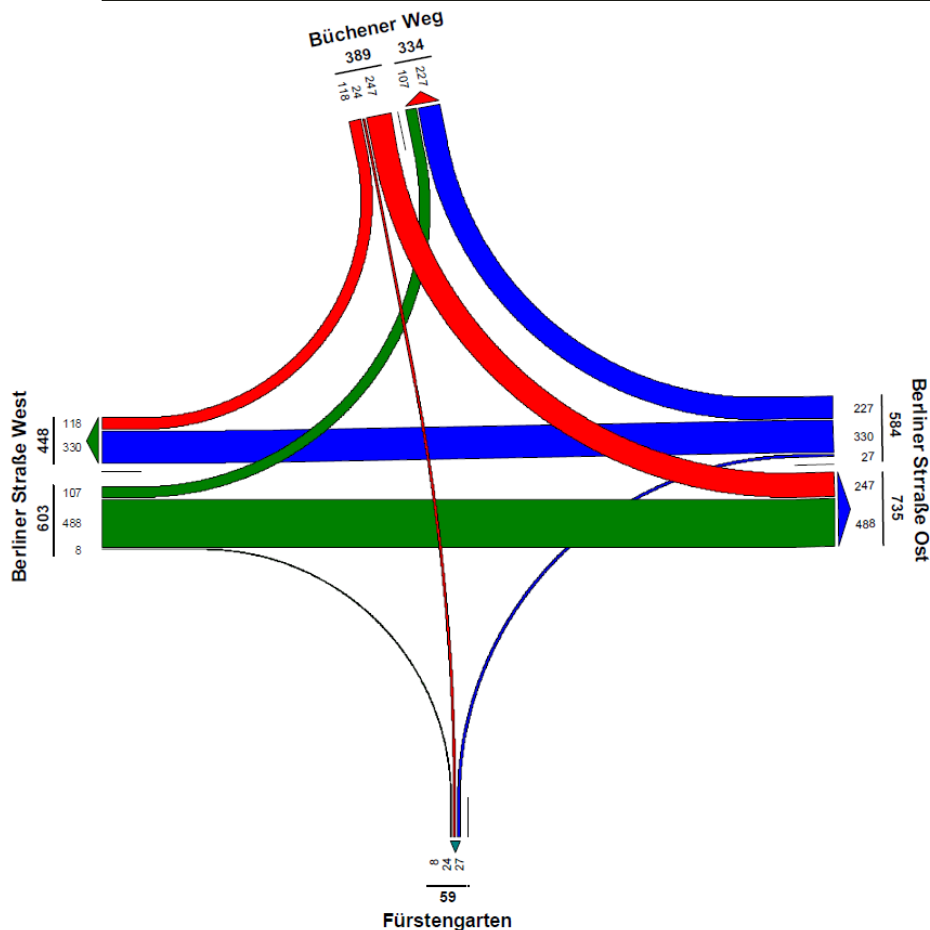
Die Verkehrsstärken pro Zählintervall der Erhebung des ersten Knotens werden in Abbildung 15 durch Ganglinien sichtbar gemacht. In der Spitzenstunde verkehrten im Querschnitt 1.319 Kfz auf der Strecke des Shuttlebusses.

Abbildung 15: Belastungsschema der Knotenströme, der Spitzenstunde am Abend am Knoten I, Askaniering (ohne Fahrradfahrer:innen)



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von LISA+

Abbildung 16: Belastungsschema der Knotenströme, der Spitzenstunde am Abend am Knoten II, Büchener Weg (ohne Fahrradfahrer:innen)

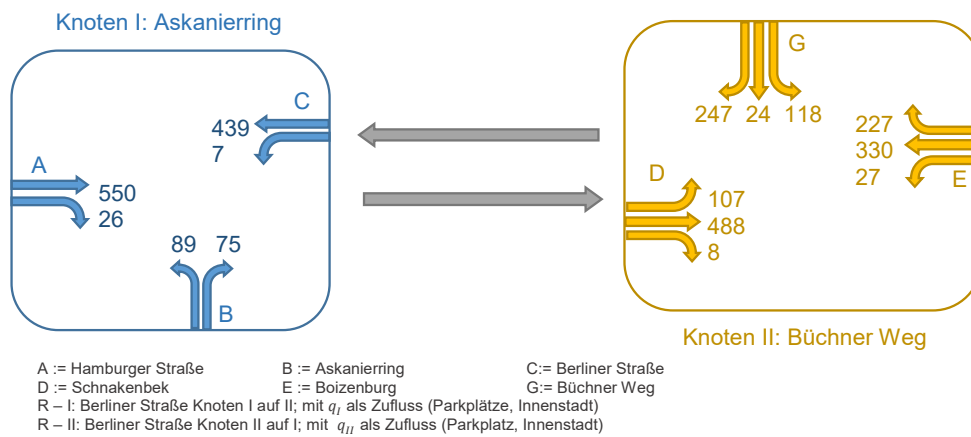


Für die Bez. Boizenburg wird hier die Bezeichnung Berliner Straße West verwendet. Ebenso wie für Schnakenbek die Berliner Straße West als Bezeichnung verwendet wird.

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von LISA+

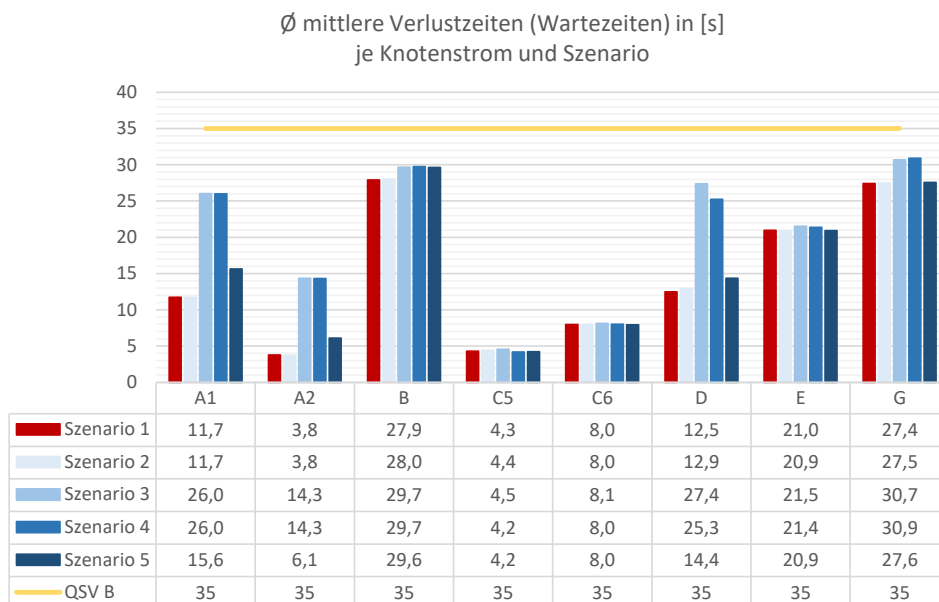
Die folgenden Verkehrsstärken bilden die Grundlage für das Modell. Die Bezeichnungen der Ströme (A, B, C...) werden für die weiteren Ergebnisberechnungen verwendet.

Abbildung 17: Bemessungsstärken für den Untersuchungsraum der zu Grunde gelegten Spitzenstunde von 16-17 Uhr am Askanerring und Büchner Weg für die weitere Simulation



Quelle Abbildung 17 + 18: Hirt, Tim: Verkehrsflusssimulation für die Bundesstraße B5 in Lauenburg/Elbe unter Berücksichtigung eines autonom fahrenden Kleinbusses.

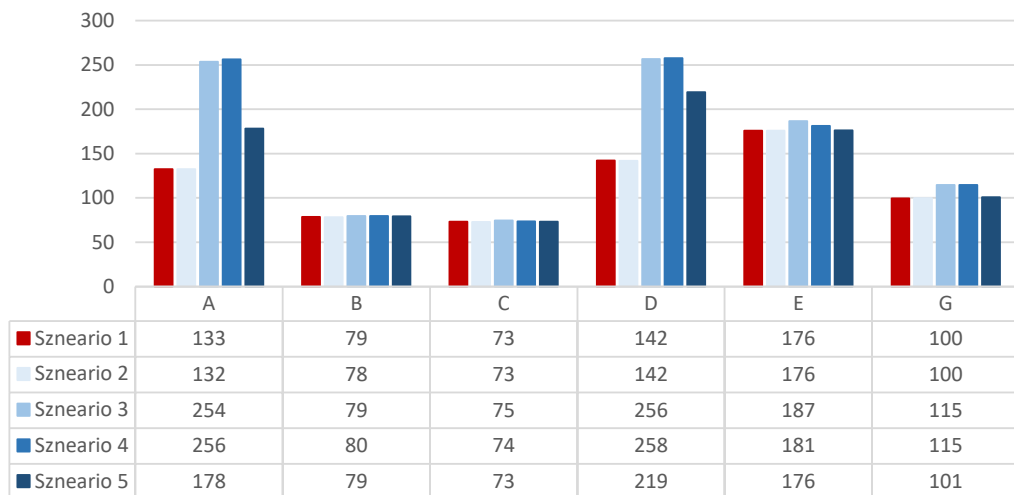
Abbildung 18: Mittlere Verlustzeit (Wartezeit) aller Knotenströme und Szenarien mit zugehöriger Standardabweichung



Standardabweichung der Ø mittleren Wartezeit in [s]:

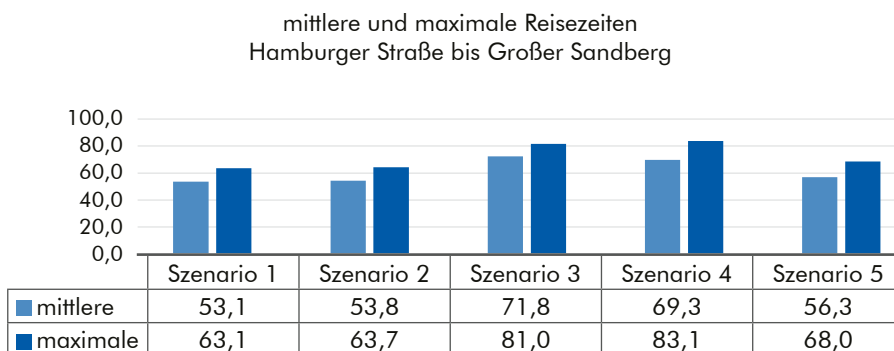
	A1	A2	B	C5	C6	D	E	G
Szenario 1	1,2	1,5	2,4	2,1	0,8	1,8	2,8	1,5
Szenario 2	1,2	1,4	2,5	2,2	0,8	1,8	2,8	1,6
Szenario 3	9,0	8,0	3,2	2,1	0,9	3,1	2,9	2,7
Szenario 4	8,8	7,5	3,0	2,0	0,9	3,6	2,7	3,0
Szenario 5	3,0	2,8	3,1	2,0	0,9	2,3	2,6	1,6

Abbildung 19: Mittlere max. Rückstaulängen in [m] aller Simulationsläufe je Knotenstrom und Szenario



Quelle Abbildung 19 + 20: Hirt, Tim: Verkehrsflusssimulation für die Bundesstraße B5 in Lauenburg/Elbe unter Berücksichtigung eines autonom fahrenden Kleinbusses.

Abbildung 20: Reisezeiten auf der Bundesstraße in der Spitzenstunde in den Szenarien



Die Reisezeiten vom Kreuzungsbereich des ersten Knotens bis hinter den zweiten Knoten sollen in erster Linie als zusätzliches Kriterium für die Auswirkungen des automatisiert fahrenden Kleinbusses auf den Mischverkehr dienen.

Die mittleren Wartezeiten und max. Rückstaulängen im maßgeblichen störungsfreien Szenario 2 verdeutlichen im Vergleich zum Szenario 1 ohne Bus ein nahezu unverändertes Verkehrsgeschehen. Die Betrachtungen der Reisezeiten zeigen, dass minimale Auswirkungen erkennbar sind. So führt die langsamere Geschwindigkeit dazu, dass Verkehrsteilnehmer:innen aus dem Askaniering kommend nach Osten fahrend

im Durchschnitt 2 s länger brauchen (3,2 % längere mittlere Wartezeit), um vom Knoten I bis zum Knoten II zu gelangen. Ein nahezu unveränderter Wert für die Verkehrsteilnehmer:innen der Hamburger Straße nach Osten fahrend zeigt, dass durch die geringe Geschwindigkeit des Kleinbusses kaum Auswirkungen auf die Knotenströme der Hamburger Straße entstehen (1,3 % längere mittlere Reisezeit). Beobachtungen einzelner Simulationen zeigen, dass sich nur kleinere Kolonnen hinter dem Bus bilden. Die Kolonnen entstehen zumeist dann, wenn sich beim Warten am Knoten I bereits Fahrzeuge hinter dem Bus befinden. Die Simulationen zeigen auch, dass erst spät Verkehrsteilnehmer:innen der Hamburger Straße [A1] auf den bereits abgebogenen automatisiert fahrenden Kleinbus und die Kolonne treffen. Dennoch können fast alle Fahrzeuge, auch die der Hamburger Straße, bei der nächsten Grünphase des zweiten Knotens abfließen. Der Verkehrsfluss und damit die Verkehrsqualität stabilisieren daher schnell.

Im Szenario 3 und 4 erhöhen sich die mittleren Reisezeiten erheblich. Aus dem Askaniering kommend um ca. 55 %, auf der Hamburger Straße nach Osten fahrend um 20-35 %. Im Szenario 5 erhöhen sich die mittleren Reisezeiten um 17 % aus dem Askaniering kommend und um 6 % auf der Hamburger Straße nach Osten fahrend.

Insgesamt zeigt die Auswertung, dass auch bei Störungen oder nicht ganz optimalen Betrieb der Einsatz des Busses möglich ist, ohne dass sich die Verkehrsqualitätsstufe beider Knotenpunkte in der Spitzenstunde ändert. Dennoch sind Auswirkungen für die direkt nachfolgenden Verkehrsteilnehmer:innen des automatisiert fahrenden Kleinbusses der Grund, warum sich die Verkehrsqualität insgesamt leicht verschlechtert. Demnach sind die Wartezeiten für einzelne Verkehrsteilnehmer:innen, vor allem der Verkehrsströme, die auf die Route des Busses treffen, deutlich über dem Mittelwert der Spitzenstunde.

Aus der Simulation geht hervor, dass insbesondere in der Spitzenstunde ein automatisierter Betrieb bei 18 km/h ohne Störungen erreicht werden muss, damit auf der Bundesstraße keine relevanten Einflüsse entstehen. Die Testläufe mit möglichen unerwarteten Stopps müssen außerhalb der Spitzenstunden erfolgen, da sich der Verkehr zeitweise sonst so stark verschlechtert, dass Rückstaulängen erreicht werden, die als kritisch einzustufen sind. Dies führt bei den Knotenströmen der Hamburger Straße zu erheblichen Störungen, welche die doppelte mittlere Wartezeit hervorrufen.

Ergebnis der Simulation vor Inbetriebnahme war, dass bei einer Geschwindigkeit von 16 bis 18 km/h kaum Auswirkungen zu erkennen sind und der Betrieb auch in der Spitzenstunde mit dem vorhandenen Lichtsignalprogramm bedenkenlos erfolgen kann.

Abbildung 21: Bildausschnitt der VISSM-Verkehrssimulation mit Blick auf die Bundesstraße 5/Berliner Straße



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von VISSIM

Abbildung 22: Bildausschnitt der VISSIM Verkehrssimulation mit Blick auf die Kreuzung Askaniering/Berliner Straße, TaBuLa Shuttle in schwarz dargestellt



Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von VISSIM

10.1.2 Verkehrssituationsanalysen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde während der Projektlaufzeit der Testbetrieb eines automatisierten Kleinbusses in der Mittelstadt Lauenburg/Elbe im südöstlichen Schleswig-Holstein im hiesigen Stadtverkehr mit Fahrgästen untersucht. Neben möglichen betrieblichen und infrastrukturellen Auswirkungen, war ein zu untersuchender Aspekt die Wechselwirkungen des automatisierten Busses im Betrieb mit dem übrigen Verkehr. Dafür wurde mittels Kameras an ausgewählten Räumen entlang der Teststrecke im lauenburger Stadtgebiet das hiesige Verkehrsgeschehen für einen Betriebstag aufgezeichnet und die dort dokumentierten Wechselwirkungen sowohl mit dem fließenden und ruhenden Kfz-Verkehr als auch mit dem Fuß- und Radverkehr dokumentiert und ausgewertet.

Im Folgenden soll zunächst die für diesen Ansatz angewendete Methodik genauer erläutert werden. Anschließend werden die dokumentierten Beobachtungsräume beschrieben und deren Ergebnisse dargestellt. Vor dem Hintergrund möglicher Behinderungen des übrigen Verkehrs (v.a. des Kfz-Verkehrs) sollen die Ergebnisse im Zusammenhang mit bereits vorhandenen anderen Erkenntnissen in Beziehung gesetzt und bewertet werden.

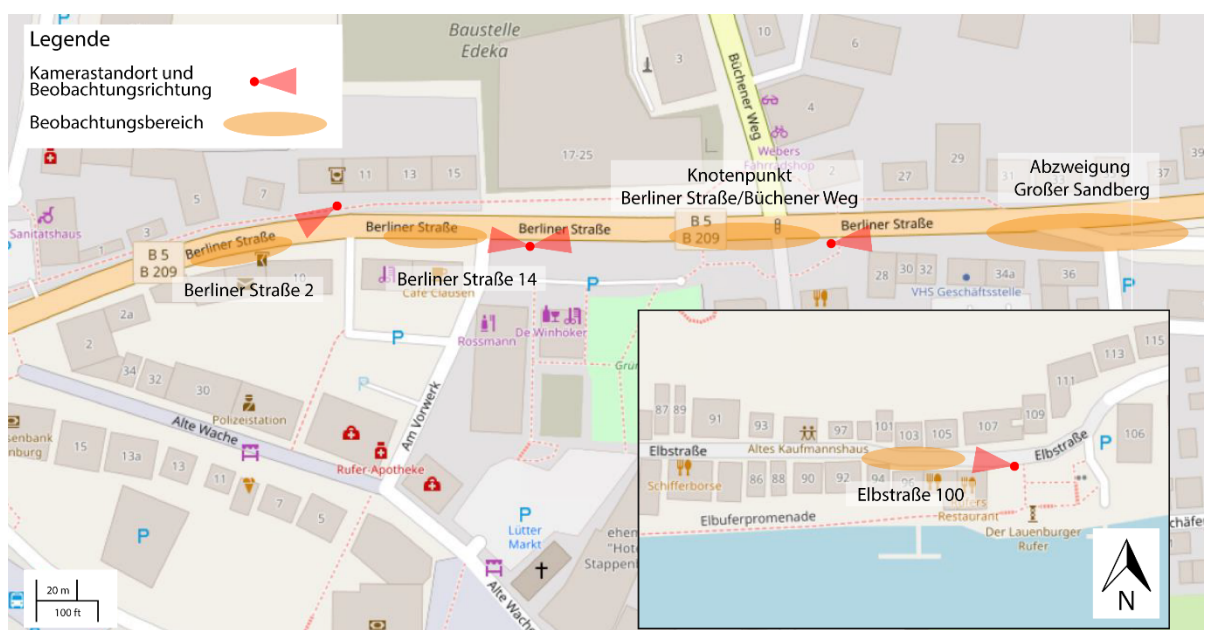
Methodik

Um die möglichen Wechselwirkungen des automatisierten Kleinbusses mit den übrigen Verkehrsteilnehmer:innen dokumentieren zu können, wurden an bestimmten Punkten innerhalb der Teststrecke mithilfe einer Verkehrszählkamera das Verkehrsgeschehen innerhalb eines Betriebstages aufgezeichnet. Die Beobachtungsräume wurden so gewählt, dass eine gewisse Bandbreite an möglichen Interaktionen abgedeckt ist. Schwerpunkt war hierbei das innerhalb der Teststrecke befahrene nördliche Teilstück entlang der B5. Dabei wurden folgende Mess-/Beobachtungspunkte (Abbildung 23) mit ihren spezifischen dokumentationswürdigen Merkmalen festgelegt:

- ▶ Auf Höhe Berliner Straße 2: Keine ausgewiesenen Parkplätze aufgrund zu engen Straßenquerschnitts vorhanden, dennoch wird dort regelwidrig auf der Fahrbahn gehalten bzw. geparkt, v.a. zum Besuch der dortigen Postfiliale. Da die dort geparkten Pkw teilweise innerhalb der virtuellen Schiene des Kleinbusses liegen, kann es hier zu Störungen des Fahrbetriebs in Form von notwendiger Übernahme auf manuellen Fahrbetrieb kommen.

- ▶ Auf Höhe Berliner Straße 14: Vor dem Start des Projektes existierten dort, analog zum vorherigen Beispiel, keine Parkplätze auf der südlichen Straßenseite. Mit Beginn des Projektes wurden drei Parkplätze an der südlichen Fahrbahnrandseite provisorisch abmarkiert und die nördliche Sperrfläche ebenfalls provisorisch nach Norden verschoben, um einen ausreichend breiten Fahrstreifen zu gewährleisten. Hier sind vor allem die möglichen Wechselwirkungen sowohl mit dem fließenden Kfz-Verkehr (Regelübertretung durch langsameren Kleinbus bspw. in Form von Überfahrt der Sperrfläche zwecks Überholvorgangs) sowie mit dem ruhenden Kfz-Verkehr (nicht korrektes Einparken mit Fahrzeugauskragung im Bereich der virtuellen Schiene) von Interesse.
- ▶ Auf Höhe des Knotenpunktes Berliner Straße/Büchener Weg: Hier wurden zwei Beobachtungspunkte integriert, zum einen für den Knotenpunkt an sich in Richtung Osten sowie ein Beobachtungspunkt weiter in Richtung Großer Sandberg. Auch hier sind die möglichen Interaktionen z. B. durch Überholen des Kleinbusses auf nicht dafür vorgesehenen Fahrstreifen Schwerpunkt des Interesses.
- ▶ Auf Höhe östlich Elbstraße 100: Hier stand diesmal der südliche Bereich der Teststrecke mit der engen Elbstraße im Fokus. Mögliche Interaktionen des Kleinbusses sowohl mit falschgeparkten Fahrzeugen als auch mit dem dortigen Fuß- und Radverkehr im Mischverkehr waren der Grund für die Auswahl dieses Bereiches.

Abbildung 23: Übersichtskarte mit Verortung der fünf Beobachtungsstandorte



Quelle: Eigene Bearbeitung auf Grundlage von Open Street Map

Für die Beobachtungen dieser festgelegten Punkte wurde zwar eine Verkehrszählkamera ausgewählt, dennoch war der primäre Zweck weniger eine Zählung der dortigen Verkehrsteilnehmer im Tagesverlauf als vielmehr die Dokumentation der verschiedenen Interaktionen des Fahrzeugs mit dem übrigen Straßenverkehr. Diese qualitative Dokumentation musste mangels geeigneter Möglichkeiten manuell vorgenommen werden. Die daraus generierten Daten wurden anschließend aufbereitet, um die Ergebnisse dieser Beobachtungen zusammenfassend darzustellen. Dennoch wurden auch quantitative Daten in Form der Anzahl der am jeweiligen Beobachtungspunkt maßgebenden Verkehrselemente/Verkehrsteilnehmer:innen (fließender Kfz-Verkehr, ruhender Kfz-Verkehr, Radverkehr, Fußverkehr/Fahrgäste) erhoben, um diese Zahlen jeweils ins Verhältnis zu den dokumentierten Interaktionen im Laufe eines Betriebstages zu setzen.

Abbildung 24: Fotos des Aufbaus der Kamera an der Bundesstraße



Ursprünglich war geplant für jeden Beobachtungsraum mehrere Betriebstage zu dokumentieren und auszuwerten. Dies konnte allerdings aufgrund verschiedener Rahmenbedingungen nicht im geplanten Umfang vorgenommen werden. Weil die Dokumentation und Auswertung der Videoaufnahmen, wie oben bereits beschrieben, manuell erfolgen musste, war ein verhältnismäßig hoher personeller Aufwand nötig. Außerdem mussten die Videoaufnahmen aufgrund datenschutzrechtlicher Vorgaben nach spätestens 72 Stunden gelöscht werden. Da die ersten geplanten Aufnahmen im März 2020 gemacht wurden, erschwerte die beginnende Covid19-Pandemie und die damit verbundenen Einschränkungen (über längere Zeit keine Dienstreisen nach Lauenburg/Elbe möglich) die weiteren Arbeiten. Aus diesen Gründen wurde der Umfang des dokumentierten und ausgewerteten Materials auf je einen repräsentativen Betriebstag pro Beobachtungsraum beschränkt. Mit einer Ausnahme wurden immer entweder die Wochentage Dienstag oder Donnerstag ausgewählt, da diese als repräsentativ in Bezug auf das Verkehrsgeschehen gelten. Für den Beobachtungsraum Berliner Straße 14 wurde ein Freitag ausgewählt, da die ursprünglich zu nutzenden Aufnahmen für den vorherigen Donnerstag aufgrund von Hard- und Softwareproblemen der involvierten Kamera für eine Auswertung nicht brauchbar waren. Diese kleine Unregelmäßigkeit kann aber als gering eingestuft werden, da die Wechselwirkungen und weniger die Verkehrsbelastungen im Vordergrund standen.

Ergebnisse der Beobachtungsräume

Beobachtungsraum Berliner Straße 2 (Post)

Die Dokumentation des Beobachtungsraumes Berliner Straße 2 erfolgte am Dienstag, dem 10.03.2020 zwischen 8:00 Uhr – 17:00 Uhr. Abbildung 25 zeigt den Beobachtungsraum in Fahrtrichtung Osten.

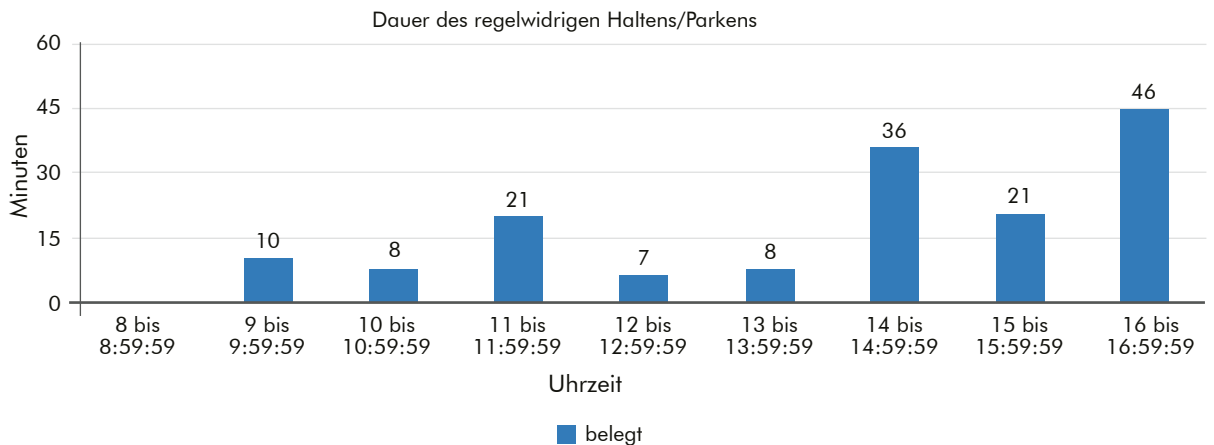
Der Beobachtungsraum zeichnet sich in diesem Bereich durch eine überbreite 7,50 m breite Fahrbahn aus. Der südliche Bereich entlang der dortigen Postfiliale wird häufig zum regelwidrigen Halten bzw. Parken genutzt. Dies führt dazu, dass die Richtung Osten verkehrenden Fahrzeuge den Gegenverkehr entsprechend abwarten müssen. Die haltenden/parkenden Fahrzeuge blockieren außerdem die dortige virtuelle Schiene des TaBuLa Shuttles. Da das Shuttle ohne Zuhilfenahme der Fahrzeugbegleitung nicht selbstständig dieses Hindernis umfahren kann (in diesem Bereich liegt eine durchgezogene Fahrstreifenbegrenzung, die nicht überfahren werden darf), war es daher von Interesse, ob und wenn ja, in welchem Ausmaß das Shuttle von potentiell haltenden/parkenden Fahrzeugen beeinträchtigt wird.

Abbildung 25: Impressionen Beobachtungsraum Berliner Straße 2, Fahrtrichtung Osten



Während des Beobachtungszeitraumes fuhren insgesamt ca. 6.230 Kfz. Davon waren ca. 390 Fahrzeuge dem Schwerverkehr (Lkw, Bus) zuzuordnen, also ca. 6,3% des Gesamtverkehrs. Insgesamt haben 48 Pkw regelwidrig am südlichen Fahrbahnrand gehalten/geparkt und damit die virtuelle Schiene des Shuttles blockiert. Von den 48 Pkw haben fünf davon teilweise auch auf dem Gehweg geparkt. Fünf Fahrzeuge waren gewerbliche Fahrzeuge, die direkt mit dem Lieferverkehr der Postfiliale in Verbindung stehen. Die durchschnittliche Parkdauer betrug 3:26 Minuten. Abbildung 26 zeigt die Dauer Belegung des südlichen Fahrbahnrandes durch mindestens einem Fahrzeug pro Stunde an. Nur zwischen 8 Uhr und 9 Uhr wurde nicht geparkt/gehalten. Vor allem am Nachmittag, also zur Hauptverkehrszeit, nahm die Belegungsdauer zu und erreichte zwischen 16 Uhr und 17 Uhr mit 46 Minuten ihren Höchststand, d.h. innerhalb dieser Stunde war an 46 Minuten der Fahrbahnrand durch mindestens ein Fahrzeug belegt.

Abbildung 26: Belegung mit parkenden/haltenden Fahrzeugen sowie die Dauer auf Höhe Berliner Straße 2



Während des Beobachtungszeitraumes fuhr das Shuttle zwölfmal die Strecke entlang. Da es keinen regulären Taktfahrplan gab, variierte die Fahrzeugfolge des Shuttles zwischen ca. 9 und 53 Minuten (innerhalb der Betriebszeit). Im Durchschnitt waren es 42 Minuten. Bei diesen zwölf Durchgängen gab es in zwei Fällen Wechselwirkungen mit dem regelwidrigen ruhenden Verkehr. Dass in den anderen zehn Fällen kein Ereignis stattfand, könnte auch damit zusammenhängen, dass immer genau zu dieser Zeit der südliche Fahrbahnrand bei der Durchfahrt des Shuttles nicht vom ruhenden Verkehr blockiert war.

Die erste Wechselwirkung fand beim fünften Durchgang des Shuttles seit Betriebsbeginn an diesem Tag um ca. 10:53 Uhr statt. Aufgrund eines parkenden Fahrzeugs entlang der virtuellen Schiene war es nötig, dass der Fahrzeugbegleiter das Shuttle übernahm und manuell um das Fahrzeug herumfuhr und anschließend wieder im automatisierten Modus entlang der virtuellen Schiene weiterfuhr. Bemerkenswert war, dass das Shuttle gar nicht erst zum Stehen kam, sondern nahezu ohne Zeitverzögerung manuell um das parkende Fahrzeug rangiert wurde. Dies liegt sehr wahrscheinlich daran, dass der Fahrzeugbegleiter das parkende Fahrzeug bereits frühzeitig erkannt hatte und die manuelle Steuerung während der Fahrt bereits übernahm, um einer automatischen Bremsung des Shuttles zuvorzukommen. Die nächste Wechselwirkung fand beim neunten Durchgang des Shuttles um ca. 14:20 Uhr statt. Auch hier verhinderte ein parkendes Fahrzeug die Weiterfahrt im automatisierten

Modus. Diesmal allerdings bremste das Shuttle. Das parkende Fahrzeug war augenscheinlich besetzt, denn direkt nach der Bremsung fuhr das Fahrzeug an und die Blockierung war dadurch aufgehoben. Ca. elf Sekunden nach der Bremsung konnte das Fahrzeug im automatisierten Modus wieder die Fahrt aufnehmen. In diesem Fall erfolgte seitens des Fahrzeugbegleiters keine vorherige manuelle Übernahme.

Auch wenn an diesem Beispielbetriebstag nur zwei Wechselwirkungen mit dem Shuttle stattgefunden haben, wird deutlich, dass das dort stattfindende regelwidrige Halten/Parken dazu führt, dass das Shuttle ohne Eingreifen des Fahrzeugbegleiters beim Blockieren der virtuellen Schiene nicht weiterfahren kann. Eine Erweiterung der automatisierten virtuellen Schiene auf den Gegenfahrstreifen der Bundesstraße war aufgrund mangelnder Funktionalität der Technik des Fahrzeuges für einen solch äußerst anspruchsvollen Überholvorgang ausgeschlossen. Deshalb wurde der Überholvorgang manuell durch den Fahrzeugbegleiter ausgeführt. Es wird deutlich, dass bei solchen nicht ungewöhnlichen Situationen, welche im Alltag ständig vorkommen, ein automatisiert fahrendes Fahrzeug ohne menschlichen Eingriff diese Situation nicht selbstständig auflösen kann. In diesem konkreten Fall wäre eine Auflösung nur möglich, wenn die Einhaltung des hiesigen Park-Halteverbots sehr strikt kontrolliert wird, was i.d.R. personell nicht zu leisten ist sowie ferner die Akzeptanz des Projektes reduzieren könnte.

Beobachtungsraum Berliner Straße 14 (Bäcker)

Die Beobachtung des Beobachtungsraumes Berliner Straße 14 erfolgte am Freitag, dem 06.03.2020 zwischen 8:00 Uhr – 17:00 Uhr. Abbildung 27 zeigt den Beobachtungsraum in Fahrtrichtung Osten zum Zeitpunkt der Fertigstellung der provisorischen Ummarkierungsarbeiten. Daher waren die drei neu eingerichteten Parkplätze auch noch nicht in Benutzung.

Im Gegensatz zum Standort an der Postfiliale wurden hier drei Parkplätze am südlichen Fahrbahnrand temporär (gelbe Markierung) auf der Fahrbahn abmarkiert. Zusätzlich gab es eine bestehende Sperrflächenmarkierung in der Mitte der Fahrbahn. Diese wurde durch eine gelbe temporäre Markierung übermarkiert, um zwischen den neu eingerichteten Parkplätzen und der versetzenden abmarkierten Sperrfläche einen ausreichend breiten Fahrstreifen zu gewährleisten.

Abbildung 27: Impression Beobachtungsraum Berliner Straße 14 in Fahrtrichtung Osten

Das Ziel der Beobachtung war hier zum einen inwieweit die veränderten Markierungen von den Kfz-Fahrern beachtet wurden, ob somit konkret Kfz ordnungsgemäß in den Parkflächen parken ohne dass der Fahrzeugkasten in den Fahrstreifen hineinragt oder ob die temporär versetzte Sperrfläche regelwidrig überfahren wurde. Zum anderen sollte herausgefunden werden, ob auch hier der TaBuLa Shuttle v.a. durch die oben genannten möglichen Regelverletzungen des übrigen Kfz-Verkehrs in irgendeiner Weise beeinflusst wurde.

Im Beobachtungszeitraum fuhren Richtung Osten insgesamt rund 5.350 Kfz. Davon waren ca. 310 Fahrzeuge dem Schwerverkehr (Lkw, Bus) zuzuordnen, also ca. 5,8% des Gesamtverkehrs. In diesem Zeitraum wurde die gelbe Sperrfläche von 340 Kfz in mehr oder weniger großen Umfang regelwidrig überfahren (ca. 6% des Gesamtverkehrs). Der häufigste Grund waren Überholmanöver und Ausweichmanöver, da parkende Kfz oft aus der abmarkierten Parkplatzfläche hinausragten. Aber auch ohne triftigen Grund wurde die Sperrfläche überfahren. Die drei Parkplätze wurden unterschiedlich häufig genutzt. Der westlichste der drei Parkplätze wurde 20-mal, der mittlere nur dreimal und der östlichste Parkplatz 48-mal zum Halten/Parken genutzt.

Das TaBuLa Shuttle fuhr im Beobachtungszeitraum elfmal die Strecke entlang. In einem Fall wurde das Fahrzeug durch andere Verkehrsteilnehmer:innen beeinflusst. Gegen 8:38 Uhr wurde der Shuttle von einem Omnibus ca. 15 m vor der eigentlichen Sperrfläche überholt. Sehr wahrscheinlich aufgrund des geringen Überholabstands nahm der Shuttle eine automatische Vollbremsung vor und fuhr erst ca. 10 Sekunden später wieder im automatisierten Modus weiter.

Bei diesem Beobachtungsraum waren die Wechselwirkungen des Shuttles mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen nur in einem Fall gegeben. Es wird deutlich, dass die vorher bereits geplante Abmarkierung von drei Parkplätzen sich als für den Shuttlebetrieb günstig erwiesen hat, da sonst wieder die Gefahr bestanden hätte, dass parkende Fahrzeuge innerhalb des Bereichs der virtuellen Schiene liegen und das Shuttle manuell das Hindernis hätte umfahren müssen. Das bisherige „wilde“ Fahrbahnrandparken wurde somit straßenbaulich legitimiert. Die Versetzung der Sperrfläche mit der Ausbildung eines ausreichend breiten Fahrstreifens führte außerdem dazu, dass die virtuelle Schiene möglichst zur Sperrfläche hin orientiert war, damit bei kleineren Auskragungen der parkenden Fahrzeuge das Shuttle keine Vollbremsung durchführt. Insgesamt gab dies sowohl dem ruhenden Verkehr als auch der Verortung der virtuellen Schiene Planungssicherheit.

Es wurde außerdem deutlich, dass die versetzte Sperrfläche von einem erheblichen Bruchteil des Gesamtverkehrs überfahren wurde. Dass der Shuttle nur maximal einmal dadurch in seiner Fahrt behindert wurde kann zum einen daran liegen, dass ein mögliches Überholmanöver des Shuttles durch Überfahren der Sperrfläche nur unter Inkaufnahme eines Teils des Gegenfahrstreifen hätte durchgeführt werden können, da der Shuttle, wie schon erwähnt, direkt an der versetzten Sperrfläche entlangfährt. Es kann vermutet werden, dass ein günstiges Zeitfenster in diesem Bereich oft nicht bestand und der übrige Kfz-Verkehr dem Shuttle in entsprechender Geschwindigkeit hinterherfuhr, statt zu überholen. Außerdem existiert direkt östlich angrenzend der Sperrfläche ein Linksabbiegefahrstreifen aus der Berliner Straße auf einem öffentlichen sowie einem privaten Parkplatz. Bei Belegung desselben wäre ein Überholvorgang sehr riskant gewesen, da eine Kollision mit dem wartenden Linksabbiegeverkehr möglich gewesen wäre.

Beobachtungsraum Knotenpunkt Berliner Straße/Büchener Weg

Abbildung 28: Impression des Beobachtungsraumes Berliner Straße/Büchener Weg in Fahrtrichtung Osten



Der Knotenpunkt Berliner Straße/Büchener Weg wurde am Donnerstag, dem 12.03.2020 dokumentiert. Der Aufnahmezeitraum betrug analog zu den vorherigen Beobachtungen ebenfalls 8:00 – 17:00 Uhr. Im Beobachtungsfeld liegt der westliche Bereich des besagten Knotenpunktes mit dem Fahrstreifen Richtung Osten (Abbildung 28).

Zum einen gibt es einen kombinierten Geradeaus- und Rechtsabbiegefahrstreifen, welchen auch das TaBuLa Shuttle auf dem Weg zur Straße Großer Sandberg nutzt. Zum anderen gibt es dort einen Linksabbiegefahrstreifen, auf dem in den Büchener Weg Richtung Norden abgebogen werden kann. Dieser Beobachtungsraum wurde ausgewählt, da vermutet wurde, dass Fahrzeuge vor dem eigentlichen Knotenpunkt unerlaubterweise den Linksabbiegefahrstreifen zum Überholen des Shuttles nutzen.

Insgesamt fuhren im dokumentierten Zeitraum Richtung Osten ca. 3.900 Fahrzeuge. Davon waren rund 310 Fahrzeuge dem Schwerverkehr zuzuordnen. Rund 680 Fahrzeuge davon bogen in den Büchener Weg über den Linksabbiegefahrstreifen ab. Das Shuttle befuhr den Streckenabschnitt im Zeitraum zwölfmal. Insgesamt wurde der Linksabbieger neun Mal regelwidrig zum Überholen genutzt. Davon wurde in drei Fällen der Shuttle von je einem Fahrzeug überholt. Allerdings erfolgte keine Zwangsbremmung des Shuttles und somit keine Verzögerung im Betrieb. Generell bildeten sich hinter dem Shuttle aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenzen kleinere Fahrzeugkolonnen von maximal 5-6 Fahrzeugen. Dies kann als Hauptgrund für die jeweiligen Überholvorgänge gewertet werden. Allerdings löste sich die Kolonne nach dem Rechtsabbiegen des Shuttles in den Fürstengarten oder weiter östlich in den Großen Sandberg wieder auf.

Es kann festgehalten werden, dass die Zahl der Überholvorgänge durch regelwidrige Nutzung des Linksabbiegefahrstreifens vor dem Hintergrund der Gesamtzahl der Linksabbieger mit neun Vorgängen, was weniger als 0,5% aller Linksabbiegevorgänge entspricht, sehr gering ist. Dennoch waren in drei von neun Fällen der Shuttle der Grund des Überholvorganges. Daraus folgt, dass der Shuttlebetrieb die Zahl der regelwidrigen Überholvorgänge auf diesen Abschnitt relativ stark erhöht hat, dies allerdings auf einen absolut gesehen nur sehr geringen Niveau.

Außerhalb des vorgenannten Beobachtungszeitraumes kam es wiederholt zu gefährlichen Situationen, die von den Fahrzeugbegleiter:innen gemeldet wurden. Mehrfach sei es vorgekommen dass regelwidrig überholende Verkehrsteilnehmer:innen stark über den Linksabbiegestreifen beschleunigen und dann die Kreuzung in der Rotphase überqueren. Aufgrund der Sorge, dass dies zu Kollisionen mit zu Fuß Gehenden mit den Überholenden führen könnte, wurde eine Verkehrsschau mit Polizei, Straßenbaulastträger, Verkehrsbetrieben und Unterer Verkehrsbehörde vorgenommen. Im Ergebnis wurde festgehalten, dass keine weiteren Maßnahmen notwendig seien und dass das Shuttle regelkonform und angemessen programmiert ist und im Falle eines potentiellen Unfalls von Überholenden mit Dritten keine Schuld trifft.

Beobachtungsraum Abzweigung Großer Sandberg

Der hier beschriebene Beobachtungsraum liegt direkt östlich des Knotenpunktes Berliner Straße/Büchener Weg. Die Dokumentation fand am Dienstag, dem 09.06.2020 zwischen 8:00 – 17:00 Uhr statt. Der Beobachtungsraum wurde ausgewählt, weil in diesem Bereich bzw. knapp weiter östlich das Shuttle auf seinem Weg in die Altstadt in den Großen Sandberg schräg einbiegt (Abbildung 29). Abbildung 29 zeigt einen ähnlichen Bereich, wie Abbildung 28, nur etwas weiter nach Osten gelagert. Dadurch wird die hinter dem Knotenpunkt befindliche Abzweigung zum Großen Sandberg sichtbar. Es wurde vermutet, dass der Abbiegevorgang und die damit verbundenen Geschwindigkeitseinbußen Rückstauungen hervorrufen, welche wiederum zu Überholvorgängen verleiten.

Abbildung 29: Impression vom Kamerastandort östlich des Knotenpunktes Berliner Straße/Büchener Weg Richtung Osten mit Abzweigung zum Großen Sandberg im Hintergrund



Im Beobachtungszeitraum fuhren ca. 7.100 Fahrzeuge Richtung Osten. Davon waren ca. 450 Fahrzeuge dem Schwerverkehr zuzuordnen. Insgesamt befuhr das Shuttle während des Beobachtungszeitraumes die Strecke sieben Mal. Es wurden unabhängig davon 14 Ereignisse mit kleineren Rückstauungen aus dem Knotenpunkt Berliner Straße/ BÜchener Weg oder weiter östlich aufgezeichnet. In den meisten Fällen war die Ursache unklar, da die Stauungen sich östlich der Abzweigung Großer Sandberg entwickelten und das Kamerabild für diesen Teil der Aufnahme nicht scharf genug war. Es kann nur gemutmaßt werden, dass bspw. Linksabbieger/Rechtsabbieger die Ursache waren, da die B5 in den weiterführenden Einmündungen meistens keine separaten Abbiegefahrstreifen oder Aufstellbereiche aufweist. In einem Fall war ein RTW mit Blaulicht die Ursache für die Rückstauungen. In sechs Fällen war der Shuttle augenscheinlich der Grund für die Rückstauungen bzw. für Fahrzeugkolonnen. Maximal waren es 6 Kfz, welche hinter dem Shuttle mit entsprechender Geschwindigkeit herfuhr. In einem dieser Fälle (ca. 10:25 Uhr) ergab sich zwar in der Summe ein leicht größerer Rückstau von etwa 7-8 Kfz. Dieser war allerdings nicht nur aufgrund des Shuttles verursacht, sondern zusätzlich durch ein nur langsam in die Straße Großer Sandberg oder Uhrbrookstraße einbiegendes Fahrzeug, welches hinter dem Shuttle fuhr.

Insgesamt gab es in sechs von sieben Durchläufen kleinere Fahrzeugkolonnen hinter dem Shuttle. Dies ist allerdings nicht ungewöhnlich, da es generell und vor allem auf der Bundesstraße zu Kolonnen hinter dem Shuttle kommt. Aufgrund ihrer nur kleinen Zahl involvierter Fahrzeuge ist der Einfluss auf den generellen Verkehrsfluss eher gering. Außerdem wurde deutlich, dass auch ohne Shuttle einigen Rückstauungen in diesem Beobachtungsraum aufgetreten sind. Diese waren in ihrem Ausmaß deutlich weitreichender, da meistens sowohl mehr Fahrzeuge involviert waren, als auch, dass die Rückstauungen oft kurzzeitig die Fahrzeuge komplett zum Stillstand brachten. Die Fahrzeugkolonnen hinter dem Shuttle wiederum konnten zumindest immer mit verminderter Geschwindigkeit fahren.

Überholvorgänge aufgrund des Shuttles konnten nicht dokumentiert werden. Das kann zum einen daran liegen, dass die Einmündung zum Großen Sandberg in einem relativ flachen Winkel erfolgt und der Shuttle somit relativ schnell den Fahrstreifen verlässt. Zum anderen ist der Gegenfahrstreifen bis kurz vor der Einmündung als Linksabbiegefahrstreifen ausgebildet. Für die meisten Fahrzeuglenker:innen erschien daher ein Überholvorgang aufgrund der erst kurzfristig anzubahnenden Absicht eines Gegenverkehrsteilnehmers zur potentiellen Nutzung des Linksabbiegefahrstreifens höchstwahrscheinlich zu riskant.

Hier kann festgestellt werden, dass es durchaus leichte Einflüsse des Shuttles auf den Kfz-Verkehr gab, welcher denselben Fahrstreifen nutzte. Diese machten sich in Form kleinerer Fahrzeugkolonnen hinter dem Shuttle bemerkbar. Im Vergleich zu anderen Rückstauungen ohne Shuttlebeteiligung und im Vergleich zur mittleren vierstelligen Zahl der Richtung Osten fahrenden Fahrzeuge sind diese Wechselwirkungen allerdings für den Gesamtverkehrsfluss nicht relevant.

Beobachtungsraum Elbstraße 100

Der Beobachtungsraum Elbstraße 100 liegt im Gegensatz zu den vier anderen Beobachtungsräumen nicht in der Oberstadt an der Bundesstraße, sondern in der südlichen Altstadt. Er liegt westlich des östlichen Pollers der Elbstraße, welcher den Durchgangsverkehr für Kraftfahrzeuge unterbindet. Der Beobachtungszeitraum war Donnerstag, der 28.05.2020, zwischen 8:00 – 17:00 Uhr. Der Beobachtungsraum liegt im zentralen Teil der engen Elbstraße mit starkem Fußgänger:innenverkehr und nur wenig Kfz-Verkehr (Abbildung 30).

Abbildung 30: Impression Beobachtungsraum Elbstraße 100 in Richtung Westen blickend



Alle Verkehrsteilnehmer:innen nutzen die Fahrbahn, da die Gehwege dort teilweise nur einige Dutzend Zentimeter Breite aufweisen und eher als Schrammbord fungieren. Das Geschwindigkeitsniveau ist Schrittgeschwindigkeit. Innerhalb dieses Teils der Elbstraße kann Kfz-Verkehr jeweils nur in eine Richtung erfolgen. Um Störungen zu minimieren, gibt es daher an einigen Stellen Aufweitungen, wo der entgegenkommende Kfz-Verkehr vorbeigelassen werden kann. Der Teilraum wurde ausgewählt, da es nur hier zu starken Wechselwirkungen des Shuttles mit Fußgänger:innen kommen kann und die Geschwindigkeitsunterschiede deutlich geringer sind als auf der Bundesstraße. Außerdem wird auch hier oft und teilweise auch regelwidrig gehalten/geparkt, was die enge Durchfahrt der Elbstraße v.a. für den Shuttle erschweren könnte.

Im Beobachtungszeitraum befuhren 156 Kfz die Elbstraße, davon 14 Fahrzeuge des Schwerverkehrs. Im Unterschied zur Bundesstraße gelten die Zahlen für beide Richtungen (Querschnitt). Im gleichen Zeitraum befuhren 165 Radfahrer:innen die Strecke. Am stärksten war allerdings der Fußverkehr. 508 Fußgänger:innen wurden im Querschnitt gezählt.

Insgesamt befuhr das Shuttle sechsmal die Strecke von Osten nach Westen entlang. In einem Fall wurde es am Nachmittag von einem entgegenkommenden Radfahrer, welcher sehr nah am Shuttle vorbeifuhr und dadurch eine Zwangsbremmung verursachte, kurzzeitig gestoppt. Nach ca. 9 Sekunden setzte das Shuttle seine Fahrt fort. Sonst wurden keine weiteren Wechselwirkungen dokumentiert.

24-mal wurde im Beobachtungszeitraum parkende Fahrzeuge dokumentiert. In sechs Fällen waren es Baustellenfahrzeuge. Die Parkpositionen variierten. In einigen Fällen hätte es zu Behinderungen des Shuttles oder des sonstigen Busverkehrs kommen können. Allerdings fuhr das Shuttle immer genau zu jenen Zeiten durch die Elbstraße, als gerade kein Fahrzeug parkte. Des Weiteren war es in vielen Fällen trotz haltender/parkender Fahrzeuge möglich die Elbstraße in eine Richtung befahren zu können. Aufgrund des allgemein nur geringen Kfz-Verkehrs waren auch die allgemeinen Wechselwirkungen des ruhenden Verkehrs mit Fußgänger:innen und Radfahrer:innen aufgrund des allgemein geringen Geschwindigkeitsniveaus nur gering.

Es lässt sich feststellen, dass die Elbstraße, für welche die potentiell größten Wechselwirkungen angenommen wurden, trotz des regen Mischverkehrs in beiden Richtungen aller Verkehrsteilnehmer:innen bei schmalen Querschnitt für den Shuttle keine größeren Behinderungen im Betrieb darstellte. Das allgemein geringe Verkehrsmengen- sowie Geschwindigkeitsniveau sind vielmehr Faktoren, welche den Betrieb des Shuttles auch im automatisierten Modus eher vereinfachen. Das einmalige dokumentierte Ereignis mit einer Zwangsbremmung macht allerdings auch deutlich, dass enge Verkehrsräume mit der relativ hohen Empfindlichkeit der Sensoren des Shuttles bei Unkenntnis aufseiten der anderen Verkehrsteilnehmer:innen durchaus beeinflussend sind.

Bewertung der Ergebnisse und Einordnung

Insgesamt wurden unterschiedliche Wechselwirkungen des Shuttles mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen in verschiedenen Situationen untersucht. Das Shuttle hatte durchaus zu Behinderungen des Kfz-Verkehrs in Form von kleineren Fahrzeugkolonnen geführt. Allerdings waren diese in der Gesamtbetrachtung nur kurzzeitig und nur wenige Fahrzeuge waren involviert.

Dies deckt sich mit Simulationsergebnissen, welche im vorherigen Kapitel 10.1.1 Verkehrsflusssimulationen behandelt wurden. Auch bei den vergleichsweise geringen Geschwindigkeiten bis ca. 18 km/h sind keine nennenswerten Behinderungen des Kfz-Verkehrs auch nicht auf der Bundesstraße zu erwarten. Selbst wenn der Bus durch Zwangsbremmung o.ä. bis zu 90 Sekunden hält (Szenario 5), wären die Einflüsse zwar messbar, aber würden keine Verschlechterung der Qualitätsstufe nach dem HBS bedeuten. Auch teilweise dichte Fahrzeugfolgen von bis ca. 10 Minuten haben zu keinen nennenswerten Behinderungen geführt.

Vereinzelt gab es auch Behinderungen durch Fußgänger:innen und Radfahrer:innen, aber deutlich weniger häufig als beim Kfz-Verkehr. Wiederum wurde festgestellt, dass der Shuttle von anderen Verkehrsteilnehmer:innen, v.a. vom ruhenden und fließenden Kfz-Verkehr, behindert wurde. Der momentane technische Stand sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen verhindern allerdings, dass sich das Shuttle solchen unvorhergesehenen Ereignissen entsprechend selbstständig aus diesen Problemlagen herausmanövrieren kann. Solange diese Rahmenbedingungen sich nicht ändern (Regelübertretung), wird weiterhin ein Mensch notwendig sein, um in den relevanten Situationen die Steuerung des Shuttles zu übernehmen.

10.1.3 Bewertung der Ergebnisse von Verkehrsflusssimulationen und Verkehrssituationsanalysen

Nachdem der Shuttle-Betrieb auf der Bundesstraße modelliert wurde, zeigt der anschließende Realbetrieb, dass die Ergebnisse der Simulation realitätsnah erfolgt sind. Aus den individuellen Beobachtungen ging hervor, dass bei einer Durchfahrt auf der Bundesstraße ohne Störungen nur vereinzelt Fahrzeugrückstaus hinter dem Shuttle entstanden sind, die erst im nächsten Umlauf wieder komplett abgebaut werden konnten. Im Falle von Fahrzeugstörungen ("Liegenbleiben") kam es zu durchaus erheblichen Verzögerungen für die anderen Verkehrsteilnehmenden, was ebenfalls der Simulation entspricht. Abweichende Einschränkungen der Simulation war, dass diese in VISSIM nicht realitätsnah die (teils regelwidrigen) Überholvorgänge abbilden konnte, die in der Realität erfolgt sind.

Die an die Simulation anschließende Beobachtung und Dokumentation möglicher Wechselwirkungen des Shuttles mit den anderen Verkehrsteilnehmer:innen im realen Straßenraum war für die Untersuchung bzgl. des Einsatzes desselben und der Ermöglichung des Betriebes sehr aufschlussreich. Es konnte dadurch aufgezeigt werden, dass trotz einiger externer Einflüsse der Betrieb grundsätzlich gewährleistet werden konnte. Bzgl. der Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen eines automatisierten ÖPNV konnte durch die Beobachtungen festgestellt werden, dass insbesondere die reine automatisierte Fahrt ohne Eingreifen des/r Fahrzeugbegleiters/in bei Auftreten der oben genannten Behinderungen nicht möglich gewesen wäre. Der jetzige Stand der Technik lässt eine derartige flexible Reaktion bei Störungen noch nicht zu. Die in den nächsten Jahren zu erwartende Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik und deren Implementation in den Betriebsalltag des ÖPNV lässt gleichzeitig mittelfristige Potenziale erkennen lassen, dass es zukünftig auch ohne eine/n Fahrzeugbegleiter:in möglich sein könnte adäquat auf solche Ereignisse reagieren zu können und den Betrieb weiterhin aufrechtzuerhalten.

Die zu erwartenden Interaktionen des Shuttles mit den anderen Verkehrsteilnehmer:innen wurden durch die Beobachtungen bestätigt. Allerdings waren Interaktionen zwischen dem Shuttle und Fußgänger:innen oder Radfahrer:innen seltener aufgetreten. Auch die Interaktionen zwischen dem fließenden Kfz-Verkehr und dem Shuttle waren vergleichsweise selten. Hingegen waren Wechselwirkungen mit dem ruhenden Verkehr zwar nicht allzu häufig aufgetreten. Bei Auftreten haben diese allerdings deutlich den Betrieb des Shuttles kurzzeitig behindert bzw. es musste bereits vorab auf manuellen Betrieb gewechselt werden, um eine Bremsung zu vermeiden.

Allgemein lässt sich sagen, dass diese Art der verschiedenen Wechselwirkungen aktuell generelle Herausforderungen eines möglichen automatisierten Betriebs im ÖPNV darstellen. Diese gilt es für vergleichbare Projekte daher entsprechend frühzeitig zu identifizieren und durch geeignete Maßnahmen den Betrieb so behinderungsarm wie möglich zu gestalten. Welche Maßnahmen es genau sind, muss dabei immer einzel-fallbezogen entschieden werden. Für das Projekt TaBuLa haben sich bspw. die Ummarkierungen auf Höhe der Bäckereifiliale an der Bundesstraße bewährt. Dadurch konnten die größten Risiken bzgl. Behinderung des Shuttles klein gehalten werden.

10.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Die dargestellten Themenfelder in Kapitel 10 Einsatz des automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum mit Interaktion des automatisierten Shuttles im Verkehrsgeschehen trugen im ersten Schritt mit der Vorabwertung maßgeblich zur Ermöglichung des Realbetriebes zum **Unterziel 1** (den Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen) bei. Weiterhin dienten sie zur Erreichung des **Unterziels 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV), des **Unterziels 3** (die Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzer:innen und Passant:innen festzustellen und zu untersuchen), sowie des **Unterziels 4** (anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren) bei.

10.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Ergebnisse der Verkehrsflusssimulation dienten einer Ersteinschätzung, welche möglichen Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern, insbesondere des Kfz-Verkehrs, vom automatisierten Shuttle zu erwarten sind.

Die Beobachtung und Dokumentation ausgewählter Bereiche der Teststrecke erschien vor dem Hintergrund der bisherigen Unkenntnis bzgl. möglicher Wechselwirkungen des Shuttles mit dem übrigen Verkehr und ihrer Intensität notwendig. Dem Projektteam war es von großer Bedeutung, vor Betrieb auf einer vielbefahrenen Bundesstraße die Risiken abschätzen zu können. Erst mit diesem zusätzlichen Wissen kann es gelingen, zukünftig mögliche Betriebseinschränkungen und Verkehrsbeeinträchtigungen zu vermindern. Die Erkenntnisse verdeutlichen, dass ein automatisierter Betrieb noch nicht in der Qualität abgewickelt werden kann, wie dies im bisherigen ÖPNV-Betrieb der Fall ist. Dadurch wird klar, dass die Technik der Automatisierung des ÖPNV weiterentwickelt werden muss, wenn nicht die Fahrzeugbegleitung als permanente Rückfallebene dienen soll oder muss. Die vorangestellte Verkehrsflusssimulation und deren Ergebnisse ergänzten ideal die empirisch ermittelten Wechselwirkungen des Shuttles im Straßenverkehr. Insbesondere, da Modellergebnisse und empirische Belege überwiegend deckungsgleich sind.

Wie bereits in der Methodik beschrieben, musste der ursprünglich größere Umfang des dokumentierten Materials aufgrund verschiedener Rahmenbedingungen verringert werden. Daher sollten zukünftig in ähnlich gelagerten Projekten weitere Beobachtungen und entsprechende Auswertungen getätigt werden. Damit lassen sich die bisherige empirische Basis vergrößern und zusätzliche Erkenntnisse gewinnen.

10.4 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse dienen dazu, einen automatisierten Betrieb des ÖPNV im wie auch immer gearteten größeren Maßstab alltagstauglich zu gestalten. Der Nutzen liegt darin, dass die beobachteten Wechselwirkungen zunächst überhaupt dokumentiert werden mussten, um sie ins Verhältnis zu setzen. Auch die Identifizierung der einzelnen Ursachen der unterschiedlichen Interaktionen ist von Nutzen, da damit deutlich wurde, dass es oft weniger das Shuttle selber war, welches den Verkehrsfluss (gering) behindert, sondern der Kfz-Verkehr und hier vor allem der ruhende Verkehr. Die Erkenntnis, dass es im Projekt TaBuLa insbesondere der ruhende Verkehr war, welcher den Shuttle teilweise im Betrieb eingeschränkt hat, kann für weitere zukünftige Projekte in Bezug auf deren konkrete Ausgestaltung hilfreich sein. Auch die nur geringen Interaktionen des Shuttles mit dem NMIV sind vom Nutzen, da damit ersichtlich wurde, dass diese Art der Wechselwirkung zumindest in diesem Projekt keine allzu große Rolle gespielt hat und für die Organisation des Betriebes nicht stark ins Gewicht fällt. Ferner ergibt sich die Erkenntnis, dass mit Mikrosimulationen ein automatisierter Betrieb realitätsnah abgebildet werden kann.

11 TESTZENTRUM

Die Untersuchungen zur Etablierung eines Testzentrums erfolgte in enger Zusammenarbeit mit allen Partner:innen und relevanten Stakeholder:innen. Die Ergebnisse werden im Detail in einer separaten Veröffentlichung erscheinen (Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa).

Ziel der Projektpartner:innen ist neben der Inbetriebnahme eines regulären Shuttle-Verkehrs im öffentlichen Raum auf einem Gelände mit anspruchsvollen Fahrbedingungen gewesen zu prüfen, ob sich die Strecken für den Aufbau eines Testzentrums eignen und ob dieses mit noch zu definierenden Funktionen kommerziell zu betreiben wäre. Dabei soll sich das Testzentrum bewusst nicht auf einem abgeschlossenen Gelände befinden, sondern in realer Umgebung im öffentlichen Raum, im Mischverkehr und unter Einbezug von Fahrgästen.

Dabei wurde folgendes Vorgehen gewählt, um zu klären, ob und in welcher Ausprägung ein Testzentrum unter Realbedingungen aufgebaut werden kann, wie dies potentiell in Lauenburg/Elbe unter Nutzung der dort vorliegenden infrastrukturellen sowie betrieblichen Anforderungen sinnvoll aufgebaut und genutzt werden kann und ob ein kommerzieller Betrieb möglich erscheint. Dies erfolgte auf Basis vorheriger Arbeiten sowie bereits bestehender Kontakte mit Herstellenden, Entwickler:innen, Betreiber:innen, Genehmigungsbehörden und Prüforganisationen.

Neben den gesammelten Erfahrungen aus dem Betrieb des TaBuLa Shuttles haben Interviews mit 13 Expert:innen ermöglicht, ein fundiertes Bild des Marktes und der Vorstellungen einzelner Akteur:innengruppen zu erlangen. Dennoch sollten vor der Initiierung weiterer und konkreter Schritte vor allem noch einmal mit weiteren Akteur:innen Details zum sinnvollen Vorgehen besprochen werden.

11.1 Ergebnisse

Die Untersuchungen haben drei mögliche Schwerpunkte eines Testzentrums hervorgebracht:

- ▶ Technische Tests (Realumgebung)
- ▶ Demonstrationszwecke (Realumgebung)
- ▶ virtuelle Tests (Software)

Grundsätzlich gilt, dass technische und rechtliche Weiterentwicklungen im automatisierten und vernetzten Fahren maßgeblich durch die Initiierung von Realtestzentren vorangetrieben werden können. Tests in Laborumgebungen sind zwar unabdingbar, bringen jedoch weder Betriebserfahrungen noch helfen sie bei der Einschätzung der Akzeptanz. Es wurden die folgenden Kernfragen bearbeitet:

1. Wer stellt die potentielle Kund:innengruppe eines Testzentrums unter Realbedingungen dar?
 - ▶ Technisches Testzentrum: Fahrzeughersteller:innen; Komponenten- und Infrastrukturhersteller:innen; Verkehrsunternehmen; indirekte Zielgruppe: Genehmigungsbehörden und Aufgabenträger:innen
 - ▶ Testzentrum für Demonstrationen: Verkehrsunternehmen und Fahrzeughersteller:innen; indirekte Zielgruppe: Genehmigungsbehörden und Aufgabenträger:innen
 - ▶ Virtuelles Testzentrum: Fahrzeughersteller:innen; Komponenten- und Infrastrukturhersteller:innen; Verkehrsunternehmen; indirekte Zielgruppe: Genehmigungsbehörden und Aufgabenträger:innen
 - ▶ Die potentiellen Kund:innengruppen des Testzentrums haben ihren Sitz hauptsächlich in der EU, mit dem Schwerpunkt in Deutschland und in Frankreich.

2. Welche technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Anforderungen an ein Testzentrum können identifiziert werden?
 - ▶ Die identifizierten Umgebungsanforderungen zeigen auf, dass es noch eine Vielzahl an Herausforderungen gibt, bevor im Mischverkehr ohne Eingreifen einer Fahrzeugbegleitung ein Betrieb initiiert werden kann.
 - ▶ Rechtliche Anforderungen sind in den nächsten Schritten genauer mit den örtlichen Behörden zu definieren. Derzeit ist sicher, dass die Fahrzeuge auch im Testzentrum eine Sondergenehmigung erhalten müssen.
 - ▶ Aus wirtschaftlicher Perspektive ist hervorzuheben, dass eine Finanzierung ohne Fördermittel nicht möglich sein wird.

3. Welche Möglichkeiten und Grenzen ergeben sich aus dem Betrieb eines Testzentrums unter Realbedingungen in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe, insbesondere unter dem Aspekt des Mischverkehrs (mit realen Fahrgästen)?
- ▶ Möglichkeit von Tests mit Schwerpunkt auf ÖPNV (deutschlandweit noch nicht vorhanden)
 - ▶ Möglichkeit eine zukunftsorientierte Fahrzeugdisposition im Sinne der gesamtheitlichen Verkehrslenkung aufzubauen und zu testen (inkl. herstellerunabhängiger Flotten und fahrzeugübergreifender Verkehrslenkung z. B. über Infrastruktur)
 - ▶ Datenhoheit der Kunden gewährleisten, hohe Datensicherheit bieten
 - ▶ Abbilden möglichst aller Fahrzeuggrößen und vielfältiger Fahrsituationen im Realverkehr (dabei nur eingeschränkt Replizierbarkeit möglich)
 - ▶ Grenzen bei Zulassungsfähigkeit der getesteten Fahrzeuge wegen aktueller Rechtslage

Perspektivisch ist darauf zu verweisen, dass Teile der aktuell gefahrenen Strecke in der Altstadt nach Beendigung des TaBuLa-Projektes umgebaut und saniert werden sollen. Somit wäre die aktuelle anspruchsvolle Streckenführung für mehrere Monate nicht befahrbar.

Die Untersuchungen beziehen sich zwar auf die bestehende Strecke in Lauenburg/Elbe, da diese Grundlage im Projekt TaBuLa ist, die Expert:innenbefragungen wurde jedoch zunächst streckenunabhängig durchgeführt. Die räumliche Übertragung der Ergebnisse wäre somit auch auf andere Gebiete vorstellbar. Es ist jedoch darauf zu achten, dass in Lauenburg/Elbe bereits Investitionen in die örtliche Infrastruktur stattfanden und diese in den Kalkulationen der einzelnen Varianten nicht berücksichtigt wurden. Grundsätzlich wäre bei der Auswahl eines abweichenden Gebietes für ein Testzentrum wichtig, möglichst viele herausfordernde Umgebungsanforderungen entsprechend der Ergebnisse abzubilden und auf den Erfahrungsschatz der bisherigen Forschungs- und Entwicklungsprojekte aufzubauen. Eine ergänzende Untersuchung potentieller Gebiete wäre in jedem Fall durchzuführen.

Vor dem Hintergrund der stetigen Entwicklungen und Veränderungen der Branche ist anzumerken, dass diese Untersuchungen eine zeitpunktbezogene Erfassung der derzeitigen Situation am Markt darstellen. Vor der Nutzung der Inhalte darauf zu achten, dass deren Aktualität von grundlegender Bedeutung ist und sie gegebenenfalls ergänzt und angepasst werden müssten.

11.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Die dargestellten Forschungsarbeiten trugen maßgeblich zur Erreichung des **Unterziels 5** (den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielle Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren) und **Unterziel 6** (eine Testumgebung für Technik des Autonomen Fahrens aufzubauen) bei.

11.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Befragungen wurden durchgeführt, um eine sorgfältige Aufnahme des Bedarfs für ein Testzentrum sowie die Identifizierung der Nutzer:innengruppe(n) als Voraussetzungen für eine passfähige Entwicklung des potentiellen neuen Angebotes zu ermöglichen.

Wesentlich ist die Identifikation der Anforderungen potentielle Nutzer:innen/Kund:innen des Testzentrums und welchen Umfang die anzubietenden Dienstleistungen haben müssen, um attraktiv zu sein und am Ende einen Nutzen zu generieren.

Neben der Inbetriebnahme eines regulären Shuttle-Verkehrs im öffentlichen Raum auf einem Gelände mit anspruchsvollen Fahrbedingungen ist ausdrückliches Ziel des Projektes gewesen, zu prüfen, ob sich diese Strecken für den Aufbau eines Testzentrums eignen und ob dieses mit noch zu definierenden Funktionen kommerziell zu betreiben wäre. Das untersuchte Testzentrum sollte sich bewusst nicht auf einem abgeschlossenen Gelände befinden, sondern in realer Umgebung im öffentlichen Raum, im Mischverkehr und unter Einbezug von Fahrgästen.

In der Untersuchung wurde geklärt, ob und in welcher Ausprägung ein Testzentrum unter Realbedingungen aussehen kann, wie dies potentiell in Lauenburg/Elbe unter Nutzung der dort vorliegenden infrastrukturellen sowie betrieblichen Anforderungen sinnvoll aufgebaut und genutzt werden kann und ob ein kommerzieller Betrieb möglich erscheint. Dies erfolgte auf Basis vorheriger Arbeiten sowie bereits bestehender Kontakte mit Herstellenden, Entwickler:innen, Betreiber:innen, Genehmigungsbehörden und Prüforganisationen. Neben den gesammelten Erfahrungen aus dem Betrieb des TaBuLa Shuttles haben Interviews mit 13 Expert:innen ermöglicht, ein fundiertes Bild des Marktes und der Vorstellungen einzelner Akteursgruppen zu erlangen. Dennoch sollten vor der Initiierung weiterer und konkreter Schritte vor allem noch einmal mit weiteren Akteur:innen Details zum sinnvollen Vorgehen besprochen werden.

11.4 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Untersuchungen zum Testzentrum bilden die Grundlage für die Beantwortung einer der Kernfragen des Projekts. Die kostenneutrale Projektverlängerung sowie das Nachfolgeprojekt TaBuLa-LOG profitierten von den bereits im Projekt gesammelten Erfahrungen und Erkenntnissen.

12 EXTERNE LEISTUNGEN DER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG – DATENLOGGER

Um für das Projekt unabhängig vom Hersteller NAVYA Daten zum Betrieb des Fahrzeugs sammeln zu können, wurde mit Prof. Dr. Rasmus Rettig vom Department Informations- und Elektrotechnik der Hochschule für angewandte Wissenschaft Hamburg (HAW) ein Unterauftrag geschlossen. Das Team von Prof. Rettig hat einen gekapselten Datenlogger entwickelt, der im Fahrzeug angebracht wurde und folgende Daten aufzeichnete (Tabelle 5):

Tabelle 5: Messgrößen, Messeinheiten, Messfrequenz, Messbereich und Auflösung des Datenloggers

Datenquelle	Messgröße	Einheit	Messfrequenz [Hz]	Messbereich	Auflösung
Geoposition (GPS / GALILEO / GLONASS / BEIDOU)	Zeitstempel	[HH:MM:SS]	1	–	1 Sek.
	Position (Longitude, Latitude)	1		–	0,000001
	Anzahl Satelliten	1		–	1
	Geschwindigkeit (ermittelt aus Positionsveränderung)	[km/h]		–	0,01
Inertialsensorcluster Heckbereich und Inertialsensorcluster in der Datenaufnahmeeinheit	Beschleunigung X	[g]		+/- 8	0,000244
	Beschleunigung Y				
	Beschleunigung Z				
	Drehrate X	[°/s]		+/- 250	0,0076
	Drehrate Y				
	Drehrate Z				
	Magnetfeld X	[μT]		+/- 4800	0,6
	Magnetfeld Y				
Magnetfeld Z					
Temperatur	[°C]	-40 ... + 85	0,003		
GSM	Netzwerktyp	2G/3G/4G	1	–	–
	Empfangsqualität	–		0 ... 5	1

Der Unterauftrag wurde für den Zeitraum von 01.01.2020 bis zum 31.03.2021 geschlossen.

12.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden fast 900 Betriebsstunden auf allen drei Strecken von dem Datenlogger aufgezeichnet. Die dabei entstandene Datenmenge von über einer Milliarde Datensätzen wurde mit Hilfe von Algorithmen automatisiert ausgewertet. Dazu wurden die Daten dahingehend bereinigt, dass nur reguläre, im Fahrgastbetrieb gefahrene, Umläufe auf der Strecke 3 in die weitere Analyse einfließen. Dieser bereinigte Datensatz umfasste schließlich 72 Betriebstage mit 225 Messstunden und 424 vollständigen Umläufen auf der Strecke 3.

Die Ergebnisse der Analysen des bereinigten Datensatzes wurden im Rahmen eines Artikels in der Zeitschrift Verkehr und Technik Ausgabe 04/2021 publiziert (Kapitel 15 Veröffentlichungen des Projekts TaBuLa).

12.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Mit der Unterbeauftragung der HAW und der Datenaufnahme sollte eine valide Datenbasis über den Betrieb des TaBuLa Shuttle gewonnen werden, um belastbare Aussagen in Bezug zu den **Unterzielen 1** (Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen), **Unterziel 2** (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV) und **Unterziel 4** (Anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren) treffen zu können. So konnten Erkenntnisse über geplante und ungeplante Stopps des TaBuLa Shuttle während des Betriebes im öffentlichen Raum gezielt untersucht werden (**Unterziel 1**). Weiterhin konnte als ein Hemmnis für einen verlässlichen Einsatz die Qualität der vorhandenen Mobilfunknetzwerke identifiziert werden (**Unterziele 2 und 4**). Eine detailliertere Einsicht ermöglicht hier auch die Veröffentlichung in V+T Ausgabe 2021/04.

12.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Nur die Beauftragung der HAW zur Datenerhebung mit einem gekapselten Datenlogger hat es ermöglicht, die Daten zu erheben und auszuwerten. Vergleichbare Daten über das Fahrzeug konnte der Hersteller für TaBuLa nicht zur Verfügung stellen. Daher wäre es ohne die Datenerhebung in Zusammenarbeit mit der HAW nicht möglich gewesen, valide Erkenntnisse über geplante und ungeplante Stopps des TaBuLa Shuttle auf der Strecke, deren Häufigkeit und Lokalisierung zu gewinnen. Ebenso wäre es nicht möglich gewesen, die Bedeutung der Qualität des Mobilfunknetzes für den zuverlässigen Shuttlebetrieb zu identifizieren und zu publizieren.

12.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Durch die Bearbeitung des Themas haben sich folgende Nutzen ergeben:

- ▶ Vernetzung von Universitäten und verschiedenen Fachdisziplinen
- ▶ technischer Austausch über den einen Fahrzeugtyp hinweg
- ▶ Eine abgeschlossene Veröffentlichung und eine weitere in Vorbereitung befindliche
- ▶ Erkenntnisse für den Verkehrsbetrieb über das Verhalten automatisierter Fahrzeuge im Vergleich zu manuell fahrenden Bussen
- ▶ Optimierte Analyse von Besonderheiten im Betrieb für alle Beteiligten
- ▶ Verständnis für die Relevanz von Vernetzung im Hinblick auf störungsfreien Betrieb

13 DATENSCHUTZ

Das Projekt TaBuLa ist insgesamt eins von mehreren Projekten zu automatisierten Bussen im ÖPNV im öffentlichen Raum, die vom BMVI in Schleswig-Holstein gefördert werden. Wegen der Nutzung in Schleswig-Holstein aber dem Sitz einiger Projektbeteiligter in Hamburg ist es im Bereich von Datenschutzbelangen zum Teil etwas komplexer angelegt. Daher wurde zum Projektbeginn in 2018 neben der Stelle des Datenschutzbeauftragten der TUHH auch mit der Stelle des Landesdatenschutzes in Schleswig-Holstein gearbeitet. Letztere Stelle unterstützte das Projekt mit der Zielstellung, dass andere Projekte in Schleswig-Holstein dann in Zusammenarbeit mit TaBuLa Synergieeffekte erzielen könnten und die Landesdatenschützer hierüber erste Impulse für eine rudimentäre Blaupause anlegen könnten.

Insgesamt zeigte der Prozess sich kompliziert, weswegen dem Thema Datenschutz ein eigenes Kapitel zugeordnet wurde. Nachstehend werden die Eckpunkte des Prozesses in Kurzform dargestellt.

13.1 Ergebnisse

- ▶ Datenschutzbeauftragte seitens der TUHH
 - ▶ In der Projektlaufzeit war die Position an der TUHH nicht besetzt, der ehrenamtliche Ansprechpartner Dr. Alexander Wawrzyn stand für Fragen zur Verfügung und vermittelte zur Beratung datenschutzrelevanter Fragestellungen an das zeitweise von der TUHH beauftragte *Multimedia Kontor Hamburg*. Hier beriet für die Erstellung der Datenschutzerklärung Lille Bernstein das Projekt.
 - ▶ Derzeit ist als externer Datenschutzbeauftragter der TUHH die *datenschutz nord GmbH* beauftragt
- ▶ Präzedenzfall Datenschutz in Projekten mit automatisierten Bussen in Schleswig-Holstein
 - ▶ Datenschutz ist Ländersache, aufgrund dessen musste das datenschutzrechtliche Vorgehen zum Einsatz automatisierter Busse mit der Datenschutzaufsichtsbehörde für Schleswig-Holstein – *unabhängige Landesdatenschutz Zentrum Schleswig-Holstein* (ULD) (Herr Brocks) – abgestimmt werden. Das ULD nutzt das Projekt TaBuLa zum Stand 2018 als Präzedenzfall für datenschutzrechtliche Themen von Projekten mit automatisierten Shuttles, weswegen das Projekt hier noch einmal umfassender unterstützt wurde.

- ▶ **Datenschutzrelevante Aktivitäten im Projekt TaBuLa:**
 - ▶ Erstellung einer Datenschutzerklärung in Absprache mit Datenschutzbeauftragten der TUHH, zugänglich ist diese auf der TaBuLa-Homepage und im Shuttle ausliegend.
 - ▶ Kameraaufnahmen durch das TaBuLaShuttle: Datenschutzerklärung des Unternehmens NAVYA
 - ▶ Für Kameraaufnahmen in Lauenburg/Elbe: Mit der Verkehrsflusskamera des Unternehmens Miovision Technologies Inc. wurde der Verkehrsfluss in Lauenburgs öffentlichem Straßenraum gefilmt. Die genutzten Kameras erzeugen verpixelte Filmaufnahmen und werden so im öffentlichen Straßenraum platziert, dass keine personenbezogenen Daten erhoben werden. Miovision besitzt entsprechend eine eigene Datenschutzerklärung.
 - ▶ Die geplanten Kamera-Aufnahmen der im Projekt beschafften Dashcam konnten aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht durchgeführt werden, da eine automatisierte Verpixelung nicht möglich war und personenbezogene Daten erhoben worden wären.
 - ▶ Für die jeweils Befragten wurde eine Einverständniserklärung für qualitative Interviews eingeholt, Interviews werden zudem anonymisiert verarbeitet.
 - ▶ Nutzung Erhebungsplattform Soci Survey GmbH: für die getrennt erhobenen Kontaktdaten (E-Mail-Adressen) zur Verlosung von Gutscheinen bei der Fahrgastbefragung wurde eine Auftragsverarbeitungsvereinbarung mit Soci Survey GmbH abgeschlossen.

13.2 Zuordnung der Maßnahmen und Ergebnisse zu den definierten Unterzielen

Das Feld des Datenschutzes arbeitet generell dem **Unterziel 1** (Einsatz eines automatisierten Shuttles im öffentlichen Raum ermöglichen und untersuchen) zu als Grundvoraussetzung. Darüber hinaus bietet dieses Thema einen zentralen wenn auch oft nicht breit diskutierten Baustein ab, wenn es um die grundsätzliche Möglichkeit des Betriebs von automatisierten und später auch autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Straßenraum geht, Das Thema fällt dann dem **Unterziel 2** zu (Untersuchung von Potenzialen und Hemmnissen des Einsatzes automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im ÖPNV). Eine Untersuchung, in wie weit solche Fahrzeuge Daten zur Navigation etc. Im öffentlichen Raum erheben,

speichern und verarbeiten können, müssen oder auch dürfen ist besonders im Hinblick auf **Unterziel 3** (Interaktion des automatisierten Shuttles mit potentiellen Nutzern und Passanten festzustellen und zu untersuchen) relevant. Die Stadt Lauenburg/Elbe ist somit auch ein überregional relevantes Testfeld für die Anwendung des Datenschutzes und zukünftige Projekte, was **Unterziel 4** zuarbeitet (anhand der Teststadt Lauenburg/Elbe übertragbare und verallgemeinerbare Ergebnisse generieren), auch wenn Datenschutz dann auch in die Verantwortung der Länder fällt. Trotzdem lassen sich hier einige relevante Punkte feststellen, die übergreifend sind.

Insofern ist es auch für den Hersteller NAVYA wesentlich, datenschutzkonform zu arbeiten, was für **Unterziel 5** (Den Einsatzraum des Shuttles auch als potentielle Testfeld für die vorhandenen und neu entwickelten Fahrzeuge zu evaluieren) zuarbeitet. Das kann dann im weiteren Sinne auch als Wegbereiter für **Unterziel 6** (Testumgebung für Technik des Autonomen Fahrens) verstanden werden, wenn langfristig weiter an der Qualität der (notwendigen) Daten (Auflösung etc.) auf Basis der Erfordernisse von automatisierten und autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Straßenraum zur Fortbewegung geforscht wird.

13.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Grundsätzlich ist das Thema des Datenschutzes zentral für den Betrieb eines automatisierten Shuttles, weswegen das Projekt sich ausführlich mit diesem Thema beschäftigt hat. Die Erfordernisse der Fahrzeuge stehen dabei potentiell in Konflikt mit den Ansprüchen an den Datenschutz im Sinne von Aufnahmen im öffentlichen Straßenraum und der gemeinsamen Datenverantwortlichkeit von Fahrzeughersteller und Betreiber. Daher ist die Arbeit der Gesetzgebung ein wesentliches Thema für den zukünftigen Einsatz derartiger Fahrzeuge und bedarf dringend einer zeitnahen Nachsteuerung, um hier entsprechende Fortschritte für eine großflächigere Implementierung zu erzielen, die nicht auf Ausnahmegeheimigungen und Sonderrechten fußt.

13.4 Voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das hier erzielte Verständnis und die Ergebnisse des Projekts TaBuLa bilden die Grundlagen für das Nachfolgeprojekt TaBuLa-LOG.

14 VERNETZUNG DES PROJEKTS MIT ANDEREN FORSCHUNGSPROJEKTEN

Vor allem beruhend auf der großen Eigeninitiative aller Projektbeteiligten, wurde ein Netzwerk zu diversen Projekten im deutschsprachigen Raum aufgebaut. Auf diesem Wege wurde dem Projekt selbst viel Wissen weitervermittelt, gemeinsam an neuen Ideen zur Weiterentwicklung gearbeitet und gleichzeitig auch viel Wissen an nachkommende Projekte weitergereicht. Entsprechende Publikationen ergänzen den Wissenstransfer. Als Auswahl sind folgende konkrete Termine für die Jahre 2018 bis 2020 anzuführen:

14.1 Vernetzungstermine mit anderen Projekten zum automatisierten Fahren im ÖPNV (Auswahl)

- ▶ 16.04.2018 Treffen des Teams mit Mitglied des Bundestages in Berlin, Treffen mit BVG zum Projekt Stimulate
- ▶ 26.04.2018 Abstimmungstermin im BMVI mit anderen Shuttle-Projekten zu Experimentierklauseln und Genehmigungsverfahren zum automatisierten Fahren in Berlin
- ▶ 03.05.2018 Vernetzungstreffen digitale Testfelder im BMVI in Berlin
- ▶ 08.06.2018 und 27.05.2019 Treffen mit der Hochbahn Hamburg zum Projekt HEAT
- ▶ 14.06.2018 Netzwerktreffen mit den Projekten BVG Stimulate, AutoNV_OPR, GVZ Großbeeren, NAF-Bus an der TUHH in Hamburg
- ▶ 18.06.2018 Abstimmungstermin mit dem Landesdatenschutzbeauftragten in Kiel
- ▶ 08.11.2018 Projekttreffen in Bad Birnbach zum ioki-Projekt (DB Regiobus)
- ▶ 09.11.2018 und 22.11.2018 Projekttreffen in Neuhausen (AMoTech GmbH)
- ▶ 09.11.2018 Werksbesichtigung und Austausch in Pfronstetten bei PARRAVAN GmbH
- ▶ 21.11.2018 Projekttreffen in Sion und Bern zum SmartShuttle (Post-Auto Schweiz AG)
- ▶ 07.02.2019, 11.10.2019, Januar 2020 Besuch beim Projekt NAF-Bus auf Sylt

- ▶ 19.09.2019 Anwenderworkshop Automatisiertes Fahren mit NAF-Bus (Schleswig-Holstein), Testfeld Friedrichshafen, auto.Bus – Seestadt: Wiener Linien, SmartShuttle (Sitten), ABSOLUT (Dresden), HEAT (Hamburg) in Hamburg
- ▶ 11.10.2019 TaBuLa-Eröffnungsfeier mit Austausch und Besuch verschiedener anderer Projekte und Besuch des BMVI in Lauenburg/Elbe
- ▶ 11.11.2019 Erneuter Besuch in Bad Birnbach
- ▶ 11.02.2020 Besuch der Vorsitzenden und Landräte der Verkehrsgesellschaft Nord-Ost-Niedersachsen mbH
- ▶ 03.03.2020 Besuch Linie A01 in Monheim
- ▶ 07.08.2020 Projektaustausch mit HEAT-Projekt
- ▶ 27.11.2018, 25.02.2020 und 26.06.2020 Vernetzungs- und Genehmigungstreffen beim MWVATT in Kiel
- ▶ 24.08. bis 25.08.2020 Austausch mit Projekt Ride4All aus Soest in Lauenburg/Elbe
- ▶ 24.09.2020 Besuch von Mitglied des Bundestages in Lauenburg/Elbe
- ▶ 06.02.2020, 14.02.2020, 29.10.2020 Austausch über Region Hannover mit Projekt Interreg North Sea Region PAV
- ▶ 19.11.2020 Austauschtreffen HEAT-Projekt mit Hochbahn Hamburg und IAV GmbH in Hafencity Hamburg

14.2 Fachvorträge im Rahmen des Projektes (Auswahl)

Von den Projektpartner:innen wurden auf nachfolgenden Veranstaltungen Vorträge gehalten:

- ▶ Grünstrom-Event zum Stand des automatisierten Fahrens im ÖPNV am 01.06.2018 in Enge-Sande
- ▶ VDV-Tagung „Automatisiertes Fahren im ÖPNV“ im Juni 2018 und im Juni 2019 in Berlin
- ▶ CAU Digitale Woche, 10.09.2018 in Kiel
- ▶ Pegasus-Tagung am 13.10.2018 in München
- ▶ Training of Managers for Urban Redevelopment im Juni 2019 zu Parkraummanagement und Mobilitätskonzepten in Lithuania, Druskininkai/Litauen
- ▶ New Mobility World im Rahmen der IAA in Frankfurt am Main im September 2019 zu Projekten im automatisierten Fahren im ÖPNV
- ▶ 5GCMM Expo zum Stand des automatisierten Fahrens im ÖPNV und der Nutzung von streckenseitigen Infrastrukturkomponenten im Oktober 2019 in Hannover

- ▶ 24.10.2019 Entwurfstagung Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
- ▶ Tagung Stadt, Licht + Verkehr zum Stand des automatisierten Fahrens im ÖPNV am 27.11.2019 in Leipzig
- ▶ VDV-Arbeitsgruppe „Digitale Projekte“ am 30.05.2018, 16.11.2018, 21.05.2019 und 22.01.2020
- ▶ Breidenbach + Frost zum Status des automatisierten Fahrens im ÖPNV im April 2020 in Leipzig, im Oktober 2019 in Wien, November 2018 in Hamburg und April 2018 in Berlin
- ▶ Fachkolloquium Ethik und autonomes Fahren der CAU am 29.01.2020
- ▶ VDV-Kongress Digitalisierung und Verkehrswende am 08.09.2020
- ▶ Nordbaumesse Neumünster/VSVI-Jahrestagung am 09.09.2020
- ▶ 2. NaNa-Konferenz „Hochwertige Bussysteme“ am 27.10.2020
- ▶ Vorstellung für Projekt Interreg North Sea Region PAV am 29.10.2020
- ▶ HAW Themenkongress „Urbane Mobilität 2020“ am 20.11.2020

14.3 Interviews im Rahmen der Fahrzeugbegleiter: innenbefragungen (siehe Kapitel 9 Akzeptanz von automatisierten Bussen – Befragungen)

Es wurden neun Interviews durchgeführt mit Fahrzeugbegleiter:innen automatisierter Shuttle folgender Projekte:

- ▶ TaBuLa
- ▶ NAF-Bus Greentech-Campus
- ▶ NAF-Bus Sylt
- ▶ AutoNV_OPR

14.4 Expert:inneninterviews im Rahmen des Testzentrums

Für die Machbarkeitsstudie zum Testzentrum wurden Expert:inneninterviews mit folgenden Institutionen durchgeführt:

- ▶ 06.03.2020 EasyMile SAS
- ▶ 09.03.2020 Behörde für Inneres und Sport der Freien und Hansestadt Hamburg
- ▶ 13.03.2020 Hochbahn Hamburg
- ▶ 18.03.2020 NAVYA
- ▶ 19.03.2020 Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH

- ▶ 08.04.2020 HFM – Hanseatische Fahrzeug Manufaktur GmbH
- ▶ 08.04.2020 Landesbehörde Mecklenburg-Vorpommern
- ▶ 16.04.2020 IAV GmbH
- ▶ 22.04.2020 Stadtwerke Osnabrück
- ▶ 29.04.2020 NAHBUS Nordwestmecklenburg GmbH
- ▶ 30.04.2020 Landesbehörde Niedersachsen
- ▶ 08.05.2020 Rostocker Straßenbahn AG
- ▶ 09.05.2020 Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein

14.5 Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Dem besonderen Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit wurden folgende Anlässe gewidmet:

- ▶ Projektvorstellung am 17.09.2018 in öffentlichen Sitzungen des Ausschusses für Regionalentwicklung und Mobilität des Kreises sowie im Ausschuss für Umwelt, Energiewende und digitale Infrastruktur der Stadt Lauenburg/Elbe
- ▶ Projektvorstellung am 21.05.2019 und 27.05.2019 sowie 27.10.2020 in öffentlichen Sitzungen des Ausschusses für Regionalentwicklung und Mobilität des Kreises sowie im Ausschuss für Umwelt, Energiewende und digitale Infrastruktur der Stadt Lauenburg/Elbe
- ▶ Anliegerinformationsveranstaltung in Lauenburg/Elbe am 06.06.2019
- ▶ Öffentlichkeitsinformationsveranstaltung in Lauenburg/Elbe am 13.06.2019 mit Präsentation eines Erklärvideos
- ▶ Viertägige Ausstellung des Fahrzeuges mit Infostand vom 20.-23.06.2019 auf dem „Sommer des Wissens“ auf dem zentralen Rathausmarkt Hamburg mit 50.000 Besuchenden und 2.000 Interessierten im Fahrzeug, denen der Stand der Technik und das Forschungsvorhaben erläutert wurde
- ▶ Anliegerinformation und Ausstellung des Fahrzeuges bei Stadtfest „Tag des offenen Denkmals“ am 08.09.2019
- ▶ TV-Aufzeichnungen am 25.09.2019 durch das ZDF für das Kinderwissenschaftsmagazin PUR+ mit Ausstrahlung im Fernsehen und Bereitstellung im Internet unter dem Titel „Flugtaxis und Co. – mobil in die Zukunft“
- ▶ Eröffnungs- und Abschlussveranstaltung am 11.10.2019 und 26.11.2020 mit jeweils mehr als 30 Medienberichten im deutschsprachigen Raum
- ▶ Besuch der SPD-Kreistagsfraktionen in Lauenburg/Elbe am 25.07.2020

14.6 Pressemitteilungen

Abgestimmte Pressemitteilungen von Kreis und TUHH erfolgten am 05.09.2018, 17.05.2019, 05.06.2019, 18.06.2019, 02.07.2019, 12.07.2019, 22.07.2019, 26.07.2019, 27.08.2019, 11.10.2019, 29.10.2019, 26.11.2019, 09.12.2019, 23.01.2020, 07.02.2020, 13.05.2020, 01.10.2020, 23.10.2020, 25.11.2020, 15.12.2020.

14.7 Weiteres

- ▶ Es wurden folgende Homepages betrieben:
 - ▶ <https://www.TaBuLaShuttle.de>
 - ▶ <https://vhbus.de/tabula-autonomes-fahren/>
- ▶ Ein Twitter-Account wurde durch das Projekt mit Neuigkeiten versorgt:
https://twitter.com/TaBuLa_Shuttle
- ▶ Darüber hinaus erfolgten drei Auflagen des TaBuLa-Flyers mit einer Gesamtauflage von 25.000 Stück
- ▶ Es wurde ein Erklärfilm <https://youtu.be/4NQijilR3f8> und ein
- ▶ Streckenfilm <https://youtu.be/8kpyVQ-EPNY> produziert.

15 VERÖFFENTLICHUNGEN DES PROJEKTS TABULA

Folgende Publikationen sind erfolgt:

- Böckler, Grote, Wolf: Genehmigungsprozesse beim Einsatz von automatisierten Shuttle-Bussen im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg/Elbe, ECTL WORKING PAPER 53, Technische Universität Hamburg (2021).
- Grote, Röntgen: Kosten autonom fahrender kleiner Minibusse, ECTL WORKING PAPER 54, Technische Universität Hamburg.
- Mantel, Rebekka, Diebold, Tyll (2020): Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen im ÖPNV in Lauenburg (Elbe) bei Einwohnern und Fahrpersonal, V+T Verkehr und Technik 11(73): 379-384 (2020-11).
- Mantel, Rebekka: Akzeptanz eines automatisierten Shuttles in einer Kleinstadt – Analyse anhand einer Trendstudie und Fahrgastbefragung, Journal für Mobilität und Verkehr, Ausgabe 8 (2021).
- Rettig, Schöne, Wenzel, Diebold, Maaß (2021): Automatisierte, experimentelle Untersuchung der Voraussetzungen für den robusten Betrieb eines autonomen Kleinbusses im ÖPNV am Beispiel des Projektes TaBuLa in Lauenburg (Elbe), V+T Verkehr und Technik (2021-04).
- Wolf, Umland, Stohr, Böckler: Konzeption Testzentrum im Projekt »Aufbau eines Testzentrums für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg – TaBuLa«, ECTL WORKING PAPER 55, Technische Universität Hamburg.

Folgende Publikationen aus dem Projekt werden im Jahr 2021 erscheinen (teils Arbeitstitel):

- Grote: Infrastrukturanforderungen im automatisierten ÖPNV-Betrieb, ECTL WORKING PAPER, Technische Universität Hamburg.
- Rettig, Schöne, Wenzel, Diebold, Maaß: The status of autonomy: Real-life, sensor-based kinetic benchmark of a driverless, autonomous shuttle to a driver-operated bus in a complex, public-roads environment.

Weitere Publikationen erfolgen derzeit im Rahmen des Folgeprojektes TaBuLa-LOG.

2021

Technische Universität Hamburg, Institut für Verkehrsplanung und Logistik