

© S. Kuhlmann | ReLUT



Autonom am Mainkai

**Nutzerakzeptanz und betriebliche Herausforderungen
autonomer Shuttles in Frankfurt am Main**

Gefördert von:



Fachbereich 1: Architektur · Bauingenieurwesen · Geomatik
Fachbereich 3: Wirtschaft & Recht



ReLUT - ResearchLab for Urban Transport



Autonom am Mainkai Nutzerakzeptanz und betriebliche Herausforderungen autonomer Shuttles in Frankfurt am Main

Abschlussbericht

Frankfurt University of Applied Sciences

Research Lab for Urban Transport

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer | Philipp Altinsoy M.A.

Kontakt: relut@fra-uas.de

Frankfurt am Main, Februar 2021

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 815/19-135) wird aus Mitteln des Landes Hessen und der HOLM-Förderung im Rahmen der Maßnahme „Innovationen im Bereich Logistik und Mobilität“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen gefördert.

Abstract

Im Projekt Autonom am Mainkai wurden zwei autonom fahrende Shuttles am Mainufer der Stadt Frankfurt am Main von September 2019 bis März 2020 wissenschaftlich begleitet. Ziel war es, die Nutzerakzeptanz und die betrieblichen Herausforderungen zu untersuchen, da diese eine interdisziplinäre Forschungslücke aufweisen. In den vergangenen Jahren wurden sehr wenige Pilotprojekte mit autonomen Shuttles durchgeführt. Die bisherigen Projekte räumten nur wenigen Fahrgästen die Möglichkeit ein, ein autonomes Shuttle über einen längeren Zeitraum zu testen. Dies führte in einigen Fällen zu eingeschränkten Forschungsergebnissen, die durch eine umfassendere Projektlaufzeit, in diesem Forschungsprojekt ausgeglichen werden sollten.

Während der Projektlaufzeit hatten alle Fahrgäste der Shuttles die Möglichkeit, an einer quantitativen Online-Umfrage teilzunehmen. Zusätzlich wurden die Operatoren und Betriebsleiter der beiden Shuttles mit einem Leitfaden interviewt und zu den betrieblichen Herausforderungen befragt. Durch die Begehung weiterer Standorte, an denen autonome Shuttles getestet werden, sollte zudem einen infrastrukturellen und betrieblichen Vergleich liefern, sowie die Nutzerakzeptanz evaluieren. Dabei wurden auch essenzielle Themenfelder mit den jeweiligen Projektverantwortlichen erhoben.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt wichtige Aspekte auf, die für den erfolgreichen Einsatz autonomer Shuttles an weiteren Standorten berücksichtigt werden sollten. Unterschieden wird dabei zwischen betrieblichen und verkehrlichen Faktoren, wobei auch die technischen Hintergründe betrachtet wurden. Die Auswertung der Fahrgastbefragung ergab, dass eine sehr hohe Akzeptanz gegenüber den autonomen Shuttles vorliegt. Deren Bewertungen wurden über mehrere Themenfelder hinweg abgefragt. Ebenfalls liegt eine große Bereitschaft zur Mitfahrt in den Shuttles ohne Operatoren sowie im öffentlichen Straßenverkehr vor.

In the project Autonom am Mainkai, two autonomous shuttles on the banks of the Main River in the city of Frankfurt am Main were scientifically evaluated from September 2019 to March 2020. The aim was to analyze user acceptance and operational challenges, as these represent an interdisciplinary research gap. In recent years, very few pilot projects with autonomous shuttles have been launched. The previous projects only allowed a few passengers to test an autonomous shuttle for an extended period of time. In some cases, this has caused limited research results, which should be compensated through a more comprehensive project duration, which is the goal of this research project.

During the project period, all passengers of the shuttles had the opportunity to participate in a quantitative online survey. In addition, the operators and operations managers of the two shuttles were interviewed using a structured guideline and asked about operational challenges. The visit of additional locations where autonomous shuttles are being tested was also intended to provide an infrastructural and operational comparison, as well as to evaluate user acceptance. In the process, key topics were also surveyed with the responsible project managers.

The analysis of the results shows important aspects that should be considered for the successful deployment of autonomous shuttles at further locations. A distinction is made between operational and traffic factors, and the technical background was also analyzed. The evaluation of the passenger survey shows that there is a very high level of acceptance of autonomous shuttles. Their ratings were surveyed across several topic areas. There is also a great willingness to ride in the shuttles without operators and to use them in public road traffic.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen	3
2.1 Stand der Technik.....	3
2.2 Aktuelle Rechtslage.....	4
2.3 Stand der Forschung	5
3 Pilotprojekt Frankfurt am Main.....	6
4 Methodik	8
5 Ergebnisse der Befragung der Nutzenden.....	11
6 Ergebnisse zum Betrieb	19
6.1 Ergebnisse der Vor-Ort-Begehungen	19
6.2 Ergebnisse der leitfadengestützten Interviews.....	23
7 Empfehlungen	26
8 Fazit und Ausblick.....	29
9 Literaturverzeichnis.....	30
Anhang	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielbild für ein autonomes Shuttle (Navya, 2020)	3
Abbildung 2: Automatisierungslevel nach SAE J3016 (angelehnt an PricewaterhouseCoopers GmbH, 2020)	3
Abbildung 3: Teststrecke für den Einsatz der autonomen Shuttlebusse	6
Abbildung 4: Shuttle EZ 10 Gen2 von EasyMile	7
Abbildung 5: Untersuchungskonzept	8
Abbildung 6: Sicherheitsgefühl der Fahrgäste	12
Abbildung 7: Anteil Mitfahrten ohne Fahrpersonal	13
Abbildung 8: Nutzung im Straßenverkehr	14
Abbildung 9: Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr	15
Abbildung 10: Bewertung des Fahrerlebnisses	16
Abbildung 11: Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes	17
Abbildung 12: Bewertung des aktuellen Standpunkts zu autonom fahrenden Fahrzeugen	18
Abbildung 13: Abmessungen für Warteflächen an Haltestellen (FGSV, 2013)	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Akzeptanzniveau Projekte national und international.....	5
Tabelle 2: Ergebnisübersicht der Vor-Ort-Begehungen.....	22
Tabelle 3: Ergebnisübersicht Interviews Testfeld Frankfurt am Main.....	23
Tabelle 4: Ergebnisübersicht Interviews weiterer Standorte.....	24
Tabelle 5: Vorlage für Projektsteckbriefe.....	34
Tabelle 6: Projektsteckbrief „Stimulate“.....	35
Tabelle 7: Projektsteckbrief „NAF-BUS“.....	36
Tabelle 8: Projektsteckbrief Stadt Monheim am Rhein.....	38
Tabelle 9: Projektsteckbrief „Tabula“.....	40
Tabelle 10: Projektsteckbrief „AutoNV OPR“.....	41
Tabelle 11: Mitfahrt – Geschlecht (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 12: Mitfahrt – Altersklasse (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 13: Mitfahrt – Erwerbstätigkeit (eigene Darstellung).....	43
Tabelle 14: Sicherheitsempfinden – Geschlecht (eigene Darstellung).....	43
Tabelle 15: Altersklasse – Sicherheitsempfinden (eigene Darstellung).....	43
Tabelle 16: Sicherheitsempfinden – Erwerbstätigkeit (eigene Darstellung).....	43
Tabelle 17: Mitfahrt ohne Fahrpersonal – Sicherheitsempfinden (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 18: Altersklasse – Mitfahrt ohne Operator (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 19: Altersklasse – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 20: Erwerbstätigkeit – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 21: Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung).....	44
Tabelle 22: Mitfahrt ohne Fahrpersonal – Einführung autonomer Fahrzeuge (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 23: Sicherheitsempfinden – Einführung autonomer Fahrzeuge (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 24: Sitzplatzangebot – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 25: Äußeres Erscheinungsbild – Geschlecht (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 26: Äußeres Erscheinungsbild – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 27: Inneres Erscheinungsbild – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung).....	46
Tabelle 28: Einführung von autonomen Fahrzeugen – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung).....	46

1 Einleitung

Die digitale Transformation läuft auf Hochtouren (Bachmann et al., 2014) und verschafft sich nach und nach Zutritt zu allen Lebensbereichen (Gentsch, 2018) – so auch zur Mobilität, die ein zentrales Thema der Gesellschaft darstellt. Unter Berücksichtigung weiterer korrelierender Megatrends, wie dem demographischen Wandel und der Neo-Ökologie, müssen – auf der Suche nach nachhaltigen und altersunabhängigen Mobilitätsangeboten – neue Konzepte entwickelt werden. Diese werden zusätzlich mit aktuellen Zielen zur Reduktion der CO₂-Emissionen von Unternehmen (Deutsche Bahn AG, 2019), zu Zielen zur Stärkung eines ausgeprägten Bewusstseins für umweltfreundliches Mobilitätsverhalten (Hunecke et al., 2010) und zu Zielen zu einem Wechsel von einer hohen privaten Pkw-Nutzung (BMVI, 2020) hin zu ÖPNV-Angeboten (Nordlund und Garvill, 2003) konfrontiert. Darüber hinaus sollen die neuen Mobilitätsangebote adäquate Lösungen für bestehende Probleme im Verkehrssektor offerieren. In Anlehnung an die Veröffentlichung von Canzler und Knie aus dem Jahr 2019 sollen sich diese Lösungen nicht nur auf die bestehenden Herausforderungen im privaten Verkehrssektor beschränken, sondern ebenfalls auf den ÖPNV, dessen Probleme kontinuierlich anspruchsvoller werden. So steht heute auch die Herausforderung des steigenden Fahrermangels im Fokus der Verkehrsgesellschaften (Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer, 2018). Zudem müssen neue und wirkungsvolle Mobilitätskonzepte für den ländlichen Raum entwickelt, erprobt und etabliert werden, da der ÖPNV in vielen ländlichen Gebieten Versorgungslücken, trotz bestehender Mobilitätsbedürfnisse, aufweist (BMEL, 2016).

Ein sehr präsent und zukunftsorientiertes Mobilitätskonzept ist das autonome Fahren. Diese Innovation wird die Mobilität elementar verändern und dafür sorgen, dass ein neuer Markt mit neuen Wettbewerbern in dieser Branche entsteht. (Wee, 2017) Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass in diesem Kontext – gemäß der Society of Automotive Engineers – von der vierten bzw. fünften Stufe (siehe [Kapitel 2.1](#)), dem hoch- bzw. vollautomatisierten Fahren, die Rede ist (SAE, 2019).

Mit Blick auf den ÖPNV könnte ein mit Level vier bzw. fünf automatisiertes Mobilitätsangebot einen positiven Beitrag für den Personenverkehr leisten und zu einer Deckung der aktuellen Mobilitätsbedürfnisse beitragen. In Kontext des ÖPNV wird in der Regel nicht von autonomen Fahrzeugen, sondern von Shuttles, Shuttlebussen oder People Movern gesprochen, die ausschließlich im öffentlichen Bereich – nicht im privaten – agieren. Diese besitzen im urbanen Raum das Potenzial, die Anzahl der privaten Pkw maßgeblich zu reduzieren, ohne dabei auf individuelle Mobilitätsbedürfnisse verzichten zu müssen, Emissionen durch eine effizientere Ressourcennutzung einzusparen und die Kosten für den Betrieb von Verkehrsunternehmen maßgeblich zu senken. Darüber hinaus können im ländlichen Raum weitere attraktive Angebote geschaffen und eine weitere Reduktion der privaten Fahrzeuge erzielt werden. (Canzler und Knie, 2019)

Diese Potenziale wurden bereits von dem Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) identifiziert, der ein großes Interesse hat, autonome Shuttles zu testen, um dadurch neuartige Lösungen für die aufgezeigten Herausforderungen zu finden. Bevor erste Shuttles im Regelbetrieb eingesetzt werden können, müssen vorab umfassende Untersuchungen angestellt, Tests durchgeführt und Grundlagenforschung betrieben werden. Aus diesen Überlegungen heraus, wurde das hier beschriebene Forschungsprojekt durch den RMV zusammen mit

der rms, der VGF, der traffiQ, der fahma, der R+V Versicherung, dem HOLM, PwC und der Frankfurt UAS durchgeführt.

Die Frankfurt University of Applied Sciences (Frankfurt UAS) hatte sich bereits im April 2018 mit der Thematik der autonomen Shuttles auseinandergesetzt. Während eines dreitägigen Testbetriebs auf dem Hochschul-Campus konnten Studierende und Interessierte an einer Probefahrt im autonomen Shuttle „CUBE“ des Herstellers Continental teilnehmen. Im Anschluss daran sollten die Fahrgäste an einer kurzen Online-Befragung teilnehmen, um deren Einschätzungen zu erfassen. Die Erfahrungen aus der durchgeführten Umfrage, während des Probebetriebs auf dem Hochschul-Campus, flossen in das hier dargelegte Forschungsprojekt mit ein.

Das primäre Ziel des Projekts „Autonom am Mainkai“ war es, die grundlegende Nutzerakzeptanz autonomer Shuttles zu untersuchen, sowie betriebliche bzw. nutzerbezogene Herausforderungen beim Betrieb autonomer Shuttles zu identifizieren. Hierfür wurden quantitative und qualitative Befragungen durchgeführt. Um weitere Probleme beim Betrieb von autonomen Shuttles im öffentlichen Raum zu erfassen, wurden, aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche, zusätzlich Vor-Ort-Begehungen und leitfadengestützte Interviews mit Projektverantwortlichen anderer Standorte durchgeführt, die ebenfalls autonome Shuttles testen.

In Kapitel zwei werden der Stand der Forschung und Technik dargestellt sowie Informationen zur Rechtsgrundlage gegeben. In Kapitel 3 werden die technischen Rahmenbedingungen des autonomen Shuttles erläutert und das Testprojekt am Mainkai vorgestellt, das von der Frankfurt UAS wissenschaftlich begleitet wurde. Darauf folgt in Kapitel vier die Beschreibung der angewandten Methodik. Im anschließenden Kapitel fünf werden die Ergebnisse der Online-Umfrage, untergliedert nach Themenfeldern, vorgestellt und wichtige Zusammenhänge dargestellt. Nachfolgend werden in Kapitel sechs die Erkenntnisse der Vor-Ort-Begehungen dargelegt. Daneben werden die Ergebnisse aus den Interviews mit den Projektverantwortlichen der besuchten Standorte erläutert. Dazu ergänzend werden die Ergebnisse aus den Interviews mit Operatoren und Verantwortlichen der in Frankfurt am Main eingesetzten Shuttles beschrieben, die im Rahmen einer betreuten Bachelorarbeit durchgeführt wurden. Alle Erkenntnisse fließen im siebten Kapitel in die Erstellung von Empfehlungen mit ein. Abschließend wird in Kapitel acht ein Fazit gezogen sowie ein Ausblick gegeben.

2 Grundlagen

Bevor auf das Pilotprojekt am Mainufer in Frankfurt am Main eingegangen wird, sollen in diesem Kapitel wichtige Grundlagen zum besseren Verständnis dieses Forschungsberichts geschaffen werden. Dafür werden die Themen „Technik“ und „Recht“ sowie der „Forschungsstand“ beleuchtet.

2.1 Stand der Technik

Die autonom fahrenden Kleinbusse werden in der Regel als „Shuttles“ bezeichnet (siehe Abbildung 1). In diesem Forschungsbericht sind Shuttles als Transportmittel definiert, die im ÖPNV eingesetzt werden, um Fahrgäste zu befördern. Bei Shuttles handelt es sich nicht um Fahrzeuge, die auf Privatpersonen zugelassen werden, damit nur sie für sich zum Zielort gelangen.



Abbildung 1: Beispielbild für ein autonomes Shuttle (Navya, 2020)

Im Kontext dieser Shuttles bzw. autonomer Fahrzeuge wird häufig vom Automatisierungsgrad bzw. -level gesprochen. Die Society of Automotive Engineers (SAE) hat fünf Levels bzw. Stufen des autonomen Fahrens definiert, die sich in der Industrie durchgesetzt haben. Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Stufen und damit verbundenen Funktionen, die ein Fahrzeug oder Shuttle im entsprechenden Level erfüllen muss:

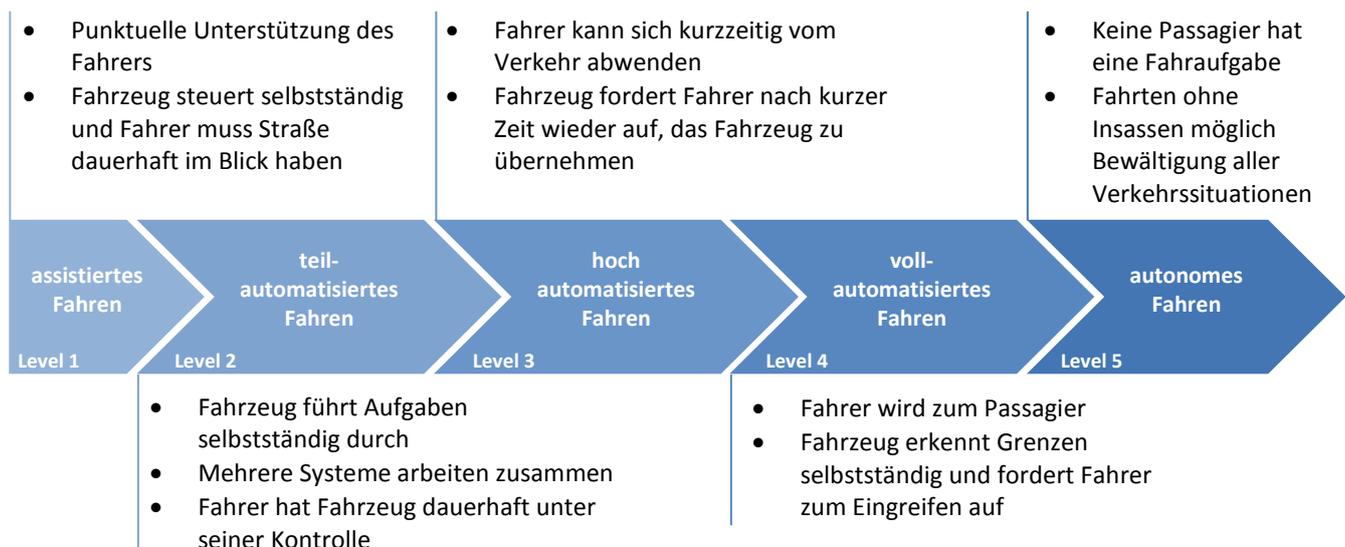


Abbildung 2: Automatisierungslevel nach SAE J3016 (angelehnt an PricewaterhouseCoopers GmbH, 2020)

Abbildung 2 zeigt, dass die letzte Stufe impliziert, dass ein Shuttle dauerhaft und permanent alle Fahreraufgaben übernimmt und ausführt. Dies bezieht ebenfalls die Bewältigung aller Verkehrssituationen mit

ein. Die Shuttles in Frankfurt am Main, und an allen anderen Standorten, besitzen diese Fähigkeiten noch nicht. Sie können derzeit keine Hindernisse umfahren und bleiben bisher an einigen vorab definierten Positionen stehen, an denen die Vorfahrt gewährt werden muss, links abgebogen wird oder andere Verkehrsteilnehmer den Shuttles die Vorfahrt nehmen könnten. Da in den Shuttles in Frankfurt am Main permanent ein Operator anwesend sein muss, um bspw. den Verkehr zu beobachten und einzugreifen, falls notwendig, kann hier lediglich von teilautomatisiertem Fahren – Level zwei – gesprochen werden. Da die Stopps jedoch programmiert sind und die Anwesenheit der Operatoren Pflicht ist, muss darauf hingewiesen werden, dass die Shuttles in der Lage wären, eine Strecke ohne Hindernisse und andere Störfaktoren (Blätter, Tiere, etc.) selbstständig zu fahren – was dem Level drei entspräche. Derzeitige Entwicklungen und Erfahrungen basierend auf den Tests von EasyMile SAS aus dem Jahr 2020 zeigen bereits, dass die Shuttles in Zukunft alle Anforderungen von Level vier erfüllen und, gemäß den Tests von Navya aus dem Jahr 2020, bereits auf abgesperrten Gebieten komplett ohne Operator fahren können.

2.2 Aktuelle Rechtslage

Damit die autonomen Shuttles am Mainufer bzw. im öffentlichen Straßenverkehr fahren dürfen, müssen mehrere Aspekte betrachtet werden. Unter Berücksichtigung der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung (StVZO) muss das Shuttle ordnungsgemäß zugelassen werden. Dementsprechend sind eine Typengenehmigung und eine Einzelgenehmigung notwendig. Die Typengenehmigung bestätigt normalerweise, dass ein gleichartiges Fahrzeug serienmäßig in großer Stückzahl hergestellt wird (Kraftfahrt-Bundesamt, 2020). Da dies bei autonomen Shuttles nicht der Fall ist, muss eine Einzelgenehmigung entsprechend § 21 Abs. 1 StVZO eingeholt werden. Dafür muss ein amtlich anerkannter Sachverständiger das Shuttle prüfen und ein Gutachten erstellen. Weil die Shuttles bspw. weder ein Lenkrad oder einen Fahrersitz besitzen und folglich nicht den Bauvorschriften der StVZO gerecht werden, wird dafür eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 70 StVZO benötigt. Neben diesen Genehmigungen für die Zulassung im öffentlichen Straßenverkehr müssen ebenfalls gewerbe- und berufsrechtliche Fragestellungen beachtet werden. (PricewaterhouseCoopers GmbH, 2020)

Für den Betrieb der Shuttles sind noch weitere rechtliche Grundlagen zu beachten, die die deutsche Bundesregierung bereits 2018 festgelegt hat. In dieser Veröffentlichung zum rechtlichen Rahmen autonomer Shuttles wird vorgeschrieben, dass assistiertes und teilautomatisiertes Fahren – Level eins und zwei – erlaubt sind, da ein Fahrer zum Führen des Fahrzeuges anwesend ist. Weiter fordert die rechtliche Lage, dass zu jeder Zeit ein Fahrer bzw. Operator im Shuttle anwesend sein muss, der bei Aufforderung durch das System oder selbstständig die Fahrkontrolle übernehmen kann. Ergänzend dazu wurde das Wiener Übereinkommen, das bis heute die Grundlage der Verkehrsgesetze in Deutschland darstellt, im März 2016 angepasst und im Juni 2017 der Betrieb eines Kraftfahrzeugs mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen in das Straßenverkehrsgesetz eingefügt und als zulässig eingestuft, wenn die Funktionen bestimmungsgemäß verwendet werden und jederzeit vom Fahrzeugführer überstimmt werden können. (Deutscher Bundestag, 2018)

Folglich wurde bereits die rechtliche Grundlage für autonome Shuttlebusse für den zukünftigen Einsatz gelegt.

2.3 Stand der Forschung

In Deutschland wurden und werden derzeit 46 Forschungsprojekte zum Thema „Autonome Shuttles“ durchgeführt (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V., 2020). In jedem Projekt sollen erste Erfahrungen mit autonomen Shuttles gemacht und die Technik erprobt werden. Daneben ist ebenfalls die Nutzerakzeptanz der Fahrgäste von großem Interesse – vor allem für die Verkehrsverbünde und Betreiber. Zur Erfassung des aktuellen Forschungsstandes und der gesetzten Ziele der verschiedenen Forschungsprojekte wurde eine Vorlage entwickelt, die alle wichtigen Parameter der Projekte berücksichtigt – siehe Anhang A. Durch die erstellten Projektübersichten können alle Forschungsvorhaben hinsichtlich der relevanten Parameter – wie bspw. Projektlaufzeit oder Zugänglichkeit – und den bisherigen Ergebnissen zur Nutzerakzeptanz analysiert werden. Der aktuelle Stand der Forschung zur Nutzerakzeptanz zeigt, dass an allen Standorten ein sehr hohes Akzeptanzniveau vorliegt – siehe Tabelle 1. Darüber hinaus wurde bspw. während den Testphasen in Koppl oder Sitten ein positives Sicherheitsgefühl dokumentiert.

Tabelle 1: Akzeptanzniveau Projekte national und international (eigene Darstellung)

Projektstandort	Nutzerakzeptanz autonomer Shuttles
Bad Birnbach	Hohe Akzeptanz aller Altersgruppen (Deutsche Bahn AG, 2019)
Göthenburg (Schweden)	Sehr hohe Zufriedenheit (UITP, 2020)
Koppl (Österreich)	Hohe Akzeptanz und gutes Sicherheitsgefühl (C. Zankl und K. Rehr, 2017)
Mainz	Hohe Akzeptanz (C. Bernhard et. al, 2019)
Neuhausen (Schweiz)	Hohe Akzeptanz (M. Wicki und T. Bernauer, 2020)
Sitten (Schweiz)	Hohe Akzeptanz; kaum/gar keine Sicherheitsbedenken (Die Schweizerische Post AG, 2017)
Wusterhausen/Dosse	Positive Resonanz und großes Vertrauen (P. Friebel, 2019)

Neben der Nutzerakzeptanz werden in anderen Testfeldern noch weitere Aspekte untersucht (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V., 2020):

- Identifikation einer Markteinführungsstrategie
- Sammlung von Erkenntnissen zum IT-Datenschutz und Sicherheitsproblemstellungen
- Erstellung von rechtssicheren und flexiblen Datenschnittstellen
- Erprobung von automatisierten Shuttles auf der Ersten/Letzten Meile im ländlichen Raum
- Durchführung von Tests mit elektrisch betriebenen Kleinbussen zur Personenbeförderung im nicht-öffentlichen Straßenraum
- Erprobung von Car2X-Technologie für den ÖPNV-Einsatz
- Integration von automatisierten und elektrisch betriebenen Shuttlefahrzeugen in das bestehende ÖV-Angebot

Wie bereits beschrieben, befinden sich derzeit noch weitere Projekte in aktiven Testfeldern. Deshalb wurden hier weitere Ergebnisse bisher noch nicht umfassend veröffentlicht. Weitere Gründe sind, dass nicht alle Testfelder wissenschaftlich begleitet werden oder die Shuttles lediglich auf privaten Firmengeländen eingesetzt werden.

3 Pilotprojekt Frankfurt am Main

Das nördliche Mainufer der Stadt Frankfurt am Main wurde am 30.07.2019, in Form eines 13-monatigen Testlaufs, für den motorisierten Verkehr gesperrt (Stadt Frankfurt am Main, 2019; Frankfurter Neue Presse, 2019). Die Idee zur Sperrung des Mainkais entstand bereits in den 70er Jahren, als das Stadtplanungsamt einen Vorschlag zur Sperrung verschiedener Flächen in Frankfurt für den motorisierten Verkehr vorstellte. Alle vorgeschlagenen Flächen, bis auf das nördliche Mainufer, wurden zu Fußgängerzonen umgestaltet. Die Sperrung des Mainkais stand immer zur Debatte, allerdings führte letztendlich das gewandelte Mobilitätsbewusstsein der Frankfurter Bürgerinnen und Bürger, die zu immer größeren Teilen auf das Fahrrad umgestiegen sind, zu dem Entschluss der Sperrung. (Stillbauer, 2019) Diese sollte bis zu dem jährlich stattfindenden Museumsuferfest im Jahr 2020 beibehalten werden (Stadt Frankfurt am Main, 2019).

Vom 20.09.2019 bis zum 31.07.2020 sollten die beiden automatisierten Shuttlebusse „EASY“ („Electric Autonomous Shuttle for You“) einen Teil der gesperrten Straße für das Pilotprojekt nutzen. Aufgrund der Corona-Pandemie wurde die letzte Fahrt am 17.03.2020 durchgeführt. Bis zu diesem Datum verkehrten insgesamt zwei Shuttles zwischen der Untermainbrücke und der Alten Brücke im gesperrten Bereich des Mainkais. Auf dieser Strecke bedienten die Shuttlebusse täglich zwischen 11.00 Uhr und 17.00 Uhr drei Haltestellen. Fahrgäste konnten zu jeder Zeit an allen drei Haltestellen, ohne vorherige Anmeldung, in eines der Shuttles einsteigen und diese kostenlos testen. Die Teststrecke hatte eine Gesamtlänge von 700 m und ist mit allen Haltestellen in Abbildung 3 dargestellt. (Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH, 2019)

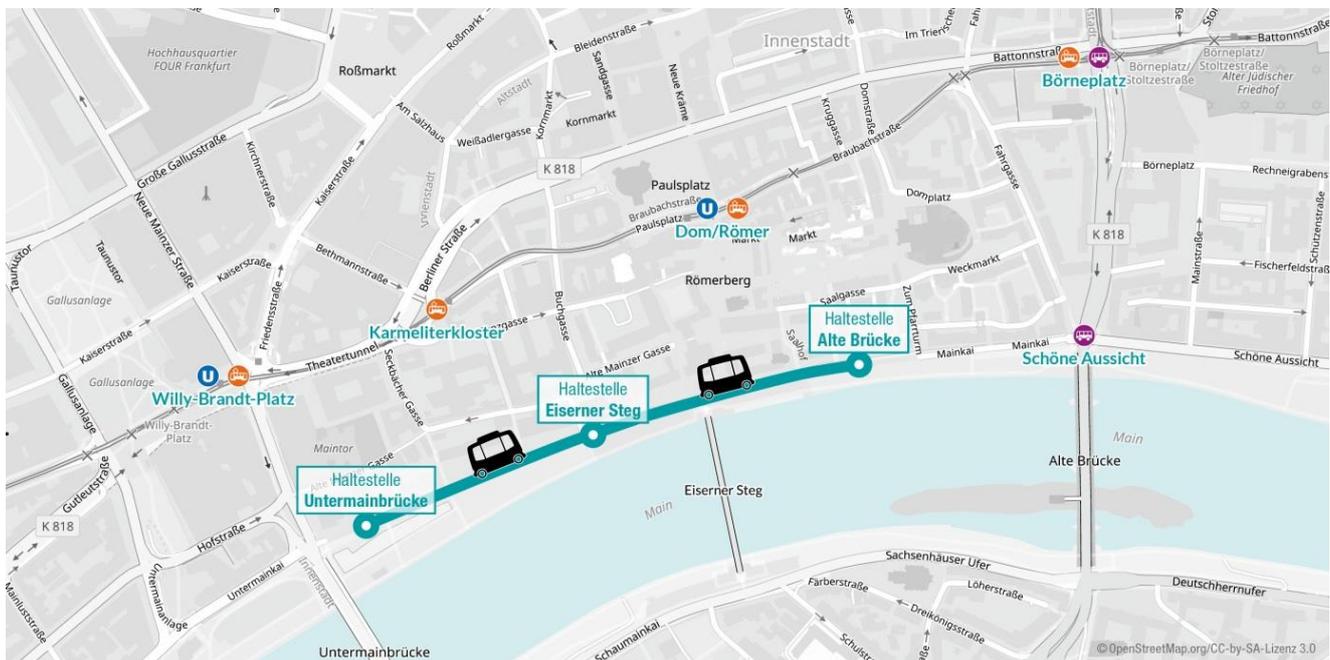


Abbildung 3: Teststrecke für den Einsatz der autonomen Shuttlebusse (Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH, 2019)

Auf der Teststrecke am Mainufer kamen Shuttles des Typs „EZ 10 Gen2“ vom französischen Hersteller EasyMile zum Einsatz, die für den Testbetrieb eine Sondergenehmigung – gemäß [Kapitel 2.2](#) – zur Fahrt auf dieser Strecke erteilt bekommen hatten. Die Fahrzeuge gelten als hochautomatisierte Elektroshuttles und fahren während des Betriebs auf der zuvor einprogrammierten Strecke, mit einer Maximalgeschwindigkeit von 15 km/h. Diese Geschwindigkeit wurde als maximale genehmigt, obwohl die Shuttles technisch bis zu 45 km/h schnell fahren könnten. Für die Shuttles war es nicht möglich, von der vorab eingelesenen Strecke

abzuweichen. Die eingesetzten Shuttlebusse waren sowohl mit Software, welche einen reibungslosen Betrieb gewährleistete, als auch mit Hardware ausgestattet, welche die Sensorik, Kameras und Bremssysteme umfasste. Durch Sensoren an den Shuttles (siehe Abbildung 4) konnten Hindernisse erkannt werden, sodass die Shuttles frühzeitig vor Hindernissen zum Stehen kamen. Wurde im Betrieb ein Hindernis detektiert, hatte der sich an Bord befindende Operator die Möglichkeit einzugreifen, und das Shuttle manuell um das Hindernis zu manövrieren, da technische und rechtliche Vorgaben ein selbstständiges Umfahren der Hindernisse noch nicht ermöglichten bzw. erlaubten.

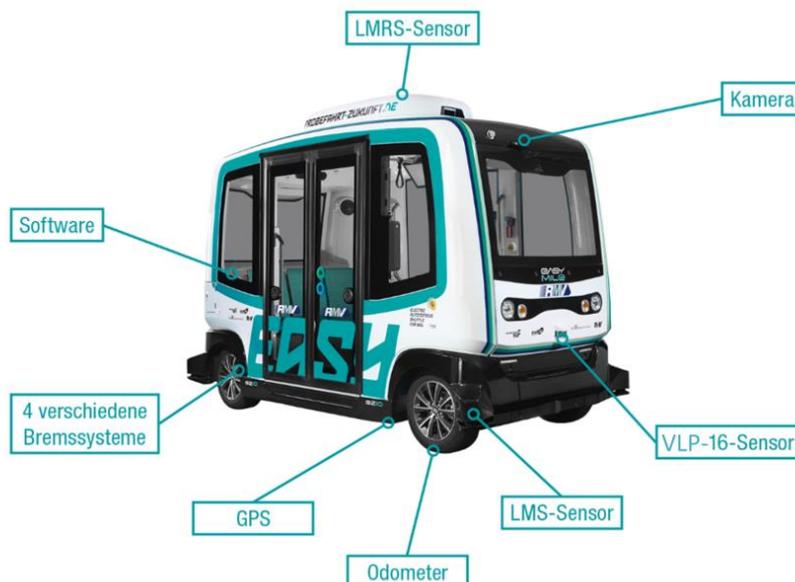


Abbildung 4: Shuttle EZ 10 Gen2 von EasyMile (Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH, 2019)

Die Anwesenheit eines Operators an Bord ist aktuell gesetzlich vorgeschrieben. Neben der Shuttlesteuerung hatte der Operator die Möglichkeit, zu jeder Zeit eine Notbremung durchzuführen, sodass Unfälle verhindert werden können und die Sicherheit an Bord gewährleistet ist. Die EasyMile Shuttles stellen in der aktuellen Ausführung jeweils sechs Sitzplätze bereit. Stehplätze waren in diesem Testfeld für die Shuttlebusse nicht vorgesehen. Zudem war die Mitnahme von Rollstühlen, Fahrrädern oder Kinderwagen in den eingesetzten Shuttles nicht erlaubt – allerdings technisch möglich. (Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH, 2019)

4 Methodik

Um das eingangs beschriebene Primärziel des Forschungsprojektes – Identifikation der Nutzerakzeptanz und der betrieblichen Herausforderungen – zu erreichen, wurde eine umfassende Literaturrecherche angestellt und weitere Standorte, die autonome Shuttles testen, identifiziert. Darüber hinaus wurden eine Online-Umfrage erstellt sowie leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Diese Interviews wurden zum einen zur Erfassung der Betreibersicht der Shuttles in Frankfurt am Main durchgeführt. Sie wurden telefonisch und im Rahmen der betreuten Bachelorarbeit geführt. Zum anderen wurden die Projektverantwortlichen weiterer Standorte, die ebenfalls autonome Shuttles testen, interviewt. Da es sich bei diesen Interviews – mit den Projektverantwortlichen – angeboten hat, ebenfalls die Teststrecken der autonomen Shuttles an den entsprechenden Standorten zu besuchen und die Shuttles zu testen, wurde die ursprünglich geplante Methodik um Vor-Ort-Begehungen erweitert (siehe Abbildung 5).

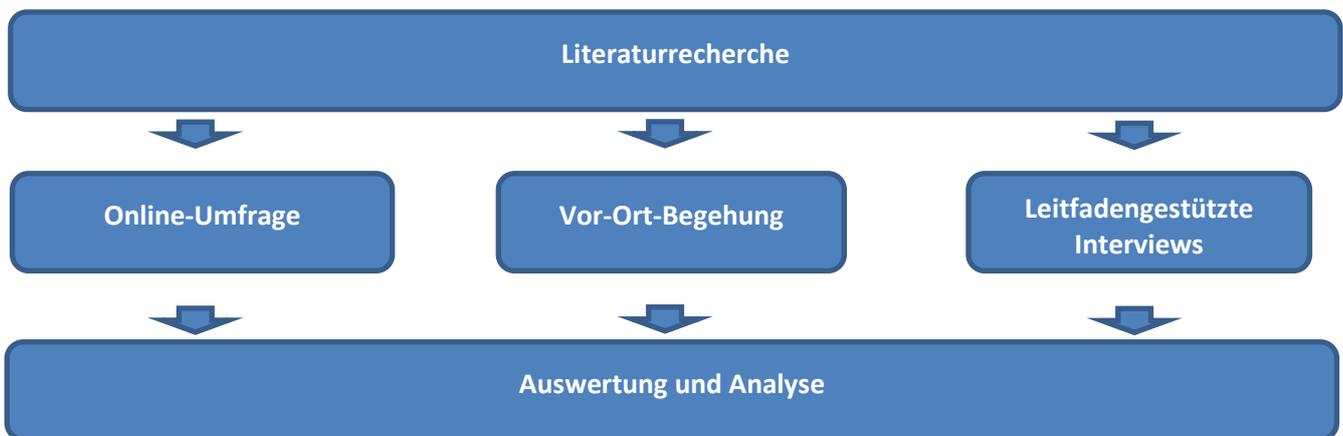


Abbildung 5: Untersuchungskonzept (eigene Darstellung)

Literaturrecherche

Mithilfe einer Literaturrecherche wurden aktuelle Testprojekte autonomer Shuttles recherchiert (siehe [Kapitel 2.3](#)). Sie diente der Datengenerierung von existierenden Informationen über bisherige Erfahrungen mit autonomen Shuttles. Für die Recherche wurde Literatur der Bibliothek der Frankfurt UAS, Google Scholar sowie die Informationen aus aktuellen Fachzeitschriften verwendet. Der Literaturrecherche folgte eine Charakterisierung der ermittelten Teststandorte. So konnten bereits vorab Gemeinsamkeiten und Unterschiede identifiziert werden.

Quantitative Befragung

Zur Erfassung der Akzeptanz der Fahrgäste beider autonomer Shuttles am Mainufer in Frankfurt, wurde eine Online-Umfrage (n=449) entwickelt. Die Fahrgäste hatten die Möglichkeit, über in den Shuttles angebrachte QR-Codes, auf die Umfrage zuzugreifen. Darüber hinaus wurden durch studentische Hilfskräfte an einigen Wochenendtagen Visitenkarten an Fahrgäste verteilt. Die Karten waren mit dem QR-Code sowie dem Link zur Umfrage bedruckt, und wurden an allen begleiteten Teststandorten – Mainufer, Frankfurt Messe und Helios Klinik Wiesbaden – verteilt (siehe Kapitel 5). Parallel zur Verteilung wurde durch einen Aufruf auf der Projekt-Website zur Teilnahme an der Umfrage aufmerksam gemacht. Um den Fahrgästen diese Vielfalt an Teilnahmemöglichkeiten offerieren zu können, wurde das Befragungskonzept einer Online-Umfrage selektiert.

Damit die befragten Personen über die Zielsetzung der Umfrage und über die durchführende Institution informiert sind, wurde ein entsprechender Einleitungstext ergänzt. Für die Erfüllung der Datenschutzbestimmungen wurde auf eine vertrauliche und anonyme Behandlung der Daten hingewiesen. Aufgrund der geographischen Lage und Nähe zu Sehenswürdigkeiten in Frankfurt am Main, wurde die Umfrage ebenfalls in englischer Sprache angeboten.

Für die quantitative Online-Befragung wurde zu Beginn das Untersuchungsziel definiert:

- Wie groß ist die Nutzerakzeptanz der Fahrgäste gegenüber autonomen Shuttles?

Um alle Ursachen für getroffene Bewertungen der Fahrgäste korrekt erfassen zu können und um Missverständnissen entgegenzuwirken, wurden ein eigenes Design entwickelt und ein klarer Aufbau bzw. eine Unterteilung gewählt. Da zudem mehrere Themenfelder und Merkmale mit dem Konzept autonome Shuttles verbunden sind, und zugleich Einfluss auf die Nutzerakzeptanz nehmen könnten, wurden mehrere Bereiche abgefragt. Es wurde eine Unterteilung in die folgenden Bereiche vorgenommen und die damit verbundenen Merkmale untersucht:

- Mitfahrt (Sicherheitsempfinden, Geschwindigkeit, Mitfahrt ohne Operator, Erscheinungsbild, etc.)
- Allgemeiner Standpunkt gegenüber autonomen Fahrzeugen

Für die optimale Beantwortung aller erstellten Fragen, wurden sowohl offene als auch geschlossene Fragen verwendet, damit die Fahrgäste auch eigene Antworten formulieren konnten (Fühles-Ubach, 2013). Da bei diesem neuen Mobilitätskonzept die persönliche Einstellung der Befragten festgehalten wurde, sind bei einigen Fragen Skalierungen (Likert-Skala) verwendet worden, um die Zustimmung bzw. Ablehnung messen zu können. Falls eine negative Meinung kund gegeben oder generell Kritik geübt wurde, sind die jeweiligen Person direkt gebeten worden, den Grund für diese Bewertung anzugeben. Um ebenfalls die Meinung von Fahrgästen zu erfassen, die lediglich positive Urteile abgaben, wurde eine separate Frage für Anregungen und Kritik integriert. Alle Hinweise und jegliches Feedback der Fahrgäste wurden direkt in Kapitel 5 bei der zugehörigen Frage festgehalten.

Um eine möglichst geringe Abbruchrate zu erhalten, führte eine Nichtbeantwortung einer Frage automatisch zur nächsten und nicht zum Abbruch der gesamten Umfrage, sodass bereits ausgefüllte Fragen trotzdem erfasst werden konnten.

Vor-Ort-Begehung und leitfadengestützte Interviews

Als Ergänzung zur quantitativen Datenerhebung wurden leitfadengestützte Interviews mit Projektverantwortlichen der Standorte Berlin, Enge Sande, Lauenburg, Monheim am Rhein und Wusterhausen/Dosse durchgeführt, um weitere Informationen zur Nutzerakzeptanz und die damit verbundenen betrieblichen Herausforderungen festzuhalten. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte anhand von Rahmenbedingungen – wie Laufzeit, Zugänglichkeit und dem Standort – der anderen Pilotprojekte. Teilweise waren die Shuttles nicht für die Öffentlichkeit zugänglich, wurden ausschließlich auf privatem Gelände genutzt oder befanden sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Entwicklung und wurden bisher nicht auf der Straße getestet, sodass noch keine Ergebnisse zur Nutzerakzeptanz vorlagen. Während der Auswahl geeigneter Interviewpartner, wurde durch das Testfeld in Frankfurt ersichtlich, dass betriebliche

Herausforderungen von weiteren Aspekten abhängig sind, die nur durch eine Vor-Ort-Begehung und Testfahrt erfasst werden können. Aus diesem Grund wurde die Methodik angepasst und um Vor-Ort-Begehungen erweitert.

Für die Vor-Ort-Begehungen sowie Mitfahrten wurde der bestehende Interview-Leitfaden ergänzt, der analog der Online-Umfrage in verschiedene Themenbereiche gegliedert wurde – siehe [Kapitel 6](#). Im Anschluss wurden die qualitativen Interviews mit den Projektverantwortlichen bzw. –mitarbeitern geführt. Mit Hilfe des im Vorfeld angefertigten Fragenkatalogs war hier das Ziel, Herausforderungen im Betrieb und mit den Fahrgästen sowie Informationen zur Nutzerakzeptanz herauszufinden. Die Fragen waren offen gestaltet, da so auch Aspekte erfasst werden konnten, die vorher noch nicht betrachtet wurden.

Der Grund für den Besuch der bereits genannten Standorte sind erfüllte Projektmerkmale, die in den eigens erstellten Projektsteckbriefen (siehe Tabelle 6 bis Tabelle 10) entsprechend der Vorlage (siehe Tabelle 5 in Anhang A) festgehalten wurden. Dabei entsprechen diese Standorte wichtigen Merkmalen wie Lage, Zugänglichkeit, Streckenlänge und Fahrgeschwindigkeit, wodurch sie vergleichbar waren mit dem Testfeld am Mainufer in Frankfurt. Da einige Forschungsprojekte noch nicht beendet sind, wurden im Folgenden nur anonymisierte Aussagen dargestellt. Dies hat keine Auswirkung auf die Erkenntnisse bzw. Aussagekraft, da die Ergebnisse für alle aktuellen und zukünftigen Standorte gleichermaßen zutreffen und standortunabhängig gelten.

Parallel dazu wurden in einer Bachelorarbeit leitfadengestützte Interviews zur Erfassung der Betreibersicht geführt – siehe Anhang B. In Form von Telefoninterviews wurden fünf Operatoren (Arman Busch, Alex Feil, Carsten Löher, Danial Sheik und Piyaporn Soismut), der VGF-Betriebsleiter und Leiter des Projekts (Markus Menzel) sowie der Chief Operator und Ausbilder der Operatoren (Klaus Peter Düwel) der Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main befragt. So wurde sichergestellt, dass sowohl die praktischen Erfahrungen der Operatoren als auch die Sicht der Betriebsleitung in Erfahrung gebracht werden. Da sicherheitsrelevante Probleme außerhalb wie innerhalb der Shuttles von großer Bedeutung sind für weitere Einsatz- bzw. Testfelder, war es das Ziel, in den Interviews zu treffende Maßnahmen aus Sicht der Betreiber zu erfassen. Darüber sollte erfasst werden, wie sich die Operatoren selbst während der Fahrt gefühlt haben und welche Gefahrenpunkte von ihnen identifiziert wurden.

Methodenkritik

Bei der Betrachtung der durchgeführten Methodik zur Erfassung der Nutzerakzeptanz und der betrieblichen Herausforderungen, lässt sich rückblickend festhalten, dass die Teilnahme unter den gegebenen Testfeldbedingungen bei der Online-Umfrage besonders stark an Wochenenden und bei warmem sowie sonnigem Wetter bei Temperaturen über 20 °C war. Die Auswertung der Befragungsteilnehmer zeigt, dass weniger ältere Personen an der Umfrage teilgenommen haben. Zur Erlangung einer gleichmäßiger verteilten Stichprobe könnten zusätzlich Fragenkataloge gedruckt oder die Umfrage mit separatem Erhebungspersonal vor Ort durchgeführt und direkt in das System eingepflegt werden. Diese Anpassung würde zusätzlich deutlich die Anzahl an Befragungsteilnehmern erhöhen, ist jedoch mit hohem personellem Aufwand verbunden.

5 Ergebnisse der Befragung der Nutzenden

Im Rahmen des Testbetriebs am Mainkai konnten 449 Fahrgäste mithilfe einer Online-Befragung zu ihrer Meinung und Einschätzung zum Thema „Autonomes Shuttle“ befragt werden. Da im Fragebogen Fragen übersprungen werden konnten, variiert die Stichprobe „n“ bei den einzelnen Ergebnissen, die in den nächsten Unterkapiteln dargestellt sind. Die Fragen wurden entweder als Single-/Multiple-Choice-Fragen gestellt oder gaben die Möglichkeit, auf einer Bewertungsskala eine Bewertung abzugeben sowie eigene Meinungen festzuhalten oder Bewertungen zu begründen.

Vom 26.11.2019 bis 28.11.2019 konnte außerdem ein Shuttle des Mainufers, im Rahmen der Hypermotion-Messe auf dem Frankfurter Messegelände, und vom 11.02.2020 bis 29.02.2020 ein Shuttle in Wiesbaden auf dem Gelände der Helios HSK, getestet werden. Um weitere Erkenntnisse zu sammeln, konnten die Fahrgäste an beiden Standorten ebenfalls an der Umfrage teilnehmen. Insgesamt führten 15 Fahrgäste während der Hypermotion und 19 Fahrgäste in Wiesbaden die Online-Umfrage durch. Es kann bereits vorweg genommen werden, dass alle Fragen nahezu identisch beantwortet wurden und die Verteilung der Befragungsteilnehmer, die im nächsten Kapitel beschrieben wird, gleichermaßen ausgefallen ist.

Befragungsteilnehmer

Das größte Cluster der befragten Personengruppe machten die 20 bis 35-jährigen aus. Diese stellten 48,2 % der Stichprobe dar. Zudem war der größte Anteil der Stichprobe männlich (67,2 %). 30,3 Prozent der befragten Personen gaben an, weiblich zu sein. Die genauere Untersuchung des Genders zeigt, dass ein signifikanter Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Fahrgästen vorliegt – siehe Tabelle 11 in Anhang C. Die Mehrzahl aller Befragten befand sich zum Zeitpunkt der Befragung in einem Angestelltenverhältnis in Vollzeit (50,9 %) (siehe Tabelle 13). Der nächstgrößere Anteil der Befragten waren Studierende mit 22,9 Prozent. Da diese Umfrage von interessierten Nutzerinnen und Nutzern der Shuttles ausgefüllt wurden, ist diese Stichprobe nicht repräsentativ in Bezug auf die Merkmale Geschlecht und Alter der Bevölkerung in deutschen Großstädten, was jedoch keinen Einfluss auf die Aussagekraft der Ergebnisse nimmt.

Fast alle Probanden (82,3 %) nahmen an der Online-Befragung in Folge einer Mitfahrt im autonomen Shuttle am Mainufer in Frankfurt teil. Weitere 14,3 Prozent schlossen die Befragung ab, ohne bereits in einem autonomen Shuttle mitgefahren zu sein.

Zusätzliche Ergebnisse von χ^2 -Tests, die den Zusammenhang einer Shuttlenutzung zur Altersklasse und zur Erwerbstätigkeit darstellen, zeigen, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Altersklasse und Shuttlenutzung vorliegt (Anhang D und E). Die meisten Mitfahrten hat die Altersklasse „20-35“, und die wenigsten hat die Altersklasse „>65“ absolviert.

Zudem wurde der Zusammenhang zwischen dem Grad der Erwerbstätigkeit und der Shuttlenutzung untersucht. Da hier die Ergebnisse kein klares Ergebnis zeigen, kann gesagt werden, dass die Shuttlenutzung lediglich von der Erwerbstätigkeit unabhängig ist und kein signifikanter Zusammenhang existiert (siehe Tabelle 13).

Die Probanden, die bereits in einem autonomen Shuttle mitgefahren sind, gaben zu 94,2 % an aus Neugier mitgefahren zu sein. Zehn Prozent (Mehrfachauswahl möglich) der Probanden sind in dem autonomen Shuttle mitgefahren, um die gewünschte Zielhaltestelle zu erreichen. Darüber hinaus hatten die Fahrgäste die Möglichkeit eigene Antworten zu ergänzen. Die Antworten – wie bspw. „Interesse am autonomen Fahren“ oder „Interesse am autonomen Nahverkehr“ – bestätigen das eindeutige Ergebnis von 94,2 %.

Sicherheitsgefühl

In Abbildung 6 ist die empfundene Sicherheit bei der Fahrt im autonomen Shuttle dargestellt.

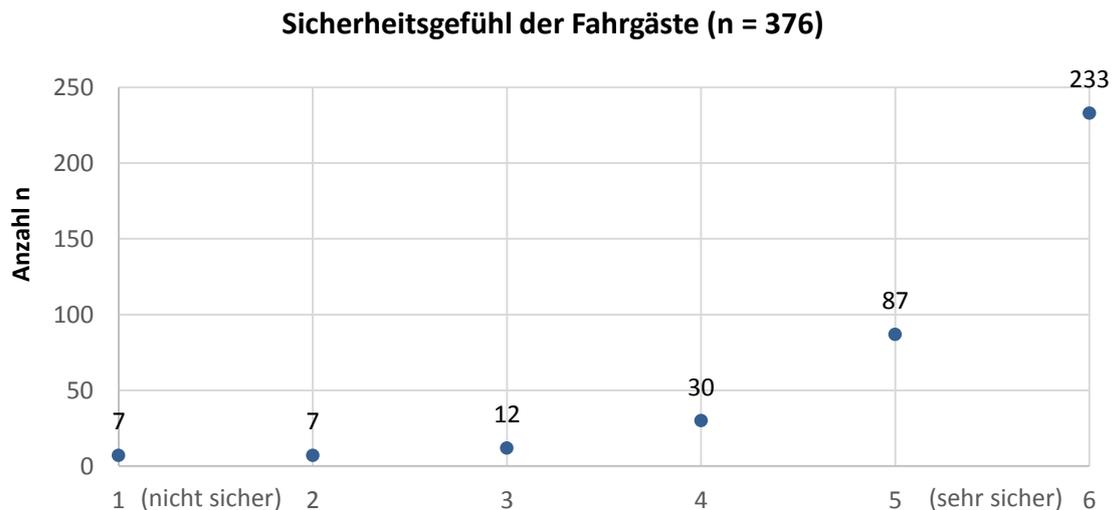


Abbildung 6: Sicherheitsgefühl der Fahrgäste (eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass sich die Mehrheit der Befragten (61,8 %) bei der Mitfahrt im autonomen Shuttle sehr sicher gefühlt und die höchste Bewertung abgegeben haben. Insgesamt hatten 92,8 % der Fahrgäste ein positives Sicherheitsgefühl, was durch den Mittelwert von 5,35 und einen unfallfreien Probetrieb bestätigt wird. Insgesamt bewerteten sieben der befragten Personen (1,9 %) die empfundene Sicherheit im Shuttle als nicht sicher und vergaben die Bewertung „1“. Ein negatives Sicherheitserlebnis hatten 26 Personen (6,9 %) der Fahrgäste. Alle diese Befragten wurden bei einer Bewertung, die einem kleineren Wert als „4“ entsprach, anschließend über die Gründe für deren Urteil befragt. Dabei ist das Gefühl der Unsicherheit bei den zutreffenden Probanden größtenteils auf die folgenden Gründe zurückzuführen: 1.) unvorhergesehene Notbremsungen und damit verbundene Stürze, 2.) nicht vorhandene Sicherheitsgurte, 3.) eine zu geringe Anzahl an Haltegriffen, 4.) das Fahren auf der falschen Straßenseite, 5.) das defensive Fahrverhalten, 6.) unsicheres Fahrgefühl bei Fußgängern in der Nähe des Shuttles und 7.) die fehlende Barrierefreiheit.

Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen der Bewertung des Sicherheitsgefühls und dem Geschlecht lässt sich festhalten, dass das Sicherheitsgefühl nicht signifikant vom Geschlecht des Befragungsteilnehmers abhängt (siehe Tabelle 14). Im Mittel unterscheidet sich folglich das Sicherheitsgefühl zwischen den Geschlechtern nicht.

Analog lässt sich sagen, dass das Sicherheitsgefühl ebenfalls nicht signifikant vom Alter (siehe Tabelle 15) oder der Erwerbstätigkeit abhängt (siehe Tabelle 16).

Fahren ohne Operator

Des Weiteren wurden die Fahrgäste dazu befragt, ob sie ohne das Beisein von Fahrpersonal in einem autonomen Shuttle mitgefahren wären. Die Ergebnisse werden in Abbildung 7 dargestellt.

Anteil Mitfahrten ohne Fahrpersonal (n=377)



Abbildung 7: Anteil Mitfahrten ohne Fahrpersonal (eigene Darstellung)

Die deutliche Mehrheit aller Befragten (94 %) wäre trotz fehlendem Operator an Bord in einem autonomen Shuttle mitgefahren. Alle Befragten gaben eine Antwort bei dieser Frage. Eine Anzahl von 22 Probanden (6 %) würden aufgrund von fehlendem Fahrpersonal nicht mitfahren. Die Hauptgründe hierfür waren 1.) die Befürchtung ein zu hohes Risiko einzugehen, 2.) das Gefühl von fehlender Sicherheit und Kontrolle, 3.) fehlendes Vertrauen in die Technik, 4.) Unwissenheit über die angewandte Technik, 5.) Angst vor Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmern, wie Radfahrende oder zu Fußgehende sowie 6.) Unklarheit der Verantwortung bei Unfallsituationen.

Wird die Signifikanz in Bezug auf das Sicherheitsempfinden untersucht, lässt sich eindeutig festhalten, dass die Personen, die ohne Fahrpersonal eingestiegen wären, im Mittel ein höheres Sicherheitsempfinden haben als die Personen, die nicht mitgefahren wären – und zwar ein signifikant höheres Sicherheitsempfinden (siehe Tabelle 17). Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da Personen, die sich während der Mitfahrt in einem autonomen Shuttle sicher gefühlt haben, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auch keine Bedenken gegenüber einer Mitfahrt ohne Anwesenheit eines Operators hätten und ebenfalls einsteigen würden.

Eine weitere signifikante Korrelation liegt in Bezug auf die Variable „Altersklasse“ vor. Darüber hinaus wurde ersichtlich, dass die prozentuale Verteilung der Mitfahrten sehr ausgeglichen ist und die Shuttles von allen Altersklassen ohne Operator genutzt werden würden (siehe Tabelle 18).

Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr

Weiterhin wurden die Probanden dazu befragt, ob sie die selbstfahrenden Shuttles im regulären öffentlichen Straßenverkehr nutzen würden. Die Ergebnisse werden in Abbildung 8 veranschaulicht.

Nutzung im Straßenverkehr (n = 372)

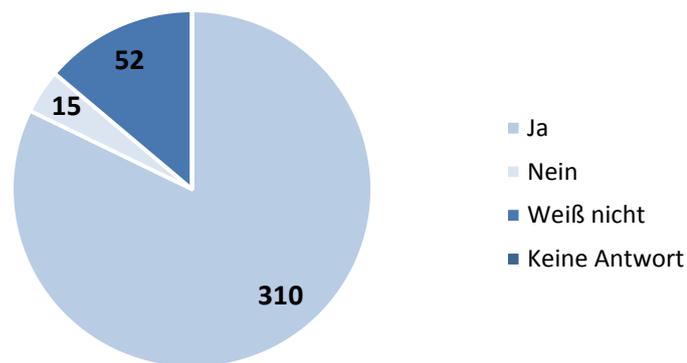


Abbildung 8: Nutzung im Straßenverkehr (eigene Darstellung)

Das Antwortverhalten zeigt, dass der größte Teil der Befragten (82 %) angab, die selbstfahrenden Shuttles auch im regulären öffentlichen Straßenverkehr nutzen zu wollen. Insgesamt verneinten 15 der befragten Personen (4 %) eine Nutzung. Bei dieser Frage ist zu beachten, dass 48 weitere Personen (14 %) sich nicht sicher sind, ob sie das Angebot im öffentlichen Verkehr nutzen würden. Analog zu allen Fragen, wurden hier ebenfalls die Gründe für die Verneinung abgefragt. Der Verzicht auf die Nutzung der Shuttle im öffentlichen Straßenverkehr wird vor allem durch 1.) bisher nicht ausgereifte Systeme, 2.) die geringe Geschwindigkeit, 3.) den Wegfall von Arbeitsplätzen und 4.) das Fehlen einer persönlichen bzw. menschlichen Komponente bei der Mitfahrt begründet.

Wird die Signifikanz der beiden Variablen „Altersklasse“ und „Nutzung der Shuttles im öffentlichen Straßenverkehr“ untersucht, zeigt sich, dass eine signifikante Korrelation vorliegt (siehe Tabelle 19). Wie im vorherigen Kapitel ist zu sehen, dass die Nutzung der Shuttles im öffentlichen Verkehr über alle Altersklassen hinweg positiv ist.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass eine mögliche Nutzung der Shuttles im öffentlichen Straßenverkehr nicht von der Erwerbstätigkeit abhängt und somit das Einkommen oder der berufliche Status nicht für die Nutzung der Shuttles ausschlaggebend und ein mögliches Mobilitätskonzept für jeden ist. Es liegt in diesem Fall kein signifikanter Zusammenhang vor (siehe Tabelle 20, siehe Tabelle 21).

Wie bei einigen anderen Fragen besteht hier ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer potenziellen Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr und einer allgemeinen Einstellung gegenüber Fahrzeugen, die autonom fahren können. Von 315 Personen, die sich eine Nutzung vorstellen können, haben 306 (97,1 %) einen positiven Standpunkt gegenüber autonomen Fahrzeugen, was auch in dieser Konstellation aufgrund der positiven Einstellung nicht überraschend ist.

Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr

Des Weiteren wurden die Probanden zu ihrer Meinung bezüglich der Einführung von autonomen Fahrzeugen in den öffentlichen Straßenverkehr befragt. Die Ergebnisse sind der Abbildung 9 zu entnehmen.

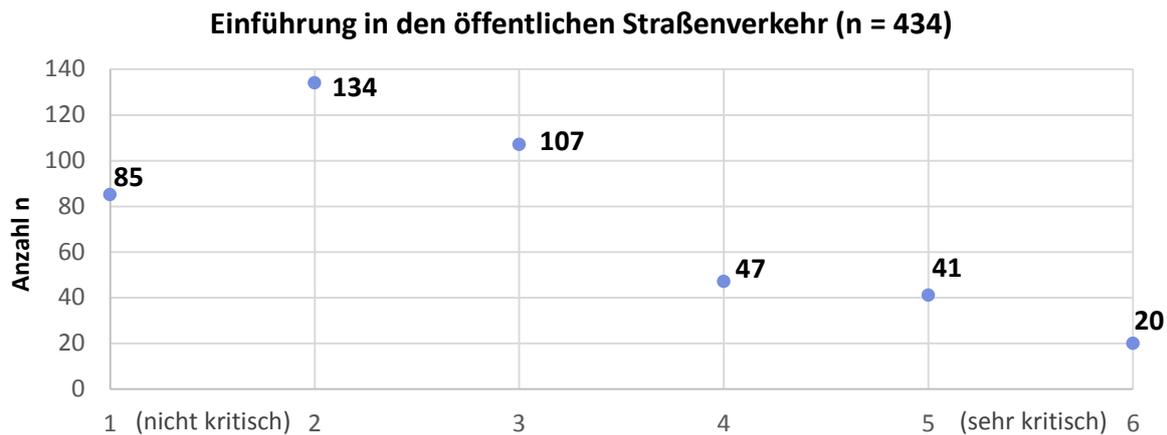


Abbildung 9: Einführung in den öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung)

Es ist zu erkennen, dass der Großteil (74 %) der Befragten einer Einführung von autonomen Shuttles in den öffentlichen Straßenverkehr positiv gegenübersteht. Dabei erzielte die Bewertungsstufe „2“ den höchsten Anteil aller Antwortmöglichkeiten. Der Anteil an kritischen Bewertungen betrug über 26 Prozent. Die Gründe sind 1.) das fehlende Sicherheitsgefühl, 2.) die zu geringe Geschwindigkeit, 3.) die Angst vor höherem Staupotenzial durch die Einführung von autonomen Shuttles und 4.) die Angst vor Manipulationsmöglichkeiten der Fahrzeuge. Diese Aspekte können ebenfalls zu einem großen Teil darauf zurückzuführen sein, dass bisher kaum Erfahrungen mit autonomen Shuttles vorliegen und die Probanden daher Schwierigkeiten haben, diese Frage zu beurteilen.

Wird diese Frage in Korrelation zur vorherigen „Nutzung der selbstfahrenden Shuttles im regulären öffentlichen Straßenverkehr“ gebracht, muss darauf hingewiesen werden, dass trotz einer hohen Nutzungsquote von über 82 Prozent gleichzeitig eine kritische Ansicht zur Einführung autonomer Fahrzeuge möglich ist. Dies bedeutet, dass Fahrgäste, die ein autonomes Shuttle im öffentlichen Angebot nutzen würden, trotzdem eine aktuelle Einführung von autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Personenverkehr als nicht möglich ansehen. Dieses Ergebnis kann zu einem großen Teil auf die genannten Anmerkungen zurückgeführt werden und zudem besteht generell bei vielen Fahrgästen ein noch nicht ausreichend ausgeprägtes Vertrauen gegenüber der Zuverlässigkeit der Technologien. Der Mittelwert von 2,77 bestätigt dieses Ergebnis und zeigt das damit verbundene fehlende alltägliche Verwenden bzw. die Zugänglichkeit zu diesem Mobilitätskonzept.

Um dieses Ergebnis weiter zu untersuchen, wurde ein weiterer t-Test durchgeführt. Dieser überprüft den Zusammenhang zwischen der Haltung der Befragten gegenüber einer Einführung von autonomen Fahrzeugen in den öffentlichen Straßenverkehr und, ob die Person bereits in einem Shuttle mitgefahren ist. Auch in diesem Fall liegt kein signifikanter Unterschied vor (siehe Tabelle 22).

Wird ergänzend dazu die Variable „Sicherheitsempfinden“ verglichen, lässt sich eine Abhängigkeit identifizieren. Dabei ist zu sehen, dass ein signifikanter Zusammenhang der beiden Variablen vorliegt und diese stark korrelieren. Das bedeutet, dass Personen, die sich während der Fahrt in einem autonomen Shuttle nicht sicher gefühlt haben, autonomen Fahrzeugen kritisch gegenüberstehen. Dies verdeutlichen die hervorgehobenen Zahlenwerte in Tabelle 23. Über 85,9 % aller nicht kritischen Fahrgäste haben sich sehr sicher gefühlt. Dieses Ergebnis repräsentiert eine weitere wichtige Erkenntnis, die nachvollziehbar ist, aber die

Wichtigkeit weiterer Testfelder autonomer Shuttles unterstreicht, damit kritische Personen eine Routine und Vertrauen gegenüber diesen Fahrzeugen aufbauen können.

Fahrerlebnis

Zusätzlich wurden die Fahrgäste zu ihrem Fahrerlebnis in Bezug auf die folgenden Kategorien befragt: 1.) Ein und Ausstieg, 2.) Motorgeräusche, 3.) Fahrgeschwindigkeit, 4.) Streckenlänge, 5.) Umweltbeitrag, 6.) Sitzplatzangebot und 7.) Raumangebot. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 aufgeführt und die dargestellten Balken zeigen an, welche Bewertungswerte die höchsten Anzahlen an Selektionen erhalten haben.

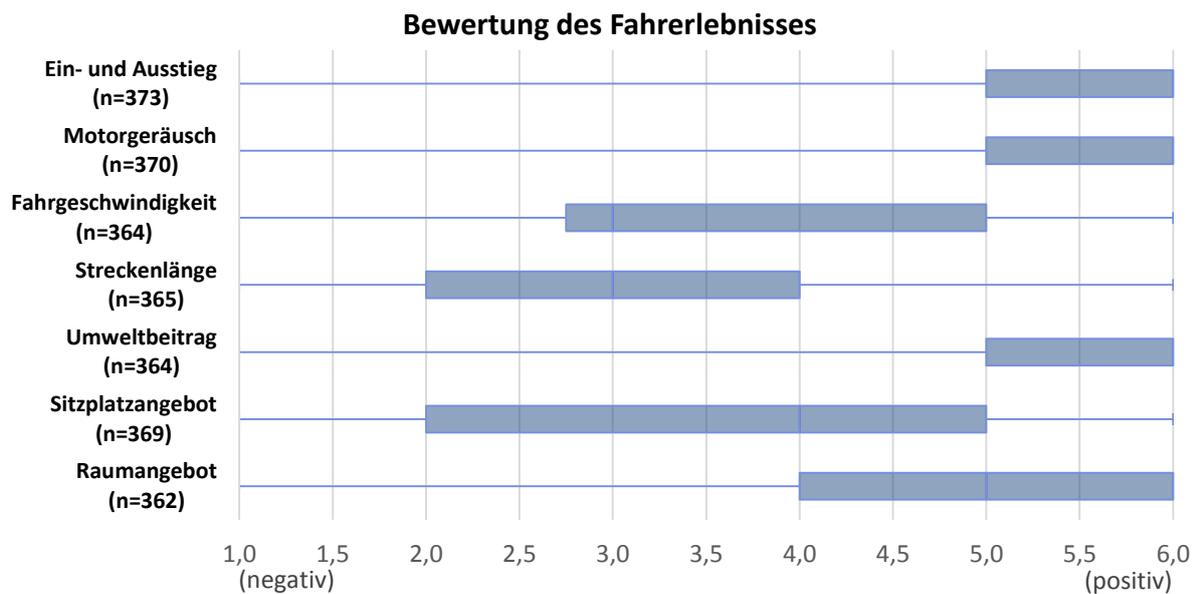


Abbildung 10: Bewertung des Fahrerlebnisses (eigene Darstellung)

Aus der Bewertung des Fahrerlebnisses durch die Fahrgäste ist ersichtlich, dass die Mehrheit der Befragten den Ein- und Ausstieg, die geringen Motorgeräusche und den Umweltbeitrag als positiv ansehen. Die Kategorien Fahrgeschwindigkeit, Streckenlänge, Sitzplatzangebot und Raumangebot hingegen werden schlechter bewertet, weisen jedoch trotzdem noch ein durchschnittliches Ergebnis auf. Anmerkungen zur geringen Fahrzeuggeschwindigkeit sind darauf zurückzuführen, dass andere öffentliche Verkehrsmittel mit deutlich höheren Geschwindigkeiten fahren. Die Geschwindigkeiten aller im Probetrieb befindlichen Shuttles sind deutschlandweit nicht höher als 18-20 km/h und deren Höchstgeschwindigkeiten werden von den Zulassungsbehörden derzeit noch stark limitiert, da bis heute wenig Erfahrungen mit den Shuttles im Straßenverkehr gemacht werden konnten (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V., 2020). Die Streckenlänge ist im Rahmen der Sperrung des Mainufers vorgegeben ebenso wie das Sitzplatzangebot. Welche Sitzplatzkapazität sinnvoll ist, muss in Zukunft weiter durch Tests untersucht werden und ist stark abhängig von den zukünftigen Einsatzgebieten der Shuttlebusse. Es ist jedoch klar zu erkennen, dass diese Eigenschaft subjektiv sehr unterschiedlich eingeschätzt wird. Dies bestätigt die größte Varianz von 2,36 und die Breite des Balkens, was auch bei den ähnlich subjektiven Fragen (Fahrgeschwindigkeit, Raumangebot) erkennbar ist. Zur weiteren Analyse des Sitzplatzangebots wurde überprüft, ob hier eine Interdependenz zum

aktuellen Standpunkt gegenüber autonomen Fahrzeugen besteht. Dabei ist zu sehen, dass Personen mit einem positiven Standpunkt das Sitzplatzangebot eher als positiv bewertet haben (siehe Tabelle 24).

Erscheinungsbild

Zudem wurden die Fahrgäste zum äußeren und inneren Erscheinungsbild des autonomen Shuttles befragt. Die Ergebnisse zu dieser Kategorie sind der Abbildung 11 zu entnehmen.

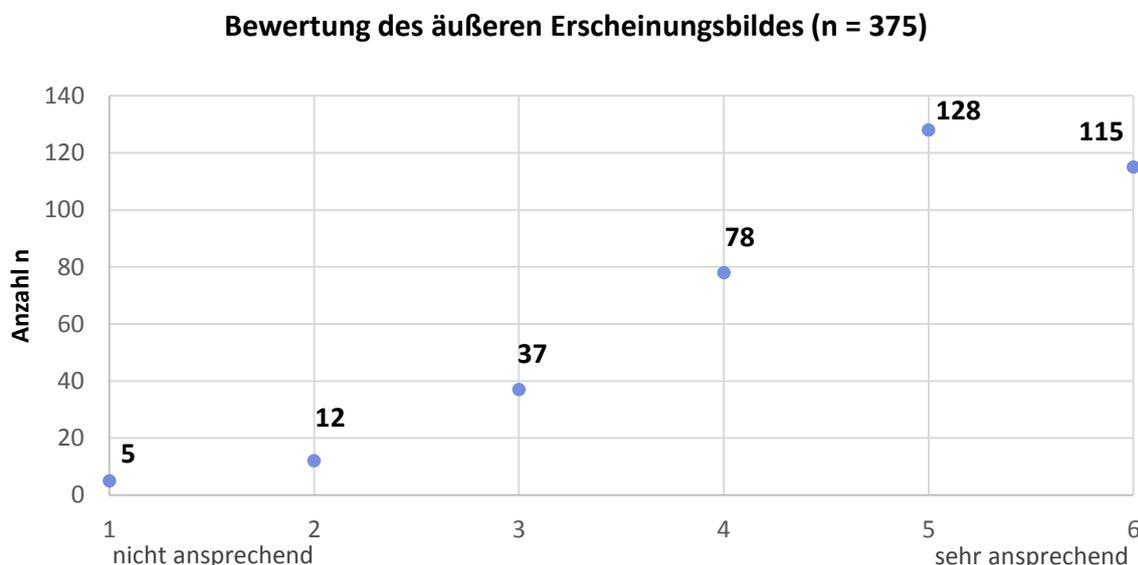


Abbildung 11: Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes (eigene Darstellung)

Aus der Bewertung ist ersichtlich, dass der Großteil der Befragten (86 %) das äußere Erscheinungsbild des autonom fahrenden Shuttles EASY als ansprechend empfindet. Die Anmerkungen der Fahrgäste, die eine Bewertung unter dem Wert „4“ angaben, kritisierten 1.) die farbliche Gestaltung des Fahrzeugs, 2.) die äußere Form des Fahrzeugs und 3.) die Größe des Fahrzeugs.

Das Ergebnis zur Befragung der Gestaltung des Innenraums ergab ein vergleichbares Ergebnis. Ebenso sind die Anmerkungen sehr ähnlich und beziehen sich auf 1.) die farbliche Gestaltung des Innenraums, 2.) das Design der Stühle und 3.) den Stauraum für Gepäck. Beide Ergebnisse und Anmerkungen beruhen auf subjektiven Einschätzungen. Um dieses Ergebnis weiter zu analysieren, wurde ein t-Test durchgeführt. Dieser überprüft den Zusammenhang zwischen der Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes und dem Geschlecht. Dabei wurde festgestellt, dass kein signifikanter Unterschied vorliegt und somit die Bewertung des Erscheinungsbildes unabhängig vom Geschlecht ist (siehe Tabelle 25). Dieses Ergebnis gilt analog für die Bewertung des inneren Erscheinungsbildes.

Wird ergänzend dazu die Variable „Aktueller Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen“ verglichen, lässt sich eine neue Abhängigkeit identifizieren. Das Ergebnis ist, dass ein signifikanter Zusammenhang der beiden Variablen vorliegt und diese stark korrelieren (siehe Tabelle 26). Dies bedeutet, dass Personen, die einen positiven Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen haben, das äußere Erscheinungsbild eher als positiv bewerten.

Wird dieser Test für das innere Erscheinungsbild wiederholt, zeigt sich erneut ein statistisch signifikanter Zusammenhang bei der Wahrnehmung des inneren Erscheinungsbildes und der Einstellung zu autonomen

Fahrzeugen, der jedoch nicht überraschend ist, da diese Personen einen positiven Standpunkt besitzen (siehe Tabelle 27).

Aktueller Standpunkt zu autonom fahrenden Fahrzeugen

Weiterhin wurden die Probanden aufgefordert ihren aktuellen Standpunkt zu autonom fahrenden Fahrzeugen zu beurteilen. Die Ergebnisse dieser Frage sind in Abbildung 12 ersichtlich.

Aktueller Standpunkt zu autonom fahrenden Fahrzeugen (n = 436)

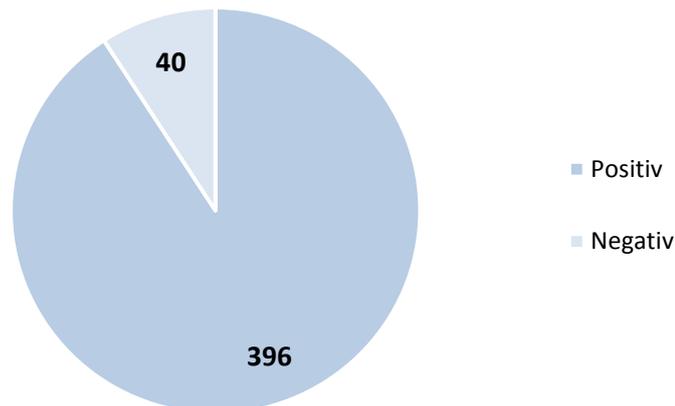


Abbildung 12: Bewertung des aktuellen Standpunkts zu autonom fahrenden Fahrzeugen (eigene Darstellung)

Die Mehrheit der Befragten (91 %) bewertet ihren aktuellen Standpunkt als positiv. Lediglich 37 Probanden (9 %) beschreiben ihren Standpunkt als negativ. Gründe für die negative Bewertung des Standpunktes sind vorwiegend 1.) die geringe Anzahl an Sitzplätzen, 2.) das geringe Vertrauen zu autonom fahrenden Fahrzeugen sowie 3.) Arbeitsplätze, die durch autonom fahrende Shuttles vermeintlich wegfallen. Allerdings ist diese Annahme inkorrekt, da die Verkehrsgesellschaften einen Fahrermangel haben (Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer, 2018). Ebenso finden sich hier wiederkehrende Anmerkungen, die bereits in vorhergehenden Fragen genannt wurden.

Zur Überprüfung der Stringenz der bisherigen Erkenntnisse werden für diese Frage erneut die Zusammenhänge zu den Variablen „Geschlecht“ und „Alter“ überprüft. Die Ergebnisse der Tests zeigen, dass auch hier keine Abhängigkeiten vom Geschlecht und dem Alter bei der Bewertung des aktuellen Standpunkts zu autonom fahrenden Fahrzeugen vorliegen. Dies bestätigt wiederum, dass eine große Akzeptanz und ein Interesse gegenüber autonomen Mobilitätskonzepten, wie autonomen Shuttles, besteht.

Um weitere Korrelationen zu identifizieren, wurde ein t-Test durchgeführt. Dieser überprüft den Zusammenhang zwischen dem aktuellen Standpunkt der Befragten gegenüber autonomen Fahrzeugen und, wie kritisch die Personen die Einführung von autonomen Fahrzeugen in den öffentlichen Straßenverkehr einstufen. Die Untersuchung zeigt, dass die Personen, die einen positiven Standpunkt haben, im Mittel eine Einführung als eher nicht kritisch einstufen (siehe Tabelle 28). Folglich gibt es einen statistischen, stark signifikanten Zusammenhang dieser beiden Variablen.

6 Ergebnisse zum Betrieb

In diesem Kapitel werden wichtige Ergebnisse aus den Vor-Ort-Begehungen und den Interviews mit den Projektverantwortlichen vom Testfeld in Frankfurt am Main sowie den anderen Standorten dargelegt.

6.1 Ergebnisse der Vor-Ort-Begehungen

Während den Standortbesuchen in Berlin, Enge Sande, Lauenburg, Monheim am Rhein und Wusterhausen/Dosse konnten an allen Teststrecken Begehungen durchgeführt werden. Dafür wurde das nachfolgende Dokument verwendet. Dabei wurde die dargestellte Unterteilung angewandt, um die beiden Themenfelder – Nutzerakzeptanz und Herausforderungen im Betrieb – detailliert untersuchen zu können. Die drei Kategorien (Fahrstrecke, Stellplatz und Haltestellen) und die dazugehörigen Kriterien wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts identifiziert und festgelegt. Da an allen besuchten Standorten keine Erweiterungen bzw. Neubauten von Fahrstrecken umgesetzt wurden, sollten die Standorte trotzdem bewertbar sein, um sie anschließend vergleichen zu können. Zudem konnten so für alle drei Themenfelder die Ursachen für Probleme im Betriebsablauf identifiziert werden, da entsprechende Kriterien festgelegt worden sind:

Fahrstrecke

Die Auswahl der beiden Kriterien zur Fahrstrecke – Fahrbahnbreite und Fahrbahnoberfläche – basierte auf den Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ). Die EAÖ wurden ausgewählt, da es sich bei autonomen Shuttles um Transportmittel handelt, die als öffentliches Verkehrsmittel eingesetzt werden sollen. Weil die Shuttles wie klassische Busse ohne Schienen sowie ohne zusätzliche Infrastruktur verkehren und auch den höchstzulässigen Fahrzeugabmessungen aus den EAÖ entsprechen, werden die Empfehlungen bezogen auf den Busverkehr zugrunde gelegt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Maßangaben der EAÖ auf den „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt) basieren. Die RAST beschäftigt sich unter anderen mit den Zielen und Grundsätzen bei der Planung und dem Entwurf von Stadtstraßen. Darüber hinaus empfiehlt sie Lösungen für typische Entwurfsituationen von Straßen. Folglich ist zu sehen, dass die EAÖ, die Maßangaben von Richtlinien wie die der RAST enthält, für die gewählten Kriterien in Bezug auf die autonomen Shuttles essenziell sind.

Entsprechend den EAÖ bzw. der RAST sollte die Mindestbreite der Fahrstrecke 6,50 m bei einem Begegnungsfall betragen. Liegt ein Verkehrsraum mit einem Einrichtungsbetrieb (inkl. beidseitiger Parkstände) vor, sollte die Fahrbahn mindestens 3,50 m breit sein. (FGSV, 2013) Falls während der Standortbegehung ein Unterschreiten dieser Mindestmaße erkennbar gewesen wäre, sollten damit verbundene Probleme beim Fahrbetrieb der Shuttles dokumentiert werden. Da jedoch bereits am ersten Standort festgestellt wurde, dass auch bei deutlichem Übertreffen der Mindestmaße Probleme beim Fahrbetrieb, wie etwa abruptes Abbremsen auftraten, wurden diese ebenfalls erfasst und das Vorgehen angepasst. Es besteht folglich keine 100%-ige Abhängigkeit zwischen „Betriebsproblemen“ und der „Kriterienerfüllung“. Diese Unabhängigkeit wurde auch bei den anderen Themenfelder erkannt und dieses optimierte Vorgehen entsprechend übertragen, um auch bei diesen Themen alle Probleme zu detektieren.

Für die Oberflächenbefestigung von Busverkehrsflächen ist es möglich, verschiedene Materialien wie Asphalt, Beton oder Pflastersteine zu verwenden (FGSV, 2013). Um zu überprüfen, ob die Oberflächen Einfluss auf das

Bremsverhalten oder den Komfort der Shuttles nehmen, wurde dieses Kriterium ebenfalls mitaufgenommen und damit verbundene Probleme im Betrieb dokumentiert.

Das zusätzliche Kriterium „Kritische Streckenabschnitte“ diente der Erfassung weiterer Problemstellen, die an jedem Standort unterschiedlich ausgeprägt waren, aber trotzdem von großer Relevanz für einen problemlosen Betrieb der Shuttles gewesen sind und das Ableiten von Empfehlungen für weitere Standorte ermöglichten.

Stellplatz

Die beiden Kriterien – Ladestation/Ladeleistung und technische Servicestation – lassen sich ebenfalls aus den EAÖ ableiten, da nicht nur für Personal entsprechende Servicestationen (Aufenthaltsräume oder Sanitäranlagen) notwendig sind, sondern auch für die Verkehrsmittel. Neben Schaltanlagen für Fahrstrom und Signale müssen geeignete Lagerräume bzw. Garagen vorhanden sein, die essenzielle Betriebsmittel zu Verfügung stellen und bei technischen Problemen eine Reparatur der Shuttles ermöglichen. (FGSV, 2013) Diese Kriterien bzw. Servicestationen konnten bereits am Mainufer nach kurzer Zeit als notwendige Einrichtung für einen problemloseren Betrieb eingestuft werden.

Haltestellen

Für das Themenfeld Haltestellen wurden mehrere Kriterien selektiert. Die Auswahl der Kriterien Fahrplan, Takt, Fahrzeit und Wartezeit basiert auf der Richtlinie DIN EN 13816 und den EAÖ. Entsprechend dem Qualitätskreis der DIN EN 13816 sind bspw. die Verfügbarkeit und der Zeitaspekt des Verkehrsmittels essenzielle Qualitätskriterien, die für die Qualität des öffentlichen Verkehrsmittels verantwortlich sind. Bei genauer Betrachtung der Qualitätsebenen sind hiermit der Takt, die Fahrzeit und Wartezeit sowie der sich daraus ergebende Fahrplan relevant. Diese Informationen müssen dem Fahrgast auch mitgeteilt werden. (Beuth Verlag, 2002) Diese Aspekte sind ebenfalls in den EAÖ verankert, die darüber hinaus Empfehlungen für Taktfolgezeiten, abhängig von der Anzahl der Kfz/h und Anzahl der Fahrstreifen, ausgibt (FGSV, 2013).

Die Auswahl der Kriterien – Gestaltung und Erreichbarkeit – basiert auf den EAÖ. Damit verbunden sind eine freie Zugänglichkeit der Haltestellen und eine Nutzung ohne besondere Erschwernisse. Im Fokus steht dabei eine barrierefreie Gestaltung bzw. ein barrierefreier Ausbau, sodass die Haltestelle für alle Personen ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar ist. Damit einhergehend soll die nutzbare Fläche bzw. die Wartefläche mindestens 2,50 m breit sein (siehe Abbildung 13). Da autonome Shuttles die Bahnsteige als Objekt detektieren und zu diesen den einprogrammierten Mindestabstand einhalten, wurde ein besonderes Augenmerk auf den bleibenden Abstand zwischen Shuttle und Bahnsteig gelegt und auftretende Probleme erfasst.

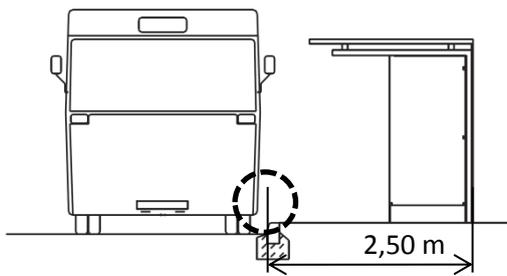


Abbildung 13: Abmessungen für Warteflächen an Haltestellen (FGSV, 2013)

Nach den einzelnen Standortbesuchen wurden die relevanten Herausforderungen bzw. Ergebnisse, die sich negativ (-), neutral (o) bzw. positiv (+) auf einen reibungslosen Betrieb und die Nutzerakzeptanz auswirken, in der folgenden Tabelle 2 zusammengefasst und anschließend die wichtigsten Aspekte im Hinblick auf die Nutzerakzeptanz sowie die betrieblichen Herausforderungen beschrieben. In diesem Kontext muss erneut darauf hingewiesen werden, dass die zugrunde gelegten Kriterien aus entsprechenden Richtlinien und Normen nicht als Maßstab für die Bewertung verwendet wurden, da die Betriebsprobleme nicht von der Kriterienerfüllung abhängen.

In der Tabelle ist zu sehen, dass bei der Kategorie Fahrstrecke enge Fahrbahnen oder parkende Fahrzeuge entlang bzw. auf der Fahrstrecke zu Problemen beim Betrieb geführt haben, da die Shuttles selbstständig nicht mehr weiterfahren können und der Operator dem Hindernis manuell ausweichen muss. Dabei war an allen fünf Standorten zu sehen, dass die gemessene Straßenbreite – unter Berücksichtigung des Mindestmaßes von 6,50 m bzw. 3,50 m der EAÖ bzw. RAS – keinen negativen oder positiven Einfluss auf den Betrieb genommen hatten. Ebenfalls negativ auf den Betrieb und auch auf die Akzeptanz der Fahrgäste wirkten sich schnelle Überholmanöver anderer Verkehrsteilnehmer aus. Durch ein häufig zu enges bzw. frühes Einscheren in den Sensorbereich führten die Shuttles starke Bremsungen bzw. Notbremsungen durch, wobei sich auch Fahrgäste verletzen können. Der Fahrbahnbelag war an den Standorten unterschiedlich. Unter Berücksichtigung der Kriterien aus den EAÖ – Asphalt, Beton oder Kopfsteinpflaster – wurde kein Einfluss auf die Fahrt oder den Komfort festgestellt.

Mit Blick auf die Stellplätze der Shuttles an den verschiedenen Standorten fiel auf, dass sich separate Stellplätze und Ladestationen sowie zusätzliche Servicestationen deutlich positiv auf den Betrieb auswirkten. So konnte sichergestellt werden, dass Shuttles komplett aufgeladen sind und technische Probleme schnell behoben werden konnten, was geringe Ausfallzeiten mit sich brachte. Während den Vor-Ort-Begehungen wurde deutlich, dass vor allem größere technische Probleme ohne technische Servicestationen an der Strecke oder in der Nähe zu langen Ausfallzeiten führen, da das Shuttle so zum Hauptsitz der Hersteller EasyMile nach Frankreich transportiert werden muss. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass eine Beachtung der EAÖ einen positiven Einfluss auf den Betrieb nehmen kann, jedoch größere technische Probleme an allen Standorten Support durch den Hersteller erforderten und folglich die Umsetzung der EAÖ kein Garant für einen problemlosen Betrieb ist.

Die Kriterien des Themenbereichs „Haltestelle“ sind sowohl für die Nutzerakzeptanz als auch für einen erfolgreichen Betrieb der Shuttles maßgeblich. Zum einen sind die Gestaltung und Erreichbarkeit der Haltestellen essenziell für die Nutzung dieses neuen Mobilitätskonzepts, da sonst Fahrgäste über die Möglichkeit zur Nutzung in Kenntnis gesetzt werden. Zum anderen ist, entsprechend den Richtlinien, eine

entsprechende Gestaltung und damit verbundene Erreichbarkeit der Haltestellen für den Betrieb relevant. So konnte an allen Standorten dasselbe Problem mit zu hohen Bordsteinkanten dokumentiert werden. Die Shuttles haben bei zu hohen und nicht angepassten Haltestellenkanten, zu große Abstände gelassen und somit den Ein- bzw. Ausstieg erschwert. Zusätzlich ist das Anbringen von eigenen Säulen für das Haltestellenzeichen und den Fahrplan notwendig, damit sich die Fahrgäste, gemäß DIN EN 13816, über einen etwaigen Betrieb und die Fahrzeiten informieren können. Details zum Fahrplan und Informationen zum Projekt geben wichtige Hinweise zur Wartezeit sowie Nutzung der Shuttles, und wirken sich direkt auf die Qualitätsbewertung aus.

Tabelle 2: Ergebnisübersicht der Vor-Ort-Begehungen (eigene Darstellung)

Vor-Ort-Begehungen		
Fahrstrecke	Fahrbahnbreite	<ul style="list-style-type: none"> + Enge Abschnitte mit Vorfahrtsschildern für das Shuttle - Enge Fahrbahnen - Parkende Fahrzeuge entlang bzw. auf der Fahrbahn
	Fahrbahnoberfläche	<ul style="list-style-type: none"> + Gesteuerte Fahrbahnoberfläche unproblematisch - Instabileres Bremsen auf Kopfsteinpflaster bei Regen
	Kritische Streckenabschnitte	<ul style="list-style-type: none"> - Weitere Verkehrsteilnehmer entlang der Strecke - Abstellen von Fahrzeugen/Fahrrädern direkt auf der Route - Schnelles Überholen durch andere Verkehrsteilnehmer - Missachtung von Vorfahrtsregeln - Fehlende Einsicht an Kreuzungen zur Detektion anderer Verkehrsteilnehmer
Stellplatz	Ladestationen/ Ladeleistung	<ul style="list-style-type: none"> + Separate und abgesperrte Stellplätze + Anbringen von eigenen Ladepunkten + Eigener Stellplatz in einer Halle mit Ladestation
	Technische Servicestation	<ul style="list-style-type: none"> + Kleine Reparaturen in Werkstatt in der Nähe der Teststrecke + Eigene Servicestation - Keine Vorhaltung von eignen Servicestationen - Bei Problemen zeitaufwändiger Transport nach Frankreich
Haltestellen	Fahrplan/Takt/ Fahrzeit/Wartezeit	<ul style="list-style-type: none"> + Informationen zu den Fahrzeitfenstern und zum Projekt an jeder Haltestelle - Kein Fahrplan oder Takt vorhanden - Fahrzeiten montags bis freitags zwischen 9 und 16 Uhr o Sehr geringe Wartezeiten bei kurzen Strecken o Abschätzen der voraussichtlichen Wartezeiten über Fahrplan möglich
	Gestaltung	<ul style="list-style-type: none"> + Anbringung von eigenen Säulen für das Haltestellenzeichen und den Fahrplan sowie von Bänken und Müllkörben - Keine ansprechende Gestaltung der Haltestellen - Keine Bordsteinabsenkungen bzw. -anpassungen für begünstigten und barrierefreien Zustieg
	Erreichbarkeit/Barrierefreiheit	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Barrieren - Fehlende Bordsteinabsenkungen bzw. -anpassungen

6.2 Ergebnisse der leitfadengestützten Interviews

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Interviews aus der Bachelorarbeit und aus den Standortbesuchen dargestellt.

Interviews mit Projektverantwortlichen Frankfurt am Main

Aus der vom Mai bis Juli 2020 betreuten Bachelorarbeit, mit dem Titel „Analyse der Nutzerakzeptanz und Betreibersicht autonomer Shuttles“, wurde ersichtlich, dass während des Testfeldes in Frankfurt am Main ähnliche Erfahrungen gemacht worden sind. Auch hier gaben die Operatoren und der Betriebsleiter während den Interviews an, dass die größten Gefahrenpunkte unvorhergesehene Notbremsungen sind. Diese können durch die Witterung, aufgewirbelte Objekte, wie bspw. Laubblätter, Vögel oder andere Verkehrsteilnehmer verursacht werden. Ein wichtiger Punkt, der von den Befragten betont wird, ist dass die Technik keine Gefahr darstellt, da sie zuverlässig gearbeitet hat. Des Weiteren gab es häufig Probleme am stark frequentierten Fußgängerüberweg „Eiserner Steg“. Durch die große Anzahl an querenden Menschen reduzierten die Shuttles bereits vorab ihre Geschwindigkeit. Dieses Reduzieren und das damit verbundene Warten auf eine freie Strecke interpretierten einige Fußgänger als Möglichkeit in das Shuttle zuzusteigen oder als „Gewähren der Vorfahrt“. Somit wurde der Betrieb aufgehoben und die Operatoren mussten per Gestik eine Weiterfahrt organisieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Gestaltung der Sitzplätze. In den eingesetzten Shuttles waren diese aus Holz und ohne weitere Bezüge oder rutschhemmenden Beschichtungen, was von den Operatoren als Problem angemerkt wurde. (vgl. Krndzija, 2020)

Diese Anmerkungen und weitere Aspekte wurden in der folgenden Tabelle festgehalten, wobei erneut eine Unterscheidung nach Verkehrsteilnehmern, Shuttles und unbekanntem Hindernissen vorgenommen wurde:

Tabelle 3: Ergebnisübersicht Interviews Testfeld Frankfurt am Main (eigene Darstellung)

Fragen an die Operatoren und den Betriebsleiter in Frankfurt		
Welche technischen Probleme gab es mit...?	Verkehrsteilnehmern	<ul style="list-style-type: none"> - Fehlinterpretation der Fahrmanöver der Shuttles - Unterschätzen der Shuttles durch Rad- und Fußgänger
	Shuttles	<ul style="list-style-type: none"> + Detektion von Hindernissen - Witterung - Sehr schnelle Entladung und Verringerung der Reichweite an heißen bzw. kalten Tagen wegen dem Betrieb der Klimaanlage bzw. Heizung - Fahrtabbruch bei Hindernissen bei zu geringem Abstand zu stehenden Objekten - Stillstand bei Sonnenreflexionen auf der Straße - Eingeschränkte Kommunikationsfähigkeit der Shuttles - Unkomfortabler und gefährlicher Joystick der Operatoren - Unsichere und glatte Holzsitze
	unbekanntem Hindernissen	<ul style="list-style-type: none"> o Wenig Probleme mit Regen - Neue Hindernisse wie hohes Gras - Aufgewirbelte Objekte bei höheren Windstärken - Vögel

Interviews mit Projektverantwortlichen anderer Standorte

Parallel zu den Standortbesuchen konnten insgesamt fünf Interviews durchgeführt werden. Dafür wurde das nachfolgende Dokument verwendet. Es wurde erneut eine Unterteilung verwendet, um auch hier die beiden Themenfelder – Nutzerakzeptanz und Herausforderungen im Betrieb – detailliert untersuchen zu können. Die Fragestellungen und dazugehörigen Kriterien wurden entsprechend der verwendeten Richtlinien und Normen (siehe Kapitel 6.1) ausgewählt und in Tabelle 4 die damit verbundenen Antworten festgehalten. Dabei wurden erneut positive (+), negative (-) sowie neutrale (o) Antworten dokumentiert. Bereits vorab kann darauf hingewiesen werden, dass alle erfassten Antworten mit den Ergebnissen aus Frankfurt übereinstimmen.

Die Tabelle zeigt, dass im Betrieb die größten Herausforderungen und Probleme mit anderen Verkehrsteilnehmern bestehen. Das fehlende Verständnis bzw. die fehlende Rücksicht gegenüber autonomen Shuttles können zu Notbremsungen und zum Stillstand der Fahrten führen, da bspw. keine bzw. zu wenige Beschilderungen entlang der Teststrecken auf die Shuttles aufmerksam machen. Unabhängig davon kennen die Projektverantwortlichen bzw. auch Operatoren in der Regel alle gefährlichen und unübersichtlichen Streckenabschnitte, sodass damit verbundene Probleme und Notbremsungen häufig vermieden werden können. Generell wurden an einigen Standorten bereits erste Überlegungen angestellt, welche weiteren Möglichkeiten bestehen, um andere Verkehrsteilnehmer über Fahrmanöver der Shuttles informieren zu können.

Mit Blick auf die Technik ist zu konstatieren, dass Gegenstände auf der Fahrbahn oder Objekte im Sensorbereich zu technischen Problemen führen und einen Stillstand der Shuttles nach sich ziehen. Vor allem unbekannte Hindernisse oder neue Objekte, die beim Einlesen der Strecke nicht vorhanden waren, sorgen bei den Shuttles zu Konflikten in der Software, die eine Weiterfahrt verhindern.

Besonders hervorzuheben ist, dass die Fahrgäste an allen Standorten ein großes Interesse und eine sehr große Akzeptanz gegenüber den Shuttles haben. Kurze Wartezeiten an Wochenenden sind derzeit für die Fahrgäste kein Problem und wurden an allen Standorten, wie auch in Frankfurt, in Kauf genommen und akzeptiert.

Tabelle 4: Ergebnisübersicht Interviews weiterer Standorte (eigene Darstellung)

Fragen an den Projektverantwortlichen bzw. -mitarbeiter		
Welche Herausforderungen gab es mit...?	Verkehrsteilnehmern	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Verständnis für die autonomen Shuttles - Blockieren der Route durch falsch abgestellte Fahrzeuge - Notbremsungen durch zu frühes Einscheren überholender Fahrzeuge
	Fahrgästen	<ul style="list-style-type: none"> + Sehr großes Interesse aller Altersklassen - Stürze von den Sitzen durch Vollbremsungen
	Wartezeit der Fahrgäste	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Beschwerden über Wartezeiten + Unter der Woche sehr geringes Passagieraufkommen o Teilweise geringe Wartezeiten an Wochenenden
	Strecke	<ul style="list-style-type: none"> + Wissen über unübersichtliche Streckenabschnitte nach kurzer Zeit

Welche technischen Probleme gab es mit...?	Shuttles	<ul style="list-style-type: none"> + Bisher noch kein einziger Unfall oder Zwischenfall - Sehr viele kleine und zeitintensive Probleme – besonders am Anfang - Finden der Routen teilweise nicht möglich - Fahrabbruch bei Hindernissen bei zu geringem Abstand zu stehenden Objekten
	unbekannten Hindernissen	<ul style="list-style-type: none"> + Problemloses Erkennen unbekannter Hindernisse durch Sensoren - Sehr viele Probleme mit Regen - Starke Vollbremsungen bei unbekanntem Hindernissen und damit verbundene Stürze der Insassen - Kein vorausschauendes Fahren der Software
Wie bewerten Sie die Akzeptanz der Fahrgäste?		<ul style="list-style-type: none"> + Sehr große Akzeptanz + Positives Feedback an die Operatoren

7 Empfehlungen

Werden die Ergebnisse der Standortbegehungen und Interviews aus [Kapitel 6](#) sowie die Ergebnisse der Online-Umfrage aus [Kapitel 5](#) miteinander verglichen, kann festgestellt werden, dass sehr positive Ergebnisse erzielt wurden. Trotzdem können noch einige Aspekte verbessert werden, da auch ein starker Zusammenhang zwischen Betrieb und Nutzerakzeptanz besteht. In den folgenden Abschnitten sollen wichtige Aspekte – gegliedert in die Bereiche Fahrstrecke, Stellplatz, Haltestellen und Fahrgäste – hervorgehoben und entsprechende Empfehlungen gegeben werden.

Fahrstrecke

In den vorherigen Tabellen ist zu sehen, dass die Gestaltung der Fahrstrecke und die damit verbundene Anpassung der Infrastruktur eng mit der Nutzerakzeptanz zusammenhängen. Die in [Kapitel 5](#) genannten Anmerkungen der Fahrgäste – wie bspw. Notbremsungen, fehlende Beckengurte oder die Angst vor Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmern – verdeutlichen die Korrelation der betrieblichen Herausforderungen und der Nutzerakzeptanz.

Die meisten Aspekte – wie eine zu enge Fahrbahn, Überholmanöver anderer Verkehrsteilnehmer oder parkende Fahrzeuge auf der Fahrbahn – haben zur Folge, dass die Shuttles eine Notbremsung durchführen und die Fahrgäste von den Sitzen fallen können oder die Weiterfahrt nur mit Hilfe des Operators möglich ist. Zur Vermeidung dieser Notbremsungen muss vorab überlegt werden, ob eine entsprechende Beschilderung bspw. mit Überholverbots Abhilfe schaffen könnte. Für einen reibungslosen Betrieb mit Operatoren sollte dabei auf problemlose Einsichten an Kreuzungen – zur Detektion anderer Verkehrsteilnehmer – entlang der gesamten Strecke geachtet werden. Zwar kennen die Operatoren mögliche Gefahrenstellen bereits nach kurzer Zeit, jedoch können so auch andere Verkehrsteilnehmer die autonomen Shuttles frühzeitiger wahrnehmen. Mit der Umsetzung von geeigneten und zielführenden Maßnahmen geht parallel ein positiver Einfluss auf die Nutzerakzeptanz einher, da Komplikationen und Notbremsungen reduziert bzw. vollständig verhindert werden. Damit es entlang der Fahrstrecke zu keinen Komplikationen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommen kann, sollten weitere Hinweisschilder aufgestellt werden und weitere Kommunikationsmöglichkeiten an den Shuttles angebracht werden. Durch diese Schilder wurden und werden an weiteren Testfeldern andere Verkehrsteilnehmer über die autonomen Shuttles informiert und für diese sensibilisiert. Zusätzlich sollten bspw. Lautsprecherdurchsagen oder Monitore an den Shuttlefenstern angebracht werden, um Missverständnisse in der Interpretation des Verhaltens der Shuttles durch Durchsagen oder Visualisierungen zu vermeiden.

Stellplatz

Die Verfügbarkeit von eigenen Stellplätzen mit eigenen Ladepunkten für die Shuttles hat sich an allen Standorten in jeder Hinsicht positiv auf den Betrieb und die Nutzbarkeit ausgewirkt. Darüber hinaus ist der Zugriff auf eine technische Servicestation oder eine Werkstatt von großem Vorteil. So können pünktliche Starts der Shuttles gewährt werden und zu geringe Akkukapazitäten sowie lange Ausfallzeiten durch Shuttletransporte zu anderen Werkstätten vermieden werden.

Haltestellen

Die Verfügbarkeit von Fahrplänen und Informationen zum Projekt an den eingerichteten Haltestellen sind als positiv für die Fahrgäste einzustufen, da so die voraussichtliche Wartezeit mit Hilfe des Fahrplans eingeschätzt werden kann. Darüber hinaus ist eine ansprechende und sichtbare Gestaltung der Haltestellen sinnvoll, um eine Mitfahrt bei den Fahrgästen attraktiver zu gestalten. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Anpassung der Bordsteinhöhe gelegt werden, da diese für einen problemlosen Betrieb mit mobilitätseingeschränkten und älteren Personen notwendig ist.

Fahrgäste

An allen Standorten konnte ein großes Interesse und eine hohe Nutzerakzeptanz festgestellt werden. Einige Fahrgäste geben ihr positives Feedback direkt an die Operatoren weiter. Besonders an Wochenenden besteht ein größerer Andrang als während der Woche. Daher ist es empfehlenswert die Shuttles während der ganzen Woche bzw. mit Fokus auf das Wochenende fahren zu lassen, um die meisten Erfahrungen mit Fahrgästen erzielen zu können.

Ebenso wird der Operator als Instanz für Sicherheit angesehen, sodass es sinnvoll erscheint, den Fahrgästen zu zeigen, was die Sensoren erfassen. Dafür wären bspw. die vorhandenen und großen Bildschirme geeignet. So können Fahrgäste ein Vertrauen aufbauen, da sie erfahren können, dass diese Technologien die Umgebung und andere Verkehrsteilnehmer tatsächlich korrekt erfassen sowie Unfälle vermeiden.

Weitere Kritikpunkte beziehen sich auf den aktuellen Stand der Barrierefreiheit und die Sicherheitsausstattung der Shuttles. Da davon vor allem mobilitätseingeschränkte und ältere Personen betroffen sind, die besonders auf den ÖPNV angewiesen sind und eine wichtige Zielgruppe im städtischen, aber vor allem ländlichen Raum, darstellen, sollten sinnvolle Maßnahmen umgesetzt werden, um die Sicherheitsaspekte und die Barrierefreiheit weiter zu verbessern. Durch das Anbringen von Beckengurten sowie weiteren Haltegriffen und durch die Optimierung der Sitze kann hier Abhilfe geschaffen werden.

In der Online-Befragung kam es bei einigen Fahrgästen zu wiederkehrenden Anmerkungen, die auch den Operatoren gestellt wurden. Dies zeigt, dass noch nicht alle Menschen richtig über einige Punkte aufgeklärt wurden. Es ist an vielen Stellen zu sehen, dass auch falsche Informationen, wie beispielsweise der damit verbundene Wegfall von Arbeitsplätzen, über die Shuttles existieren. Über diese Fehlinformationen muss in Zukunft stärker medial und durch weitere erfolgreiche Projekte aufgeklärt werden. Darüber hinaus müssen klare Gesetze formuliert und andere Verkehrsteilnehmer über das richtige Verhalten beim Aufeinandertreffen mit einem autonomen Shuttle informiert werden.

Durch Testfelder können sich in erster Hinsicht Fahrgäste mit der Technik vertraut machen und das Mobilitätskonzept testen. Erst die Einführung von längeren Routen in Gebieten, die ein Mobilitätsbedürfnis aufweisen, wird die autonomen Shuttles im ÖPNV als sinnvolles und wirtschaftliches Mobilitätskonzept etablieren. Damit eine realistische Reisezeit gewährleistet werden kann, wird eine Erhöhung der Fahrzeuggeschwindigkeit um ein gewisses Maß essenziell für den Erfolg der Shuttles sein.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis war, dass sich derzeit 94 % der Fahrgäste eine Mitfahrt ohne Operator vorstellen können. Da es jedoch in den Anmerkungen auch Wünsche gibt, dass ein gewisser Bezug zum

Menschen notwendig sei, sollte geprüft werden, ob ein Fernzugriff über eine Leitstelle eine zielführende und umsetzbare Lösung ist.

Beim Vergleich der Standorte ist ersichtlich geworden, dass sowohl in Frankfurt am Main sowie den anderen fünf Standorten viele ähnliche Herausforderungen bestehen bzw. vergleichbare Erfolge erreicht werden konnten. Da jedoch unterschiedliche Projektfortschritte vorliegen und gewisse Probleme erst in späteren Projektphasen eintreten, sollten eine enge Abstimmung zwischen den verschiedensten Standorten und ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch stattfinden.

8 Fazit und Ausblick

Abschließend kann festgehalten werden, dass die beiden Shuttles am Frankfurter Mainkai von den Fahrgästen zu einem Großteil positiv wahrgenommen wurden. Die meisten Fahrgäste testeten die Shuttles aus Interesse an dem neuen Mobilitätskonzept. Dabei zeigen die Antworten und Anmerkungen der Online-Umfrage, dass dieses Konzept grundsätzlich auf eine positive Resonanz trifft. Das neue Mobilitätskonzept wird als nützlich und für den ÖPNV einsetzbar angesehen, da eine Einführung in den öffentlichen Nahverkehr sowie die Nutzung bereits jetzt von Seiten der potenziellen Fahrgäste als positiv bewertet wird. Dies spiegelt sich in einem sehr positiven Sicherheitsempfinden bei den Fahrgästen wider und stimmt mit den aktuellen Ergebnissen des technischen Probebetriebs überein, da dieser über die komplette Testphase unfallfrei war. Das hohe Sicherheitsempfinden muss erneut überprüft werden, sobald höhere Geschwindigkeiten genehmigt werden. Die Ergebnisanalyse der Online-Umfrage, die Validierung dieser Ergebnisse durch die Umfragen während der Hypermotion und in Wiesbaden sowie die Vor-Ort-Begehungen und Interviews zeigen, dass logische und nachvollziehbare Korrelationen zwischen Bewertungen und Kritiken der Fahrgäste bestehen. Durch weitere Optimierungen des Betriebs, durch umfassendere Anpassungen der Infrastruktur und durch weitere Aufklärungsarbeit können die Shuttles zu einem vollständig einsetzbaren Mobilitätskonzept werden, das ohne Eingriffe von Operatoren funktioniert. Dass für dieses Mobilitätskonzept eine ebenfalls hohe Nachfrage von allen Altersklassen, Einkommensgruppen und allen Geschlechtern besteht, bestärken die Analyseergebnisse der Umfrage und Vor-Ort-Begehungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass noch weitere Themenfelder analysiert und weitere Forschungen angestellt werden müssen. Es müssen vor allem Untersuchungen zur Identifikation geeigneter Einsatzorte, der technischen Möglichkeiten oder des optimalen Betriebskonzepts durchgeführt werden, damit bereits in naher Zukunft ein nutzerfreundlicher und sicherer Betrieb mit autonomen Shuttles im öffentlichen Nahverkehr realisierbar ist. Dafür werden bereits neue Testfelder geplant und umgesetzt. Der RMV testet derzeit ein autonomes Shuttle im Kloster Eberbach und ein weiteres Shuttle in Bad-Soden-Salmünster. Dadurch können neue Erfahrungen sowohl im ländlichen Bereich als auch mit dem Einsatz autonomer Shuttles im regulären öffentlichen Straßenverkehr gewonnen werden.

Für die nächsten Jahre ist es ebenfalls notwendig, dass die optimale Anbindung bzw. Verknüpfung mit bestehenden ÖPNV-Angeboten untersucht und erprobt wird. Zudem muss überprüft werden, ob autonome Shuttles in einem klassischen Linienbetrieb eingesetzt werden sollten oder, ob die Fahrgäste eine On-Demand-Funktion bei autonomen Shuttles erwarten. Diese und weitere Aspekte werden in weiteren Testfeldern untersucht und die Ergebnisse ausgewertet werden, damit autonome Shuttles in Zukunft erfolgreich eingesetzt werden können.

9 Literaturverzeichnis

- BACHMANN, R., G. KEMPER und T. GERZER, 2014. Big Data – Fluch oder Segen? Unternehmen im Spiegel des gesellschaftlichen Wandels. Heidelberg: mitp. ISBN 978-3-8266-9690-9
- BERNHARD, C., D. OBERFELD-TWISTEL, D. WEISMÜLLER, C. HOFFMANN und H. HECHT, 2019. Nutzungsakzeptanz eines autonomen Kleinbusses in Mainz [online]. Mainz: Psychologisches Institut [Zugriff am: 15.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://experimental.psychologie.uni-mainz.de/files/2019/04/Report_Nutzungsakzeptanz_autonome_Kleinbusse_MZ_1_19-1.pdf
- BEUTH VERLAG GMBH, 2002. DIN EN 13816:2002-07 [online]. Transport - Logistik und Dienstleistungen - Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität. Berlin: Beuth Verlag GmbH [Zugriff am: 15.12.2020]. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-13816/43796300>
- BRAUN, M., C. GUDD, M. VON KALER, M. ROHS, J. SEYFFERTH und G. TEICHMANN, 2020. Autonome Busse im ÖPNV. [online]. Innovativ, nachhaltig – aber auch finanzierbar? Frankfurt am Main: PricewaterhouseCoopers GmbH [Zugriff am: 14.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/im-fokus/autonome-busse-im-oepnv.pdf>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2016. Bericht der Bundesregierung zur Entwicklung der ländlichen Räume 2016 [online]. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Zugriff am: 07.02.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Regierungsbericht-Laendliche-Raeume-2016.pdf?__blob=publicationFile
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR, 2020. Mobilität in Deutschland (MiD). Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Zugriff am: 14.12.2020]. PDF. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>
- BUNDESVERBAND DEUTSCHER OMNIBUSUNTERNEHMER (BDO) E.V., 2018. Konjunkturumfrage 2018/2019 [online]. Berlin: Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer (bdo) e.V. [Zugriff am: 07.02.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://www.bdo.org/uploads/assets/5c7f73ba8c43ad3d7000000f/original/bdo-Konjunkturumfrage_2018-2019.pdf?1551856570
- CANZLER, W. und A. KNIE, 2019. Autonom und öffentlich [online]. Automatisierte Shuttles für mehr Mobilität mit weniger Verkehr. Berlin: Heinrich Böll e.V. [Zugriff am: 20.02.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://www.boell.de/sites/default/files/2019-10/13_Gr%C3%BCne-Ordnungspolitik_Autonomes-Fahren.pdf?dimension1=division_oen
- DB VERTRIEB GMBH, 2020. Unternehmen erhalten Nachweis für Klimaschutzbeitrag bei Dienstreisen mit der DB [online]. Frankfurt am Main: DB Vertrieb GmbH [Zugriff am: 07.02.2020]. PDF. Verfügbar unter: <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1173764/60cadf2cf81d403e2a213fb894bf8a4c/Themendienst-Nachhaltigkeit-bahn-business-data.pdf>
- DEUTSCHE BAHN AG, 2019. Wie kommt der autonome Kleinbus in Bad Birnbach an? Forschungsnetzwerk stellt Ergebnisse vor. Abgerufen am 15.09.2020 von <https://www.deutschebahn.com/pr-muenchen->

de/aktuell/presseinformationen/Wie-kommt-der-autonome-Kleinbus-in-Bad-Birnbach-an-Forschungsnetzwerk-stellt-Ergebnisse-vor-4210652

DEUTSCHER BUNDESTAG, 2018. Autonomes und automatisiertes Fahren auf der Straße – rechtlicher Rahmen [online]. Berlin: Deutscher Bundestag [Zugriff am: 14.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/562790/c12af1873384bcd1f8604334f97ee4b9/wd-7-111-18-pdf-data.pdf>

DIE SCHWEIZERISCHE POST AG, 2017. Hohe Akzeptanz für selbstfahrende Fahrzeuge [online]. Bern: Die Schweizerische Post AG [Zugriff am: 15.09.2020]. Verfügbar unter: https://geschaeftsbericht.post.ch/17/ar/de/08_02-smartshuttle/

EASYMILE SAS, 2020. Driven by quality and safety. Abgerufen am 14.09.2020 von <https://easymile.com/about-us>

FGSV E.V., 2013. Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs [online]. Köln: FGSV e. V. [Zugriff am: 15.12.2020]. Verfügbar unter: <https://www.fgsv-verlag.de/eao>

FRANKFURTER NEUE PRESSE, 2019. Verkehr in Frankfurt [online]. Haben SPD und CDU bereits einen Deal zum Ende der Mainkai-Sperrung? Frankfurt am Main: Frankfurter Societäts-Medien GmbH [Zugriff am: 24.10.2019]. Verfügbar unter: <https://www.fnp.de/frankfurt/frankfurt-haben-deal-ende-mainkai-sperrung-zr-12867008.html>

FÜHLES-UBACH, S., 2013. Quantitative Befragungen. In: Umlauf, Konrad; Fühles-Ubach, Simone; Seadle, Michael (Hrsg.): Handbuch Methoden der Bibliotheks- und Informationswissenschaft. Berlin: De Gruyter Saur. ISBN: 978-3-1102-5553-9

FRIEBEL, P., 2019. Fahrgastbefragung der Linie 708 [online]. Zwischenstand zur Akzeptanz eines automatisiert fahrenden Kleinbusses in Wusterhausen/Dosse. Neuruppin: REG Regionalentwicklungsgesellschaft Nordwestbrandenburg mbH [Zugriff am: 15.09.2020]. PDF. Verfügbar unter <https://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/Zwischenbericht-Fahrgastbefragung-13.12.19.pdf>

GENTSCH, P., 2018. Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service. Mit AI und Bots zu einem Algorithmic Business – Konzepte, Technologien und Best Practices. Wiesbaden: Springer Gabler [Zugriff am: 15.12.2020]. PDF e-Book. ISBN 978-3-658-19147-4. Verfügbar unter: DOI: 10.1007/978-3-658-19147-4

HUNECKE, M., S. HAUSTEIN, S. BÖHLER und S. GRISCHKAT, 2010. Attitude-Based Target Groups to Reduce the Ecological Impact of Daily Mobility Behavior [online]. Environment and Behavior, 42(1), 3-43. ISSN 0013-9165. Verfügbar unter: doi:10.1177/0013916508319587

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT, 2020. Glossar [online]. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt [Zugriff am: 14.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Service/Glossar/glossar_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=28

KRNDZIJA, A., 2020. Analyse der Nutzerakzeptanz und Betreibersicht autonomer Shuttles. Bachelorthesis der Frankfurt Frankfurt University of Applied Sciences (unveröffentlicht)

NAVYA, 2020. Self-Driving Shuttle for Passenger Transportation. Abgerufen am 19.11.2020 von <https://navya.tech/en/solutions/moving-people/self-driving-shuttle-for-passenger-transportation/>

- NAVYA, 2020. Navya reaches a new milestone in autonomous mobility with the first fully autonomous level 4 operation on a closed site. Abgerufen am 14.09.2020 von <https://navya.tech/en/navya-reaches-a-new-milestone-in-autonomous-mobility-with-the-first-fully-autonomous-level-4-operation-on-a-closed-site/>
- NOBIS, C. und T. KUHNIMHOF, 2018. Mobilität in Deutschland – MiD [online]. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Zugriff am: 07.02.2020]. PDF. Verfügbar unter: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf
- NORDLUND, A.M. und J. GARVILL, 2003. Effects of values, problem awareness, and personal norm on willingness to reduce personal car use [online]. *Journal of Environmental Psychology*, 23(4), 339-347. ISSN 02724944. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0272-4944(03)00037-9
- RHEIN-MAIN-VERKEHRSVERBUND-GMBH, 2019. Probefahrt in die Zukunft. Abgerufen am 30. 01. 2020 von <https://www.probefahrt-zukunft.de/>
- SAE STANDARDS NEWS, 2019. J3016 automated-driving graphic update [online]. Warrendale: SAE International, 07.01.2019 [Zugriff am: 07.02.2020]. Verfügbar unter: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>
- SCHMOLL, H. (no date). Bürgerinitiative "Sachsenhausen wehrt sich" . Abgerufen am 01. 11.2019 von <https://mainkaichaos.de/?locale=de>
- STADT FRANKFURT AM MAIN, 2019. Probeweise Öffnung des nördlichen Mainufers für den Fuß- und Radverkehr. Abgerufen am 02.11.2019 von [https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2855&_ffmpar\[_id_inhalt\]=35793895](https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2855&_ffmpar[_id_inhalt]=35793895)
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2020. Verkehrsunfälle: Getötete nach Alter und je 1 Millionen Einwohner. Abgerufen am 10.08.2020 von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/getoetete-alter.html>
- STILLBAUER, T. 2019. Sperrung des Mainkai. Frankfurter Mainkai wird für Autos gesperrt. Abgerufen am 02. 11. 2019 von <https://www.fr.de/frankfurt/frankfurtermainkai-wird-gesperrt-august-kein-autoverkehr-mehr-zr-12331737.html>
- VERBAND DEUTSCHER VERKEHRSUNTERNEHMEN E.V. (VDV), 2020. Autonome Shuttle-Bus-Projekte in Deutschland. Abgerufen am 03.09.2020 von <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>
- WEE, D., 2017. Immer online, gern elektrisch oft auf Autopilot: Mobilität im digitalen Zeitalter. In: Heribert MEFFERT und Jürgen MEFFERT, Hrsg. Eins oder Null: Wie Sie Ihr Unternehmen mit Digital@Scale in die Zukunft führen. Berlin: Econ. S. 83-91. ISBN 978-3-430-20239-8
- UITP, 2020. S3 Shared Shuttle Services [online]. Brussels: Union Internationale des Transports Publics, [Zugriff am: 15.09.2020]. Verfügbar unter: <https://space.uitp.org/initiatives/s3-shared-shuttle-av-pilot-gothenburg-sveden>
- WICKI, M. und T. BERNAUER, 2020. Public Opinion on Route 12 [online] ISTP Paper Series, 5. Zürich: ETH Zürich Institute of Science, Technology and Policy (ISTP) [Zugriff am: 15.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000388704>

ZANKL, C. und K. RERHL, 2017. Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich [online]. Salzburg: Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. [Zugriff am: 15.09.2020]. PDF. Verfügbar unter: https://www.salzburgresearch.at/wp-content/uploads/2018/04/Digibus_2017_Endbericht_final.pdf

Anhang

Anhang A: Projektsteckbriefe

Tabelle 5: Vorlage für Projektsteckbriefe

Projektname		Ort
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Laufzeit (Modellprojekt/Testprojekt/realer Betrieb) • Verlängerung 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> • Adresse • Firmengelände/Privat/Öffentlicher Raum 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> • Partner 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeughersteller • Sitzplatzkapazität • Kosten (Fahrzeugkosten/monatliche Kosten/Operator...) • Herausforderungen • Technische Umsetzung: (Verbaute Sensoren/Radar/Lidar...) • Einsatz von Künstlicher Intelligenz? (In welchem Umfang/Welcher Typ Deep Learning) • Ausblick (Weitere Einsatzorte geplant) 	
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsart (Linienbetrieb/Forschungs- bzw. Testbetrieb) • Linie (Ringlinie oder einfache Strecke) • Strecke • Fahrzeit • Haltestellen • Höchstgeschwindigkeit • Anzahl vorhandener Shuttles • Operator an Bord 	
Beförderungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrpreis • Erlaubte Fahrgastanzahl 	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebliche Kosten • Implementierungskosten 	
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Ziele (Verringerung der Abgas- und Lärmemissionen/ Sinnvoller Einsatz in bestehenden Lücken → Keine Konflikte mit dem ÖPNV/Verringerung des Verkehrsaufkommens und Reduzierung von Nutzungskonflikten mit anderen Verkehrsteilnehmern) 	
Ergebnisse / Ausblick	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgetretene Probleme • Evaluationsergebnisse 	
Bild 1: Lageplan	<ul style="list-style-type: none"> • Lageplan – Streckenverlauf 	
Bild 2: Vom Bus Bild 3: Im Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Ansichten des Shuttles • Ansichten im Fahrbetrieb 	
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsquellen 	

Tabelle 6: Projektsteckbrief „Stimulate“

Projekt „Stimulate“		Charité – Universitätsmedizin Berlin
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Mai 2017 – April 2020 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> • Berlin auf dem Campus Charité Mitte und dem Campus Virchow-Klinikum 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> • BVG (Berliner Verkehrsgesellschaft) • Charité • Land Berlin • Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (3,2 Millionen Euro) 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Busse – Easymile EZ10 (Kapazität: 6) • 2 Busse – Navya Arma (Kapazität: 11) • 12 km/h Höchstgeschwindigkeit • Projektbudget liegt bei rund 4,1 Millionen Euro • Charité stellt die Straßen- und Ladeinfrastruktur bereit • Kunden: für alle freigegeben und kostenlos 	
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsart: Testbetrieb auf dem Krankenhausgelände • Betriebszeiten: Mo-Fr von 9-16 Uhr • Routen: <ul style="list-style-type: none"> • Charité Mitte (Ringlinie; 1,2km Länge; 9 Haltestellen (8 barrierefrei)) • Virchow Außenring (Ringlinie; 1,4km; 9 Haltestellen (3 barrierefrei)) • Virchow Innenring (Ringlinie; 850m; 7 barrierefreie Haltestellen) <p>Der Linienweg ist komplett auf dem vom öffentlichen Straßenverkehr abgegrenzten Charité-Gelände. Auf dem Gelände verkehren vielfältige Verkehrsmittel (Fußgänger, Radfahrer, Pkw, Lkw und Busse). Besonderheit sind häufig verkehrende Rettungswagen mit Sondersignal.</p>	
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzerakzeptanz von autonomen Bussen • Können MIV-Nutzer Nutzer nachhaltig zum Umstieg auf den ÖPNV bewegt werden? • Erforschung von Einsatzmöglichkeiten autonomer Shuttle 	
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • https://www.spiegel.de/auto/aktuell/berlin-charite-und-bvg-testen-autonome-busse-a-1199920.html • https://www.gruenderszene.de/automotive-mobility/bund-investiert-millionen-bvg-autonom-e-bus?interstitial • https://www.wir-fahren-zukunft.de/ 	

Tabelle 7: Projektsteckbrief „NAF-BUS“

NAF-BUS (Nachfragegesteuerter-Autonom-Fahrender Bus)		Keitum (Sylt)
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> 01.07.2017 – 30.06.2020 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> Testfahrten auf dem Green TEC Campus seit Juni 2018 Seit 04.05.2019 im öffentlichen Straßenraum von Keitum (Sylt) Geplante Testfahrten in Lunden/Lehe ab Herbst 2019 (noch nicht in Betrieb) 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> Projekt ist aus dem Schleswig-Holsteiner Innovationswerk EurA AG - Enge-Sande: Koordination des Verbundes, Einbeziehung der Bevölkerung, Eigenevaluation, Nutzerbefragung / Akzeptanzuntersuchung Autokraft GmbH - Flensburg: Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Pendlerverkehr Fastleasant GmbH - Heikendorf: Entwicklung der Echtzeitplanung für die autonomen Busse in drei Einsatzszenarien GreenTEC Campus GmbH - Enge-Sande: Entwicklung der Nutzung auf Testgelände und Betrieb autonomer Busse auf diesem Gelände Interlink GmbH (Büro autoBus) - Berlin: Verkehrsplanung im ÖPNV, Umsetzungsplanung für autonome Fahrzeuge im ÖPNV MOTEG GmbH - Flensburg: Entwicklung energetische Routenoptimierung und Berechnung Nachladezeiten Sylter Verkehrsgesellschaft - Westerland auf Sylt: Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Tourismus Institut für Informatik der CAU zu Kiel: Forschung und Entwicklung zuverlässiger Systeme und Erarbeitung von Sicherheitsstandards für autonome Busse Geographisches Institut, AG Kulturgeographie der CAU zu Kiel: Untersuchung sozialer und politischer Dimensionen und Implementierung von Akzeptanzmaßnahmen Institut für Wirtschafts- und Steuerrecht der CAU zu Kiel: Forschungsarbeiten zur Schaffung rechtlicher Grundlagen rund um das autonome Fahren besonders in Bezug auf Straßenzulassung, Datenschutz, Versicherung 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> Fahrzeughersteller: Navya Arma, Akkulaufzeit 130 km (abh. von der Außentemperatur, Einsatz von Klimaanlage, Anzahl der zu befördernden Personen), aufladbar innerhalb von 5-8 Stunden Kapazität: 12 Sitzplätze Technische Umsetzung: 8 LIDAR-Sensoren Kunden: öffentlicher Verkehr 	

Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeholte Genehmigungen: Seit 17. April 2019 liegt die Genehmigung seitens des Landes Schleswig-Holstein und des Kreises Nordfriesland für den Betrieb des Navya Arma auf öffentlicher Straße vor. • Umsetzung: Einmessung ca. 6 Monate Während der Anfangsphase ist eine im Fahrzeug befindliche Begleitperson vorhanden, die das Fahrzeug überwacht und die Fahrgäste informiert und unterstützt; in einer späteren Phase soll das Fahren unbegleitet sein • Betriebsart: Linienverkehr im öffentlichen Straßenraum • Betriebszeitraum: Dienstags bis Samstag von 10-16 Uhr, Takt 30min/1 Stunde • Route: Ringlinie von 2,7 km mit 12 Haltestellen • Vmax im Betrieb: unbekannt • Operator on Board • Ausblick: Betrieb auf dem Festland im Kreis Dithmarschen in Lunden/Lehe ist geplant. Zudem soll der Betrieb perspektivisch nachfrageorientierter erfolgen, d.h. ohne festen Routen und Zeit
Beförderungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Für alle zugänglich • Kostenfrei
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Budget: rund 4,4 Mio. Euro Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Summe von mehr als 2 Millionen Euro)
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzerverhalten und -akzeptanz • Erprobung des AV-Busses im touristischen Kontext • Testen von autonom fahrenden Bussen ohne feste Routen und Fahrpläne, die einzig durch die Interessenten gesteuert werden.
Ergebnisse / Ausblick	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluationsergebnisse sind positiv, das Angebot wird von den Fahrgästen angenommen • Im Rahmen des Projekts wird eine Online-Umfrage durchgeführt (http://www.limesurvey.geographie.uni-kiel.de/index.php/116974?lang=de Geographisches Institut der Christian-Albrechts-Universität Kiel, AG Kulturgeographie, Prof. Dr. Florian Dünckmann duenckmann@geographie.uni-kiel.de, Dr. Jana Kühl kuehl@geographie.uni-kiel.de)
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • https://www.naf-bus.de/ • https://www.heise.de/newsticker/meldung/Autonomer-Bus-soll-in-Keitum-auf-die-Strecke-gehen-4284618.html • https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/naf-bus.html • https://www.greentec-campus.de/pdf/presse/Nordfriesland_27122019.pdf

Tabelle 8: Projektsteckbrief Stadt Monheim am Rhein

Selbstfahrende Busse im öffentlichen Nahverkehr		Monheim am Rhein
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Projektstart: 26.03.2019 (Testphase) • Ab Februar 2020: fünf Busse im Einsatz 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> • Monheim am Rhein 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> • BSM (Bahnen der Stadt Monheim) • Stadt Monheim • TÜV Rheinland • Blic • TVU • Bezirksregierung Düsseldorf • VRR • Verkehrsministerium NRW • Wirtschaftsministerium NRW 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> • 5 Easy Mile EZ10 (Gen2) Fahrzeuge (2 Fahrzeuge bis 2/2020 und 5 ab 2/2020) • Kapazität: 6 Sitzplätze • Technische Umsetzung: Sensoren sind hinten und vorne, jeweils unten und mittig am Shuttle angebracht sowie auf dem Dach. Reichweite: teils 400 Meter. Kamera ergänzt die Infos rechnergesteuert, Streckeninfo wird programmiert (GPS), • Eingeholte Genehmigungen: Ausnahmegenehmigung nötig. Laut Ministerium haben diese Fahrzeuge im Allgemeinen noch keine Typengenehmigung. Um sie im Straßenverkehr einsetzen zu können, benötigen sie eine Ausnahmegenehmigung in Form eines Gutachtens von einem amtlich anerkannten Sachverständigen. • Umsetzung: Im ersten Schritt hat das Unternehmen Easymile die Software mit den Daten der Probestrecke auf dem BSM-Gelände gefüttert. 	
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Kunden: Linienbetrieb • Betriebsart: Monheim will einen Flottenbetrieb. Ab Herbst sollen die fünf Busse dann im Zehn-Minuten-Takt von morgens sieben bis abends 23/24 Uhr vom Busbahnhof durch die Altstadt und zurück fahren. (Linienbetrieb mit 3 Fahrzeugen, die restlichen zwei laden in der Zeit) • Betriebszeitraum: Täglich 7-23/24 Uhr • Route: 2,7 Kilometer lange Ringlinie mit sechs Haltestellen zwischen Busbahnhof und Kapellenstraße • Vmax im Betrieb: 16km/h • Operator on Board 	
Beförderungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Für alle zugänglich • Kostenlos, seit April 2020 ist der komplette ÖPNV kostenlos 	

Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • 2,1 Millionen Euro kostet die Investition in eine neue Buslinie, 90 Prozent davon zahlt das Land.
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Die neue Linie sei vor allem als Zubringer zu den klassischen Hauptbuslinien gedacht. Die kleinen, wendigen Fahrzeuge können besser durch enge Altstadtstraßen und das historische Stadttor manövrieren. Wird die Linie ein Erfolg, könnte es weitere Kleingefährt-Anbindungen von anderen Wohnvierteln zum Busbahnhof geben, sagt er. Ziel ist es auch, die Shuttles als Maßnahme gegen den grassierenden Fahrermangel in der Branche zu prüfen.
Ergebnisse / Ausblick	<ul style="list-style-type: none"> • Durch einen leichten Verkehrsunfall wurde einer der Elektrobusse in Monheim beschädigt. Verletzte gab es nicht, allerdings benötige die Reparatur des autonomen Busses mehrere Tage. Dadurch kam es zu Verzögerungen bei der Einführung der neuen Buslinie. Im Herbst startete die neue Buslinie mit autonom pendelnden E-Bussen. • Aufwändige und zeitintensive Reparaturen. • Keine wissenschaftliche Begleitung
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • https://rp-online.de/nrw/staedte/langenfeld/monheim-testet-mini-busse-ohne-fahrer_aid-20653741 • https://www.spiegel.de/auto/aktuell/monheim-will-autonome-linienbusse-noch-in-diesem-jahr-starten-a-1253225.html • https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/autonomes-fahren-monheim-bus-beschaedigt-100.html • https://www.monheim.de/stadtleben-aktuelles/news/nachrichten/startschuss-fuer-die-autonom-fahrenden-linienbusse-in-monheim-am-rhein-6644/ • https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx • https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/autonom-bus-monheim-altstadt-100.html

Tabelle 9: Projektsteckbrief „Tabula“

Projekt „TaBuLa“		Lauenburg
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> 01.01.2018 – 30.06.2020 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> Lauenburg 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> Kreis Herzogtum Lauenburg Institut für Verkehrsplanung und Logistik der Technischen Universität Hamburg Stadt Lauenburg/Elbe Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH Büro autoBus Siemens Mobility GmbH Versorgungsbetriebe Elbe GmbH 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> 1 Navya Arma Fahrzeug Kapazität: 10 Sitzplätze 	
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> Betreiber: Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH Betriebsart: Testbetrieb im öffentlichen Straßenraum Bedienzeitraum: Di-Fr 8-11 Uhr und 14-17 Uhr; Sa 8-14 Uhr Route: Phase 1 Amtsplatzrunde (Ringlinie, 750 m, 3 Haltestellen) Phase 2 Fürstengartenrunde (Ringlinie, 950 m, 3 Haltestellen) Phase 3 Altstadttrunde (Ringlinie, 2,4 km, 9 Haltestellen) Vmax im Betrieb: 18 km/h Operator on Board 	
Beförderungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> Für alle zugänglich kostenlos 	
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> Erforschung des autonomen Fahren im ÖPNV im ländlichen Raum Organisation des Straßenverkehrs Akzeptanz von Nutzern 	
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> https://www.tuhh.de/spektrum/1910/#14 https://www2.tuhh.de/tabula/ https://www.tabulashuttle.de/ 	

Tabelle 10: Projektsteckbrief „AutoNV OPR“

Projekt AutoNV OPR		Wusterhausen/Dosse
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> 01.07.2017 – 30.06.2020 	
Umsetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> Wusterhausen / Dosse in Brandenburg 	
Projektpartner	<ul style="list-style-type: none"> Technische Universität Berlin - Institut für Land- und Seeverkehr Technische Universität Dresden - Fakultät Verkehrswissenschaften Ostprignitz-Ruppiner Personennahverkehrsgesellschaft mbH Regionalentwicklungsgesellschaft Nordwestbrandenburg mbH 	
Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> 1 EasyMile EZ10 Fahrzeug Kapazität: 6 Sitzplätze Technische Umsetzung: Lidar, Kamera, Radar, differenziertes GPS, Inertial Measurement Unit (IMU), Odometrie 	
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> Betriebsart: Testbetrieb im öffentlichen Straßenraum Betriebszeitraum: Mo-Fr 8-18 Uhr Route: Abschnitt 1 (7 bzw. 12 Haltestellen) Abschnitt 2 (3,5 km, 17 Haltestellen) Abschnitt 3 (Durchmesserlinie, 8 km, 19 Haltestellen) Vmax im Betrieb: 10-25 km/h Operator on Board 	
Beförderungsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> Für alle zugänglich kostenlos 	
Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten im ländlichen Raum Weiterentwicklung des ÖPNV im ländlichen Raum Nutzerakzeptanz Überprüfung, ob autonome Shuttlebusse Bestandteil des ÖPNV werden können. Auswirkungen von automatisierten Bussen auf die Finanzierungsroutinen des ÖPNV Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Betrieb in Deutschland 	
Quellen / weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> https://www.autonv.de/ http://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/AutoNV_OPR_Forschungsprojekt-zu-autonomisiertem-Nahverkehr-in-OPR.pdf https://www.strassenplanung.tu-berlin.de/menue/forschung/projekte/autonomer_oeffentlicher_nahverkehr_im_laendlichen_raum_lk_ostprignitz_ruppin/ https://www.autonv.de/wp-content/uploads/2016/12/708-2.pdf 	

Anhang B: Interviewleitfaden der Bachelorarbeit (angelehnt an Krndzija, 2020)

Befragungsbogen
1. Ist eine Einbindung der Shuttles im öffentlichen Nahverkehr in Frankfurt realisierbar? (Betriebsleitung)
2. Welche Erkenntnisse konnten Sie durch die Testphase gewinnen? (Betriebsleitung)
3. Sind Ihnen bestimmte Gefahrenpunkte während der Testphase aufgefallen? (Betriebsleitung & Operatoren)
4. Haben Sie Verbesserungsvorschläge für die Sicherheit? (Betriebsleitung & Operatoren)
5. Wie bewerten Sie die Sicherheit im Inneren und Äußeren des Shuttles? (Operatoren)
6. Wie sicher haben Sie sich im Shuttle gefühlt? (Operatoren)

Anhang C: Weitere Ergebnisse der Online-Befragung

Tabelle 11: Mitfahrt – Geschlecht (eigene Darstellung)

Geschlecht	Mitfahrt	
	Ja	Nein
Männlich	251	40
Weiblich	116	16

Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant | n = 423

Tabelle 12: Mitfahrt – Altersklasse (eigene Darstellung)

Altersklasse	Mitfahrt	
	Ja	Nein
< 20	32	2
20-35	179	30
36-50	77	16
51-65	57	8
> 65	26	1
Keine Angabe	1	5

Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant | n = 434

Tabelle 13: Mitfahrt – Erwerbstätigkeit (eigene Darstellung)

Erwerbstätigkeit	Mitfahrt	
	Ja	Nein
Angestellter Vollzeit	186	34
Angestellter Teilzeit	30	5
Azubi	7	0
Student/-in	87	13
Rentner/-in	28	2
Haufrau/-mann	6	1
Freigestellt/beurlaubt	3	0
Keine Angabe	25	7

Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; kein signifikanter Unterschied | n = 434

Tabelle 14: Sicherheitsempfinden – Geschlecht (eigene Darstellung)

Bewertung des Sicherheitsgefühls?	Mittelwert
Geschlecht	
Männlich	5,4
Weiblich	5,2

Test-Statistik basiert auf: t-Test; kein signifikanter Unterschied | n = 369 | Bewertung: 1 (nicht sicher) bis 6 (sehr sicher)

Tabelle 15: Altersklasse – Sicherheitsempfinden (eigene Darstellung)

Sicherheit	Altersklasse				
	< 20	20-35	36-50	51-65	> 65
1 (nicht sicher)	0	4	0	2	1
2	0	2	2	2	1
3	0	6	2	3	1
4	2	14	6	4	4
5	9	41	22	7	6
6 (sehr sicher)	22	111	45	39	15

Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; kein signifikanter Unterschied | n = 373

Tabelle 16: Sicherheitsempfinden – Erwerbstätigkeit (eigene Darstellung)

Erwerbstätigkeit	Sicherheit					
	1	2	3	4	5	6
Angestellter (Vollzeit)	3	2	3	11	43	123
Angestellter (Teilzeit)	1	1	2	2	8	16
Azubi	0	0	0	2	1	4
Student/ -in	0	1	4	7	22	56
Rentner/-in	2	1	1	4	6	15
Hausfrau/-mann	0	0	1	1	1	3
freigestellt/beurlaubt	0	0	0	1	0	2

Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; kein signifikanter Unterschied | n = 350

Tabelle 17: Mitfahrt ohne Fahrpersonal – Sicherheitsempfinden (eigene Darstellung)

Bewertung des Sicherheitsgefühls?	Mittelwert	
Anwesenheit des Operators		
Mitfahrt ohne Operator	5,4	
Keine Mitfahrt ohne Operator	4,7	-0,69***
Test-Statistik basiert auf: t-Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 394 Bewertung: 1 (nicht sicher) bis 6 (sehr sicher)		

Tabelle 18: Altersklasse – Mitfahrt ohne Operator (eigene Darstellung)

Operator	Altersklasse				
	< 20	20-35	36-50	51-65	> 65
Mitfahrt	31 (93,9 %)	171 (96,1 %)	75 (97,4 %)	51 (87,9 %)	25 (89,3 %)
Keine Mitfahrt	2	7	2	7	3
Gesamt	33	178	77	58	28
Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 374					

Tabelle 19: Altersklasse – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung)

Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr	Altersklasse				
	< 20	20-35	36-50	51-65	> 65
Ja	28 (84,8 %)	149 (83,7 %)	63 (81,8 %)	46 (79,3 %)	24 (85,7 %)
Nein	1	9	2	1	1
Weiß nicht	4	20	12	11	3
Gesamt	33	178	77	58	28
Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 374					

Tabelle 20: Erwerbstätigkeit – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung)

Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr	Erwerbstätigkeit						
	Angestellter (Vollzeit)	Angestellter (Teilzeit)	Azubi	Student/-in	Rentner/-in	Hausfrau/-mann	Freigestellt/beurlaubt
Ja	156	22	5	77	24	3	3
Nein	5	1	0	5	2	1	0
Weiß nicht	24	7	2	8	3	2	0
Gesamt	185	30	7	90	29	6	3
Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; kein signifikanter Unterschied n = 350							

Tabelle 21: Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen – Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr (eigene Darstellung)

Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr	Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen		
	Positiv	Negativ	Gesamt
Ja	306 (97,1 %)	9	315
Nein	8	8	16
Weiß nicht	36	17	53
Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 384			

Tabelle 22: Mitfahrt ohne Fahrpersonal – Einführung autonomer Fahrzeuge (eigene Darstellung)

Bewertung der Einführung autonomer Fahrzeuge?	Mittelwert
Bereits in einem autonomen Shuttle mitgefahren	
Ja, bereits in einem autonomen Shuttle mitgefahren	2,76
Nein, noch nicht in einem autonomen Shuttle mitgefahren	2,83
Test-Statistik basiert auf: t-Test; kein signifikanter Unterschied n = 449 Bewertung: 1 (nicht kritisch) bis 6 (sehr kritisch)	

Tabelle 23: Sicherheitsempfinden – Einführung autonomer Fahrzeuge (eigene Darstellung)

Bewertung der Einführung	Sicherheit						Gesamt
	1 (nicht sicher)	2	3	4	5	6 (sehr sicher)	
1 (nicht kritisch)	0	0	1	2	8	67 (85,9 %)	78
2	1	1	2	5	28	76 (67,3 %)	113
3	1	0	5	9	30	51	96
4	1	2	2	6	10	16	37
5	2	4	2	7	9	16	40
6 (sehr kritisch)	2	0	0	1	4	12	19
Gesamt	7	7	12	30	89	238	383
Test-Statistik basiert auf: χ^2 -Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 383							

Tabelle 24: Sitzplatzangebot – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung)

Bewertung des Sitzplatzangebots?	Mittelwert	
Standpunkt		
Positiv	3,78	-
Negativ	3,03	-0,75***
Test-Statistik basiert auf: t-Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 375 Bewertung: 1 (negativ) bis 6 (positiv)		

Tabelle 25: Äußeres Erscheinungsbild – Geschlecht (eigene Darstellung)

Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes?	Mittelwert
Geschlecht	
Männlich	4,77
Weiblich	4,75
Test-Statistik basiert auf: t-Test; kein signifikanter Unterschied n = 368 Bewertung: 1 (nicht ansprechend) bis 6 (sehr ansprechend)	

Tabelle 26: Äußeres Erscheinungsbild – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung)

Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes?	Mittelwert	
Standpunkt		
Positiv	4,86	-
Negativ	3,79	-1,07***
Test-Statistik basiert auf: t-Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 382 Bewertung: 1 (nicht ansprechend) bis 6 (sehr ansprechend)		

Tabelle 27: Inneres Erscheinungsbild – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung)

Bewertung des inneren Erscheinungsbildes?	Mittelwert	
Standpunkt		
Positiv	4,9	-
Negativ	4	-0,9***
Test-Statistik basiert auf: t-Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 383 Bewertung: 1 (nicht ansprechend) bis 6 (sehr ansprechend)		

Tabelle 28: Einführung von autonomen Fahrzeugen – Standpunkt zu autonomen Fahrzeugen (eigene Darstellung)

Bewertung der Einführung autonomer Fahrzeuge?	Mittelwert	
Standpunkt		
Positiv	2,59	-
Negativ	4,67	2,08***
Test-Statistik basiert auf: t-Test; auf dem 1%-Niveau signifikant n = 451 Bewertung: 1 (nicht kritisch) bis 6 (sehr kritisch)		

Kontakt:

Frankfurt University of Applied Sciences

Prof. Dr.-Ing. Petra Schäfer

Nibelungenplatz 1

60318 Frankfurt am Main

Tel. 0 69 15 33-2797

E-Mail: petra.schaefer@fb1.fra-uas.de

www.frankfurt-university.de/verkehr

www.ReLUT.de