



Schlussbericht OTS 1.0

Optimiertes Transportsystem
Basierend auf selbstfahrenden
Elektrofahrzeugen

SIEMENS
Ingenuity for life

Technische
Universität
München

TUM

IKEM

automotive
engineering **iauv**

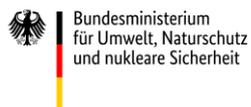
UTB

UTB
Projektmanagement
GmbH



Emm!
mobility solutions

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Förderkennzeichen: **16EM3128-1**

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2017 bis 31.10.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Zusammenfassung	10
2 Einführung.....	12
2.1 Motivation des Vorhabens	12
2.2 Ziele des Projektes.....	13
2.3 Aufgaben der einzelnen Projektpartner.....	13
3 Ergebnisse des Fördervorhabens.....	15
3.1 AP1000: Gesamtprojektleitung und Koordination (Siemens, Emm! solutions)	15
3.2 AP2000: Mobilitätsanwendungen und Geschäftsmodelle (Siemens, IKEM)	15
3.3 AP3000: Rechtsrahmen (IKEM).....	37
3.4 AP4000: Systemplattform, Sensorik und Kommunikation (Siemens, Emm! solutions)	44
3.5 AP5000: Leittechnik (Siemens, Emm! solutions)	58
3.6 AP6000: Fahrzeug und Prototyp (IAV)	72
3.7 AP7000: Systemintegration, Testfelder und Betrieb (Siemens, Emm! solutions).....	72
3.8 AP8000: Untersuchung des verkehrlichen Gesamtkonzeptes (TUM).....	85
3.9 AP9000: Kommunikation und städtebauliche Integration (Siemens, UTB)	103
4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan	128
5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	129
6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf.....	131
7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)	134
8 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses	136
8.1 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	136
8.2 Angemeldete Schutzrechte und Erfindungen.....	136
9 Quellen-/Literaturverzeichnis.....	137
Anhang.....	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Siemens Self-Driving Vehicle Suite	10
Abbildung 2: Beispiel für eine Verkehrszelle mit Hausblöcken, Bushaltestellen und Mobility Hub (basierend auf AP8300)	24
Abbildung 3: Lage des Mobility-Hubs und der Bushaltestellen (basierend auf [2])	27
Abbildung 4: Gesamtinvestition in Abhängigkeit des Servicegrads für Nachfrageszenario 1	29
Abbildung 5: Gesamtinvestition des Servicegrads für Nachfrageszenario 2	31
Abbildung 6: Spezifische Treibhausgasbilanz der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2016, aufgegliedert nach Energieträgern [6]	34
Abbildung 7: Vergleich der Kosten pro Fahrplankilometer.....	36
Abbildung 8: Prozentueller Vergleich der Gesamtkosten.....	36
Abbildung 9: OTS-Gesamtsystemstruktur	44
Abbildung 10: Die vier Schichten der Local Dynamic Map, ergänzt um das Occupancy Grid als fünfte Ebene [8]	45
Abbildung 11: Beispiel Occupancy Grid.....	46
Abbildung 12: Inbetriebnahme in der Antennenmesskammer des Radars	48
Abbildung 13: Erste Referenzmessungen eines fahrenden Fahrzeugs mit dem Radar. Oben ist der Abstand und die radiale Geschwindigkeit des Fahrzeugs dargestellt und unten eine entsprechende Aufnahme des Szenarios.....	48
Abbildung 14: Zugeordnete einzelne Detektionen zu einem Objekt (weißes Quadrat)	49
Abbildung 15: Dopplersignatur einer gehenden Person.....	49
Abbildung 16: Implementierte Klassifikationsalgorithmen im Feldtest	50
Abbildung 17: Ausschnitt des Rundkurses mit Radarsensorik	51
Abbildung 18: Die drei Messmodi zwischen Basisstation (A) und Transponder (T). Abstand: TWR (Blau), Zeitstempel: TDoA (Grün) und Winkel: AoA (Rot)	54
Abbildung 19: Schematische Darstellung eines Ortungsszenarios	55
Abbildung 20: Laboraufbau RTLS - Systemkonzept.....	55
Abbildung 21: Visualisierung der Ergebnisse im Labor	56
Abbildung 22: RTLS-Basisstation (links) und Versuchsaufbau im Labor (rechts)	57
Abbildung 23: Übersicht des „Ampelbereichs“	57
Abbildung 24: Ergebnisse der Messkampagne im Ampelbereich	58
Abbildung 25: Funktionsgruppen der Leittechnik.....	59
Abbildung 26: Dispatcher Interface - Kartenausschnitt und ausgewählte Optionen	62
Abbildung 27: Dispatcher Interface - Benachrichtigungen bzw. Optionen in Listenansicht	62
Abbildung 28: Dispatcher Interface – Statistische Auswertung	63
Abbildung 29: Heat-Map – Streckenabschnitte mit vermehrter Anzahl an manuellen Eingriffen	63
Abbildung 30: Informationsbildschirm zur Koordinierung der Operatoren-Aufgaben	64
Abbildung 31: User Interface des Flottenmanagements zur manuellen Änderung bzw. Anpassung der Trajektorienplanung	65
Abbildung 32: Infrastrukturmonitoring mit Filtermöglichkeiten	66
Abbildung 33: Passagiermanagement UI mit Kabinenüberwachung	68
Abbildung 34: Darstellung einer iCCTV-Installation in einem Zug.....	69
Abbildung 35: Fahrgastinformation über die Displayanzeige im OTS Shuttle	70

Abbildung 36: Fahrgastinformation – Anwendung intermodales Routing	70
Abbildung 37: Sensorabdeckung	73
Abbildung 38: Virtueller Fahrzeugprototyp ILO 1	73
Abbildung 39: Use-Case Rechts vor links	74
Abbildung 40: Simulationsergebnisse ohne Infrastruktur	74
Abbildung 41: Simulationsergebnisse mit Infrastruktur	74
Abbildung 42: Simulationsumgebung Aimsun Next	75
Abbildung 43: Dreiarmiger Kreuzungspunkt.....	75
Abbildung 44: Ausstattung der Masten mit Sensorik	76
Abbildung 45: Ilo 1	77
Abbildung 46: Rack mit Mess- und Steuerelektronik	77
Abbildung 47: Ilo 1 – Erfassungsbereich fahrzeugeigene Sensorik	78
Abbildung 48: Situationen, in denen ausschließlich fahrzeugeitige Sensorik zu Problemen führt	78
Abbildung 49: Komponenten der mikroskopischen Verkehrssimulation zur Abbildung der Wirkung des automatisierten Fahrens	85
Abbildung 50: Fiktives Netz	88
Abbildung 51: Modal Split 2008 nach Bezirken in Berlin [3].....	88
Abbildung 52: Dimensionen des OTS Shuttles (rechts)	90
Abbildung 53: Flottenmanagement und mögliche Fahrdurchführung	92
Abbildung 54: Struktur der Auswertung.....	94
Abbildung 55: Mittlere Verlustzeit pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien	95
Abbildung 56: Mittlere Verlustzeit pro Fahrzeugtyp in unterschiedlichen Szenarien.....	96
Abbildung 57: Mittlere Standzeit pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien	97
Abbildung 58: Mittlere Anzahl der Halte pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien.....	98
Abbildung 59: Mittlere Geschwindigkeit in unterschiedlichen Szenarien.....	99
Abbildung 60: Betriebliche- und Nutzerspezifische Indikatoren für die Morgenspitze.....	100
Abbildung 61: Betriebliche- und Nutzerspezifische Indikatoren für die Abendspitze.....	101
Abbildung 62: Simulation des Gartenfeld Netzes	102
Abbildung 63: Phase 1 – Einführung des autonomen Busses im bestehenden Gewerbegebiet im Süden (Grundlage: [17]).....	120
Abbildung 64: Phase 2 – Im neu errichteten Stadtquartier (Grundlage: [17])	122
Abbildung 65: Phase 3 – Im neu errichteten Stadtquartier (Grundlage: [17])	123
Abbildung 66: Haltestellenpunkte im neu errichteten Stadtquartier und Gewerbegebiet (Grundlage: [17])	124
Abbildung 67: Phase 4 – Außerhalb des neuen Stadtquartiers Gartenfeld (Grundlage: [18])	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale des Mobilitätskonzepts.....	26
Tabelle 2: Fahrzeugbezogene Werte nach Fahrzeugtyp	28
Tabelle 3: Flottenzusammensetzung für Nachfrageszenario 1	30
Tabelle 4: Flottenzusammensetzung für Nachfrageszenario 2.....	31
Tabelle 5: Art der übertragenen Informationen zwischen Shuttle Connector und Shuttle System, OCC, Traffic Cell.....	52
Tabelle 6: Links abbiegen mit verdeckter Sicht.....	80
Tabelle 7: Vorfahrt gewähren – rechts vor links	81
Tabelle 8: Links abbiegen mit verdeckter Sicht.....	82
Tabelle 9: Zielbremsung an einer „roten Ampel“	83
Tabelle 10: Links abbiegen mit verdeckter Sicht.....	84
Tabelle 11: OTS-Systemkomponenten mit den entsprechenden Schnittstellen in der Simulationsumgebung	87
Tabelle 12: Nachfrage für Morgenspitze und Abendspitze	89
Tabelle 13: Anzahl und Reichweite der Sensoren im OTS Shuttle	90
Tabelle 14: Parametertabelle Fahrzeugfolgeverhalten	91
Tabelle 15: Das OTS Shuttlesystem in den verschiedenen Szenarien	93
Tabelle 16: Simulationsergebnisse für Gartenfeld	103

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ADAS	Advanced Driver Assistance System
AoA	Angle of Arrival
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BSI	Bundesamt für Sicherheit und Informationstechnik
CAN	Controller Area Network
CAPEX	Capital Expenditures
COM	Component Object Model
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
CVRPTW	Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows
DDS	Data Distribution Service
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGPS	Differential Global Positioning System
DIO	Digital Input Output
E/E	Elektrik/Elektronik
ESCoS	EcoSystemCooperativeSysteme
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

FoV	Field of View = Sichtbereich
GPS	Global Positioning System
HD	High Definition
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HW	Hardware
iCCTV	Intelligent Closed Circuit Television
IDL	Interface Definition Language
IKEM	Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität
ITS	Intelligent Traffic System
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
LDM	Local Dynamic Map
Lidar	Light detection and ranging
LSA	Lichtsignalanlage
LTE	Long Term Evolution
MchP	München-Perlach
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MISsdv	Modular Infrastructure System for self-driving vehicles
MIV	Motorisierter Individualverkehr

MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NMIV	Nicht-Motorisierten Individualverkehr
OBU	Onboard Unit
OCC	Operation Control Center
OMG	Object Management Group
OPEX	Operational Expenditures
ÖPFV	Öffentlichen Personenfernverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OTS	Optimiertes Transportsystem
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PSP	Publish Subscribe
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
ROS	Robot Operating System
RSU	Roadside Unit
RTLS	Real-Time Locating System
SDV	self-driving vehicle
SIZU	Straßenseitige Infrastruktur zur Umfelderkennung
SPAT	Signal Phase and Time

StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SW	Software
TAFF	Teilautomatisiert Fahrenes Fahrzeug
TCCC	Traffic Cell Control Computer
TdoA	Time Difference of Arrival Verfahren
TMS	Traffic Management System
TWR	Two Way Ranging
UN-ECE	United Nations Economic Commission for Europe
UWB	Ultra Breitband
UX	User Experience
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Environment
VAP	Verkehrsabhängige Programmierung
VisVAP	Visual VAP
VRP	Vehicle Routing Problems
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Zusammenfassung

Die stetige Zunahme der städtischen Bevölkerung sowie der verbreitete Wunsch nach individueller Mobilität führt zu einem stark wachsenden Verkehrsaufkommen im urbanen Raum und geht einher mit steigenden Luftschadstoff- sowie Lärmemissionen. Die Umstellung auf autonome, elektrisch angetriebene, intelligente und vernetzte Fahrzeuge wird die Verschiebung vom motorisierten Individualverkehr zum ÖPNV begünstigen und sich somit positiv auf das Mobilitätsverhalten in der Stadt auswirken. Die Umsetzbarkeit dieser Umstellung wurde durch das Projekt OTS 1.0 (Optimized Transport System) im Förderprogramm "Erneuerbar Mobil" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland erprobt. Hierfür wurde ein reales Testfeld am Siemens Standort München Perlach eingerichtet.

Der Betrieb des OTS-Shuttles erforderte das Zusammenspiel von Leittechnik, sensorischen Infrastrukturelementen sowie den Fahrzeugen selbst (Abbildung 1). Auf dem Testfeld München Perlach wurde ein Rundkurs eingerichtet, dessen Gesamtstrecke mit Radarsensoren, an ausgewählten Stellen zusätzlich mit Lidarsensoren ausgestattet wurde. Die Ausstattung der Infrastruktur mit Sensorik und Road Side Units (RSU) war die Voraussetzung für V2I-Kommunikation (Vehicle to Infrastructure). Unter dem Einsatz des teilautomatisierten IAV Shuttles und dem Messfahrzeug ILO 1 wurden verschiedene Verkehrsszenarien auf dem Testfeld umgesetzt und erprobt.



Abbildung 1: Siemens Self-Driving Vehicle Suite

Wichtige Systemkomponenten sind das Shuttle, der Shuttle Connector zur Anbindung der fahrzeugeigenen E/E-Architektur an die Straßeninfrastruktur, die Infrastrukturseitige Sensorik und Kommunikationstechnik sowie das Operation Control Center (Ausführung der Leittechnik). Die Umfelderkennung der Infrastruktur wird zusammen mit statischen Daten in einem Echtzeitmodell gespeichert und den Fahrzeugen bereitgestellt. Die Informationsabstraktion orientiert sich dabei an der Definition der LDM (Local Dynamic Map) nach ETSI TR 102 863 V1.1.1 (2011-06). Im Rahmen des Projektes stellte sich heraus, dass unter anderem aus Gründen der Datenübertragungseffizienz eine Abstraktionsschicht zu

Layer 4 empfehlenswert ist. Diese folgt dem Prinzip der aus der Kognition bekannten Darstellung von Freiräumen mittels Voxel (Referenz) und projiziert die Objekte der Ebene 4 auf die Ebene 1. Das Ergebnis ist eine Menge an gefärbten Kacheln. Die Farbe rot steht für „nicht überfahrbar“, grün entsprechend für „überfahrbar“.

Im Zusammenhang mit der LDM kommt der Eigenpositionierung eine hohe Bedeutung zu. Hierbei wird über UWB-Verfahren die Echtzeitlokalisierungen bekannter Fahrzeuge gewährleistet, sowie über DGNS Korrekturdaten zur Verbesserung der Eigenpositionierung bereitgestellt. Die Leittechnik befasst sich mit dem Management des gesamten Mobilitätssystems und setzt sich aus verschiedenen Funktionsgruppen (Passagierinformation, Passagiermanagement, Flottenmanagement etc.) für unterschiedlichste Aufgaben zum umfassenden Betrieb des autonomen Transportsystems zusammen.

Zur Untersuchung des verkehrlichen Gesamtkonzeptes wurde eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation durchgeführt, die die Vorteile der On-Demand OTS-Shuttles gegenüber dem motorisierten Individualverkehr aufzeigt: Staus werden nahezu vollständig vermieden, die Laufzeit der Kunden sowie die Wartezeiten verringern sich. Darüber hinaus wurde speziell für das Stadtquartier Gartenfeld eine Verkehrsflusssimulation bei fixem Linienbetrieb und flexiblem Zeitplan durchgeführt, wodurch unter anderem die Anzahl der benötigten Shuttles in Morgen- und Abendspitze prognostiziert werden konnte.

Im OTS Projekt wurde neben dem betriebsinternen Einsatz des Shuttles in München Perlach ein weiteres Betreiber- bzw. Geschäftsmodell untersucht. Dieses sieht das autonome Shuttle als Zubringer zum ÖPNV für das neu entstehende Stadtquartier Gartenfeld in Berlin vor. Als Zubringer sollen die autonomen Fahrzeuge neue Verbindungen zu den bestehenden Knotenpunkten des öffentlichen Verkehrs schaffen und somit den öffentlichen Nah- und Fernverkehr verbessern anstatt zu ersetzen. Diese frühe Integration der autonomen Fahrzeuge in die öffentliche Flotte ist wichtig, um die Nutzerakzeptanz zu erhöhen, sowie die Durchdringung der neuen Technologien zu beschleunigen. Für die Beurteilung der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit wurde eine Vorgehensweise zur Abschätzung der Flotten-größe und -zusammensetzung entwickelt, welche am Beispiel des Stadtquartiers Gartenfeld erprobt wurde.

Die Betreiber- und Geschäftsmodelle „betriebsinternes Mobilitätsangebot“ (München Perlach) sowie „Zubringer zum ÖPNV“ (Stadtquartier Gartenfeld) wurden darüber hinaus aus juristischer Sicht betrachtet. Hierbei lag der Schwerpunkt auf personenbeförderungsrechtlichen Fragen, insbesondere § 2 Abs.6 PBefG (Genehmigung bei besonders gelagerten Einzelfällen) und sowie die Experimentierklausel nach § 2 Abs. 7 PBefG wurden für die rechtliche Prüfung herangezogen.

Um nutzerseitige Akzeptanzbedingungen und wesentliche Rahmenbedingungen für die Erprobung der OTS-Shuttles im Quartier Gartenfeld zu identifizieren, wurden Befragungen von Bewohnern, Beschäftigten, projektbeteiligten Planungsbüros, Investoren sowie öffentlichen Entscheidungsträgern durchgeführt. Diese Erkenntnisse flossen in die Entwicklung von akzeptanzfördernden Vermarktungsstrategien ein. Die Implementierung des Erprobungsraums für die OTS-Shuttles kann sukzessive in drei Phasen und analog zu den Bauphasen des Quartiers Gartenfeld erfolgen, eine Ausweitung auf benachbarte Quartiere ist denkbar.

2 Einführung

Mit dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geförderten Projekt „Optimiertes Transportsystem - Basierend auf selbstfahrenden Elektrofahrzeugen - OTS 1.0“ sollte ein besseres Verständnis für die technische Machbarkeit vollautonomer Flottensysteme mit infrastrukturseitiger Unterstützung unter Einbindung einer Verkehrsinfrastruktur geschaffen werden. Verkehrsinfrastruktur fasst dabei straßenseitige Sensorik zur Umfelderkennung und Lokalisierung von Fahrzeugen als auch einer Vielzahl an Backend-Diensten zur Unterstützung unterschiedlicher Akteure wie Planer, Betreiber, Passagiere in unterschiedlichen Aspekten entlang des Produktlebenszyklus unterstützen zu können. Als Produkt betrachten wir hier ein Mobilitätssystem für den ÖPNV basierend auf selbstfahrenden Elektrofahrzeugen. Neben der Evaluierung neuer Technologien als auch Funktionen im Zusammenspiel zwischen Fahrzeug und Infrastruktur wurden Ansätze neuer Geschäftsmodelle betrachtet, wobei stets die soziale Akzeptanz und die rechtliche Machbarkeit im Auge gehalten wurde.

2.1 Motivation des Vorhabens

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) wird in Zukunft verschiedene Formen von autonomem Fahren beinhalten. Vor allem als Zubringer und Ergänzung zum öffentlichen Personenverkehr (ÖPNV/ ÖPFV) werden autonome Fahrzeuge viele Vorteile mit sich bringen und zur Bewältigung der zukünftiger Anforderungen an die Mobilität bei einer erhöhten Bevölkerungsdichte im urbanen Raum beitragen. Die alternde Gesellschaft und der demographische Wandel verlangen nach neuen Mobilitätsformen, die weiterhin allen Menschen ermöglichen, am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen. Sich dadurch ändernde Mobilitätsbedürfnisse können nicht alleine durch den herkömmlichen MIV befriedigt werden. Autonome Fahrzeuge sind hierbei eine wichtige Technologie, wobei soziale Akzeptanz, rechtliche Rahmenbedingungen, sowie eine einheitliche Standardisierung Grundvoraussetzung für einen flächendeckenden Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr sind. Für den Zubringerverkehr genügen Fahrzeuge mit geringer Reichweite, wofür Elektrofahrzeuge besonders prädestiniert sind. Die Kombination von Automatisierung und Elektrifizierung des Verkehrs und die Integration in ÖPNV/ ÖPFV-Konzepte birgt Potential für einen Weg zu einer sauberen, ressourcenschonenden und insgesamt nachhaltigen Mobilität. Bei der autonomen Fahrweise spielt die Kommunikation und Interaktion mit der Infrastruktur eine tragende Rolle. Fahrzeugeigene Umfeldsensorik stößt an Grenzen, insbesondere bei der Erfassung des Verkehrsgeschehens auf größeren Distanzen (≥ 200 m) und in komplexen Verkehrssituationen (Verdeckung). Verkehrstelematische Systeme (V2I/V2V) hingegen sammeln verschiedene Daten aus redundant angelegten Sensoren und Kameras in Fahrzeug und Infrastruktur, um eine vorausschauende, effektive und sichere Fahrt zu ermöglichen. Gegenwärtig werden automatisierte Elektrofahrzeuge als Konkurrenz zum ÖPNV gesehen. Zudem wird im Zuge der zunehmenden Automatisierung ein Mehrverkehr befürchtet. Das Ziel der neuen Mobilitätslösungen um automatisierte Elektrofahrzeuge soll hingegen vielmehr sein, die Lücken im bestehenden öffentlichen Verkehrsnetz zu schließen, den ÖPNV in nachfrageschwachen Zeiten zu ergänzen und die letzte Meile zwischen Massentransportsystemen und dezentralen Einstiegspunkten zu schließen.

2.2 Ziele des Projektes

Das Ziel des Projektes war die Beschreibung und Auslegung eines neuen Mobilitätskonzepts am Beispiel eines teilautonomen Shuttle-Verkehrs inkl. Implementierung ausgewählter Anwendungsfälle, der Untersuchung ausgewählter Betreiber- und Geschäftsmodelle, sowie ersten Ermittlungen zum verkehrlichen Nutzen. Die Integration neuer Mobilitätsformen und Technologien in ein Mobilitätskonzept ermöglicht, zukünftige Anforderungen an die Mobilität bei einer erhöhten Bevölkerungsdichte im urbanen Raum umzusetzen und Mobilität auch zukünftig zu sichern. Darüber hinaus wurden Hürden in der rechtlichen Umsetzung in weiteren Testphasen und für die spätere Realisierung identifiziert, sowie mögliche Nutzerpotenziale und Akzeptanzprobleme beschrieben. Aus den eben genannten Punkten ergeben sich folgende technologische Aufgabenstellungen in den einzelnen Arbeitspaketen:

- Aus der Spezifikation der relevanten Anwendungsfälle abgeleitete Beschreibung der erforderlichen technischen Realisierung
- Spezifikation Fahrzeug und Realisierung eines Demonstrator-Fahrzeugs (Shuttle)
- Spezifikation eines Systemkonzepts für robusten und sicheren Betrieb
- Spezifikation Infrastruktur inklusive der notwendigen Zentralsysteme
- Spezifikation elektronische und geometrische Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sowie eine Empfehlung für zukünftige Schnittstellenstandards

Die Schlüsselfunktionen wurden durch ein Demonstrator-Fahrzeug und der zugehörigen Infrastruktur im Testfeld München-Perlach dargestellt. Der zu errichtende Demonstrator diente der Erprobung des Gesamtsystems sowie der Heranführung der Bevölkerung an die zunehmend automatisierten Elektrofahrzeuge.

2.3 Aufgaben der einzelnen Projektpartner

Das Projekt OTS 1.0 wurde als Verbundprojekt der Projektpartner Siemens Mobility GmbH, Technische Universität München (Lehrstuhl für Verkehrstechnik), dem Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) der Universität Greifswald, der IAV GmbH und der Emm! Solutions GmbH durchgeführt. Der Technologiekonzern Siemens übernahm dabei die Gesamtprojektkoordination und war unter anderem verantwortlich für:

- Umfelderkennung und Lokalisierung durch die straßenseitige Verkehrsinfrastruktur inkl. Sensorik und Kommunikationstechnik
- Leittechnik in der Infrastruktur
- Systemintegration, Testfeldaufbau und -betrieb

Der von der Siemens Mobility GmbH unterbeauftragte Projektentwickler UTB steuerte wesentliche Erkenntnisse für die Akzeptanz und die Kommunikation des autonomen Fahrens bei.

Für die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten stand mit dem Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München ein Kompetenzzentrum für verkehrswissenschaftliche Forschungen zur Verfügung. Hier erfolgte eine simulationsbasierte Begleituntersuchung der innovativen Mobilitätskonzepte.

Das Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität steuerte seine Expertise in den Bereichen Recht und Ökonomie bei. Hier wurden insbesondere folgende Fragestellungen untersucht:

- Rechtliche Rahmenbedingungen für autonomes Fahren (Empfehlungen für die Umsetzung und Aufzeigen von rechtlichem Änderungsbedarf sowie Unterbreitung von entsprechenden Änderungsvorschlägen)
- Rechtliche Bewertung von Geschäfts- und Betreibermodellen

Die IAV lieferte mit der Entwicklung und dem Betrieb eines Fahrzeugprototyps im Gesamtsystem Wissen über die Anforderungen an ein autonom fahrendes Fahrzeug. Dieses Wissen dient als zentrale Grundlage für die Entwicklung, Produktion und den Betrieb autonom fahrender Fahrzeuge.

Um Einzelkomponenten im System und deren Zusammenwirken frühzeitig validieren zu können wurden durch die Emm! solutions Messfahrzeuge ins Projekt eingebracht. Hiermit ließen sich einzelne Komponenten während der laufenden Entwicklungsarbeiten testen und weiterentwickeln.

3 Ergebnisse des Fördervorhabens

3.1 AP1000: Gesamtprojektleitung und Koordination (Siemens, Emm! solutions)

Strukturiert und durchgeführt wurde das Vorhaben konsortial. Das Konsortium wurde durch Siemens geleitet und der rechtliche Rahmen wurde durch einen Kooperationsvertrag zwischen allen Partnern geregelt.

3.2 AP2000: Mobilitätsanwendungen und Geschäftsmodelle (Siemens, IKEM)

3.2.1 Arbeitspaketbeschreibung

Ziel des Arbeitspakets Mobilitätsanwendungen und Geschäftsmodelle im Rahmen dieses Forschungsprojekts war eine erste ökonomische Indikation von Betreiber- und Geschäftsmodellen im Zusammenhang mit dem Betrieb autonomer Shuttles als ÖPNV-Ergänzung.

Darüber hinaus erfolgte eine technische und wirtschaftliche Untersuchung des Betriebs einer Flotte von autonomen Fahrzeugen, um Investitionskosten und Betriebskosten ableiten zu können. Ausgehend von einem flächendeckenden Shuttlebetrieb stand im Arbeitspaket 2000 die Bedienung von definierten Haltestellen innerhalb eines Stadtgebiets im Fokus. Dieser Ansatz entspricht einer ersten Ausprägung des Flächenbetriebs und wird potentiell das in der Realität erste umzusetzende Szenario sein.

3.2.2 AP2200: Klärung mit assoziierten Partnern und beteiligten Institutionen

Um eine spätere Praxistauglichkeit eines neuen Mobilitätssystems gewährleisten zu können, ist es bedeutsam, die in der Praxis beteiligten Akteure frühzeitig in die Entwicklung einzubeziehen. Insbesondere die Entwicklung von Betreiber-, Geschäftsmodellen und Mobilitätskonzepten kann nicht ohne intensive Klärung mit den später beteiligten Akteuren erfolgen. Im Zuge dessen fanden während der Projektlaufzeit Workshops mit Vertretern von Städten, Verkehrsbetreibern und vielen weiteren Interessensgruppen zu den oben genannten Schwerpunkten statt:

- 16. Januar 2018 Workshop zu Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen
- 14. Juni 2018 Workshop mit assoziierten Partnern

Wesentliche Erkenntnisse werden in diesem Kapitel beschrieben und in den Betrachtungen der Folgekapitel berücksichtigt.

Mobilitätskonzepte

Im Rahmen des Schwerpunkts Mobilitätskonzepte wurden zunächst die Probleme bestehender Mobilitätssysteme erörtert, um Anforderungen an neuartige Mobilitätskonzepte wie das autonome Fahren ableiten zu können. Hier wurde insbesondere die Diskrepanz zwischen Transportkapazität und Wirtschaftlichkeit deutlich. Aufgrund von festen Fahrplänen verkehren Fahrzeuge oftmals ohne einen einzigen Fahrgast und legen unnötige Fahrzeugkilometer zurück. Mit autonomen Fahrzeugen, die je nach Nachfrage angefordert werden können, lässt sich dieses Problem eindämmen. Des Weiteren ist eine

bessere Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr entscheidend, um diesen zunehmend attraktiver zu gestalten und den motorisierten Individualverkehr zu reduzieren.

Aus den Kritikpunkten an bestehenden Mobilitätssystemen ließen sich die Erwartungen sowie Anforderungen an vernetztes, autonomes Fahren ableiten. Ein wichtiges Ergebnis hierbei war, bei der Entwicklung neuer Mobilitätsangebote konkrete Kundenwünsche zu bedienen, wie zum Beispiel ein besseres Transportangebot in Randzeiten sowie in Randgebieten.

Mobilitätskonzepte für vernetztes, autonomes Fahren zeichnen sich durch den flexiblen Einsatz unterschiedlicher Fahrzeuggrößen und folglich unterschiedlicher Flottenzusammensetzungen aus. Da in Zukunft kein Fahrer mehr benötigt wird, ist eine schnelle Plan- und Einsetzbarkeit im Vergleich zu fahrergebundenen Transportmitteln gegeben. Ebenso die Gestaltung von Depots und deren Standorten ist flexibel zu betrachten, diese können je nach Anwendungsfall und Einsatzgebiet dezentral oder zentral angeordnet werden.

Außerdem wurde innerhalb der Gespräche mit den beteiligten Akteuren deutlich, dass das erste in der Realität umzusetzende Konzept mit autonomen Fahrzeugen ein Linienbetrieb mit festen Haltepunkten sein wird. Basierend auf diesem können in Zukunft schrittweise der Betrieb mit festen Haltepunkten und flexiblen Routen sowie ein On-Demand Flächenbetrieb entstehen, welcher sich durch flexible Haltepunkte und flexible Routen auszeichnet.

Des Weiteren können durch neue Fahrzeugdesigns neue Komfortfunktionen und Angebote entstehen, welche wiederum zu einer Stärkung des ÖPNVs beitragen können. Viele Verkehrsbetreiber kämpfen außerdem mit stetigem Fahrermangel. Dieser könnte durch den Einsatz autonomer Fahrzeuge kompensiert werden. Damit einher geht auch eine Kostenreduzierung. Weitere Vorteile, die genannt wurden: Platzgewinn im öffentlichen Raum durch weniger Individualverkehr, effizienterer Verkehrsfluss sowie verminderte Luftverschmutzung.

Geschäftsmodelle

Im Zuge innovativer Mobilitätskonzepte nehmen Geschäftsmodelle eine zentrale Rolle ein. Es geht darum, betrieblichen Nutzen – also ökonomischen Erlös – aus neuer Technologie sicherzustellen. Dadurch schafft Innovation Mehrwert und legitimiert sich inhärent.

Per Definition zeichnen sich Geschäftsmodelle dadurch aus, dass sie eine zentrale Rolle für Unternehmen spielen, um Gewinn zu erwirtschaften. Drei Teilbereiche zählen auf dieses Ziel ein: Ein sinniges Nutzenversprechen, ein wertstiftendes Ertragsmodell und eine strategische Analyse der Wertschöpfung.

Beim Nutzenversprechen kann ebenso von einer sogenannten Value Proposition gesprochen werden. Eine Innovation hat gute Chancen, sich auf seinem spezifischen Markt durchzusetzen, wenn es einen Wert an sich schafft. Im Falle des Projekts OTS 1.0 richtete sich das Nutzenversprechen sowohl an den Betreiber selbstfahrender Fahrzeugflotten als auch an den tatsächlichen Passagier dieser neuartigen Fahrzeuge.

Schon heute lässt sich absehen: Ein höherer Grad an Automatisierung auf der Straße wird menschliches Versagen als nennenswertes Sicherheitsrisiko senken. Zusätzlich werden Mobilitätssysteme, die immer vernetzter werden, effizienter als solche, die wir heute kennen. Ein Nahverkehrsbetreiber als

möglicher Betreiber hat durch selbstfahrende Fahrzeuge folglich die Möglichkeit, die Sicherheit in seinem Mobilitätsangebot zu erhöhen und die Attraktivität seines Angebots zu stärken. Die neue Technologie kann dazu verwendet werden, die erste und die letzte Reisemeile hin und weg vom bestehenden öffentlichen Nahverkehr zu bewerkstelligen – und das ohne die Gefahrenquelle Mensch als Fahrer. Von diesem zusätzlichen Angebot und der erhöhten Sicherheit profitiert ebenso der Passagier.

Durch die Integration neuer technologischer Möglichkeiten in ein bestehendes Angebot kann sich ein Nahverkehrsbetreiber zusätzlich von seinen Wettbewerbern differenzieren. Dadurch können bestehende Passagiere gebunden oder weiterhin überzeugt werden das Angebot zu nutzen; ebenso können neue Passagiere gewonnen werden.

Beim zweiten Teilbereich des Geschäftsmodells geht es um das Ertragsmodell. Zentral ist die Fragestellung, wodurch Einnahmen erwirtschaftet werden. Es kann sich um direkte Erlöse wie Fahrtentgelt oder um indirekte Erlöse mittels neuen Geschäftsmodellen handeln. Bei indirekten Erlösen besteht die Möglichkeit, Geschäftspartnern eine Plattform für deren Unternehmungen zu Verfügung zu stellen. Ein weiterer Bestandteil des Ertragsmodells ist ein Kostenmodell, um zu erwartete Ausgaben abschätzen zu können.

Beim dritten Teilbereich der Geschäftsmodelle wird die Wertschöpfung betrachtet. Dabei wird die eigentliche Lösung in einzelne Schritte aufgeteilt. Diese Schritte zeichnen sich dadurch aus, dass sie Tätigkeiten sind, die zur Herstellung der Lösung notwendig sind. In der Betriebswirtschaft geht man dabei von der Forschung & Entwicklung, der Beschaffung, der Produktion, dem Vertrieb, der Logistik und dem Service aus. Diese Primäraktivitäten werden unterstützt durch Tätigkeiten wie unter anderem ein funktionierendes Personalwesen. Dabei geht es um das Sicherstellen von Kompetenzen durch Mitarbeiter für den jeweiligen Schritt der Wertschöpfung. Wesentliches Ziel dieser strategischen Analyse ist es, eigene Stärken zu erkennen und solche Bereiche zu identifizieren, bei denen Partnerschaften eingegangen werden sollten oder Wissen anderweitig hinzugeführt werden sollte.

Im Falle des Projekts OTS 1.0 ging es darum, den Nutzen selbstfahrender Fahrzeuge durch die Integration in ein Mobilitätssystem zu untersuchen. Eine wichtige Hypothese des Ansatzes ist es, dass auch künftig der öffentliche Nahverkehr, allen voran auf der Schiene, gestärkt werden muss. Selbstfahrende Fahrzeuge tragen zu einer Aufwertung des Angebots öffentlicher Nahverkehrsbetreiber bei, indem sie die erste und letzte Meile von und zu einer Haltestelle des öffentlichen Nahverkehrsangebots bewerkstelligen.

Damit geht die Annahme einher, dass potenzielle Kunden einer vermarktbareren Lösung aus dem Projekt OTS 1.0 vor allem öffentliche Nahverkehrsbetreiber sein werden. Diesen würde auch die Rolle des Betreibers eines solchen Systems zukommen. Das Geschäftsmodell eines Betreibers ist dadurch gekennzeichnet, das bestehende Angebot durch selbstfahrende Fahrzeuge zu erweitern, eine erhöhte Sicherheit beim Transport zu erreichen und die Effizienz des gesamten Verkehrswesens zu steigern.

Betreiber stellen die Verfügbarkeit ihres Angebots durch Mobilitätskonzepte sicher. Für den Nahverkehrsbetreiber, der künftig selbstfahrende Fahrzeugflotten anbieten wird, heißt das, dass er eine Flotte mit Fahrzeugen unterschiedlicher Größe, stationiert in Depots, unterhalten wird. Fahrzeuge mit einem Sitz werden dabei ebenso zum Einsatz kommen wie Shuttles mit acht bis 12 Sitzen oder Busse mit 20 Sitzen und mehr. Flexibler Einsatz, der auf Koordination, Auslastungs- und Verkehrssimulation und

Echtzeitanalyse beruht, wird Passagiere „On Demand“, also auf Abruf bei vorheriger Buchung, oder auf fixen Routen mit getakteten Fahrplänen bedienen.

Durch diesen Ansatz ergeben sich eine Reihe von Vorteilen – sowohl für den Betreiber als auch für die Passagiere. Die Verfügbarkeit des öffentlichen Nahverkehrs wird flexibel erweitert. „Mobility on Demand“, also Mobilität als einfach abzurufende Dienstleistung, wird Realität. Heterogene Flotten mit Fahrzeugen unterschiedlicher Größe können auch solche Gebiete eines Betreibers bedienen, die bislang als weniger rentabel galten. Der Individualverkehr nimmt ab, die Inanspruchnahme des öffentlichen Nahverkehrs steigt. Die Notwendigkeit ein eigenes Fahrzeug zu besitzen nimmt ab. Das vorhandene Platzangebot wird besser genutzt, wertvolle Flächen können anderweitig genutzt werden. Selbstfahrende Fahrzeuge unterschiedlicher Größe ermöglichen durch Komfortfunktionen neue Geschäftsmodelle und können als Plattform für Drittanbieter genutzt werden. Gleichzeitig reduzieren selbstfahrende Fahrzeuge die Kosten für den Mobilitätsanbieter, da davon ausgegangen wird, dass Personalkosten für Fahrer bis zu 70% der Betriebskosten ausmachen. Das freiwerdende Personal kann fortgebildet werden und anderweitig im Betrieb eingesetzt werden. Beispielsweise als Fahrdienstleister, der die Koordination des laufenden Betriebs überwacht und steuert.

Neben der großen Bandbreite an neuen technologischen und ökonomischen Möglichkeiten, die durch das Projekt OTS 1.0 ersichtlich wurden, gilt es noch Herausforderungen zu lösen. Nur so kann die Mobilität von morgen von selbstfahrenden Fahrzeugen profitieren. Herausforderungen sind beispielsweise mögliche Eingriffe in die Privatsphäre von Passagieren, die auch künftig ein unabdingbares Recht auf eben diese haben.

Betreiber stehen vor der Aufgabe, ihre Flotten so zu optimieren, dass sie das beste Angebot auf den Markt bringen. Dieses zeichnet sich dadurch aus, auch weniger nachgefragte Gebiete einzubeziehen und gleichzeitig profitabel zu wirtschaften. Ebenso gilt es einen Rechtsrahmen zu schaffen, der autonomes Fahren legitimiert. Hierfür stehen sowohl die Politik als auch alle anderen Marktteilnehmer in der Verantwortung. Wettbewerbsnachteile entstehen, wenn technologischer Fortschritt durch ungeklärte juristische Vorgaben gebremst wird.

Die richtige Zusammensetzung und die vollumfängliche Betrachtung des Geschäftsmodells entscheiden über die Wettbewerbsfähigkeit des Angebots. Schon auf Basis der heutigen Kenntnisse aus dem Projekt OTS 1.0 werden selbstfahrende Fahrzeuge den Wert des öffentlichen Nahverkehrs signifikant steigern, wenn man sie in bestehende Angebote intelligent integriert.

Rechtlicher Rahmen

Im Zusammenhang mit der Integration selbstfahrender Fahrzeuge in bestehende Angebote sowie der daraus resultierenden Geschäftsmodelle ist es notwendig, dass alle bestehenden Rechtsunsicherheiten beseitigt werden und der Kostenrahmen geklärt wird.

Für eine erfolgreiche Integration wurde im Wesentlichen erörtert, wie das Fahrzeug auf die Straße kommen kann. Ausgehend vom aktuellen Stand der Forschung ist es notwendig, die rechtlichen Fragen für einen möglichen Betrieb im (öffentlichen) Straßenverkehr im Rahmen des Forschungsbetriebs aufgrund der Komplexität des Themas zu untersuchen.

Die Weiterentwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wird nur in einem iterativen Prozess gelingen, in dem in Forschungsprojekten und in einem örtlich begrenzten operativen Betrieb einerseits die technologischen Möglichkeiten genutzt werden, sich dem Rechtsrahmen anzupassen. Andererseits kann so gewährleistet werden, dass sich der Rechtsrahmen auf die technologischen Möglichkeiten, aber auch deren Limitationen, einstellt.

Die betroffenen Rechtsbereiche des Zulassungsrechts, Straßenverkehrsrechts, Fahrerlaubnisrechts sowie Personenbeförderungsrechts etc. müssen auf die Gegebenheit abgestimmt werden, dass langfristig kein Fahrer mehr im Fahrzeug sein soll. Im Ergebnis müssen diese Rechtsbereiche ggf. neu gefasst werden.

Das Leitbild für die Integration der selbstfahrenden Fahrzeuge in das Straßenbild bleibt ein gemischter Verkehr. Obwohl in bestimmten Situationen an gesonderte Trassen oder sogar abgesperrte Bereiche für den Betrieb von autonomen Fahrzeugen nachgedacht werden kann, muss der gesamte Straßenverkehr auch weiterhin unter Einbeziehung von Fußgängern, Fahrrädern und (zumindest für eine lange Übergangszeit) auch von motorisierten Fahrzeugen mit Fahrer gedacht und geplant werden. Die selbstfahrenden Fahrzeuge und die damit verbundenen Geschäftsmodelle müssen sich in diesen gemischten Verkehr integrieren.

Rechtlich müssen voraussichtlich neue Rollen im Straßenverkehrs- und Zulassungsrecht definiert werden. Beispielsweise muss geklärt werden, welche Qualifikation der Steward (Sicherheitsfahrer) haben muss, so lange er noch im Fahrzeug vorgesehen ist. Ein weiterer Klärungspunkt umfasst das Straßenverkehrsrecht und das Haftungsrecht, also wer als Adressat von Rechtspflichten zukünftig gelten soll. Da der Fahrer wegfällt, bleibt nach geltendem Recht nur der Halter. Dieser hat auf den Betrieb, die Wartung, die Ladung des Fahrzeugs, die Überlassung des Fahrzeugs an Dritte etc. aber faktisch häufig wenig Einfluss. Daher braucht es möglicherweise eine neue Rolle, Z. B. der Betreiber, der zukünftig Adressat der Rechtspflichten sein könnte.

Die mittelfristige Umsetzung eines örtlich unbeschränkten Betriebs von selbstfahrenden Fahrzeugen wurde als schwer umsetzbar bewertet. Auch der Betrieb auf vorausgewählten und gut geplante Routen wird beschränkt sein. Dabei können selbstfahrende Fahrzeuge derzeit noch nicht jede beliebig komplexe Verkehrssituation eigenständig lösen, sondern werden sich nur sukzessive in zunehmend komplexen Verkehrsbereichen etablieren können. Für einen solchen eingeschränkten Betriebsbereich im operativen Betrieb muss der Gesetzgeber einen passenden gesetzlichen Rahmen schaffen. Denkbar wäre dafür die Regelung entweder über eine Experimentierklausel oder regulären Zulassung mit Auflagen (d.h. nicht als Sondergenehmigung), die nach bestimmten Standards auf die jeweilige technologische Befähigung des selbstfahrenden Fahrzeugs abgestimmt erteilt wird. In beiden Regelungen müssen Standards etabliert werden, mit denen die jeweilige technologische Befähigung des Fahrzeugs zuverlässig abgeprüft werden kann (z.B. über Checklisten, Prüfalgorithmen, Simulationen, etc.).

Im Hinblick auf die Kosten für die Integration der selbstfahrenden Fahrzeuge in das Straßenland ist der Rechtsbereich des Haftungs- und Versicherungsrechts besonders relevant. Für Versicherungen ist ein denkbarer Betrieb mit selbstfahrenden Fahrzeugen Neuland, so dass es keine Versicherungsprodukte bzw. umfangreiche Erfahrungen gibt. Daher muss an den Forschungsprojekten angesetzt werden und pragmatische Lösungen unter frühzeitiger Einbeziehung der Versicherungen gefunden werden. Für einige Forschungsprojekte hat es sich als hilfreich erwiesen, Versicherungsunternehmen als Projekt-

partner zu integrieren. Die maßgebliche Herausforderung ist die Abgrenzung der Haftung bei der Fahrzeugsensorik und dem Fahrzeug im Allgemeinen. Auch für Versicherer könnte es zunächst schwer werden, ihre Haftungsrisiken abzugrenzen. Mit einem möglichen Haftungsrisiko für Sensorinformationen stellt sich auch die Frage, ob hier eine eigene Versicherung erforderlich werden könnte, oder ob es zunächst nicht vorteilhafter wäre, wenn ein Gesamtsystemverantwortlicher und/oder eine Gesamtsystemversicherung alle Haftungsrisiken einheitlich abdecken würde.

3.2.3 AP2300: Institutionelle und politische Rahmenbedingungen für den Betrieb

In einem ersten Schritt wurde das Verkehrssystem als institutioneller Rahmen analysiert und anschließend dem OTS System zugrunde gelegt. Der Fokus der Analyse des Verkehrssystems lag auf der Personenbeförderung im Straßenverkehr. Dabei wurde nach Verkehrsnachfrage und Verkehrsangeboten unterschieden. Die Verkehrsnachfrage wurde in den motorisierten Individualverkehr (MIV), nicht-motorisierten Individualverkehr (NMIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) eingeteilt. Die Verkehrsangebote wurden anschließend den drei Kategorien zugeordnet, die sich je nach verkehrlicher Art in Art und Umfang der eingesetzten Verkehrsmittel unterscheiden. Der Gelegenheitsverkehr wurde dem MIV und dem NMIV zugeordnet, der Linienverkehr wurde dem ÖV zugeordnet. Anschließend wurde eine umfassende Analyse der Verkehrsinfrastruktur als Grundlage eines jeden Verkehrssystems sowie der Bereitstellung von Verkehrsangeboten und der damit einhergehenden Verkehrsnachfrage vorgenommen. Dabei wurde zwischen Verkehrswegen, Verkehrsanlagen und Verkehrsstationen unterschieden und darüber hinaus eine Kategorisierung in öffentliche, halböffentliche und private Verkehrsinfrastruktur vorgenommen. Aus den unterschiedlichen Organisationsmöglichkeiten ergeben sich unmittelbare Verantwortlichkeiten sowie normative Anforderungen, die sich an unterschiedliche Akteure hinsichtlich der Beschaffung und den Betrieb von Verkehrsinfrastruktur richten, die ebenfalls synthetisiert wurden. Dabei wurde festgestellt, dass die Betreiber von ÖPNV-Verkehrsangeboten von signifikant hohen Transaktionskosten betroffen sind. Diese umfassen z. B. den Aufwand für die Beschaffung, die Aufbereitung nach individuellen Präferenzen und für den Betrieb.

Nach dieser Analyse wurde eine konzeptionelle Einordnung des optimierten Transportsystems unter Einbezug der verkehrssystematischen Darstellung vorgenommen. Hierfür wurde eine ökonomische Sichtweise zugrunde gelegt. Demnach besteht das optimierte Transportsystem aus einzelnen Systemkomponenten, deren Interaktion mittels definierten Schnittstellen ermöglicht wird. Andererseits kann das optimierte Transportsystem als eine Menge von Akteuren interpretiert werden, die hinsichtlich des Gesamtsystems das gleiche Verhalten bezüglich ökonomischer Aktivitäten aufweisen. Daraus ließ sich ableiten, dass das optimierte Transportsystem einem holistischen System gleicht, das sowohl aus den physischen Teilsystemen autonomes Elektroschuttle, straßenseitige Infrastruktur und Leittechnik sowie nicht-physischen Teilsystemen (Schnittstellen) besteht, die von verschiedenen Akteuren betrieben werden. Dabei stehen die Akteure in vertikaler und horizontaler Beziehung zueinander und übernehmen grundsätzlich jeweils eine systemrelevante Aufgabe.

Um zu analysieren, inwiefern das OTS System in die bestehende Organisationsstruktur von bestehenden ÖPNV Angeboten integriert werden kann, wurden verschiedene Einsatzmöglichkeiten nach dem PBefG analysiert. Dabei wurde zwischen den folgenden Einsatzmöglichkeiten differenziert:

- (Bedarfs-)Linienverkehr – „Shuttle“
- Bedarfsgesteuerter Flächenverkehr – „Shared Shuttle“

- Gelegenheitsverkehr – „Private Shuttle“
- Bedarfsorientierter Einsatz von Betriebsarten

Aus der Analyse konnte allgemein abgeleitet werden, dass die Anforderungen und die Verantwortlichkeiten für einen Betrieb des optimierten Transportsystems und die damit verbundenen Beziehungen verschiedener Akteure maßgeblich davon abhängt, welche Systemkomponente von welchem Unternehmen beschafft und betrieben wird und in welchem Einsatzraum der Betrieb erfolgt (privat, halböffentlich und/ oder öffentlich).

3.2.4 AP2400: Analyse möglicher Betreiber-, Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte

Für die Analyse möglicher Betreiber-, Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte wurde zunächst ein definitorischer Rahmen gebildet. Hinsichtlich des autonomen Fahrens ist überwiegend von neuen Geschäftsmodellen die Rede. Fraglich ist jedoch auf welchem Abstraktionsniveau eine kategorische Unterscheidung von Betreiber- und/ oder Geschäftsmodellen vorgenommen werden soll, denn sowohl eine Mobilitätsdienstleistung als solche, als auch eine bestimmte Variante von Mobilitätsdienstleistungen können ein Betreiber- und/ oder Geschäftsmodell sein. Aufgrund einer gewissen Unsicherheit inwiefern der Einsatz autonomer Fahrzeuge bzw. eines optimierten Transportsystems einen tatsächlichen ökonomischen Mehrwert generieren können, wurden die Einsatzmöglichkeiten und damit Mobilitätskonzepte dem Betreiber- und Geschäftsmodellbegriff gleichgestellt und somit auf abstrakter Ebene untersucht. Bisher gibt es keine Erfahrungswerte für einen wirtschaftlichen Betrieb mit autonomen Shuttles, da derartige Mobilitätslösungen keinem Endkunden zur Verfügung stehen.

Die Analyse möglicher Betreiber-, Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte erfolgte anhand zwei spezifischer Anwendungsfälle in Anlehnung an die Einsatzmöglichkeiten. Einerseits wurde der Einsatz des OTS Systems als betriebsinternes Mobilitätsangebot analysiert. Dabei wurde das Testfeld München-Perlach als Szenario zugrunde gelegt. Andererseits wurde der mögliche Einsatz des optimierten Transportsystems als Zubringer zum ÖPNV in verschiedenen Ausprägungen in Anlehnung an das „Stadtquartier“ Gartenfeld analysiert. In beiden Anwendungsfällen wurde ein einfacher Linienverkehr zugrunde gelegt. Eine Betrachtung eines On-Demand-Service wurde vernachlässigt, da dies nach gegenwärtigen Vorgaben des Personenbeförderungsgesetzes nicht möglich ist (Siehe AP3000).

Bei dem betriebsinternen Einsatz des OTS Systems erfolgt die Beschaffung und der Betrieb durch ein privatwirtschaftliches Unternehmen, daher ist diese Mobilitätslösung von diesem Unternehmen primär aus Eigenmitteln zu finanzieren. Eine Finanzierung eines betriebsinternen Regelbetriebs¹ aus öffentlichen Mitteln ist eher unwahrscheinlich, da ein derartiges Angebot keine staatliche Förderung rechtfertigt (vgl. AP3400).

Je nach Höhe der anfallenden Investitionskosten kann das Unternehmen selbst entscheiden, ob es den Betrieb des Fahrzeugs, der straßenseitigen Infrastruktur und der Leittechnik sowie die Kommunikation übernimmt oder über den Markt handelt und somit betriebsrelevante Aufgaben an andere Unternehmen auslagert. Dies hängt im Wesentlichen von den Geschäftsfeldern und den damit verbundenen geschäftlichen Kernkompetenzen des Unternehmens ab. Je weniger Ressourcen dem Unternehmen für

¹ In der Wertschöpfungsphase Forschung & Entwicklung ist zu Forschungszwecken eine Finanzierung aus öffentlichen Mitteln begrenzt möglich.

die Erstellung des Betriebs intern zur Verfügung stehen, umso höher fallen die Transaktionskosten aus. Dabei umfassen diese Kosten im Wesentlichen den Aufwand für die Beschaffung des OTS Shuttles, der straßenseitigen Infrastruktur einschließlich der Ladeinfrastruktur sowie der Leittechnik. Hinzu kommen die Kosten für die tatsächliche Durchführung der Mobilitätsleistung (Betriebskosten).

An einen möglichen Betrieb des OTS Systems als Zubringer zum ÖPNV (erste und letzte Reisemeile) sind höhere organisatorische und normative Anforderungen gestellt. In diesem Szenario befährt das OTS Shuttle den öffentlichen Straßenraum. Damit würde dieses Mobilitätsangebot Teil weiterer Verkehrsangebote im Sinne des Personenbeförderungsgesetzes (hier: einfacher Linienverkehr) sein und unterläge damit den übergeordneten Anforderungen, die an den Betrieb innerhalb des ÖPNV gestellt werden:

1. Sicherheit: Der Mobilitätsbetreiber muss gemäß den bestehenden Regelungen des Personenbeförderungsgesetzes die Sicherheit des Betriebs aufrechterhalten. Demnach muss die Verkehrsinfrastruktur und das Verkehrsmittel so beschaffen und aufeinander abgestimmt sein, dass sie den Sicherheitsanforderungen genügen.
2. Verlässlichkeit: Die vorab übermittelten Informationen über den Fahrweg, die Fahrzeit sowie die Fahrkosten müssen bei der Umsetzung der Reiseabsicht bestätigt werden. Darüber hinaus erwartet der Fahrgast Pünktlichkeit und Anschlussfähigkeit, so dass der Umstieg am Mobility Hub gewährleistet wird.
3. Wirtschaftlichkeit: Die Kosten für die Integration und den Betrieb des Mobilitätsangebots müssen nach Möglichkeit über eigene Erträge gedeckt werden, so dass öffentliche Haushalte nur geringfügig mit Ausgleichszahlungen belastet werden.

In diesem Szenario ist ein Nahverkehrsunternehmen Betreiber des OTS Shuttles. Ein möglicher Betreiber für die straßenseitige Infrastruktur kann dasjenige Unternehmen sein, welches in der Region die Verkehrsanlagen betreibt. Die Leittechnik kann in die Leitstelle des Nahverkehrsunternehmens integriert und die Ladeinfrastruktur kann auf dem Betriebsbahnhof des Nahverkehrsunternehmens gebaut werden. Um einen Betrieb gemäß der drei Anforderungen gewährleisten zu können, müssen die Betreiber des OTS Shuttles und der straßenseitigen Infrastruktur eine Systemkonformität garantieren. Da zwischen dem Shuttle und der Infrastruktur ein Datenaustausch stattfinden wird, muss eruiert werden, welche Daten welche Nutzungsrechte erfordern.

In diesem Szenario sind die Transaktionskosten im Vergleich zum betriebsinternen Mobilitätsangebot signifikant höher anzusetzen. Grund hierfür sind hohe Vertragskosten, die die Zuständigkeiten, Aufgaben und die Haftung für die Betreiber formulieren. Bevor die Verträge zustande kommen, müssen die Betreiber abschätzen können, ob sie die Anforderungen für den Betrieb erfüllen können. Da es bisher keine Erfahrungswerte zu einem Betrieb mit autonomen Shuttles und straßenseitiger V2I-Infrastruktur im öffentlichen Straßenraum gibt und somit die Beschaffung von Informationen aufwendiger ist als üblich, fallen die Transaktionskosten in diesem Bereich möglicherweise am Größten aus.

Hinsichtlich der Finanzierung käme unter der Bedingung der Wirtschaftlichkeit eine starke Nutzerfinanzierung in Betracht. Demnach würden die Kosten je Fahrt vollständig oder anteilig über die vom Nutzer getätigten Zahlungen gedeckt. Eine Umlage der Kosten des Betriebs auf Betriebskosten, wie es im Fall „Stadtquartier Gartenfeld“ denkbar war, ist unabhängig von einer bestehenden Zahlungsbereitschaft nach geltendem Recht nicht möglich. Inwieweit Ausgleichszahlungen von der öffentlichen

Hand getätigt werden können, ist zu diesem Zeitpunkt nicht absehbar und hängt zudem davon ab, ob dieses Mobilitätsangebot im Sinne der Daseinsvorsorge bewertet wird. Hierunter fällt auch die Bewertung der straßenseitigen V2I-Infrastruktur (weitergehend dazu AP 3400).

3.2.5 AP2500: Makroskopische Parametrisierung von Verkehrszellen

Um eine erste Abschätzung für die anfallenden Kosten eines infrastrukturgestützten autonomen Shuttlebetriebs treffen zu können ist es essentiell, ein aussagekräftiges Modell zu erstellen. Auf Basis des hier vorgestellten Modells können Fragen bezüglich der Investitions- sowie Betriebskosten eines autonomen Shuttlebetriebs bestimmt werden, indem die für eine gegebene Nachfrage notwendige Fahrzeugflotte bestimmt wird. Die Betriebs- sowie Investitionskosten für die straßenseitige Infrastruktur Sensorik entlang der Fahrstrecke kann nur in direkter Anlehnung an die realen Begebenheiten geschehen, da die Notwendigkeit von Infrastruktur Sensorik wesentlich von der vorherrschenden Verkehrssituation abhängt. Folglich ist die Auslegung mit Infrastruktur Sensorik nicht Teil des hier vorgestellten allgemeingehaltenen Modells sondern muss in einem gesondert entwickelten Ansatz bestimmt werden.

Die Planung der notwendigen Fahrzeugflotte für einen Linienverkehr mit festen Haltestellen wird bereits von Verkehrsunternehmen durchgeführt. Sobald die Fahrzeuge jedoch von ihren festen Routen abweichen um vorhandene Nachfragepunkte auf einer optimalen Route bedienen zu können müssen neue Verfahren für die Angebotsplanung zum Einsatz kommen. Grundlage für dieses Arbeitspaket ist deshalb ein Mobilitätskonzept, das auf einem autonomen Busverkehr mit festen Haltestellen und flexiblen Routen beruht. Der Fokus liegt auf der Anbindung eines Wohngebietes an den öffentlichen Nahverkehr, das so genannte Last Mile Problem. Die Fahrzeuge im Modell folgen keinem festen Fahrplan.

Zunächst galt es, die für das Modell notwendigen Daten zu spezifizieren, damit das Modell auf unterschiedliche Gebiete angewendet werden kann. Zu spezifizieren waren hierbei die Lage der Haltestellen, des Mobility Hubs sowie die entsprechenden Fahrzeiten zwischen den Haltestellen. Außerdem wurde die Nachfrage für jede Haltestellen benötigt. Sind diese Daten jedoch nicht verfügbar, ist eine Schätzung der Parameter erforderlich. Die im nächsten Abschnitt vorgeschlagene Schätzung setzt sich aus zwei Teilen zusammen: Dem Infrastrukturmodell und dem Nachfragemodell. Zunächst wurde das Infrastrukturmodell mit fiktivem Straßennetz und Bushaltestellen für das jeweilige Gebiet entworfen. Anschließend wurde die geschätzte Bedarfsaufteilung innerhalb der Verkehrszelle im Nachfragemodell berechnet.

Infrastrukturmodell

Der erste Schritt des Schätzverfahrens ist der Entwurf des Infrastrukturmodells für das jeweilige Anwendungsgebiet. Ziel war es, ein fiktives Verkehrsnetz abzuleiten und Standorte der Bushaltestellen und des Mobility Hubs für einen Anwendungsbereich des Mobilitätskonzepts festzulegen. Der in diesem Abschnitt vorgestellte Ansatz basiert auf dem vorgeschlagenen Verfahren aus AP8300.

Um die Anwendung und Weiterverwendung des nachfolgend beschriebenen Verfahrens zu gewährleisten kann nur ein Mobility Hub betrachtet werden. Des Weiteren muss der Anwendungsbereich in Quadrate eingeteilt werden. Somit wurde eine einzelne Verkehrszelle in verschiedene Hausblöcke un-

terteilt. Dabei wurden zwei Parameter berücksichtigt: die Größe der Verkehrszelle (Länge l , Breite b) und die maximale Laufbereitschaft der Bewohner w .

Basierend auf diesen Parametern wurde die Verkehrszelle in rechteckige Hausblöcke unterteilt. Die Seitenlänge eines solchen Rechtecks, ebenso wie die Entfernung zwischen zwei Haltestellen, entspricht der maximalen Laufbereitschaft der Einwohner. Einwohner sind demzufolge nur bereit, zur jeweils nächsten Haltestelle zu gehen. Jeder Hausblock hat 4 Zugänge bzw. 4 Bushaltestellen, die den vier Seiten des Rechtecks entsprechen. Die daraus resultierenden Doppelhaltestellen wurden jeweils zu einer Haltestelle zusammengefasst. Für jede fiktive Verkehrszelle konnte so die Anzahl der Hausblöcke pro Verkehrszelle N^{hb} , sowie die Anzahl der Bushaltestellen pro Verkehrszelle N^{bs} , wie in (1) bzw. (2) angegeben, berechnet werden.

$$N^{hb} = \frac{l + b}{w^2} \quad (1)$$

$$N^{bs} = \frac{lb}{w^2} + \frac{l + b}{w} \quad (2)$$

Abbildung 2 dient als Beispiel für eine Verkehrszelle mit einer Größe $l = 1 \text{ km}$, $b = 1 \text{ km}$ und einer maximalen Gehbereitschaft von $w = 0.\bar{3} \text{ km}$. So enthält die Verkehrszelle 9 Hausblöcke und 24 Bushaltestellen.

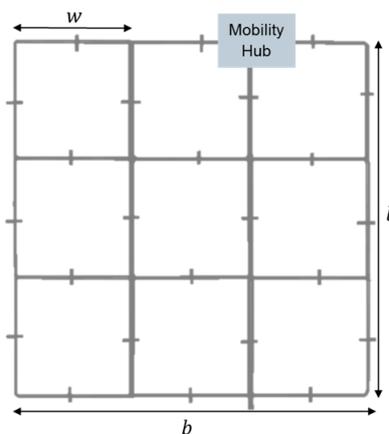


Abbildung 2: Beispiel für eine Verkehrszelle mit Hausblöcken, Bushaltestellen und Mobility Hub (basierend auf AP8300)

Nachfragemodell

Das Nachfragemodell entspricht dem zweiten Schritt des Schätzverfahrens. Der Hauptzweck dieser Parametrisierung war die Abschätzung der Nachfrage für jede Bushaltestelle. Die Annahmen für diese Berechnung entsprechen im Wesentlichen denen aus AP8300 und AP8500. Im Folgenden wird die Vorgehensweise anhand eines Beispielszenarios aus AP8500 erläutert und schließlich auf eine Berechnung des Urbanitätsindex und die Festlegung der benötigten Parameter verallgemeinert.

Da das Lösungsverfahren die strategische Entscheidung über die Flottengröße trifft, ist es unerlässlich, sicherzustellen, dass jede mögliche Realisierung der Nachfrage befriedigt werden kann. Daher ist es

sinnvoll, das Worst-Case-Szenario für die Nachfrage zu betrachten. Der größte Passagierstrom ist an einem Wochentag während der Hauptverkehrszeit zu erwarten. Daher kann eine Betrachtung von den verschiedenen Wochentagen zunächst vernachlässigt werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde das Nachfrageszenario "Morning Peak" aus AP8500 verwendet. Bei diesem Szenario geht man davon aus, dass die Bewohner an den Haltestellen gesammelt und zum Mobility Hub gebracht werden, d.h. kein Passagierstrom vom Mobility Hub zu den Bushaltestellen fließt. Die Morgenspitze wurde zwischen 8 und 9 Uhr angenommen. Analog zum Infrastrukturmodell wurde davon ausgegangen, dass jeder Hausblock 4 Bushaltestellen hat.

Zum Vergleich verschiedener Verkehrszellen wurde der Urbanitätsindex eingeführt, der die Nachfrage pro Bushaltestelle und Minute während der Hauptverkehrszeit an einem Wochentag darstellt. Der Urbanitätsindex wird auf Basis von fünf Parametern berechnet. Zwei davon, die Anzahl der Hausblöcke pro Verkehrszelle und Anzahl der Bushaltestellen pro Hausblock, ergeben sich aus dem ersten Schritt des Schätzverfahrens. Die folgenden vier zusätzlichen Parameter werden benötigt, um den Bedarf abzuschätzen:

1. Bevölkerung der Verkehrszelle P
2. Bevölkerungsdichtefaktor des Hausblocks μ_1 (z.B. $\mu_1=1$ durchschnittliche Bevölkerungsdichte, $\mu_1=1,5$ größer als der Durchschnitt, $\mu_1=0,5$ kleiner als der Durchschnitt). Dabei ist es zu beachten, dass der Durchschnitt aller Faktoren für alle Hausblöcke gleich eins sein soll.
3. Prozentsatz μ_2 der Bevölkerung, der das Mobility Hub innerhalb einer Stoßzeit erreichen will

Der Urbanitätsindex U ist die durchschnittliche Ankunftsrate der Nutzer pro Bushaltestelle und Minute während einer Hauptverkehrszeit an einem Wochentag. Die Berechnung erfolgt nach Formel (3).

$$U = \frac{P * \mu_1 * \mu_2}{N^{hb} * 4 * 60 \text{ min}} \quad (3)$$

Flottengrößenoptimierung

Im nächsten Schritt wurde eine angemessene Zusammensetzung für die Elektroflotte erarbeitet, wobei alle Merkmale des Mobilitätskonzepts für eine bestimmte Verkehrszelle zu berücksichtigen waren. Die Merkmale sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Zu diesem Zweck wurde ein iteratives MILP (Mixed Integer Linear Programming)-basiertes Lösungsverfahren entwickelt. Das Lösungsverfahren setzt sich aus einer Reihe von heuristischen Regeln und einem gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodell (MILP) zusammen. Das MILP minimiert die Anzahl an verlorenen Fahrgästen unter Berücksichtigung aller Merkmale des vorgeschlagenen Mobilitätskonzepts.

Allgemeine Merkmale	Merkmale der Flotte	Merkmale der Nachfrage
Einzelner Mobility Hub	Heterogene Flotte	Wiederkehrende Nachfrage pro Haltestelle
Flottengröße und -mix unbekannt	Autonome Elektroshuttles	Maximale Wartebereitschaft der Fahrgäste
	Begrenzte Sitzplatzkapazität des Shuttles	Fahrgäste gehen verloren, wenn die maximale Wartebereitschaft überschritten wird

Tabelle 1: Merkmale des Mobilitätskonzepts

Die allgemeine Struktur des vorgeschlagenen MILP-basierten Lösungsverfahrens kann wie folgt beschrieben werden. Am Anfang ist die Flotte der Fahrzeuge leer. Alle verfügbaren Fahrzeugtypen werden nach dem steigenden Preis pro Sitzplatz sortiert, da das Hauptziel in diesem Fall darin besteht, die Gesamtinvestitionskosten der Flotte zu minimieren. Der Fuhrpark wird iterativ mit Fahrzeugen aus der sortierten Liste befüllt, indem die vorgeschlagene MILP für ein Fahrzeug einer Fahrzeugzeit optimal gelöst wird und ein Fahrzeug in den Fuhrpark aufgenommen wird, falls die gewünschte Sitzplatzauslastung des Fahrzeuges für den kompletten Planungshorizont erreicht ist. Die Flottengröße wird erhöht, bis der gewünschte Servicegrad erreicht ist. Unter dem Servicegrad versteht man hier den Anteil des Bedarfs, der von der aktuellen Flotte abgedeckt werden kann.

Fallbeispiel: Flottengrößenoptimierung für das „Stadtquartier Gartenfeld“

Dieser Abschnitt beschreibt die Anwendung des vorgeschlagenen MILP-basierten Lösungsverfahrens auf das zukünftige Wohnquartier Gartenfeld in Berlin (siehe AP9000). Das Ziel bestand darin, eine passende Flottenzusammensetzung für dieses Gebiet zu ermitteln.

Für die Abschätzung der Lage zukünftiger Haltestellen, der Nachfrage sowie der Fahrzeit zwischen den Haltepunkten, wurden Annahmen aus AP8000 und AP9000 sowie den Berechnungen aus dem Bericht der LK Argus GmbH [1] verwendet. Im Gegensatz zu AP8000 und AP9000 wurde hier jedoch, wie bereits oben, kein fixer Linienbetrieb betrachtet, sondern ein autonomer Busverkehr mit festen Haltepunkten, flexiblen Routen und einem flexiblen Fahrplan.

Für die Gesamtentwicklung des Quartiers sind in regelmäßigen Abständen ca. 15 bis 20 Haltestellen geplant. Für die Modelldurchläufe wurden 15 Haltestellen (14 Bushaltestellen und ein Mobility Hub) in Anlehnung an das zuvor beschriebene Infrastrukturmodell im Quartier festgelegt. Abbildung 3 zeigt die Lage des Mobility-Hubs, die Lage der 14 Bushaltestellen und die befahrbaren Straßen. Es wurde weiterhin angenommen, dass die selbstfahrenden Shuttles diese Haltestellen mit dem Mobility Hub am östlichen Eingang zur Gartenfelder Straße verbinden. Hierbei ist anzumerken, dass zukünftige Änderungen des Verkehrskonzepts im Quartier Gartenfeld nicht ausgeschlossen sind.

Den Berechnungen liegen viele Annahmen zu Grunde, die aus einem frühen Stadium der Gartenfeld-Entwicklung mit relativ vielen Unbekannten resultieren. Für die praktische Umsetzung dieses Systems sollte eine detailliertere Studie auf Basis der endgültigen Planung durchgeführt werden. Auch personenbeförderungsrechtlich lässt sich aktuell nicht jede Betriebsform mit den gegenwärtigen Vorgaben des Personenbeförderungsgesetzes vereinbaren (siehe AP3000).



Abbildung 3: Lage des Mobility-Hubs und der Bushaltestellen (basierend auf [2])

In Anlehnung an den Bericht der LK Argus GmbH [1] wurde angenommen, dass 289 Einwohner des Quartiers den Mobility Hub während der Morgenspitzenstunde erreichen wollen. [3] enthält Aussagen bezüglich des Modal Splits 2008 in Berliner Stadtbezirken, wonach in etwa 50% den MIV nutzen und im Folgenden auf das neue Mobilitätsangebot mit autonomen Shuttles umgelegt werden. Daraus resultieren die folgenden zwei Nachfrageszenarien, auf welche das MILP-basierte Lösungsverfahren im nächsten Schritt angewendet wurde:

- Nachfrageszenario 1: Gesamte Nachfrage pro Stunde mit 145 Bewohnern (Autonome Shuttles dienen der anteiligen Nachfrageerfüllung)
- Nachfrageszenario 2: Gesamte Nachfrage pro Stunde mit 289 Bewohnern (Autonome Shuttles decken die komplette Nachfrage ab)

145 bzw. 289 Bewohner wurden annähernd gleichmäßig auf die 14 Bushaltestellen verteilt. Eine geringere Nachfrage wurde jedoch für die Bushaltestellen direkt neben dem Mobility Hub und für die Bushaltestellen im relativ dünn besiedelten Südwesten des Quartiers angenommen. Die Nachfrage für jede Bushaltestelle pro Minute wurde für eine erste Annahme zufällig erzeugt. Weiterhin geht die LK Argus [1] davon aus, dass fahrerlose Shuttles eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 15 km/h im Quartier aufweisen. Da die Fahrstrecken zwischen den Haltestellen nicht mehr als 300 m betragen, wurde eine Fahrtzeit von einer Minute für fast alle direkten Verbindungen zwischen den Haltestellen angenommen.

Alle fahrzeugtypbezogenen Parameter werden in Tabelle 2 aufgeführt. Es wurden vier autonome elektrische Shuttle-Typen mit unterschiedlichen Kapazitäten berücksichtigt, da es für unterschiedliche Nachfragerealisierungen und für unterschiedliche Verkehrszellen vorteilhaft sein kann, Shuttles mit

kleinerer oder größerer Kapazität einzusetzen. Die Investitionsannahmen basieren auf der Preisbildung des autonomen Shuttle-Herstellers Navya. Hieraus ergibt sich der Preis für ein Shuttle mit 6 Sitzplätzen [4]. Andere Preise wurden auf der Grundlage dieser Preisinformationen geschätzt.

Kapazität des Shuttlebusses	Investition pro Shuttlebus [€]	Preis pro Sitz [€]
1	110.000	110.000
4	200.000	50.000
6	250.000	41.666
10	350.000	35.000

Tabelle 2: Fahrzeugbezogene Werte nach Fahrzeugtyp

Weitere Parameter wurden wie folgt festgelegt. Die maximale Wartezeit der Fahrgäste an einer Haltestelle beträgt für alle Haltestellen 3 Minuten. Die maximale Dauer einer Route vom Start am Mobility Hub ohne Fahrgäste bis zum Erreichen des Hubs mit den zuvor eingesammelten Fahrgästen beträgt 10 Minuten. Außerdem wurde angenommen, dass die Fahrzeuge während der Nacht aufgeladen werden und vor Beginn der Stoßzeit nahezu voll sind. Daher hat der Ladezustand des Fahrzeugs erstmal keinen Einfluss auf die Lösung und kann bei einer Nachberechnung berücksichtigt werden.

Nachfrageszenario 1: Gesamte Nachfrage pro Stunde 145 Bewohner (Autonome Shuttles dienen der anteiligen Nachfrageerfüllung)

Der zuvor beschriebene optimierungsbasierte Algorithmus wurde auf das Quartier Gartenfeld angewendet, um eine geeignete Flotte zu finden. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse von fünf Durchläufen des Lösungsverfahrens mit einer Gesamtnachfrage von 145 Bewohnern pro Stunde. Abgebildet ist der Zusammenhang zwischen dem Servicegrad (in %) und der Gesamtinvestition für die Flottenanschaffung. Um den Einfluss des Servicegrades auf die gesamte Flotteninvestition zu untersuchen, wurde der Servicegrad zwischen 30% und 100% variiert. Weiterhin wurden für den gewünschten Sitzplatzauslastungsgrad Werte zwischen 30% und 80% (in 15%-Schritten) gewählt, um den Einfluss dieser Parametervariation auf die gesamte Flottengröße darzustellen. Bei einem Anstieg der angestrebten Auslastung von 20% auf 65% konnte ein Rückgang der gesamten Flotteninvestitionen beobachtet werden.

Wie bereits beschrieben, tendiert das Lösungsverfahren dazu, die Fahrzeuge mit einem niedrigeren Preis pro Sitzplatz zuerst in die Flotte aufzunehmen. Im Normalfall handelt es sich dabei um die Fahrzeuge mit der höchsten Anzahl an Sitzplätzen und dementsprechend hohen Investitionskosten. Wenn die gewünschte Auslastung nicht hoch genug ist, neigt das Lösungsverfahren dazu, die Flotte mit größeren Fahrzeugen auszustatten, die jedoch nicht vollständig ausgelastet sind. Um diesem Verhalten des Lösungsverfahrens entgegenzuwirken, ist es wichtig, den Wert für die Auslastung hoch genug anzusetzen. Bei einer Erhöhung der Auslastung von 65% auf 80% ist ein starker Anstieg der Gesamtinvestitionskosten zu beobachten. Größere Shuttlebusse sind nicht in der Lage, so hohe Auslastungswerte

te zu erreichen. Dadurch ist der Fuhrpark mit kleineren Fahrzeugen gefüllt, die einen hohen Preis pro Sitzplatz aufweisen. Insgesamt lässt sich aus dieser Parametervariation ableiten, dass der Auslastungsgrad sorgfältig definiert werden sollte, da zu niedrige und zu hohe angestrebte Auslastungsgrade zu hohen Investitionen führen.

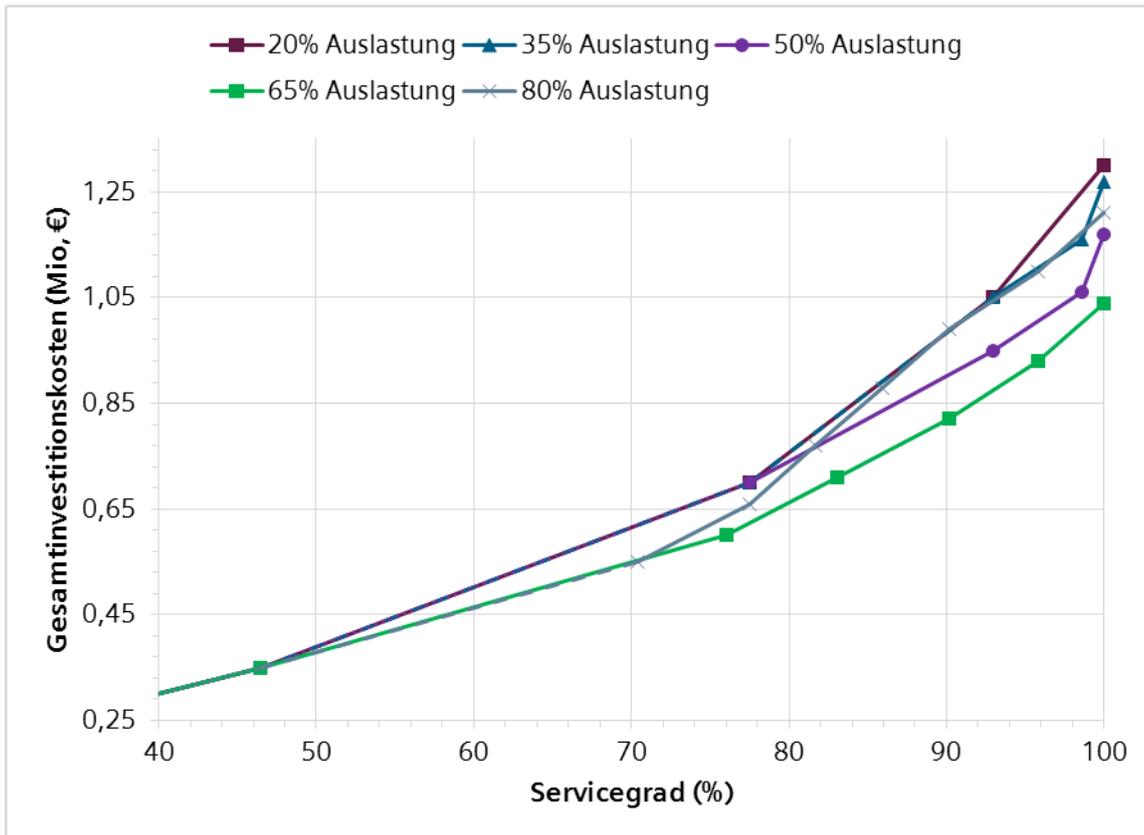


Abbildung 4: Gesamtinvestition in Abhängigkeit des Servicegrads für Nachfrageszenario 1

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Flottenzusammensetzungen je nach Auslastungsgrad. Die Relation zwischen Flottengröße und Gesamtinvestition kann als anwendungsrelevante Erkenntnis genutzt werden. So kann z.B. bei einer Auslastung von 65% die niedrigste Gesamtinvestition erreicht werden. Dem gegenüber ist bei einer Auslastung von 50% nur ein leichter Anstieg der Gesamtinvestition zu beobachten. Dabei ist die Flottengröße kleiner, was für den Fuhrparkbetrieb und die Wartung von Vorteil sein kann und zu einer zusätzlichen Kostenersparnis führt.

Sitzplatzauslastung	Flottengröße	Kapazität des Shuttlebusses	Gesamtzahl der Sitzplätze	Gesamtinvestition [Mio. €]
0.2	4	10,10,10,6	36	1,3
0.35	5	10,10,10,1,1	32	1,27
0.5	5	10,10,6,1,1	28	1,17
0.65	6	10,6,1,1,1,1	20	1,04
0.8	8	10,4,1,1,1,1,1,1	20	1,21

Tabelle 3: Flottenzusammensetzung für Nachfrageszenario 1

Nachfrageszenario 2: Gesamte Nachfrage pro Stunde 289 Bewohner (Autonome Shuttles decken komplette Nachfrage ab)

Im nächsten Schritt wurde die Nachfrage verdoppelt, so dass 289 Bewohner den autonomen Shuttle-Service nutzen. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse von drei Durchläufen des Lösungsverfahrens mit unterschiedlichen Nachfragerealisierungen. Bei einer Nachfragerealisierung werden Ankunftszeit und Anzahl der Fahrgäste pro Bushaltestelle festgelegt. Die Daten für jede Nachfragerealisierung wurden zufällig generiert, so dass der Gesamtbedarf für die Spitzenstunde bei 289 bleibt. Der Servicegrad in Prozent ist auf der x-Achse angetragen, die Gesamtinvestition in Millionen Euro auf der y-Achse. Wie beim vorherigen Nachfrageszenario wurde der Servicegrad zwischen 30% und 100% variiert. Bei allen drei Nachfragerealisierungen gibt es nur geringe Unterschiede bezüglich der Gesamtinvestitionskosten der Flotte. Um beispielsweise ein Serviceniveau von 95% zu erreichen, muss ein Budget von 1,85 Mio. €, 1,72 Mio. € und 1,64 Mio. € entsprechend den drei Nachfragerealisierungen zur Verfügung stehen. Dies ist eine wertvolle betriebswirtschaftliche Erkenntnis, da die angeschaffte Flotte eine gewünschte Abdeckung beliebiger Nachfrage ermöglichen soll. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist, hat jeder Graph sprunghafte Veränderungen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Anzahl der Fahrzeuge im Fuhrpark nur durch komplette Einheiten verändert werden kann, wodurch die vordefinierten Sprünge in den Investitionskosten verursacht werden. Darüber hinaus zeigt sich, dass ein hohes Serviceniveau durch eine drastische Erhöhung der Investitionskosten erreicht werden kann.

Aus den Ergebnissen aller drei Durchläufe lässt sich ableiten, dass sich, trotz Verdoppelung der Nachfrage, die Gesamtinvestition der Flotte nicht verdoppelt und nur geringfügig größer ausfällt. Bei einem Auslastungsgrad von 65 % und einem Servicegrad von 95 % liegt der Investitionsbedarf für eine Nachfrage von 145 Einwohnern bei 1,04 Mio. Euro gegenüber den 1,53 Mio. Euro, wenn 289 Einwohner die autonomen Fahrzeuge nutzen.

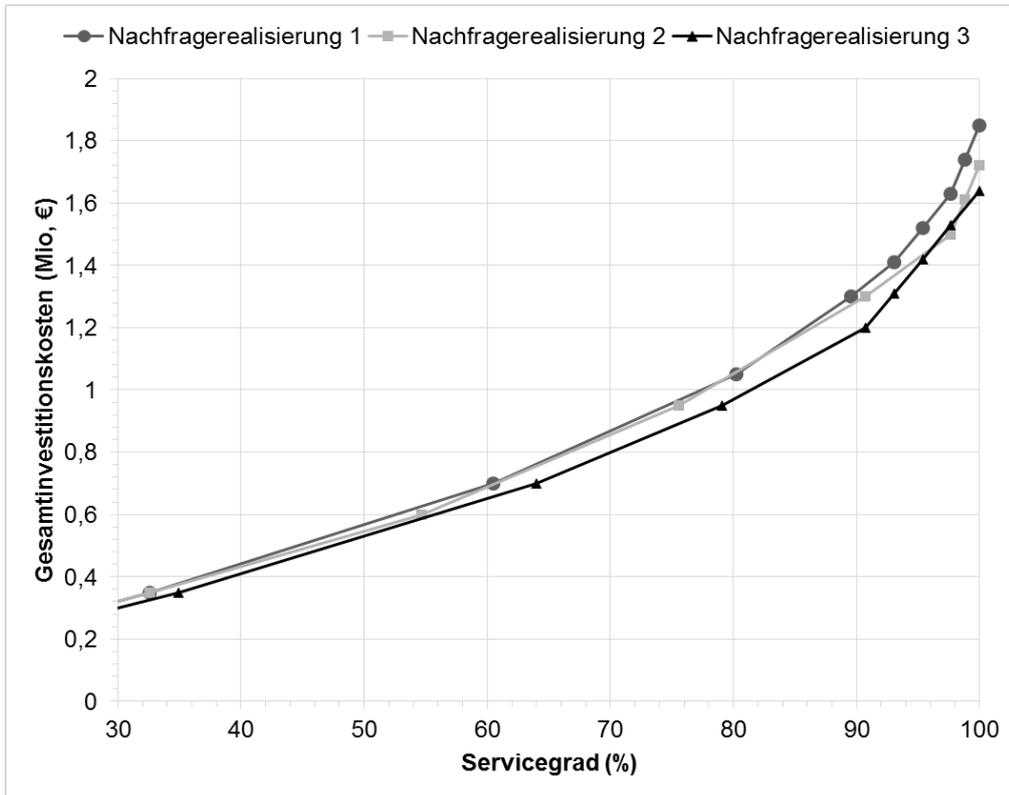


Abbildung 5: Gesamtinvestition des Servicegrads für Nachfrageszenario 2

Die entsprechenden Flottenzusammensetzungen zu den Nachfragerealisationen sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Flottengröße variiert zwischen 7 und 9 Fahrzeugen, was zu einer Variation der Gesamtinvestition führt. Die maximale Differenz bei den Gesamtinvestitionen der Flotte beträgt jedoch nicht mehr als 0,32 Mio. €. Die Flotten der verschiedenen Nachfragerealisationen setzen sich aus Fahrzeugen unterschiedlicher Art zusammen, dennoch wird selten ein Fahrzeug mit einer Sitzplatzkapazität von 4 Personen eingesetzt.

Nachfrage- realisierung	Flottengröße	Kapazität des Shuttlebusses	Gesamtzahl der Sitzplätze	Gesamtinvestition [Mio. €]
1	9	10,10,10,6,1,1,1,1,1	41	1,85
2	8	10,10,10,6,4,1,1	42	1,72
3	7	10,10,6,6,1,1,1	36	1,53

Tabelle 4: Flottenzusammensetzung für Nachfrageszenario 2

3.2.6 AP2600: Betrieb von Serviceagenten aus Mobilitätszentralen

Bilanzielle Planung der notwendigen Ladepunkte und Parkkapazitäten

Die bilanzielle Planung der notwendigen Ladepunkte und Parkkapazitäten je nach Verkehrszelle erfolgte auf Basis der Ergebnisse des vorgeschlagenen Lösungsverfahrens zur Flottengrößenoptimierung aus AP2500. Das Lösungsverfahren liefert u.a. die Anzahl an Fahrzeugen, die zur Nachfrageabdeckung benötigt werden. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Betreuung der Flotte aus einem einzelnen Mobility Hub. Somit wird auch für die Anwendung des vorgeschlagenen Mobilitätskonzepts angenommen, dass der Hub neben seiner Funktion als multimodaler Umschlagpunkt auch als Parkhaus und Ladedepot dienen wird. Da die Nachfrage in der Nacht sehr gering ausfällt, müssen nahezu alle Fahrzeuge über die Nacht gleichzeitig geparkt werden. Des Weiteren wurde angenommen, dass alle Fahrzeuge der Flotte über die Nacht geladen werden, um einen einwandfreien Betrieb in der Frühverkehrsspitze sicherstellen zu können. Dementsprechend sind die Anzahl an Parkplätzen und Ladepunkten gleich der Flottengröße. Zu berücksichtigen sind ebenfalls die Ersatzfahrzeuge. Angenommen wird, dass jedes Nachfrageszenario um 2 Ersatzfahrzeuge erweitert wird. Für das Gartenfeld-Beispiel ist somit von durchschnittlich 8 Plätzen für das Nachfrageszenario 1 und von ca. 10 Plätzen für das Nachfrageszenario 2 auszugehen.

Mit Blick auf zukünftige Systeme, in denen Shuttles frei im Stadtgebiet unterwegs sind, ein sogenanntes Free-Floating On-Demand-System, gestaltet sich die Betrachtung der Planung notwendiger Ladepunkte und Parkkapazitäten etwas komplexer. Die Parkplätze müssen so angeordnet werden, dass jeder Nutzer innerhalb der maximal tolerierbaren Wartezeit bedient werden kann. Außerdem soll den Fahrzeugen ermöglicht werden sich automatisch auf verschiedene Parkmöglichkeiten zu verteilen, abhängig von unterschiedlichen Tageszeiten und Reisecharakteristik. So werden zur Morgenspitze zum Beispiel an bestimmten Stellen mehr Fahrzeuge benötigt als zur Mittagszeit.

Die Planung der Ladepunkte richtet sich stark nach dem gewählten Ladekonzept, welches wiederum durch das Einsatzprofil und den Betriebsablauf des Shuttles, sowie die Fahrzeugeigenschaften bestimmt wird. Beim Übernachten (Overnight Charging) werden die Batterien des Fahrzeugs in längeren Betriebspausen (meist nachts) ausschließlich im Depot geladen. Bei den Ladekonzepten der Gelegenheitsladung (Opportunity Charging) wird hingegen mehrfach während des Betriebs geladen, stets für wenige Minuten an bestimmten Haltestellen. Mit dem Hintergrund, dass bei diesem Konzept manche Haltestellen gar nicht angefahren werden, ist das Übernachten dem Gelegenheitsladen im Depot vorzuziehen oder aber das Gelegenheitsladen auf den für die Fahrzeuge gegebenenfalls vorgesehenen Parkplätzen zu ermöglichen. Grundsätzlich sind beim Gelegenheitsladen geringere Batteriekapazitäten erforderlich, was sich positiv auf Gewicht und Kosten der Shuttles auswirkt. Hinsichtlich der Anforderung, autonome Shuttles einzusetzen erfolgt das Laden idealerweise automatisiert. Ladekonzepte, die automatisiertes Laden ermöglichen sind z.B. das induktive Laden oder das Laden über Pantografen, die keine manuelle Unterstützung benötigen. Insbesondere im Falle eines flächendeckenden Einsatzes elektrifizierter Shuttle ist bei der Wahl des Ladekonzepts zu berücksichtigen, dass ungesteuertes Aufladen Spitzenlasten im Stromnetz erzeugen kann. Um Überlastungen des Stromnetzes vorzubeugen, ist ein Laden über Nacht (und damit in nachfrageschwächeren Stunden), in Verbindung mit einem Gelegenheitsladen über die Mittagsstunden (ggf. über Photovoltaik) zu empfehlen.

Speisung der elektrischen Ladeinfrastruktur auf Basis erneuerbarer Energien

Wenn der Strom zum Aufladen der Shuttles aus dem Stromnetz bezogen wird, stammt er automatisch nur zu einem Teil aus erneuerbaren Energiequellen. Nach Angabe des Umweltbundesamtes betrug der Anteil erneuerbarer Energieträger am deutschen Bruttostromverbrauch im Jahr 2016 31,7 %. Auch ein Kauf von Ökostrom würde aufgrund des geringen Anteils am Gesamtstromverbrauchs nie zu einem 100 % regenerativen Strom führen, es würde lediglich der Anteil erneuerbarer Energieträger im deutschen Strommix minimal erhöht werden.

Es besteht dennoch eine Möglichkeit, wie das Aufladen der Shuttlebusse in der Stadt ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien vorgenommen werden kann. Hierbei wird er Strom nicht aus dem deutschen Stromnetz bezogen, sondern lokal über Photovoltaik erzeugt und direkt für das Laden genutzt. Diese Methode eignet sich allerdings nur bei einem verhältnismäßig geringen Strombedarf, demzufolge bei geringen Flottengrößen.

Im Folgenden wurde für das Projekt Gartenfeld untersucht, ob ein Aufladen der Shuttles im Depot (dem Mobility Hub) ausschließlich mit über Photovoltaik generierten Strom möglich ist. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte, ebene Dachfläche des Mobility Hubs für eine Anbringung der Photovoltaik-Anlage zur Verfügung steht. Angenommen wurde, dass der in Abbildung 3 dargestellte Mobility Hub mit der Anlage ausgestattet wird. Die hierfür zur Verfügung stehende Dachfläche wurde auf 2000 m² geschätzt. Laut E.ON, einem der deutschen Hauptenergieversorger, lassen sich in Deutschland bis zu 1000 kWh pro Jahr durch eine 1 kWp (ca. 10 m²) große Photovoltaik-Anlage erzeugen [5]. Somit könnten mit der auf dem Mobility Hub installierten Anlage ca. 200.000 kWh pro Jahr oder ca. 550 kWh pro Tag generiert werden. Des Weiteren wurde untersucht, ob diese Energiemenge für die Speisung der Flotte ausreichend ist.

Ausgehend von einem Ladekonzept, bei dem die Shuttles über Nacht geladen werden und über den Tag keine zusätzliche Energiezufuhr benötigen, lässt sich der Energieverbrauch der Flotte für das Quartier Gartenfeld einfach berechnen. Es wurde angenommen, dass jedes Fahrzeug über eine Batterie mit einer Kapazität von 40 kWh (IAV Bus) verfügt. Des Weiteren wurde berücksichtigt, dass die Batterie lediglich bis zu 80 Prozent der Nennkapazität geladen wird, um der Batteriealterung und den Kapazitätsverlusten entgegenzuwirken. Vereinfachend wurde davon ausgegangen, dass bei einer Flotte inklusive der Ersatzfahrzeuge mindestens eine Energiemenge von 256 kWh pro Tag im Nachfrageszenario 1 (8 Fahrzeuge) und mindestens eine Energiemenge von 320 kWh pro Tag im Nachfrageszenario 2 (10 Fahrzeuge) benötigt wird.

Die Energiemenge von 550 kWh, die über eine Photovoltaikanlage auf dem Dach des Mobility Hubs im Quartier Gartenfeld generiert werden könnte, wäre somit unter den genannten Annahmen ausreichend, um die Energiemenge für das jeweilige Nachfrageszenario bereitzustellen. Der Einfluss unterschiedlicher Solarerträge aufgrund von einer variierenden Sonnenenergie im Tages- sowie Jahresverlauf wurde zunächst nicht berücksichtigt.

Emissionsreduktion durch den Betrieb der Serviceagenten

Elektrofahrzeuge erzeugen lokal keine CO₂-Emissionen, lediglich Feinstaubemissionen aus dem Reifenabrieb und dem Bremsabrieb entstehen auch bei elektrifiziertem Verkehr. Dennoch müssen der Elektromobilität CO₂-Emissionen zugeschrieben werden, die bei der Stromerzeugung entstehen. Die

derzeit im Verkehr erzeugten CO₂-Emissionen verschieben sich gewissermaßen zum Teil in den Stromsektor. Durch den steigenden Anteil der erneuerbaren Energieträger am deutschen Stromverbrauch werden allerdings auch im Stromsektor zunehmend Treibhaus- und Luftschadstoffemissionen vermieden.

Im Folgenden soll kurz auf eine Untersuchung des Umweltbundesamtes [6] eingegangen werden, die die Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger und damit unter anderen die vermiedenen Emissionen durch erneuerbare Energieträger im Stromsektor näher betrachtet hat. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O), die auf das Leit-Gas CO₂ bezogen werden und deswegen als CO₂-Äquivalente angegeben werden. Erneuerbare Energieträger erzeugen zwar keine direkten Emissionen, Prozesse in den sogenannten Vorketten, wie die Gewinnung und Bereitstellung der Energieträger, verursachen allerdings indirekt Emissionen und müssen daher mit in die Bilanz einfließen. Im Rahmen der Bilanzierung wurden netto vermiedene Emissionen ermittelt, indem die brutto vermiedenen Emissionen mit den verursachten Emissionen verrechnet wurden. Dieses Vorgehen wurde in Abbildung 6, aufgeschlüsselt nach Energieträger, dargestellt. Aus der Division der verursachten sowie brutto und netto vermiedenen Emissionen durch die aus erneuerbaren Energien bereitgestellte Endenergie ergeben sich die Emissionsfaktoren sowie Netto- und Brutto-Vermeidungsfaktoren. Die Emissionsfaktoren sind auf der linken Seite der Abbildung als Negativwerte dargestellt. Demgegenüber werden durch den Einsatz erneuerbarer Energien die fossilen Energieträger substituiert, wodurch sich die Brutto-Vermeidungsfaktoren als Positivwerte auf der rechten Seite der Abbildung ergeben. Da bei allen erneuerbaren Energieträgern die vermiedenen Emissionen die verursachten Emissionen deutlich übersteigen, verfügen sie alle über einen positiven Netto-Vermeidungsfaktor. Dieser gibt somit an, wie viel Gramm an Treibhausgasemissionen (in CO₂-Äquivalenten) pro 1 kWh Energie durch den Einsatz des jeweiligen erneuerbaren Energieträgers vermieden werden.

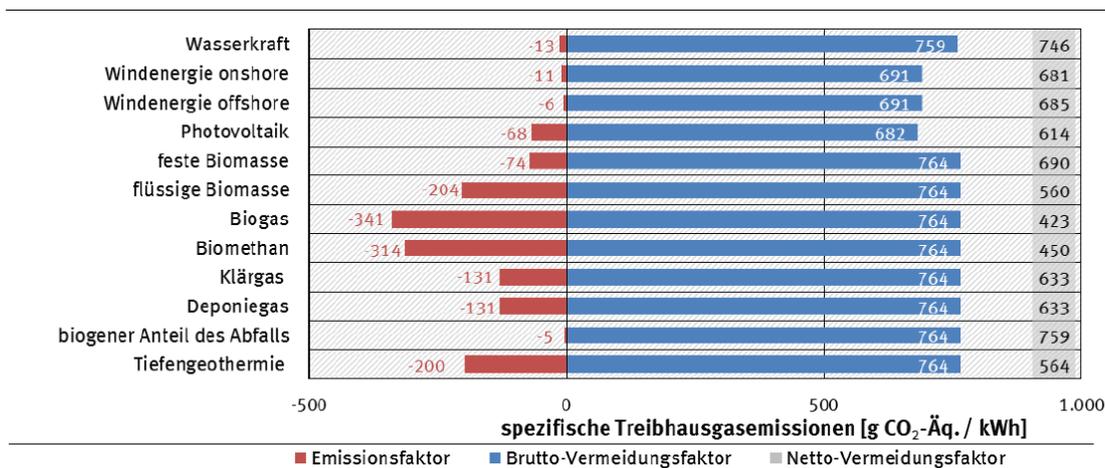


Abbildung 6: Spezifische Treibhausgasbilanz der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2016, aufgeschlüsselt nach Energieträgern [6]

Mithilfe des gegebenen Netto-Vermeidungsfaktors für Photovoltaik (614 g CO₂-Äq./kWh) konnte im Gartenfeld-Beispiel ermittelt werden, welche Menge an Treibhausgasen (in CO₂-Äquivalenten) bei einer ausschließlichen Speisung der Fahrzeugflotte über die Photovoltaikanlage auf dem Dach des Mobility Hubs vermieden werden könnte. Ausgehend von einer Energiemenge von 256 kWh pro Tag im

Nachfrageszenario 1 und einer Energiemenge von 320 kWh pro Tag im Nachfrageszenario 2 ergaben sich vermiedene Treibhausgasemissionen von ca. 57,4 t CO₂-Äq. pro Jahr im Nachfrageszenario 1 und ca. 71,72 t CO₂-Äq. pro Jahr im Nachfrageszenario 2. Im Vergleich beträgt laut des CO₂-Rechners des deutschen Umweltbundesamtes [7] die jährliche CO₂-Bilanz eines deutschen Durchschnittsbürgers 11,63 t CO₂-Äq. pro Jahr. Somit werden Treibhausgasemissionen vermieden, welche dem CO₂ Fußabdruck von 5 bzw. 6 deutschen Bürgern im Jahr entsprechen.

3.2.7 AP2700: Einsatzpreis und Produktvariabilität von Serviceagenten

Das in AP2500 erläuterte Nachfragemodell ermöglicht es, die Nachfrage nach dem autonomen Shuttleservice für festgelegte Einwohnerzahlen abzuschätzen. Basierend auf dieser Abschätzung und auf der in AP2500 durchgeführten Einpreisung von Serviceagenten ist es möglich, mittels dem optimierungsbasierten Lösungsverfahren die Gesamtinvestition für die optimale nachfragedeckende Flottenzusammensetzung zu ermitteln. Um einen autonomen Shuttleservice anzubieten, muss jedoch ebenso berücksichtigt werden, dass die Investition in die Flotte zwar einen signifikanten Kostenanteil darstellt, aber nicht der einzige zu berücksichtigende Kostenfaktor ist. So sind neben den Fahrzeugkosten auch Fahrdienstkosten, Maintenance-Kosten (Instandhaltung, Reifenkosten, tägliche Versorgung), Antriebskosten sowie Overheadkosten (generelle Verwaltung) zusätzlich anfallende Kostenanteile. Bei den Fahrdienstkosten ist zu berücksichtigen, dass diese zwar durch den Wegfall des Busfahrers kleiner werden, aber nicht komplett eingespart werden können. Services, wie ein Sicherheitsfahrer, der Fahrkartenverkauf oder die Fahrkartenkontrolle, müssen weiterhin bereitgestellt werden bis diese durch automatisierte Lösungen ersetzt werden können.

Bei einem autonomen Busbetrieb spielen somit die gleichen Kostenfaktoren eine Rolle, die Kostenverteilung gestaltet sich hingegen anders als bei einem konventionellen Busbetrieb. Abbildung 7 stellt die durchschnittlich anfallenden Kosten (pro km) für die beiden Mobilitätskonzepte dar. Diese Darstellung resultiert aus dem Vergleich von zwei konventionellen Buslinien mit einer autonomen Buslinie. Die gesamten durchschnittlichen Kosten pro km belaufen sich beim konventionellen Bus auf 5,015 € und beim autonomen Shuttle auf 4,635 €. Hierbei ist anzumerken, dass die beim Betrieb von autonomen Shuttlebussen anfallenden Infrastrukturkosten in dieser Darstellung nicht berücksichtigt werden.

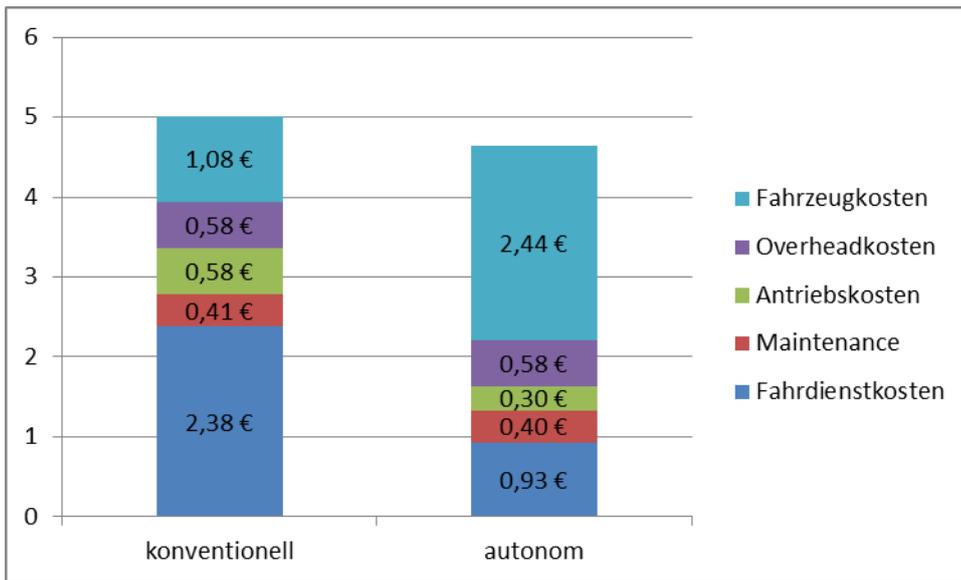


Abbildung 7: Vergleich der Kosten pro Fahrplankilometer

Um die Betreiberakzeptanz sicherzustellen, dürfen die Gesamtkosten für Anschaffung, Betrieb und Infrastruktur einer autonomen Flotte die Gesamtkosten einer konventionellen Flotte nicht übersteigen. Im vorliegenden Fall dürften die Kosten demzufolge nicht größer als 5,015 € pro km sein. Dieser Betrag stellt im Folgenden 100 % dar. Aus dieser Annahme resultiert Abbildung 8. Da die Fahrdienst-, Maintenance, Antriebs- und Overheadkosten für den autonomen Shuttlebetrieb geringer als beim konventionellen Busbetrieb ausfallen, stehen beispielsweise 56,13 % der Gesamtkosten für die Fahrzeugflotte sowie die Infrastruktur zur Verfügung.

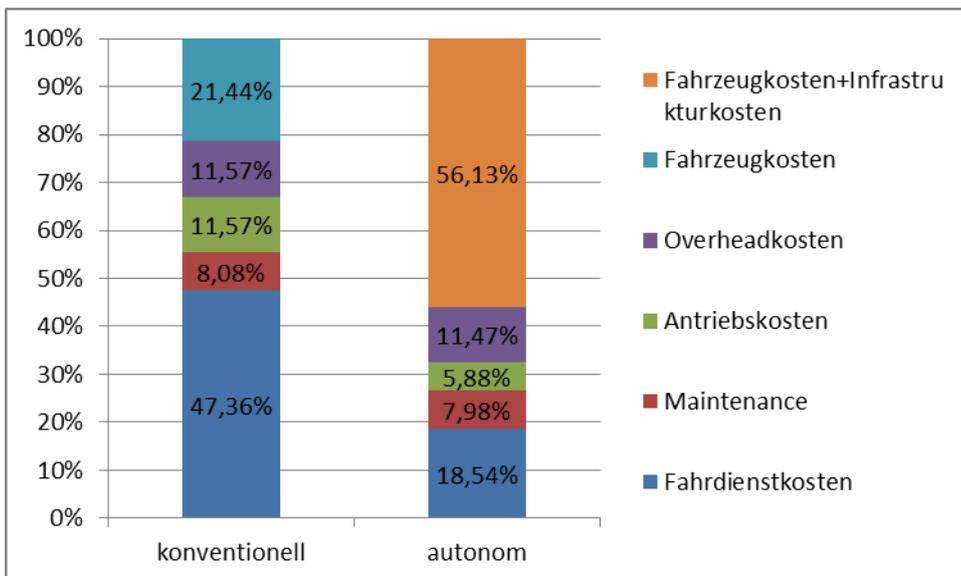


Abbildung 8: Prozentueller Vergleich der Gesamtkosten

Nach dieser Abschätzung der Betriebskosten für den autonomen Shuttlebetrieb soll im Folgenden kurz auf die Tarifierungs- und Preisgestaltung eingegangen werden, da diese großen Einfluss auf die Attrak-

tivität des autonomen Shuttlebetriebs hat. Die Kosten für die Nutzung des autonomen Shuttles sollten generell nicht die Kosten für die Nutzung eines privaten Pkws (30-90 ct/km) oder von Carsharing Angeboten (z.B. DriveNow: 33ct/min; Cambio: 2 €/h und 24 ct/km) übersteigen.

Allgemein erfolgt die Tarifierung des ÖPNV in Deutschland mehrheitlich nach zeitlich limitierten Zonentarifen. Eine Tarifierung nach der zurückgelegten Entfernung des Fahrgastes in km ist ebenfalls gängig. Weiterhin werden Tarife angeboten, die den ÖPNV attraktiver machen, z.B. eine Vergünstigung durch Tages-, Wochen-oder Monatsickets, und eine Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den ÖPNV unterstützen. Für das autonome Shuttlesystem ist ebenfalls eine entfernungsabhängige Tarifierung denkbar. Diese erfolgt geschwindigkeitsneutral, verhindert höhere Kosten bei vermehrten Stauaufkommen und ist daher einer zeitabhängigen Tarifierung vorzuziehen.

Darüber hinaus ist zu empfehlen, die Tarifierung des autonomen Shuttlesystems in die bestehende Preisstruktur des ÖPNV miteinzubinden. Denn gerade die Verknüpfung von bestehenden ÖPNV und autonomen Shuttlesystem gewährleistet die von Kunden häufig gewünschte bessere öffentliche Anbindung und treibt somit die Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den öffentlichen Personennahverkehr voran.

Wie bereits erläutert, ist es das oberste Ziel des autonomen Shuttlesystems, die Anbindung zum bestehenden öffentlichen Nahverkehr zu verbessern und nicht im Wettbewerb mit diesem zu stehen. Aus diesem Grund sollte zusätzlich zum entfernungsabhängigen Tarif über Sonderregelungen nachgedacht werden, die verhindern, dass für Fahrten die mit dem bestehenden öffentlichen Nahverkehr zurückgelegt werden können autonome Shuttles genutzt werden. Hierfür könnten beispielsweise "Hot Spots" eingeführt werden, die im 400 Meter Radius um die Stationen des öffentlichen Nahverkehrs definiert sind. Wenn ein Nutzer mit dem autonomen Shuttle von einem Hot Spot zum anderen fährt, wird ein Aufpreis erhoben, der den Nutzer dazu anregen soll, stattdessen eines der herkömmlichen öffentlichen Verkehrsmittel zu nutzen.

3.3 AP3000: Rechtsrahmen (IKEM)

3.3.1 AP3100: Koordination des AP3000 und mit den anderen Projektpartnern

Das Arbeitspaket AP3000 leistete die juristische Begleitung der Vorhaben im Rahmen des OTS-Projektes. Neben der fortlaufenden Koordination der einzelnen Arbeitspakete stellte die Abstimmung mit den weiteren Projektbeteiligten den Schwerpunkt der Tätigkeit in diesem Arbeitspaket dar. Neben einer Vielzahl von informellen Kontakten fand auch mit jedem beteiligten Projektpartner mindestens ein offizieller Termin zur Abstimmung statt. Dazu fand am 6.11.2017 in den Räumlichkeiten des IKEM ein ganztägiger Workshop zur Zulassung autonomer Fahrzeuge statt. Hier waren Vertreter verschiedener nationaler Behörden ebenso wie Vertreter der finnischen und niederländischen Zulassungsbehörden als Teilnehmer und teils auch als Referenten beteiligt. Ein weiterer Workshop fand im Juni 2018 statt, thematisch lag der Schwerpunkt auf Fragen rund um die Ausgestaltung einer denkbaren Experimentierklausel für das autonome Fahren. Auch die Überlegung, Fachartikel zu veröffentlichen besteht fort. Gleichwohl wird die Publikation erst nach Beendigung des Forschungsprojektes erfolgen. Angedachte Themen sind die rechtlichen Probleme von Testfeldern für das autonome Fahren sowie Überlegungen zur Regulierung einer straßenseitigen Infrastruktur für autonome Fahrzeuge.

Zu Koordination und weiteren Abstimmung wurden im Projektverlauf folgende projektbezogene Termine und Veranstaltungen durchgeführt:

- 09.-10. März 2017 „Tegernseeklausur“ zur Abstimmung Siemens und EMM!
- 21. März 2017 Ortsbegehung Gartenfeld zur Abstimmung mit UTB
- 18. Oktober 2017 Abstimmungstreffen mit UTB und Siemens
- 23. Oktober 2017 Abstimmungstreffen mit TU München
- 27. November 2017 Abstimmungstreffen mit UTB
- 03. April 2018 Abstimmungstreffen mit UTB

3.3.2 AP3200: Rechtliche Umsetzungsstrategie “Forschungsfeld” Siemens-Perlach

Die Roadmap Perlach betrachtet umfassend die rechtliche Situation rund um das autonome Fahren. Hervorzuheben sind im Zusammenhang mit der Beförderung von Personen im Rahmen des Projekts OTS 1.0 die Regelungsbereiche des Zulassungs-, Personenbeförderungs- und Datenschutzrechts.

Einer Zulassung bedarf, wer sich im öffentlichen Straßenraum i.S.d. Straßenverkehrsrechts bewegt. So wurde zunächst das Betriebsgelände in Perlach untersucht. Aufgrund besonderer Gegebenheiten wurde (auf Basis des vom IKEM unter dem 09.08.2017 erstellten Argumentationspapiers „Straßenverkehrsrechtliche Einordnung des Testfeldes München-Perlach“) festgestellt, dass es sich nicht um einen öffentlichen Straßenraum handelt. Diese Einschätzung teilt auch die Stadt München, als zuständige Behörde. Für den Projektablauf konnte daher erreicht werden, dass die technischen Versuche unter geringeren juristischen Anforderungen durchgeführt werden konnten. Gleichwohl ist die Roadmap für den Fall des Betriebs eines autonomen Fahrzeuges im öffentlichen Straßenraum gemünzt, da auch dies der spätere Einsatzraum des Fahrzeugs sein soll.

Daneben wurden die Grundlagen der Zulassung des autonomen Fahrzeugs erarbeitet und mittels des Argumentationspapiers „Erstzulassung eines autonomen Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr“ im April 2017 in das Projekt eingebracht. Ausgehend von dem zur Anwendung gelangenden Dreiklang aus Antrag, Nachweis der Haftpflichtversicherung sowie einer Betriebserlaubnis erfolgte hierbei eine umfassende Analyse und Darstellung des derzeitigen Zulassungsprozesses. Die hier in den besonderen Blick zu nehmende Betriebserlaubnis setzt voraus, dass das Fahrzeug mit den nationalen und internationalen Regelungen (insbesondere StVZO, UN-ECE, Wiener Übereinkommen) konform geht. Für autonome Fahrzeuge kann dies nicht erreicht werden, da in den Vorschriften eine vollständige Übernahme der Längs- und Querlenkung durch ein technisches System nicht vorgesehen ist. Daher bedarf die Zulassung autonomer Fahrzeuge gegenwärtig einer Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO. Es zeigt sich bei der rechtlichen Prüfung, dass insbesondere ein autonomes Fahrzeug, in welchem sämtliche Personen lediglich Fahrgäste sind, nach derzeitiger Rechtslage kaum zulassungsfähig ist. Insbesondere stellen autonom fahrende Fahrzeuge aktuelle Grundsätze der Rechtsordnung vor erhebliche Probleme. Das dualistische Straßenrecht – bestehend aus technischen Anforderungen hinsichtlich des Fahrzeugs und verhaltensbezogenen Anforderungen hinsichtlich des Fahrers – erweist sich nicht länger als praktikabel:

So knüpft das Recht die Verhaltensvorschriften der StVO sowie eventuelle Sanktionen im Falle eines Unfalls immer an eine natürliche Person an. Wo jedoch keine natürliche Person mehr rechtserheblich handelt, kann das Recht nicht mehr adressieren. Das autonome Fahrzeug an sich ist selbst kein taugli-

cher Adressat für das Recht. Vor diesem Hintergrund erscheint es derzeitig allenfalls realistisch, ein Fahrzeug zuzulassen, welches auch weiterhin mit einem Sicherheitsfahrer besetzt ist, der das Fahrzeug mindestens übersteuern bzw. das technische System außer Betrieb setzen kann. Dann bleibt der Sicherheitsfahrer weiterhin Fahrzeugführer und tauglicher Adressat des Rechts.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO mit einer örtlichen Begrenzung zu versehen ist und dazu Auflagen erteilt werden können, wurde darüber hinaus ein Katalog an möglichen Auflagen erarbeitet, welcher die Erteilung einer Genehmigung erleichtern kann.

Ferner wurde die Beförderung von Personen auf ihre Genehmigungsfähigkeit nach dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG) überprüft. Mit Blick auf die Umsetzung des Shuttlebetriebs innerhalb des Projekts OTS 1.0 wurden der personenbeförderungsrechtlichen Analyse zwei getrennten Phasen zugrunde gelegt: In der ersten Phase wurde die beabsichtigte Beförderung lediglich als unregelmäßige Fahrten betrachtet, in denen sich Fahrzweck und -notwendigkeit aus dem Forschungsfortschritt ergaben. Aus diesem Grund handelte es sich in dieser Phase nicht um Personenbeförderung i.S.d. PBefG, da die Motivation der an der Fahrt teilnehmenden Personen nicht darin lag, den Hauptzweck der Fahrt in der Ortsveränderung zu sehen.

In einer zweiten Phase ist das Fahrzeug demgegenüber für den „allgemeinen“ Verkehr auf dem Testfeld München-Perlach für Betriebsangehörige geöffnet. Gleichwohl hängt die Frage der Genehmigungspflicht maßgeblich von der konkreten Ausgestaltung des Angebotes ab. Angesichts der Beförderung von Betriebsangehörigen in einer Art Linienverkehr (vgl. § 42 PBefG) in einem Rundkurs mit Haltestellen war grundsätzlich von der Genehmigungsbedürftigkeit der Verkehre in dieser Projektphase auszugehen. Allerdings kennt Personenbeförderungsrecht Beförderungsfälle, welche im Rahmen des Gesamtverkehrs nicht besonders ins Gewicht fallen und deshalb vollständig von der Beachtung des PBefG befreit sind, wie etwa die Beförderung „von Arbeitnehmern durch den Arbeitgeber zu betrieblichen Zwecken zwischen Arbeitsstätten desselben Betriebes“ (§ 1 Nr. 4 lit. h FrSt-llgV). Nach Auffassung der Autoren konnte der Verkehr auf dem Testfeld unter diese Voraussetzung subsumiert werden, da das Fahrzeug nur Betriebsangehörige von Siemens befördert, die auf dem Betriebsgelände zwischen Arbeitsstätten verkehren.

Mit Blick auf die künftigen Einsatzmöglichkeiten des OTS-Systems im Rahmen der Personenbeförderung und im Hinblick auf die ausstehende Entscheidung der zuständigen Genehmigungsbehörde erörtert die Roadmap gleichwohl die Voraussetzungen und Möglichkeiten einer personenbeförderungsrechtlichen Genehmigung. § 2 Abs. 1 PBefG benennt dabei bestimmte Beförderungsleistungen, die einer Genehmigung bedürfen. Für das autonome Fahren relevant sind dabei insbesondere der Linienverkehr mit Kraftfahrzeugen, der Sonderlinienverkehr mit Kraftfahrzeugen und der Gelegenheitsverkehr mit Kraftfahrzeugen. Soweit der beantragte Verkehr keiner dieser Verkehrsarten entspricht, kann er auch grundsätzlich nicht genehmigt werden. Man spricht insoweit von einem numerus clausus genehmigungsfähiger Beförderungsformen. In Fokus genommen wurde im Rahmen des Projektes daher eine Genehmigung als dem Linienverkehr ähnlich (§ 2 Abs. 6 PBefG) oder auf Basis der sog. Experimentierklausel (§ 2 Abs. 7 PBefG). Erstere bietet die Möglichkeit, anstelle der Ablehnung einer Genehmigung bei einer Beförderung, die nicht alle Merkmale einer Verkehrsart oder Verkehrsform erfüllt, eine Genehmigung nach denjenigen Vorschriften zu erteilen, denen diese Beförderung am meisten entspricht. Bei Letzterer kann die Genehmigungsbehörde zur praktischen Erprobung neuer Verkehrsarten oder Verkehrsmittel auf Antrag im Einzelfall Abweichungen von den Vorschriften des PBefG ge-

nehmigen. Beide können jedoch nur dann erteilt werden, soweit öffentliche Verkehrsinteressen nicht entgegenstehen.

Weiterhin waren betriebsbezogene Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit in Bezug auf die Radar- und Ortungssensorik im Erprobungsbetrieb zu betrachten, die mit Blick auf die Ausgestaltung des OTS-Systems eine besondere Rolle einnehmen. Der normative Rahmen ergibt sich dabei aus jeweiligen Datenschutzgesetzen, der IT-Sicherheit, den Regeln zur Produktsicherheit, dem Zulassungsrecht und dem Arbeitnehmerschutz.

Soweit beim Betrieb des OTS-Systems Daten erhoben oder anderweitig verarbeitet werden, ist zu unterscheiden, ob diese als personenbezogene Daten i. S. d. DSGVO zu qualifizieren sind. Für einen nicht unerheblichen Teil der verarbeiteten Daten ist dies zu verneinen, insbesondere soweit die Daten lediglich das Fahrzeug betreffen. Auch der Betrieb des Linienverkehrs kann so erfolgen, dass solche Daten von den Fahrgästen nicht erhoben werden. Soweit die verarbeiteten Daten jedoch personenbezogen sind, hat die Verarbeitung entsprechend den Rechtmäßigkeitsanforderungen der DSGVO zu erfolgen. Es muss insbesondere ein Erlaubnistatbestand des Art. 6 Abs. 1 DSGVO vorliegen. Durch eine entsprechende Gestaltung kann dies realisiert werden.

Gesondert zu betrachten ist die Frage der Datenverarbeitung durch Kameras, die im Rahmen des Systems installiert sind. Soweit diese Personen aufnehmen, liegt eine Verarbeitung personenbezogener Daten vor, die an den datenschutzrechtlichen Rechtmäßigkeitsanforderungen zu messen ist. Problematisch sind insoweit vor allem Dritte, die nur zufällig von den Kameras aufgenommen werden. Für eine datenschutzkonforme Umsetzung bietet sich insoweit eine technische Lösung an, die die von der Kamera aufgezeichneten Daten begrenzt. Abgeleitet aus dem Grundsatz der Datensparsamkeit sollten schließlich auch Konzepte zum systematischen Löschen im System angelegt sein. Daten, die nur benötigt werden, um die Situation im und um das Auto zu bewältigen, sollten vor diesem Hintergrund das Auto gar nicht erst verlassen. Letztlich werden auch künftig in Bezug auf personenbezogene Daten besondere Anforderungen an den Verantwortlichen für den Schutz dieser Daten gelten.

Bei dem OTS-Systembetreiber handelt es sich nach derzeitiger Gesetzeslage nicht um einen Betreiber kritischer Infrastruktur, sodass die Anforderungen des BSI-Gesetzes nicht unmittelbar einschlägig sind. Zwar ist auch der Teilbereich Verkehr als kritische Infrastruktur eingestuft, jedoch nicht hinsichtlich der vorliegend betriebenen Infrastruktur. Diese ist gegenwärtig nicht in qualitativer Hinsicht als kritische Infrastruktur bewertet, darüber hinaus qualifiziert sich der vorliegende Testbetrieb angesichts der überschaubaren Personenzahl auch nicht in quantitativer Hinsicht als kritische Infrastruktur. Weitergehend sind technische Standards für die Sicherheit der Technik auch mit Blick auf die Datensicherheit einzuhalten.

3.3.3 AP3300: Rechtliche Umsetzungsstrategie "Stadtquartier Gartenfeld"

Das "Stadtquartier Gartenfeld" stellt im Vergleich zum Testfeld Perlach eine deutlich komplexere Umgebungs- und Verkehrssituation dar. Gleichzeitig ist die Planungstiefe im Gartenfeld weit weniger fortgeschritten, weshalb die rechtliche Begleitung meist nur abstrakt erfolgen kann. Die rechtliche Begleitung muss verschiedene Alternativen betrachten und kann sich gerade nicht an konkreten Entscheidungen abarbeiten.

Der Einsatz autonomer Fahrzeuge lässt sich in Bezug auf das Gartenfeld in insgesamt vier Stufen kategorisieren. Die erste Stufe wäre ein Betrieb auf dem bestehenden Gewerbegelande auf der Insel, vergleichbar mit der Situation in Perlach. Eine zweite Stufe stellt der Verkehr im neuen Siedlungsquartier dar. Die dritte und vierte Stufe stellt dann der Verkehr außerhalb des Quartiers zur U-Bahn dar, einmal unter Nutzung bestehender öffentlicher Straßen, einmal unter Nutzung der baulich abgetrennten Trasse der ehemaligen Siemensbahn. Hierbei sind der Verkehr im neuen Stadtquartier sowie die Nutzung der eigenen Trasse besonders hervorzuheben, da es sich an dieser Stelle um neue Überlegungen handelt und sich auch insoweit Alleinstellungsmerkmale für das Gartenfeld herauskristallisieren.

Interessant ist einerseits, dass der komplette Neubau des Siedlungsquartiers die Möglichkeit bietet, in der Gestaltung des Straßenraumes auf die Bedürfnisse des autonomen Fahrzeuges einzugehen. Andererseits bietet die Trasse der ehemaligen Siemensbahn einen interessanten, geschützten Einsatzbereich für autonome Fahrzeuge an.

Zusätzlich gibt es Überlegungen, im Gartenfeld eine Quartiers-App anzubieten. Über diese sollen sämtliche Funktionalitäten der Siedlung abgebildet werden. Rechtliche Hindernisse, konnten hierbei nicht festgestellt werden. Sowohl für die Abwicklung des mietvertraglichen Verhältnisses als auch die Abwicklung des autonomen Shuttles kann die App Verwendung finden. Die App kann hierbei jedoch nur als zusätzliches Angebot fungieren und keine gesetzlichen Pflichten – wie beispielsweise die Bekanntgabe von Fahrplänen nach § 40 Abs. 4 PBefG – außer Kraft setzen. Das Anbieten eines flächendeckenden WLAN im Quartier setzt voraus, dass die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Strahlungswerte und der Sicherheit der Funkanlagen eingehalten werden.

Der beabsichtigte Shuttle-Verkehr soll – unabhängig von der Erbringung der Leistung als autonomes Shuttle – über eine Art Umlage von den Mietparteien im Gartenfeld gezahlt werden.

Eine Abrechnung im Rahmen des Mietvertrages ist jedoch nicht möglich. So handelt es sich nicht um Kosten, welche in der Betriebskostenverordnung angelegt sind. Auch eine Koppelung eines Dienstleistungsvertrages mit dem Mietvertrag verbietet sich.

Was die Zulassung des autonomen Shuttles angeht, so sind die rechtlichen Voraussetzungen hierfür bereits in der Roadmap Perlach behandelt. Für das Gartenfeld galt es daher lediglich Besonderheiten in Bezug auf das Gartenfeld herauszuarbeiten.

Beide Ansatzpunkte sind ein möglicher Hebel, um eventuell die zulassungsrechtlichen Anforderungen an die autonomen Fahrzeuge herabzusetzen. So muss bei der Zulassung autonomer Fahrzeuge, das Fahrzeug nachweisen, sämtliche Verkehrsvorgänge zu beherrschen. Sofern ein komplett neues Stadtquartier entwickelt wird, kann hier durch eine integrierte Planung das Fahrzeug konsequent mitbedacht werden und es können bereits bauliche Maßnahmen ergriffen werden, welche die Zahl möglicher Verkehrsvorgänge bewusst reduzieren. So muss sich das Fahrzeug nicht in einer gewachsenen Umgebung "zurechtfinden" sondern kann in einer modellhaften Umgebung eingesetzt werden.

Ein besonderes Augenmerk bei der Bearbeitung lag auf einer möglichen Nutzung der Siemensbahn als weitere Trasse für das autonome Shuttle. Bei der Siemensbahn handelt es sich um eine ehemalige Eisenbahntrasse, welche das Siemens-Werk auf dem Gartenfeld mit dem Berliner-S-Bahn-Ring verknüpfte. Die Trasse ist gegenwärtig nicht in Betrieb, gleichwohl weiterhin als Eisenbahntrasse gewidmet. Für die Betrachtung wird auch weiterhin zu Grunde gelegt, dass die Widmung als Eisenbahntrasse weiter-

hin bestehen soll. Zunächst ist festzuhalten, dass eine Zwischennutzung der Trasse möglich ist und die Widmung unberührt lässt. Da die Trasse durch eine Lage auf einem Bahndamm sowie auf Ingenieurbauwerken erkennbar vom sonstigen öffentlichen Raum abgetrennt ist, besteht die Möglichkeit die Trasse als nicht-öffentlichen Verkehrsraum i.S.d. Straßenverkehrsrechts zu betreiben, in dem kein weiterer, allgemeiner Verkehr auf der Trasse geduldet wird. Dies führt dazu, dass es weder einer personenbeförderungsrechtlichen Genehmigungsbedarf noch einer Zulassung. Zwar muss ein funktionales Sicherheitsäquivalent nachgewiesen werden, zudem die Trasse gegen unbefugtes Betreten gesichert werden, ein behördliches Zulassungsverfahren ist aber gleichwohl entbehrlich. Sofern das Fahrzeug die Siemensbahntrasse ebenso wie das Stadtquartier Gartenfeld befahren soll, kann über eine differenzierte Zulassung nachgedacht werden.

Personenbeförderungsrechtlich lässt sich im Stadtquartier Gartenfeld selbst ein On-Demand-Service ohne feste Routen und ohne vorab festgelegte Haltestellen nicht mit den gegenwärtigen Vorgaben des Personenbeförderungsgesetzes vereinbaren. Allenfalls eine vierjährige Genehmigung im Rahmen der Experimentierklausel ist möglich.

3.3.4 AP3400: Rechtliche Prüfung der Betreiber-, Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte

Ausgehend von der im AP2400 vorgenommenen Analyse möglicher Betreiber-, Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte erfolgte im AP3400 deren rechtliche Bewertung. Mit der rechtlichen Prüfung konnte somit erst nach der spezifischen Betrachtung der favorisierten Modelle begonnen werden. Folgende Modelle wurden dabei geprüft:

- betriebsinternes Mobilitätsangebot (vgl. Forschungsfeld München-Perlach)
- Zubringer zum ÖPNV (vgl. Stadtquartier Gartenfeld)

Ein besonderer Schwerpunkt wurde im Rahmen der Prüfung zunächst auf die Bearbeitung der personenbeförderungsrechtlichen Fragen gelegt. Die Beförderung von Personen bedarf zwar grundsätzlich einer Genehmigung. Ob die Beförderung von Personen einer Genehmigungspflicht unterliegt, hängt jedoch maßgeblich von der konkreten Ausgestaltung des Angebotes ab. So kann die Personenbeförderung durch das optimierte Transportsystem in der Form des betriebsinternen Mobilitätsangebots (sog. arbeitsplatznahe Dienstleistung) nach § 1 Nr. 1 oder 1 Nr. 4 lit. h FrStllgV von der Genehmigungspflicht befreit sein.

Ausgehend von der Darstellung der typisierten Verkehrsarten, dem sog. „*numerus clausus genehmigungsfähiger Beförderungsformen*“, nach dem PBefG wurden in Bezug auf die oben dargestellten Modelle, insbesondere dem Zubringerverkehr zum ÖPNV, die Aspekte der Genehmigung nach § 2 Abs.6 PBefG (Genehmigung bei besonders gelagerten Einzelfällen, die nicht alle Merkmale einer Verkehrsart oder Verkehrsform erfüllen) und sowie der Experimentierklausel nach § 2 Abs. 7 PBefG verstärkt in Blick genommen.

Einen weiteren zentralen Aspekt bei der Bewertung der Betreiber- und Geschäftsmodelle bildet deren Eingliederung in das Konzept des ÖPNV, da hiermit untrennbar entscheidende Fragen zur Finanzierung des Mobilitätsangebotes verbunden sind. Grundsätzlich lassen sich die Einnahmen des ÖPNV grob in zwei Bereiche einteilen: Einerseits findet durch die erhobenen Fahrpreise eine finanzielle Beteiligung seitens der ÖPNV-Nutzer statt, andererseits stellt die öffentliche Hand über verschiedene Wege Finanzmittel bereit. Die Herausforderung für das OTS-System liegt darin, dass der Betrieb des optimier-

ten Transportsystems nach geltendem Recht grundlegend darauf auszurichten, eigenwirtschaftlich durchgeführt werden zu können. Gleichwohl ist es einnahmeseitig regelmäßig nicht möglich, entstehende Betriebs- und Investitionskosten allein durch Beförderungserlöse im Rahmen des Verkaufs von Fahrkarten zu kompensieren.

Neben der Bezuschussung einer angebotenen Beförderungsleistung stellt der Bund zudem Finanzhilfen für investive Zwecke in die Infrastruktur zur Verfügung. Ob die straßenseitige Infrastruktur innerhalb des OTS-Systems hierunter zu subsumieren ist, kann gegebenenfalls für einzelne Systembestandteile gesondert zu beantworten sein.

Ferner orientieren sich die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen zur Bereitstellung der für den Betrieb des OTS-System notwendigen straßenseitige Infrastruktur danach, ob die in diesem Zusammenhang benötigten Einrichtungen und Anlagen als Teil der Straße i.S.d. Straßenrechts oder aber als genehmigungspflichtige Sondereinrichtung angesehen werden. Hierbei wurde unterscheiden zwischen gewöhnlichen Ampeln und Verkehrszeichen und der sonstigen für den Betrieb notwendigen Infrastruktur wie Radar, Lidar und RSU. Ob eine Einordnung letzterer als Teil der Straße möglich ist – und diese Anlagen demzufolge einer öffentlichen Straßenbaulast unterliegen, entscheidet sich derzeit mangels gesetzlicher Erwähnung in den Straßengesetzen der Länder danach, wie die rechtlichen Verhältnisse zwischen einem privaten Betreiberunternehmen und der betreffenden Gebietskörperschaft geregelt werden können. Deren Ausgestaltung variiert je nach Einzelfall. Zu beachten ist dabei, dass die Einordnung der straßenseitigen Infrastruktur als Teil der öffentlichen Straße einerseits zur Straßenbaulast einer öffentlichen Gebietskörperschaft führt, andererseits zugleich die aus der Eigentümerstellung resultierenden Rechte tangiert.

3.3.5 AP3500: Rechtswissenschaftliche Begleitung der technischen Arbeitspakete

Es bestand ein fortlaufender Austausch zwischen dem IKEM sowie den Beteiligten an den technischen Arbeitspaketen. Dieser findet sowohl informell als auch bei abgestimmten Terminen statt. Als Ergebnissicherung fanden die diskutierten Punkte Eingang in die Roadmaps. Vorausgegangen ist den technischen Festlegungen (z.B. Fassungsvermögen des Fahrzeuges) oftmals eine Abstimmung zwischen IKEM und dem jeweiligen Projektpartner über die technischen Planungen sowie die daraus folgenden rechtlichen Beurteilungen. Der Hauptteil der Arbeit ist in Bezug auf die Roadmap Gartenfeld geleistet worden. Da auf der Insel Gartenfeld im Projektrahmen kein Testverkehr durchgeführt wird, war der Abstimmungsbedarf für dieses Testfeld deutlich geringer. Die rechtswissenschaftliche Begleitung bezieht sich weniger auf konkrete Fragestellungen, sondern bleibt lediglich in der Rolle eines abstrakten Hinweisgebers. Weitere rechtswissenschaftliche Unterstützung des AP9000 wurde im Rahmen der Abstimmung zu den Arbeiten des AP3300 geleistet. Die rechtswissenschaftliche Unterstützung des AP2000 als nicht-technisches AP ist nicht Bestandteil des AP3500, sondern des AP3400.

3.3.6 AP3600: Rechtliches Abschlussgutachten mit Handlungsempfehlung

Auf die gesonderte Erstellung eines Abschlussgutachtens wurde in Absprache mit den Projektpartnern verzichtet. Die drei Gutachten zu den jeweiligen Arbeitspaketen bilden die geleistete, inhaltliche Arbeit ab. Die Handlungsempfehlungen finden sich in den jeweiligen Gutachten bei der jeweiligen inhaltlichen Bearbeitung wieder.

3.4 AP4000: Systemplattform, Sensorik und Kommunikation (Siemens, Emm! solutions)

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die infrastrukturseitige Feldebene mit den Schwerpunkten Systemplattform, sensorische Umfelderkennung, Datenaustausch und Egopositionierung evaluiert, entwickelt und in ihrer Machbarkeit demonstriert.

Das optimierte Transportsystem OTS wurde in folgende Systeme und Subsysteme mit ihren Komponenten zerlegt bzw. strukturiert. Entsprechend Abbildung 9 besteht OTS aus den beiden Systemen Shuttle System und Modular Infrastructure System for self-driving vehicles (MISsdv). Diese strukturelle Aufteilung ermöglicht u.a. die eindeutige Zuordnung der Arbeitspakete:

- Das Shuttle System wurde im Rahmen von OTS in AP6000 von der IAV aufgebaut.
- Das System MISsdv, mit den Subsystemen Traffic Cell, Shuttle Connector und der Leittechnik Operation Control Center (OCC) ist den Paketen AP4000 und AP5000 zugeordnet und wurde von Siemens bearbeitet.

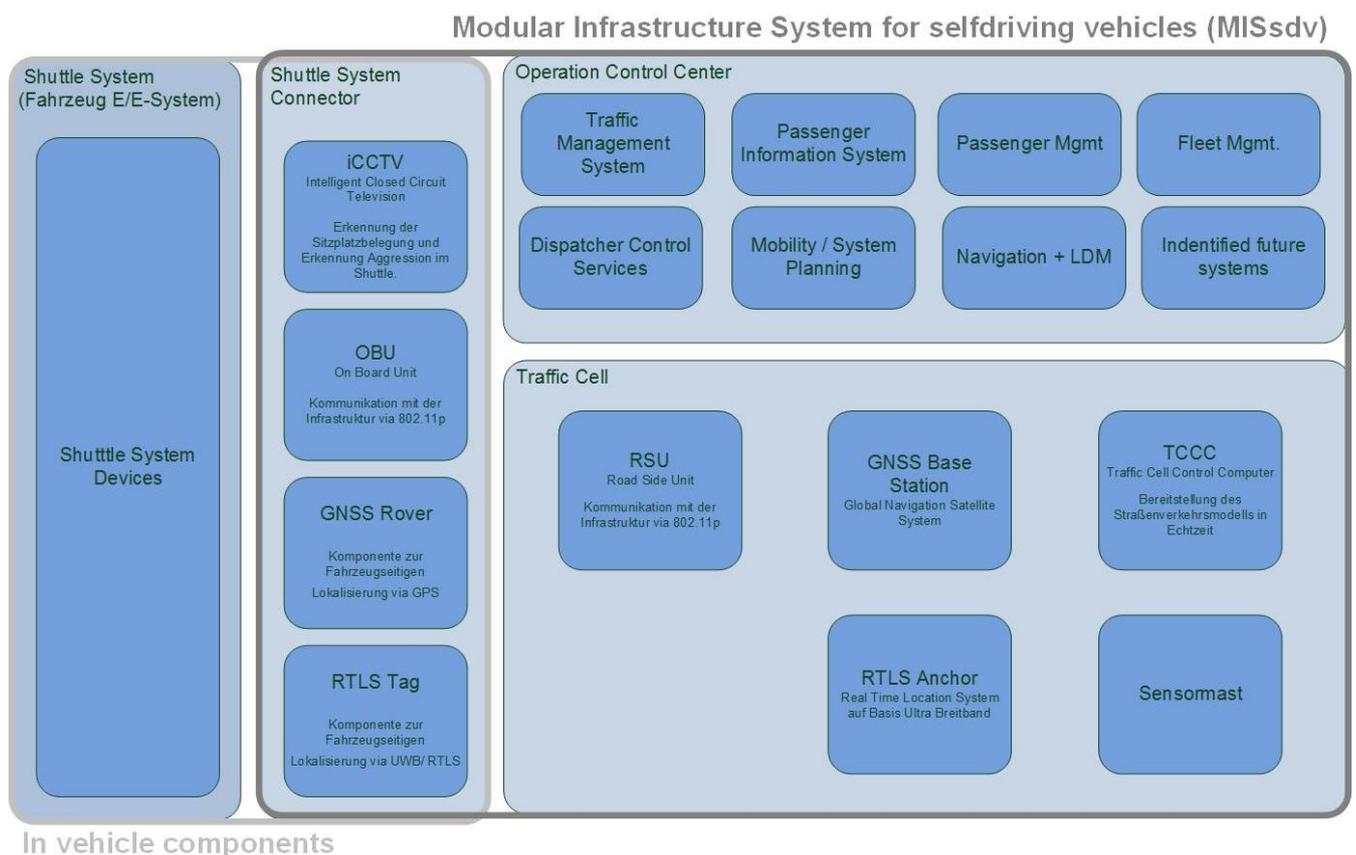


Abbildung 9: OTS-Gesamtsystemstruktur

Dem System MISsdv nächst untergeordnete Ebene ist die Subsystemebene. Dieser zugeordnet sind das Operation Control Center, welches der Leitstelle entspricht und die Traffic Cell, die zusammen mit ih-

rem mobilen Anteil, dem Shuttle System Connector, die sensorische Umfelderkennung, den Datenaustausch und die Ego-Positionierung repräsentiert.

Systemübersicht: Subsystem „Traffic Cell“

Dem Subsystem Traffic Cell (Verkehrszelle) wird von dem Gesamtsystem die Aufgabe übertragen, sowohl die Position des Ego-Fahrzeugs als auch die Positionen aller relevanten Objekte innerhalb der Zelle zu bestimmen.

Ein wichtiger Bestandteil der Algorithmik der Verkehrszelle ist die Berechnung des Umfeldmodells. Dieses orientiert sich am European Telecommunications Standards Institute Standard ETSI TR 102 863 V1.1.1 (2011-06) mit seinen verkehrsrelevanten Informationen, die in einer sogenannten Local Dynamic Map (LDM) gespeichert werden (Abbildung 10). Diese LDM besteht aus vier Ebenen und wird für OTS um eine fünfte Ebene erweitert.

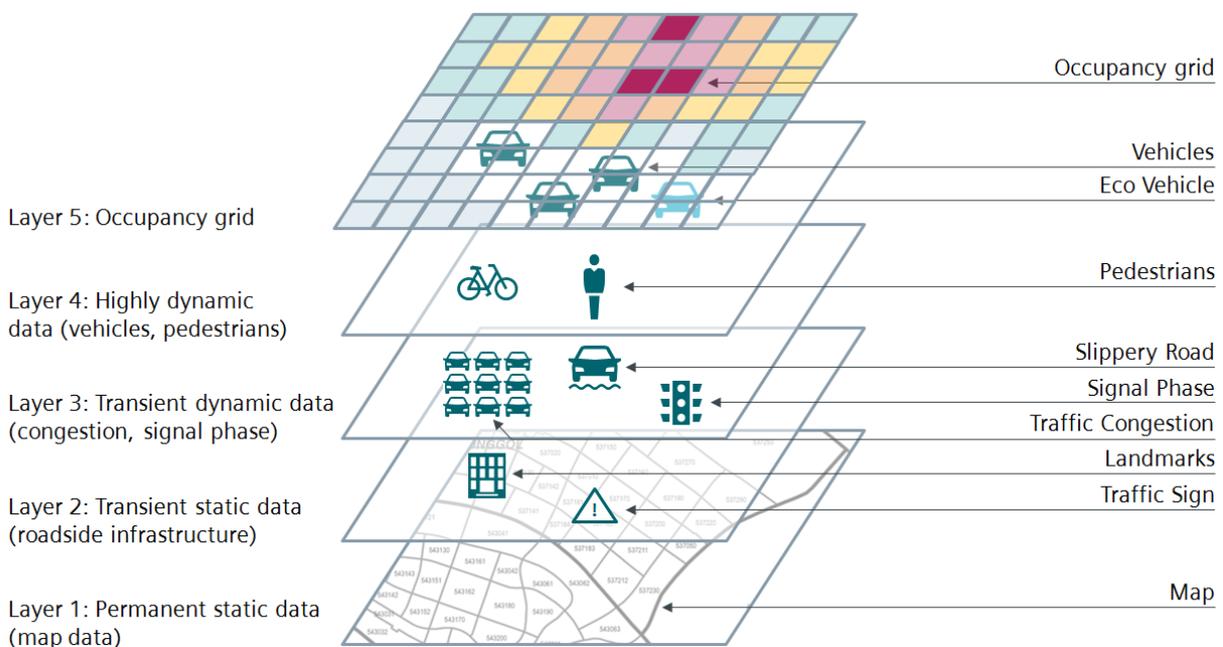


Abbildung 10: Die vier Schichten der Local Dynamic Map, ergänzt um das Occupancy Grid als fünfte Ebene [8]

Die vier ursprünglichen LDM-Ebenen unterscheiden sich wie folgt:

Die erste Ebene „Permanent static data“ besteht aus dauerhaft statischen Daten wie zum Beispiel Straßendaten bzw. Straßenkarten, die zweite Ebene aus kurzzeitig statischen Daten wie Verkehrszeichen, die nicht in den Kartendaten enthalten sind. Die dritte Ebene hingegen basiert auf relativ dynamischen Datensätzen wie beispielsweise Verkehrsstaus. Die vierte und somit oberste LDM-Ebene entsprechend dem ETSI-Standard beinhaltet hochdynamische Daten wie beispielsweise Typ und Position der Verkehrsteilnehmer.

Die bereits erwähnte Ebene 5 wurde im Rahmen des OTS 1.0 Projektes definiert und folgt wiederum dem in der Literatur bekannten Konzept der Occupancy Grids bspw. von NVIDIA. Diese stellt eine abstrakte Darstellung der Ebene 4 dar und generiert daraus eine Belegungsmatrix/Freiflächeninformation.

Grundlage ist ein Netz an gedachten Kacheln in der Ebene. Jede Kachel trägt eine Belegungsinformation.

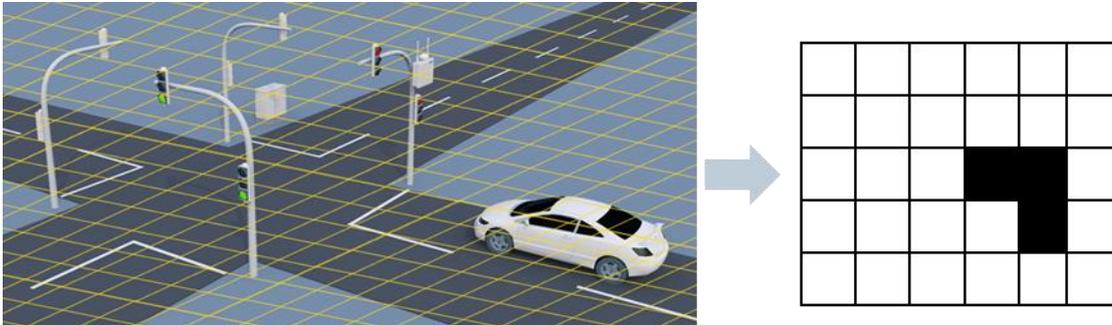


Abbildung 11: Beispiel Occupancy Grid

Abbildung 11 zeigt exemplarisch die Transformation eines an einer Kreuzung wartenden Fahrzeugs auf ein 2D-Raster in der Aufsicht. Die Belegungseinheiten, die von dem wartenden Auto an der Kreuzung bedeckt werden, sind im 2D Bild schwarz hinterlegt. Dies bedeutet: die entsprechende Fläche/Kacheln sind belegt und können nicht überfahren werden.

Systemübersicht: Subsystem Shuttle Connector

Der Shuttle Connector verbindet die Fahrzeug E/E-Architektur mit den hier integrierten Funktionen in die Verkehrsinfrastruktur. Die kommunikative Anbindung erfolgt fahrzeugseitig via Ethernet und CAN, infrastruktureseitig via 802.11p und LTE. Funktional wird im Kern durch den Shuttle System Connector bereitgestellt:

- Empfang und Bereitstellung der infrastruktureseitigen Karteninformationen der Ebenen 1 bis 5
- Anbindung des iCCTVs (Innenraumüberwachung zur Sitzplatz- und Aggressionserkennung) an die Leitstelle
- Empfang, Bereitstellung und Transformation des Occupancy Grids in das Koordinatensystem des Fahrzeugs

Systemübersicht: Operation Control Center

Das Operation Control Center wird im Kontext des AP5000 in Kapitel 3.5 dargestellt.

3.4.1 AP4200: Sensorische Umfelderkennung

Das AP4200 beinhaltet die Entwicklung und Erprobung der infrastruktureseitigen Sensorik. In Anlehnung an heutige Automobilsensoren stehen hier zwei sich ergänzende Technologien im Fokus: Radar und Lidar. Ziel ist es mit Hilfe der Sensoren die aktuelle Situation auf der Straße zu erfassen, zu bewerten und zu übermitteln. Auf dieser Basis kann der Sichtbereich eines autonom fahrenden Fahrzeugs weit über seinen eigenen hinaus erweitert werden und sein Fahrverhalten/ seine Bahnplanung frühzeitig angepasst werden oder in nicht einsichtigen Bereichen erst ermöglicht werden.

Radar

Die Radartechnologie ist bereits heute eine unverzichtbare Basistechnologie in modernen Fahrzeugen für die meisten Fahrerassistenzsysteme. Sie wird auch zukünftig eine zentrale Rolle im Fahrzeug für das hochautomatisierte Fahren einnehmen. Radarsensoren senden elektromagnetische Wellen aus und die an Hindernissen entstehenden Reflexionen werden vom Sensor wieder empfangen und ausgewertet. Auf diese Weise lassen sich Rückschlüsse auf die Position, die Geschwindigkeit oder die Größe der Objekte treffen. Da Radare im Millimeterwellenbereich arbeiten sind sie unempfindlich gegenüber Wetterverhältnissen, wie z.B. Regen, Nebel oder wechselnden Lichtverhältnissen.

Im Rahmen des OTS Projekts wurde zur passiven Objektdetektion auf die Siemens Mobility GmbH und Siemens Corporate Technology Radar Entwicklung zurückgegriffen. Ziel war es, durch eine entsprechende Ausstattung des Testfeldes, eine möglichst vollflächige Abdeckung des Erfassungsbereichs umzusetzen. In dem Erfassungsbereich werden Objekte im Straßenverkehr detektiert und entsprechende für das nachfolgende Subsystem wichtige Attribute extrahiert, die zur Umfeldmodellierung auf Ebene 4 und 5 der LDM verwendet werden können.

Bei dem in OTS eingesetzten Radar handelt es sich um ein konfigurierbares Gerät auf Basis der 77 GHz Technologie. In der Signalverarbeitung wird zwischen zwei unterschiedlichen Szenarien unterschieden, die jeweils eine verschiedene Datenverarbeitung mit sich führt – statische und dynamische Szenarien. Unter den Randbedingungen

- der Szenarien (statisch und dynamisch)
- des Erfassungsbereichs
- der nachgelagerten Datenverarbeitung der folgenden Subsysteme
- der Kanalkapazität im Netzwerk (Datendurchsatz)
- der Installationshöhe
- der Echtzeitfähigkeit

wurden verschiedene Designalternativen sowohl in der Konfiguration des Sensors als auch in der Signalverarbeitung elaboriert und umgesetzt.

So wurden die Systemparameter derart konfiguriert, dass der Eindeutigkeitsbereich der Objektdetektion bei 97 m, die Entfernungsauflösung bei 39 cm und die Geschwindigkeitsauflösung bei 0,41 m/s liegt. Testmessungen für die Inbetriebnahme, unter anderem der Systemcheck und die Antennenkalibration, wurden in der Antennenmesskammer, wie in Abbildung 12 dargestellt, durchgeführt, bevor erste Referenzmessungen mit definierten Zielgrößen im Feld gestartet wurden.

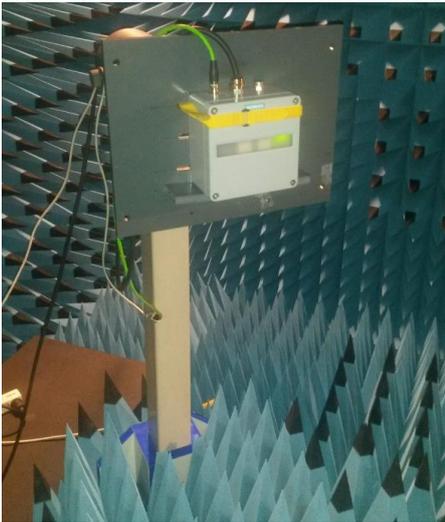


Abbildung 12: Inbetriebnahme in der Antennenmesskammer des Radars

Ein Einblick in die Erfassung des Radars von ersten Referenzmessungen ist in Abbildung 13 gegeben. Dort ist die digitale Evaluierung eines sich vom Radar entfernenden Fahrzeugs vorzufinden. Es lässt sich die Geschwindigkeit von 6 m/s und die Entfernung von 22 m extrahieren.

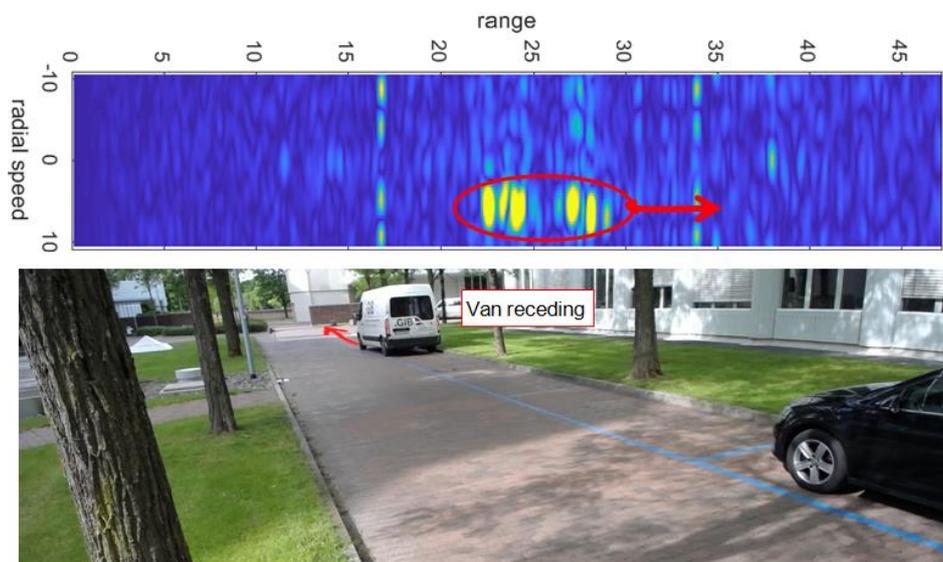


Abbildung 13: Erste Referenzmessungen eines fahrenden Fahrzeugs mit dem Radar. Oben ist der Abstand und die radiale Geschwindigkeit des Fahrzeugs dargestellt und unten eine entsprechende Aufnahme des Szenarios

Neben der reinen Detektion müssen die Detektionen in einen Kontext geführt werden, um daraus ein Objekt zu generieren. Beispielsweise werden die sechs gelben Detektionen im roten Kreis aus Abbildung 13 dem Objekt Fahrzeug zugeordnet, wie in Abbildung 14 dargestellt. Darüber hinaus, wird von jedem Objekt eine so genannte Objektliste generiert die Informationen über jedes Objekt im Sichtfeld sammelt. Dies beinhaltet Position, Geschwindigkeit, Länge, Breite und Klasse (u.A.) des Objekts und wird nach jedem Messzeitschritt aktualisiert.

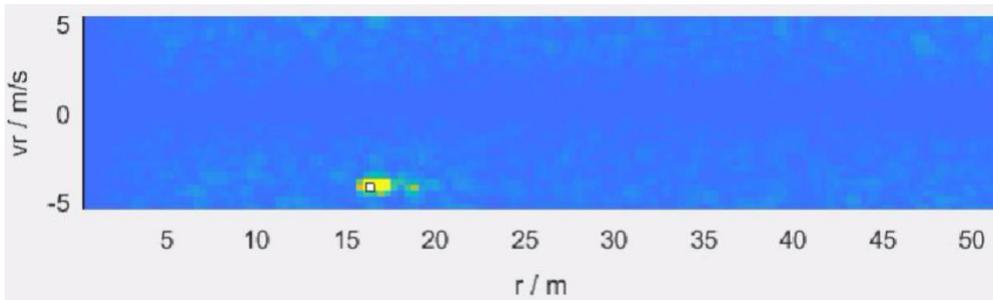


Abbildung 14: Zugeordnete einzelne Detektionen zu einem Objekt (weißes Quadrat)

Die erfassten Objekte müssen nachfolgend im temporalen Verlauf verfolgt werden, sodass dem Objekt eine eindeutige ID zugeordnet werden kann. Dies setzt eine entsprechende Tracking-Algorithmik voraus, die implementiert wurde. Diese Algorithmik ermöglicht eine verbesserte Abschätzung der Variablen in der Objektliste, die durch Anwendung des Kalman-Filters erzielt wird. Um Objekte auch klassifizieren zu können, werden im ersten Schritt Parameter wie der geschätzte Radarrückstreuquerschnitt und eine Breiten- und Längenschätzung verwendet. Darüber hinaus wird die Extraktion verschiedener Features der Doppler Signatur (siehe Abbildung 15) untersucht, wie exemplarisch die Signalstärke, die mittlere Doppler Frequenz und die Doppler-Bandbreite. Hierzu wurden wie in Abbildung 16 ersichtlich die Klassen „Fahrzeug“, „Radfahrer“ und „Fußgänger“ unterschieden.

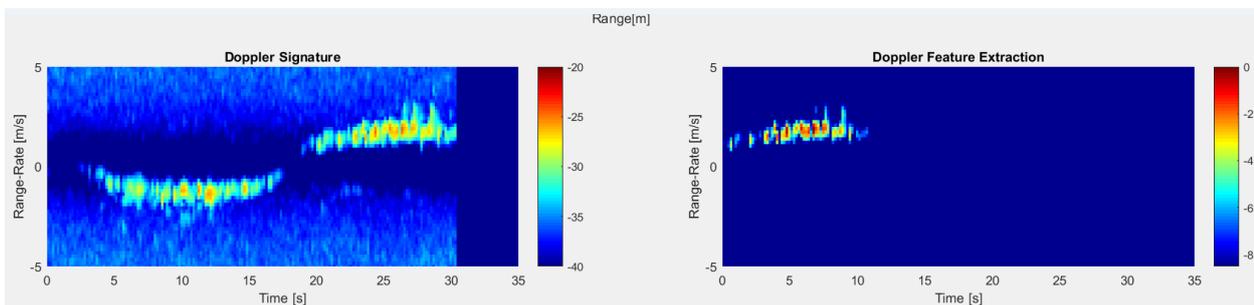
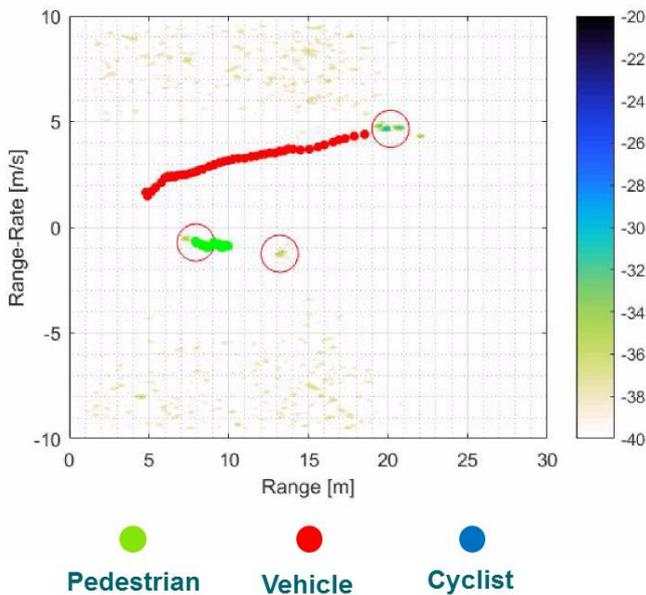


Abbildung 15: Dopplersignatur einer gehenden Person



Accuracy

- 402 participants tracked and classified
- 5 misclassifications
- 98.75% Accuracy

Abbildung 16: Implementierte Klassifikationsalgorithmen im Feldtest

Diese Daten werden in eine Objektliste aggregiert und an das nachfolgende Subsystem der Datenfusion übergeben, um es in den Gesamtkontext der passiven Objekterfassung zu integrieren.

Im Laufe des Projektes wurden weitere Systemparametervarianten untersucht, um die Robustheit, die Updaterate und den Erfassungsbereich zu maximieren. Auf Signalverarbeitungsebene wurden ebenfalls weitere Entwicklungen betrachtet, die die Wahrscheinlichkeit einer Objektdetektion erhöhen und bewerten können, die die Parameter der Längen- und Breitenschätzung umsetzen als auch Konzepte und Umsetzungen von Klassifikatoren.

Ein Rundkurs auf dem Siemens Gelände in MchP wurde komplett mit Radarsensoren ausgestattet (Abbildung 17). Somit entstand ein Radarnetz, welches die Verkehrsbeteiligten über die gesamte Strecke detektieren und klassifizieren kann.

In Sensornetzen mit mehreren Radaren kann es zu Interferenzen zwischen den Sensoren kommen, welche zu einer falschen Detektion führen können und somit die Tracks der Tracking-Algorithmik weiter stören würden. Die Abschwächung der Interferenzen erfolgte durch eine Detektierung der Anomalien in der Signalverarbeitung. Messzyklen, die Anomalien aufwiesen, wurden nicht weiter betrachtet.



Abbildung 17: Ausschnitt des Rundkurses mit Radarsensorik

Lidar

Eine weitere Sensortechnologie, die im Automobil ergänzend zu Radarsensoren eingesetzt wird, ist die Light detection and ranging (Lidar)-Technik. Vergleichbar mit der Radarsensorik beleuchtet auch ein Lidar seine Umgebung aktiv, indem es Laserimpulse aussendet und die an Objekten entstehenden Reflexionen auswertet. Damit zählt der Lidarsensor zu den optischen Sensoren, ist aber anders als Kamerasysteme unempfindlich gegenüber äußeren Lichtverhältnissen. Im Vergleich zu Radaren bieten Lidare eine wesentlich höhere Winkelauflösung. Besteht ein Fahrzeug im Radarbild nur aus einigen Reflexionszentren, aus denen in der Auswertung ein Objekt zu bilden ist, bieten Lidare die Möglichkeit z.T. sogar die Kontur von Objekten zu erfassen.

Abgesehen von der Unempfindlichkeit gegenüber den äußeren Lichtverhältnissen, weisen auch Lidare die typischen Einschränkungen optischer Sensoren auf. So sinkt der Erfassungsbereich erheblich bei schlechten Sichtverhältnissen (bspw. Regen oder Nebel). Ebenso sind Lidare nur bedingt mehrzielfähig, so dass Schatten hinter Objekten entstehen, die nicht einsehbar sind. Lasersignale können leicht an glatten oder geneigten Flächen weggespiegelt werden, wodurch diese Objekte für die Sensorik unsichtbar bleiben.

Zu Beginn des Projektes wurde eine umfassende Evaluierung auf dem Markt verfügbarer Lidarsensoren durchgeführt. Daraufhin wurden mehrere Quanergy M8-1 in Betrieb genommen und im Testfeld integriert. Die Verarbeitung umfasst die Übersetzung der Rohdaten in ein Occupancy Grid (siehe AP5500), sowie die Erkennung der Straßenfläche als freier Boden. Des Weiteren wurde die Behandlung von statischem Hintergrund bearbeitet, um die Objektdetektion zu vereinfachen. Die Lidarsignale fließen neben den Radarsignalen in die Datenfusion ein, die in Kapitel 3.5.5 näher betrachtet wird.

3.4.2 AP4300: Kommunikationstechnologien

Die zum Einsatz kommenden Kommunikationstechnologien spielen eine entscheidende Rolle bei der Realisierung des Gesamtsystems. Der Austausch der Informationen erfolgte im Gesamtsystem via unterschiedlicher physikalischer Schnittstellen, Protokolle und Datenformate. In Tabelle 5 werden die Daten, die zwischen Shuttle Connector und den restlichen Systemen übertragen werden, zusammengefasst dargestellt. Anschließend werden die Schnittstellen, über die die Datenübertragung zwischen den einzelnen Systemen geschieht, näher erläutert.

	Shuttle Connector
Shuttle System (Ethernet)	<ul style="list-style-type: none"> • LDM Layer 1-5 • Strategischer Plan (Route) • Lokalisierungsdaten • OTS Shuttle Information (Geschwindigkeit, Radgeschwindigkeiten, Lenkwinkel, Gierrate, Schwimmwinkel, strategischer Plan, vehicle state)
Operation Control Center (LTE)	<ul style="list-style-type: none"> • LDM Layer 1-3 • Strategischer Plan (Route) • Video-Stream der Shuttle-Außen-Kameras • Intercom-Daten • iCCTV-Daten (Sitzplatzbelegung und Aggressionserkennung) • OTS Shuttle Information (Geschwindigkeit, Radgeschwindigkeiten, Lenkwinkel, Gierrate, Schwimmwinkel, strategischer Plan, vehicle state)
RSU an ausgewählten Sensor Poles via 802.11p	<ul style="list-style-type: none"> • LDM Layer 5 • DGPS Korrektursignal • SPAT- und MAP Nachrichten der Lichtsignalanlagen

Tabelle 5: Art der übertragenen Informationen zwischen Shuttle Connector und Shuttle System, OCC, Traffic Cell

Shuttle System ↔ Shuttle Connector

Neben wenigen klassischen Schnittstellen (CAN und DIO) baut die Schnittstelle zwischen Shuttle System und Shuttle Connector auf eine LAN-Verbindung auf. Die Implementierung erfolgte auf Basis der betriebssystemunabhängigen Middleware DDS:

- Der Data Distribution Service (DDS) ist ein Standard bzw. eine Zwischenanwendung zur datenzentrierten Kommunikation in hochdynamischen Netzen, dem ein Publisher-Subscriber-Konzept zugrunde liegt.
- Das-Publish-Subscribe-Konzept ist ein Entwurfsmuster aus dem Bereich der Softwareentwicklung. Dieses dient ursprünglich der Weitergabe von Informationen an ein Objekt.
- Bei DDS wird die Interface Definition Language (IDL) als Schnittstellenbeschreibungssprache verwendet, welche von dem Konsortium Object Management Group (OMG) spezifiziert wurde. IDL ist eine Beschreibungssprache mit C++-ähnlicher Syntax.

Shuttle Connector ↔ OCC

Die Verbindung zwischen Shuttle Connector und OCC erfolgte anhand einer Long Term Evolution (LTE)-Mobilfunkschnittstelle (Long Term Evolution-Advanced, 4G). Als Protokoll wurde hierbei MQTT und HTTP verwendet, um Daten zwischen dem OCC und dem Shuttle Connector auszutauschen. Im Folgenden werden diese beiden Protokolle näher erklärt.

- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) ist ein offenes Nachrichtenprotokoll für die Maschine to Maschine (M2M) Kommunikation. Es wurde speziell für Netzwerke mit großer Verzögerung oder eingeschränkter Verfügbarkeit entworfen. Dieses Protokoll wurde vor allem für asynchrone Status- und Positionsnachrichten des Fahrzeugs an das OCC verwendet.
- Das zusätzlich verwendete Hypertext Transfer Protocol (HTTP) ist ein standardisiertes und weit verbreitetes zustandsloses Kommunikationsprotokoll im Internet. Der Shuttle-Connector verwendete es, um synchron Daten vom OCC, wie z. B. strategische Pläne, abzurufen.

Shuttle Connector ↔ Sensor Pole

Für die Kommunikation zwischen der Infrastruktur und den Fahrzeugen wurden Siemens ECoS (Eco-SystemCooperativeSysteme) Roadside Units (RSUs) verwendet. Die dabei verwendete Technologie ist eine V2X Communication. Die Gegenstelle im Fahrzeug wird als Onboard Unit (OBU) bezeichnet. Die RSUs am Standort agierten dabei als Informationsquelle. D. h. es wurden dem Fahrzeug wichtige Informationen über den Zustand von z. B. Straßen mitgeteilt.

Das verwendete Protokoll zur Datenübertragung wurde im Laufe der Projektlaufzeit dahingehend erweitert, dass Hindernisse auf Straße und Gehweg in Echtzeit dem Fahrzeug übermittelt werden konnten (LDM layer 5). Außerdem wurde das Protokoll so erweitert, dass darüber die Korrekturdaten der Differential Global Navigation Satellite System (DGNSS) Basisstation übermittelt werden konnten.

Die Verbindung zwischen Shuttle Connector und Sensor Pole erfolgte anhand einer WLAN Schnittstelle nach 802.11p.

Traffic Cell ↔ Sensor Pole

Für die Kommunikation zwischen den Komponenten in der Infrastruktur (Sensor Pole und TCCC) wurde in OTS1.0 ROS verwendet. Dieses bietet neben einer Middleware zur Kommunikation mit standardisierten Nachrichtenbeschreibungen auch einen zentralen Parameterserver und eine Datenbank von allen systemrelevanten Koordinatentransformationen. Dadurch ist es einfach möglich, Softwarekomponenten flexibel auf einer Vielzahl von Rechnern in einem Netzwerk zu verteilen.

3.4.3 AP4400: Lokalisierung und Unterstützung der Egopositionierung

Im Rahmen des OTS-Projektes spielte die Ortung des autonomen Fahrzeugs eine wichtige Rolle. Die Positionsinformationen wurden an das Fahrzeug weitergeleitet und konnten zur Routenplanung oder Steuerung genutzt werden. Es existieren bereits diverse Ortungssysteme die mit Funktechnologie die Position bestimmen können. Ein Beispiel ist das Global Positioning System (GPS).

Applikationen im Bereich autonomen Fahrens erfordern Positionsangaben mit einer sehr hohen Präzision. Die Information eines GPS ist in urbanen Gebieten, bedingt durch Gebäudeabschattung, häufig nicht genau genug. Aus diesem Grund wurde ein Alternativsystem evaluiert, das eine lokale Positionierung ermöglicht. Das hier realisierte Echtzeitlokalisierungssystem (Real Time Location System, RTLS) basiert auf der Ultra-Breitband (Ultra Wide-Band, UWB) Funktechnologie.

DGNSS

Um die Bestimmung der Eigenposition eines Fahrzeugs zu verbessern, kann das Verfahren DGNSS verwendet werden. Dazu generiert eine Basisstation Korrekturdaten, welche an ein Fahrzeug übermittelt werden. Der Empfänger im Fahrzeug kann anhand dieser Korrekturdaten seine Eigenposition nun deutlich genauer bestimmen. Eine Randbedingung dabei ist, dass die Entfernung zwischen Basisstation und Fahrzeug nicht zu groß sein darf. Auf dem Testgelände wurde dazu eine Basisstation installiert, welche diese Korrekturdaten den Fahrzeugen zur Verfügung stellt. Die Übertragung der Korrekturdaten in das Fahrzeug erfolgte mittels der V2X-Technologie über die „Road Side Unit“.

RTLS

Zur Unterstützung der Ego-Positionierung des Fahrzeugs wurde ein UWB Ortungssystem verwendet. Diese Funktechnologie basiert auf dem IEEE 802.15.4-2011 Standard. Alle zu ortenden Objekte wurden mit einem aktiven Transponder ausgestattet. Es wurden Lokalisierungssignale ausgesendet, die wiederum von der Infrastruktur gemessen werden konnten. Abbildung 18 zeigt die drei unterschiedlichen Messmodi. Zum einen kann der Abstand zwischen einem Transponder und einer Basisstation gemessen werden (auch bekannt als Two Way Ranging - TWR). Zusätzlich gibt es das „Time Difference of Arrival Verfahren - TdoA“. Hierbei werden die globalen Ankunftszeiten in den Basisstationen verrechnet. Die dritte Möglichkeit ist die Winkelmessung des eintreffenden Signals. Für jede dieser drei Methoden gibt es eine entsprechende Signalverarbeitung, die final eine XY-Position liefert. Diese Position kann anschließend an das Fahrzeug übermittelt werden und zur Navigation verwendet werden.

Abbildung 19 zeigt eine schematische Darstellung eines Ortungsszenarios. An den Lichtmasten sind UWB-Basisstationen installiert, die die Funksignale des Fahrzeuges empfangen. Anschließend kann infrastrukturseitig die Position berechnet werden. Final wird die zweidimensionale Positionsinformation an das Fahrzeug übermittelt.

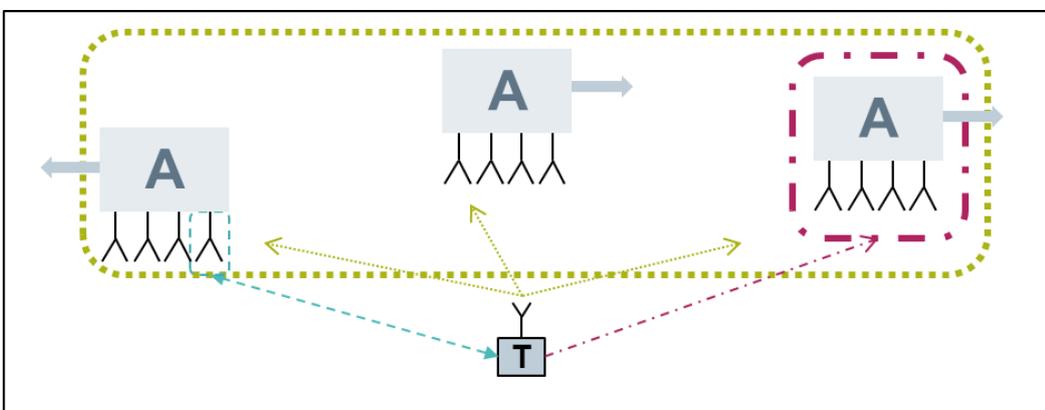


Abbildung 18: Die drei Messmodi zwischen Basisstation (A) und Transponder (T). Abstand: TWR (Blau), Zeitstempel: TDoA (Grün) und Winkel: AoA (Rot)

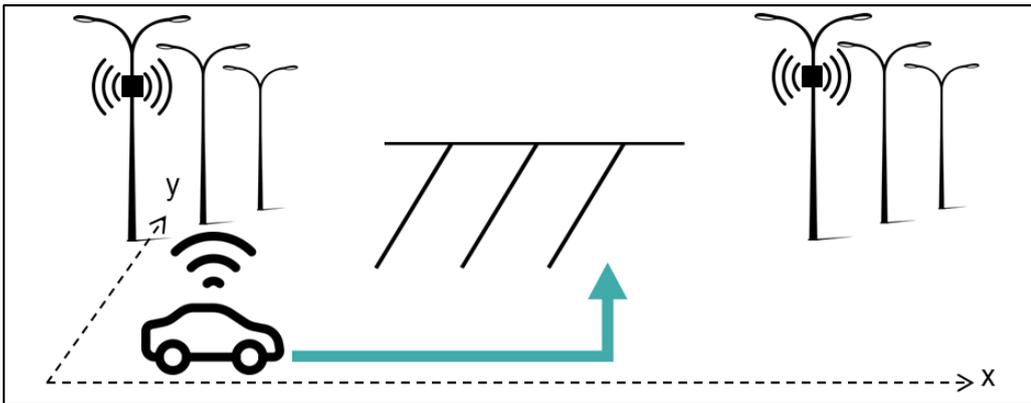


Abbildung 19: Schematische Darstellung eines Ortungsszenarios

Am Markt sind bereits diverse kommerzielle Ortungssysteme erhältlich. Im Rahmen des OTS Projektes wurde jedoch eine individuelle Lösung eingesetzt. Von den drei vorgestellten Messmethoden (TWR, TdoA und AoA - Angle of Arrival) eignete sich das TdoA-Verfahren am besten. Es skaliert mit steigender Teilnehmerzahl und bot für die Installation das Optimum aus Genauigkeit, Robustheit und Dynamik.

Optimierung und statistische Auswertung im Labor

Der Laboraufbau ist in Abbildung 20 veranschaulicht. Der Raum ist 60 m² groß. In der Mitte befinden sich das Tag (Transponder) und der Zeitgeber. Letzteres wird für die Synchronisation aller Basisstationen verwendet. In jeder Ecke befindet sich eine Basisstation, die mit „RTLS_X“ gekennzeichnet ist. Jede Basisstation verfügt über vier Funkmodule, einen Mikrocontroller und ein IOT-Modul. Die generierten Daten werden an einen zentralen Computer weitergeleitet. Die Prozessschritte der Signalverarbeitung sind rechts im Bild gezeigt. Alle Rohdaten werden gesammelt, anschließend berechnet ein Algorithmus die zweidimensionale Position und es gibt eine grafische Visualisierung.

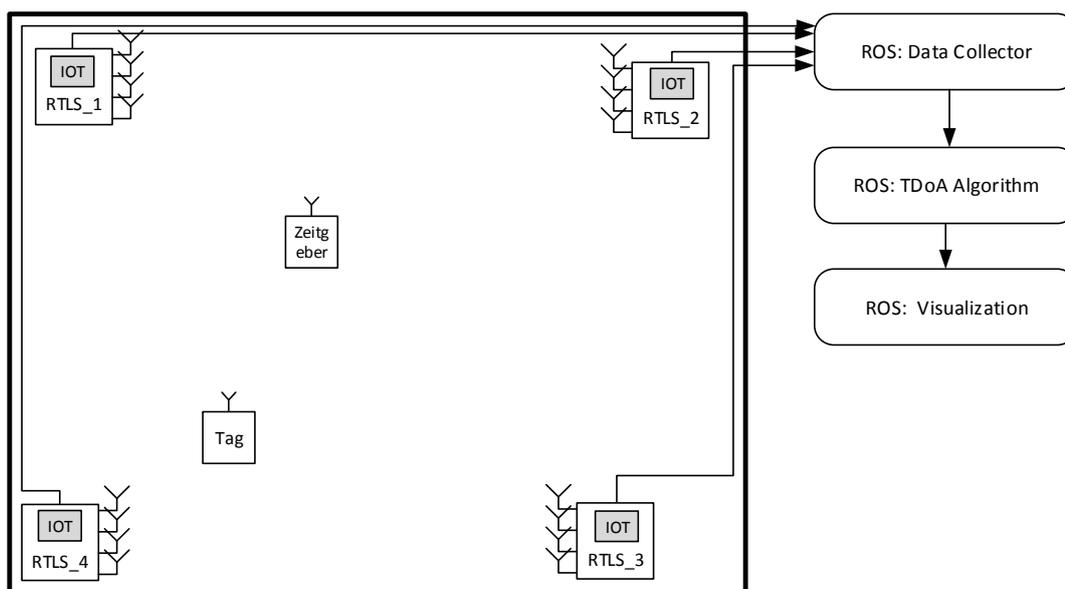


Abbildung 20: Laboraufbau RTLS - Systemkonzept

Der Aufbau diente in erste Linie zum Evaluieren neuer Software- und Signalverarbeitungspakte. In der kontrollierbaren Umgebung war es möglich sehr genau Referenzmessungen durchzuführen und die Ortungsgenauigkeit aufzuzeichnen. In Abbildung 22 wird die intern entwickelte Hardware gezeigt, sowie ein Ausschnitt der Laborfläche.

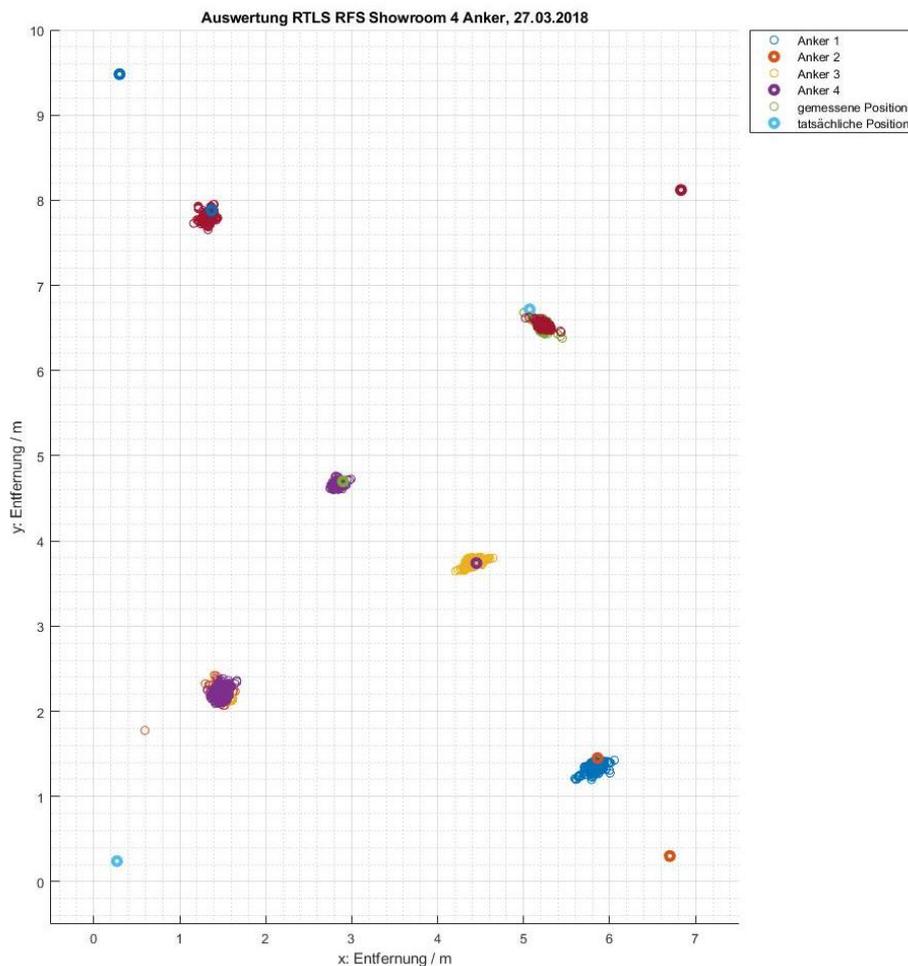


Abbildung 21: Visualisierung der Ergebnisse im Labor

Es wurden sechs Punkte im Labor definiert, an denen Messungen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 21 grafisch dargestellt. Die Messpunkte sollen die Qualität des Systems im ganzen Raum widerspiegeln. Eine statistische Auswertung ergab, dass die gemittelte Fehlerdistanz zwischen 5,8 cm und 15,4 cm lag. Des Weiteren war die Standardabweichung zwischen 2,9 cm und 4,3 cm. Dies deutet auf eine geringe Positionsstreuung hin.

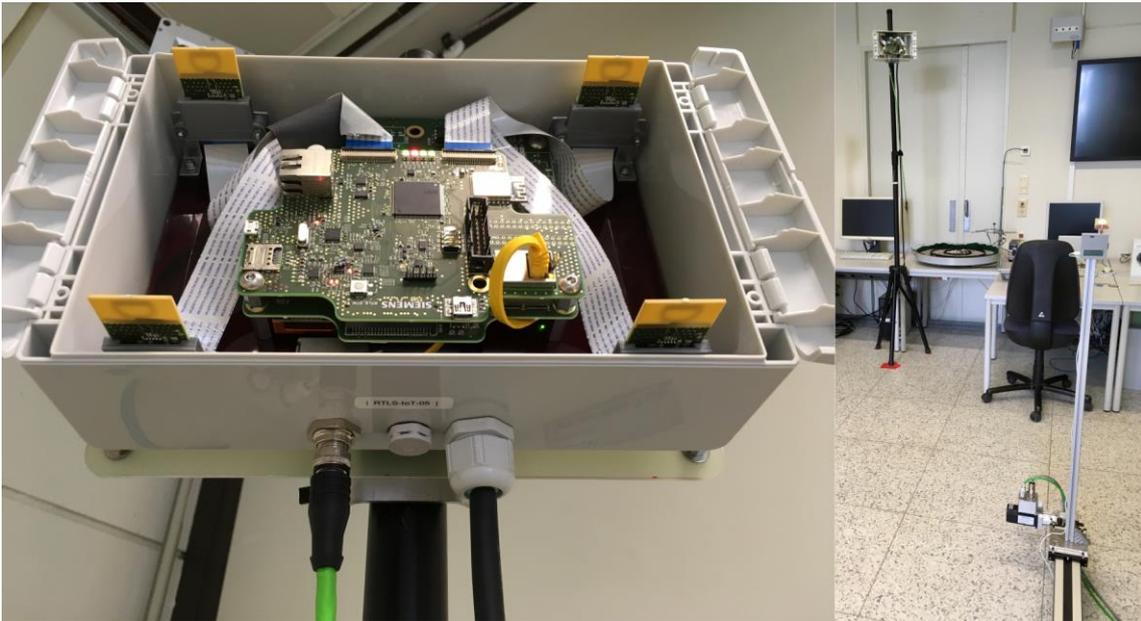


Abbildung 22: RTLS-Basisstation (links) und Versuchsaufbau im Labor (rechts)

Inbetriebnahme und erste Messungen im Ampelbereich

Auf dem realen Testfeld wurden die Masten im „Ampelbereich“ mit einer RTLS-Basisstation ausgestattet. Das Szenario steht beispielhaft für eine Häuserschluchtsituation in einer Großstadt. Die RTLS-Installation im Ampelbereich ist in Abbildung 23 dargestellt. An ausgewählten Ampeln und Laternen wurden Basisstationen installiert. Diese sind durch einen roten Punkt gekennzeichnet.

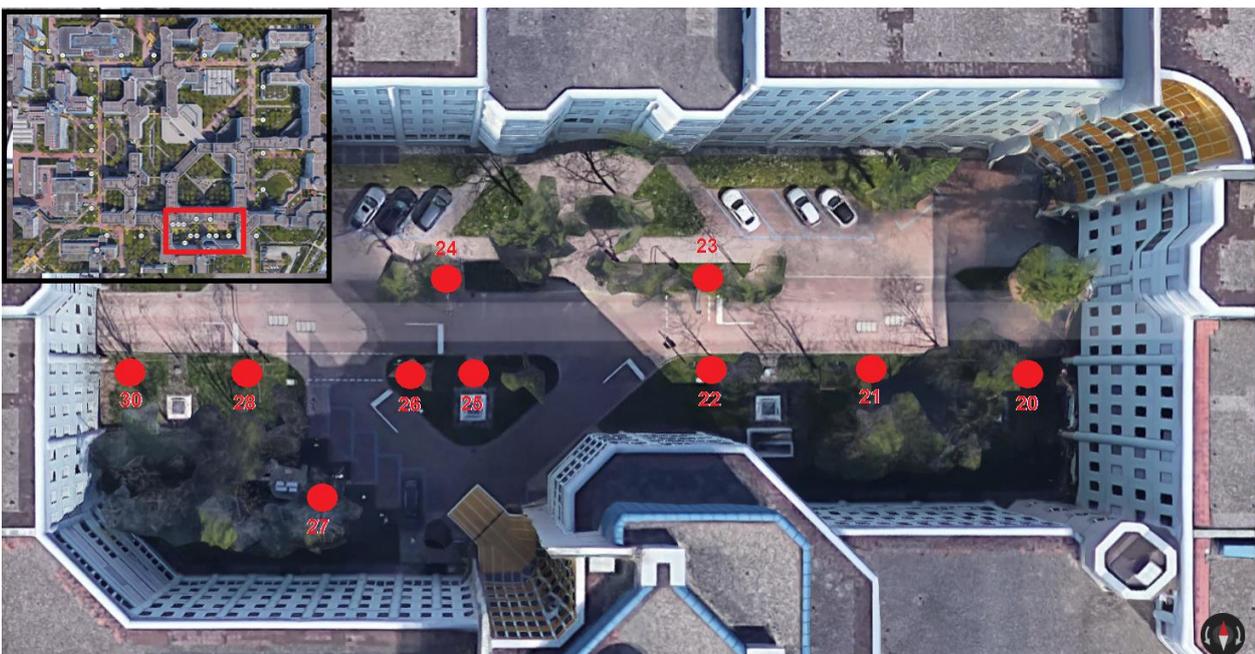


Abbildung 23: Übersicht des „Ampelbereichs“

Das Ortungssystem besteht in diesem Abschnitt aus 10 Boxen entlang der Strecke. Alle Masten wurden an das Infrastrukturnetzwerk angeschlossen und übermitteln Rohdaten. Eine zentrale Processing-Unit berechnet die Position welche mit der ROS-Schnittstelle über die RSU via 802.11p an das Fahrzeug übertragen wurde.

Eine Messkampagne entlang der Fahrbahn wurde durchgeführt um die Systemgenauigkeit zu verifizieren. Entlang der 38 m Strecke von Mast 26 bis Mast 21 wurden in 1 m Abschnitten Messdaten aufgezeichnet. Die visuelle Auswertung ist in Abbildung 24 gezeigt. Man sieht, dass sich die Standardabweichung der Rohdaten im Bereich von ca. ± 20 cm befindet. Das Ergebnis ist zufriedenstellend. Die geläufige Ortungsgenauigkeit von Konkurrenzsystemen wird mit ca. ± 30 cm beworben. Das Entwickelte System setzt in seinem jetzigen Stand keine Tracking Algorithmen ein, die die Performance weiter verbessern können. Somit bietet der Mehrkanalige Basisstationsansatz einen klaren Vorteil.

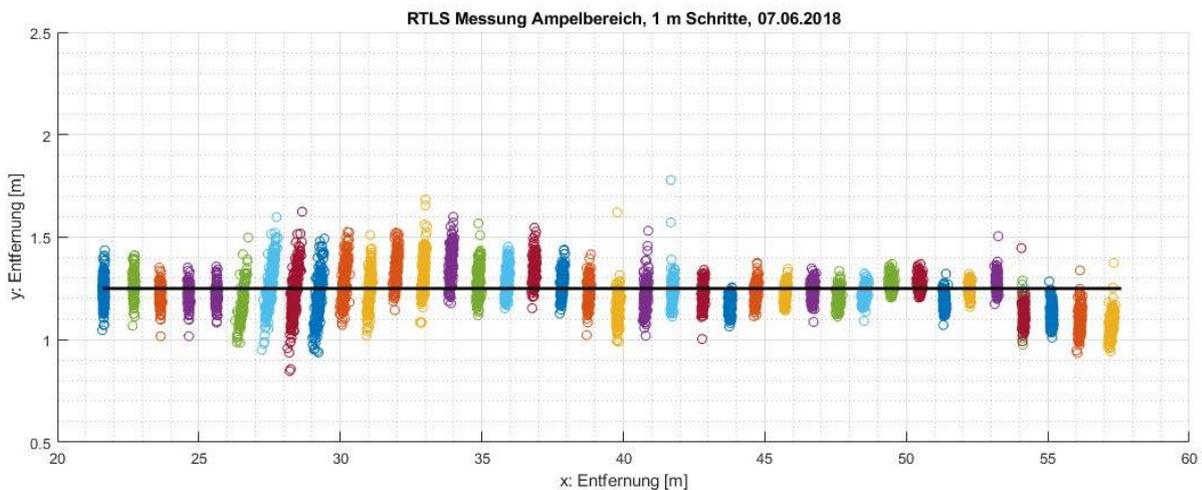


Abbildung 24: Ergebnisse der Messkampagne im Ampelbereich

3.5 AP5000: Leittechnik (Siemens, Emm! solutions)

Die Leittechnik wird über das Operations Control Center (OCC) ausgeführt und stellt alle Dienste zu Planung, Betrieb, Kontrolle, sowie Verbesserung des Systems zur Unterstützung aller Lebensphasen des Produktlebenszyklus bereit. Hierbei beschränkt sich die Leittechnik nicht auf das Management einzelner Komponenten im System, sondern setzt sich das Management des gesamten Mobilitätssystems zum Ziel.

Die Leittechnik setzt sich aus verschiedenen Funktionsgruppen für unterschiedlichste Aufgaben zum umfassenden Betrieb des autonomen Transportsystems zusammen. Abbildung 25 gibt hierzu einen Überblick.

ITS / TMS	Passenger Info	Passenger Management	Fleet Management
Dispatcher	Mobility / System Planning	Navigation and LDM	Identified future systems

Abbildung 25: Funktionsgruppen der Leittechnik

Im OTS Projekt wurden folgende Funktionsgruppen näher beleuchtet und für den Probebetrieb des Systems bereitgestellt:

- Intelligent Traffic System / Traffic Management System (**ITS / TMS**) zur Überwachung und Steuerung des Straßenverkehrs, ÖPNV Priorisierung der Shuttles sowie zum Management der verkehrstechnischen Infrastruktur. (siehe Kapitel 3.5.4)
- **Passagierinformation** Systeme bieten Informationen über die Fahrpläne und Routen des Transportsystems an den Haltestellen und innerhalb der Fahrzeuge an, sowie personalisierte Planungs- und Auskunftssysteme für das komfortable, intermodale und bedarfsgerechte Mobilitäts Erlebnis. (siehe Kapitel 3.5.4)
- **Passagiermanagement** Systeme ermöglichen die Interaktion der Systemoperatoren mit den Passagieren. Durch das systeminhärente Fehlen menschlicher Ansprechpartner in autonomen Transportsystemen ist eine passagiergerechte Kommunikation von Informationen maßgeblich für die Akzeptanz autonomer Systeme. In diesem Bereich müssen neue Wege der informationsbedarfsgerechten Interaktion besprochen werden. (siehe Kapitel 3.5.4)
- Dem **Fleet Management** (Flottenmanagement) fällt eine zentrale Rolle bei der Ausschöpfung des Optimierungspotentials autonomer Transportsysteme zu. Alle Abläufe zur Verwaltung der Fahrzeugflotte müssen weitgehend automatisiert werden, zeitgleich müssen die Bediener des Systems über alle Flotten- und Fahrzeugsystemzustände die volle Informations- und Kontrollhoheit behalten. (siehe Kapitel 3.5.2 und 3.5.3)
- Der **Dispatcher** steht stellvertretend für die Operatoren des Mobilitätssystems. Das klassische "Bedienen und Beobachten" wandelt sich hier in eine kontinuierliche Mobilitätssystemoptimierung, Störungsvorhersage bzw. -erkennung und Störungsbehebung. (siehe Kapitel 3.5.2)
- **Navigation und LDM:** Grundvoraussetzung autonomer Fahrsysteme sind für diesen Anwendungsfall optimierte Datengrundlagen wie "HD Maps" - hochgenaue Karten - sowie darauf basierende Fahrwegplanungssysteme. Aufbauend auf den HD Maps werden viele weitere spezifische Daten des Verkehrsgebietes benötigt, die verwaltet, versioniert und jeder Systemkomponente zur Verfügung gestellt werden müssen.

Die eben genannten Funktionsgruppen werden in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert.

Darüber hinaus wurden weitere wichtige Funktionsgruppen identifiziert, die jedoch im Rahmen des begrenzten Projektes nicht weiter betrachtet werden konnten (**Identified future systems** und **Mobilitäts- und Systemplanung**):

- Energiemanagementsystem
- Selbstlernende Systeme zur automatischen Optimierung aller Systemvektoren
- Integration weiterer 3rd-Party Systeme, wie Ticketing, Billing & Clearing, Asset Management, ...

- Mikroskopisches Verkehrsmanagement
- Echtzeit Data Mining basierend auf den im System anfallenden Daten
- Mobilitätssystemplanung sowie ständige Anpassung der Mobilitätsdienstleistungen an die sich ununterbrochen wandelnden Mobilitätsanforderungen

3.5.1 AP5100: Systemarchitektur und Design im AP5000

Die Systemarchitektur für die in der Einleitung vorgestellten Funktionsgruppen musste neben den dort angeführten funktionalen Anforderungen folgende nichtfunktionale Anforderungen erfüllen und berücksichtigen:

1. Inkrementelle, schrittweise Entwicklung einzelner Funktionsgruppen sowie deren "Zur-Verfügung-Stellung" (= Deployment) unabhängig von anderen Funktionsgruppen
2. Horizontale und vertikale Skalierung vom Kleinstsystem wie z. B. einem Demonstrator mit wenigen Fahrzeugen bis hin zu einem komplexen System für den Einsatz in einer Mega-City
3. Integration von 3rd-Party und Legacy-Systemen mit unterschiedlichsten Technologien und Netzwerksetups
4. Hohe Verfügbarkeit

Dies wurde durch einen Microservice basierten Architekturansatz erfüllt. Die Inkrementelle, voneinander unabhängige Entwicklung der Funktionsgruppen wird durch den Einsatz des Microservice Architekturpatterns in Verbindung mit dem Deployment-Setup erreicht.

Die Möglichkeiten der Skalierung sowie die hohe Verfügbarkeit werden durch die eingesetzten Technologien im Hosting Setup erreicht. Die Abstraktion über das Container Managementsystem ermöglicht sowohl ein On-Premise Betrieb des Systems als auch ein State of the Art Hosting bei einem beliebigen Cloud Anbieter. Die in den einzelnen Funktionsdomänen implementierten Microservices werden in Container abstrahiert und von Container Managementsystemen verwaltet.

Die vielfältigen Funktionen mit ihren unterschiedlichen Informationsinhalten stellen besondere Anforderungen an das User-Interface Design, welche mit den Hilfsmitteln des User Experience Design (UX Design) gelöst werden. Das User Interface wird auf Basis von web-basierten Single-Page-Applikationen entworfen, die dem Benutzer die Informationen bereitstellen, die zur Erledigung seiner Aufgaben nötig sind. Dazu werden Informationen auf Basis unterschiedlicher Benutzerrollen wie Fahrdienstleiter, Flottenmanager oder Passagieroperator geordnet und nach dem Informationssparsamkeitsprinzip zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Bediener können ihre Arbeit am jeweiligen Bedienarbeitsplatz ausführen und ineinandergreifende Aktionen über eine zentrale Informationsanzeige koordinieren.

Das OCC generiert eine Vielzahl an Daten, die für andere Systeme interessant sind, und fordert darüber hinaus eine Vielzahl an Daten an. Die kommunikationstechnische Anbindung verschiedener Systeme ist daher ein wichtiger Aspekt beim Design des OCC:

- Ladestationsmanagement
- Energiemanagement
- Simulations- und Planungstools für andere Anwendungsfälle
- Weitere öffentliche Transportsysteme
- Verkehrskontrollen

Unabhängig von den technischen Details der erforderlichen Datenverbindungen, stellt der Aufbau des OCCs, wie er in den folgenden Unterkapiteln beschrieben wird, die Integration und Anbindung der 3rd-Party Systeme sicher.

3.5.2 AP5200: Konzeption und Darstellung der Funktionen Flotten-, Auftrags- und Energiemanagement

Auftrags- und Flottenmanagement sind im Wesentlichen automatisiert ablaufende Prozesse mit dedizierten Eingriffs- und Kontrollmöglichkeiten für die Bediener in der Leitwarte. Aufgabe dieser Prozesse sind die Zuteilung der Fahrzeuge zu den jeweiligen Fahrten, die laut Fahrplan in einem Linienbetrieb oder aufgrund einer Benutzeranforderung im On-Demand Betrieb notwendig sind. Dabei sind verschiedene Zuordnungs- und Optimierungskriterien wie Reichweite der Batterieladung, benötigte Sitzplätze, Entfernung zum Startpunkt, etc. automatisiert auszuwerten und bestmöglich zu erfüllen. Im Folgenden soll näher auf die Funktionsgruppe Dispatcher eingegangen werden (vergleiche Abbildung 25). Die Funktionsgruppe Flottenmanagement wird im darauffolgenden Kapitel beschrieben, das Energiemanagement wurde im Rahmen des begrenzten Projektes nicht weiter betrachtet.

Betrieb und Steuerung für Dispatcher

Der Dispatcher, dem das Hauptaugenmerk über die Mobilitätsdienste obliegt, nimmt die wichtigste Rolle unter den Operatoren ein. Die Aufgabe des Dispatchers ist die Überwachung von Status und Qualität der Mobilitätsdienste, die kontinuierliche Optimierung des Systems sowie die Initiierung von Gegenmaßnahmen im Falle einer unplanmäßigen Abweichung. Hierfür benötigt der Dispatcher einen guten Überblick über alle Komponenten und Dienste innerhalb des Systems. Abbildung 26 zeigt beispielhaft folgende Komponenten bzw. Dienste:

- Warnungen im System, die je nach Bedürfnis konfiguriert, gefiltert und gruppiert werden können.
- Filtereinstellungen, Quick-Filter Zugriff sowie eine Volltextsuche, um Systemkomponenten einfach zu finden und Ausschnitte gemäß dem Arbeitsablauf des Dispatchers zu definieren.
- Lageplan mit Echtzeitanzeige von Zustand und Ort der Systemkomponenten.
- Detaillierter Informationsbereich für ausgewählte Komponenten.

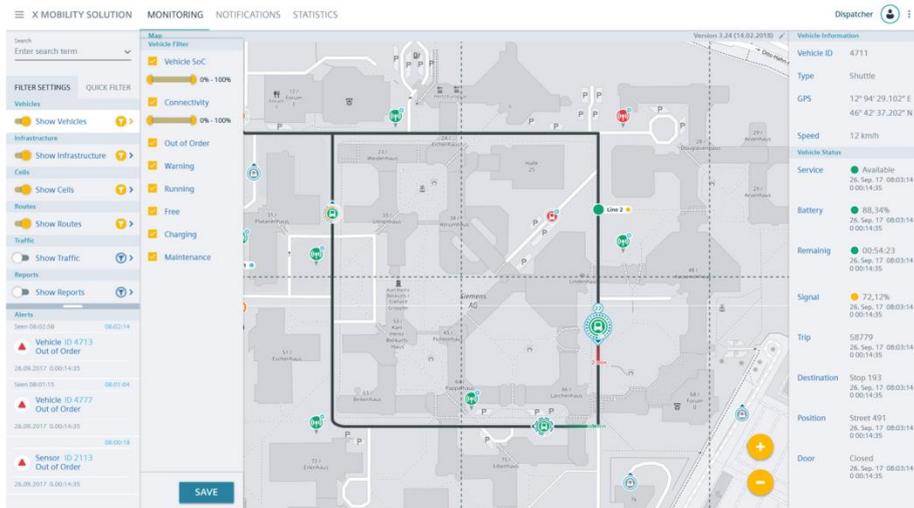


Abbildung 26: Dispatcher Interface - Kartenausschnitt und ausgewählte Optionen

Im Gegensatz dazu können Betriebsaufgaben und Interaktionen mit dem System einfacher in der Listenansicht dargestellt und bearbeitet werden als in der Kartenansicht. Mit der folgenden Benutzeroberfläche (siehe Abbildung 27) ist es dem Dispatcher möglich, gleichzeitig mehrere Elemente zu bearbeiten, während zudem zahlreiche Filter- und Suchoptionen nach Komponenten sowie gerade laufenden Arbeitsprozessen ausgewählt werden können.

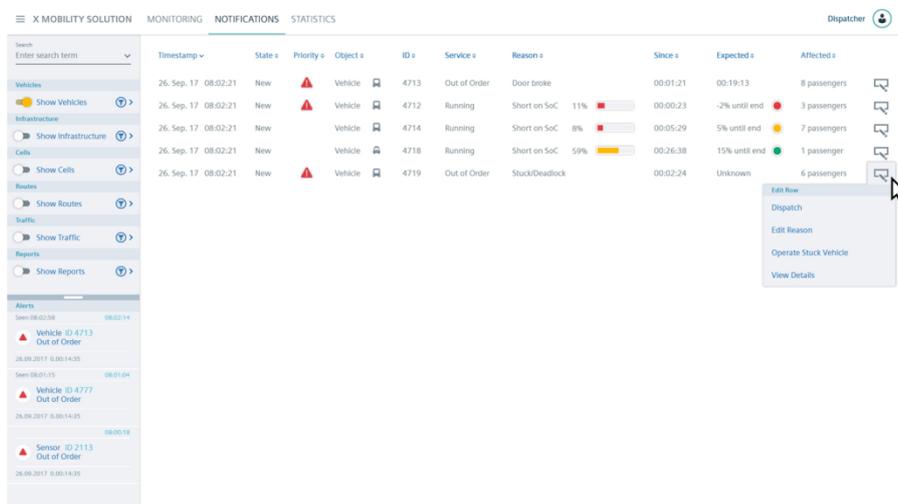


Abbildung 27: Dispatcher Interface - Benachrichtigungen bzw. Optionen in Listenansicht

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, statistische Auswertungen (siehe Abbildung 28) einzusehen, wodurch eine kontinuierliche Systemoptimierung, Datengewinnung (Data-Mining) und Berichterstattung unterstützt wird. Alle erzeugten Daten werden in Langzeit-Archiven gelagert und können bei offenen Fragen jederzeit herangezogen werden. Die statistischen Auswertungen können hierbei nach den aktuellen Anforderungen konfiguriert werden.

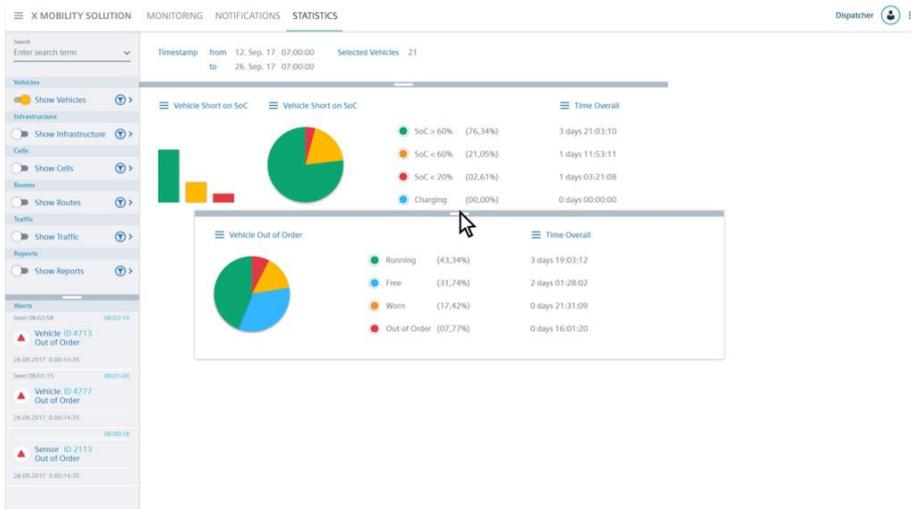


Abbildung 28: Dispatcher Interface – Statistische Auswertung

Ein Beispiel für den großen Nutzen des Data-Mining ist die in Abbildung 29 dargestellte Heat-Map von manuellen Eingriffen des Flottenmanagers. Diese gibt Hinweise darauf, an welchen Stellen Sensoren neu konfiguriert oder andere Aktionen zur Optimierung des Systems durchgeführt werden müssen.

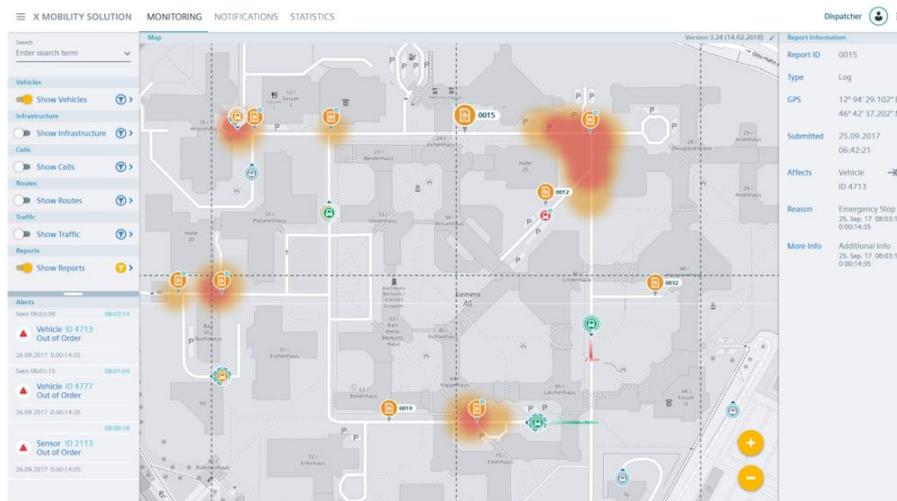


Abbildung 29: Heat-Map – Streckenabschnitte mit vermehrter Anzahl an manuellen Eingriffen

Als Kopf aller Operatoren muss dem Dispatcher die Möglichkeit gegeben sein, sich mit den anderen Operatoren (Flottenmanager, Passagiermanager, Servicemanager, ...) über den Systemstatus auszutauschen. Hierfür ist ein großer Informationsbildschirm (siehe Abbildung 30) an der Wand hilfreich, der alle öffentlichen Verkehrslinien in Kartenansicht zeigt. Die Operatoren können Systemzustände hervorheben, die abgearbeitet werden müssen, weitere Maßnahmen diskutieren und bewilligen sowie Aufgaben vergeben und koordinieren.

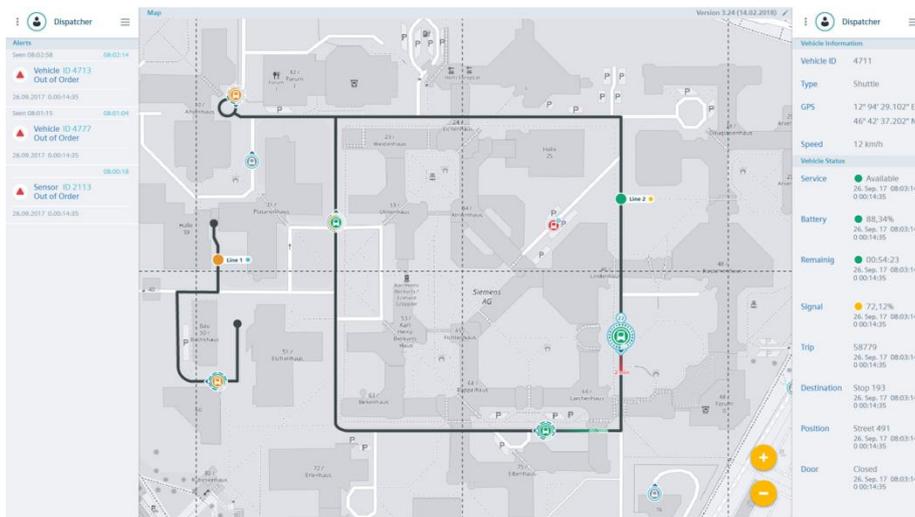


Abbildung 30: Informationsbildschirm zur Koordinierung der Operatoren-Aufgaben

3.5.3 AP5300: Fahrzeugmonitoring, -management, -wartung und -konfiguration

Neben den klassischen Flotten-/Fahrzeugmanagement und -monitoringaufgaben für autonome Fahrzeuge wie z. B. Echtzeitverfolgung und -positionsanzeige gibt es spezielle Aufgaben basierend auf den autonomen Eigenschaften der Fahrzeuge. Im Folgenden werden einige Aufgaben genannt, die im Speziellen beim Betrieb autonomer Fahrzeuge anfallen.

Wenn vollautomatisierte Fahrzeuge den öffentlichen Verkehr bedienen, sind Kriterien wie Batterieladestatus, Transportkapazität, Länge der Route, aktuelle Position usw. von hoher Relevanz. Eine der Aufgaben des Flottenmanagements ist der manuelle Fahreingriff, falls ein Fahrzeug die Nachfrage oder eine bestimmte Verkehrssituation nicht mehr selbständig bewältigen kann. Dabei müssen geschulte Bediener die automatisierte Fahrwegsplanung des Fahrzeugs durch dedizierte Eingriffe zu einem ausführbaren, für alle Verkehrsteilnehmer ungefährlichen Fahrmanöver verhelfen und die Ausführung des Manövers überwachen. Darüber hinaus zählen Lenkung und Steuerung der Fahrzeuge sowie die Videoüberwachung des Außenraums während der Steuerung zu den Aufgaben des Flottenmanagements. Es ist hierbei anzumerken, dass der Operator nicht direkt die Fahrzeugsteuerung übernimmt, sondern lediglich die Berechnungsergebnisse des Algorithmus zur Trajektorienplanung prüft und gegebenenfalls die Eingangswerte angepasst, um eine optimale Lösung für die aktuelle Verkehrssituation zu erhalten. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 31: User Interface des Flottenmanagements zur manuellen Änderung bzw. Anpassung der Trajektorienplanung aufgezeigt.

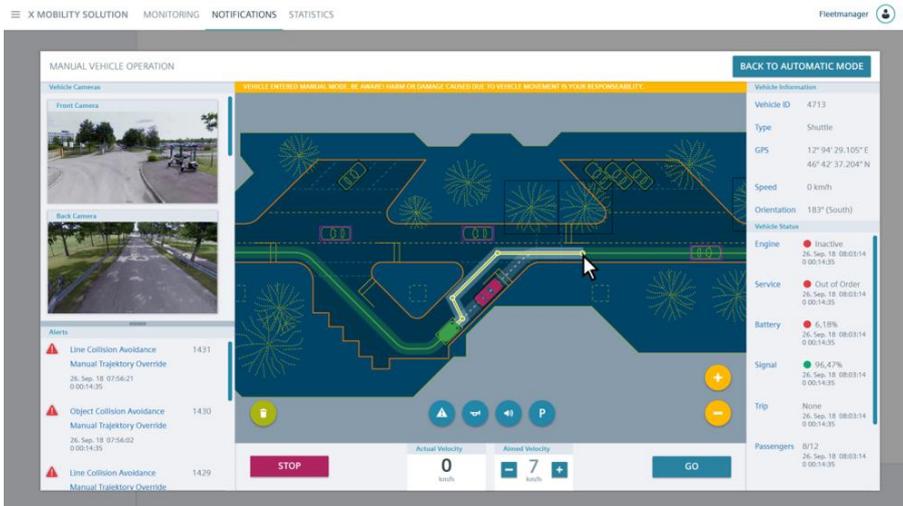


Abbildung 31: User Interface des Flottenmanagements zur manuellen Änderung bzw. Anpassung der Trajektorienplanung

Der größte Teil der Benutzeroberfläche zeigt das Fahrzeug sowie die aktuell geplante Trajektorie in digitaler Ansicht. Die Aufgabe des Flottenmanagers ist es, die digitale Ansicht mit den Videoaufnahmen der echten Welt zu vergleichen und gegebenenfalls Maßnahmen einzuleiten, um Fehler in der Trajektorienplanung wie die Nichtberücksichtigung einer Sackgasse zu berichtigen. Sobald der Algorithmus zur Trajektorienplanung eine akzeptable Lösung (das heißt eine Lösung, die eine Gefährdung der Fahrgäste sowie anderer Verkehrsteilnehmer ausschließt) für die gegebene Verkehrssituation gefunden hat, kann der Fahrbefehl vom Flottenmanager erteilt werden. Dieser manuelle Eingriff wird zur späteren Überprüfung oder Wiedergabe der Verkehrssituation vom System aufgezeichnet. Danach wird die Kontrolle wieder komplett an das Fahrzeug abgegeben.

3.5.4 AP5400: Infrastrukturmonitoring, -management, -wartung und -konfiguration

Das Infrastrukturmanagement stellt durch die Fülle der einzelnen Komponenten eine besondere Herausforderung im System dar. Zum Bedienen und Beobachten wurde dazu ein Designvorschlag erarbeitet, der die Infrastrukturelemente sowohl in einer Karte als auch in einer Tabellenansicht darstellt. Auf die Elemente können verschiedenste Filterkriterien angewendet werden, um die täglichen Fragestellungen während des Systembetriebs zu unterstützen, wie z. B. "Welche Komponenten haben eine schlechte Funknetzwerkverbindung?" - siehe Abbildung 32.

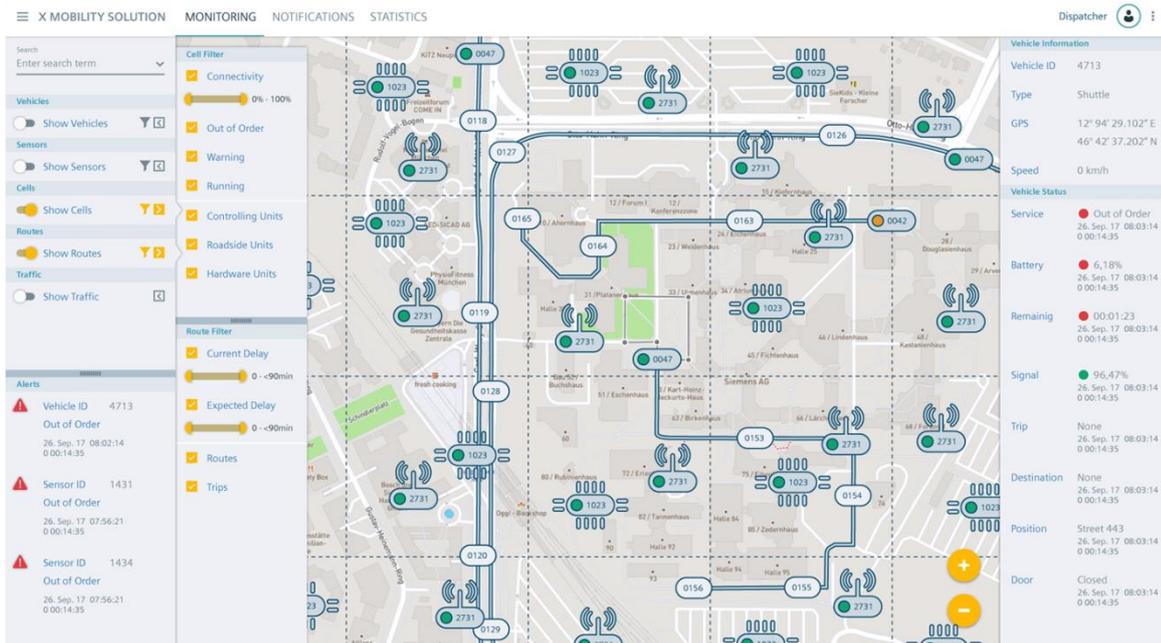


Abbildung 32: Infrastrukturmonitoring mit Filtermöglichkeiten

Die Wartungsplanung sowie automatisierte Notifikation von Servicemitarbeitern bei Ausfall von Infrastrukturkomponenten wird in Produktivsystemen über die Anbindung von existierenden 3rd-Party Assetmanagementsystemen erfolgen.

Im Folgenden wird näher auf die Funktionsgruppen ITS/TMS (Intelligent Traffic System / Traffic Management System), Passiermanagement sowie Informationsmanagement eingegangen (vergleiche Abbildung 25). Des Weiteren wird die Planung des Mobilitätssystems sowie die kontinuierliche Systemoptimierung thematisiert.

Intelligentes Verkehrssystem (ITS) / Infrastrukturmanagementsystem (TMS)

Das ITS/TMS, welches im OTS Projekt Anwendung findet, umfasst alle derzeit gängigen Funktionen, wie sie in der Siemens Sitraffic Produktfamilie enthalten sind. Darüber hinaus ist eine Erweiterung um folgende Funktionen möglich:

- Virtuelle Messbereiche/-strecken: bei diesen Messbereichen für ITS/TMS ist die Installation von fest zugeordneten Messgeräten bzw. weiterer Hardware nicht erforderlich.
- Echtzeitortung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs: die Informationen aus der Echtzeitortung, die bei allen SDVs (self-driving vehicle) erfolgt, können an ITS/TMS weitergegeben werden, um die Qualität des Verkehrsmanagements zu verbessern.
- Statusüberwachung der Komponenten: der Status aller Systemkomponenten wird visualisiert und überwacht.
- Wartungsmeldungen: die nach Schichtplan eingeteilten Servicetechniker werden über anstehende Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen benachrichtigt.
- Management und Ausgabe von Systemparametern an die Verkehrsmanagementkomponenten (Verkehrssignalsteuerung, Wechselverkehrszeichen, RSUs usw.)

- Priorisierung der SDVs des öffentlichen Verkehrs mithilfe der Verkehrssignalsteuerung (zusätzliche Hardware an den Board Units sowie Transmitter an den Kreuzungen sind nicht erforderlich)

Nächste Generation von ITS/TMS, basierend auf mikroskopischem Verkehrsmanagement

Aktuelle ITS/TMS basieren auf makroskopischen Verkehrsmodellen, die den Verkehr über statistische Parameter wie die Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde oder den Auslastungsgrad eines Detektors beschreiben. Mithilfe dieser Vorgehensweise kann der Verkehr beispielsweise durch Geschwindigkeitsbegrenzungen für Straßen bzw. einzelne Fahrspuren sowie durch Begrenzungen der Signalzeiten an bestimmten Signalanlagen beeinflusst werden.

Die nächste Generation von ITS/TMS, wie sie in der aktuellen Lösung vorgesehen ist, ermöglicht hingegen mikroskopisches Verkehrsmanagement. Hierbei ist es möglich, ein Fahrzeug individuell anzuweisen, um den Verkehrsfluss zu optimieren. Diese Beeinflussung von Geschwindigkeit und Routenwahl eines einzelnen Fahrzeugs kann Staulängen reduzieren oder Staus gänzlich verhindern.

Passagiermanagement

Des Weiteren wird es Kommunikationskanäle geben, die es dem Operator ermöglichen, mit den Fahrgästen an Haltestellen oder im Fahrzeug selbst Kontakt aufzunehmen und Informationen bereitzustellen. Diese Bereitstellung von Informationen an den Fahrgast wird von automatisierten Algorithmen, die auf Data-Mining basieren, ausgelöst und erfolgt über Anzeigen, Lautsprecherdurchsagen, Apps sowie Push-Meldungen.

Darüber hinaus werden weitere Kanäle für die Kommunikation mit den Fahrgästen (im Fahrzeug, an den Haltestellen oder am Smartphone) genutzt, um auf alle Arten von Notfallsituationen zu reagieren, Benachrichtigungen über bestimmte Ereignisse auszugeben sowie einen Kundenservice (Helpdesk, Reklamationen) anzubieten.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Videoüberwachung sowie Detektion von aggressivem Verhalten in der Fahrzeugkabine. Die Detektion erfolgt über eine durchgehende Überwachung des Video- und Audiostreams sowie durch die Meldung an den Passagiermanagers. Im Allgemeinen liegt die Aufgabe des Passagiermanagers darin, die Situation zu beobachten, zu bewerten und ggf. Maßnahmen einzuleiten. Abbildung 33 zeigt das User Interface, das dem Passagiermanager bei der Kabinenüberwachung vorliegt.

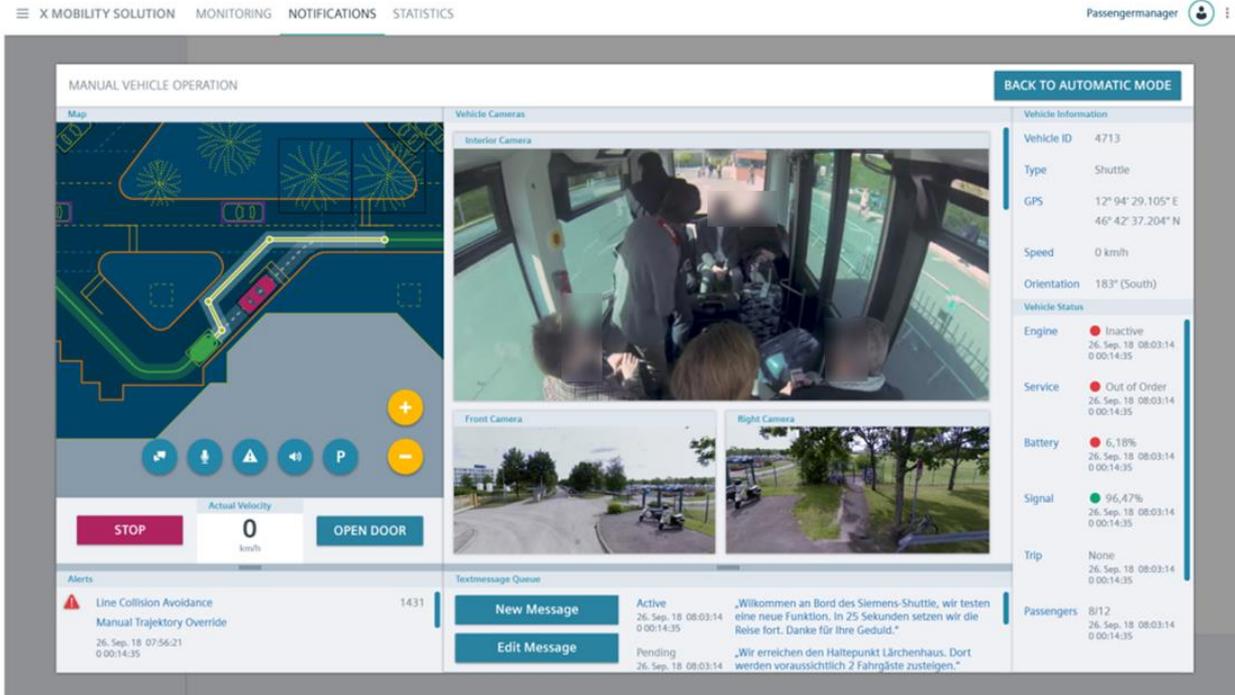


Abbildung 33: Passagiermanagement UI mit Kabinenüberwachung

Im Rahmen dieses Dienstes können weitere Informationen, beispielsweise aus der Überwachung der freien Sitzplätze oder der Fahrgastzählung, gewonnen werden, die der Systemoptimierung dienen sowie eine zusätzliche Informationsbereitstellung an die Fahrgäste ermöglichen.

Der Passagiermanager kann bei seiner Aufgabe durch intelligente Überwachungsalgorithmen (iCCTV-System) unterstützt werden.

Intelligente Videoüberwachung mit iCCTV

Die routinemäßige Beobachtung der Videoströme von Überwachungskameras ist für den Passagiermanager eine monotone Tätigkeit. Das von Siemens entwickelte iCCTV-System ist in der Lage, die Videoströme kontinuierlich mit modernsten Computer Vision Algorithmen zu analysieren und dem Passagiermanager wertvolle Informationen bereitzustellen. Abbildung 34 veranschaulicht dies am Beispiel eines Zuges.



Abbildung 34: Darstellung einer iCCTV-Installation in einem Zug

Im OTS 1.0 Projekt wurde iCCTV zur Bestimmung freier Sitzplätze im OTS Shuttle eingesetzt, so dass diese Information sowohl für statistische Systemoptimierung genutzt werden kann, als auch zur Information an der Haltestelle wartender Fahrgäste. Da iCCTV als Plattform gestaltet ist, die auch zu späteren Zeitpunkten einfach durch weitere Computer Vision Algorithmen ergänzt werden kann, ist eine Ausweitung der Sitzplatzüberwachung hin zur Fahrgastzählung möglich, wobei dann auch stehende Fahrgäste berücksichtigt werden können.

Das iCCTV-System wurde außerdem im OTS Shuttle eingesetzt, um überwachen zu können, ob es im Innenraum des OTS Shuttles zu aggressiven Handlungen kommt. In diesem Falle alarmiert das System sofort den Passagiermanager, der sich aufgrund der Videoüberwachung selbst ein Bild von der Situation macht und gegebenenfalls geeignete Schritte einleitet, wie z.B. die Alarmierung von Rettungskräften oder Sicherheitsdiensten.

Passagierinformation

Um die Akzeptanz des Systems sicherzustellen, ist es unabdingbar, dem Endverbraucher umfangreiche Informationen über die angebotenen Mobilitätsservices bereitzustellen. Es gibt verschiedene Kanäle, die die Information des Passagiers über den Mobilitätsservice gewährleisten. An den Haltestellen wird der Passagier über die Linien informiert, die die jeweilige Haltestelle bedienen, sowie über die kommenden Abfahrts- und Ankunftszeiten der entsprechenden Linien. Diese Zeitangaben ergeben sich aus den Abfahrts- bzw. Ankunftszeiten nach Fahrplan sowie den Echtzeitdaten, die die realen Abfahrts- bzw. Ankunftszeiten schätzen.

Innerhalb der Fahrzeuge werden den Passagieren die nächsten Haltestellen, die voraussichtlichen Ankunftszeiten sowie weitere ortsabhängige Informationen wie die Umsteigemöglichkeiten an der nächsten Haltestelle angezeigt. Abbildung 35 zeigt beispielhaft, wie die Displayanzeige im OTS Shuttle für die kommende Haltestelle „Ausgang Süd (Exit South)“ aussieht.

OTS-1 Mch P - OTS Route 1 13:21

Schedule Current Next Stop Track

13:21 13:22 Exit South 1

Forum 2
Forum 1
Building 10

Connections

Neuperlach Süd

Linie	Ziel	Abfahrt in Min.
199	Neubiberg Campeon West	8
U 05	Laimer Platz	9
195	Michaelibad	9
S 07	Höllriegelskreuth	14
196	Neuperlach Zentrum	19
U 05	Laimer Platz	19
199	Michaelibad	20

Ein Service von **SIEMENS** und **MVG** Ganz einfach mobil

Abbildung 35: Fahrgastinformation über die Displayanzeige im OTS Shuttle

Über das Web sowie über mobile Anwendungen können dem Fahrgast zusätzlich personalisierte Daten bzw. Funktionen zur Verfügung gestellt werden. Darunter fällt unter anderem das multimodale Routing, welches dem Fahrgast ermöglicht, eine Route unter Nutzung mehrerer, verschiedener Verkehrsmittel zu planen (siehe Abbildung 36). Weitere Mobilitätsdienste wie Sitzplatzbuchungen, Live Maps, Fahrkartenbuchungen sowie Routenänderungen im Falle von Störungen stellen mögliche Erweiterungen dar.

The screenshot shows a Siemens web application interface. On the left, there is a sidebar with a 'Fahrplan' (timetable) section showing connections for 'Building 10' on 'Mi. 23.05.2018'. The main area features a map of the Netherlands and Germany with a green route line connecting Haarlem, Utrecht, Maastricht, Wiesbaden, and Würzburg. An inset map on the right provides a detailed view of a location, showing a bus stop (Bus OTS-1) and a tram stop (S7) with their respective departure times (14:00 and 14:13).

Abbildung 36: Fahrgastinformation – Anwendung intermodales Routing

Sowohl bei der Passagierinformation als auch bei dem Passagiermanagement kommt dem Datenschutz eine besondere Bedeutung zu. Wie im Folgenden erläutert, muss der Datenschutz in unterschiedlichen Dimensionen betrachtet werden:

1. Tracking von Passagieren im Linienbetrieb: Hier muss die Erhebung von personenbezogenen Daten konsequent unterlassen werden. Dies wäre in erster Linie z. B. durch Verfolgung von Fahrtickets möglich, dieser Punkt ist jedoch in bestehenden Systemen bereits gelöst.

2. Bewegungsprofile durch Einsatz von Smartphone Apps: Durch die Positionserfassung der Smartphones sowie der Speicherung der Anfragedaten einer bestimmten Person könnten Bewegungsprofile erstellt werden. Hier müssen zwei Grundsätze des Datenschutzes beachtet werden: Die Information über die Datenspeicherung und das Einholen der Einverständniserklärung vom Kunden. Dies kann wie heute bereits üblich durch die Akzeptanz von AGBs dokumentiert werden. Trotzdem ist natürlich auf Datensparsamkeit zu achten und nur die notwendigen Daten z.B. zur Abrechnung abzuspeichern. Außerdem müssen die Daten für die Weiterverarbeitung anonymisiert werden.
3. Videoüberwachung der Fahrzeugkabinen: Da die Passagierkabinen nicht mehr durch Fahrer oder Schaffner überwacht werden können, müssen die Passagierkabinen durch Videoüberwachung abgesichert werden. Dazu sind spezielle Datenschutzvereinbarungen notwendig, die die Überwachung ermöglichen, aber auch das "Nicht-Aufzeichnen" bzw. zeitgerechte Löschen von aufgezeichneten Vorkommnissen festlegen und dokumentieren.

3.5.5 AP5500: Globale Sensorfusion und Szenenmodellierung und AP5600: Umfeldanalyse und Bewertung

Die Arbeiten bezüglich Sensordatenfusion im Projekt OTS 1.0 behandelten die Erstellung einer Systemarchitektur und eines algorithmischen Konzepts sowie die erste Umsetzung dieses Konzepts.

Die entwickelte Systemarchitektur sieht vor, dass die Sensordatenfusion in Traffic Cell Control Computern (TCCC) erfolgt. Dort fließen die Sensorsignale von verschiedenen Sensoren zusammen und werden zu einem einheitlichen Umfeldmodell fusioniert. Außerdem teilt die Systemarchitektur die Teststrecke in mehrere Zellen ein, die getrennt voneinander behandelt werden. Diese Einteilung dient der effizienten Übertragung des fusionierten Umfeldmodells über die RSUs (Road Site Units, IEEE802.11p Kommunikationseinrichtungen an der Strecke) und dazu, den Fahrzeugen nur für sie relevante Informationen zur Verfügung zu stellen.

Die eigentliche Sensordatenfusion erfolgt zur Bildung der Ebenen 4 und 5 der LDM (siehe Abbildung 10, Kapitel 3.4). Auf Ebene 5 erfolgt die Datenfusion gridbasiert. Dabei wird die Strecke mit einem Gitter belegt (Occupancy Grid), bei dem jeder Gitterzelle ein Zustand für belegt oder frei zugewiesen wird. Diese Gitterzelleninformation wird dann im WGS84 Koordinatensystem über die RSU an die Fahrzeuge gesendet. Eine Gitterzelle wird auf belegt gesetzt, wenn mindestens einer der Sensoren ein Hindernis detektiert.

Auf Ebene 4 erfolgt die Fusion mit dem Ziel, einzelne klassifizierte Objekte zu erkennen. Dabei werden von den einzelnen Sensoren erkannte Objekte über probabilistische Ansätze miteinander assoziiert und dann fusioniert, um ein einheitliches Umgebungsmodell zu erhalten. Die Ergebnisse von Ebene 4 können auch in Ebene 5 einfließen, um die gridbasierte Fusion zu verbessern.

Die Modellbildung im TCCC ist an die Leittechnik angebunden. Dabei werden sowohl die klassifizierten Objekte (LDM Ebene 4) als auch das Occupancy Grid (LDM Ebene 5) an die Leittechnik gesendet und bilden dort die Grundlage für die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Funktionen.

Das Echtzeit-Verkehrsmodell, bestehend aus der gesamten LDM kann im Backend dazu verwendet werden, nicht nur makroskopisch den Verkehrsfluss zu optimieren, sondern mikroskopisch zu beobachten und Verbesserungsmaßnahmen/ Steuereingriffe abzuleiten (siehe Kapitel 3.5.4).

3.6 AP6000: Fahrzeug und Prototyp (IAV)

Separater Abschlussbericht der IAV.

3.7 AP7000: Systemintegration, Testfelder und Betrieb (Siemens, Emm! solutions)

Die zu realisierende Lösung eines selbstfahrenden Elektroautos ist in seiner Gesamtheit ein Zusammenspiel zwischen der Leittechnik, den sensorischen Infrastrukturelementen sowie der Fahrzeuge selbst. Das AP7000 deckte die komponentenübergreifende Abstimmung und die Integration der Einzelkomponenten in das Gesamtsystem ab. Es hatte damit die zentrale Rolle, die Funktion des Gesamtsystems zu sichern. Es wurden die Testszenarien und damit das Testfeld definiert, welche es im Rahmen des Projekts abzudecken galt. Das Testfeld wurde zunächst digital modelliert, um es dann mit Fertigstellung der Hardware im Realbetrieb umzusetzen.

3.7.1 AP7200 und AP7300: Schnittstellen und Konfigurationsmanagement

In einem komplexen System mit einer großen Anzahl von einzelnen Sensoren (und Zusatzgeräten wie z. B. Gateways), die jeweils individuell (und u.U. von verschiedenen Entwicklern, und mit hoher Frequenz) parametrisiert werden müssen, ist ein zentrales Konfigurationsmanagement unabdingbar, um den Überblick zu behalten. Es muss einerseits für sämtliche Feldgeräte eine einfach zu bedienende Schnittstelle bieten, über die sie ihre Konfiguration abrufen können, andererseits für die Entwickler einen einfachen Zugang sowohl zum Lesen als auch zum Schreiben von Konfigurationsdatensätzen bieten, und in der Lage sein, eine Historie der einzelnen Konfigurationen (z. B. zur späteren Verifikation und Verarbeitung aufgezeichneter Messdaten) zu erhalten.

Für den Betrieb des Testfeldes MchP wurde daher ein Ansatz gewählt, der sich bei geringer Komplexität möglichst gut in die bereits existierende Softwarelandschaft (überwiegend Robot Operating System (ROS)) integrieren lässt und auch zukünftige Erweiterungen ermöglicht. Die zentrale Datenhaltung geschieht dabei mit dem Versionsverwaltungssystem *git*, Änderungen in Konfigurationen können so leicht von Feldgeräten abgerufen werden.

Die Schnittstellen werden in AP4300 beschrieben.

3.7.2 AP7400: Digitales Testfeld und Entwicklungsumgebung

Um ein besseres Systemverständnis zu erlangen sowie verschiedene Funktionen validieren zu können wurde das Testgebiet MchP als digitales in der Simulationsumgebung dSPACE ASM und mit Matlab/Simulink erzeugt. Basis hierfür waren Geodaten der Strecke und der Gebäudegrundrisse. Weiterhin wurde die Sensorausstattung der Infrastruktur (Radar, Lidar und Kamera) modelliert (Abbildung 37). Als virtueller Fahrzeug-Prototyp kam ein Modell des ILO 1 - ebenfalls mit Sensorik ausgestattet - zum Einsatz (Abbildung 38).

Der ILO 1 wurde als Open-Source Plattform für frühzeitige Fahrversuche innerhalb des Gesamtprojektes entwickelt. Ein bestehendes, kostengünstiges und kleines E-Fahrzeug wurde so umgebaut und erweitert, dass es als Versuchsträger für autonomes Fahren innerhalb einer Infrastruktur dienen kann.

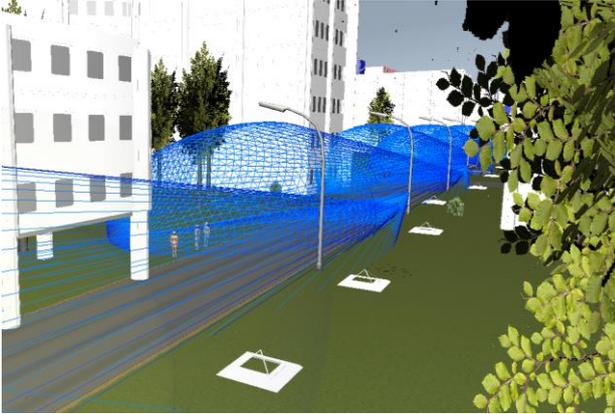


Abbildung 37: Sensorabdeckung

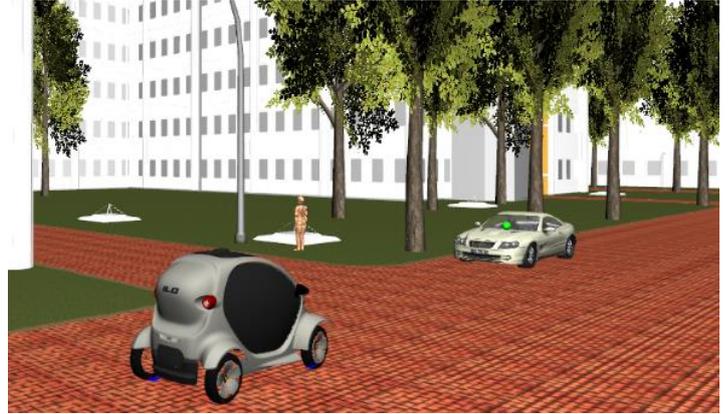


Abbildung 38: Virtueller Fahrzeugprototyp ILO 1

In der Simulation wurde der Versuchsträger (ILO1) möglichst nah am realen Fahrzeug parametrisiert, sodass das fahrdynamische Verhalten des Fahrzeugmodells dabei in für die Testzwecke ausreichendem Maß dem Verhalten des realen Versuchsträgers (ILO1) entspricht. Die Sensordaten sind rein synthetisch generierte Felddaten. Des Weiteren wurden Realdaten aus der Siemens Cloud (Strategischer Plan) eingesetzt, um den virtuellen Prototypen zu routen und in ersten Testläufen durch das digitale Testgebiet zu führen. Um dies zu realisieren, wurden neben einer hochauflösenden Streckenkarte mehrere Funktionsmodule erstellt, um den strategischen Plan umzusetzen und die entsprechenden Fahrzeugkomponenten anzusteuern. Das gesamte Modell kann von einem Rechner aus betrieben werden.

Mit Hilfe des Modells konnte der Wertbeitrag der Infrastruktur bewertet werden. Hierfür wurden unterschiedliche Use-Cases simuliert und bewertet. Somit konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass die Infrastruktur Sensorik vorausschauendes Fahren und komfortablen Personentransport ermöglicht. Hierfür exemplarisch wird der Use-Case „Rechts vor links“ im Folgenden veranschaulicht.

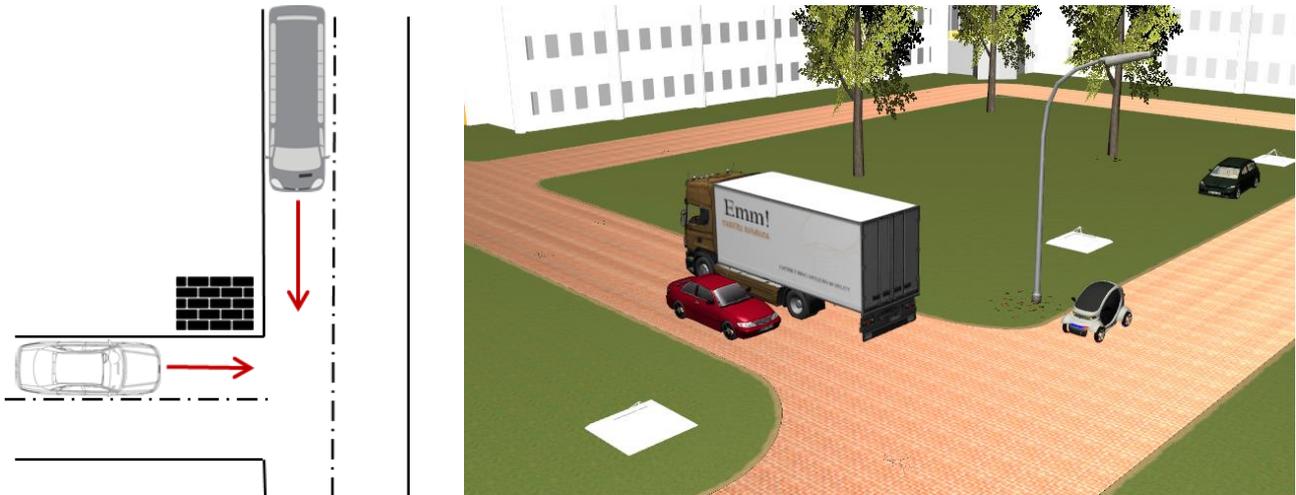


Abbildung 39: Use-Case Rechts vor links

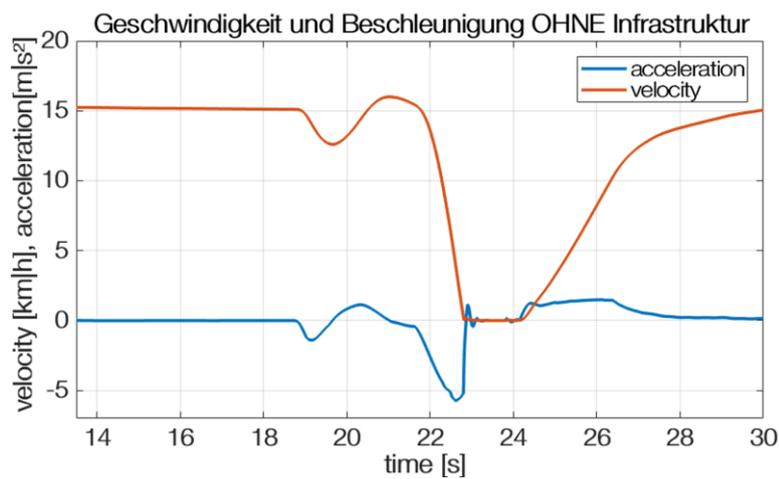


Abbildung 40: Simulationsergebnisse ohne Infrastruktur

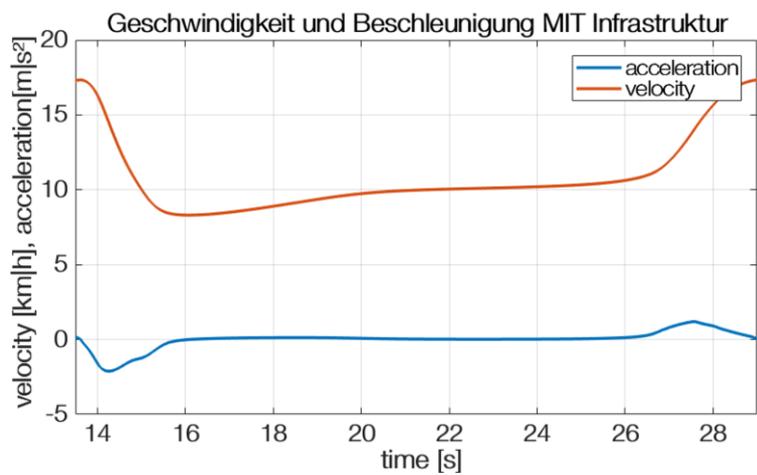


Abbildung 41: Simulationsergebnisse mit Infrastruktur

Ohne Informationen aus der Infrastruktur sieht der Versuchsträger (ILO 1) mit der fahrzeugeigenen Sensorik das von rechts kommende Fahrzeug, durch die Verschattung des LKW, sehr spät und muss eine Notbremsung machen. Die Verzögerung, die auf die Fahrzeuginsassen wirkt, ist sehr groß. Zudem kommt der Versuchsträger zum Stillstand (Abbildung 40). Mithilfe der Infrastruktur Sensorik, kann das von rechts kommende Fahrzeug dem Versuchsträger gemeldet werden. Der Versuchsträger bremst frühzeitig mit geringer Verzögerung ab und kann mit reduzierter Geschwindigkeit über die Kreuzung fahren (Abbildung 41).

In Ergänzung an die dSPACE ASM Simulation wurde ein Simulationsmodell mit der Verkehrssimulationssoftware Aimsun Next erstellt (Abbildung 42), um unterschiedliche Performanceeigenschaften autonomer Fahrzeuge mit Infrastrukturunterstützung unter realen Verkehrsbedingungen analysieren zu können. Somit können Aussagen bezüglich des Einflusses der Infrastruktur auf den übergeordneten Verkehrsfluss getroffen werden – zunächst für einzelne Topologien wie einen Kreuzungspunkt und in Zukunft für ganze Stadtteile.

Hierzu wurde in einem ersten Schritt ein dreiarmer, nichtsignalisierter Kreuzungspunkt betrachtet (Abbildung 43). Betrachtet wurde homogener Verkehr mit einer zulässigen Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h. Es wurde davon ausgegangen, dass die Kreuzung für die herannahenden Fahrzeuge nicht einsehbar ist. Mit Hilfe der Simulation konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl an Fahrzeugen, die am Kreuzungspunkt zum Stillstand kommen, durch einen erweiterten Sichtbereich reduziert werden kann. Des Weiteren kann die Geschwindigkeit im Kreuzungsbereich erhöht werden. Unter Weiterentwicklung dieses Modells kann der Wertbeitrag der Infrastruktur im Zusammenspiel mit autonomen Fahrzeugen als Ergänzung zum ÖPNV unter realen Verkehrsbedingungen in weitere Topologien sowie in ganzen Stadtteilen demonstriert werden.



Abbildung 42: Simulationsumgebung Aimsun Next

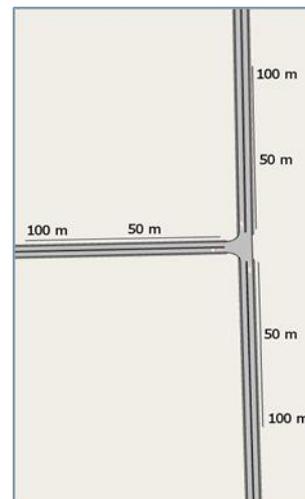


Abbildung 43: Dreiarmer Kreuzungspunkt

3.7.3 AP7500: Reales Testfeld München-Perlach mit Fahrzeug und Infrastruktur

Um nicht nur ein digitales Testfeld zur Verfügung zu haben wurde auf dem Siemens-Campus in MchP eine reale Teststrecke errichtet, die es ermöglicht, verschiedene Technologien zu entwickeln, zu erpro-

ben und zu demonstrieren. Hierfür wurde eine Strecke ausgewählt, die mit entsprechenden Sensor-, Kommunikations- und Lokalisierungslösungen ausgerüstet wurde. Neben der Infrastruktur Sensorik wurde temporär eine induktive Ladeplatte in unmittelbarer Nähe zur Teststrecke errichtet.

Der Siemens Campus in MchP ist ein vollumfänglich abgeschlossenes Betriebsgelände. Da sich der auf dem Gelände befindliche Verkehr vollständig kontrollieren lässt, handelt es sich somit im Sinne der Straßenverkehrsordnung (StVO) nicht um öffentlichen Verkehr. Folglich benötigten die zum Einsatz kommenden Fahrzeuge keine Genehmigung der Straßenverkehrsbehörde. Für die Installation der Sensorik auf dem Firmengelände wurden Genehmigungen der internen Stellen eingeholt.

Die vollständige Streckenausrüstung zur lückenlosen Erfassung des Verkehrs entlang der gesamten Strecke erfolgte mittels Radarsensorik. Ausgewählte Stellen wurden mit Lidarsensoren sowie einem RTLS (Lokalisierungssystem) ausgestattet. Um drahtlosen Zugriff auf alle Feldkomponenten in MchP zu erhalten wurde für den Test- und Entwicklungsbetrieb eine WLAN-Infrastruktur eingerichtet.

Alle Sensormasten entlang der Teststrecke sind in Abbildung 44 mit einer Nummer gekennzeichnet. Bereits bestehende Infrastrukturkomponenten wie Signalgeber wurden in das Testfeld integriert.



Abbildung 44: Ausstattung der Masten mit Sensorik

Für die Demonstration des teilautomatisierten Fahrens auf der Teststrecke kamen zwei unterschiedliche Fahrzeugtypen zum Einsatz – das Shuttle der IAV sowie der ILO 1. Diese Fahrzeuge erfassen auf der Basis ihrer Bordsensorik ihr eigenes, unmittelbares Umfeld und leiten daraus ihre individuelle Fahrstrategie ab. Die Infrastruktur soll hierbei unterstützen und damit Informationen liefern, die zur Definition dieser Fahrstrategie beitragen können.

Zusätzlich zum Fahrzeug der IAV wurde das Testfeld durch zwei zusätzliche Messfahrzeuge (ILO 1) erweitert, um die Infrastrukturfunktionalität frühzeitig validieren zu können (Abbildung 45). Die entsprechende notwendige Automobilexpertise, die für die Entwicklung der Fahrzeuge notwendig ist, wurde durch die Partner Emm! solutions abgedeckt. Hierzu galt es neben der eigentlichen Entwicklung

und Bereitstellung der neuartigen Fahrzeuge, diese auch für den Realbetrieb in das Testfeld MchP zu integrieren und auf der Teststrecke in Betrieb zu nehmen. Anhand definierter Anwendungsfälle konnte das System somit in seinen Einzelkomponenten, wie auch ins seiner Gesamtheit erprobt werden.



Abbildung 45: Ilo 1

Der ILO 1 wurde gezielt als rapid-prototyping Plattform und Messfahrzeug ausgestattet. Ein vollständiges Drive-by-Wire System ermöglicht das elektronisch gesteuerte/ geführte Fahren bis hin zum automatisierten Betrieb, sofern die entsprechende Software integriert wurde.

Im Heck befindet sich ein Rack an Mess- und Steuerelektronik. Mit diesem werden die Signale der Infrastruktur, der Cloud und des Fahrzeug erfasst und verarbeitet (Abbildung 46).

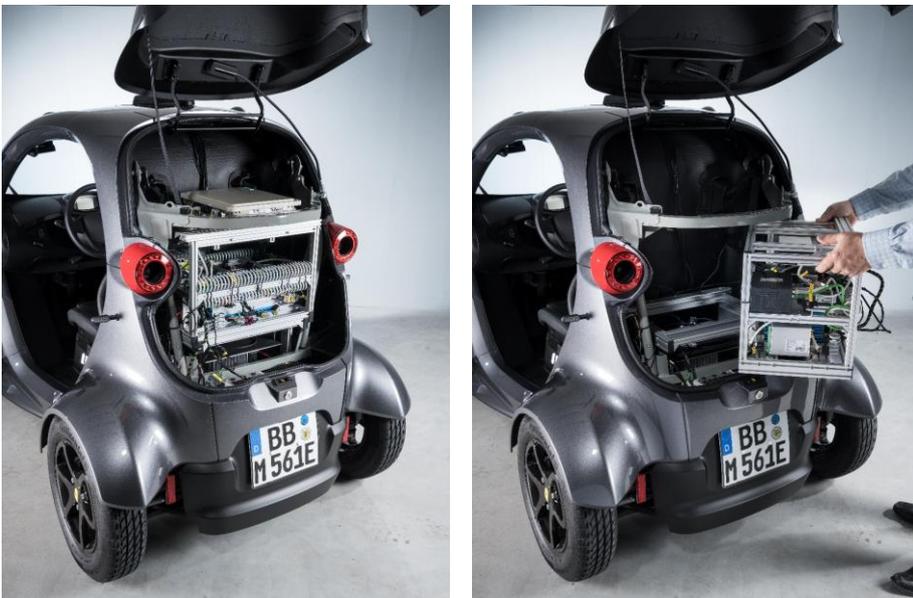


Abbildung 46: Rack mit Mess- und Steuerelektronik

Für die weiteren Schritte bis hin zum aktiven ADAS-System besitzt das Fahrzeug - wie angegeben – eigene ADAS-Sensoren, deren Erfassungsbereich in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

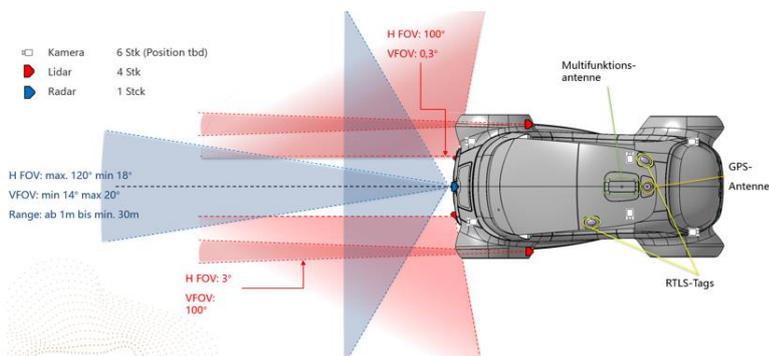


Abbildung 47: Ilo 1 – Erfassungsbereich fahrzeugeigene Sensorik

3.7.4 Testszenarios und -ergebnisse

Es gibt viele Situationen im Straßenverkehr, bei denen alleinige Sensoren am Fahrzeug nicht ausreichen um die Sicherheit und den Verkehrsfluss zu gewährleisten. Beispiele hierfür zeigt Abbildung 48: Situationen, in denen ausschließlich fahrzeugeitige Sensorik zu Problemen führt. Beim Linksabbiegen in einer Kreuzung, beim Einmünden in eine Straße, bei engen Kurven oder bei einem steilen Hang können Fahrzeuge zu spät erkannt werden. Zudem können die Sensoren des Fahrzeugs durch das Sonnenlicht geblendet werden und somit kann deren Funktion beeinträchtigt werden.

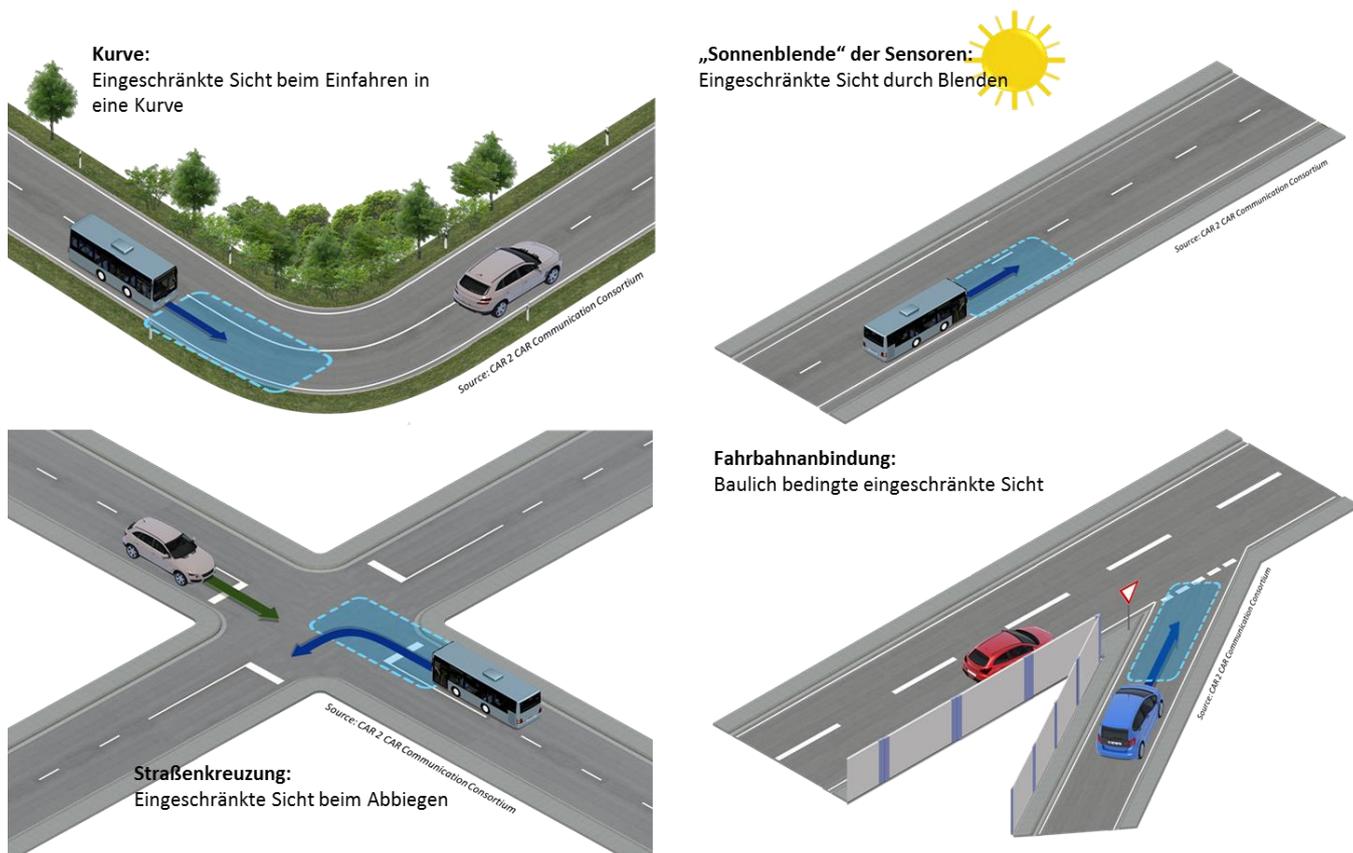


Abbildung 48: Situationen, in denen ausschließlich fahrzeugeitige Sensorik zu Problemen führt

In OTS1.0 wurde die initiale Zielsetzung während der Projektlaufzeit geschärft:

OTS1.0 schafft die konzeptionelle Grundlage für ein Mobilitätssystem basierend auf automatisierten Fahrzeugen bei Beibehaltung von gewohnter Effizienz und Straßenverkehrssicherheit.

Für einen Passagier/ Fahrgast in einem Bus des ÖPNV wird diese Zielsetzung erlebbar durch:

1. Passagiere müssen sich wie gewohnt **nicht anschnallen**
2. Das Fahrzeug fährt **im Straßenverkehrsfluss** mit

Ermöglicht wird dieser Mehrwert durch ein Zusammenspiel aus Sensortechnologie in der straßenseitigen Infrastruktur, Kommunikationstechnik, einer mikroskopischen Echtzeitmodellierung des Straßenverkehrs sowie einer Vielzahl an Services im Operations Control zur Unterstützung des Mobilitätsdienstes entlang des gesamten Produktlebenszyklus.

Aus einer Vielzahl unterschiedlicher Szenarien wird nachfolgend an fünf ausgewählten der Mehrwert bzgl. zuvor genannten Zielsetzung erläutert. Im Wesentlichen kommt der straßenverkehrsseitigen Infrastruktur mit ihrer Umfelderkennung immer dann zum Tragen, wenn die Sicht des automatisierten Fahrzeugs eingeschränkt ist. Die fünf skizzierten Szenarien wurden im Rahmen des Projektabschlusses live vorgeführt.

Nachfolgend werden folgende Abkürzungen verwendet:

- TAFF – teilautomatisiert fahrendes Fahrzeug
- FoV – Field of View = Sichtbereich
- SIZU - straßenseitige Infrastruktur zur Umfelderkennung

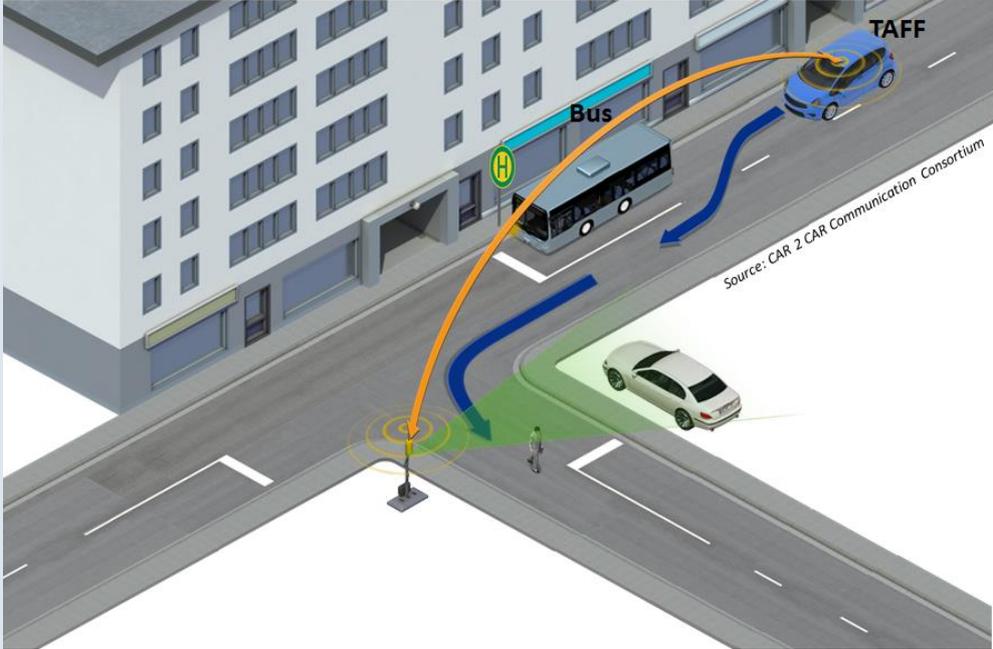
Szenario	Links abbiegen mit verdeckter Sicht
Szenarienskizze	
Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das (teil-)autonom fahrenden Fahrzeug (TAFF) muss einen parkenden Bus überholen und möchte im Anschluss links abbiegen. • Die Sicht in die geplante Abbiegespur ist wiederum durch ein am Straßenrand parkendes Fahrzeug versperrt. • Auf der Fahrbahn befindet sich ein verdecktes Hindernis.
Beobachtbare Auswirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF muss sich um den parkenden Bus schleichen, um ggfs. auf entgegenkommenden Verkehr reagieren zu können. • Während des Abbiegevorgangs erkennt das TAFF das Hindernis auf der Fahrbahn und bleibt auf der Kreuzung stehen. • Das TAFF blockiert den Fahrstreifen.
Aufgabe der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die SIZU erweitert das FoV des TAFF langfristig und „um die Ecke“, also hinein in die abbiegende Fahrbahn.
Beobachtbarer Mehrwert	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF wartet hinter dem parkenden Bus, bis alle Fahrstreifen zum Überholen als auch zum Passieren der Kreuzung frei sind. Im Beispiel ist die Bedingung erfüllt, sobald der dargestellte Fußgänger die Fahrbahn verlässt.

Tabelle 6: Links abbiegen mit verdeckter Sicht

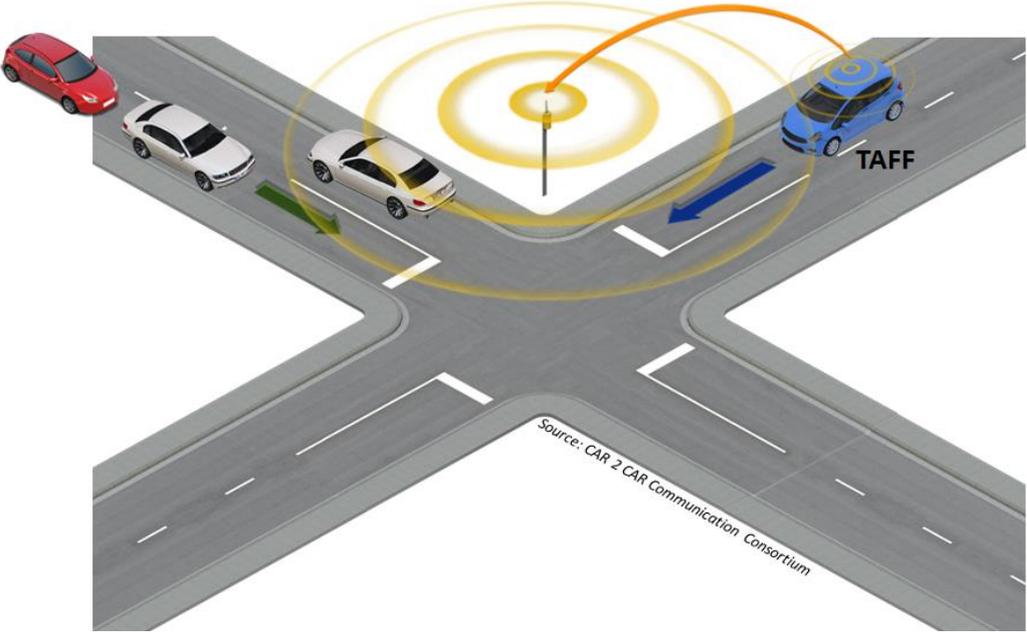
Szenario	Vorfahrt gewähren – rechts vor links
Szenarienskizze	
Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF möchte eine Vorfahrtsstraße passieren. • Die Sicht in die Vorfahrtsstraße wird durch ein parkendes Fahrzeug versperrt.
Beobachtbare Auswirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF muss entweder frühzeitig mit $1,5 \text{ m/s}^2$ verzögern, unabhängig davon ob sich ein Fahrzeug aus der Vorfahrtsstraße heraus annähert, oder • es reagiert kurzfristig mit einer Gefahrenbremsung, was zu einer unkomfortablen Fahrt oder gar einer Gefährdung stehender oder nicht angeschnallter Fahrgäste führen kann.
Aufgabe der Infrastruktura	<ul style="list-style-type: none"> • Die SIZU erweitert das FoV des TAFF weit in die Vorfahrtsstraße hinein.
Beobachtbarer Mehrwert	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF verzögert nur dann frühzeitig komfortabel und sicher seine Geschwindigkeit, sofern auch wirklich ein Fahrzeug aus der Vorfahrtsstraße heraus auf die Kreuzung zufährt. • Falls nicht kann das TAFF mit kontinuierlicher Geschwindigkeit die Kreuzung passieren.

Tabelle 7: Vorfahrt gewähren – rechts vor links

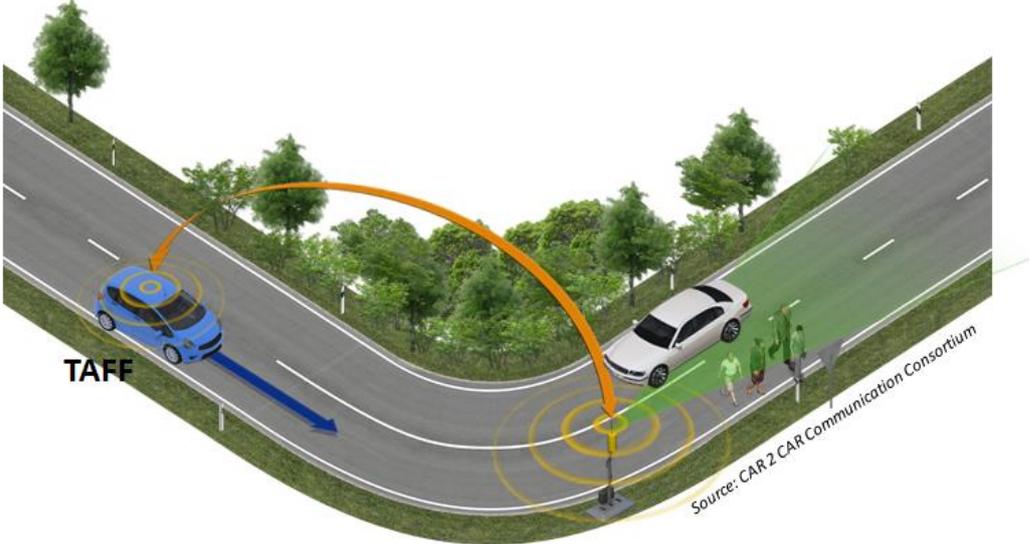
Szenario	Vorfahrtsstraße folgen mit verdeckter Sicht
Szenarienskizze	
Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF folgt einer Vorfahrtsstraße. • Nach der Abbiegung finden sich Hindernisse auf der Fahrbahn. Die Sicht wird wiederum durch parkende Fahrzeuge versperrt.
Beobachtbare Auswirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF muss entweder frühzeitig mit $1,5 \text{ m/s}^2$ verzögern, unabhängig davon ob sich ein Hindernis auf der Fahrbahn befindet, oder • es reagiert kurzfristig mit einer Gefahrenbremsung, was zu einer unkomfortablen Fahrt oder gar einer Gefährdung stehender oder nicht angeschnallter Fahrgäste führen kann.
Aufgabe der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die SIZU erweitert das FoV des TAFF langfristig und „um die Ecke“, also hinein in die abbiegende Fahrbahn.
Beobachtbarer Mehrwert	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF verzögert frühzeitig komfortabel und sicher und stoppt mit definiertem Sicherheitsabstand. Sobald die Fahrbahn frei ist, setzt es seine Fahrt fort.

Tabelle 8: Links abbiegen mit verdeckter Sicht

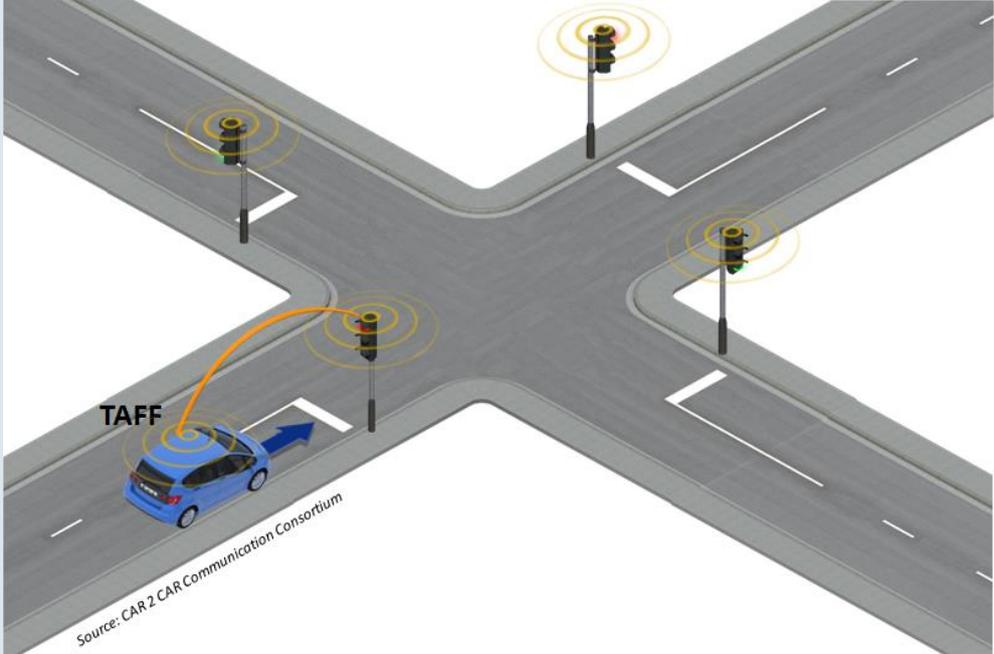
Szenario	Zielbremsung an einer „roten Ampel“
Szenarienskizze	
Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF erkennt die Lichtsignalanlage nicht zuverlässig bei schwierigen Lichtverhältnissen oder an komplexen Kreuzungen mit perspektivischen Täuschungen.
Beobachtbare Auswirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF degradiert in den manuellen Fahrmodus, um eine fehlerhafte Interpretation der Lichtsignalanlage zu vermeiden.
Aufgabe der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die SIZU informiert das TAFF über die derzeitige Phase der Lichtsignalanlage.
Beobachtbarer Mehrwert	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF wartet im teilautomatisierten Betrieb ohne Eingriff vor der „roten Ampel“ und setzt seine Fahrt fort, sobald „grün“ an das Fahrzeug weitergegeben wird.

Tabelle 9: Zielbremsung an einer „roten Ampel“

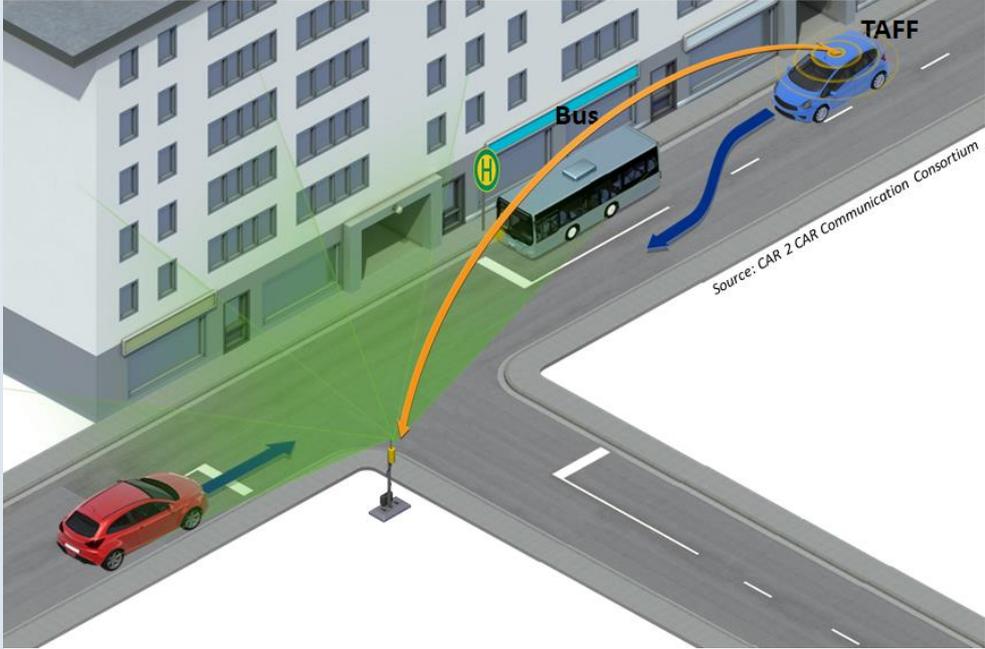
Szenario	Überholen mit Gegenverkehr
Szenarienskizze	
Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF muss einen parkenden Bus überholen. • Die Sicht ist durch ein am Straßenrand parkendes Fahrzeug versperrt. • Gegenverkehr möchte passieren.
Beobachtbare Auswirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF schleicht sich hinter dem parkenden Bus auf die Fahrbahn und versperrt dem Gegenverkehr den Weg oder verharrt hinter dem parkenden Bus und kann seine Fahrt nicht fortsetzen.
Aufgabe der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die SIZU erweitert das FoV des TAFF weit nach vorne am parkenden Bus vorbei.
Beobachtbarer Mehrwert	<ul style="list-style-type: none"> • Das TAFF kennt die Verkehrsobjekte hinter dem Bus und weiß um den Gegenverkehr. Sobald dieser passierte, kann das TAFF seine Fahrt fortsetzen.

Tabelle 10: Links abbiegen mit verdeckter Sicht

3.8.2 AP8200: Aufbau einer Simulationsumgebung

Das AP8200 befasst sich mit dem Aufbau einer geeigneten Simulationsumgebung eines repräsentativen Verkehrsnetzes mit verkehrlicher Infrastruktur. Es wird eine mikroskopische Simulationsumgebung aufgebaut, die alle derzeit vorhandenen Aspekte eines Verkehrsnetzes (Verkehrssteuerung, Verkehrsnachfrage, Verkehrszusammensetzung) in repräsentativer Weise nachbildet. Ziel ist es, eine Basis zu schaffen, die für die Potenzialabschätzung der OTS Shuttles geeignet ist und möglichst allgemeingültige Schlussfolgerungen ermöglicht.

Um die mikroskopische Untersuchung durchzuführen, wird die Software VISSIM von der Firma PTV Group verwendet. VISSIM bietet die Möglichkeit einer dynamischen Umlegung von Fahrzeugen. Das Modul verteilt die simulierten Fahrzeuge automatisch auf die verfügbaren Wege. Vorzugeben sind lediglich eine Quelle-Ziel-Matrix und die den jeweiligen Bezirken zugeordneten Parkplätze. In mehreren Simulationsläufen werden die mittleren Reisezeiten beim Befahren der unterschiedlichen Wege ermittelt und die Verteilung der Fahrzeuge auf den Wegen an die fahrzeugspezifische Gewichtung von Reisezeit, Fahrstrecke und Kosten angepasst. Des Weiteren ermöglicht die COM-Schnittstelle (Component Object Model) die Nutzung einer externen Programmierumgebung. Mit Hilfe der dynamischen Umlegung und der COM Schnittstelle können die Routen für die OTS Shuttles dynamisch optimiert und geändert werden.

Darüber hinaus bietet VISSIM auch die Möglichkeit zur Nachbildung von Kommunikation zwischen Fahrzeugen mit ihrer Umgebung oder mit anderen Verkehrsteilnehmern. Insbesondere kann die Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (V2X) in der Simulationsumgebung abgebildet und getestet werden.

Steuerungsverfahren zur verkehrsabhängigen Programmierung (VAP) können für die Lichtsignalanlagen (LSA) von Einzelknoten und ÖV-Priorisierung bis hin zu komplexen Steuerungssystemen für Teilnetze und anderen Anwendungen genutzt werden. Mit VAP können die programmierbaren verkehrsabhängigen LSA programmiert werden. Während einer PTV VISSIM-Simulation oder eines Testlaufes interpretiert VAP die Programmbefehle und generiert entsprechende Schaltbefehle für die LSA, die im Netz wirksam werden. VisVAP (kurz für „Visual VAP“) ist ein komfortables Werkzeug zur Definition der Programmlogik einer VAP-Signalsteuerung als Flussdiagramm. Tabelle 11 zeigt unterschiedliche OTS-Systemkomponenten mit den entsprechenden Schnittstellen in Simulationsumgebung.

OTS System Funktion	Anwendung	VISSIM-Funktion
Fahrverhalten des OTS Shuttles	Nachbildung des Fahrzeugfolge- und Fahrstreifenwechselverhaltens der OTS Shuttles	Anpassung der Fahrverhaltensparameter
V2X und Infrastruktur Sensorik	Priorisierung der OTS Shuttles an signalisierten Knotenpunkte	Dynamische Umlegung + COM Schnittstelle
Flottenmanagement	Planen, Steuern und Kontrollieren von Fahrzeugflotten. Dabei werden die Routen von OTS Shuttles unter Einbeziehung bestimmter Nebenbedingungen aufeinander abgestimmt, festgelegt und implementiert	Dynamische Umlegung + COM Schnittstelle

Tabelle 11: OTS-Systemkomponenten mit den entsprechenden Schnittstellen in der Simulationsumgebung

3.8.3 AP8300: Simulation des Basisszenarios

Im AP8300 wird das Basisszenario simuliert und kalibriert. Es wird sichergestellt, dass der Null-fall (ohne OTS Shuttles) in geeigneter Weise in der mikroskopischen Verkehrssimulation abgebildet wird. Eine detaillierte Beschreibung zu den Szenarien ist in Kapitel 3.8.5.1 zu finden.

3.8.3.1 Straßennetz

Da für das Quartier Gartenfeld noch keine Verkehrsschätzung verfügbar war, sollte ein fiktives Netz für die Wirkungsanalyse verwendet werden. Um möglichst verallgemeinerbare Aussagen treffen zu können, ohne dass diese Aussagen von regionalen Gegebenheiten abhängen, wird in dieser Studie die Geometrie des Netzes möglichst generisch definiert. Das Netz zur Wirkungsermittlung (siehe Abbildung 50) hat die Größe von 1 km² und besteht aus einer Kombination von Haupt- und Nebenstraßen.

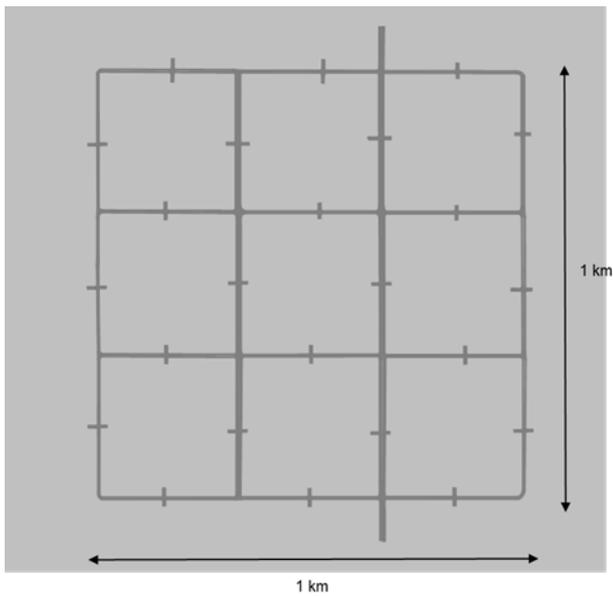


Abbildung 50: Fiktives Netz

Die Hauptstraße weist zwei Fahrstreifen pro Richtung bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf; die Einwohnerstraßen besitzen einen Fahrstreifen pro Richtung bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h. Auf den Einwohnerstraßen sind Überholvorgänge auf dem Fahrstreifen der Gegenrichtung erlaubt.

3.8.3.2 Schätzung des Verkehrsaufkommens

Das Verkehrsaufkommen im Untersuchungsgebiet wird mithilfe der *Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen* [10] unter Berücksichtigung verschiedener Annahmen geschätzt (Abbildung 51).

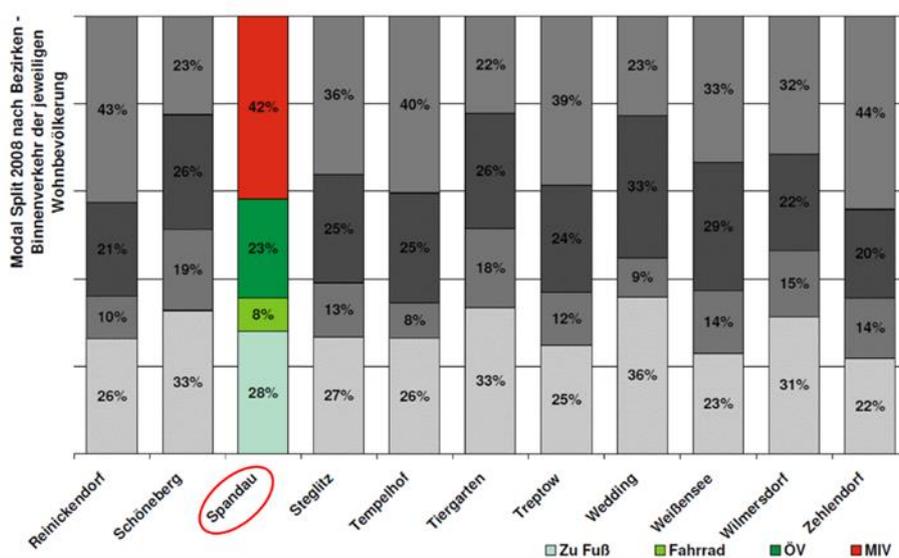


Abbildung 51: Modal Split 2008 nach Bezirken in Berlin [3]

Da der Fokus dieser Studie nicht auf Fußgängern und Fahrradfahrern liegt, werden diese beiden Gruppen nicht betrachtet, sodass 65 % des gesamten Verkehrsaufkommens analysiert werden. Außerdem wird auch die Verkehrsverlagerung (Modal Shift) zwischen zwei Gruppen nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Basierend auf dem Modal Split, werden die Anzahl der Wege für die Morgen- und Abendspitzen berechnet. Tabelle 12 zeigt die Anzahl der Wege, welche nur durch MIV und ÖV nachgefragt werden.

Szenario	Gesamt Verkehrsaufkommen [Weg/Stunde]	Verkehrsaufkommens pro Hausblock je Zugang und Richtung [Weg/Stunde]
Morgenspitze	3040	25
Abendspitze	1915	17

Tabelle 12: Nachfrage für Morgenspitze und Abendspitze

Laut des *Mobilitätssteckbriefes* [11] liegt der Pkw-Besetzungsgrad in Berlin bei 1,3 Personen pro Fahrt, was auch für die Simulation herangezogen wird.

3.8.3.3 Lichtsignalanlage

Die Steuerung der Lichtsignalanlagen erfolgt gemäß den *Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA* [12]. Die *RiLSA* sind grundlegende verkehrstechnische Bestimmungen und Empfehlungen für die Einrichtung und für den Betrieb von LSA.

Die Hauptstraße enthält vier signalisierte Knotenpunkte, die morgens in Richtung Norden und abends in Richtung Süden koordiniert sind. Bei der Koordinierung werden Freigabezeiten hintereinanderliegender Signalisierungsquerschnitte durch geeignete Zeitversätze aufeinander abgestimmt.

Hierbei ist die LSA so gewählt, dass beim Fahren mit der Progressionsgeschwindigkeit von 85 % der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (50 km/h) auf dem Straßenzug jede Ampel in ihrer Grünphase angeht. Dafür wird ein Offset von 27 Sekunden zwischen den Kreuzungen berechnet.

3.8.4 AP8400: Integration der entwickelten Fahrzeug- und Infrastrukturkomponenten

In AP8400 werden zur Abbildung der verkehrlichen Wirksamkeit, die im Rahmen des Projektes entwickelten, fahrzeugseitigen und infrastrukturseitigen Konzepte in die Verkehrssimulation integriert. Die vorhandenen und von den entsprechenden Konsortialpartnern in geeigneter Form bereitgestellten Algorithmen der automatisierten Fahrzeugsteuerung sowie der Leitzentrale und weiterer Infrastrukturkomponenten werden in der Verkehrssimulation nachgebildet.

3.8.4.1 Eigenschaften und Modellierung der OTS Shuttle

Wie im Kapitel 3.8.2 beschrieben, bietet VISSIM die Möglichkeit, unterschiedliche Fahrzeugtypen mit spezifischen, physikalischen und taktischen Fahrverhaltenseigenschaften zu definieren.

Physikalische Aspekte und Sensoren

In die Simulation wird der Fahrzeugtyp OTS Shuttle integriert, welcher in Abbildung 52 zu sehen ist. Der OTS Shuttle besitzt eine Länge von 5 m und eine Breite von 2 m. Außerdem beträgt die maximale Kapazität des OTS Shuttles zehn Personen, welche einem Achtel der Kapazität eines herkömmlichen Busses, mit einer Kapazität von 80 Personen, entspricht.

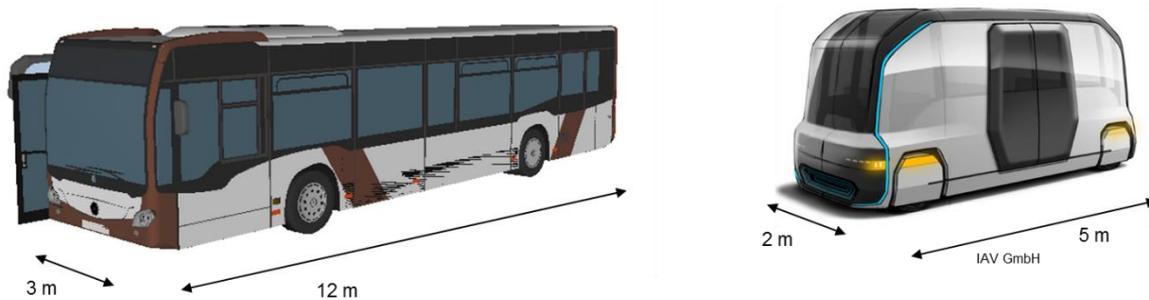


Abbildung 52: Dimensionen des OTS Shuttles (rechts)

Weiterhin sind die verfügbaren Fahrzeugsensoren in der folgenden Tabelle 13 dargestellt:

Sensor	Vorne	Reichweite	Hinten	Reichweite	Seite	Reichweite
Ultraschall	6	< 3 m	6	3 m	2	3 m
LIDAR	3	100 m	3	100 m	2	100 m
Radar	3	150 m	-	150 m	2	30 m

Tabelle 13: Anzahl und Reichweite der Sensoren im OTS Shuttle

Folgefahrverhalten

Für das Fahrverhaltensmodell wird von der VISSIM Software das Fahrzeugfolgemodell nach Wiedemann benutzt. In der Tabelle 14 sind die mit den Projektpartnern abgestimmten Verhaltensparameter wiedergegeben. Die Parameter für das Fahrverhalten des normalen Busses stammen aus den Standard VISSIM Parametern und werden so wiederverwendet.

Parameter	Definition	Normaler Bus	OTS Shuttle
Vorausschauweite in Metern [min, max]	Minimale und maximale Entfernung, die ein Fahrzeug nach vorne schauen kann	[0 , 250] m	[0 , 750] m
Vorausschauweite in Fahrzeugen	Anzahl der Vorderfahrzeuge, die ein Fahrzeug nach vorne schauen kann.	4 Fz	10 Fz
Mittlerer Stillstandsabstand	Definiert die mittlere Wunschkonzanz zwischen zwei Fahrzeugen	2 m	1,5 m
Additiver Einfluss Sicherheitsabstand	Wert für die Ermittlung des Wunschsicherheitsabstandes. Ermöglicht die Anpassung von Zeitbedarfswerten.	2	3,2
Multiplikativer Einfluss Sicherheitsabstand	Wert für die Ermittlung des Wunschsicherheitsabstandes. Größerer Wert = größere Standardabweichung	3	0

Tabelle 14: Parametertabelle Fahrzeugfolgeverhalten

Geschwindigkeit

In VISSIM werden stochastische Verteilungen für die Wunschgeschwindigkeit von Fahrzeugen definiert. Die Wunschgeschwindigkeit ist jene Geschwindigkeit, mit der ein Fahrer fahren würde, wenn er nicht durch andere Fahrzeuge oder Netzobjekte wie beispielsweise Signalanlagen oder Stoppschilder daran gehindert würde. Dies gilt entsprechend für Fußgänger.

Während sich OTS Shuttles an die Richtgeschwindigkeit bzw. an die zulässige Geschwindigkeit halten, gibt es für jeden einzelnen menschlichen Fahrer eine individuelle Wunschgeschwindigkeit, wodurch Unterschiede zwischen den Fahrern auftreten.

Beschleunigung und Verzögerung

Bezüglich der Beschleunigung ist anzumerken, dass Elektroautos in der Lage sind, stärker als normale Busse zu beschleunigen und zu verzögern. Aus diesem Grund sind die Werte der Wunschbeschleunigung und -verzögerung der OTS Shuttles höher als jene von normalen Bussen definiert. Die Werte für die maximale Beschleunigung und Verzögerung sind allerdings für beide Arten der Busse gleich gewählt, da sich diese auf den Komfort auswirken.

3.8.4.2 Modellierung des Flottenmanagements

Methoden für das Flottenmanagement werden im Rahmen des OTS Projekts nicht entwickelt. Aus diesem Grund wird hier ein Konzept für die Simulationsuntersuchung entwickelt, welches mit den OTS Partnern abgestimmt wurde.

Für das Flottenmanagement wird ein kapazitätsbeschränktes Tourenplanungsproblem mit Zeitvorgabe für den Einsatz der Fahrzeuge definiert. Das sogenannte kapazitätsbeschränkte Vehicle Routing Problem (CVRP) ist eine Variante des Vehicle Routing Problems (VRP), bei welcher sämtliche Transporter die gleiche Kapazität besitzen [13]. Beim VRP mit Zeitfenstern (VRPTW) ist für jeden Auftrag ein Zeitintervall gegeben, innerhalb dessen der Auftrag ausgeführt werden muss (Ankunft des Shuttles beim zum Auftrag gehörenden Kunden) [14, 15]. In dieser Studie lässt sich das Problem durch ein kapazitätsbeschränktes Vehicle Routing Problem mit Zeitfenstern (CVRPTW) charakterisieren, in welchem die OTS Shuttles nur über eine begrenzte Kapazität verfügen und dabei berücksichtigen, dass Kunden nur in einem bestimmten Zeitfenster bedient werden können.

Wie in Abbildung 53 zu sehen ist, wurden die Nachfragen durch eine Fußgängersimulation generiert. Danach werden durch die Flottenmanagementzentrale die Nachfragen und die verfügbaren Fahrzeuge analysiert und basierend auf einem Optimierungsalgorithmus, der mit Hilfe von Google OR Tools in Python implementiert wurde, wird die Tourenplanung durchgeführt. Letztlich werden somit die optimierten Routen in der Simulation implementiert.

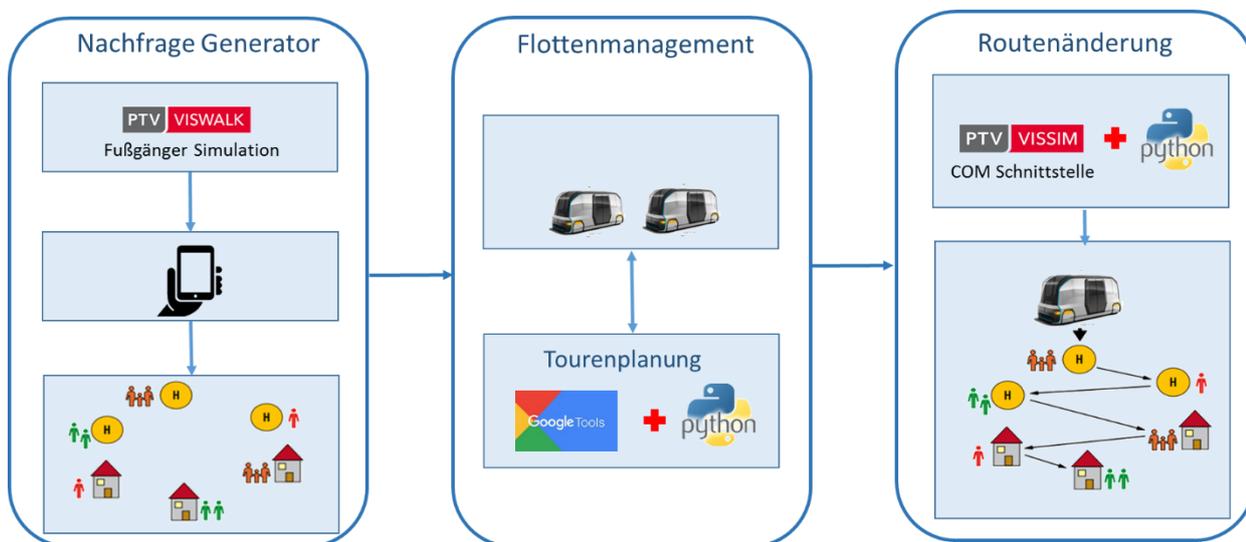


Abbildung 53: Flottenmanagement und mögliche Fahrtdurchführung

Hierbei ist zu erwähnen, dass in dieser Studie die Fahrten zur Ladestation nicht betrachtet werden und angenommen wird, dass die Fahrzeuge während ihres Wartens auf eine Nachfrage im Mobility Hub aufgeladen werden.

3.8.4.3 Modellierung der OTS Shuttle Priorisierung

Die Entwicklung einer Priorisierung des OTS Shuttles an Lichtsignalanlagen ist nicht Inhalt des OTS 1.0 Projekts. Deswegen werden für die Simulation diesbezüglich Annahmen getroffen, welche mit den Projektpartnern abgestimmt worden sind.

Die Priorisierung der Shuttle-Busse gegenüber dem Individualverkehr ist aus der Annahme motiviert, dass in der gleichen Zeit einer Ampelgrünphase in OTS Shuttles mehr Menschen befördert werden können als in den Individualfahrzeugen. Als Nebeneffekt kann davon ausgegangen werden, dass die

OTS Shuttles schnellere Durchlaufzeiten und eine höhere Fahrplentreue erreichen, wodurch die Attraktivität des Angebots steigt. Dies entspricht gängiger Praxis in der ÖPNV-Bevorrechtigung.

3.8.5 AP8500: Simulation und Analyse des Zukunftsszenarios

Das AP8500 beinhaltet die Untersuchung des Einflusses von autonomen Shuttles in unterschiedlichen Untersuchungsszenarien in der Simulation. Basierend auf den Ergebnissen der Simulationen können Handlungserfordernisse für die zukünftige Gestaltung des urbanen Raums sowie fahrzeugseitige und infrastrukturseitige Steuerungskomponenten abgeleitet werden.

3.8.5.1 Szenarien

Für die Simulationsstudie werden Szenarien festgelegt, mit deren Hilfe Auswirkungen der unterschiedlichen Ausprägung des OTS-Systems ermittelt werden können. Für jedes Szenario werden zwei unterschiedliche Simulationsszenarien mit einem Zeitraum von jeweils 90 Minuten durchgeführt:

1. Morgenspitze: Abholen der Einwohner und Transfer zum Mobility Hub
2. Abendspitze: Verteilen der Einwohner auf ihre Häuser

Des Weiteren werden Simulationen mit unterschiedlichen Ausprägungen des OTS-Systems (Betrieb) durchgeführt und mit dem Basisszenario verglichen. Um den Einfluss der unterschiedlichen Ausprägungen für das OTS System zu prüfen, werden drei verschiedene Zukunftsszenarien definiert. Zusammenfassend lassen sich die möglichen Szenarien zur Flexibilisierung in folgender Tabelle 15 darstellen:

Szenario	Fahrzeug	% von der Nachfrage	Route	Haltestelle	Zeitplan
Basisszenario	Nur MIV	65%	-	-	-
Basisszenario Plus	MIV + Bus	42% + 23%	Fest	Fest	Fest
Zukunftsszenario 1	OTS Shuttle	65%	Fest	Fest	Fest
Zukunftsszenario 2	OTS Shuttle	65%	Fest	Fest	Flexibel
Zukunftsszenario 3	OTS Shuttle	65%	Flexibel	Flexibel	Flexibel

Tabelle 15: Das OTS Shuttlesystem in den verschiedenen Szenarien

3.8.5.2 Auswertungsindikatoren

Generell gilt es bei der Auswertung, die transformierten Kenngrößen aus den Simulationsdaten jedes Szenarios mit den anderen Szenarien zu vergleichen und die Abweichungen zu untersuchen. Hierzu wird ein Auswertungstool entwickelt, in dem die Ausgabedaten der Simulation weiterverarbeitet werden. Die aus den Simulationsergebnissen resultierenden Informationen stehen in Form von Protokolldateien zur Verfügung. Dabei handelt es sich je Szenario um zwei Log-Dateien, wobei eine den Fahrtverlauf der Fahrzeuge beschreibt und die zweite den Fahrtverlauf der Fußgänger wiedergibt. Das Auswertungstool berechnet die vordefinierten Auswertungsindikatoren aus den Protokolldateien. Abbildung 54 zeigt die Struktur der Auswertung.

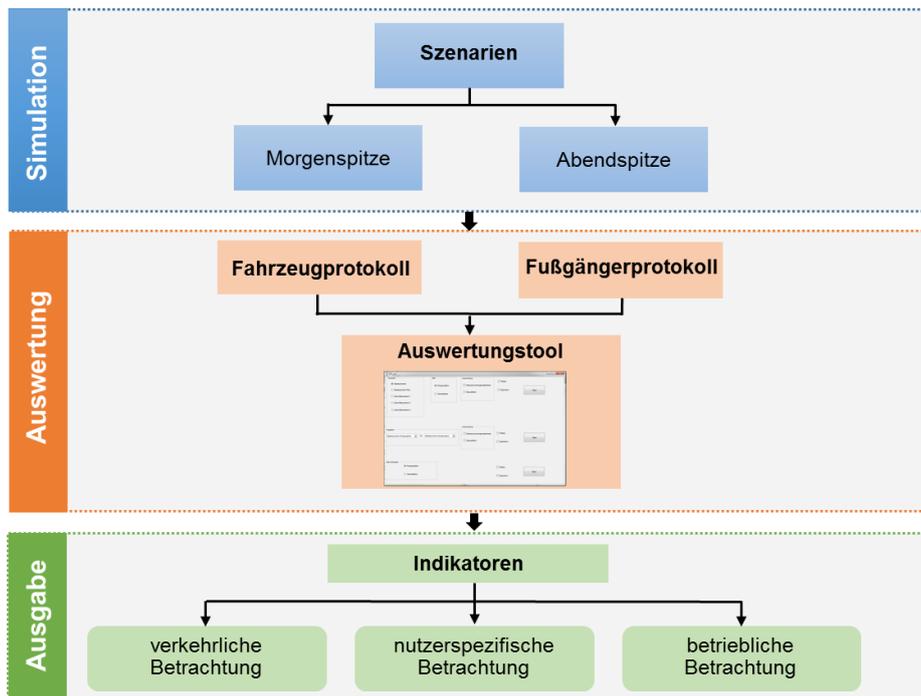


Abbildung 54: Struktur der Auswertung

Die Bewertungsindikatoren werden in drei Kategorien eingeteilt: 1) Verkehrliche Betrachtung 2) nutzerspezifische Betrachtung und 3) betriebliche Betrachtung.

3.8.5.3 Simulationsergebnisse

Verkehrliche Betrachtung

Die verkehrliche Betrachtung ist jeweils für unterschiedliche Szenarien für die Morgenspitze und für die Abendspitze in Abbildung 55 bis Abbildung 59 abgebildet. Die Werte, welche bei Zukunftsszenario 2 in Klammern dargestellt sind, repräsentieren die Anzahl der Anfragen, die gebündelt wurden. Aus den Plots geht hervor, dass im Zukunftsszenario 1 die mittlere Verlustzeit pro Fahrzeug deutlich geringer als im Basisszenario und Basisszenario Plus ist. Allerdings ist ebenso ersichtlich, dass die Flexibilisierung des Zeitplans nur zu einem nicht wesentlichen Unterschied führt. Je mehr Fahrzeuge eingesetzt werden, desto voller ist das Netz, wodurch die Fahrzeuge mehr Zeit verlieren. Außerdem geht aus den Plots hervor, dass sowohl während der Morgenspitze als auch während der Abendspitze die Werte bezüglich der mittleren Verlustzeit pro Fahrzeug im Vergleich zu Zukunftsszenario 1 und Zukunftsszenario 2 (mit hinreichender Fahrgastanzahl größer als 4) höher sind. Ein möglicher Grund dafür könnte die Priorisierung der Shuttle-Busse sein. In Zukunftsszenario 1 und 2, in welchen die Shuttles definierte Routen abfahren, fahren die Shuttles nur aus bestimmten Richtungen auf die Kreuzungen zu, weshalb die Priorisierung ziemlich gut funktioniert. Im Gegensatz dazu fahren die Shuttles in Zukunftsszenario 3, in welchem keine festen Routen definiert sind, aus allen vier Richtungen auf die Kreuzungen zu, weshalb einige Shuttles an den Kreuzungen anhalten müssen. In Zukunftsszenario 3 benötigt die Flottenmanagementzentrale deutlich mehr Shuttles. Außerdem ist die Anzahl der Touren, welche die Shuttles absolvieren höher. Die genauen Werte sind in Abbildung 55 in dunkelblauer Schrift zu entnehmen.

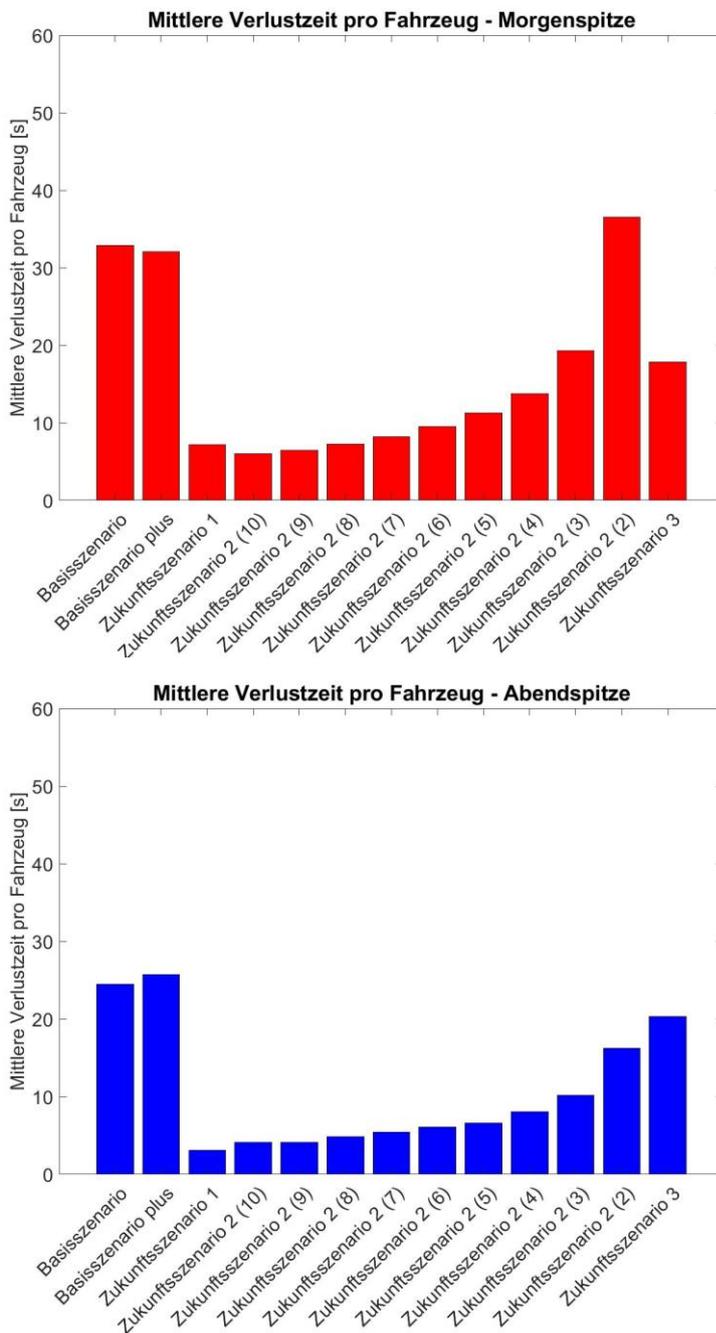


Abbildung 55: Mittlere Verlustzeit pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien

Obwohl die durchschnittliche Verlustzeit im Zukunftsszenario 3 in der Abendspitze bei Berücksichtigung aller Fahrzeugtypen ansteigt, geht aus einer getrennten Analyse der Fahrzeugtypen hervor, dass die Erhöhung der mittleren Gesamtverlustzeit ausschließlich auf MIV zurückzuführen ist. Vielmehr wird bei der separaten Analyse der Fahrzeugtypen (Abbildung 56) ersichtlich, dass die OTS Shuttles im Durchschnitt im Vergleich zum Zukunftsszenario 2 deutlich weniger Zeit verlieren.

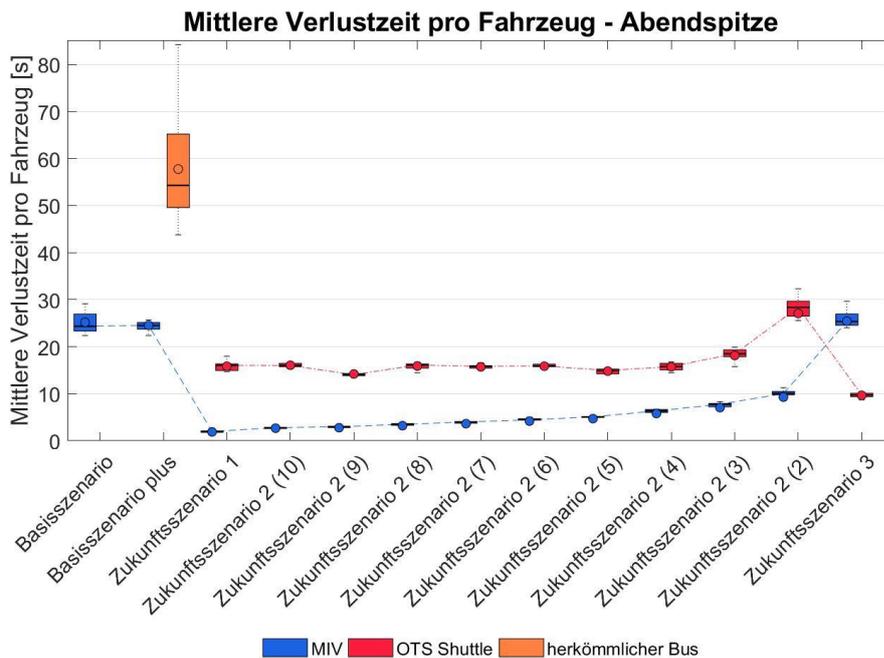
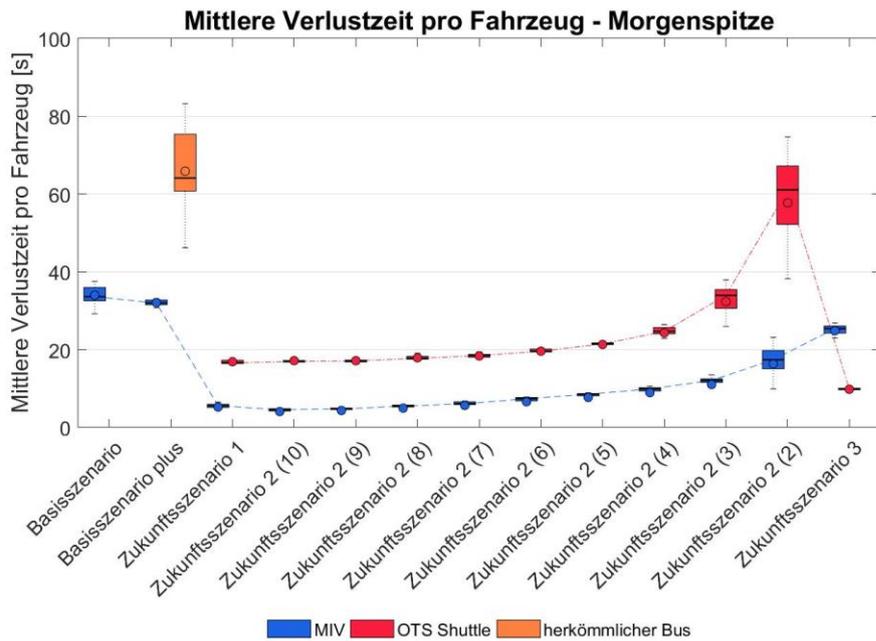


Abbildung 56: Mittlere Verlustzeit pro Fahrzeugtyp in unterschiedlichen Szenarien

Abbildung 57 stellt die mittlere Standzeit pro Fahrzeug dar. Wie in den Diagrammen zu sehen ist, reduziert sich mit dem Verbot der MIV in den Anliegerstraßen bei gleichzeitiger Bedienung der Nachfrage mit den OTS Shuttle Bussen die Standzeit.

In der Abbildung ist für das Zukunftsszenario 3 die im Vergleich zu Zukunftsszenario 1 und Zukunftsszenario 2 erhöhte mittlere Verlustzeit zu sehen. Des Weiteren sind signifikante Unterschiede zwischen der Morgenspitze und Abendspitze erkennbar was durch zwei Faktoren begründet werden kann. Zum

einen ist die Nachfrage während der Morgenspitze höher als jene während der Abendspitze. Zum anderen werden morgens die Fahrgäste über das gesamte Netz verteilt gesammelt, um anschließend zum Mobility Hub gebracht zu werden, sodass eine Konzentration des Verkehrsaufkommens auftritt. Bei den Nachfragen während der Abendspitze, wo die Fahrgäste am Mobility Hub ankommen, um mit den Shuttles im Netz verteilt zu werden, tritt diese Bündelung hingegen nicht auf.

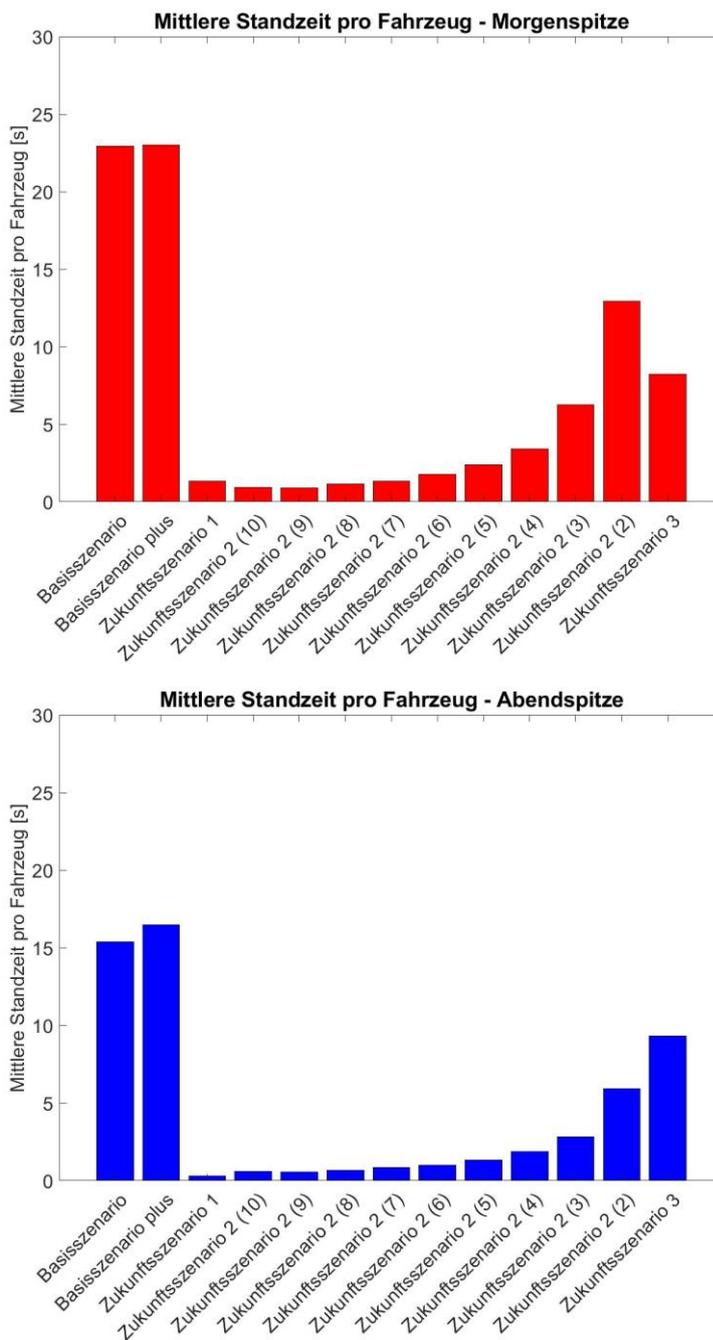


Abbildung 57: Mittlere Standzeit pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien

Die gleiche qualitative Aussage gilt ebenso für die mittlere Anzahl der Halte pro Fahrzeug, wie in Abbildung 58 zu sehen.

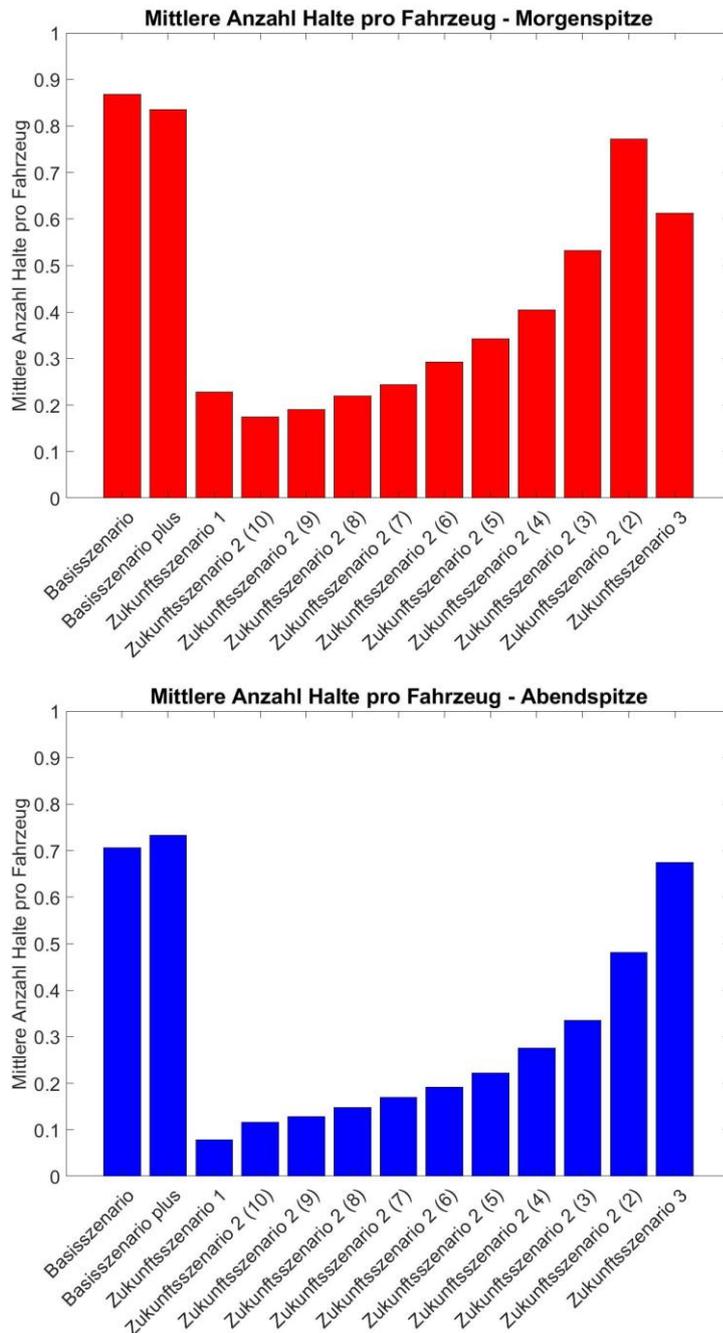


Abbildung 58: Mittlere Anzahl der Halte pro Fahrzeug in unterschiedlichen Szenarien

Wie aus Abbildung 59 hervor geht, ist die mittlere Geschwindigkeit in den Zukunftsszenarien höher als in den Basisszenarien. Ebenso ist erkennbar, dass sich eine stärkere Bündelung der Nachfrage positiv auf die mittlere Geschwindigkeit auswirkt, da somit auf weniger Shuttles zurückgegriffen wird. Allerdings ist der Abfall der mittleren Geschwindigkeit bei Reduzierung der Bündelung weniger stark aus-

geprägt als der Unterschied zwischen den Basisszenarien und den Zukunftsszenarien. Im Zukunftsszenario 3 ist die mittlere Geschwindigkeit höher als jene im Basisszenario und im Basisszenario plus. Allerdings ist der Wert kleiner als der Wert der mittleren Geschwindigkeit für das Zukunftsszenario 1 und Zukunftsszenario 2.

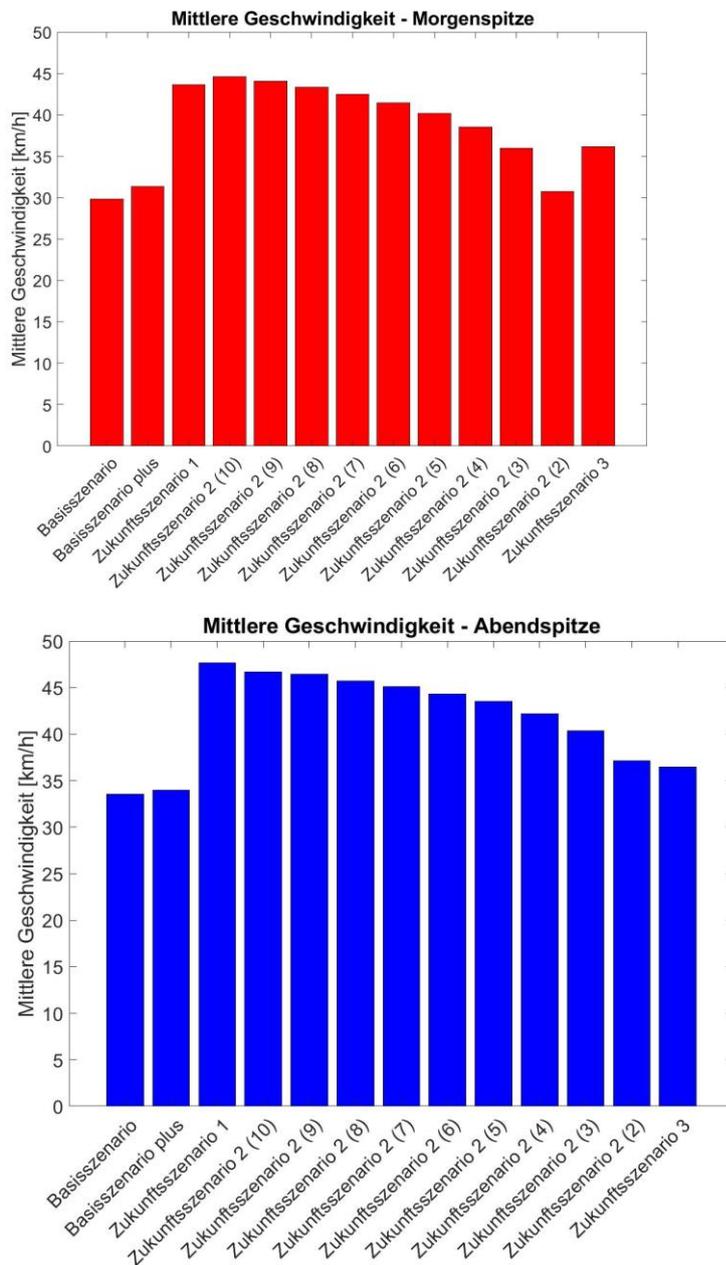


Abbildung 59: Mittlere Geschwindigkeit in unterschiedlichen Szenarien

Eine umfassendere Darstellung aller Ergebnisse wird in einen separaten Bericht beschrieben [9].

Betriebliche- und Nutzerspezifische Betrachtung

Die folgenden Diagramme in Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen die Mittelwerte der Laufzeit, der Fahrzeit als auch der Wartezeit für ÖV Nutzer in jedem der Szenarien für die Morgen- und Abendspitze.

Die in schwarz dargestellten Werte geben den Busbelegungsgrad an, wobei jene Werte in roter Schrift die Anzahl der nötigen Busse darstellen. Die Zahlen in dunkelblauer Schrift repräsentieren die Gesamtanzahl der Touren. Wie in den Diagrammen erkennbar ist, sind im Basisszenario mit herkömmlichen Bussen die Busse relativ stark unausgelastet, sodass die Buskapazität nicht effizient ausgeschöpft ist. Bereits durch das Austauschen der Busse durch OTS Shuttle Busse kann die Wartezeit deutlich reduziert werden.

Wie erwartet sind mit den kleineren OTS Bussen insgesamt mehr Busse nötig um die Servicequalität mit den gesetzten Bedingungen zu halten. Durch die Erhöhung der Anzahl der eingesetzten Busse reduziert sich die mittlere Wartezeit. Allerdings hat dies zu Folge, dass dadurch das Netz eine höhere Auslastung hat, sodass sich die Fahrzeit erhöht. Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die Erhöhung der Busanzahl nicht lohnt, da die damit einhergehende Verbesserung aufgrund der beschriebenen Aspekte lediglich im Bereich von wenigen Sekunden liegt.

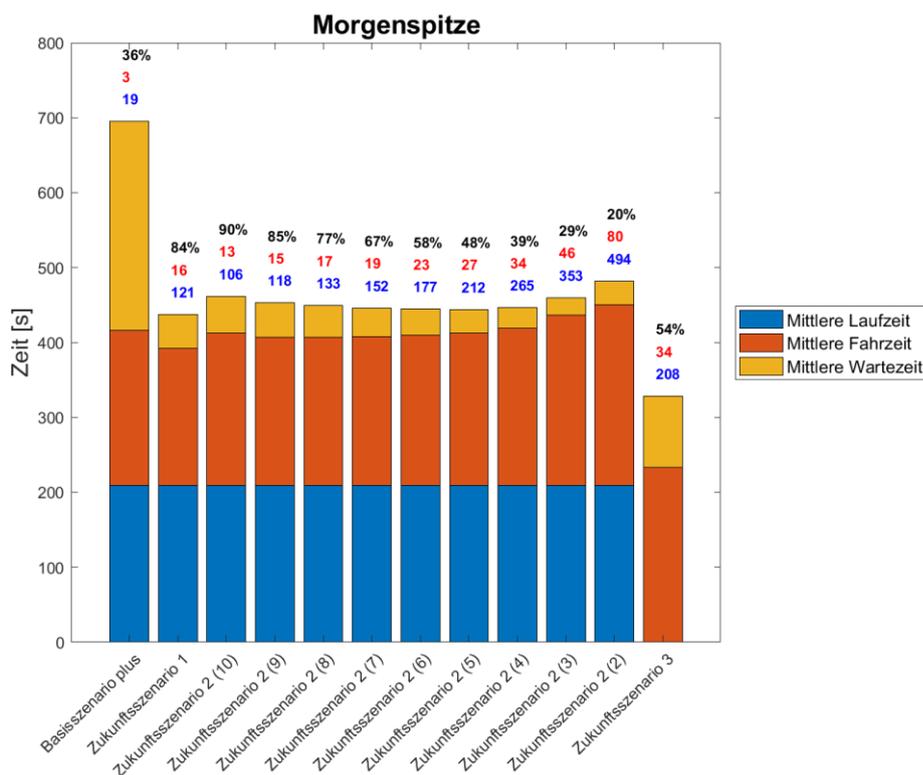


Abbildung 60: Betriebliche- und Nutzerspezifische Indikatoren für die Morgenspitze

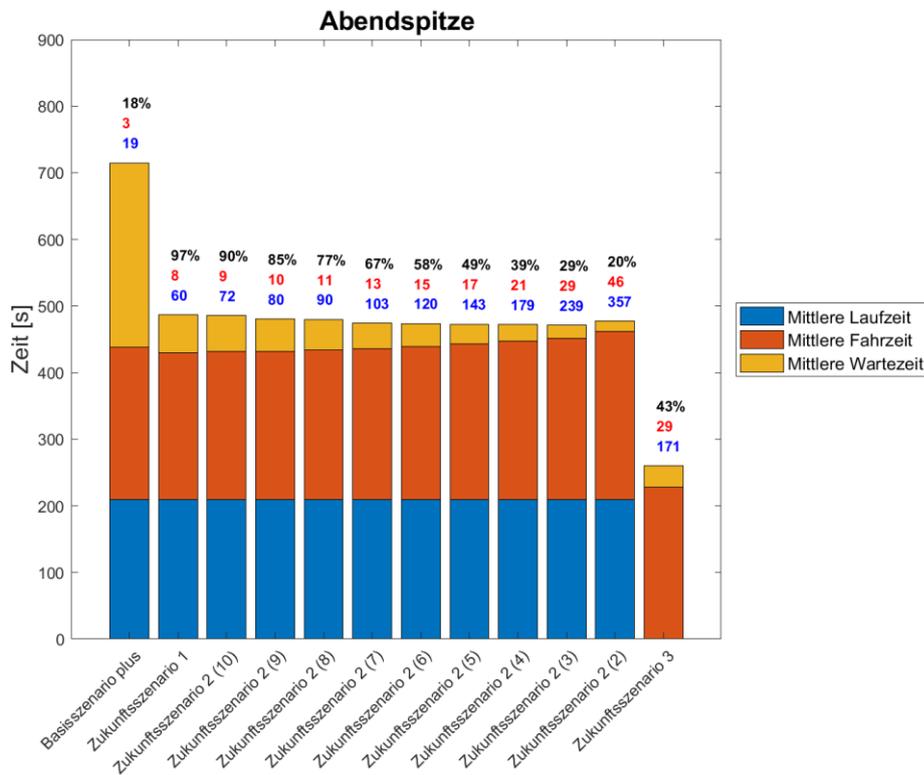


Abbildung 61: Betriebliche- und Nutzerspezifische Indikatoren für die Abendspitze

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Zukunftsszenario 3 und den anderen Szenarien ist die von den Fahrgästen benötigte Zeit, um die Haltestellen zu erreichen. In Zukunftsszenario 3, in welchem die Passagiere an ihrer Haustür abgeholt wurden, konnte die Gesamtzeit, die von den Nutzern für das Erreichen ihres Fahrziels benötigt wurde, ungefähr halbiert werden. Auf der anderen Seite sind dafür mehr Shuttles erforderlich, um die Passagiere innerhalb der definierten zeitlichen Nebenbedingungen einen Service mit diesem Maß an Flexibilität zu bieten.

3.8.5.4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Simulationsergebnisse zeigen Vorteile der On-Demand-OTS-Shuttles gegenüber dem MIV auf. Stau wird durch ein Shuttle-System nahezu vollständig eliminiert, da der Wegfall von Privatfahrzeugen sowohl mit einem deutlich besseren Verkehrsfluss, als auch mit insgesamt weniger gefahrenen Kilometern, bei gleichzeitig höherer Flexibilität einhergeht. Das System mit flexiblen Routen (Door-to-Door Konzept), liefert dabei die besten Ergebnisse für die Kunden, da hier die Laufzeit wegfällt und sich auch die Wartezeit durch die angepassten Routen verringert. Allerdings sind die Ergebnisse in dieser Studie auf die Spitzenzeiten und spezifischen Einstellungen des Systems, sowie der maximal zulässigen Wartezeit beschränkt.

Vor der realen Implementierung des OTS-Systems ist eine detailliertere Entwicklung des Flottenmanagementkonzepts erforderlich. In dieser Studie, wurde für die Simulation die Annahme einer ausreichenden Verfügbarkeit von Shuttles getroffen. In der Realität weist jedoch die Anzahl der Shuttles eine

positive Korrelation mit den Kosten des Systems auf, weshalb diesbezüglich eine detailliertere Zielfunktion, über welche die Anzahl der Shuttles optimiert werden sollte, zu definieren ist.

3.8.5.5 Simulationsergebnisse für Gartenfeld

In diesem Kapitel werden die Simulationsergebnisse des Zukunftsszenarios bzw. der Einfluss des OTS-Systems mit den Handlungserfordernissen für das vorgesehene Netz Gartenfeld (Abbildung 62) beschrieben. Ein Hauptziel der Gebietsentwicklung ist die Schaffung von autoarmen Wohnquartieren. Weitere Informationen zum Gartenfeld Gebiet sind im Kapitel 3.9 zu finden.

Die verkehrliche Untersuchung für Gartenfeld wurde durch KG Argus GmbH unter Auftrag der UTB Projektmanagement GmbH durchgeführt. Dabei wurde das Verkehrsaufkommen für die vorgesehene Gebietsentwicklung ermittelt [1]. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden für die Prognose des Durchgangsverkehrs auf der Insel Gartenfeld Abschätzungen der Verkehrsmenge, als auch deren räumliche Verteilung durchgeführt [1]. Die Daten wurden als Basis der Simulation des Netzes Gartenfeld verwendet und in VISSIM implementiert.

Ein Hauptziel der Gebietsentwicklung ist die Schaffung von autoarmen Wohnquartieren. Der ruhende Verkehr soll in Parkhäusern (Mobility-Hubs) gebündelt werden, wobei die Personen mit on-Demand Shuttle Bussen transportiert werden sollen. Für die Abschätzung der Lage zukünftiger Haltestellen als auch der Nachfrage an den Haltepunkten, werden Annahmen der Berechnungen aus dem Bericht von LK Argus GmbH [1] verwendet. Als Linienbetrieb wird hierbei ein fixer Linienbetrieb mit flexiblem Zeitplan betrachtet. Zwei Linien und 18 feste Haltestellen wurden für die OTS Shuttles definiert. Da allerdings das detaillierte Mobilitätskonzept für das Gebiet noch nicht vorhanden ist, wurden TUM-seitig Annahmen bezüglich des Einsatzes der OTS Shuttles getroffen. Hierbei bündelt eine Flottenmanagementzentrale im Allgemeinen mindestens neun Anfragen. Davon abgewichen wird nur, wenn der Zeitpunkt nachdem die erste Anfrage registriert wurde bereits über zwei Minuten zurückliegt. Der Grund, weshalb hierbei auf die Wartezeit eingegangen wird, ist dass sich die zulässige Wartezeit von zwei Minuten direkt auf die Angebotsqualität auswirkt. Wird dieser Wert für einen Fahrgast überschritten, muss der Bus losfahren, unabhängig davon wie viele Fahrgäste sich in diesem Bus befinden, bzw. auf den Bus warten.



Abbildung 62: Simulation des Gartenfeld Netzes

In der Verkehrssimulation wird sowohl die Morgen- als auch die Abendspitze jeweils über eine Stunde mit einer Vorlaufzeit von 30 Minuten simuliert. Die mittlere Fahrzeit ebenso wie die mittlere Wartezeit der Fahrgäste aus der Morgen- und Abendspitze sind in Tabelle 16 angezeigt. Die OTS Shuttles weisen einen Busbesetzungsgrad von 73 % in der Morgenspitze und 91 % in der Abendspitze auf. Für diesen Service, braucht der Betreiber sieben OTS Shuttles in der Morgenspitze und acht OTS Shuttles während der Abendspitze.

Indikatoren	Morgenspitze	Abendspitze
Busbesetzungsgrad	73%	91%
Busfahrzeit - Mittelwert [s]	420	462
Takt - Mittelwert [s]	53	57
Mittlere Fahrzeit mit dem Bus [s]	277	206
Wartezeit - Mittelwert [s]	81	87
Wartezeit - Standardabweichung [s]	9	19
Anzahl der Runden	63	68
Anzahl der Busse	8	7

Tabelle 16: Simulationsergebnisse für Gartenfeld

Diesen Werten liegen viele Annahmen zu Grunde, die aus einem frühen Stadium der Gartenfeld-Entwicklung mit relativ vielen Unbekannten resultieren. Für die praktische Umsetzung dieses Systems sollte eine detailliertere Studie durchgeführt werden.

3.9 AP9000: Kommunikation und städtebauliche Integration (Siemens, UTB)

Trotz der vielfältigen Chancen, die das autonome Fahren in Zukunft bieten kann, mangelt es der neuen Technologie zurzeit noch an Vertrauen und nutzerseitiger Akzeptanz für eine flächendeckende Implementierung. Da das autonome Fahren den Verkehr und das Mobilitätsverhalten eines jeden Einzelnen verändern wird, ist es für die flächendeckende Anwendung der Technologie entscheidend, die Gesellschaft in den Implementierungsprozess einzubeziehen. Einen Beitrag dazu soll das AP9000: Kommunikation und städtische Integration leisten, im Zuge dessen Akzeptanzbedingungen für die Erprobung selbstfahrender Elektrobusse als Dienstleister im Personennahverkehr inkl. der benötigten sensorischen Infrastruktur in dem neu entstehenden Stadtquartier Gartenfeld identifiziert werden. Diese Erkenntnisse sollen als Grundlage für die nutzergerechte Ausgestaltung der Konzeption dienen

und in die Entwicklung von akzeptanzfördernden Kommunikations- und Vermarktungsstrategien einfließen. Darüber hinaus können die Erkenntnisse bedingt auf andere Implementierungsprojekte in vergleichbaren Stadtquartieren übertragen werden.

3.9.1 Gartenfeld – Lage und Entwicklung

Das als Erprobungsraum für die autonomen Fahrzeuge geplante Gebiet Gartenfeld liegt am westlichen Stadtrand Berlins im Ortsteil Siemensstadt des Bezirks Spandau und wird vollständig vom Berlin-Spandauer-Schifffahrtskanal – ehemals Hohenzollernkanal – und dem Alten Berlin-Spandauer-Schifffahrtskanal umschlossen, weshalb das Gebiet auch als „Insel Gartenfeld“ bezeichnet wird.

Auf der Insel Gartenfeld schrieb das Unternehmen Siemens Industriegeschichte, als es mit der Verlagerung seine Kabelproduktion 1911 die wirtschaftlich-gewerbliche Nutzung der Insel einleitete. Im Laufe der Jahre entstand in Gartenfeld der – zu dieser Zeit – größte zusammenhängende Hallenkomplex Europas, u. a. mit dem heute als Baudenkmal ausgewiesenen Kabel- und Metallwerk – der sog. Belgien- oder Valenciennes-Halle. Zur Anbindung der um Gartenfeld errichteten Wohnsiedlungen der Siemens-Arbeiter an die Siemenswerke sowie Stadt- und Ringbahn wurde in den Jahren 1927 bis 1929 die Siemensbahn zwischen Jungfernheide-Siemensstadt-Gartenfeld gebaut. Nach dem Zweiten Weltkrieg nahm die Bedeutung Gartenfelds als Siemens-Industriestandort ab, der Zugverkehr der Siemensbahn wurde 1980 eingestellt und im Jahr 2002 das Siemens-Kabelwerk sowie 2011 das Bosch-Siemens-Hausgerätekwerk endgültig stillgelegt. Mit dem Wegzug der Zentrale und der Schließung der Fabriken verlor die als Arbeiterwohnstadt für die Siemens-Beschäftigten erbaute Siemensstadt ihr funktionales Zentrum, das bis heute fehlt – das Gebiet wird aktuell durch gewerbliche Betriebe, hauptsächlich für Lagerhaltung oder Logistik, genutzt.

Nach verschiedenen Überlegungen zu neuen Nutzungsperspektiven für die Insel wurde im Jahr 2016 mit den neuen Eigentümern der Insel Gartenfeld mit der Entwicklung eines gemischt genutzten Stadtquartiers für Wohnen und Arbeiten mit sozialen Infrastruktur- und lokalen Versorgungseinrichtungen sowie Sicherung und Qualifizierung der bestehenden gewerblichen Nutzungen im südlichen Bereich begonnen. Im Hinblick auf die aktuellen Entwicklungen und Planungen im Nordwesten Berlins, bspw. die geplante Schließung des Flughafens Berlin-Tegel und die anschließende Umgestaltung zum Forschungs- und Industriepark „Urban Tech Republic“, wird auch für die Insel Gartenfeld eine zukunftsweisende Entwicklung mit der Schaffung eines modernen Stadtquartiers für die Erprobung innovativer Technologien im Rahmen eines digitalisierten und integrierten Städtebaus und Infrastrukturnetzes angestrebt. Das ca. 60 ha große Plangebiet, auf dem das neue Stadtquartier Gartenfeld entstehen soll, umfasst nicht die gesamte Insel Gartenfeld, sondern nur die Fläche zwischen dem Berlin-Spandauer-Schifffahrtskanal und dem Alten Berlin-Spandauer-Schifffahrtskanal westlich der Gartenfelder Straße.

Für das Erschließungskonzept bestehen bislang verschiedene Varianten, das Plangebiet sowohl im Inneren optimaler zu erschließen als auch übergeordnet besser anzubinden. Insgesamt soll das neue Stadtquartier Gartenfeld im Sinne des Leitbilds „Stadt der kurzen Wege“ durch Dichte und Nutzungsmischung eine optimale Voraussetzung für eine auf den Rad- und Fußgängerverkehr ausgerichtete Erschließung aufweisen, die den motorisierten Individualverkehr überflüssig macht. Die überörtliche Anbindung des Quartiers an den ÖPNV soll voraussichtlich durch eine Verlängerung der Tram-Trasse von der heutigen Straßenbahnwendestelle Seestraße in Ost-West-Richtung erreicht werden. Da der Zeithorizont für die Detailplanung und Realisierung dieser Konzepte langfristig ist, wird eine kurzfristi-

ge experimentelle Lösung mit selbstfahrenden Elektrobussen zur Deckung der Versorgungslücke im Erschließungsnetz verfolgt, wofür das OTS-Projekt einen wesentlichen Beitrag leisten soll.

3.9.2 Besondere Eignung des Gartenfelds für die Umsetzung des OTS-Projekts

Das Neue Gartenfeld eignet sich aus verschiedenen Gründen als Erprobungsraum für den Einsatz autonomer Fahrzeuge und besitzt darüber hinaus eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen, wodurch sich das Gebiet von anderen Testfeldern abhebt. Zu diesen zählen:

1. Die Insellage Gartenfelds als geschützter Erprobungsraum

Das neue Stadtquartier Gartenfeld eignet sich v. a. aufgrund seiner Lage als Erprobungsraum für den Einsatz autonomer Fahrzeuge, da die Insellage ein geschütztes Experimentierfeld darstellt. Dennoch ist das Quartier ein realer städtischer Raum mit privaten und öffentlich gewidmeten Straßen, d. h. kein Privatgelände, an dem konkrete Auswirkungen der Konzeption auf die Nutzer- und Bewohnerstruktur sowie Verkehrsteilnehmer und deren Verhalten ersichtlich werden. Die Insellage hat zudem den Vorteil, dass kaum benachbarte Nutzungen und Strukturen bestehen, wodurch Nutzungskonflikte größtenteils vermieden werden können.

2. Deutschlands zukünftig größtes autoarmes Quartier

Auf ca. 60 ha wird mit dem Neuen Gartenfeld das derzeit größte autoarme Quartier Deutschlands für über 7.000 Einwohner geplant. Es soll durch den Einsatz neuer Technologien und kooperativer Organisationsformen Vorbildcharakter als selbstorganisiertes, autarkes Stadtquartier haben. Alle technischen, operativen und sozialen Nutzungen werden im Neuen Gartenfeld digitalisiert und in einem Quartiersnetz – der sog. Gartenfeld-App – für jeden Bewohner verfügbar gemacht. Dabei sollen alle Chancen auf eine effiziente und ressourcenschonende Nutzung verschiedenster moderner Medien und Mobilitätsformen genutzt werden. Während für den nördlichen Teil eine zukunftsfähige Mischung von Wohnen und Arbeiten mit sozialer Infrastruktur und lokaler Nahversorgung geplant ist, soll im südlichen Teil eine Qualifizierung und Verdichtung der gewerblichen Nutzung sowie die Errichtung eines Schulcampus erfolgen.

Aufgrund der kurzen Reichweiten im Quartier, welche die selbstfahrenden Busse im Zubringerverkehr zurücklegen sollen, ist der ausschließliche Einsatz von sich automatisch aufladenden Elektrofahrzeugen geplant. Diese bieten durch die Reduzierung der Lärm- und Luftschadstoffbelastung den Vorteil, auf saubere, ressourcenschonende und insgesamt nachhaltige Weise den motorisierten Individualverkehr zu ersetzen. Auch die Reduzierung des Flächenverbrauchs für den Kfz-Verkehr, z. B. durch den Wegfall von Fahrstreifen und Parkplätzen, trägt zur Erhöhung der Aufenthalts- und Lebensqualität im neu entstehenden Stadtquartier Gartenfeld im Hinblick auf die Qualität des öffentlichen Raums und die Fußgängerfreundlichkeit bei.

3. Integration der autonomen Fahrzeuge von Anfang an

Das Quartier befindet sich noch in der Planungsphase, sodass die Integration selbstfahrender Fahrzeuge in ein entstehendes Quartier bzw. in dessen Mobilitäts- und Versorgungskonzept von Anfang an mitgeplant werden kann und nur geringfügig eine nachträgliche Anpassung bestehender Strukturen erforderlich macht. Für Gartenfeld ist ein alternatives und integriertes Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept geplant, dass die frühzeitige, integrierte Betrachtung aller einzelnen Komponenten, zu denen

auch das autonome Fahren zählt, erforderlich macht. Dafür werden sämtliche Planungsschritte auch unter den Gesichtspunkten von räumlichen, städtebaulichen, verkehrlichen und planungsrechtlichen Anforderungen und Auswirkungen betrachtet, wodurch weitreichendere Erkenntnisse erlangt werden können, als es durch die nachträgliche Anpassung eines bereits bestehenden Quartiers möglich wäre. Ebenso wird eine Integration in das Ver- und Entsorgungskonzept des Quartiers untersucht, z. B. die Erzeugung der benötigten Energie auf dem Gartenfeld und die Anpassung des Energieverbrauchs an die Erzeugung.

4. Integration in ein ganzheitliches, innovatives Mobilitätskonzept

Aufgrund der aktuell mangelhaften Erschließungsqualität des Quartiers besteht zur Erreichung der Zielsetzung eines autoarmen Quartiers die Notwendigkeit, ein leistungsfähiges Fuß- und Radwegenetz zur inneren Erschließung sowie eine gute ÖPNV-Anbindung zur überörtlichen Anbindung des Quartiers zu entwickeln. Für die vom ÖPNV weitestgehend abgeschnittene Insellage bedarf es kurzfristige innovative Lösungen, um die Versorgungslücke im Transportnetz zu schließen, da für verschiedene traditionelle Überlegungen, wie eine Verlängerung der Tram-Trasse über das Plangebiet oder der Ausbau der S-Bahntrasse Siemensbahn, der Planungs- und Realisierungsprozess viele Jahre beträgt. Dem Anspruch einer innovativen Quartiersentwicklung soll auch das Mobilitätskonzept folgen. Es soll dazu beitragen, den Alltag seiner Nutzer zu erleichtern und dabei flexibel genug sein, sich wandelnden Bedürfnissen anzupassen. Für die zukünftigen Bewohner und Gewerbetreibenden soll ein multimodales Mobilitätsangebot geschaffen werden, durch das der Besitz und die Nutzung des eigenen Automobils überflüssig wird. Der Schlüssel dazu ist einerseits das über eine Quartiers-App organisierte Teilen verschiedenster Transportmittel (Sharing Economy), wie E-Autos, E-Bikes oder Lastenräder, wodurch der Parkplatzbedarf minimiert wird. Andererseits soll ein gut ausgebauter ÖPNV, insbesondere unterstützt durch einen autonomen Shuttle-Service, den Individualverkehr weitestgehend überflüssig machen.

Derzeit wird ein Stellplatzschlüssel von 150 Kfz pro 1.000 Einwohner angestrebt. Im Hinblick auf die Qualität des öffentlichen Raumes und die Fußgängerfreundlichkeit des Quartiers ist von dem dadurch anfallenden Parkplatzbedarf nur ein Minimum (für Anlieferungen) straßenseitig vorgesehen; der Bau von Tiefgaragen ist wegen vorhandener Altlasten sowie eines hohen Grundwasserstandes nicht wirtschaftlich. Der Großteil des Parkplatzbedarfs soll daher in sogenannten Mobility Hubs untergebracht werden. Eines davon wird am östlichen Quartierseingang von der Gartenfelder Straße her entstehen, ein zweites am westlichen Gebietseingang aus Richtung Haselhorst. Neben ihrer Funktion als Quartiersparkhäuser werden die Mobility Hubs auch als multimodale Umsteigeorte fungieren, in denen auf kurzem Wege vom privaten Kfz auf die konventionellen Angebote des ÖPNV (Bus, Tram, S-Bahn) und alternative Transportmittel neben dem autonomen Shuttleservice, auch auf Car- und Bikesharing umgestiegen kann. Auch mietbare Lastenräder sollen hier zur Verfügung stehen sowie der Hub als Abholstation für Warenlieferungen und zentrale Adresse für verschiedene andere Services, wie z.B. Fahrradwerkstatt, Reinigung, Post etc. dienen. Die Quartiers-App soll die Koordinierung und Zugänglichkeit aller Dienstleistungen für die Bewohner und Beschäftigten des Quartiers erleichtern.

5. Finanzierbarkeit durch Integration der Kosten von Anfang an

Die technische Integration von Anfang an ermöglicht darüber hinaus die Entwicklung eines bezahlbaren Finanzierungsmodells für das autonome Fahren, da die Initialkosten erheblich niedriger ausfallen können als dies bei einer nachträglichen Aufrüstung der Fall wäre. Es ist vorgesehen, dass die entste-

henden Kosten für das Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot die gesamte Eigentümer- und Mieterschaft in Gartenfeld mittragen. Dieses Modell ist so bislang neuartig und besitzt daher Modellcharakter. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können nachfolgend auf andere Implementierungsprojekte übertragen werden.

6. Eine kritische Masse an potenziellen Nutzern

Mit jetzt schon rund 1.000 Beschäftigten und zukünftig ca. 3.700 Wohnungen für über 7.000 Einwohner und dann mehr als 5.000 Beschäftigten bietet das Neue Gartenfeld eine kritische Masse an potenziellen Nutzern für die Live-Erprobung des autonomen Fahrens. Für das Mischgebiet wird die Einordnung in das Konzept, d. h. Autofreiheit, von zukünftigen Mietern verpflichtend verlangt, daher besteht auch nicht die Gefahr, dass Nutzer nach und nach aus der Teilnahme aussteigen und wieder auf ihren Privat-Pkw umsteigen, statt den autonomen Shuttleservice zu nutzen.

7. Stufenweise Entwicklung des Quartiers ermöglicht sukzessive Implementierung

Die in Gartenfeld angestrebte stufenweise Entwicklung des Quartiers ermöglicht des Weiteren die sukzessive Implementierung und Modifizierung des autonomen Fahrzeugs im laufenden Betrieb (Live-Erprobung), sodass ein iterativer Prozess verfolgt werden kann. Die erste Einführungsphase soll im bereits bestehenden Gewerbegebiet beginnen. Das Gewerbegebiet stellt trotz des Bestands der vorhandenen Gewerbebetriebe aufgrund des alltäglichen Geschäftsbetriebs, u. a. des Liefer- und Kundenverkehrs sowie der An- und Abfahrt der Beschäftigten, ein neues und komplexes Gebiet zur Erprobung des autonomen Fahrzeugs dar. Es bildet die Zwischenstufe vor der Erprobung im neu entstehenden Wohn- und Mischgebiet.

8. Reaktivierung der vorhandenen Siemenstrasse

Zukünftig geplant ist nicht nur die innere Erschließung des Quartiers, sondern auch seine überörtliche Anbindung an den ÖPNV. Dafür kommt der vorhandenen innerstädtischen und planfestgestellten Siemenstrasse der ehemaligen Siemensbahn zwischen Gartenfeld und dem S-Bahnhof Jungfernheide ein besonderer Stellenwert zu, da sie sich als räumlich abgegrenzter Bereich vom restlichen Verkehr, aufgrund der damit einhergehenden erhöhten Sicherheit, besonders für den Betrieb autonomer Fahrzeuge eignet. Durch diese Abgrenzung wären in diesem Raum höhere Geschwindigkeiten des autonomen Shuttles bis zu 70 km/h realisierbar, was bislang in keinem anderen Testgebiet möglich ist.

9. Kommunikation mit projektbeteiligten Akteuren und Nutzern

Die meisten bisher bekannten Forschungsarbeiten zur Akzeptanz von autonomem Fahren beziehen sich allgemein auf die Akzeptanz der Technologie im Hinblick auf die mögliche Marktdurchdringung und nicht auf die Untersuchung der Akzeptanz und Kommunikation eines spezifischen Anwendungsfalls. Im Gegensatz dazu bietet das OTS-Projekt die Möglichkeit, die Einstellungen konkret vom Projekt Gartenfeld und seinem Mobilitätskonzept betroffener Investoren, Planer, öffentlicher Entscheidungsträger und sogar potenzieller Nutzer zu erfragen und direkt in die Umsetzung des Quartiers miteinfließen zu lassen. Dieses Vorgehen eröffnet die Chance, die Implementierung selbstfahrender Fahrzeuge so erfolgreich wie möglich in Gartenfeld durchzuführen.

10. Integration in umliegende Konzepte/Verknüpfung der Erprobungsräume

Durch die räumliche Nähe des Quartiers zu weiteren neu entstehenden Quartieren an der Wasserstadt Oberhavel ergibt sich für die Zukunft die Chance zur Verknüpfung dieser Gebiete als gemeinsamer Erprobungsraum für das autonome Shuttle. Bisher sind die neuen und geplanten Wohnquartiere an der Wasserstadt Oberhavel gering bis kaum an die Innenstadt angeschlossen, sodass sich für die Erschließung dieser Gebiete mit dem neuen Stadtquartier Gartenfeld eine gemeinsame Betrachtung anbietet.

3.9.3 Inhalt und Ziel des AP9000

Das Arbeitspaket AP9000: Kommunikation und städtebauliche Integration beinhaltet die Entwicklung sensibler Kommunikationsstrategien für die Implementierung der autonomen Fahrzeuge in Gartenfeld, um mögliche Hemmnisse zu überwinden und eine größtmögliche gesellschaftliche Akzeptanz zu erreichen. Dazu soll eine einheitliche Sprache – v. a. gegenüber der Öffentlichkeit – entwickelt und verwendet werden. Das Ziel ist es, eine Akzeptanzbewertung im Rahmen des Möglichen zu erstellen und daraus abzuleiten, wie in einem möglichen Folgeprojekt die Ergebnisse und die Ziele intern und extern bestmöglich kommuniziert werden können. Allerdings ist an dieser Stelle klarzustellen, dass dabei nicht die Qualität einer statistisch-basierten multivariaten Akzeptanzanalyse erreicht werden kann.

Im Rahmen der Bauleit- und Realisierungsplanung des neuen Stadtquartiers Gartenfeld soll die Implementierung der autonomen Fahrzeuge mit allen Projektbeteiligten erörtert, auf Umsetzungsfragen hin fokussiert und eine Roadmap zur Implementierung in den Stadtentwicklungsprozess erarbeitet werden. Zur kooperativen Einbindung von Prozessbeteiligten und Betroffenen ist in diesem Zusammenhang ein Austausch mit den Investoren, Planern, öffentlichen Entscheidungsträgern sowie den potenziellen Nutzern vorgesehen. Dabei stehen Fragen der Implementierung in einem realen Umfeld im Fokus. Ziel ist es, die Konzeption zur Implementierung von selbstfahrenden Elektrobussen im neuen Stadtquartier Gartenfeld hinsichtlich ihrer Akzeptanz zu untersuchen. Hierbei werden Nutzeranforderungen – d. h. Bedürfnisse, Erwartungen, Widerstände und Änderungswünsche der potenziellen Nutzer – erforscht – sowie Akzeptanzbedingungen identifiziert.

Die Ergebnisse dieses Kommunikationsprozesses werden in die Roadmap zur Erprobung und Einführung des autonomen Fahrens auf der Insel Gartenfeld festgeschrieben. Die Roadmap wird in Abstimmung insbesondere mit den Arbeitspaketen ‚AP2000 – Mobilitätsanwendungen und Geschäftsmodelle‘, ‚AP3000 – Rechtsrahmen‘ (Bearbeitung durch IKEM) und ‚AP8000 – Untersuchung des verkehrlichen Gesamtkonzepts‘ (Bearbeitung durch TU München) entwickelt. Die Erkenntnisse sollen als Grundlage für die nutzergerechte Ausgestaltung der Konzeption dienen und in die Entwicklung von akzeptanzfördernden Kommunikations- und Vermarktungsstrategien einfließen.

Für das AP9000: Kommunikation und städtebauliche Integration lassen sich folgende Fragestellungen ableiten:

- Welche städtebaulichen, stadtplanerischen, technischen, (planungs-)rechtlichen, wirtschaftlichen und nutzungsrelevanten Voraussetzungen müssen bezüglich des Mobilitätskonzeptes gegeben sein, um die praktische Einführung des autonomen Fahrens in Gartenfeld zu ermöglichen?

- Welche Akzeptanzbedingungen gibt es seitens der am Projekt beteiligten Fachplaner, Investoren, öffentlicher Entscheidungsträger und zukünftigen Nutzer in Bezug auf die schrittweise Einführung des autonomen Fahrens in Gartenfeld? Bzw. wie muss das Mobilitätskonzept gestaltet sein, um von Nutzern akzeptiert zu werden?
- Welche Aspekte der Konzeption gefallen den potenziellen Nutzern gut bzw. weniger gut und welche weiteren Bedürfnisse, Erwartungen, Widerstände sowie Änderungswünsche haben sie diesbezüglich?
- Wie sollte die Konzeption kommuniziert werden, um größtmögliche (nutzerseitige) Akzeptanz zu erfahren?

3.9.4 Untersuchungsansatz und Methodik

Zur Akzeptanzbewertung der Konzeption wurde eine Akzeptanzuntersuchung mittels Befragungen durchgeführt. Für die Befragung wurden vier Befragungsgruppen identifiziert, zu denen zum einen die zukünftigen Nutzer des neuen Stadtquartiers zählen, die sich aus den Bewohnern und Beschäftigten, insbesondere den Gewerbetreibenden des südlichen Gewerbegebiets, zusammensetzen. Durch diese Befragungsgruppe sollten konkrete Bedürfnisse und Einstellungen derjenigen abgefragt werden, welche das Angebot tatsächlich vor Ort nutzen werden. Zum anderen wurden die projektbeteiligten Planungsbüros, Investoren und öffentlichen Entscheidungsträger befragt, da sie als Hauptakteure in den Planungsprozess involviert sind und unterschiedliche Sichtweisen und fachliche Hintergründe besitzen.

3.9.4.1 Akzeptanzforschung

Der Begriff Akzeptanzforschung bezeichnet die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Frage, was von wem innerhalb welcher Gesellschaft, in welcher Situation und zu welchem Zeitpunkt sowie aus welchen Gründen und Motiven akzeptiert (oder eben abgelehnt) wird [16]. Übertragen auf die durchgeführte Akzeptanzuntersuchung in Gartenfeld stellt das Akzeptanzsubjekt die Investoren, Planer, öffentlichen Entscheidungsträger sowie potenziellen Nutzer dar. Deren Einstellung gegenüber der Konzeption der autonomen Fahrzeuge im neuen Stadtquartier Gartenfeld als Akzeptanzobjekt steht im Fokus der Untersuchung und soll mithilfe von Befragungen ermittelt werden. Denn nur durch die Erforschung der Nutzerperspektive und die Einbeziehung der daraus gewonnenen Erkenntnisse in die konkrete Ausgestaltung der Technologie sowie des zugehörigen Mobilitätskonzepts können Angebote geschaffen werden, die auf eine größtmögliche gesellschaftliche Akzeptanz treffen.

Zur Thematik der Akzeptanz von selbstfahrenden Fahrzeugen sind im Rahmen der Marktforschung bereits einige Studien durchgeführt worden, die allgemein zu dem Ergebnis gelangen, dass in der Gesellschaft grundsätzlich Interesse an selbstfahrenden Fahrzeugen besteht, das fehlende Vertrauen in die neue Technologie allerdings die Entscheidung für die tatsächliche Nutzung beeinträchtigt. Diese Studien beziehen sich allerdings allgemein auf die Akzeptanz der Technologie im Hinblick auf die mögliche Marktdurchdringung und nicht auf die Untersuchung der Akzeptanz und Kommunikation eines spezifischen Anwendungsfalls. In diesem Bereich liegen bisher wenige Ergebnisse aus anderen, ähnlichen Forschungsinitiativen vor und vergleichbare Untersuchungen sind nicht bekannt. Auch ein Einführungspfad für autonome Fahrzeuge mit einer dazu passenden Kommunikationsstrategie sowohl in Richtung der beteiligten Akteure als auch der betroffenen Nutzer und Verkehrsteilnehmer existiert bisher kaum. Insgesamt lässt sich daher feststellen, dass der im Rahmen des Forschungsprojekts OTS 1.0 entwickelte integrierte Implementierungsansatz für das autonome Fahren unter der Beteiligung viel-

fältiger Akteure in der Wissenschaft bisher kaum Berücksichtigung findet. Für die geplante Implementierung von selbstfahrenden Elektrobussen im neuen Stadtquartier Gartenfeld lässt sich daher ein Forschungs- und Erkenntnisbedarf im Bereich der Akzeptanzforschung ableiten.

3.9.4.2 Vorgehensweise Befragung

Die Akzeptanzuntersuchung der Konzeption basiert auf zwei unterschiedliche Herangehensweisen bei den Befragungen: Zum einen auf leitfadengestützten mündlichen Interviews mit den projektbeteiligten Funktionsträgern – Investoren, Planer und öffentliche Entscheidungsträger – zum anderen auf schriftlichen Befragungen von potenziellen Nutzern mithilfe standardisierter Fragebögen.

Bei der Befragung der projektbeteiligten Funktionsträger liegt der Fokus auf der Identifizierung von Umsetzungshemmnissen, sodass im Ergebnis konkrete Handlungsempfehlungen bspw. für den Gesetz- und Verordnungsgeber, Behörden sowie kommunale und privatwirtschaftliche Akteure entwickelt werden können. Für die Befragung wurden am Projekt beteiligte Planungsbüros, d. h. (Verkehrs-) Planungs-, Architektur- und Ingenieurbüros, sowie die im neuen Stadtquartier Gartenfeld als Bauherren auftretende Investoren, d. h. private und städtische Wohnbaugesellschaften und Wohnungsbaugenossenschaften, ausgewählt. Zudem wurden auch die öffentlichen Entscheidungsträger, zu denen Vertreter der öffentlichen Behörden und Institutionen zählen, befragt. Insgesamt konnten fünf Fachplaner, vier Investoren und neun öffentliche Entscheidungsträger befragt werden.

Für die Befragung der drei Funktionsträger wurden Interviewleitfäden mit verschiedenen Schwerpunkten je Träger erarbeitet. Der Fokus der Investoreninterviews lag auf der Herausarbeitung des immobilienwirtschaftlichen und lebensqualitätsverbessernden Mehrwerts der Konzeption inkl. selbstfahrenden Elektrobussen sowie deren Vermarktbarkeit und Branding. Schwerpunkt bei der Kommunikation mit den Planern war die Herausarbeitung städtebaulicher, planerischer und planungsrechtlicher Voraussetzungen und Gestaltungsräume für die Umsetzung und Alltagstauglichkeit der Konzeption. Mit den öffentlichen Entscheidungsträgern wurden mögliche, v.a. rechtliche Umsetzungshemmnisse des autonomen Fahrens im öffentlichen Bauleitplanungs- und Entscheidungsprozess und Anpassungsmöglichkeiten des bisherigen administrativen und rechtlichen Rahmens erörtert (siehe Anhang 1: Leitfäden Funktionsträger).

Für die Befragung der potenziellen Nutzer wurde eine schriftliche Befragung mithilfe von standardisierten Fragebögen gewählt, da sie im Gegensatz zur mündlichen Befragung bei einer größeren Teilnehmerzahl zeitökonomischer in der Durchführung ist.

Für die Befragung der potenziellen Nutzer wurden zum einen die Mitarbeiter der aktuell und größtenteils auch zukünftig vor Ort ansässigen Gewerbebetriebe des südlichen Gewerbegebiets und zum anderen die Mieter der Träger, die im neu entstehenden Stadtquartier Gartenfeld konkrete Investitionsabsichten haben bzw. neue Wohnungen schaffen wollen, identifiziert. Die Gewerbetreibenden wurden schriftlich mit vor Ort verteilten Paper-Pencil-Fragebögen und die potenziellen Bewohner zum einen ebenfalls mit vor Ort ausgeteilten Fragebögen und zum anderen über die Einrichtung eines Online-Fragebogens befragt. Insgesamt nahmen 31 Gewerbetreibende und 150 potenzielle Mieter an der Befragung teil.

Die Befragung hatte die Abfrage der Haltung der potenziellen Nutzer gegenüber der Konzeption des neuen Stadtquartiers Gartenfeld zum Inhalt (siehe Anhang 2: Fragebogen Nutzer).

3.9.4.3 Roadmap

Die Ergebnisse der Befragungen werden in eine Roadmap zur Erprobung und Einführung des autonomen Fahrens auf der Insel Gartenfeld festgeschrieben, die als Grundlage für nachfolgende Projekte herangezogen werden soll. Die Aufgabe der Roadmap ist es, zu definieren, welche

- Bedingungen für Nutzerakzeptanz,
- Voraussetzung für die erfolgreiche Vermarktbarkeit,
- wirtschaftlichen,
- technisch-infrastrukturellen,
- städtebaulichen und planerischen,
- (stadtplanungs-)rechtlichen

Rahmenbedingungen es zu erfüllen gilt und welches Betreiber- und Bezahlmodell zum Tragen kommt. Darin fließen die Ergebnisse der Befragungen aus dem AP9200 sowie die durch die AP2000, AP3000, AP5000 und AP8000 gewonnenen Erkenntnisse ein.

3.9.5 AP9200: Kommunikation in der Bauleit- und Realisierungsplanung

Im Folgenden werden nutzerseitige Akzeptanzbedingungen, Voraussetzungen für die erfolgreiche Vermarktbarkeit und wirtschaftliche, technisch-infrastrukturelle, städtebauliche und planerische sowie (stadtplanungs-)rechtliche Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Einführung der autonomen Busse in Gartenfeld aufgezeigt. Diese Aspekte umfassen verschiedene Themenfelder und zeigen den sich daraus ergebenden Handlungsbedarf für die Bauleit- und Realisierungsplanung auf. Da sich die meisten Aspekte auf die Anfangsphase des Projekts beziehen bzw. bei allen Phasen der Einführung autonomer Busse mitbedacht werden müssen, wird zur Vermeidung von Dopplungen eine zusammenfassende Darstellung vorgenommen – quasi als „Phase 0“ der Roadmap. Konkrete Bedingungen und zeitliche Abfolgen werden anschließend im AP9300 in den Phasen 1 bis 3 der Roadmap beschrieben. Da sich die Inhalte aus den Erkenntnissen der Befragungen ableiten, wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

3.9.5.1 Bedingungen für Nutzerakzeptanz

Eine erste wesentliche Bedingung, die erfüllt sein muss, damit die Konzeption auf größtmögliche nutzerseitige Akzeptanz stößt, ist die Praxistauglichkeit im Alltag. Diese geht über die technische Funktionsfähigkeit und Ausgereiftheit der autonomen Fahrzeuge hinaus und betrifft u. a. den Aspekt der Versorgungssicherheit. Da die Nutzungsmotivation der befragten potenziellen Nutzer bei der Entscheidung für Mobilitätsangebote v.a. nützlichkeits- bzw. zielorientiert ist, bedeutet Versorgungssicherheit in diesem Zusammenhang, die Nutzer müssen sich darauf verlassen können, dass das autonome Fahrzeug sie bspw. jederzeit pünktlich abholt und angeschlossene Verkehrsmittel am Mobility Hub rechtzeitig erreicht werden – auch zu Hauptverkehrszeiten. Ohne einen Erhalt bzw. eine Steigerung der individuellen Mobilität durch die neue Technologie werden die Nachteile durch den gering empfundenen persönlichen Nutzen überwiegen und die Konzeption von den potenziellen Nutzern wahrscheinlich nicht akzeptiert.

Darüber hinaus konnte aufseiten der ansässigen Gewerbetreibenden die nutzerspezifische Akzeptanzbedingung identifiziert werden, dass der Geschäftsalltag in seinen gewohnten Abläufen und ohne Zeitverlust bestehen bleiben muss und es bspw. keine Störungen des Lieferverkehrs geben darf.

Mit dem Ziel der Akzeptanzschaffung auch bei denjenigen, die ihre alltäglichen Wege bisher mit dem eigenen Auto zurücklegen, dürfen keine praktischen Nachteile durch den wegfallenden Pkw für die Bewohner und Beschäftigten des neuen Stadtquartiers Gartenfeld entstehen. Zur Kompensation müssen adäquate Alternativen gefunden werden: So muss bspw. der Transport von Arbeitsmaterialien, Einkäufen oder Haustieren entweder durch genügenden Stauraum im selbstfahrenden Elektrobuss oder durch innovative Dienstleistungsangebote wie z. B. Sharing-Angebote, einen Lieferservice oder eine Paket-Packstation gewährleistet werden. Von Vorteil für die Akzeptanz des neuen Stadtquartiers Gartenfeld ist, dass das gesamte Quartier neu geplant wird und dabei die neuen Technologien und Dienstleistungen von vornherein Teil der Konzeption sind, da es bei der nachträglichen Implementierung innovativer Technologien in bestehende Strukturen oftmals aus dem Grund zu Widerständen kommt, weil es vielen Menschen grundsätzlich schwerfällt, ihre Gewohnheiten zu verändern bzw. sich auf etwas Neues einzulassen.

Zur Erfüllung der identifizierten Nutzeranforderungen sollte das Mobilitätsangebot darüber hinaus so ausgestaltet sein, dass die selbstfahrenden Elektrobusse via App jederzeit angefordert werden können und ihre Fahrgäste optimalerweise direkt vor der Haustür abholen und bis vor die Tür ihres Ziels bringen. Dieser Aspekt kann unter dem Begriff der Ubiquität bzw. Ortsflexibilität der Anforderung des Mobilitätsangebots gefasst werden, d. h., dass die potenziellen Nutzer – unterstützt durch die Verfügbarkeit von WLAN im gesamten Quartier – jederzeit und unabhängig vom Ort über den selbstfahrenden Elektrobuss verfügen bzw. ihn anfordern können. Eine weitere nutzerspezifische Akzeptanzbedingung zur Erhöhung des Sicherheitsempfindens im selbstfahrenden Elektrobuss stellt die Ausstattung mit einem Notfallknopf dar.

In Anbetracht der Befragungsergebnisse wurde deutlich, dass die potenziellen Nutzer große Widerstände gegen die Konzeption entwickeln würden, wenn die Kosten für das Wohnen im neuen Stadtquartier Gartenfeld sowie für die Nutzung des Angebots intransparent, ungerecht verteilt und insgesamt zu hoch wären. Auch wenn die Konzeption ideell auf Akzeptanz stößt, ist die erfolgreiche Umsetzung letztendlich v.a. von den niedrigen bzw. für den Nutzer bezahlbaren Kosten abhängig, da sonst die damit verbundenen materiellen Nachteile überwiegen. Zu bedenken ist, dass die potenziellen Nutzer bereit sein müssen, zusätzlich zu den ohnehin anfallenden Ausgaben – bspw. für eine Monatskarte oder die Haltung und Nutzung eines privaten Autos – Mehrkosten für das Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld zu übernehmen. Wichtige Schlüsselfunktion ist in diesem Fall die Kommunikation, d. h. die frühzeitige und transparente Aufklärung über das Konzept inkl. entstehende und mitzutragende Kosten.

Damit das neue Stadtquartier Gartenfeld von seinen zukünftigen Bewohnern und Beschäftigten akzeptiert wird, ist zudem die Verbesserung der Anbindung an den ÖPNV unabdingbar, damit es sich v. a. für die bisherigen Autobesitzer tatsächlich lohnt, im Alltag vollständig auf das eigene Auto zu verzichten – und nicht nur auf der letzten Meile bis zum Wohn-/Arbeitsplatz. Dabei ist v. a. die Erschließungslücke des ÖPNV zwischen dem zukünftigen Mobility Hub am Eingang des Quartiers und dem im Süden gelegenen U-Bahnhof Paulsternstraße zu schließen. Wichtig ist zudem auch, die Anbindung an die Innenstadt zu qualifizieren, indem schnelle und nicht mit viel Umsteigen verbundene ÖPNV-Linien angeboten und die vorhandenen Radfahrwege attraktiver werden.

Eine weitere wesentliche Bedingung, die erfüllt sein muss, damit die Konzeption auf größtmögliche nutzerseitige Akzeptanz stößt, ist das ergänzende Angebot im Quartier mit sozialen Infrastrukturein-

richtungen, Einkaufsmöglichkeiten usw. Diese (Nahversorgungs-) Infrastrukturen müssen vorhanden sein, damit die Bewohner fußläufig die für den alltäglichen Bedarf notwendigen Angebote erreichen können und nicht auf ein Auto angewiesen sind.

Von großer Bedeutung für die Entscheidung für den Einzug in das neue Stadtquartier Gartenfeld und die Nutzung der selbstfahrenden Elektrobusse ist zudem die Erhöhung der Aufenthaltsqualität, die durch den wegfallenden ruhenden Verkehr und der Nutzung des freien Raums durch andere Nutzungen entsteht. V. a. durch die hohe Qualifizierung des öffentlichen Raums wird der Vorteil des autoarmen Konzepts für die Nutzer deutlich und erlebbar. Der Fokus im Quartier sollte auf der sozialen Interaktion durch gemeinschaftliche Wohnformen und Freizeitangebote basieren, die zur Stärkung der Identifikation mit dem Quartier und des Nachbarschaftsgefühls beitragen wie z. B. kostenlos nutzbare Gemeinschaftsräume und -freiflächen sowie Sport- und Freizeitangebote.

Was zusammenfassend durch den Austausch mit den vier Befragungsgruppen deutlich wurde, ist, dass das autonome Fahren nicht allein Anreiz genug ist, sich für das neue Stadtquartier Gartenfeld zu entscheiden, sondern nur in Ergänzung zu den zuvor beschriebenen Bedingungen eine hohe nutzerseitige Akzeptanz erreicht werden kann.

3.9.5.2 Voraussetzung für die erfolgreiche Vermarktbarkeit

Die Vermarktbarkeit des Quartiers inkl. autonomer Fahrzeuge wird von den Investoren positiv eingeschätzt, da das neue Stadtquartier Gartenfeld – neben den autonomen Fahrzeugen – eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen und dadurch genügend Anreize und Monopolstellung besitzt, zukünftige Bewohner und Gewerbetreibende für das Quartier zu gewinnen. Zu diesen zählen das integrierte und digitalisierte Versorgungsangebot, die Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit durch die Fokussierung auf regenerative Energiegewinnung und -nutzung, der hohe Grün- und Wasserflächenanteil, die Durchmischung des Quartiers durch unterschiedliche Wohntypen sowie die Erhöhung der Sicherheit und Aufenthaltsqualifizierung durch den Ausschluss des motorisierten Individualverkehrs. Für die erfolgreiche Vermarktbarkeit ist es wichtig, diese Merkmale hervorzuheben und zu bewerben, ggf. durch ein Branding, um einen hohen Wiedererkennungswert und Identifizierung mit dem Quartier zu erzeugen. Weitere wichtige Voraussetzungen für die erfolgreiche Vermarktbarkeit decken sich mit den genannten nutzerseitigen Akzeptanzbedingungen, zu denen die Bezahlbarkeit des Angebots, die Praxistauglichkeit und schnelle Verfügbarkeit der autonomen Fahrzeuge sowie die Verbesserung der Anbindung des Quartiers an den ÖPNV und die Innenstadt zählen.

3.9.5.3 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Anfangsinvestitionskosten werden anteilmäßig von den Investoren des Stadtquartiers Gartenfeld – von den Partnern der Planungsgemeinschaft Das-Neue-Gartenfeld GmbH & Co. KG – getragen.

Zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit des Konzepts ist für die gemeinschaftlich nutzbare Infrastruktur die Umlegung der laufenden Kosten auf die gesamte Eigentümer- und Mieterschaft als verpflichtende Betriebskosten vorgesehen. Im Hinblick darauf wurde von allen Befragten die Gewährleistung niedriger bzw. bezahlbarer Kosten für die Mieter genannt, da nur dadurch Akzeptanz für das neue Angebot geschaffen werden kann. Dafür ist es notwendig, die Eigentümer und Mieter bzw. Käufer über die entstehenden und mitzutragenden Kosten frühzeitig zu informieren und ein geeignetes Bezahlmodell zu entwickeln, welches die verschiedenen Aspekte, wie soziodemografische Faktoren, Nutzungsintensität

o. Ä. berücksichtigt, um subjektives Ungerechtigkeitsempfinden vorzubeugen. Mögliche Bezahlmodelle können sein: Berechnung pro Haushaltsmitglied (Regelung nach Alter mitbedenken), pro Wohneinheit oder Quadratmeter, einkommensabhängig, Monatspauschale, einheitlicher Quartiersbeitrag oder pro Nutzung. Der Großteil der befragten potenziellen Bewohner sprach sich hierbei für eine Kostenbeteiligung pro Quadratmeter Wohnfläche aus.

Wie eine Kostenberechnung und -beteiligung bei den gewerblichen Nutzern des Quartiers im Mischgebiet und südlichen Gewerbegebiet aussehen kann, ist Gegenstand aktueller Überlegungen. Dabei spielen die Fragestellungen eine Rolle, inwiefern die Kosten verpflichtend oder angebotsorientiert sind und die Gewerbeunternehmen für die Kosten ihrer Mitarbeiter aufkommen.

Wichtig für die Akzeptanz der Konzeption ist es insgesamt, den Nutzern den Mehrwert der Zusatzkosten verständlich zu machen, d. h., dass die Kosten nicht als Mehrkosten wahrgenommen werden. Denn dafür erhalten die Nutzer ein Angebot, dass die Notwendigkeit zum Besitz eines eigenen Autos in Frage stellt.

Die Höhe der Investitions- und Betreiberkosten für das Mobilitätsangebot kann aktuell noch nicht abgeschätzt werden. Einerseits werden die Investitionskosten hoch eingeschätzt, da neben den herkömmlichen Infrastrukturen auch die des autonomen Fahrzeugs integriert sowie ausreichend Elektrobusse für eine schnelle Verfügbarkeit vorhanden sein müssen. Andererseits können die Kosten durch die frühzeitige und integrierte Entwicklung der Versorgungsstrukturen sowie durch Einsparungen an anderer Stelle, bspw. den Wegfall von Kosten für eine Unterkellerung oder Stellflächen und Energieeinsparungen durch intelligentes Energiemanagement, minimiert werden.

Da momentan nicht abzusehen ist, dass öffentliche Verkehrsbetriebe diese speziellen Servicedienste für einzelne Stadtquartiere übernehmen, bietet es sich an, eine andere Betreibergesellschaft für das autonome Fahren zu finden. Geplant ist es, die Verwaltung und Betreuung aller Infrastrukturen in Gartenfeld gemeinsam in die Hand einer koordinierenden Leitung zu übergeben.

Insgesamt wird die Wirtschaftlichkeit des Projekts von den Investoren positiv bewertet, da es in dem Quartier mit zukünftig ca. 3.700 Wohnungen für über 7.000 Einwohner und ca. 5.000 Beschäftigten eine kritische Masse an potenziellen Nutzern für die Nutzung des autonomen Fahrzeugs und damit eine wahrscheinlich hohe Auslastung geben wird.

3.9.5.4 Technisch-Infrastrukturelle Rahmenbedingungen

Zur erfolgreichen Implementierung autonomer Fahrzeuge in Gartenfeld müssen alle technischen Voraussetzungen hinsichtlich der Umfelderkennung, Fahrerüberwachung, Kommunikation, Antrieb, Navigation, Datenerhebung und -verarbeitung, Sicherheit usw. (siehe AP4000-8000) erfüllt sein. Die technischen Infrastrukturen des autonomen Fahrzeugs (Sensorik usw.) sollen möglichst ohne hohen zusätzlichen Platzbedarf in den Straßenraum und die baulichen Strukturen integriert werden. Zur gestalterischen Einbindung dieser Infrastrukturen ist es wichtig, diese frühzeitig durch Konzepte für die Architektur- und Straßenraumgestaltung mitzudenken, wie es in Gartenfeld bisher verfolgt wird. Da der Nutzungszyklus der Elektro-Busse auf den Ladezyklus abgestimmt werden muss, ist die Anlage von Energiespeichern notwendig, wodurch die Busse – trotz regenerativer Energiequellen – nachts geladen werden können. Ob es eine zentrale Ladezone am Mobility Hub oder dezentrale Ladeinfrastruktu-

ren im Quartier geben wird, ist Bestandteil aktueller Planungen. Wartung und Abstellen der Fahrzeuge kann in den Mobility Hubs erfolgen.

Der in Gartenfeld verfolgte integrierte Ansatz aller Versorgungsinfrastrukturen bedarf ein sehr frühzeitiges Mitplanen aller erforderlichen Infrastrukturen, zu denen auch die des autonomen Fahrzeugs zählen. Aus diesem Grund wurde die ARGE IQ, ein Zusammenschluss verschiedener Fachplaner zu Belangen der Mobilität und Versorgungsinfrastrukturen in Gartenfeld gebildet. Für die integrierte Betrachtung sind u. a. die Wegebeziehungen zwischen dem autonomen Bus und den Wohnungen bzw. Geschäften im Hinblick auf die Anforderungsmöglichkeiten zu bedenken. Im Fall einer Rufbereitschaft müssten keine festen Haltestellen, sondern Haltezonen an den Häusern geplant werden. Eine Überlegung wäre auch, eine Expresslinie, d. h. eine feste Route mit fest definierten Haltestellen und Zeiten, die öfter befahren wird, zu installieren und ergänzend On-Demand-Shuttle anzubieten. Dadurch könnte die Zuverlässigkeit des Angebots durch die Kombination beider Anforderungsvarianten erhöht werden. Als kritisch wird allerdings die bisher sehr niedrige Geschwindigkeit des autonomen Fahrzeugs gesehen, wodurch die Nutzungsentscheidung maßgeblich beeinflusst werden wird.

Weitere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung der autonomen Fahrzeuge sind die Ergänzung des Mobilitätsangebots durch adäquate Dienstleistungsangebote, durch das der Wegfall des eigenen Autos kompensiert wird. Dafür muss in Fußgänger- und Radfahrentfernung Einzelhandel im Gebiet vorhanden sein, so wie in Gartenfeld bereits geplant. Das Einzelhandelsangebot im Gebiet sollte durch zusätzlich Lieferstationen im Wohnungsumfeld ergänzt werden. Zu Überlegen wäre dabei, inwiefern der autonome Shuttle neben dem Personentransport auch für den Transport von Waren eingebunden werden kann. In diesem Fall müssten Lösungen für das Be- und Entladen des Busses überlegt werden, z. B. die Kombination von Haltestellen mit Logistikplattformen, für die es eine Servicekraft im Bus oder an den Stationen zum Annehmen und Ausladen der Ware gibt. Die Mitnahme von Rollstühlen, Kinderwagen oder großem Gepäck reduziert bei der derzeitigen Fahrzeuggröße die Kapazität erheblich. Unter den Gesichtspunkten der Schnelligkeit und Flexibilität wird diese Art der Kombination kritisch geprüft.

Eine weitere technisch-infrastrukturelle Voraussetzung wäre zudem die Gewährleistung von flächendeckendem und gesichertem WLAN (Mobilfunknetz) und einer Geoinformationsplattform im gesamten Quartier, da alle Abläufe digitalisiert und durch eine Quartiers-App gesteuert werden sollen. Zur besseren Übersichtlichkeit und Steuerung aller Prozesse ist eine einheitliche Verwaltung aller Infrastrukturen in Gartenfeld unabdingbar und Bestandteil zukünftiger Planungen.

3.9.5.5 Städtebauliche und planerische Rahmenbedingungen

Die städtebaulichen und planerischen Rahmenbedingungen, welche die Implementierung des autonomen Fahrzeugs erfordert, stellen – soweit durch die Befragten eingeschätzt – kein Problem für die Realisierung dar. Die aktuell bekannten Fahrzeugabmessungen der autonomen Busse sind mit den geplanten Straßen- bzw. Querschnittsbreiten im Quartier vereinbar. Auch bei einer weiteren Entwicklung hin zu größeren Kleinbussen können diese noch auf den Straßen verkehren, soweit sie die aktuell zulässigen maximalen Fahrzeugabmessungen nicht überschreiten.

Auf den Haupterschließungsstraßen im Quartier (u. a. Tram-Boulevard) ist die Trennung von Kfz-Verkehr und Radfahrern geplant. Die Regelung des Verkehrs auf den untergeordneten Straßen orien-

tiert sich dagegen am Shared Space-Gedanken. Die Straßen sollen weitestgehend Gemeinschaftsstraßen entsprechen, die allen Verkehrsteilnehmern, insbesondere den Radfahrern und Fußgängern, sowie anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Dennoch müssen zur Regelung des autonomen Fahrens sowie Autoverkehrs – wenn auch im Quartier sehr eingeschränkt – Straßenmarkierungen oder Vorrangbereiche zur Trennung der Nutzungen definiert werden. Zur Linienführung der autonomen Busse können eigene Markierungslinien oder unterschiedliche Pflasterungen genutzt werden, sodass eine deutliche optische und haptische Differenzierung der Fahrräume möglich ist, aber keine zu hohe Abgrenzung der Nutzungen untereinander stattfindet. Eine barrierefreie Gestaltung ist generell möglich.

Insgesamt wird der Straßenraum durch den weitgehenden Ausschluss vom motorisierten Individualverkehr kleiner, sodass mehr Fläche für andere Nutzungen zur Verfügung steht, für die frühzeitig entsprechende Nutzungskonzepte entwickelt werden. Da die Qualifizierung des öffentlichen Raums einer der wichtigsten Anreize des autoarmen Quartiers darstellt, sollte die Ausprägung und Gestaltung einen sehr hohen Anspruch verfolgen. Dabei ist zu überlegen für welche Nutzergruppe und mit welchen gestalterischen Mitteln die Freiräume qualifiziert werden sollen. Für dieses Ziel sind schon jetzt im Masterplan für das Neue Gartenfeld wesentliche Leitplanken eingezogen worden. Waschmaschinen- und Gemeinschaftsräume für die Bewohner in jedem Haus, keine Parkplätze, stattdessen Mobility Hubs mit verschiedenen Dienstleistungsangeboten, einige wenige Straßen, stattdessen breit angelegte Fuß- und Fahrradwege in einem einladenden öffentlichen Raum inkl. Hafen/Marina, keine Müllfahrzeuge und keine Lieferfahrzeuge im Quartier, eine tief gestaffelte für alle gemeinsam nutzbare innere Erschließung i. S. d. Shared-Space-Gedanken, ein weitgehendes kiezbezogenes Mobilitätskonzept auf E-Basis und Eigenversorgung mit Energie und Wärme.

Hinsichtlich der Gewährleistung von Stellflächen treten keine Probleme auf, da es in Berlin, mit Ausnahme bei der Errichtung öffentlich zugänglicher Gebäude, keine Stellplatzpflicht gibt. Um den motorisierten Individualverkehr innerhalb des Quartiers so gering wie möglich zu halten, müssen die umweltfreundlichen Verkehrsarten gestärkt werden und das Parken von Fahrzeugen in unmittelbarer Nähe von Wohnblöcken und Gewerbestandorten weitestgehend ausgeschlossen werden. Nur erforderlicher Ver- und Entsorgungsverkehr soll in den einzelnen Quartieren fahren. Zur Erreichung dieser Zielsetzung können neben der Förderung des Fuß- und Radverkehrs auch Mobilitätskonzepte wie internes Car- und Bikesharing sowie ein gut ausgebauter ÖPNV beitragen. Dafür sollten Gebäude- und Nutzungsstrukturen so angelegt werden, dass die Laufwege kurz sind und genügend Fahrradstellplätze im Quartier, am Mobility Hub und an den angrenzenden Bus- und U-Bahnstationen auf Straßenebene vorhanden sind. Bike- und Carsharing sind vor allem in Kombination wirksam. Insbesondere der Verknüpfung mit dem öffentlichen Verkehr kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Zur Bündelung des Parkens und verschiedener alternativer Angebotsformen bieten sich sog. Mobilpunkte an, bei denen im unmittelbaren Umfeld von ÖPNV-Haltestellen zusätzlich Bike- und Carsharing-Stationen sowie an Haltestellen/ Haltestellenplänen Nutzungs- und Stationshinweise für das Bike- und Carsharing vorhanden sind. Die Überwindung der „letzten Meile“ und die Erreichbarkeit der Mobilpunkte wird durch gebietsinterne Shuttle-Services sichergestellt.

Für die städtebauliche Figur oder Dichte ergeben sich durch die autonomen Fahrzeuge keine Veränderungen, allerdings eröffnen sich durch den weitgehenden Ausschluss des motorisierten Individualverkehrs und Nutzung von Elektrobussen und der damit verbundenen Minimierung straßenseitiger Im-

missionen potenziell neue Handlungsspielräume. Bspw. kann über einen veränderten baulichen Schallschutz oder Veränderungen der Verortung von Nutzungen nachgedacht werden hinsichtlich Zonierungen von Gebäuden, Lokalisierung von sensiblen Nutzungen auf der Straßenseite, Änderung der Wohnungsgrundrisse etc.

Planerische Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung des autonomen Fahrzeugs ist der frühzeitige und querschnittsorientierte Austausch der betroffenen Fachdisziplinen, der über die übliche Kommunikation hinausgehen muss, da der integrierte Ansatz neu aufgesetzte Planungsprozesse und Konstellationen beinhaltet und großen Abstimmungsbedarf erfordert. Dafür ist die Bildung einer eigenen Planungsgruppe oder Austausch an einem Runden Tisch in regelmäßigen Abständen sinnvoll, wodurch Planungsunsicherheiten schnell begegnet werden können. Dabei muss das Ziel sein, das autonome Fahren im Quartier Gartenfeld umsetzungsfähig zu gestalten und Wege zur Realisierung aufzuzeigen. Dieses Vorgehen ist nicht nur vorab von wesentlicher Bedeutung, sondern auch im laufenden Prozess, um auf Veränderungen reagieren und ggf. Anpassungen kurzfristig vornehmen zu können. Für die Entwicklung des Neuen Gartenfelds sind daher verschiedene Zusammenschlüsse aus Fachplanern und ämterübergreifende Steuerungsrunden mit öffentlichen Entscheidungsträgern auf den Weg gebracht worden.

3.9.5.6 (Stadtplanungs-)Rechtliche Rahmenbedingungen

Zu den rechtlichen Voraussetzungen für die Einführung des autonomen Fahrzeugs im öffentlichen Straßenraum gehören die Änderung des Straßenverkehrsgesetzes, des Personenbeförderungsgesetzes und der Kfz-Zulassung, da Fragen der Fahrer-, Halter- und Herstellerhaftung noch nicht abschließend geklärt sind (siehe AP3000). Eine weitere Herausforderung stellt zudem der Bereich Datenschutz dar, insbesondere da im Quartier alle Infrastrukturen miteinander vernetzt und im Zuge einer Quartiers-App digitalisiert und zugänglich gemacht werden sollen. Da die Änderungen dieser Gesetzesgrundlagen voraussichtlich einen langen Zeithorizont haben, kann über Alternativen bezüglich der Deklaration des Projekts mit Forschungscharakter bzw. der Verankerung von Experimentierklauseln in den entsprechenden Gesetzen nachgedacht werden.

Das autonome Fahren ist mit dem bestehenden Bau- und Planungsrecht vereinbar und bedarf keiner Änderung. Für die zum autonomen Fahren zugehörigen Infrastrukturen müssen im Bebauungsplan keine gesonderten textlichen oder planerischen Festsetzungen getroffen werden. Nur erforderlich ist, wie bereits üblich, Inhalt des Konzepts im Begründungstext des Bebauungsplans zu beschreiben und darzulegen, wie die Erschließung gesichert ist. Gesonderte Regelungen können darüber hinaus durch städtebauliche Verträge geregelt werden. Damit auch im Nachhinein keine Ansprüche geltend gemacht werden können, bspw. Ansprüche auf Stellplätze, ist es zudem wichtig privatrechtliche Verträge mit den Eigentümern, Mietern und Beschäftigten des Quartiers zu schließen. Die verpflichtende Beteiligungspflicht der Mieterschaft an den Kosten sowie möglicherweise der Verzicht auf ein eigenes Auto müssen ebenfalls nach juristischer Prüfung durch privatrechtliche Verträge geregelt werden. Wie im Konkreten einzelne Regelungen und Ausnahmen, bspw. die Regelung für Besucher, aussehen kann, muss abschließend geprüft werden. Sinnvoll ist es, klare Regelungen zu treffen, allerdings kein zu starres, dogmatisches Reglement aufzusetzen, um die Resilienz der Konzeption und deren Flexibilität zur Anpassung an volatile Bedarfe und sich verändernde Gegebenheiten zu erhöhen.

Die rechtlichen Herausforderungen ziehen einen hohen Abstimmungsbedarf mit den Behörden nach sich. Dennoch wird von den Befragten die politische Durchsetzbarkeit und öffentliche Akzeptanz des Projekts positiv eingeschätzt, da von Beginn an ein kooperativer und transparenter Austausch verfolgt wird und das Projekt durch den zukunftsweisenden und integrierten Ansatz Pilotcharakter besitzt.

Auf die weiteren rechtlichen Rahmenbedingungen wird näher im AP3300: Rechtliche Umsetzungsstrategie Stadtquartier Gartenfeld eingegangen.

3.9.5.7 Empfehlungen für eine sensible Kommunikationsstrategie

Um innovative Technologien wie die autonomen Fahrzeuge mit einer größtmöglichen (nutzerseitigen) Akzeptanz zu implementieren, ist neben der Gewährleistung der wirtschaftlichen, technischen und rechtlichen Funktionsfähigkeit eine sensible Kommunikationsstrategie von Relevanz.

Zu dieser zählt v. a., alle Prozessbeteiligten und zukünftigen Nutzer frühzeitig in den Entwicklungsprozess miteinzubeziehen und die Inhalte der Ausgestaltung transparent zu gestalten, wie es in diesem Fall durch die Akzeptanzuntersuchung praktiziert wurde. Da die Implementierung der autonomen Fahrzeuge in Gartenfeld integriert mit den Dienstleistungs- und Versorgungsinfrastrukturen erfolgen soll, ist der Austausch zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen und Entscheidungsträgern besonders wichtig. Dafür sollte eine ergänzende Möglichkeit zum Austauschen gefunden werden, wie bspw. die Gründung einer diesbezüglichen Projektgruppe oder das Zusammensetzen an einen Runden Tisch in regelmäßigen Abständen.

Für eine sensible Kommunikationsstrategie ist zudem die Konkretisierung der Konzeptionsinhalte und deren frühzeitige Kommunikation von Relevanz, sodass von Beginn an klare Verhältnisse geschaffen werden, ehrlich über Vor- und auch Nachteile aufgeklärt und somit Unsicherheiten aufseiten der potenziellen Nutzer bezüglich einzelner Aspekte vorgebeugt werden. Es muss deutlich werden, was das Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld im Einzelnen beinhaltet und dass die Konzeption als integrierter Quartiersentwicklungsansatz zu verstehen ist, der ganzheitlich von den potenziellen Nutzern mitgetragen werden muss. Ebenso wie die Aufklärung über mögliche Vor- als auch Nachteile der Konzeption wird auch beim Thema Kosten Transparenz bei der Kommunikation empfohlen, da im Rahmen der Befragung große Unsicherheiten und Bedenken diesbezüglich deutlich wurden. Eine Aufklärung kann u. a. durch Informationsveranstaltungen, konkrete Wohnportfolios oder Verträge erfolgen.

Als akzeptanzfördernd lässt sich bei der Kommunikation der Konzeption zudem die Verwendung eindeutiger und allgemein verständlicher Begriffe empfehlen, wobei der Detaillierungsgrad der zu vermittelnden, sehr komplexen Informationen sowie die Verwendung vereinzelter Fachtermini abhängig von der entsprechenden Zielgruppe ist. Darüber hinaus sollte bei der Kommunikation der Konzeption die Vermarktung v. a. auf den im Rahmen der Akzeptanzuntersuchung identifizierten Mehrwert für die Lebens- und Arbeitsqualität der potenziellen Nutzer ausgerichtet werden. Um ein generelles Umdenken der Gesellschaft bezüglich der Autonutzung zu erreichen, muss viel Überzeugungsarbeit geleistet werden, wobei der politische Wille von großer Bedeutung ist.

Des Weiteren gilt es bei der Entwicklung einer akzeptanzfördernden Kommunikations- und Vermarktungsstrategie, identitätsstiftende bzw. Alleinstellungsmerkmale der Konzeption hervorzuheben. Für die Vermarktung des innovativen Mobilitätsangebots ist es von Vorteil, durch ein Branding, d. h. einen

Produktnamen, einen hohen Wiedererkennungswert zu erzeugen, wodurch die Alleinstellungsmerkmale hervorgehoben werden. Dafür eignet sich die Kreierung eines gut erinnerbaren Logos und Namens mit positiven Assoziationen, die eine Verbindung zum Quartiersnamen herstellen (z. B. „Garten-Bus“).

3.9.6 AP9300: Roadmap für das Erproben des autonomen Fahrens im Gartenfeld

Auf der Insel Gartenfeld soll im Norden ein Wohnquartier mit dem Neubau von 3.700 Wohnungen und im zentralen und östlichen Bereich soziale und kulturelle Infrastruktur- sowie Dienstleistungs- und Nahversorgungseinrichtungen entstehen. Für den südlichen Bereich ist die Qualifizierung und Verdichtung der gewerblichen Nutzungen vorgesehen – die derzeit ansässigen Gewerbebetriebe bleiben in ihrem Bestand weitestgehend erhalten.

Unter Berücksichtigung des Bauablaufs ist eine sukzessive Implementierung des autonomen Fahrzeugs in drei Phasen vorgesehen, die im Anschluss an OTS 1.0 umgesetzt werden soll. Die dafür vorgesehenen Schritte werden in der nachfolgenden Roadmap dargestellt.

Da sich das Gebiet noch in der Planungsphase befindet und noch nicht alle Projektdetails endgültig feststehen sowie die geplante Schließung des Flughafens Tegel spätestens im März 2021 abzuwarten ist, wird in der Roadmap eine übergeordnete Implementierungsstrategie beschrieben, die als Handlungsleitfaden für die spätere Realisierung herangezogen werden soll.

3.9.6.1 Phase 1: Im bestehenden Gewerbegebiet im Süden

In der ersten Phase der Implementierung, während der Bauleit- und Realisierungsplanung und bevor bzw. während das Stadtquartier im Norden errichtet wird, sollen die selbstfahrenden Busse im südlichen, dem Gewerbe vorbehaltenen Teil der Insel Gartenfeld mit den dort ansässigen Gewerbetreibenden erprobt werden. Derzeit ist das südliche Gewerbegebiet mit einem Zaun vom nördlichen Bereich abgegrenzt, dessen Sicherung auch über eine vorhandene Schranke möglich ist. Die Anbindung an das übergeordnete Straßenverkehrsnetz erfolgt bislang ausschließlich über die Gartenfelder Straße im Osten. Diese eine Zufahrt ist mit einer Schranke und Pfortner gesichert. Zurzeit sind auf dem Standort mehr als 17 Betriebe mit verschiedenen Betriebstypen ansässig wie z. B. Werkstätten (Oldtimerservice, Möbelbau, Requisiten/Theater), Logistikfirmen, Autovermietungen, Umzugsfirmen, Online-Handel, Technologiebetriebe für Dichtungstechnik, Ingenieurbüros, Bildungseinrichtungen, Catering/ Eventmanagement, Lagernutzung.

Dieser Erprobungsraum eignet sich für den Beginn der Einführung, da sich dort durch den Bestand und eingeschränkten Personenkreis ein geschütztes Experimentierfeld ergibt. Das Gewerbegebiet stellt trotz des Bestands der vorhandenen Gewerbebetriebe aufgrund des alltäglichen Geschäftsbetriebs, u. a. des Liefer- und Kundenverkehrs sowie der An- und Abfahrt der Beschäftigten, ein neues und komplexes Gebiet zur Erprobung der autonomen Fahrzeuge dar.

Insgesamt wird der Gewerbestandort von großflächig versiegelten Flächen mit gewerblichen Hallen geprägt. Die innere Erschließung ist derzeit der gewerblichen Nutzung entsprechend um die bestehenden Hallenstrukturen organisiert. Die Linienführung des autonomen Busses soll sich an den Bestandsgebäuden und -wegen ausrichten. Der Verkehrsraum besteht aus privat gewidmeten Straßenverkehrsflächen (Privatgelände). Das gesamte Gewerbegebiet soll durch eine innere Ringlinie erschlos-

sen und mit dem östlichen – und bislang einzigen – Quartierseingang an der Gartenfelder Straße verknüpft werden (siehe Abbildung 63). An dieser Stelle soll ein Mobility Hub entwickelt werden, der neben der Funktion als Quartiersparkhaus als multimodaler Umsteigeort fungieren soll, sodass von dort aus vom autonomen Bus auf die privaten Kfz oder Car- und Bikesharing umgestiegen werden kann. Zusätzlich ist das Angebot verschiedener Dienstleistungen, wie z. B. ein Fahrrad- und Lieferservice sowie die Einrichtung einer Abholstation für Warenlieferungen im Mobility Hub geplant. Die Herausforderung besteht darin, alle An- und Abfahrtswege zum und vom Mobility Hub – auch unter Beachtung des weiterhin stattfindenden Lieferverkehrs – zu koordinieren, sodass kein Stau am Quartierseingang entsteht.

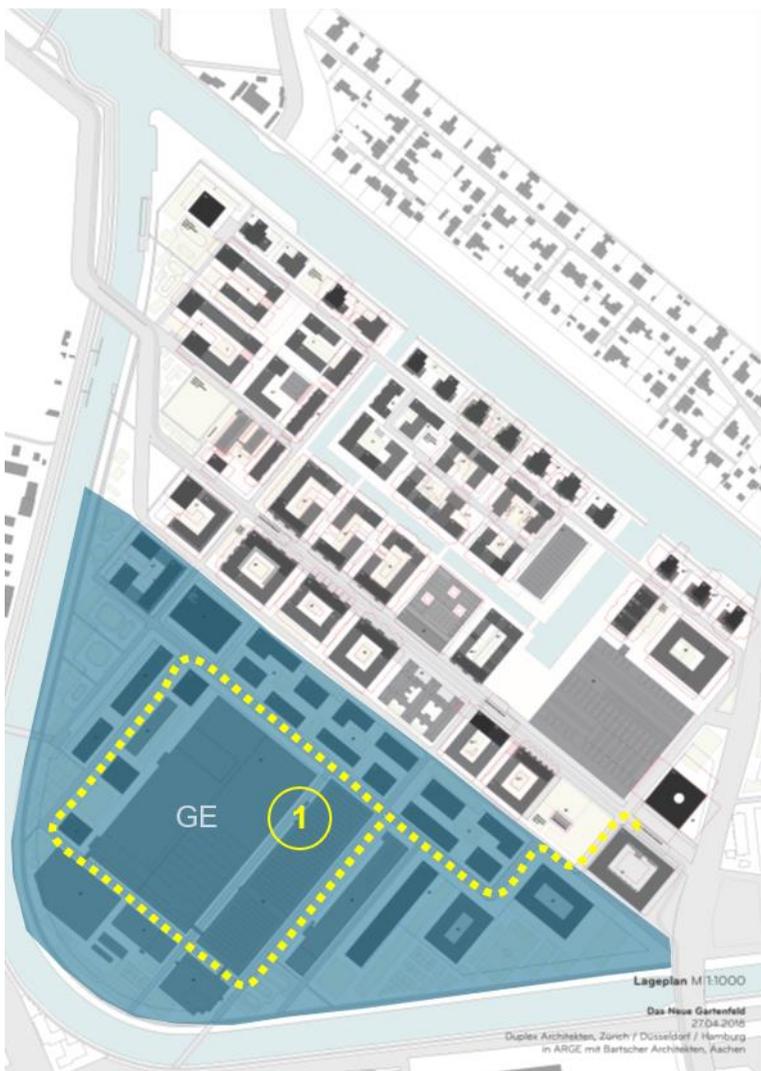


Abbildung 63: Phase 1 – Einführung des autonomen Busses im bestehenden Gewerbegebiet im Süden (Grundlage: [17])

Da es in den Spitzenstunden des Berufsverkehrs am Morgen und Nachmittag zu einer größeren Nachfrage kommt, ist zu diesen Zeitpunkten der Fahrzeugbedarf höher, worauf mit einer höheren Taktung reagiert werden soll (siehe AP8000). Die Haltestellen des selbstfahrenden Busses werden vor die Ein-

gänge der Gewerbebetriebe platziert, um die Laufwege so kurz wie möglich zu halten. Insgesamt wird für das Gewerbegebiet ein Zweirichtungsbetrieb angestrebt.

Die Erprobung im Gewerbegebiet bildet die Zwischenstufe vor der Erprobung im neuerrichteten Mischquartier. Dies hat den Vorteil, dass eine sukzessive Einführung und Öffnung für einen offenen Nutzerkreis erreicht werden kann, da der selbstfahrende Bus erst auf einem Privatgelände mit einem überschaubaren Personenkreis getestet und anschließend dessen Erprobungsraum auf öffentlichem Straßenraum mit einem offenen Nutzerkreis und unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern erweitert wird. Die daraus entstehenden Erkenntnisse über die unterschiedlichen Auswirkungen und Bedingungen können in die Gebietsentwicklung des neuen Mischquartiers einfließen und zur Modifizierung des autonomen Fahrzeugs im laufenden Betrieb beitragen.

Der Beginn dieser Erprobung wird für das Jahr 2019, nach Abschluss des OTS-Projekts 1.0 und während des Verfahrens zur Aufstellung des Bebauungsplans 5-109, angestrebt.

3.9.6.2 Phase 2 und 3: Im neuerrichteten Stadtquartier

Die zweite Implementierungsphase soll – ergänzend zum Gewerbegebiet – innerhalb des neu entstehenden Quartiers für Wohn- und Mischnutzung im nördlichen Bereich des Plangebiets erfolgen und die neuen Bewohner und Beschäftigten Gartenfeld bedienen.

Für den südlichen Bereich ist die Qualifizierung und Verdichtung der gewerblichen Nutzungen vorgesehen, sodass in einem ersten Schritt der Streckenverlauf des selbstfahrenden Busses unter Berücksichtigung des Bauablaufs an die neuerrichteten Gebäude angepasst werden muss. Zudem wird im Südwesten ein ca. 3 ha großer Schulcampus mit Grundschule und integrierter Sek I und II und den dazugehörigen Sportplätzen errichtet, der ebenfalls vom autonomen Shuttle erschlossen werden soll.

In einem zweiten Schritt soll anschließend die Anbindung des im Quartier zentral verlaufenden Tram-Boulevards sichergestellt werden, an dem die Verlängerung der Tram-Trasse von der heutigen Straßenbahnwendestelle Seestraße in Ost-West-Richtung geplant ist. Durch diesen Streckenverlauf kann die denkmalgeschützte Belgienhalle, die als Markthalle mit Einzelhandelsgeschäften, Sport- und Kulturangeboten sowie Einrichtungen der sozialen Infrastruktur erhalten bleibt und die vorgelagerte Piazza, erschlossen werden. Am Tram-Boulevard selber ist die Entwicklung von weiteren Handels- und Freizeiteinrichtungen sowie verschiedenen sozialen Einrichtungen, wie Kita, Jugend- und Familienzentren und einem Ärztehaus als zentrale Ost-West-Achse mit Pufferwirkung vorgesehen, welche die Verträglichkeit der Wohnnutzung im Norden und der Gewerbenutzung im Süden gewährleisten soll. Voraussichtlich wird der Bus dafür auf dem Tram-Boulevard hin- und herfahren (siehe Abbildung 64).

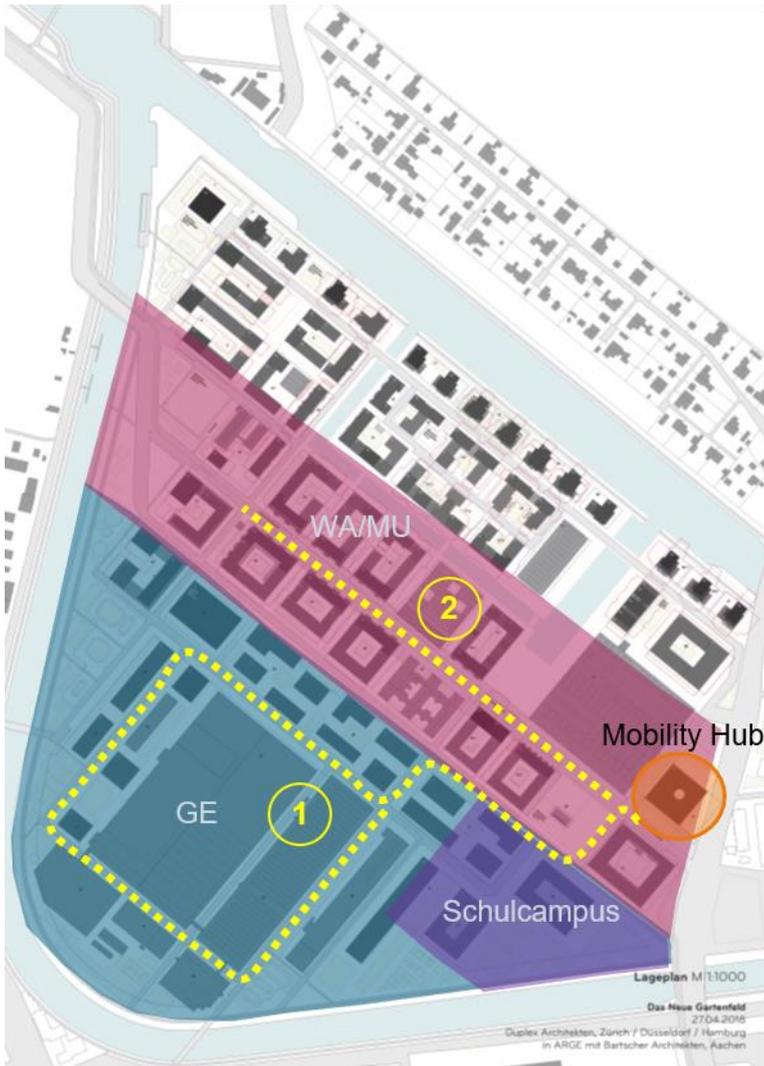


Abbildung 64: Phase 2 – Im neu errichteten Stadtquartier (Grundlage: [17])

Dem Bauablauf folgend soll in einem dritten Schritt, nach Fertigstellung des Quartiers, die Erschließung des nördlichen Wohnbereichs erfolgen. Die Schwerpunkte hierbei liegen auf der inneren Erschließung des Quartiers und der Erreichbarkeit der Mobility Hubs, in denen die Bewohner auf ihre privaten PKW umsteigen können. Um sowohl den Mobility Hub am östlichen Quartierseingang zur Gartenfelder Straße als auch den zweiten am westlichen Gebietseingang aus Richtung Haselhorst zu verknüpfen, können zwei Erschließungsmöglichkeiten verfolgt werden:

1. Der autonome Shuttle wird über den Tramboulevard geführt und biegt südlich Richtung des zweiten Mobility Hubs ab oder
2. der autonome Shuttle wird südlich des Tramboulevards geführt. Das hat den Vorteil, dass der Tramboulevard verkehrstechnisch beruhigt wird, sodass dort die Aufenthaltsqualität für die Rad- und Fußgänger im Sinne einer Flaniermeile gesteigert wird.

Als Route für den autonomen Bus wird eine innere Ringerschließung – sog. Loop – angestrebt, die das nördliche Wohngebiet mit dem urbanen Mischgebiet und den daran angeknüpften zentralen Einrich-

tungen verbindet (siehe Abbildung 65). Die äußeren Straßenverkehrsflächen im Wohngebiet werden öffentlich gewidmet und die untergeordneten privat bzw. mit besonderer Zweckbestimmung (verkehrsberuhigter Bereich, Rad- und Fußweg). Ergänzend zur verkehrlichen Anbindung werden die Grün- und Freiflächen entlang des Uferbereichs mit einem weitläufigen Fuß- und Radwegenetz qualifiziert.

Für das autonome Fahrzeug müssen keine gesonderten Fahrspuren verbaut werden – dieses fährt auf den im Quartier öffentlich gewidmeten Straßen. Wartung und Abstellen der Fahrzeuge kann in den Mobility Hubs erfolgen. Innerhalb des Quartiers wird es nur eine sehr geringe Zahl von Stellplätzen geben. Die privaten Autos der Bewohner und Beschäftigten werden in den Mobility Hubs an den Quartierseingängen abgestellt.



Abbildung 65: Phase 3 – Im neu errichteten Stadtquartier (Grundlage: [17])

Bis zur Ermöglichung eines On-Demand-Busbetriebs ist zu Beginn die Errichtung von Haltestellen geplant. Zur gesamtheitliche Erschließung des Quartiers sind ca. 15 Haltestellen in regelmäßigen Abständen auf der Ringlinie im Norden und Süden im Misch- und Gewerbegebiet geplant. Die Haltestellen sollen strategisch so verteilt sein, dass sie sich an den Quartiers- und Gebäudeeingängen befinden

und die Laufwege so kurz wie möglich gehalten werden. Der Haupt-Knotenpunkt wird an den zwei Mobility Hubs am Eingang des Quartiers sein (siehe Abbildung 66). Zur Sicherstellung eines ausreichenden Angebotes, ist es notwendig, dass im Zweirichtungsbetrieb gefahren wird, wodurch die Nutzerströme besser verteilt werden können. Abschließend ist zu prüfen, ob eine gesamtheitliche Erschließung des Gewerbe- und Mischgebiets oder eine getrennte Erschließung für den Norden und Süden sinnvoller wäre.

Konkrete Berechnungen zu den Bus- und Fahrgastanzahlen sowie Fahr- und Wartezeiten werden näher im AP2000 und AP8000 beschrieben.

Diese Erprobungsphase soll während der Bauphase für das nördliche Mischgebiet beginnen, nach der Fertigstellung des ersten Bauabschnitts am Tram-Boulevard. Mit der voraussichtlichen Fertigstellung des Quartiers im Jahr 2022 soll die ganzheitliche Erschließung des Quartiers erfolgen.



Abbildung 66: Haltestellenpunkte im neu errichteten Stadtquartier und Gewerbegebiet (Grundlage: [17])

3.9.6.3 Phase 4: Außerhalb des neuen Stadtquartiers Gartenfeld

In der letzten Phase sollen die selbstfahrenden Elektrobusse die überörtliche Erschließung des Quartiers übernehmen, insbesondere die Verbindung des neuen Stadtquartiers Gartenfeld mit den umliegenden U- und S-Bahnhöfen (siehe Abbildung 67). Zurzeit ist das Quartier nur unzureichend an den ÖPNV und die Innenstadt angebunden, die räumlich naheliegendste U-Bahnstation ist ca. 1 km entfernt – der U-Bahnhof Paulsternstraße südlich des Plangebiets. Diese Erschließungslücke gilt es durch den autonomen Shuttle zu schließen, da für verschiedene traditionelle Überlegungen zum Ausbau der S-Bahnlinie oder Verlängerung der Tramtrasse ins Quartier der Planungs- und Realisierungsprozess viele Jahre beträgt. Damit das neue Stadtquartier Gartenfeld von seinen zukünftigen Bewohnern und Beschäftigten akzeptiert wird und es sich v. a. für die bisherigen Autobesitzer tatsächlich lohnt, im Alltag vollständig auf das eigene Auto zu verzichten, ist die Verbesserung der Anbindung an den ÖPNV unabdingbar, die kurzfristig nur durch innovative Lösungen erreicht werden kann

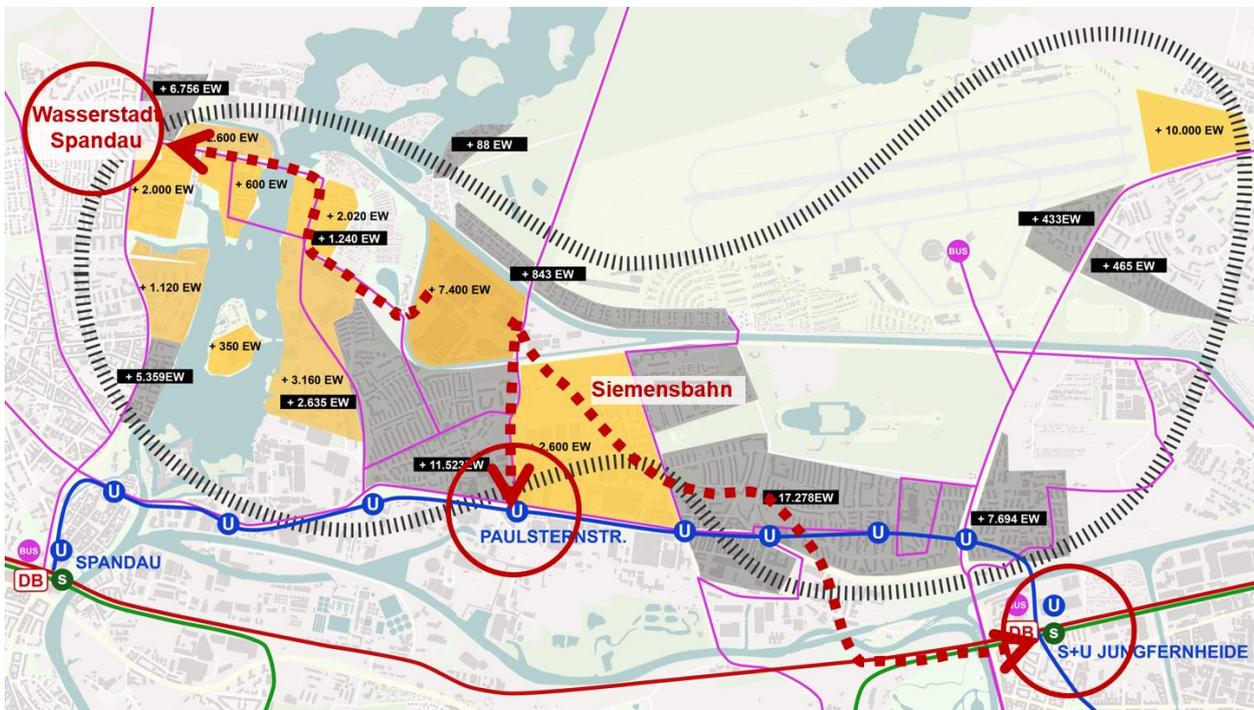


Abbildung 67: Phase 4 – Außerhalb des neuen Stadtquartiers Gartenfeld (Grundlage: [18])

Als erster Schritt wäre daher die Anbindung des Quartiers insbesondere des Mobility Hubs am Eingang zur Gartenfelder Straße an den im Süden gelegenen U-Bahnhof Paulsternstraße mit Anschluss an die U-Bahnlinie 7 zu sichern. Dafür wäre ein im Zweirichtungsbetrieb fahrender Bus sinnvoll. Für diese Anbindung soll geprüft werden, ob die Strecke über die Gartenfelder Straße/Paulsternstraße oder kleinere Nebenstraßen führen soll. Für eine mögliche Nutzung ist in die Überlegungen auch die ehemalige Eisenbahnverkehrsfläche der Siemens Güterbahn entlang der Paulsternstraße/Gartenfelder Straße miteinzubeziehen. Diese von Bahnbetriebszwecken freigestellte Trasse wurde seit dem Jahr 2005 nicht mehr für den Güterverkehr genutzt und liegt brach. Diese Fläche stellt einen räumlich abgegrenzten Bereich vom restlichen Verkehr dar und ist damit für den Betrieb der autonomen Fahrzeuge von besonderem Interesse.

Des Weiteren ist die Anbindung des Quartiers Richtung Wasserstadt Spandau Oberhavel im Westen unabdingbar, da bislang eine Anbindung in diese Richtung fehlt. Für eine geeignete Anbindung Gartenfelds an die Wasserstadt Oberhavel soll voraussichtlich die geplante zentrale Hauptverkehrsstraße über die Rhenaniastraße im Südwesten genutzt und über die Wasserstadtbrücke nach Spandau fortgeführt werden. Diese Anbindung wäre nicht nur für das Stadtquartier Gartenfeld wichtig, sondern auch für die in der näheren Umgebung neuerrichteten Wohnquartiere, die bisher kaum an die Innenstadt angebunden sind. Insgesamt entstehen dort in den nächsten Jahren Wohnungen für ca. 15.000 neue Einwohner. Für die Erschließung dieser Wohngebiete bietet sich eine gemeinsame und integrierte Betrachtung an.

Eine weitere Überlegung besteht darin, die stillgelegte Siemensbahn zu reaktivieren, auf der das autonome Shuttle in einem abgegrenzten Raum fahren könnte. Die Siemensbahn beginnt am S-Bahnhof Jungfernheide, wo sie Anschluss zur Ringbahn hat. Von dort aus verläuft sie über den Ortsteil Siemensstadt zum 1929 eröffneten Endbahnhof Gartenfeld südöstlich des Quartiers. Die Gleise der Siemensbahn existieren auch heute noch, da der Streckenteil zwischen dem Bahnhof Gartenfeld und der Bezirksgrenze von Spandau sowie die dazugehörigen Bahnhofsgebäude seit dem Jahr 1995 denkmalgeschützt sind. Zurzeit ist die im Eigentum der Deutschen Bahn befindliche Siemensbahn stillgelegt. Die Strecke ist fast auf ganzer Länge als Viaduktbahn angelegt, lediglich der Bahnhof Gartenfeld liegt ebenerdig. Diese planfestgestellte Trasse eignet sich für den Betrieb des autonomen Fahrzeugs besonders, da sie einen räumlich abgegrenzten Bereich vom restlichen Verkehr darstellt, damit hohen Sicherheitsanforderungen entspricht und die Anbindung des Quartiers an die S-Bahn ermöglicht. Ein Vorteil wäre auch, dass durch die räumliche Abgrenzung höhere Geschwindigkeiten des autonomen Shuttles bis zu 70 km/h realisierbar wären, was bislang in keinem anderen Testgebiet möglich ist.

Die Realisierung dieser Erprobungsphase wird für den Zeitraum 2022 – 2024 angestrebt.

3.9.7 Ausblick und Handlungsempfehlungen

Das Neue Gartenfeld eignet sich aus vielen Gründen als Erprobungsraum für das autonome Shuttle. Die Besonderheit dieses Quartier liegt in der geplanten Mischung der Nutzungen aus Gewerbe, Wohnen, Handel und dem Schulcampus sowie der Mischung der Eigentümer- und Bewohnerstruktur. Im Neuen Gartenfeld soll ein für den Städtebau des 21. Jahrhundert beispielhaft wirkendes Quartier für über 7.000 Einwohner entwickelt werden. Für die technische Infrastruktur sind die dazu notwendigen integrierten und innovativen Konzepte auf den Weg gebracht, zu denen auch die in der Roadmap erwähnten notwendigen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Implementierung des autonomen Shuttles gehören.

Die Infrastrukturen, die jetzt geplant werden, sollen darauf aufsetzen, die Ideen der Sharing Ökonomie, wie die des autonomen Shuttles sowie andere neue und kommunitäre Elemente einer gemeinsamen Alltagsgestaltung anregen und durch ihre Angebotsstruktur vertiefen. Die gesamte technische und soziale Infrastruktur wird digital vernetzt und für jeden Bewohner über eine Quartiersapp nutzbar gemacht, wodurch eine Plattform zum gemeinschaftlichen Austauschen entstehen soll.

Wesentlich für den Erfolg eines solchen Quartiers und Mobilitätsangebots ist auch, dass sich alle Eigentümer zur Finanzierung und Umsetzung dieses Konzepts verpflichtet haben.

Durch die räumliche Nähe Gartenfelds zu vielen weiteren neu entstehenden Quartieren, insbesondere in Richtung Wasserstadt Oberhavel, ergibt sich die Chance, den Erprobungsraum des autonomen Shuttles auch außerhalb Gartenfelds zu erweitern. Denn alle diese Quartiere benötigen dringend eine bessere Anbindung an die Innenstadt, d. h. an die umgebenden U- und S-Bahnhöfe. Dafür ist es für die Zukunft sinnvoll und notwendig, mit den Eigentümern der Neubaugebiete an der Wasserstadt Oberhavel und den politischen Verantwortlichen verstärkt in Kontakt zu treten und eine integrierte Betrachtung zu forcieren. Kontakt besteht hierbei bereits mit den Wohnbaugebieten der Gewobag, die ebenfalls als kommunaler Bauträger in Gartenfeld zu den Projektpartnern gehören und ebenfalls an einer Erprobung autonomer Fahrzeuge interessiert sind. Eine in die Richtung offene Implementierungsstrategie wäre außergewöhnlich und hätte Modellcharakter.

4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung, Infrastruktur Sensorik nur an neuralgischen Punkten zu installieren, hat sich im Laufe des Projekts die Notwendigkeit einer vollständigen Streckenausrüstung zur lückenlosen Erfassung des Verkehrs entlang der gesamten Strecke herausgestellt. Somit erfolgte eine vollständige Ausstattung der Teststrecke mit Radarsensorik sowie an ausgewählten Stellen mit einem RTLS (Lokalisierungssystem) sowie Lidarsensoren.

Die umfängliche Streckenauslegung wirkte sich auf den Umfang und die Laufzeit einzelner Aspekte im Projekt analog aus:

- Aufbau der Streckensensorik
- Integration der Vielzahl an Sensoren zu einem Sensorfeld
- SW und HW (Software und Hardware) Lifecycle-Management
- Ausweitung der Fahrversuche
- Gewährleistung des sicheren Betriebs des Testfelds am Standort der Siemens AG in München Perlach

Fahrzeugaufbau und Verifikation der straßenseitigen Infrastruktur wurde letztlich über ein zusätzlich in das Projekt eingebrachtes Messfahrzeug (ILO 1) entkoppelt und parallelisiert.

Im OTS-Projekt wurde letztlich die Entscheidung getroffen, für die Partner IAV Automotive GmbH und Siemens Mobility GmbH eine Verlängerung des Bewilligungszeitraums um 4 Monate bis Ende Oktober 2018 zu beantragen. Nicht nur der Umfang der Strecke mit den vorangehend genannten Aspekten, sondern auch der dem Projekt eigene Neuigkeitsgrad der Entwicklung, insbesondere die Integration von Infrastruktur und Fahrzeug, führte im Laufe der Integrationsphase des Fahrzeugs zu Erkenntnissen, die konzeptionelle Verschiebungen und Erweiterungen erforderlich machten.

5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Ein teilautomatisiertes Fahren ist heute mit einem Fahrer am Steuer technisch und rechtlich auf Autobahnen möglich. Für ein hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen sollen die rechtlichen Grundlagen nunmehr gelegt werden. Die hierfür notwendige Technologie ist nahezu marktreif.

Automatisiertes Fahren im urbanen Raum ist Stand der technischen Forschung. Fahrzeuge ohne lenkende Fahrer sind heute im öffentlichen Verkehr nicht Stand der Technik. Es gilt, rechtliche, technische und organisatorische Fragestellungen weiter auszuarbeiten und zu klären.

Innovatives Mobilitätsmanagement hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Parkraummanagement, Mobilitätsdienste, online-basierte und dynamische Routenregelung sind heute am Markt verfügbar. Die Weiterentwicklung und Integration solcher Dienste hin zu einem gesamtheitlichen Mobilitätsmanagement für autonom fahrende Fahrzeuge gilt es anzugehen.

In der rechts-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Auseinandersetzung sind Themen des autonomen, automatisierten und teleoperierten Fahrens mit Elektrofahrzeugen bisher nur in Teilaspekten aufgegriffen worden. Der hier dargestellte, integrierte Ansatz wurde bisher nicht erforscht oder diskutiert.

Die Rechtswissenschaft hat sich mit den Voraussetzungen für die Einführung von zunehmend automatisierten und autonomen Fahrzeugen in Mischverkehre und den zunehmenden Einsatzmöglichkeiten von verkehrstelematischen Systemen (V2X) in Test und Praxis bisher kaum gewidmet. Auch in der administrativen Praxis besteht teilweise Unsicherheit, insbesondere bei der Erteilung und Ausgestaltung der zur Erforschung der Technik erforderlichen Genehmigungen und Ausnahmegenehmigungen. Grund dafür ist, dass oftmals rechtliche Orientierungspunkte fehlen.

Die mikroskopische Verkehrssimulation ist ein gängiges und kosteneffizientes Mittel zur Wirkungsabschätzung neuer verkehrlicher Möglichkeiten. Die auf dem Markt befindlichen Simulationswerkzeuge haben vielfach gezeigt, dass sie verschiedene verkehrliche Gegebenheiten realistisch nachbilden können. Auch gibt es verschiedene nationale und internationale Richtlinien und Merkblätter, welche die Nutzung von mikroskopischen Verkehrssimulationen (Aufbau der Simulationsumgebung, Anzahl an Simulationsdurchläufen, Kalibrierung, Validierung) sowie die Auswertung der Ergebnisse (repräsentative Kenngrößen, statistische Signifikanzen, ...) beschreiben und standardisieren (vgl. [19] oder [20]). Auch konnte bereits in verschiedenen nationalen und internationalen Forschungsprojekten gezeigt werden, wie die mikroskopische Verkehrssimulation zur Wirkungsabschätzung von intelligenten Transportsystemen genutzt werden kann (vgl. u.a. simTD, ur:ban, ecomove, AKTIV,...). Die Integration straßenseitiger Infrastruktur Sensorik in die mikroskopische Verkehrssimulation stellte sich im Laufe des Projektes als machbare, aber bislang nicht betrachtete Sichtweise heraus.

Die Erweiterung der Umfelderkennung automatisierter Fahrzeuge durch die straßenseitige Infrastruktur in der Stadt ist bislang nur Gegenstand der Vorfeldentwicklung. Hier konnte OTS 1.0 den Mehrwert an ausgewählten Szenarien darstellen und den Weg öffnen hin zu weiteren Entwicklungsarbeiten einer kollaborativen Umfelderkennung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur.

Lokalisierung ist eine der zentralen Herausforderungen autonomen Fahrens. Es gibt unterschiedlichste Verfahren zur Erkennung der Ego-Position bspw. mittels (D)GPS, Erkennung von Landmarken, oder Odometrie. OTS 1.0 konnte hier verschiedene Methoden evaluieren und vergleichen, darunter die Unterstützung GPS-schwacher Gebiete mittels DGPS sowie lokal durch zusätzliche Verfahren basierend auf Ultrabreitband Funktechnik. Letztere wird bislang überwiegend im Indoor-Bereich und in dedizierten Anwendungen bspw. Sportveranstaltungen oder Fuhrparkmanagement im Outdoor-Bereich eingesetzt.

6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Beim Nutzen, d. h. den Verwertungsmöglichkeiten der Untersuchungsergebnisse, wird zwischen den zwei Kategorien „Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit“ sowie „Technische Erfolgsaussichten und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit“ unterschieden.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit

Die im Projekt entwickelten Konzepte dienen dazu, eine Grundlage zur wirtschaftlichen Betrachtung und Weiterentwicklung des infrastrukturgestützten autonomen Fahrens zu etablieren.

Aus Sicht des Projektes kann festgestellt werden, dass neben den notwendigen technologischen Weiterentwicklungen auch die politischen, gesellschaftlichen und standardisierenden Rahmenbedingungen angepasst werden müssen, um solche Systeme wirtschaftlich anbieten und betreiben zu können. Heute ist infrastrukturgestütztes autonomes Fahren an vielen Stellen noch nicht wirtschaftlich darstellbar. Die Kosten für straßenseitige Infrastruktur in der Vorfeldforschung sind signifikant. Auch ist die Frage der Abdeckung von dedizierten Räumen im urbanen Raum dahingehend zu klären, wieviel Infrastruktur aufgebaut wird. Aufgabe ist es nun, genau diese beiden Faktoren – die Investitionskosten und die Abdeckung – dahingehend zu evaluieren, dass sie möglichst klein ausfallen.

Technische Erfolgsaussichten und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus technischer Sicht bestanden die Hauptaufgaben dieses Forschungsprojektes in der Analyse der Machbarkeit eines infrastrukturgestützten autonomen Fahrens als neue Form der Mobilität, die den öffentlichen Nahverkehr stärkt. Um dieses und weitere technische Themen detaillierter zu untersuchen, beabsichtigt Siemens Mobility die Fortsetzung der Arbeiten in Anschlussprojekten. Im Rahmen dieser Anschlussprojekte werden verschiedene Demonstratoren im öffentlichen Raum realisiert, um die Voraussetzungen für multimodale Mobilität inklusive autonomer Fahrzeuge zu schaffen und voranzubringen.

Technische Detailthemen sind insbesondere:

- resiliente Kognition vom Sensor bis zum Gesamtsystem
- modulare und adaptive Security in Systemen mit dynamischen Grenzen
- Verfahren und Kenngrößen zur mikroskopische Optimierung des Straßenverkehrs in Echtzeit
- modellbasierte Validierung kognitiver Systeme und iterativ inkrementelle Inbetriebnahme im Feld
- zuverlässiger und rechtsverbindlicher Datenaustausch via Funknetze und Übergang zwischen unterschiedlichen Netzanbietern
- effiziente Funktionsverteilung in der Kognition, Lokalisierung, Routen- und Bahnplanung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur in Verkehrsszenarien unterschiedlicher Ausstattungsrate bzgl. automatisierter Fahrzeuge

Im Detail wird hier insbesondere das Thema der resilienten Kognition beleuchtet.

Die Bewertung der Sicherheit erfolgt im Automobilumfeld bzgl. E/E System anhand von ISO26262. Die normativen Vorgaben adressieren ein aus zufälligen HW-Fehlern und Prozessmängeln resultierendes

Risiko. HW-Fehler und Prozessmängel können als systemimmanente Fehlerursachen klassifiziert werden.

Im Kontext der Fahrzeugautomatisierung, insbesondere nach SAE Level 4 und 5 [21], wird die Funktion des Fahrzeugs massiv durch die Qualität der Kognition sowie der Bahn- und Manöverplanung im Fahrzeug beeinflusst. Auch hier kann die ISO26262 zur Ableitung qualitätssichernder Maßnahmen herangezogen werden. Ziel muss es dabei sein, das Risiko aus systemimmanenten Fehlern auf ein zulässiges Maß zu reduzieren.

Darüber hinaus ist der Einfluss externer Faktoren und technisch-funktionaler Einschränkungen auf die Funktionsgüte der Fahrzeugautomatisierung zu definieren, zu bewerten und nachzuweisen. Externe Faktoren sind Szenen (Objekte, die sich im Blickfeld eines kognitiven Systems befinden), Strukturen, Farben, Licht- und Wetterverhältnisse. Der Standard ISO PAS 21448 [22] liefert bis zu einem SAE Level 3 Hilfestellungen zur Beantwortung der Fragen:

- Wie gut ist gut genug für kognitive Systeme?
- Wie weisen wir die Güte nach?

Diese Fragen sind insofern spannend, da lernende Algorithmen aus der Domäne der künstlichen Intelligenz zum Einsatz kommen. Es gibt Ansätze, über die Vielzahl von Tests die Güte statistisch nachzuweisen. Nichts desto trotz lassen sich immer Fehler konstruieren, die zur direkten Invalidierung der Kognition führen. Beispiele werden in [23] genannt.

Letztlich lassen sich eine Vielzahl an Forschungsfragen ableiten:

- Wie messen wir die Güte kognitiver Systeme?
- Wie messen wir das Risiko auf Basis der Güte kognitiver Systeme bei Anwendung in sicherheitskritischen Funktionen?
- Wie erfolgt die Verifikation (methodisch und technisch)?
- Wie erfolgt die Validierung (methodisch und technisch)?
- Mit welchen SW-Mechanismen können wir in variablem Umfeld vernetzter und mit dem Umfeld interagierender kognitiver Systeme die zuvor hergeleitete Güte sicherstellen?
- Welche Abhängigkeit besteht zu fahrdynamisch relevanten Größen (Geschwindigkeit, Gierrate, ...)?
- Welche Anteile lassen sich funktionsübergreifend entwickeln und im Nachweis/der Verifikation funktionsübergreifend verwenden?

In Zusammenarbeit mit Zulassungsinstitutionen sind auf dieser Basis auch solche Fragen zu beantworten:

- Wie erfolgt eine Zulassung kognitiver Systeme?
- Welche Rahmenbedingungen sind einzuhalten (örtliche Bindung, ...)?
- Wie erfolgt die Zulassung von Werkzeugen?

Im Kontext der Verbindung der Fahrzeuge mit der Straßenverkehrsinfrastruktur ergibt sich eine weitere zu beantwortende Fragestellung:

- Welche Möglichkeiten ergeben sich durch die Verknüpfung fahrzeugseitiger (mobiler) und straßenseitiger (stationärer) Kognition hinsichtlich funktionaler Güte aber auch mit Blick auf die Verifikation, Validierung und Zulassung?

7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)

Der vorliegende Projektbericht bezieht sich auf die Förderbekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB, seit 14. März 2018 „Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit“, BMU) vom 23. Oktober 2015 (BAnz AT 10.11.2015 B3). Als Fördergegenstand ist dort die Ermittlung der Umwelt- und Klimafaktoren durch Feldversuche in ausgewählten Fahrzeugsegmenten und Anwendungsbereichen benannt. Die Entwicklung autonomer und teleoperierter Elektrofahrzeuge und zu ihnen passender Mobilitätskonzepte, Betreiber und Geschäftsmodelle, die den öffentlichen Personennah- und Fernverkehr (ÖPNV/ ÖPFV) stärken und fortentwickeln, können ein wichtiger Anwendungsfall für Elektrofahrzeuge mit induktiver Lademöglichkeit werden. Wenn die Nahmobilität durch flexibles Carsharing mit autonomen Fahrzeugen befriedigt wird und gleichzeitig ÖPNV und ÖPFV besser integriert und gestärkt werden, kann damit ein ressourcenschonender Verzicht auf Privat-Pkws einhergehen.

Die damit einhergehende vollständige Elektrifizierung dieser Mobilitätssysteme bringt zudem ein erhebliches Potenzial zur Reduktion der Verkehrsemissionen an CO₂, Feinstaub und anderen Luftschadstoffen mit sich, die zu den ehrgeizigen klima- und energiepolitischen Zielen beitragen, auf die auch die Förderbekanntmachung noch einmal hinweist. Gerade Nutzergruppen, die bisher individuelle Mobilität mit dem Pkw aus Altersgründen (Minderjährige oder alte Menschen) mangels personeller Befähigung (Fahrerlaubnis) oder aufgrund von Krankheit oder Armut nicht nutzen konnten, werden neue Chancen auf gesellschaftliche Teilhabe eröffnet. Die bessere Integration von ÖPNV und ÖPFV kann diese ohnehin emissionsärmeren Mobilitätsformen attraktiver machen und eröffnet damit weitere Potenziale für die Reduktion der Verkehrsemissionen. Auch städtebaulich und stadtplanerisch bringen die hier adressierten Mobilitätskonzepte nicht nur die Vorteile der Elektromobilität mit sich (lokale Emissionsfreiheit und Lärmreduktion), sondern können zu einer Reduzierung der Pkws insgesamt und den damit einhergehenden stadt- und verkehrsplanerischen Problemen beitragen. Gleichwohl werden individuelle Mobilitätsoptionen erhalten, ausgebaut und für bestimmte Nutzergruppen sogar erst geschaffen.

Autonome Fahrfunktionen versprechen darüber hinaus eine besonders gute Ausnutzbarkeit der Vorteile der Elektromobilität, eine Reduktion ihrer Nachteile und einen Beitrag zur besseren Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen. Einzelne induktive Ladepunkte können besser ausgenutzt werden, wenn ein Fahrzeug nach Abschluss eines Ladevorgangs den Ladepunkt automatisch freigibt. Auch Funktionen des gesteuerten Ladens können besser ausgenutzt werden, wenn Fahrzeuge gezielt zu den gewünschten Ladezeiten autonom auf die Ladepunkte steuern. Diese Vorteile können nicht nur durch vollautonome Fahrzeuge realisiert werden, sondern auch von Fahrzeugen, die lediglich autonome Parkfunktionen haben, jedoch im Übrigen hochautomatisiert oder teleoperiert fahren. Gleichzeitig kann bei günstiger Anordnung der Ladepunkte ein kontinuierliches Laden in der Ruhezeit weitergehend gewährleistet werden, als dies bei herkömmlichem Carsharing mit Elektrofahrzeugen der Fall ist. Da es sich zusätzlich um eine Anwendung der Nahmobilität handelt, werden Reichweitenprobleme der Elektromobilität kaum noch eine Rolle spielen. Auch die Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge kann so ein deutlich höheres Niveau erreichen als es beispielsweise bei vollelektrischen Bussen bisher der Fall ist.

Darüber hinaus wurde bereits oben beschrieben, wie induktives Laden autonome und teleoperierte Fahrzeuge noch unabhängiger vom direkten, menschlichen Eingreifen vor Ort macht. Der elektrische Antrieb unterstützt den mit autonomen und teleoperierten Fahrzeugen verfolgten Technologieansatz, so dass bei ihrer Einführung auch mit einer schnelleren Marktdurchdringung bei der Nutzung elektrischer Antriebe zu rechnen ist.

Wie von der Förderbekanntmachung vorgesehen, wird die technische Forschung flankiert von Nutzerpotenzial- und Akzeptanzforschung. Die Betrachtung von Betreiber- und Geschäftsmodellen, begleitet von Vorschlägen für ihre rechtliche Umsetzung, runden das Projekt ab und haben von Anfang an die Entwicklung eines serienreifen Gesamtkonzepts vor Augen. Gleichzeitig kann der Aufbau des Demonstrators die Bevölkerung in die Entwicklung führerloser Fahrzeugkonzepte einbeziehen und helfen, diese an die neue Technologie herauszuführen. Der Ansatz, die technischen Anforderungen aus wirtschaftlichen Anwendungen abzuleiten, ist nicht neu, wird bisher aber nicht konsequent und durchgängig angewendet. Das Vorgehen innerhalb des Projektes „OTS 1.0“ berücksichtigt im Kern die spätere wirtschaftliche Nutzung und liefert damit einen wesentlichen Beitrag zu einer möglichst zeitnahen Durchdringung des Verkehrssystems mit elektrischen Fahrzeugen.

8 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses

8.1 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse können und sollen seitens aller Projektpartner und sonstiger Beteiligter auf Konferenzen und Fachtagungen verwendet werden. Innerhalb dieser Konzeptstudie sind aktuell folgende Veröffentlichungen vorgesehen:

- European Microwave Week. 23-28 September 2018. Feria de Madrid, Madrid. „Radar Classification for Traffic Intersection Surveillance based on Micro-Doppler Signatures“, Alexis Gonzalez Argueello und Dominic Berges (Siemens Mobility GmbH).
- „Regulierungsoptionen der C2I-Infrastruktur“ (AT), Malte Preuss und Julia Schmidt (IKEM).
- „Rechtsprobleme – Testfelder Autonomes Fahren“ (AT), Malte Preuss (IKEM).
- „Simulative Impact Assessment of Operation Strategies for demand responsive Electric Autonomous Shuttle Buses in Urban Areas.“ Transportation Research: Part C. Call for paper on special issue: Emerging Mobility Services: Supplier Strategies, Traveler Responses and Network Impacts. Nassim Motamedidehkordi und Fritz Busch (TUM).

8.2 Angemeldete Schutzrechte und Erfindungen

Bis Projektende gab es seitens der Siemens Mobility GmbH sowie der Siemens AG sechs Patentanmeldungen, welche jedoch noch nicht veröffentlicht wurden.

9 Quellen-/Literaturverzeichnis

- [1] LK Argus GmbH, „Verkehrliche Untersuchung für das Gebiet Gartenfeld,“ 2017.
- [2] COBE Berlin, 2016.
- [3] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung VII A 3, „Mobilität in Städten – SrV 2008,“ Berlin, 2011.
- [4] A. Nussbaum und M. Maward, „A \$290,000 Robot-Car Is French Startup’s Answer to GM, Waymo,“ Bloomberg, 07 11 2017. [Online]. Available: <https://www.bloombergquint.com/markets/2017/11/07/a-290-000-robot-car-is-french-startup-s-answer-to-gm-waymo>. [Zugriff am 01 April 2018].
- [5] „Wie viel Strom erzeugt eine Photovoltaikanlage in Deutschland durchschnittlich?,“ E.ON, [Online]. Available: <https://www.eon.de/frag-eon/themen/solar/fragen-und-antworten/wie-viel-strom-erzeugt-eine-photovoltaikanlage-in-deutschland-durchschnittlich/>. [Zugriff am 22 Mai 2018].
- [6] „Emissionbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016,“ Umweltbundesamt, 2017.
- [7] Umweltbundesamt, „CO2 Rechner - Berechnen Sie Ihre aktuelle CO2-Bilanz und optimieren Sie diese für die Zukunft.,“ [Online]. Available: http://www.uba.co2-rechner.de/de_DE/. [Zugriff am 15 November 2018].
- [8] H. Shimada, „Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems,“ *Journal of Transportation Technologies*, pp. 102-112, 2015.
- [9] Technische Universität München, „Separater Abschlussbericht der TU München zum Förderprojekt OTS 1.0“.
- [10] FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, „Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen,“ FGSV, Köln, 2006.
- [11] Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, „Mobilitätssteckbrief für Berlin - Innere Stadt (Wohnbevölkerung),“ Dresden, 2013.
- [12] FGSV-Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement, „Richtlinien für Lichtsignalanlagen: RiLSA,“ FGSV, Köln, 2010.
- [13] T. Ralphs, L. Kopman, W. Pulleyblank und L. Trotter, „On the capacitated vehicle routing problem,“ *Mathematical Programming B*, 2003.
- [14] O. Bräysy und M. Gendreau, „Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route

Construction and Local Search Algorithms," *Transportation Science*, pp. 104-118, Februar 2005.

- [15] M. M. Solomon, „Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints," *Operation Research*, pp. 254-265, März-April 1987.
- [16] D. Lucke, „Akzeptanz: Legitimität in der "Abstimmungsgesellschaft",“ Leske + Budrich, Opladen, 1995.
- [17] Duplex Architekten in ARGE mit Bartscher Architekten, „Masterplan," 2018.
- [18] UTB Projektmanagement GmbH, 2017.
- [19] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, „Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation. Grundlagen und Anwendung.," FGSV, 2006.
- [20] „Traffic Analysis Toolbox. Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software," U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Juli 2004. [Online].
- [21] SAE International, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems," 16 Januar 2014. [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/. [Zugriff am 12 November 2018].
- [22] „Road vehicles - Safety of the intended functionality," International Organization for Standardization, [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/70939.html>. [Zugriff am 12 November 2018].
- [23] M. C. Kumar, J. H. Metzen, T. Brox und V. Fischer, Universal Adversarial Perturbations Against Semantic Image Segmentation, Bosch Center for Artificial Intelligence, Robert Bosch GmbH, University of Freiburg, 2017.

Anhang

Folgende Dokumente sind als Anhang beigefügt.

1. Leitfaden Funktionsträger
2. Fragebogen Nutzer
3. Auswertung der Nutzerbefragung
4. Akzeptanzfaktoren aller Befragungen

Anhang 1

Leitfaden Funktionsträger

Leitfadengestütztes Interview

Durchgeführt von:

Datum, Uhrzeit:

Ort:

PERSÖNLICHE DATEN

Interview mit (Name):

Firma:

Rolle in der Firma:

Geschlecht: weiblich männlich

Altersgruppe: 0-17 J. 18-39 J. 40-59 J. 60+ J.

Mobilitätseinschränkung: ja nein

PERSÖNLICHER HINTERGRUND

Rolle im Projekt

1. Was ist Ihre Funktion im Projekt?

Vorwissen

2. Was sind Ihre bisherigen (persönlichen und/oder beruflichen) Erfahrungen mit dem Thema selbstfahrende Fahrzeuge bzw. autonomes Fahren?

Persönliche Einstellung zu Autos und Autonutzung

3. Wie viele Autos gibt es in Ihrem Haushalt?

keins 1 2 3 4+

4. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie für Ihren Arbeitsweg?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

5. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie überwiegend für private Zwecke (Freizeit, Einkauf etc.)?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

6. Welche Entscheidungskriterien beeinflussen Ihre Wahl des Verkehrsmittels?

Komfort geringe Kosten Schnelligkeit Umweltfreundlichkeit
 Privatsphäre Statussymbol/Luxus Sonstiges, und zwar:

Persönliche Einstellung zum Projekt

7. Aus welchen Gründen würden Sie ganz persönlich das Angebot der selbstfahrenden Elektrobusse im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen bzw. im Quartier wohnen/arbeiten wollen?

HYPOTHESEN

Das neue Stadtquartier Gartenfeld als ideale Ausgangsbasis für die Einführung des autonomen Fahrens

Im neuen Stadtquartier Gartenfeld wird diese Entwicklung aufgegriffen und beispielhaft für die stadtweite Mobilität verpflichtend für alle Bewohner von Beginn an eingeführt.

- Das neue Stadtquartier Gartenfeld eignet sich dafür in besonderer Weise, da es eine Integration des autonomen Fahrens in ein neu konzipiertes Quartier von Anfang an erlaubt, statt die Infrastruktur später mühsam anzupassen zu müssen. Auf Seiten der Bewohner entfällt außerdem die Notwendigkeit zur Überzeugungsarbeit, nachträglich alte Gewohnheiten aufgeben zu müssen.

Verpflichtende Umsetzung des Mobilitätskonzepts

Für die zukünftigen Bewohner des neuen Stadtquartier Gartenfelds gilt: Wer sich dem Mobilitätsregime nicht zuordnen will, kann dort nicht wohnen.

- Wenn ein alternatives Mobilitätskonzept nicht verpflichtend umgesetzt wird, funktioniert es nicht. Die Erfahrungen der letzten Jahre mit autoarmen Quartieren zeigen, dass ohne strenge ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen ein Mentalitätswandel nicht erreicht werden kann.

Digitalisiertes Dienstleistungsangebot

Das neue Mobilitätsregime mit autonomem Fahren und Elektromobilität wird mit einem umfassenden, auf alle praktischen Ebenen des Quartierslebens bezogenen digitalisierten Dienstleistungsangebot, verknüpft.

- Der Nutzengewinn für das alltägliche Leben im Quartier und in der Stadt ist eine entscheidende Voraussetzung für die Akzeptanz des autonomen Fahrens.

Ökologische Nachhaltigkeit

Die für die Mobilität benötigte Energie wird nachhaltig, CO₂-neutral und kostendeckend im Quartier selbst produziert.

- Die Kostenneutralität für den Nutzer erhöht die Akzeptanz, ganz abgesehen davon, dass das neue Stadtquartier Gartenfeld dadurch neue, ökologische Standards im Stadtleben definiert.

Wirtschaftlichkeit

Das autonome Fahren darf für Bauherren ebenso wie für Nutzer nicht teurer sein als konventionelle Strukturen. Vorstellbar sind sogar kostendeckende Effizienzgewinne.

- Kostenneutralität ist ein wichtiger Akzeptanzfaktor.

INDIVIDUELLE FRAGEN

Gründe für den Einstieg in das Projekt

8. Was war der Hauptgrund für Ihren Einstieg in das Projekt?

9. Welche Rolle hat das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept bei der Entscheidung zum Einstieg in das Projekt gespielt?

Vermarktbarkeit, Branding

10. Wie beabsichtigen Sie, das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept (und dessen Umsetzung) für die Vermarktung des Quartiers zu nutzen (Branding)? Und inwieweit beabsichtigen Sie, dieses Branding für das eigene Image Ihrer Firma zu nutzen?

11. Welche Zielgruppe/n (i. S. v. potenziellen Bewohnern bzw. Nutzern) beabsichtigen Sie mit Ihrem Vermarktungskonzept zu erreichen?

Mehrwert

12. Worin sehen Sie den Mehrwert des angeschlossenen, digitalisierten Dienstleistungsangebots v. a. hinsichtlich der Vermarktbarkeit des Quartiers?

13. Worin sehen Sie den Mehrwert der ökologischen Nachhaltigkeit des Mobilitätskonzepts v. a. hinsichtlich der Vermarktbarkeit des Quartiers?

Gesellschaftliche Verantwortung

14. Inwieweit entsprechen Sie damit – in der Rolle als Wohnungsbauinvestor – dem Ziel der sozialen bzw. gesamtgesellschaftlichen Verantwortung?

15. Inwieweit entsprechen Sie damit – in der Rolle als Wohnungsbauinvestor – dem Ziel der ökologischen Verantwortung?

Wirtschaftlichkeit

16. Wie bewerten Sie die Wirtschaftlichkeit des Projekts?

17. Was ist Ihr Geschäftsmodell?

Auswirkungen

18. Welche Auswirkungen wird das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept sowie Geschäftsmodell haben in Bezug auf:

- die Attraktivität und Vermarktbarkeit bzw. das Branding des Quartiers bzw. Ihrer Firma
- die Bewohnerstruktur,
- die Preise (Entwicklungskosten, Kauf- und Mietpreise, Betriebskosten etc.),
- die Stadtökologie und Nachhaltigkeit?

Voraussetzungen für die Umsetzung und Alltagstauglichkeit des Projekts

19. Welche weiteren Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann und auch langfristig funktioniert (in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Nutzerakzeptanz etc.)?

Strategische Rolle

20. Worin sehen Sie die strategische Rolle eines Wohnungsbauinvestors bei der Modernisierung des städtischen Lebens?

Leitfadengestütztes Interview

Durchgeführt von:

Datum, Uhrzeit:

Ort:

PERSÖNLICHE DATEN

Interview mit (Name):

Firma:

Rolle in der Firma:

Geschlecht: weiblich männlich

Altersgruppe: 0-17 J. 18-39 J. 40-59 J. 60+ J.

Mobilitätseinschränkung: ja nein

PERSÖNLICHER HINTERGRUND

Rolle im Projekt

1. Was ist Ihre Funktion im Projekt?

Vorwissen

2. Was sind Ihre bisherigen (persönlichen und/oder beruflichen) Erfahrungen mit dem Thema selbstfahrende Fahrzeuge bzw. autonomes Fahren?

Persönliche Einstellung zu Autos und Autonutzung

3. Wie viele Autos gibt es in Ihrem Haushalt?

keins 1 2 3 4+

4. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie für Ihren Arbeitsweg?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

5. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie überwiegend für private Zwecke (Freizeit, Einkauf etc.)?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

6. Welche Entscheidungskriterien beeinflussen Ihre Wahl des Verkehrsmittels?

Komfort geringe Kosten Schnelligkeit Umweltfreundlichkeit
 Privatsphäre Statussymbol/Luxus Sonstiges, und zwar:

Persönliche Einstellung zum Projekt

7. Aus welchen Gründen würden Sie ganz persönlich das Angebot der selbstfahrenden Elektrobuse im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen bzw. im Quartier wohnen/arbeiten wollen?

HYPOTHESEN

Mobilitätsverhalten

Autonomes Fahren bestimmt und strukturiert Mobilitätsverhalten in den nächsten Jahrzehnten.

- Ähnlich wie bei der Einführung des Mobiltelefons vollzieht sich der Wandel zur autonomen Mobilität schneller und unausweichlicher als antizipiert.

Das neue Stadtquartier Gartenfeld als ideale Ausgangsbasis für die Einführung des autonomen Fahrens

Im neuen Stadtquartier Gartenfeld wird diese Entwicklung aufgegriffen und beispielhaft für die stadtweite Mobilität verpflichtend für alle Bewohner von Beginn an eingeführt.

- Das neue Stadtquartier Gartenfeld eignet sich dafür in besonderer Weise, da es eine Integration des autonomen Fahrens in ein neu konzipiertes Quartier von Anfang an erlaubt, statt die Infrastruktur später mühsam anzupassen zu müssen. Auf Seiten der Bewohner entfällt außerdem die Notwendigkeit zur Überzeugungsarbeit, nachträglich alte Gewohnheiten aufgeben zu müssen.

Einbindung in das ÖPNV-Netz

Das neue Stadtquartier Gartenfeld ist eine Insel, aber fest an- und eingebunden in das Berliner ÖPNV-Netz.

- Ein derart radikales Mobilitätskonzept kann nur funktionieren, wenn es in ein größeres Mobilitätsnetzwerk integriert ist.

Technikfolgenabschätzung

Wie bei der Einführung der Atomtechnologie, der Plastikchemie oder der Nanotechnologie wird auch beim autonomen Fahren die Markteinführung ohne jede Abschätzung der ökologischen, gesellschaftlichen, sozialen und politischen Folgen vorangetrieben.

- Warum ist es eigentlich so schwierig, die positiven Chancen neuer Technologien von Beginn an so in Betracht zu ziehen, dass deren externe Kosten von vorneherein mit bedacht und kalkuliert und als Teil der Einführung verbindlich umgesetzt werden?

Öffentlicher Raum und die Förderung aktiver Mobilität

Der öffentliche Raum, Straßen, Plätze, Gärten im Quartier ist so organisiert, dass im Kern der Mobilität das gefahrlose Zufußgehen steht, assistiert von selbstfahrenden Fahrzeugen und Fahrrädern/E-Bikes.

- Autonomes Fahren führt zu neuen Straßenprofilen, weniger Parkplätzen, weniger individuellem Kfz-Besitz und Verkehr. Der öffentliche Raum kann so seine uralte Rolle des Stiftens von Zusammenhalt und gemeinsamen Lebens wiedergewinnen.

Ökologische Nachhaltigkeit

Die für die Mobilität benötigte Energie wird nachhaltig, CO₂-neutral und kostendeckend im Quartier selbst produziert.

- Die Kostenneutralität für den Nutzer erhöht die Akzeptanz, ganz abgesehen davon, dass das neue Stadtquartier Gartenfeld dadurch neue, ökologische Standards im Stadtleben definiert.

Baurechtliche Rahmenbedingungen

Die Umsetzung eines solchen Mobilitätskonzepts mit integrierten digitalisierten Dienstleistungen ist innerhalb des geltenden Baurechts und aller einschlägigen Verwaltungsvorschriften möglich.

- Die Reformfähigkeit unserer Verwaltungsinstitutionen auf allen Ebenen ist höher als allgemein angenommen – „Geht nicht gibt's nicht“.

INDIVIDUELLE FRAGEN

Voraussetzungen für die Umsetzung und Alltagstauglichkeit des Projekts

8. Welche städtebaulichen Voraussetzungen und Gestaltungsräume braucht es, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann?

9. Welche planerischen (technischen) Voraussetzungen und Gestaltungsräume braucht es, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann?

10. Welche planungsrechtlichen Voraussetzungen und Gestaltungsräume braucht es, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann?

Potenziale

11. Welche Potenziale sehen Sie im Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept für:

- den Städtebau,
- die Stadtplanung,
- die Verkehrsplanung?

Auswirkungen

12. Welche Auswirkungen wird das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept haben in Bezug auf:

- den Planungsprozess,
- die Stadtentwicklung,
- den öffentlichen Raum/die städtebauliche Struktur und Dichte,
- das Nutzer-/Mobilitätsverhalten und -aufkommen,
- die Bauleitplanung,
- die Verkehrsplanung?

Leitfadengestütztes Interview

Durchgeführt

von:

Datum, Uhrzeit:

Ort:

PERSÖNLICHE DATEN

Interview mit (Name):

Firma:

Rolle in der Firma:

Geschlecht: weiblich männlich

Altersgruppe: 0-17 J. 18-39 J. 40-59 J. 60+ J.

Mobilitätseinschränkung: ja nein

PERSÖNLICHER HINTERGRUND

Rolle im Projekt

1. Was ist Ihre Funktion im Projekt?

Vorwissen

2. Was sind Ihre bisherigen (persönlichen und/oder beruflichen) Erfahrungen mit dem Thema selbstfahrende Fahrzeuge bzw. autonomes Fahren?

Persönliche Einstellung zu Autos und Autonutzung

3. Wie viele Autos gibt es in Ihrem Haushalt?

keins 1 2 3 4+

4. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie für Ihren Arbeitsweg?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

5. Welches Verkehrsmittel nutzen Sie überwiegend für private Zwecke (Freizeit, Einkauf etc.)?

eigenes Auto Auto von Verwandten/Freunden Mietwagen Car-Sharing-Dienste
 Fahrrad öffentliche Verkehrsmittel zu Fuß Sonstiges, und zwar:

6. Welche Entscheidungskriterien beeinflussen Ihre Wahl des Verkehrsmittels?

Komfort geringe Kosten Schnelligkeit Umweltfreundlichkeit
 Privatsphäre Statussymbol/Luxus Sonstiges, und zwar:

Persönliche Einstellung zum Projekt

7. Aus welchen Gründen würden Sie ganz persönlich das Angebot der selbstfahrenden Elektrobuse im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen bzw. im Quartier wohnen/arbeiten wollen?

HYPOTHESEN

Mobilitätsverhalten

Autonomes Fahren bestimmt und strukturiert Mobilitätsverhalten in den nächsten Jahrzehnten.

- Ähnlich wie bei der Einführung des Mobiltelefons vollzieht sich der Wandel zur autonomen Mobilität schneller und unausweichlicher als antizipiert.

Verpflichtende Umsetzung des Mobilitätskonzepts

Für die zukünftigen Bewohner des neuen Stadtquartiers Gartenfeld gilt: Wer sich dem Mobilitätsregime nicht zuordnen will, kann dort nicht wohnen.

- Wenn ein alternatives Mobilitätskonzept nicht verpflichtend umgesetzt wird, funktioniert es nicht. Die Erfahrungen der letzten Jahre mit autoarmen Quartieren zeigen, dass ohne strenge ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen ein Mentalitätswandel nicht erreicht werden kann.

Einbindung ins ÖPNV-Netz

Das neue Stadtquartier Gartenfeld ist eine Insel, aber fest an- und eingebunden in das Berliner ÖPNV-Netz.

- Ein derart radikales Mobilitätskonzept kann nur funktionieren, wenn es in ein größeres Mobilitätsnetzwerk integriert ist.

Technikfolgenabschätzung

Wie bei der Einführung der Atomtechnologie, der Plastikchemie oder der Nanotechnologie wird auch beim autonomen Fahren die Markteinführung ohne jede Abschätzung der ökologischen, gesellschaftlichen, sozialen und politischen Folgen vorangetrieben.

- Warum ist es eigentlich so schwierig, die positiven Chancen neuer Technologien von Beginn an so in Betracht zu ziehen, dass deren externe Kosten von vorneherein mit bedacht und kalkuliert und als Teil der Einführung verbindlich umgesetzt werden?

Öffentlicher Raum und die Förderung aktiver Mobilität

Der öffentliche Raum, Straßen, Plätze, Gärten im Quartier ist so organisiert, dass im Kern der Mobilität das gefahrlose Zufußgehen steht, assistiert von selbstfahrenden Fahrzeugen und Fahrrädern/E-Bikes.

- Autonomes Fahren führt zu neuen Straßenprofilen, weniger Parkplätzen, weniger individuellem Kfz-Besitz und Verkehr. Der öffentliche Raum kann so seine uralte Rolle des Stiftens von Zusammenhalt und gemeinsamen Lebens wiedergewinnen.

Baurechtliche Rahmenbedingungen

Die Umsetzung eines solchen Mobilitätskonzepts mit integrierten digitalisierten Dienstleistungen ist innerhalb des geltenden Baurechts und aller einschlägigen Verwaltungsvorschriften möglich.

- Die Reformfähigkeit unserer Verwaltungsinstitutionen auf allen Ebenen ist höher als allgemein angenommen – „Geht nicht gibt's nicht“.

INDIVIDUELLE FRAGEN

Verantwortung gegenüber der Öffentlichkeit

8. Inwieweit übernehmen Sie – in der Rolle als öffentlicher Entscheidungsträger – mit der Beteiligung an diesem Projekt Verantwortung für die Stadtgesellschaft?

Politische Durchsetzbarkeit

9. Wie bewerten Sie das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept im Hinblick auf die politische Durchsetzbarkeit?

Voraussetzungen für die Umsetzung und Alltagstauglichkeit des Projekts

10. Welche verwaltungsrechtlichen Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann?

11. Welche bau- bzw. planungsrechtlichen Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit das Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann?

12. Wie beurteilen Sie die Durchsetzbarkeit des verpflichtenden Angebots?

Auswirkungen

13. Welche Auswirkungen wird das Mobilitäts- und Dienstleistungskonzept haben in Bezug auf:

- den Planungsprozess,
- das Bau- und Planungsrecht,
- die Stadtentwicklung,
- das Nutzer-/Mobilitätsverhalten und *-aufkommen*

Anhang 2

Fragebogen Nutzer

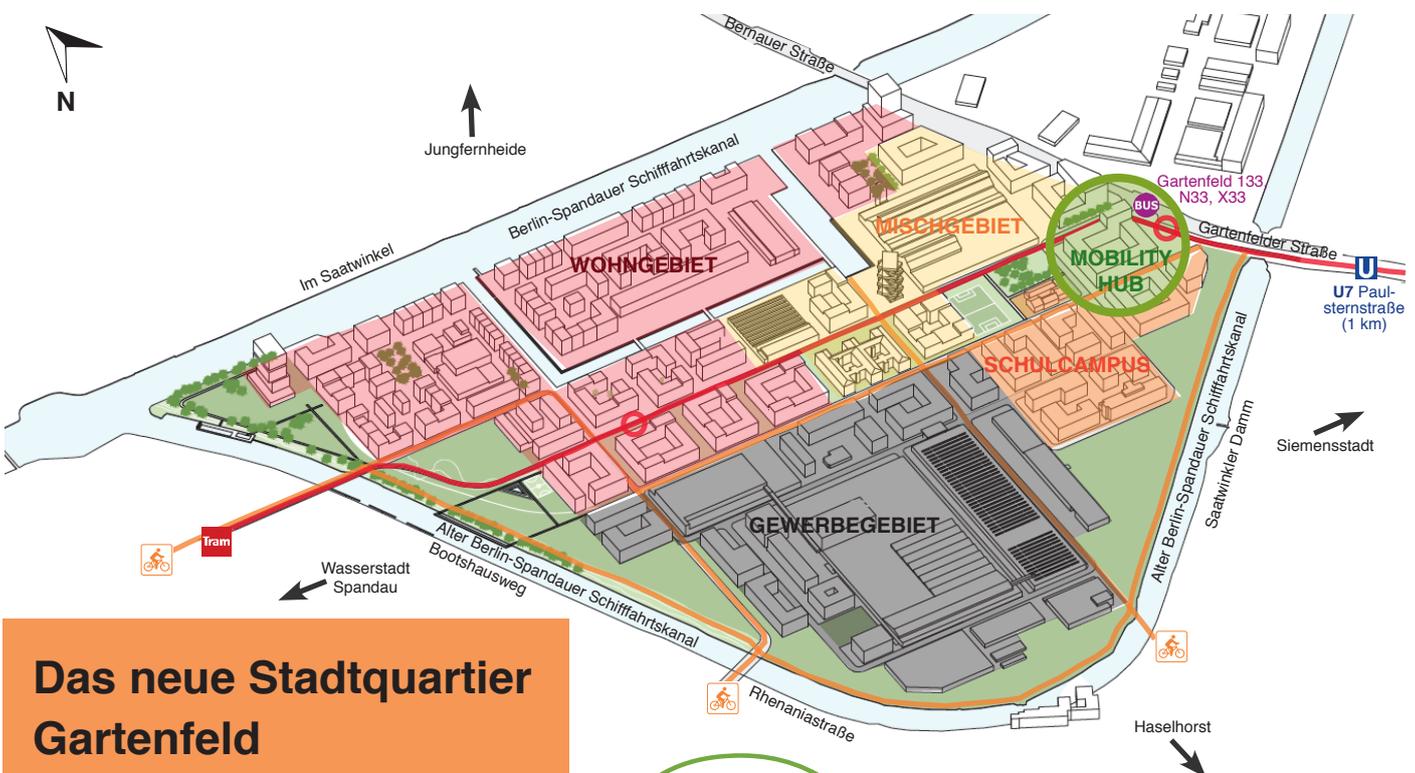
Liebe/r Umfrageteilnehmer/in,

im neuen Stadtquartier Gartenfeld sollen ca. 4.000 neue Wohnungen entstehen. Zudem bieten die angesiedelten Gewerbebetriebe ca. 5.000 Arbeitsplätze.

Das ca. 53 ha große Quartier soll als **autoarmer Standort** entwickelt werden, weswegen das eigene Auto in dem am Rande des Quartiers gelegenen **Mobilitäts- und Dienstleistungszentrum** (Mobility Hub) abgestellt werden muss. Der **Verzicht auf das eigene Auto innerhalb des Quartiers** soll durch das Angebot **selbstfahrender Elektrobusse**, eine gute Anbindung an die öffentlichen Verkehrsmittel sowie den Ausbau der Rad- und Fußwege kompensiert werden.

Die Kosten für die Nutzung der selbstfahrenden Elektrobusse werden über die Miet- und Kaufpreise der Wohnungen von jedem Bewohner mitgetragen. Der Umfang der Kostenbeteiligung vonseiten der Gewerbetreibenden ist derzeit noch ungeklärt. Dafür kann ein umfangreiches und **an den Bedarfen ausgerichtetes Dienstleistungsangebot** in Anspruch genommen werden.

Wie das Angebot im Konkreten aussehen soll, hängt von **Ihren Wünschen** ab. Ihre Anregungen auf den nächsten Seiten sind für die Ausgestaltung des Angebots essentiell.



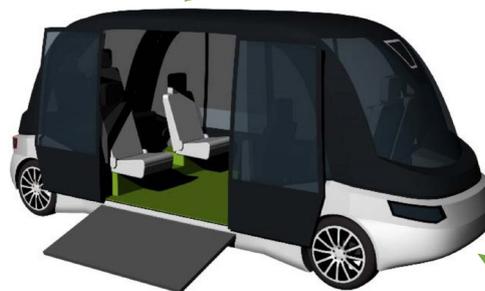
Das neue Stadtquartier Gartenfeld

Bei der Fahrt orientiere ich mich an den Sensoren in meiner Umgebung. Einen Fahrer und ein Lenkrad benötige ich dafür nicht.

Ich bringe auch Dein gebügeltes Hemd oder Deine Getränkekisten zu Dir.

Ich bin barrierefrei zugänglich.

In mir haben bis zu 10 Personen Platz.



Ich berechne den Fahrweg je nach Bedarf und bringe Dich immer pünktlich an Dein Ziel.

Du kannst mich 24/7 über eine App zu Dir bestellen.

Wenn ich leer bin, lade ich mich automatisch an einer E-Ladestation auf.

8. Ich wäre bereit, folgende Entfernung von meinem Arbeitsplatz bis zum Abholort des selbstfahrenden Elektrobusses zurückzulegen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
0 - 2 min Fußweg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - 5 min Fußweg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstiges, und zwar:

9. Ich würde folgendes angeschlossenes Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
Fahrradverleihstation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
W-LAN im gesamten Quartier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wäscherei-Service	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lieferservice (u. a. für Wäsche, Lebensmittel)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paket-Packstation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quartiers-App (u. a. zum Austausch in der Nachbarschaft)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anmietung von Gemeinschaftsräumen und -freiflächen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstiges, und zwar:

Stellen Sie sich vor, Sie **arbeiten im neuen Stadtquartier Gartenfeld** mit dem beschriebenen **Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot**. Wie würden Sie dann folgende Fragen beantworten?

Welche weiteren Rahmenbedingungen müssen erfüllt sein, damit Sie bereit sind, das beschriebene Angebot zu nutzen?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Welche weiteren Wünsche/Anregungen haben Sie?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme an der Umfrage!

Um ein besseres Verständnis für Ihre Wünsche zu entwickeln, bitten wir Sie, im Folgenden einige **persönliche Angaben** zu machen. Bitte kreuzen Sie die auf Sie zutreffende/n Antwortmöglichkeit/en an.

Geschlecht

weiblich männlich

Alter in Jahren

0 - 17 18 - 39 40 - 59 60 +

Höchster Bildungsabschluss

kein Abschluss

Hauptschulabschluss

Realschule (Mittlere Reife)

Gymnasium (Abitur)

abgeschlossene Ausbildung

(Fach-)Hochschulabschluss

Monatliches Netto-Haushalts-Einkommen

unter 1.300 €

1.300 € - 2.599 €

2.600 € - 3.599 €

3.600 € - 4.999 €

5.000 € - 7.999 €

8.000 € +

Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg

eigenes Auto

Auto von Verwandten/Freunden

Fahrgemeinschaft

Car-Sharing-Dienste

öffentliche Verkehrsmittel

Fahrrad

zu Fuß (längere Distanzen)

Sonstiges, und zwar:

Mobilitätseinschränkung

ja nein

Anzahl der Autos im Haushalt

keins 1 2 3 4 +

Berufliche Situation

Familienarbeit

Schüler/in / Auszubildende/r / Student/in

Angestellte/r / Beamte/r

Freiberufler/in / Selbstständige/r

Rentner/in

arbeitssuchend

Geschäftsfeld/Branche des Gewerbebetriebs

Handwerk

Informatik

Dienstleistungen

produzierendes Gewerbe

Handel/Logistik

Sonstiges, und zwar:

Entscheidungskriterium bei der Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg

geringe Kosten

Schnelligkeit

Komfort

Umweltfreundlichkeit

Privatsphäre

Statussymbol/Luxus

Sonstiges, und zwar:

Stellen Sie sich vor, das **Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot** wird wie beschrieben im neuen Stadtquartier Gartenfeld **umgesetzt**. Welche **Meinung** bzw. **Anregungen** hätten **Sie als potenzieller Nutzer** dazu? Bitte kreuzen Sie auf der 4-stufigen Skala jeweils an, inwiefern Sie den folgenden Aussagen zustimmen.
(ich stimme nicht zu, ich stimme eher nicht zu, ich stimme eher zu, ich stimme zu)

1. Ich erwarte folgenden Nutzen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
geringeres Unfallrisiko/mehr Sicherheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
weniger Staus/höhere Pünktlichkeit bzw. Zuverlässigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
weniger Kraftstoffverbrauch/geringere Kosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
geringeren CO ₂ -Ausstoß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
höheren Fahrkomfort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeitersparnis/mehr Zeit für Anderes (u. a. wegfallende Parkplatzsuche)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
neue Dienstleistungsangebote	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
höhere Mobilität für Mobilitätseingeschränkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Quartier (u. a. weniger Autos, leiser)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
keinen Nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

2. Ich sehe folgendes Risiko/folgende Herausforderung...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
technische Probleme (u. a. Erkennung von Fußgängern/Fahrradfahrern)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wirtschaftliche Probleme (u. a. hohe Herstellungs-/Wartungskosten)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rechtliche Probleme (u. a. Versicherung, Haftung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datenschutz (u. a. Hacker-Angriff, Erstellung pers. Bewegungsmuster)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entmündigung (u. a. Kontrollverlust, weniger Fahrspaß/Freiheitsgefühl)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mangelnde Pünktlichkeit/Zuverlässigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
geringeres Sicherheitsempfinden/Vertrauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einschränkungen im Arbeitsalltag (u. a. Lieferverkehr)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
kein Risiko/keine Herausforderung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

3. Bei der Gegenüberstellung von erwartetem Nutzen und erwarteten Risiken/Herausforderungen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
überwiegt der erwartete Nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Folgendes würde mein Sicherheitsempfinden stören...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
fehlender Ansprechpartner durch fehlenden Fahrer im Notfall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
fehlender Sicherheitsknopf (u. a. zur Verbindung mit Telefonzentrale)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
fehlendes Vertrauen in die neue Technik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datenschutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Angst vor der Übernahme des selbstf. Elektrobusses durch Unbefugte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erhöhtes Unfallrisiko	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

5. Vom Gefühl her verbinde ich mit der Nutzung selbstfahrender Elektrobusse...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
eine Imageverbesserung (Status, Teil von etwas Besonderem zu sein)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eine geringere Umweltverschmutzung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eine Stärkung der Innovationskraft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
das Wecken von Neugier beim Ausprobieren von etwas Neuem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

6. Folgende Ausstattung im selbstfahrenden Elektrobus würde mir gefallen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
großer Stauraum (u. a. für Reisegepäck, Möbeltransport)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufenthaltskomfort (u. a. bequeme Sitze, Klimatisierung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
W-LAN-Verfügbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Barrierefreiheit (u. a. Rampe, Platz für Rollstühle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

7. Ich möchte den selbstfahrenden Elektrobus folgendermaßen nutzen/anfordern...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
entweder feste Taktung und An- und Abfahrt an angefragten Adressen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oder Rufbereitschaft via App	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oder Rufbereitschaft via Telefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

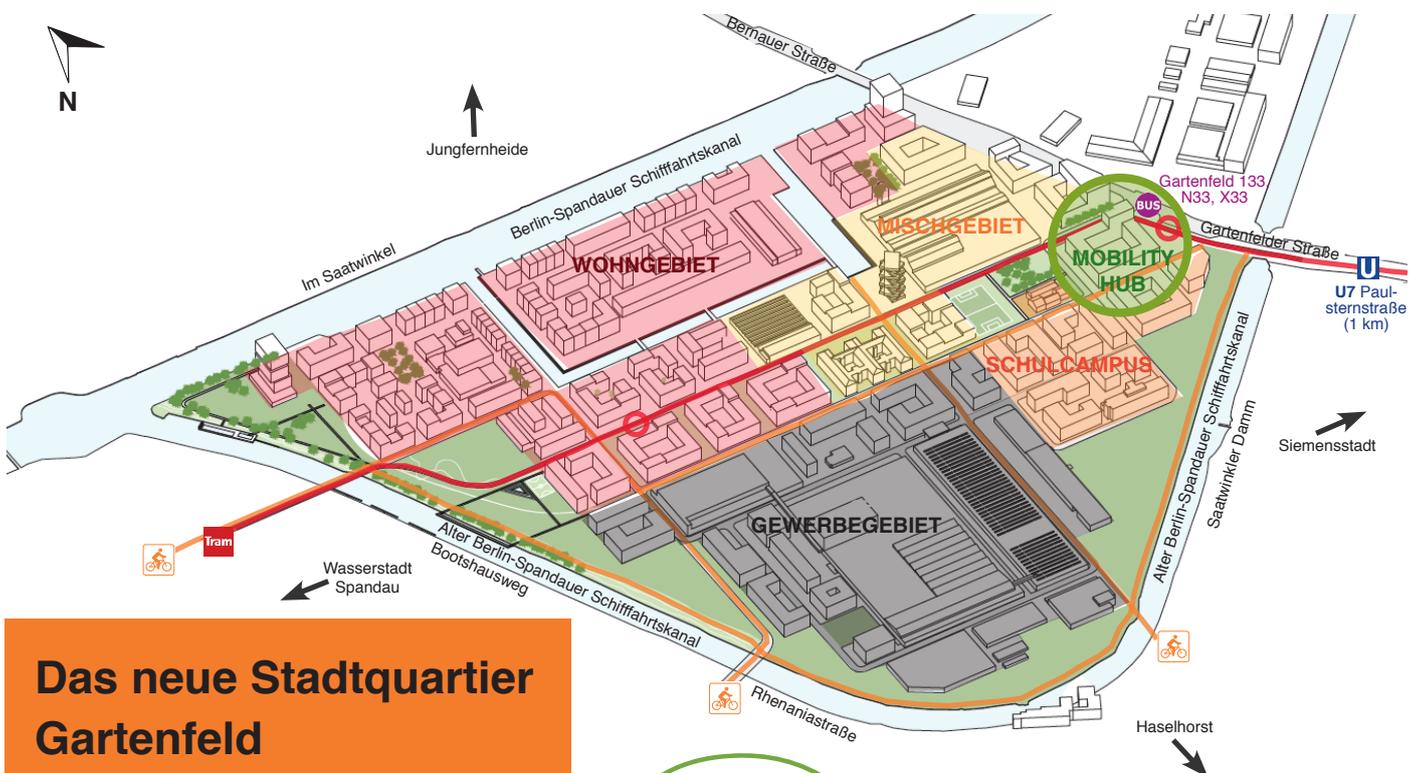
Liebe/r Umfrageteilnehmer/in,

im neuen Stadtquartier Gartenfeld sollen ca. 4.000 neue Wohnungen entstehen. Zudem bieten die angesiedelten Gewerbebetriebe ca. 5.000 Arbeitsplätze.

Das ca. 53 ha große Quartier soll als **autoarmer Standort** entwickelt werden, weswegen das eigene Auto in dem am Rande des Quartiers gelegenen **Mobilitäts- und Dienstleistungszentrum** (Mobility Hub) abgestellt werden muss. Der **Verzicht auf das eigene Auto innerhalb des Quartiers** soll durch das Angebot **selbstfahrender Elektrobusse**, eine gute Anbindung an die öffentlichen Verkehrsmittel sowie den Ausbau der Rad- und Fußwege kompensiert werden.

Die Kosten für die Nutzung der selbstfahrenden Elektrobusse werden über die Miet- und Kaufpreise der Wohnungen von jedem Bewohner mitgetragen. Dafür kann ein umfangreiches und **an den Bedarfen ausgerichtetes Dienstleistungsangebot** in Anspruch genommen werden.

Wie das Angebot im Konkreten aussehen soll, hängt von **Ihren Wünschen** ab. Ihre Anregungen auf den nächsten Seiten sind für die Ausgestaltung des Angebots essentiell.



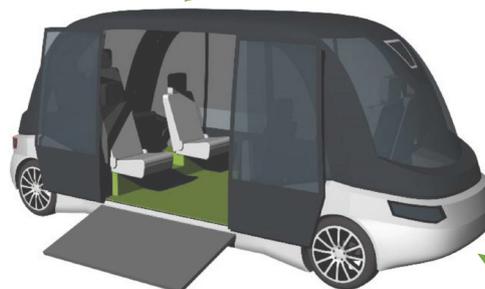
Das neue Stadtquartier Gartenfeld

Bei der Fahrt orientiere ich mich an den Sensoren in meiner Umgebung. Einen Fahrer und ein Lenkrad benötige ich dafür nicht.

Ich bringe auch Dein gebügeltes Hemd oder Deine Getränkekisten zu Dir.

Ich bin barrierefrei zugänglich.

In mir haben bis zu 10 Personen Platz.



Ich berechne den Fahrweg je nach Bedarf und bringe Dich immer pünktlich an Dein Ziel.

Du kannst mich 24/7 über eine App zu Dir bestellen.

Wenn ich leer bin, lade ich mich automatisch an einer E-Ladestation auf.

8. Ich wäre bereit, folgende Entfernung von meinem Wohnort bis zum Abholort des selbstfahrenden Elektrobusses zurückzulegen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
0 - 2 min Fußweg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - 5 min Fußweg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstiges, und zwar:

9. Ich würde folgendes angeschlossenes Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
Mobility Hub (Mobilitätsstation zur Nutzung unterschiedl. Verkehrsmittel)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
W-LAN im gesamten Quartier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wäscherei-Service	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lieferservice (u. a. für Wäsche, Lebensmittel)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Post-Packstation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quartiers-App (u. a. zum Austausch in der Nachbarschaft)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anmietung von Gemeinschaftsräumen und -freiflächen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sonstiges, und zwar:

Stellen Sie sich vor, Sie **wohnen im neuen Stadtquartier Gartenfeld** mit dem beschriebenen **Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot**. Wie würden Sie dann folgende Fragen beantworten?

Was hat Sie dazu bewegt, in das neue Stadtquartier Gartenfeld zu ziehen?

.....

Welche weiteren Rahmenbedingungen müssen erfüllt sein, damit Sie bereit sind, das beschriebene Angebot zu nutzen?

.....

	pro m ² Wohnfläche	pro Haus- haltsmitglied	pro Wohn- einheit	Sonstiges, und zwar:
Welche Art der Kostenbeteiligung bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Pauschale (die in den Wohnnebenkosten enthalten ist) wären Sie bereit, pro Monat für die Nutzung des Angebots zu bezahlen? maximal €

Welche weiteren Wünsche/Anregungen haben Sie?

.....

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme an der Umfrage!

Wir empfehlen die Teilnahme an der **digitalen Umfrage** unter folgendem **Link** oder **QR-Code**:
https://www.umfrageonline.com/s/akzeptanz_gartenfeld



Denn dann können Sie – sofern Sie einverstanden sind – an der Verlosung von drei REWE-Gutscheinen im Gesamtwert von 100 Euro teilnehmen (1x 50 Euro; 2x 25 Euro). Allen Teilnehmern wünschen wir viel Glück!

Um ein besseres Verständnis für Ihre Wünsche zu entwickeln, bitten wir Sie, im Folgenden einige **persönliche Angaben** zu machen. Bitte kreuzen Sie die auf Sie zutreffende/n Antwortmöglichkeit/en an.

Geschlecht

weiblich männlich

Alter in Jahren

0 - 17 18 - 39 40 - 59 60 +

Anzahl der Autos im Haushalt

0 1 2 3 4 +

Höchster Bildungsabschluss

kein Abschluss
 Hauptschulabschluss
 Realschule (Mittlere Reife)
 Gymnasium (Abitur)
 abgeschlossene Ausbildung
 (Fach-)Hochschulabschluss

Monatliches Netto-HAUSHALTS-Einkommen

unter 1.300 €
 1.300 € - 2.599 €
 2.600 € - 3.599 €
 3.600 € - 4.999 €
 5.000 € - 7.999 €
 8.000 € +

Häufigkeit der Nutzung folgender Verkehrsmittel im Jahr

	täg- lich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	mehrmals pro Jahr	selte- ner	nie
eigenes Auto	<input type="checkbox"/>					
Auto von Verwandten/Freunden	<input type="checkbox"/>					
Mietwagen	<input type="checkbox"/>					
Car-Sharing-Dienste	<input type="checkbox"/>					
öffentliche Verkehrsmittel	<input type="checkbox"/>					
Fahrrad	<input type="checkbox"/>					
zu Fuß (längere Distanzen)	<input type="checkbox"/>					
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>					

Mobilitätseinschränkung

ja nein

Anzahl der Personen im Haushalt

	0	1	2	3 +
Kinder 0 - 6 J.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kinder 7 - 13 J.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jugendliche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erwachsene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senioren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Überwiegender Zweck der Nutzung des/der Autos

Arbeit Kita/
Schule Ein-
kauf Freizeit/
Ausflüge Sonstiges,
und zwar:

Berufliche Situation

Familienarbeit
 Schüler/in / Auszubildende/r / Student/in
 Angestellte/r
 Freiberufler/in / Selbstständige/r
 Rentner/in
 arbeitssuchend

Entscheidungskriterium bei der Verkehrsmittelwahl im Alltag

geringe Kosten
 Schnelligkeit
 Komfort
 Umweltfreundlichkeit
 Privatsphäre
 Statussymbol/Luxus
 Sonstiges, und zwar:

Stellen Sie sich vor, das **Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot** wird wie beschrieben im neuen Stadtquartier Gartenfeld **umgesetzt**. Welche **Meinung** bzw. **Anregungen** hätten **Sie als potenzieller Nutzer** dazu? Bitte kreuzen Sie auf der 4-stufigen Skala jeweils an, inwiefern Sie den folgenden Aussagen zustimmen.
(ich stimme nicht zu, ich stimme eher nicht zu, ich stimme eher zu, ich stimme zu)

1. Ich erwarte folgenden Nutzen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
geringeres Unfallrisiko/mehr Sicherheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
weniger Staus/höhere Pünktlichkeit bzw. Zuverlässigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
weniger Kraftstoffverbrauch/geringere Mobilitätskosten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
geringeren CO ₂ -Ausstoß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
höheren Fahrkomfort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeitersparnis/mehr Zeit für Anderes (u. a. wegfallende Parkplatzsuche)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
neue Dienstleistungsangebote	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
höhere Chancen für die Mobilität mobilitätseingeschränkter Personen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Quartier (u. a. weniger Autos, leiser)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
keinen Nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

2. Ich sehe folgendes Risiko/folgende Herausforderung...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
technische Probleme (u. a. Erkennung von Fußgängern/Fahrradfahrern)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wirtschaftliche Probleme (u. a. hohe Herstellungs-/Wartungskosten)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rechtliche Probleme (u. a. Versicherung, Haftung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datenschutz (u. a. Hacker-Angriff, Erstellung pers. Bewegungsmuster)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abnahme von Entscheidungsmöglichkeiten (u.a. weniger Freiheitsgefühl)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mangelnde Pünktlichkeit/Zuverlässigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
geringeres Sicherheitsempfinden/Vertrauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einschränkungen im Alltag (u. a. Lieferverkehr)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
kein Risiko/keine Herausforderung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

3. Bei der Gegenüberstellung von erwartetem Nutzen und erwarteten Risiken/Herausforderungen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
überwiegt der erwartete Nutzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Folgendes würde mein Sicherheitsempfinden stören...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
fehlender Ansprechpartner durch fehlenden Fahrer im Notfall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
fehlender Sicherheitsknopf (u. a. zur Verbindung mit Telefonzentrale)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
fehlendes Vertrauen in die neue Technik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datenschutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Angst vor der Übernahme des selbstf. Elektrobusses durch Unbefugte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erhöhtes Unfallrisiko	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

5. Vom Gefühl her verbinde ich mit der Nutzung selbstfahrender Elektrobusse...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
eine Imageverbesserung (Status, Teil von etwas Besonderem zu sein)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eine geringere Umweltverschmutzung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eine Stärkung der Innovationskraft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
das Wecken von Neugier beim Ausprobieren von etwas Neuem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nichts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

6. Folgende Ausstattung im selbstfahrenden Elektrobüs würde mir gefallen...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
großer Stauraum (u. a. für Reisegepäck, Möbeltransport)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufenthaltskomfort (u. a. bequeme Sitze, Klimatisierung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
W-LAN-Verfügbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Barrierefreiheit (u. a. Rampe, Platz für Rollstühle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

7. Ich möchte den selbstfahrenden Elektrobüs folgendermaßen nutzen/anfordern...	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu
entweder feste Taktung und An- und Abfahrt an angefragten Adressen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oder Rufbereitschaft via App	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oder Rufbereitschaft via Telefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oder Rufbereitschaft via digitales Schwarzes Brett im Hauseingang	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:				

Anhang 3

Auswertung der Nutzerbefragung

Auswertung der Befragung von ansässigen Gewerbetreibenden (Befragungszeitraum: 8. Juni bis 27. Juli 2017)

Teil 1: personenbezogene Daten

> insgesamt 31 Teilnehmer

Geschlecht:	Zustimmung
weiblich	11/31 = 35 %
männlich	20/31 = 65 %

Mobilitätseinschränkung	Zustimmung
ja	0/30 = 0 %
nein	30/30 = 100 %

Alter in Jahren	Zustimmung
0 - 17	0/31 = 0 %
18 - 39	13/31 = 42 %
40 - 59	16/31 = 52 %
60 +	2/31 = 6 %

Höchster Bildungsabschluss	Zustimmung
kein Abschluss	0/29 = 0 %
Hauptschulabschluss	1/29 = 3 %
Realschule (Mittlere Reife)	7/29 = 24 %
Gymnasium (Abitur)	0/29 = 0 %
abgeschlossene Ausbildung	8/29 = 28 %
(Fach-)Hochschulabschluss	13/29 = 45 %

Berufliche Situation	Zustimmung
Familienarbeit	0/30 = 0 %
Schüler/in / Auszubildende/r / Student/in	1/30 = 3 %
Angestellte/r / Beamte/r	27/30 = 90 %
Freiberufler/in / Selbstständige/r	1/30 = 3 %
Rentner/in	1/30 = 3 %
arbeitssuchend	0/30 = 0 %

Monatliches Netto-Haushalts-Einkommen	Zustimmung
unter 1.300 €	4/20 = 20 %
1.300 € - 2.599 €	6/20 = 30 %
2.600 € - 3.599 €	5/20 = 25 %
3600 € - 4.999 €	2/20 = 10 %
5.000 € - 7.999 €	3/20 = 15 %
8.000 € +	0/20 = 0 %

Geschäftsfeld/Branche des Gewerbebetriebs	Zustimmung
Handwerk	1/32 = 3 %
Informatik	0/32 = 0 %
Dienstleistungen	7/32 = 22 %
produzierendes Gewerbe	10/32 = 31 %
Handel/Logistik	12/32 = 38 %
Sonstiges	

Anzahl der Autos im Haushalt	Zustimmung
keins	3/31 = 10 %
1	14/31 = 45 %
2	13/31 = 42 %
3	1/31 = 3 %
4 +	0/31 = 0 %

Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg	Zustimmung
eigenes Auto	23/35 = 66 %
Auto von Verwandten/Freunden	0/35 = 0 %
Fahrgemeinschaft	0/35 = 0 %
Car-Sharing-Dienste	0/35 = 0 %
öffentliches Verkehrsmittel	6/35 = 17 %
Fahrrad	2/35 = 6 %
zu Fuß (längere Distanzen)	0/35 = 0 %
Sonstiges	

Entscheidungskriterium bei der Verkehrsmittelwahl für den Arbeitsweg	Zustimmung
geringe Kosten	8/49 = 16 %
Schnelligkeit	21/49 = 43 %
Komfort	11/49 = 22 %
Umweltfreundlichkeit	1/49 = 2 %
Privatsphäre	5/49 = 10 %
Statussymbol/Luxus	0/49 = 0 %
Sonstiges	

Auswertung der Befragung von ansässigen Gewerbetreibenden (Befragungszeitraum: 8. Juni bis 27. Juli 2017)

> insgesamt 31 Teilnehmer

Teil 2: Aussagen + Fragen

Aussage	ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu	Mittelwert	
1. Ich erwarte folgenden Nutzen...	geringeres Unfallrisiko/mehr Sicherheit	3/31 = 10 %	4/31 = 13 %	15/31 = 48 %	9/31 = 29 %	3
	weniger Staus/höhere Pünktlichkeit bzw. Zuverlässigkeit	7/31 = 23 %	8/31 = 26 %	5/31 = 16 %	11/31 = 35 %	2,6
	weniger Kraftstoffverbrauch/geringere Kosten	2/30 = 7 %	3/30 = 10 %	16/30 = 53 %	9/30 = 30 %	3
	geringeren CO2-Ausstoß	0/31 = 0 %	2/31 = 6 %	12/31 = 39 %	17/31 = 55 %	3,5
	höheren Fahrkomfort	6/30 = 20 %	14/30 = 47 %	6/30 = 20 %	4/30 = 13 %	2,3
	Zeitersparnis/mehr Zeit für Anderes (u. a. wegfallende Parkplatzsuche)	9/29 = 31 %	13/29 = 45 %	4/29 = 14 %	3/29 = 10 %	2
	neue Dienstleistungsangebote	3/29 = 10 %	7/29 = 24 %	12/29 = 41 %	7/29 = 24 %	2,8
	höhere Mobilität für Mobilitätseingeschränkte	1/30 = 3 %	4/30 = 13 %	19/30 = 63 %	6/30 = 20 %	3
	Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Quartier (u. a. weniger Autos, leiser)	4/30 = 13 %	8/30 = 27 %	10/30 = 33 %	9/30 = 30 %	2,8
	keinen Nutzen	11/26 = 42 %	6/26 = 23 %	6/26 = 23 %	3/26 = 12 %	2
Sonstiges, und zwar:	0					
2. Ich sehe folgende Risiko/folgende Herausforderung...	technische Probleme (u. a. Erkennung von Fußgängern/Fahrradfahrern)	1/30 = 3 %	5/30 = 17 %	15/30 = 50 %	9/30 = 30 %	3,1
	wirtschaftliche Probleme (u. a. hohe Herstellungs-/Wartungskosten)	1/31 = 3 %	3/31 = 10 %	18/31 = 58 %	9/31 = 29 %	3,1
	rechtliche Probleme (u. a. Versicherung, Haftung)	7/30 = 23 %	8/31 = 26 %	11/31 = 35 %	11/31 = 35 %	3
	Datenschutz (u. a. Hacken-Angriff, Erstellung pers. Bewegungsmuster)	6/30 = 20 %	10/30 = 33 %	7/30 = 23 %	5/30 = 17 %	2,3
	Entmündigung (u. a. Kontrollverlust, weniger Fahrspaß/Freiheitsgefühl)	6/30 = 20 %	10/30 = 33 %	7/30 = 23 %	6/30 = 20 %	2,5
	mangelnde Pünktlichkeit/Zuverlässigkeit	3/31 = 10 %	10/31 = 32 %	13/31 = 42 %	5/31 = 16 %	2,6
	geringeres Sicherheitsempfinden/Vertrauen	3/31 = 10 %	15/31 = 48 %	8/31 = 26 %	5/31 = 16 %	2,5
	Einschränkungen im Arbeitsalltag (u. a. Lieferverkehr)	5/31 = 16 %	7/31 = 23 %	8/31 = 26 %	11/31 = 35 %	2,8
	kein Risiko/keine Herausforderung	12/25 = 48 %	10/25 = 40 %	3/25 = 12 %	0/25 = 0 %	1,6
	Sonstiges, und zwar:	0				
3. Bei der Gegenüberstellung von erwartetem Nutzen und erwarteten Risiken/Herausforderungen...	überwiegt der erwartete Nutzen	2/31 = 6 %	10/31 = 32 %	16/31 = 52 %	3/31 = 10 %	2,6
4. Folgendes würde mein Sicherheitsempfinden stören...	fehlender Ansprechpartner durch fehlenden Fahrer im Notfall	3/30 = 10 %	10/30 = 33 %	11/30 = 37 %	6/30 = 20 %	2,6
	fehlender Sicherheitsknopf (u. a. zur Verbindung mit Telefonzentrale)	1/29 = 3 %	9/29 = 31 %	11/29 = 38 %	8/29 = 28 %	2,9
	fehlendes Vertrauen in die neue Technik	4/29 = 14 %	15/29 = 52 %	8/29 = 28 %	2/29 = 7 %	2,3
	Datenschutz	6/29 = 21 %	10/29 = 34 %	11/29 = 38 %	2/29 = 7 %	2,3
	Angst vor der Übernahme des selbst. Elektrobusse durch Unbefugte	6/28 = 21 %	8/28 = 29 %	12/28 = 43 %	4/28 = 14 %	2,6
	erhöhtes Unfallrisiko	3/30 = 10 %	14/30 = 47 %	9/30 = 30 %	4/30 = 13 %	2,5
	nichts	7/19 = 37 %	5/19 = 26 %	5/19 = 26 %	2/19 = 11 %	2,1
Sonstiges, und zwar:	0					
5. Vom Gefühl her verbinde ich mit der Nutzung selbstfahrender Elektrobusse...	eine Imageverbesserung (Status, Teil von etwas Besonderem zu sein)	7/30 = 23 %	9/30 = 30 %	11/30 = 37 %	3/30 = 10 %	2,3
	eine geringere Umweltverschmutzung	0/29 = 0 %	2/29 = 7 %	17/29 = 59 %	10/29 = 34 %	3,3
	eine Stärkung der Innovationskraft	0/28 = 0 %	9/28 = 32 %	12/28 = 43 %	7/28 = 25 %	2,9
	das Wecken von Neugier beim Ausprobieren von etwas Neuem	2/30 = 7 %	6/30 = 20 %	15/30 = 50 %	7/30 = 23 %	2,9
	nichts	12/21 = 57 %	4/21 = 19 %	2/21 = 10 %	3/21 = 14 %	1,8
Sonstiges, und zwar:	0					
6. Folgende Ausstattung im selbstfahrenden Elektrobus würde mir gefallen...	großer Stauraum (u. a. für Reisegepäck, Möbeltransport)	0/29 = 0 %	9/29 = 31 %	10/29 = 34 %	10/29 = 34 %	3
	Aufenthaltskomfort (u. a. bequeme Sitze, Klimatisierung)	0/31 = 0 %	1/31 = 3 %	15/31 = 48 %	15/31 = 48 %	3,5
	W-LAN-Verfügbarkeit	0/30 = 0 %	6/30 = 20 %	12/30 = 40 %	12/30 = 40 %	3,2
	Barrierefreiheit (u. a. Rampe, Platz für Rollstühle)	1/30 = 3 %	1/30 = 3 %	13/30 = 43 %	15/30 = 50 %	3,4
Sonstiges, und zwar:	0					
7. Ich möchte den selbstfahrenden Elektrobus folgendermaßen nutzen/anfordern...	entweder feste Taktung und An- und Abfahrt an angefragten Adressen	6/26 = 23 %	5/26 = 19 %	8/26 = 31 %	7/26 = 27 %	2,6
	oder Rufbereitschaft via App	1/29 = 3 %	2/29 = 7 %	13/29 = 45 %	13/29 = 45 %	3
	oder Rufbereitschaft via Telefon	5/23 = 22 %	2/23 = 9 %	9/23 = 39 %	7/23 = 30 %	2,8
Sonstiges, und zwar:	4: abhängig von der verfügbaren Stückzahl (1x); ständiger Pendelverkehr/Kreislauf (1x); Rufsäulen/Rufports (1x); anderen Standort					
8. Ich wäre bereit, folgende Entfernung von meinem Wohnort bis zum Abholort des selbstfahrenden Elektrobusse zurückzulegen...	0 - 2 min Fußweg	4/27 = 15 %	2/27 = 7 %	7/27 = 26 %	14/27 = 52 %	3,1
	3 - 5 min Fußweg	11/26 = 42 %	7/26 = 27 %	5/26 = 19 %	3/26 = 12 %	2
	Sonstiges, und zwar:	5: erst ab 15/20 min (1x); Tür zu Tür Service (3x); ich möchte keinen Elektrobus hier haben (1x)				
9. Ich würde folgendes angeschlossenes Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen...	Fahrradverleihstation	9/30 = 30 %	7/30 = 23 %	9/30 = 30 %	5/30 = 17 %	2,3
	W-LAN im gesamten Quartier	2/30 = 7 %	0/30 = 0 %	10/30 = 33 %	18/30 = 60 %	3,5
	Wäscheservice	9/28 = 32 %	8/28 = 29 %	8/28 = 29 %	3/28 = 11 %	2,2
	Lieferservice (u. a. für Wäsche, Lebensmittel)	4/28 = 14 %	3/28 = 11 %	17/28 = 61 %	4/28 = 14 %	2,8
	Paket-Packstation	3/29 = 10 %	3/29 = 10 %	12/29 = 41 %	11/29 = 38 %	3,1
	Quartiers App (u. a. zum Austausch in der Nachbarschaft)	6/27 = 22 %	11/27 = 41 %	6/27 = 22 %	4/27 = 15 %	2,3
	Anmietung von Gemeinschaftsräumen und -freiflächen	6/28 = 21 %	8/28 = 29 %	9/28 = 32 %	5/28 = 18 %	2,5
	nichts	11/14 = 79 %	1/14 = 7 %	1/14 = 7 %	1/14 = 7 %	1,4
Sonstiges, und zwar:	1: Wan sollte kostenlos sein (1x)					
Offene Fragen						
Welche weiteren Rahmenbedingungen müssen erfüllt sein, damit Sie bereit sind, das beschriebene Angebot zu nutzen?	18: (keine) Kosten: Kostenfrage müsste erst geklärt werden (2x); Kostenfreier Service für Angestellte (2x); gutes Preis-Leistungsverhältnis (1x); (genügend) Parkplätze: Wo sollen Pkw parken? (Kunden-, Liefer-, Eigenverkehr) (1x); genügend Parkplätze müssen vorhanden sein (3x); (uneingeschränkter) Lieferverkehr: Lkw-Zufahrt zum Lager (auch für Lieferanten) muss da sein (1x); Ermöglichung eines uneingeschränkten Lieferverkehrs inkl. Schwertransporter (2x); Verfügbarkeit: gute Verfügbarkeit zu den Stoßzeiten (1x); Umständlich das Auto abzustellen und Waren in Bus zu verladen, um relativ kurze Reststrecke zu fahren. Lange Wartezeiten sicherlich (1x); Anbindung: Direktverbindung ÖPNV nicht gegeben (1x); Sonstiges: Trennung zwischen Arbeitsplatz und Wohnung (1x); Flughafen geschlossen (1x); Transportmöglichkeit von Hunden? (1x)					
Welche weiteren Wünsche/Anregungen haben Sie?	5: (keine) Kosten: Kosten auf Mieter zu legen grenzt an Nötigung (1x); Genügend Parkplätze: ausreichend Parkplätze für Mitarbeiter (1x); Ergänzung Freizeitangebote: Freizeitangebot (1x); Ablehnung der Idee: Keine, da noch in weiter ferne (1x), absolut schwachsinig Idee für die Lage, besser Mitte oder Prenzlauer Berg (1x)					

Auswertung der Befragung von potenziellen Bewohnern (Befragungszeitraum: 19. Juli bis 31. Oktober 2017)

Teil 1: personenbezogene Daten

> insgesamt: 150 Teilnehmer

Geschlecht:	Zustimmung
weiblich	80/147 = 54 %
männlich	67/147 = 46 %

Mobilitätseinschränkung	Zustimmung
ja	7/149 = 5 %
nein	142/149 = 95 %

Alter in Jahren	Zustimmung
0 - 17	0/149 = 0 %
18 - 39	70/149 = 47 %
40 - 59	66/149 = 44 %
60 +	13/149 = 9 %

Höchster Bildungsabschluss	Zustimmung
kein Abschluss	0/149 = 0 %
Hauptschulabschluss	1/149 = 1 %
Realschule (Mittlere Reife)	8/149 = 5 %
Gymnasium (Abitur)	25/149 = 17 %
abgeschlossene Ausbildung	23/149 = 15 %
(Fach-)Hochschulabschluss	92/149 = 62 %

Berufliche Situation	Zustimmung
Familienarbeit	4/150 = 3 %
Schüler/in / Auszubildende/r / Student/in	17/150 = 11 %
Angestellte/r / Beamte/r	90/150 = 60 %
Freiberufler/in / Selbstständige/r	27/150 = 18 %
Rentner/in	8/150 = 5 %
arbeitsuchend	4/150 = 3 %

Monatliches Netto-Haushalts-Einkommen	Zustimmung
unter 1.300 €	25/148 = 17 %
1.300 € - 2.599 €	59/148 = 40 %
2.600 € - 3.599 €	33/148 = 22 %
3600 € - 4.999 €	21/148 = 14 %
5.000 € - 7.999 €	9/148 = 6 %
8.000 € +	1/148 = 1 %

Anzahl der Personen im Haushalt	Zustimmung			
	0	1	2	3 +
Kinder 0 - 6 J.	55/149 = 63 %	24/149 = 28 %	7/149 = 8 %	1/149 = 1 %
Kinder 7 - 13 J.	51/149 = 75 %	10/149 = 15 %	7/149 = 10 %	0/149 = 0 %
Jugendliche	54/149 = 78 %	12/149 = 17 %	3/149 = 4 %	0/149 = 0 %
Erwachsene	6/149 = 4 %	52/149 = 37 %	75/149 = 54 %	7/149 = 5 %
Senioren	50/149 = 85 %	6/149 = 10 %	3/149 = 5 %	0/149 = 0 %

Anzahl der Autos im Haushalt	Zustimmung
0	79/150 = 53 %
1	64/150 = 43 %
2	7/150 = 5 %
3	0/150 = 0 %
4 +	0/150 = 0 %

Überwiegender Zweck der Nutzung des/r Autos	Zustimmung
Arbeit	25/97 = 26 %
Kita/Schule	2/97 = 2 %
Einkauf	13/97 = 13 %
Freizeit/Ausflüge	47/97 = 49 %

Mietwagen bei Möbeleinkäufen, Sperrmüll oder Wochenendfahrten, Urlaub, Als Lasttaxi, car sharing, einkauf, keine, Garten, Urlaub, Besuche, Urlaubsreise, Landhaus, kein Auto, Ich arbeite mit dem Auto, Alles

Entscheidungskriterium bei der Verkehrsmittelwahl im Alltag	Zustimmung
geringe Kosten	96/149 = 64 %
Schnelligkeit	99/149 = 66 %
Komfort	41/149 = 28 %
Umweltfreundlichkeit	80/149 = 54 %
Privatsphäre	9/149 = 6 %
Statussymbol/Luxus	1/149 = 1 %
Sonstiges	13/149 = 9 %

Menschenkontakt

Häufigkeit der Nutzung folgender Verkehrsmittel im Jahr	Zustimmung: täglich	mehrmals pro					selten	nie
		Woche	Monat	Jahr	selten	nie		
eigenes Auto	12/149 = 9 %	27/149 = 20 %	21/149 = 15 %	7/149 = 5 %	6/149 = 4 %	64/149 = 47 %		
Auto von Verwandten/Freunden	0/149 = 0 %	0/149 = 0 %	7/149 = 6 %	20/149 = 17 %	38/149 = 32 %	54/149 = 45 %		
Mietwagen	0/149 = 0 %	1/149 = 1 %	0/149 = 0 %	9/149 = 7 %	52/149 = 43 %	59/149 = 49 %		
Car-Sharing-Dienste	0/149 = 0 %	5/149 = 4 %	9/149 = 8 %	11/149 = 9 %	21/149 = 18 %	74/149 = 62 %		
öffentliche Verkehrsmittel	56/149 = 39 %	37/149 = 26 %	26/149 = 18 %	14/149 = 10 %	8/149 = 6 %	2/149 = 1 %		
Fahrrad	60/149 = 43 %	24/149 = 17 %	21/149 = 15 %	15/149 = 11 %	9/149 = 6 %	11/149 = 8 %		
zu Fuß (längere Distanzen)	40/149 = 31 %	29/149 = 22 %	34/149 = 26 %	18/149 = 14 %	8/149 = 6 %	2/149 = 2 %		
Sonstiges		Dienstwagen	Motorrad	Longboard, Moebeltaxi, Zug	Firmenwagen, Flugzeug,	Inliner		

Auswertung der Befragung von potenziellen Bewohnern (Befragungszeitraum: 19. Juli bis 31. Oktober 2017)

Teil 2: Aussagen + Fragen

		insgesamt: 134 Teilnehmer						
Aussage		ich stimme nicht zu	ich stimme eher nicht zu	ich stimme eher zu	ich stimme zu	Mittelwert		
1. Ich erwarte folgenden Nutzen...	geringeres Unfallrisiko/mehr Sicherheit	8/134 = 6 %	27/134 = 20 %	39/134 = 29 %	59/134 = 44 %	3,1		
	weniger Staus/höhere Pünktlichkeit bzw. Zuverlässigkeit	2/134 = 2 %	16/134 = 12 %	54/134 = 41 %	59/134 = 45 %	3,3		
	weniger Kraftstoffverbrauch/geringere Mobilitätskosten	3/134 = 2 %	8/134 = 6 %	33/134 = 25 %	87/134 = 66 %	3,5		
	geringeren CO2-Ausstoß	3/134 = 2 %	4/134 = 3 %	28/134 = 21 %	97/134 = 73 %	3,6		
	höheren Fahrkomfort	6/134 = 5 %	33/134 = 26 %	61/134 = 48 %	28/134 = 22 %	2,8		
	Zeitersparnis/mehr Zeit für Anderes (u. a. wegfallende Parkplatze)	2/134 = 2 %	20/134 = 15 %	55/134 = 42 %	53/134 = 41 %	3,2		
	neue Dienstleistungsangebote	13/134 = 10 %	27/134 = 21 %	61/134 = 48 %	27/134 = 21 %	2,8		
	höhere Chancen für die Mobilität mobilitätseingeschränkter Personen	6/134 = 5 %	14/134 = 11 %	41/134 = 31 %	71/134 = 54 %	3,3		
	Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Quartier (u. a. weniger Autos, leiser)	4/134 = 3 %	10/134 = 8 %	38/134 = 30 %	76/134 = 59 %	3,4		
	keinen Nutzen	73/134 = 69 %	21/134 = 20 %	8/134 = 8 %	4/134 = 4 %	1,4		
Sonstiges, und zwar:	14. Aufenthaltsqualität: Abschaffung liegender Verkehr (1x), Fahrkomfort: Bequemlichkeit (1x), mehr Individualität bei kleinen Fahrzeuggrößen (im Vgl. zu ÖV) (1x), weniger Stress durch aggressive Verkehrsteilnehmer, Konfrontationen im Straßenverkehr (1x), Umwelt/Gesundheit: geringere sonstige Umweltbeeinträchtigungen (Feinstaub etc) (1x), Höhere Luftqualität / Bessere Gesundheit (1x), Weniger Lärm (1x), Innovationsförderung: Helfen, neuen Technologien durchzusetzen (1x), Soziales: Mehr Nachbarschaftlichkeit (1x), höhere Kriminalität + weniger zwischenmenschlicher Kontakt (1x), das Angebot interessiert mich nicht (1x), nichts (1x)							
2. Ich sehe folgende Risiko/folgende Herausforderung...	technische Probleme (u. a. Erkennung von Fußgängern/Fahrradfahrern)	14/133 = 11 %	30/133 = 23 %	52/133 = 40 %	35/133 = 27 %	2,8		
	wirtschaftliche Probleme (u. a. hohe Herstellungs-/Wartungskosten)	15/133 = 12 %	49/133 = 38 %	47/133 = 36 %	19/133 = 15 %	2,5		
	rechtliche Probleme (u. a. Versicherung, Haftung)	18/133 = 14 %	43/133 = 34 %	46/133 = 36 %	21/133 = 16 %	2,5		
	Datenschutz (u. a. Hacker-Angriff, Erstellung pers. Bewegungsmuster)	13/133 = 10 %	42/133 = 33 %	43/133 = 34 %	29/133 = 23 %	2,6		
	Abnahme von Entscheidungsmöglichkeiten (u. a. weniger Freiheitsgefühl)	37/133 = 29 %	48/133 = 37 %	33/133 = 26 %	11/133 = 9 %	2,1		
	mangelnde Pünktlichkeit/Zuverlässigkeit	32/133 = 25 %	72/133 = 56 %	20/133 = 16 %	5/133 = 4 %	1,9		
	geringeres Sicherheitsempfinden/Vertrauen	22/133 = 17 %	57/133 = 44 %	42/133 = 32 %	9/133 = 7 %	2,2		
	Einschränkungen im Alltag (u. a. Lieferverkehr)	35/133 = 27 %	66/133 = 50 %	23/133 = 18 %	7/133 = 5 %	2,0		
	kein Risiko/keine Herausforderung	33/133 = 28 %	47/133 = 39 %	32/133 = 27 %	8/133 = 7 %	2,1		
	Sonstiges, und zwar:	10. Sicherheit: Sicherheit im Verkehr (1x), unterschiedliche Situation Tag- und Nachtverkehr (die Angst nachts bleibt, egal welches Fahrzeug) (1x), technische Probleme: technische Probleme einer neuen Technologie sind lösbar (1x), Wirtschaft/Gesellschaft: Verlust von Arbeitsplätzen, Rationalisierung der Lebenswelt (1x), Arbeitsmarkt (Sicherheit des Arbeitsplatzes etc.) (1x) Handhabung/Alltagstauglichkeit: zu Umständlich in der Handhabung (1x), kein Risiko (1x), nichts (1x), uninteressant für mich (1x)						
3. Bei der Gegenüberstellung von erwartetem Nutzen und erwarteten Risiken/Herausforderungen...	überwiegt der erwartete Nutzen	3/133 = 2 %	16/133 = 12 %	73/133 = 55 %	41/133 = 31 %	3,1		
4. Folgendes würde mein Sicherheitsempfinden stören...	fehlender Ansprechpartner durch fehlenden Fahrer im Notfall	15/134 = 11 %	34/134 = 26 %	38/134 = 29 %	46/134 = 35 %	2,8		
	fehlender Sicherheitsknopf (u. a. zur Verbindung mit Telefonzentrale)	9/134 = 7 %	22/134 = 17 %	37/134 = 28 %	64/134 = 48 %	3,1		
	fehlendes Vertrauen in die neue Technik	22/134 = 17 %	49/134 = 37 %	40/134 = 30 %	21/134 = 16 %	2,4		
	Datenschutz	19/134 = 15 %	39/134 = 30 %	33/134 = 25 %	40/134 = 31 %	2,7		
	Angst vor der Übernahme des selbstf. Elektrobusse durch Unbefugte	23/134 = 18 %	52/134 = 39 %	30/134 = 23 %	27/134 = 20 %	2,4		
	erhöhtes Unfallrisiko	30/134 = 23 %	55/134 = 43 %	29/134 = 22 %	15/134 = 12 %	2,2		
	nichts	35/134 = 29 %	26/134 = 20 %	22/134 = 17 %	8/134 = 6 %	2,0		
	Sonstiges, und zwar:	6. technische Defekte: technische Defekte und damit Zeitverlust bei der Nutzung, Ausfall (1x), Handhabung/Alltagstauglichkeit: Wer trägt Lasten vom Auto zum Bus und Bus zur Wohnung (1x), Einladung zu Raubüberfällen u.ä. (1x), nichts (2x)						
	5. Vom Gefühl her verbinde ich mit der Nutzung selbstfahrender Elektrobusse...	eine Imageverbesserung (Status, Teil von etwas Besonderem zu sein)	33/133 = 26 %	30/133 = 24 %	43/133 = 34 %	21/133 = 17 %	2,5	
		eine geringere Umweltverschmutzung	4/133 = 3 %	6/133 = 5 %	33/133 = 25 %	87/133 = 67 %	3,5	
eine Stärkung der Innovationskraft		4/133 = 3 %	16/133 = 12 %	46/133 = 36 %	63/133 = 49 %	3,3		
das Wecken von Neugier beim Ausprobieren von etwas Neuem		6/133 = 5 %	17/133 = 13 %	50/133 = 39 %	56/133 = 43 %	3,2		
nichts		59/133 = 46 %	20/133 = 22 %	10/133 = 11 %	3/133 = 3 %	1,5		
Sonstiges, und zwar:		7. Positives: Höhere Lebensqualität (1x), Weniger Lärm (1x), Komfort, Bequemlichkeit (1x), Negatives: eine noch nicht wirklich durchdachte Idee, v. a. bei Einbindung in Mobilitätsketten (1x), Entmenschlichung des Alltags (1x), Sorge um Unzuverlässigkeit, Nerv, Zeitverlust (1x), nichts (1x)						
6. Folgende Ausstattung im selbstfahrenden Elektrobus würde mir gefallen...		großer Stauraum (u. a. für Reisegepäck, Möbeltransport)	6/133 = 5 %	12/133 = 9 %	56/133 = 42 %	58/133 = 44 %	3,2	
		Aufenthaltskomfort (u. a. bequeme Sitze, Klimatisierung)	2/133 = 2 %	20/133 = 15 %	51/133 = 39 %	57/133 = 44 %	3,2	
		W-LAN-Verfügbarkeit	17/133 = 13 %	23/133 = 18 %	38/133 = 29 %	51/133 = 40 %	2,9	
		Barrierefreiheit (u. a. Rampe, Platz für Rollstühle)	2/133 = 2 %	7/133 = 5 %	31/133 = 24 %	91/133 = 69 %	3,6	
	Sonstiges, und zwar:	9. Tiere: Ausreichend Platz für mitgenommene Hunde (1x), Tiertransport komfortabel möglich (1x), Fahrräder: mögliche Fahrradmitnahme (1x), Fahrer: Elektrobus und autofreies Viertel ja, aber mit Fahrer*innen; hier werden zwei Dinge vermischt (1x), Flexibilität: Flexibles umbauen für Transport oder Sitzplätze (1x), Umsteigeanzeige: Infos über Umsteigemöglichkeiten zu anderen Verkehrsmitteln in Echtzeit (1x), Steckdosen (1x), keine Interessen (1x), nichts (1x)						
	7. Ich möchte den selbstfahrenden Elektrobus folgendermaßen nutzen/anfordern...	entweder feste Taktung und An- und Abfahrt an angefragten Adressen oder Rufbereitschaft via App	13/133 = 10 %	19/133 = 15 %	41/133 = 33 %	52/133 = 42 %	3,0	
		oder Rufbereitschaft via Telefon	13/133 = 10 %	15/133 = 12 %	35/133 = 27 %	66/133 = 51 %	3,1	
		oder Rufbereitschaft via digitales Schwarzes Brett im Hauseingang	27/133 = 21 %	24/133 = 19 %	36/133 = 28 %	40/133 = 32 %	2,7	
		nichts	43/133 = 35 %	27/133 = 22 %	31/133 = 25 %	23/133 = 19 %	2,2	
		Sonstiges, und zwar:	3. gar nicht (1x), nichts (1x), Vorabreservierbarkeit, damit im Einzelfall auch mal Bahnschlüsse oder andere Termine sichergestellt werden können (1x)					
8. Ich wäre bereit, folgende Entfernung von meinem Wohnort bis zum Abholort des selbstfahrenden Elektrobusse zurückzulegen...		0 - 2 min Fußweg	9/134 = 8 %	6/134 = 5 %	11/133 = 10 %	88/133 = 77 %	3,5	
		3 - 5 min Fußweg	11/134 = 9 %	11/134 = 9 %	47/133 = 37 %	59/133 = 46 %	3,2	
		Sonstiges, und zwar:	12. Halt, direkt vor der Haustür/direkte Abholung am Bestellpunkt (2x), 6-8 min (1x), Bis 8 min (1x), bis 10 min (1x), 10 min Fußweg (2x), Mehr als 10 min (1), ab 15 min Fußweg (1x), mehr (1x), egal (1x), nichts (1x)					
		9. Ich würde folgendes angeschlossenes Dienstleistungsangebot im neuen Stadtquartier Gartenfeld nutzen...	Mobility Hub (Mobilitätsstation zur Nutzung unterschiedl. Verkehrsmittel)	6/133 = 5 %	13/133 = 10 %	41/133 = 32 %	69/133 = 53 %	3,3
			W-LAN im gesamten Quartier	7/133 = 5 %	8/133 = 6 %	29/133 = 22 %	88/133 = 67 %	3,5
	Wäscherei-Service		21/133 = 16 %	43/133 = 33 %	37/133 = 29 %	28/133 = 22 %	2,5	
	Lieferservice (u. a. für Wäsche, Lebensmittel)		15/133 = 12 %	35/133 = 27 %	45/133 = 35 %	34/133 = 26 %	2,7	
	Paket-Packstation		8/133 = 6 %	11/133 = 8 %	42/133 = 32 %	70/133 = 53 %	3,3	
	Quartiers-App (u. a. zum Austausch in der Nachbarschaft)		12/133 = 9 %	28/133 = 22 %	48/133 = 38 %	40/133 = 31 %	2,9	
	Anmietung von Gemeinschaftsräumen und -freiflächen		5/133 = 4 %	19/133 = 15 %	50/133 = 38 %	56/133 = 43 %	3,2	
nichts	62/133 = 89 %		6/133 = 9 %	1/133 = 1 %	1/133 = 1 %	1,1		
Sonstiges, und zwar:	5. Kostenlose Räume: freie Nutzung von Gemeinschaftsräumen und -freiflächen (ohne Geld nutzbare Orte und Räume) (1x), Gästewohnung (1x), Infopunkt: Infopunkt zu Nachhaltigkeit (nachhaltiger Mobilität) im Alltag - Austausch, Vernetzung, gegenseitige Unterstützung (1x), Sportangebote: Sportangebote z. B. im Freien (1x), nichts (1x)							

Offene Fragen	pro m2 Wohnfläche	pro Haushaltsmitglied	pro Wohneinheit	Sonstiges, und zwar:	
<p>Welche Art der Kostenbeteiligung bevorzugen Sie?</p>	<p>52/122 = 43 %</p>	<p>29/122 = 24 %</p>	<p>25/122 = 21 %</p>	<p>16/122 = 13 %</p>	<p>13: Einkommensabhängig: Einkommensabhängig gestaffelte Entgelte (1x), Einkommensbasiert (1x), Gestaffelt nach Haushaltseinkommen. Finde aber eigentlich, es ist eine städtische Aufgabe, einen öpvn Dienst zur Verfügung zu stellen, auch kostenlos (1x), Pauschale: Pauschale monatlich (1x), Genossenschaftsanteile: Genossenschaftsanteile (1x), Kinder: aber Kinder zahlen nur 50 % (1x), pro volljährigem Haushaltsmitglied (1x), vergünstigungen für Familien mit Kinder (1x), pro Haushaltsmitglied mit Berücksichtigung von Kinderrabatt (1x), Standard Wohnfläche: anteilig für Gemeinschaftsräume und für die eigene Mietfläche (Preis gestaffelt nach Komfort/Standard) (1x), Nutzung: Pro Nutzung (1x), Subventionierung: Dieses zukunftsweisende Modell sollte staatlich subventioniert werden (1x), keine (1x)</p>
<p>Was hat Sie dazu bewegt, in das neue Stadtquartier Gartenfeld zu ziehen?</p>	<p>16: Gemeinschaft: Gemeinschaftliches Wohnen (1x), Gemeinschaft (1x), Interessante Menschen in der Umgebung, Nachbarschaftliche Verbundenheit (1x), Leben in der Gemeinschaft (1x), alters- und auch sonst sozial gemischtes Wohnen, nicht nur für Öko-Juppies (1x), vernetzte Nachbarschaft (1x), Gute soziale Durchmischung der Bewohner*innen (1x), Interessante Mischung an Bewohnern unterschiedlichen Alters; offene Bewohner (1x), Gemeinschaftlichkeit (1x), Nette Nachbarn (1x), Nachbarschaftszusammenhalt (1x), Soziales Wohnen (1x), gemeinschaftliches und ressourcensparendes teilen von ressourcen/angeboten, dabei gemeinsames nachdenken über die organisation von zusammenleben (1x), Eine neue Wohngemeinschaft von unterschiedlichen Leuten die den Fortschritt leben wollen und weiter voran bringen wollen (1x), es wirkt auf mich wie ein eigens geschaffener Kiez, alle leben generationsübergreifend und nachbarschaftlich zusammen, es wirkt mehr wie eine Dorfgemeinschaft (weil es größer als ein Kiez ist von der Fläche) (1x), Perfekt für Familien (1x)</p> <p>13: Wohnraumbedarf: Bedarf an Wohnraum(1x), Wohnungsnot (1x), Preiswerte Wohnung (1x), günstiger Mietpreis (1x), Dies wäre sicher eine Mischung aus persönlichem Wohnungs-/Umzugsbedarf und der Attraktivität des Konzeptes (1x), Preise (1x), soziale Mieten (1x), Wohnungsnot (1x), Wohnungsnot innerhalb des S-Bahn-Rings (1x), Günstige Mieten (1x), Bezahlbare Miete (1x), Prekäre Mietsituation in Berlin (1x), Bezahlbare Miete (1x)</p> <p>12: Innovationsförderung: Das Angebot an neue Dienstleistungen, Mobilität, WLAN, Innovation (1x), neues probieren (1x), Gute Lösungen (1x), Innovation, Neugier, Experimentierfreude (1x), innovative neue Lebensumstände (1x), Interesse an neuer Mobilität, interessantes Wohnumfeld (1x), Ich denke, dass die negativen Folgen des Individualverkehrs in den Städten (Luftverschmutzung, Lärm, Verlust von Aufenthaltsqualität usw.) heute überwiegen und nicht mehr zeitgemäß ist, das es bessere Alternativen gibt (ÖPNV, Fahrrad, Car-Sharing usw.), Es an der Zeit alternative Konzepte zu entwickeln und der in der Praxis zu verproben. Daran möchte ich gern auch mitwirken ... (1x), innovatives Konzept (3x), Fortschrittliches Wohnen (1x), Ich wollte dem neuen eine Chance geben, da ich bereits vom elektrischen fahren überzeugt bin und das in bestimmten Bereichen autonome fahren für sinnvoll und auch sicher halte. Natürlich müssen viele Sachen stets überwacht und weiterentwickelt werden. (1x)</p> <p>11: Lage: Lage (2x), Bekannte nah (1x), Innenstadtlage (1x), Freunde, die dort wohnen (1x), Kiez, den ich mag (1x), Nähe zum Wasser (1x), Gute Erreichbarkeit des Zentrums und des Naherholungsgebietes (1x), Nähe zum Arbeitsplatz (1x), Die Lage (1x), aber ist mitten in der Stadt (1x)</p> <p>10: Autofreiheit: Verkehrsfreie Zone, Leben ohne Verkehrsbelastung, Leben ohne ruhenden Verkehr (geparkte Autos) (1x), ein Stadtquartier fast ohne Autoverkehr ist sehr reizvoll (1x), Der Verzicht auf Autos in der Umgebung (1x), Ein quartier ohne autos (1x), weniger Verkehr (1x), autofreies Wohnen (1x), auto arm finde ich gut (1x), Ich finde es gut keine Autos unmittelbar vor der Tür zu haben Hier werden mein privates autoloses Leben unterstützt (1x), Autofreies Quartier (1x), Autofreiheit (1x)</p> <p>9: Lebensqualität: viel höhere Lebensqualität durch Verbrennungsmotoren-freies Wohnen (1x), Wegen des angenehmen Wohnumfelds, (1x), Entschleunigung (1x), hohe Lebensqualität (1x), persönliches Wohnumfeld (Freunde, Ruhe, Luft, Licht, Sonne, Freizeitanlagen) (1x), Schönes Wohnumfeld (1x), hoher Lebens- und Wohnstandard (1x), Verbesserung der Wohn- und Lebensqualität (1x), Es war ein Wohngebiet was viele verschiedene Dinge zusammenbringt... (1x)</p> <p>8: Lärm: wenig Verkehrslärm (1x), Wegen der Ruhe (1x), weniger Geräuschbelastung (1x), Ruhe (2x), Niedrige Lärmbelastung (1x), Lärmarme Wohnlage (1x), mehr Ruhe (1x)</p> <p>8: Nachhaltigkeit/Effizienz: Effizienz (1x), Man kann schnell vieles erledigen (1x), Mein Alltag ist weniger umständlich. Durch gute Kommunikation, Vernetzung und Elektrobusse kann ich meinen Alltag besser organisieren (1x), Ressourcenschonung (1x), kurze Wege (1x), Das vereinfachte Leben, das durch die Technik ermöglicht wird (1x), Nachhaltigkeit im Alltag (1x), ressourcensparende teilen von ressourcen/angeboten (1x)</p> <p>6: Ökologie: Grün, Ökologie (1x), modernes umweltfreundliches Mobilitätsangebot (1x), angenehmen ökologischen Baumaterialien (1x), mehr grün (1x), Umweltfreundliches Wohnen (2x), Wegen der Grünanlage, man fühlt sich wohler (1x)</p> <p>6: Verkehrssicherheit: mehr Sicherheit für Kinder (1x), kinderfreundlich (1x), hohe Verkehrssicherheit (2x), kinderfreundlich da weitgehend autofrei (1x), alle leben sicher (1x)</p> <p>6: Dienstleistungen/soziale Infrastruktur: Lieferservice (1x), Nähe zu einer öffentliche Schule nach neuem Lern- und Teamhauskonzept (mit großen und angemessener räumlicher Ausstattung und modernen Lehrkonzepten) (1x), lebendiges kulturelles Angebot (1x), Günstige Mieten, daher auch Raum für "prekärere" Kunst- und Kulturprojekte (1x), Gute Einkaufsmöglichkeiten (1x), Ein nahes Gewerbegebiet, Schulen und Kitas ebenfalls (1x)</p> <p>5: ÖPNV-Anbindung: guten öffentlichen verkehrsmitteln (1x), Anschluss an Öffentliche (1x), Verkehrsanbindung (1x), gute Verbindung mit den öffentlichen verkehrsmitteln (1x), Gute Anbindung an ÖPNV (1x)</p> <p>3: CO2-Emissionen: Beitrag zur Verringerung der CO2 Emissionen (1x), geringe Co2Bilanz (1x), bessere Luft (1x)</p> <p>3: Alleinstellungsmerkmal/Unterschied Rest-Berlin: Weniger Großstadt-Gefühl (1x), besonderes Quartier (1x), weniger Touristen, keine Hipster (hoffentlich) (1x)</p> <p>3: Architektur/Stadtplanung: Architektur (1x), Eine Wohnung mit tollem Zuschnitt (Wohnküche, Balkon oder Gemeinschafts-Dachterrasse) (1x), vielfältige Berliner Mischung aus Kultur, Wohnraum, Gewerbe (1x)</p> <p>3: Erhöhung Mobilität: Erhalt der Selbstständigkeit auch im Alter oder bei Behinderung (1x), verbesserung der Mobilität ohne Nutzung des eigenen PKW (1x), alle leben mobil (1x)</p> <p>2: genossenschaftlicher Träger: Das Projekt wird von einer Genossenschaft getragen (1x), WGB Ostseeplatz (1x)</p> <p>2: Veränderung Straßenraum: mehr Leben und direkte Interaktion auf der Straße (1x), Shared Space-Gestaltung wäre gut (1x)</p> <p>1: Quartiersname: Der Name. Ich bin nicht dort eingezogen. Würde aber gerne. (1x)</p> <p>Kein Anwohner (1x), Mit körperlicher Behinderung würde ich anders ankreuzen (1x), Nichts bewegte mich, dort hinzuziehen (2x), ich möchte dort nicht hinziehen (1x), Ich habe heute zum ersten mal davon gehört (1x)</p>				

<p>Welche weiteren Rahmenbedingungen müssen erfüllt sein, damit Sie bereit sind, das beschriebene Angebot zu nutzen?</p>	<p>26: Kosten: Kosten (1x), Bezahlbare Mieten (2x), Preiswert (1x), bezahlbare Wohnungen (1x), Es muss günstig sein (1x), kostengünstig (1x), Geringe Kosten (1x), Faire Miete (1x), Preis (1x), der Service sollte von den Kosten her INKLUSIVE sein, gleich für alle, sonst wird das Angebot nur von einem Teil der Mieter / Anwohner genutzt (1x), Kosten für Miete, Dienstleistungen und Mobilität müssen sich bezahlbar bleiben (1x), finanzierbar (1x), Auf ein eigenes Auto möchte ich derzeit ungern verzichten (Urlaubsreisen, Einkauf usw.), so dass die Nutzung des beschriebenen Angebots Mehrkosten (zusätzlich zu Auto und Umweltkarte) bedeuten, d.h. die Zusatzkosten sind ein wesentliches Kriterium. Insbesondere in einer längeren Startphase (z.B. 2 Jahre) sollten diese geringer sein. Wenn ich mich dann von den Vorteilen bzw. Funktionsfähigkeit des Angebots überzeugen konnte, wäre ich bereit einen höheren Betrag zu zahlen (1x), Der Preis muss natürlich auch stimmen (Allerdings ist Gartenfeld auch sehr weit draussen...) (1x), Es muss bezahlbar sein (1x), Bezahlbare Wohnungen auf Genossenschaftsbasis (1x), Keine hohen Kosten (1x), das Angebot sollte nicht ein größerer Kostenfaktor sein als übliche Verkehrsmittel (1x), Wichtiger wären bezahlbare Mieten (1x), Kosten sollten transparent aufgesetzt werden (1x), relativ günstige Mieten (1x), Finanzierbarkeit (1x), es muss bezahlbar für viele sein (1x), Preis-/Leistung muss stimmen (1x), Kostengünstige Angebote (1x), Angemessenes Preis-Leistungsverhältnis sowie Erschwinglichkeit für Personen mit einem mittleren Einkommen (1x)</p> <p>10: Komfort/Verfügbarkeit/Versorgungssicherheit: bequeme, permanent verfügbare und Ausfall-sichere Mobilitätsangebote (1x), Ich muss mich darauf verlassen können, dass die Busse funktionieren, wenn ich sie brauche und auch nicht zu lange warten muss (1x), keine Einschränkung der Mobilität (1x), technische Sicherheit, praktischer Vorteil gegenüber bisherigen Lösungen (1x), ich muss mich darauf verlassen können, dass das Fahrzeug pünktlich kommt (1x), Technische Weiterentwicklung der selbstfahrenden Systeme, bisher erreichen die meisten nur Stufe 2 (1x), Klingt sehr interessant. Es müsste dann wirklich nur funktionieren und vor allem sicher sein (1x), geforderte Flexibilität muss umgesetzt sein und Zuverlässigkeit gewährleistet werden (1x), es muss sicher sein und einfach zu nutzen (1x), ständige kurzfristige Verfügbarkeit (1x)</p> <p>6: Verkehrssicherheit: Es müsste sichergestellt sein, dass die Busse niemanden gefährden. Es müssten Menschen im öffentlichen Raum irgendwie beschäftigt sein. (1x), Sicherheit (1x), Klärung der Sicherheitsfragen (1x), ich muss überzeugt sein von der Sicherheit des Fahrzeugs (1x), Es müsste dann vor allem sicher sein (1x), es müssen Kinder und andere Behinderungen auf der Straße sicher erkannt werden bzw. umfahren werden können (1x)</p> <p>4: ÖPNV-Anbindung: Reaktivierung und Verlängerung der Siemensbahn durch das Quartier bis nach Spandau; alternativ Ausbau als Radschnellweg (1x), Wichtiger wären öffentliche Verkehrsmittel (1x), Gute Anbindung (1x), reibungslose Anbindungen beim Umstieg von z.B. selbstfahrendem Shuttle auf das eigene Auto (1x)</p> <p>3: Rechtssicherheit: rechtliche Fragen inklusive der rechtlichen Haftungsverhältnisse im Falle von Unfällen der selbstfahrenden Fahrzeuge klar definiert und ÖFFENTLICH dokumentiert, beschrieben und zugänglich (1x), rechtliche Sicherheit (1x), Keine rechtlichen Grauzonen (wenn ich autonom mit dem Kleinbus fahre möchte ich genauso abgesichert sein als wenn ich in einen normalen Bus einsteige würde) (1x)</p> <p>3: Service/Ausstattung: Wenn elektrobusse fahren, müsste es eine Rundumservicestation mit menschlichen Ansprechpartnern geben, die innerhalb von wenigen Minuten vor Ort sein können (1x), Notfallknopf zur besetzen Zentrale (1x), Kinderwagen und Rollstuhlfahrer müssen Platz haben und da sollten keine Klappsitzplätze sein. denn dann sitzen welche und die machen ggf keine Platz ... (1x)</p> <p>3: Gemeinschaft/soziale Mischung: Gemeinschaftswohnformen (1x), Durchmischung von arm bis reich (1x), soziale Mischung muss gewährleistet sein (1x)</p> <p>2: Lage: das Wohngebiet müsste mehr im Zentrum Berlins liegen (1x), Nähe zum s Bahn Ring Nähe zum gewohnten kiez (1x)</p> <p>2: Übertragbarkeit/Vernetzung: Das beschriebene Konzept sollte und könnte meines Erachtens auch in zentral gelegenen Innenstadtbzirken genutzt werden - diese müssten Stück für Stück autofrei gestaltet werden (1x), Nutzung der Mobilitätsverbesserung sollten über das Stadtquartier hinaus vernetzt sein, ins Stadtzentrum und Umland (1x)</p> <p>2: Grün: Grün (1x), natverbundenheit (Park/Garten, Bäume, Wiese, Nachhaltigkeit) (1x)</p> <p>1: Barrierefreiheit: Barrierefreiheit im Stadtquartier (1x)</p> <p>1: Gewohnheit: Das ist wie vieles andere eine Frage der Gewohnheit (1x)</p> <p>1: Autoverbot: Autoverbot im Quartier (1x)</p> <p>Keine (5x), siehe oben (3x), Welches Angebot, das der Elektrobusse? (1x), Elektrobusse ja, selbstfahrend nein, fahre aber ohnehin meist Fahrrad; für mobilitätsbeeinträchtigten, Rollstuhl und Kinderwagen fahrenden Besuch gut (1x), Würde ich nur nutzen um ein Sofa zu transportieren oder wenn ich gehbehindert wäre (1x), Als fitter Senior sollte man selbstständig einkaufen. Bewegung ist wichtig (1x)</p>
<p>Welche Pauschale (die in den Wohnnebenkosten enthalten ist) wären Sie bereit, pro Monat für die Nutzung des Angebots zu bezahlen?</p>	<p>0 € (3x) 1 € (1x) 3-10 € (1x) 5 € (3x) 5-10 € (1x) 7 € (2x) 8 € (1x) 10 € (7x) 12 € (2x) 15 € (3x) 20 € (10x) 20 € pro Person (1x) 25 € (1x) 30 € (8x) 40 € (3x) 40 € pro Person (1x) 50 € (12x) 60 € (1x) 80 € (3x) 100 € (5x) 100 € pro Person (1x) 150 € (2x) 200 € (2x) 600 € (1x) 800 € (1x) 1.000 € (1x)</p>
<p>Welche weiteren Wünsche/Anregungen haben Sie?</p>	<p>4: Kosten: Da das Angebot nicht feststeht (z.B. welche Art der Servicedienste), lassen sich die Kosten relativ schlecht ermitteln (1x), Nebenkosten müssten anderweitig reduziert werden. Z.B. dürfte TV / Kabelgebühr nicht verpflichtend anfallen (1x), Preis darf nicht sehr hoch sein. Kommt schließlich zu den regulären Mobilitätskosten noch hinzu (1x), eine Vergünstigung bei Kombination mit VBB Monatskarten wäre toll (1x)</p> <p>3: Konkretisierung Konzeptbeschreibung: Das "Angebot" s.o. ist unklar. Ist die Nutzung des Elektrobusse gemeint oder die Wohnung und das Umfeld, die Gemeinschaftsanlagen? Was gibt es in dem Umfeld, was wird in der "Pauschale" enthalten sein? Wird das Abstellen des privaten PKWs auf zentraler Fläche in der Pauschale enthalten sein? (gehe ich von aus) (1x), Insgesamt finde ich das Szenario mit dem Abstellen des privaten PKWs an Zentralstation und der Nutzung des Elektrobusse am Anfang der Umfrage nicht deutlich genug beschrieben. Mir ist die angestrebte Wohnsituation in dem Quartier nicht klar genug für diese Umfrage (1x), Gut wäre auch, wenn man während der Beantwortung der Fragen auf das Szenario zurückblättern könnte (1x)</p> <p>2: Staatliche Förderung: Die Bereitstellung ökologisch-moderner öffentlicher Verkehrsmittel sollte unbedingt ausgebaut werden, parallel dazu der individuelle Autoverkehr zurückgehen (zB in dem das Parken in der Innenstadt deutlich teurer wird) (1x), Noch mehr solcher Projekte (1x)</p> <p>1: Einkäufe: mein Problem wäre die Bewältigung von großen schweren Einkäufen: mehrmaliges Aus und Einladen mit diesem Bus wäre nötig (1x)</p> <p>1: Erneuerbare Energien/Smart Home: Grüne Energien. Die Möglichkeit, sich ein Solarenergiepaneel auf den Balkon zu stellen. Keine Verpflichtung der Abnahme von Strom aus dem öffentlichen Netz. Kühlschränke, welche im Winter ihre Kühltemperatur durch eine intelligente Verbindung in das Freile speisen, anstatt zu viel Energie aus dem Stromnetz zu verschwenden. Schalldichte Wohnungen, wenn man einmal singen oder nachts Radio hören möchte. (1x)</p> <p>1: Grün: Immergrüne Bäume und Pflanzen auf dem Dach, als Dachgarten (1x)</p>

	<p>1: Nachhaltigkeit/Umweltbildung: stärkere Verknüpfung von Mobilitätsformen der Zukunft mit Nachhaltigkeit, Erlebarmachen desselben (1x)</p> <p>1: Kurze Wege: Kurze Verkehrswege zu allen notwendigen Versorgungseinrichtungen (1x)</p> <p>1: Organisation Beförderung: Gerne Beförderung von mobilitätseingeschränkten Personen. Aber vielleicht besser in separaten Touren. (Man kann angeben, ob man sich Zeit für die Fahrt nehmen möchte oder nicht.) Sonst kommt es zu Unmut, bei denen, die es mal eilig haben, wenn zeitaufwendige Ein- und Aussteigsmänoever von mobilitätseingeschränkten Personen durchgeführt werden. Es muss durch die Organisation für eine gute Stimmung im Bus gesorgt werden (1x)</p> <p>1: Förderung Radverkehr: Eher mehr Fahrrad, Bus nur nach Bedarf (1x)</p> <p>1: Soziale Infrastruktur: mehr Angebote für Kinder in der Umgebung (1x)</p> <p>keine (5x), Als Pkw Nutzer würde ich diese Anlage NICHT nutzen (1x), Bei einer Abstimmung über die Einführung würde ich wahrscheinlich mit Nein stimmen (1x), als traditioneller Radfahrer würde ich mich derzeit an dem Angebot vor allem beteiligen, um den Individualverkehr zu reduzieren, weniger Autos im Stadtbild (1x), Ich bin sehr gespannt auf das Projekt :-), halten Sie mich auf dem Laufenden? (1x), Danke für Ihre Arbeit zu der Interessenerkundung (1x), weiter so! (1x), keine weiteren Umfragen dieser Art (1x)</p>
--	--

Anhang 4

Akzeptanzfaktoren aller Befragungen

Akzeptanzfaktoren/Rahmenbedingungen (abgeleitet aus den Interviews/Befragungen der vier Befragungsgruppen)

Akzeptanzfaktor/ Rahmenbedingung	Teilaspekt	Bedingung/Maßnahme	Bsp. Lösungsvorschlag	Aussage d. Befragungs- gruppe
KOSTEN	Höhe der Investitions-, Entwicklungs- und Betriebskosten	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige bzw. bezahlbare Kosten für Mieter für das Mobilitäts- und Dienstleistungsangebot → niedrige Einstiegsschwelle Informieren der Mieter/Käufer über entstehende und mitzutragende Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> Integration von Anfang an minimiert Kosten Wohnportfolio/-inserat zum Informieren über Kosten 	Investoren, Nutzer
	Art der Umlegung/ Übertragungsmodelle	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung eines geeigneten Übertragungsmodells (z. B. pro m² Wohnfläche (von Bewohnern bevorzugt), pro Haushaltsmitglied (Regelung Alter), pro Wohneinheit, einkommensabhängig, Monatspauschale/Quartiersbeitrag 	<ul style="list-style-type: none"> Pro m² Wohnfläche 	Investoren, Nutzer
	Beteiligungspflicht an Kosten	<ul style="list-style-type: none"> Verdeutlichen, dass alle Bewohner Mehrkosten tragen müssen 	<ul style="list-style-type: none"> Regelung über privatrechtl. Verträge 	Investoren, öff. Entsch.
PRAXISTAUGLICHKEIT DER SELBSTFAHRENDEN ELEKTROBUSSE	Versorgungssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung einer hohen Frequenz/ Verfügbarkeit der selbstfahrenden Elektrobusse auch zu Stoßzeiten Pünktlichkeit → kein Zeitverlust durch das Warten auf den Bus Technische Ausgereiftheit, reibungsloser Betriebsablauf Ubiquität: Rufbereitschaft via App 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Anzahl von Bussen im Quartier Tür-zu-Tür-Service 	Nutzer, Planer, Investoren, öff. Entsch.
	Keine Störung im Alltag	<ul style="list-style-type: none"> Keine Störung der für den Geschäftsalltag notwendigen Vorgehen (Kunden- und Lieferverkehr) Praktische Nachteile des wegfallenden Pkw durch adäquate Alternativen kompensieren 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Einschränkung des Lieferverkehrs Ergänzende Dienstleistungen 	Nutzer

Akzeptanzfaktor/ Rahmenbedingung	Teilaspekt	Bedingung/Maßnahme	Bsp. Lösungsvorschlag	Aussage d. Befragungs- gruppe
	Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> Einrichtung einer Verbindung zur zentralen Verwaltung zur Erhöhung des Sicherheitsgefühls 	<ul style="list-style-type: none"> Einbau eines Sicherheitsknopfes im Bus 	Nutzer
	Komfort	<ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung von ausreichendem Platz zum Transport von Waren, Tieren etc. Komfortable Ausstattung der Busse 	<ul style="list-style-type: none"> Großer Bus mit komfortabler Ausstattung, Stauraum 	Nutzer
KOMMUNIKATION	Kostentransparenz	<ul style="list-style-type: none"> Frühzeitiges Informieren der Mieter/Käufer über Höhe, Art und Verpflichtung der entstehenden und mitzutragenden Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> Wohnportfolio/-inserat zum Informieren über Kosten 	Investoren, Nutzer
	Hervorhebung des Mehrwerts/ der Vorteile für die Lebens- und Arbeitsqualität	<ul style="list-style-type: none"> Frühzeitiges Informieren und Hervorheben des Mehrwerts/der Vorteile der Mehrkosten, damit individueller Nutzen deutlich wird Hervorheben, dass durch den Wegfall anderer Kosten (bspw. Keine Kosten für Unterkellerung) ein Ausgleich entsteht 	<ul style="list-style-type: none"> Wohnportfolio/-inserat zum Informieren über Vorteile 	Investoren, öff. Entsch.
	Informieren über Wohn- und Nutzungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> Aufklärung über konkreten Inhalt der Konzeption/Angebote Aufklärung über Quartiersregeln (Abstellen der Autos, Besuchsregelung) Aufklärung, dass Konzeption gesamtheitlich zu verstehen und umzusetzen bzw. mitzutragen ist 	<ul style="list-style-type: none"> Wohnportfolio/-inserat zum Informieren über Angebote/Regeln Visuelle Willkommensschilder, Informationstafeln 	Nutzer, Planer
	Einfache Sprache	<ul style="list-style-type: none"> Verwendung neutraler, eindeutiger und allgemein verständlicher Begriffe 	<ul style="list-style-type: none"> selbstfahrende Elektrobusse statt autonome Fahrzeuge 	Nutzer, Planer
	Austausch mit Fachplanungen	<ul style="list-style-type: none"> Frühzeitiger und querschnittsorientierter Austausch der Fachdisziplinen, Behörden 	<ul style="list-style-type: none"> Thematische „Runder Tisch“ 	Planer, öff. Entsch.

Akzeptanzfaktor/ Rahmenbedingung	Teilaspekt	Bedingung/Maßnahme	Bsp. Lösungsvorschlag	Aussage d. Befragungs- gruppe
INFRASTRUKTURELLE AUSSTATTUNG	Ergänzendes Dienstleistungsangebot	<ul style="list-style-type: none"> Frühzeitiges Mitplanen ergänzender Infrastrukturen, wie bspw. Einzelhandel, Lieferservice, Sharing-System Gewährleistung aller Alltagsversorgungsfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzungsmischung i. S. d. Stadt der kurzen Wege Halteflächen für den Transport von Waren/ Personen (Lösung für Transport der Waren ins Haus finden) 	Planer, Nutzer, öff. Entsch.
	Zugriffsmöglichkeit auf digitalisierte Dienstleistungen	<ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung von W-LAN im gesamten Quartier, da alle Abläufe digitalisiert sind 	<ul style="list-style-type: none"> Einrichtung von W-LAN im Quartier Quartiers-App 	Planer, Nutzer
	Gemeinschaftsflächen	<ul style="list-style-type: none"> Fokus auf gemeinschaftliche Wohnformen und andere Angebote zur Stärkung der Identifikation mit dem Quartier und des Nachbarschaftsgefühls 	<ul style="list-style-type: none"> Kostenlos nutzbare Gemeinschaftsräume und -freiflächen sowie Freizeitangebote 	Planer, Nutzer
ANBINDUNG DES QUARTIERS	Anbindung des Quartiers an ÖPNV	<ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung der überörtlichen Anbindung und inneren Erschließung Bessere Anbindung des Mobility Hubs an ÖPNV 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfung der Erschließungsvarianten (Tram, S-Bahn) 	Planer, Nutzer, Investoren, öff. Entsch.
GESAMTHEITLICHE VERWALTUNG/ STEUERUNG	Steuerung der verschiedenen Dienstleistungen	<ul style="list-style-type: none"> Einheitliche Verwaltung, die alles zusammen steuert an Dienstleistungen 	<ul style="list-style-type: none"> Quartiersmanager 	Planer
VERMARKTBARKEIT/ BRANDING	Identitätsstiftung	<ul style="list-style-type: none"> Erzeugen eines hohen Wiedererkennungswertes durch Image/Branding Hervorheben der Alleinstellungsmerkmale der Konzeption Identität durch Produktnamen/Logo mit Verbindung zum Quartier 	<ul style="list-style-type: none"> Wohnportfolio/-inserat Werbung herstellen Kreierung Logo, Namen für Bus („Vermenschlichen“) 	Investoren, Nutzer

Akzeptanzfaktor/ Rahmenbedingung	Teilaspekt	Bedingung/Maßnahme	Bsp. Lösungsvorschlag	Aussage d. Befragungs- gruppe
	Hervorhebung der Alleinstellungsmerkmale	Innovativ/zukunftsweisend <ul style="list-style-type: none"> • Technikförderung • Digitalisierung & Vernetzung der Angebote 	<ul style="list-style-type: none"> • Wohnportfolio/-inserat • Werbung 	Investoren, Planer, Nutzer
		Umweltfreundlich/nachhaltig <ul style="list-style-type: none"> • Elektrobusse & Sharing-Angebote • Ausbau Fuß- und Radwegenetz (Stadt der kurzen Wege) • Hoher Grün- und Wasserflächenanteil 	<ul style="list-style-type: none"> • Wohnportfolio/-inserat • Werbung 	Investoren, Nutzer
		Sozial/gemeinschaftlich <ul style="list-style-type: none"> • Durchmischung durch unterschiedliche Träger, keine Gentrifizierung • Chance für Mobilitätseingeschränkte • Schwerpunkt auf gemeinschaftliches Wohnen und Arbeiten • Aufenthaltsqualifizierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wohnportfolio/-inserat • Werbung 	Investoren, Nutzer, öff. Entsch.
		Sicher/ruhig <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Sicherheit durch Ausschluss von Autos • Ruhiger durch wegfallende Lärmquellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wohnportfolio/-inserat • Werbung 	Investoren, Planer Nutzer
PLANUNGSRECHTLICHE ABSICHERUNG	Bebauungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Das autonome Fahren ist mit dem Bau- und Planungsrecht vereinbar, die Infrastrukturen bedürfen keine gesonderte Ausweisung (Ausweisung von extra Flächen wie bspw. Ladezonen mitplanen) • B-Plan: Ausschluss von Stellflächen, v. a. vor der eigenen Haustür mitbedenken 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelung durch B-Plan (Ausweisung und Ausschluss von Nutzungen) • Weitere Regelungen durch städtebauliche und privatrechtliche Verträge 	Planer, öff. Entsch.