

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht

Verbundprojekt: Entwicklung und Evaluierung eines ÖPNV-on-demand-Angebots mit autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Personennahverkehr in ländlichen Regionen (NAF-Bus)



NAF-BUS

NACHFRAGEGESTEUERTER-
AUTONOM-FAHRENDER BUS

Autoren: Projektkonsortium
Veröffentlichungsdatum: Juli 2021

Inhaltsverzeichnis

I Tabellenverzeichnis	3
II Abbildungsverzeichnis.....	4
III Abkürzungsverzeichnis	5
1. Gesamtziel des Verbundprojekts (Summary).....	7
2. Notwendigkeit der Förderung.....	7
3. Angabe eines Bezugs zu den förderpolitischen Zielen	8
3.1 Bezug zum Programmschwerpunkt Organisation des Straßenverkehrs - Projektziel: neuartiges Mobilitätskonzept	8
3.2 Bezug zum Programmschwerpunkt Gesellschaftliche Aspekte - Projektziel: neue Erkenntnisse zu Nutzererfahrungen und Nutzerverhalten	9
3.3 Bezug zum Programmschwerpunkt Gesellschaftliche Aspekte - Projektziel: neue Ansätze für gesellschaftliche Akzeptanz und Risiko-Nutzen Abwägungen	9
3.4 Umsetzung nach Projektende - Projektziel: Auswirkungen und Zusatznutzen autonomer elektrischer Fahrzeuge	9
4. Damalige Ausgangslage	10
5. Neuheitsgrad des Projekts.....	10
6. Vorstellung der Projektpartner	12
6.1 Geförderte Projektpartner.....	12
6.2 Assoziierte Projektpartner.....	15
7. Einsatzgebiete	16
8. Die eingesetzten Fahrzeuge.....	17
9. Projektzeitplan	20
10. Übertragbarkeit in andere Regionen.....	22
11. Öffentlichkeitsarbeit	22
12. Ergebnisse	31
12.1 EurA – Gesamtprojektleitung/Koordination des Verbundes/Einbeziehung der Bevölkerung	32
12.2 Interlink – Verkehrsplanung mit ÖPNV Schwerpunkt für Einsatz autonome Shuttles im Mischverkehr	34
12.2.1 Streckenauswahl, Risikoanalyse und infrastrukturelle Maßnahmen	34
12.2.2 Fahrzeugbeschaffung	36
12.2.3 Betriebskonzepte und Handbücher	38
12.2.4 Genehmigungen	38
12.2.5 Inbetriebnahme	39

12.2.6 Akteursbeteiligung.....	39
12.2.7 Analyse und Auswertung der Ergebnisse der Betriebe.....	39
12.3 FLS – Entwicklung der Echtzeitplanung für die autonomen Busse	41
12.3.1 Der cloud-basierte Optimierungsserver	42
12.3.2 Die Fahrgast-App	43
12.3.3 Die Stewart-App.....	43
12.4 GTC - Entwicklung der Nutzung auf Testgelände und Betrieb, Schwerpunkt Schulungsteilnehmer und Besucher auf dem Campus.....	44
12.5 SVG – Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Tourismus in Keitum	47
12.6 Autokraft - Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Pendlerverkehr in Lunden/Lehe	50
12.7 Moteg - Entwicklung energetische Routenoptimierung und Berechnung Nachladezeiten..	50
12.7.1 Entwicklung Erfassung/Simulation Energieverbrauch und Optimierung Ladezyklen ..	51
12.7.2 Erstellung der Elektromobilitätskonzepte.....	52
12.7.3 Energiemanagement Fahrzeuge (Ladekonzept, Strecke, Energieversorgung)	52
12.8 CAU zu Kiel – wissenschaftliche Begleitung	56
12.8.1 Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Zuverlässige Systeme – Schwerpunkt Tests zur Zuverlässigkeit und Resilienz der autonomen Fahrzeuge	56
12.8.2 Geographisches Institut – Schwerpunkt empirische Sozialforschung im Bereich der Akzeptanzanalyse	57
12.8.3 Institut für Wirtschafts- und Steuerrecht - Schwerpunkt Erforschung rechtlicher Rahmenbedingungen autonomer Fahrzeuge	64
13. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für die Zukunft – ein Ausblick	64

I Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Assoziierte Projektpartner.....	15
Tabelle 2: Einsatzszenarien.....	17
Tabelle 3: Technische Daten der Fahrzeuge	19
Tabelle 4: Risikokriterien	35

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: NAF-Bus EMil, Hersteller EasyMile, Betreiber GTC.....	20
Abbildung 2: NAF-Bus AutoNom, Hersteller Navya, Betreiber SVG	20
Abbildung 3: NAF-Bus, Hersteller HFM, Betreiber Autokraft.....	20
Abbildung 4: NAF-Bus Projekthomepage	23
Abbildung 5: NAF-Bus Newsletter.....	24
Abbildung 6: NAF-Bus Pressemitteilung.....	25
Abbildung 7: Einweihung AutoNom auf Sylt durch Dr. Bernd Buchholz.....	28
Abbildung 8: Besuch von Ministerpräsidenten Daniel Günther und Armin Laschet.....	33
Abbildung 9: Besuch von Astrid Damerow, MDB.....	33
Abbildung 10: Beschilderung "Vorsicht Autonomes Fahrzeug"	34
Abbildung 11: Abstellort für NAF-Bus auf Sylt	35
Abbildung 12: Fahrplan NAF-Bus auf Sylt	38
Abbildung 13: Fragebögen NAF-Bus GTC	44
Abbildung 14: Flyer Fahrplan Sylt	48
Abbildung 15: Navya Display im Fahrzeug.....	48
Abbildung 16: GNSS Base auf Sylt.....	49
Abbildung 17: Erfahrungen durch die Testfahrt auf dem GTC	58
Abbildung 18: Bewertung des Fahrzeuges auf dem GTC	59
Abbildung 19: Anlass des Aufenthalts in Keitum	61
Abbildung 20: Altersverteilung der befragten Fahrgäste in Jahren in Keitum	61
Abbildung 21: Anlass der Nutzung und Nutzungsalternativen in Keitum	61



III Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Autokraft	Autokraft GmbH
AVF	Automatisiertes und vernetztes Fahren
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BSKI	Bundesverband für den Schutz kritischer Infrastrukturen e.V.
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
DB	Deutsche Bahn
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EasyMile	EasyMile SAS
EurA	EurA AG
F&E	Forschung und Entwicklung
FAQ	Frequently Asked Questions
FB	Fahrzeugbetreiber
FLS	FastLeanSmart GmbH
GNSS	Global navigation satellite system
GPS	Global positioning system
GTC	Der/Die GreenTEC Campus (GmbH)
HFM	Hanseatische Fahrzeugmanufaktur
IHK	Industrie- und Handelskammer
IKEM	Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.
Interlink	Interlink GmbH
ITS	Intelligent Transport Systems (Weltkongress)
LIDAR	Light detection and ranging sensor
Moteg	Moteg GmbH
MWVATT	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein
NAF-Bus	Nachfragegesteuerter Autonom Fahrender Bus

No-Op	No Operator
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PL	Projektleiter
RPC	Remote procedure calls
SAE	Society of Automotive Engineers
SVG	Sylter Verkehrsgesellschaft
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

1. Gesamtziel des Verbundprojekts (Summary)

Ziel des Projekts NAF-Bus war es, ein neuartiges Mobilitätskonzept „ÖPNV-on-demand“ auf Basis autonomer, elektrisch angetriebener Kleinbusse sowie deren Anbindung an den Bus- und Bahnverkehr zu erforschen und entwickeln. Die Organisation des Straßenverkehrs, insbesondere das informationstechnische und organisatorische Zusammenwirken mit personengeführten Fahrzeugen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) sollte erforscht werden.

Das Projekt befasste sich darüber hinaus intensiv mit gesellschaftlichen Aspekten und analysierte das Nutzerverhalten und die Akzeptanz von Passagieren und anderen beteiligten Personengruppen wie beispielsweise Anwohnern¹ sowie die rechtlichen Aspekte autonomer Fahrzeuge im ÖPNV. Das Projekt folgte damit den Empfehlungen im Bericht zum Forschungsbedarf der „AG Forschung – Runder Tisch Automatisiertes Fahren“, in dem ausgeführt wurde, dass die gesellschaftliche Akzeptanz ein wichtiges Erfolgskriterium darstelle. Das Projekt beschritt neue Wege durch drei unterschiedliche Nutzungsszenarien:

- Transport von Schulungskursteilnehmern und Besuchern auf privatem Gelände
- Transport von Touristen und Anwohnern auf öffentlicher Straße im ländlichen Raum
- Transport von Pendlern auf öffentlicher Straße im ländlichen Raum

Durch den Einsatz von autonomen Fahrzeugen in diesen Nutzungsszenarien beschritt das Projekt alternative Entwicklungspfade zur linearen Entwicklung von Fahrassistenzsystemen und gewann umfangreiche Erkenntnisse zur Kontrollierbarkeit, Fahrerlebnis und Akzeptanz bei Nutzern und anderen Verkehrsteilnehmern. Das Projekt mit seinen im Folgenden erläuterten Ergebnissen ist durch seine Anwendungsnähe von besonderer Bedeutung hinsichtlich der Umsetzbarkeit in reale Nutzungsszenarien des ÖPNV.

Die bis dahin durchgeführten Modellprojekte zum autonomen Fahren in Deutschland konzentrierten sich bis zum Projektstart nur auf die Mobilität auf Autobahnen und in städtischem Umfeld. Der ländliche Raum kann allerdings in besonderem Maße zur Akzeptanz in der Gesellschaft beitragen, wenn es gelingt autonome Fahrzeuge im ÖPNV für jeden nutz- und erlebbar zu machen.

2. Notwendigkeit der Förderung

Das Vorhaben betrachtete Fragestellungen, die über die Teilautomatisierung von Fahrzeugen hinausgehen. Im Zentrum des Vorhabens standen die Vernetzung und Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern, die Organisation des Straßenverkehrs und gesellschaftliche Aspekte. Das Vorhaben hatte damit einen engen Bezug zu mehreren förderpolitischen Zielen und bezog sich auf den Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der in den verschiedenen Programmschwerpunkten der Richtlinie formuliert war.

Konkret bildete das Vorhaben einen Beitrag zu den folgenden Einzelzielen des Förderprogramms, die unter Punkt 2 der Richtlinie des Programms formuliert waren.

Das Thema Mobilität in ländlichen Regionen ist von immer größerer Bedeutung geprägt und verlangt nach neuen Mobilitätskonzepten. Diese sind verbunden mit zahlreichen

¹ In dem folgenden Bericht wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen aller Geschlechter.

Auswirkungen auf die Attraktivität von Regionen, die Lebensqualität der Menschen und wirtschaftliche sowie Tourismus-Potentiale.

Im Rahmen des Projektes NAF-Bus war es mit Hilfe von Fördermitteln möglich, notwendige Voraussetzungen für „on-demand-Angebote“ zu untersuchen. Autonom fahrende Fahrzeuge bieten in der Zukunft das Potential, on-demand-Services ggf. wirtschaftlicher anzubieten, als dies mit aktuellen Möglichkeiten denkbar wäre.

Dabei sorgte die Förderung durch die Zusammenarbeit und den Austausch im Verbund für einen erheblichen inhaltlichen Mehrwert und letztlich die Beschleunigung eines solchen neuen Angebotes. Eine Vielzahl von Themen, die mit der geplanten Entwicklung zusammenhängen (bspw. Fragen zur Sicherheit, Personenbeförderung, Zulassung, Akzeptanz und Recht) sind damals zu Projektbeginn noch unbeantwortet gewesen und konnten in diesem dreijährigen Zeitraum nur im Verbund erarbeitet werden.

Vor allem wurde es durch die Fördermittel möglich, begleitende Themen wie oben genannt, durch die enge Zusammenarbeit mit Projektpartnern in das Projekt einzubeziehen und gleichzeitig zu verfolgen. Somit erhöhte sich der inhaltliche Projektumfang mit Förderung wesentlich, gegenüber einem Projekt ohne Fördermittelunterstützung. Um die ambitionierte Zeitplanung dieses Verbundprojektes realisieren zu können, wurden die Fördermittel nicht zuletzt dafür genutzt, in dem Projektzeitraum mehr Mitarbeiter für dieses Projekt einzusetzen, als ohne eine Förderung möglich wäre.

Ohne eine Förderung hätten die geplanten Ergebnisse nicht in der gleichen Zeit erreicht werden können. Die Durchführung des Projektes erforderte eine deutliche Erhöhung der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung (F&E). Aufgrund der zum Zeitpunkt des Projektstarts bestehenden nicht unwesentlichen Entwicklungsrisiken würde die Freigabe dieser Aufwendungen ohne Nutzung von Fördermitteln von den beteiligten Unternehmen abgelehnt worden sein.

3. Angabe eines Bezugs zu den förderpolitischen Zielen

Im Folgenden werden die jeweiligen Themen aufgeführt, auf die sich das Projekt hinsichtlich der verschiedenen Programmschwerpunkte bezog.

3.1 Bezug zum Programmschwerpunkt Organisation des Straßenverkehrs - Projektziel: neuartiges Mobilitätskonzept

In Bezug auf das „neuartige Mobilitätskonzept“ wurden innerhalb des Projekts folgende Themen bearbeitet:

- Erforschung der betrieblichen Veränderungen und der Angebotsstruktur im ÖPNV durch autonome Busse als zusätzliche Variable der Gestaltung des Geschäftsmodells
- Entwicklung eines skalierbaren, höchst variablen Geschäftsmodells für den ÖPNV mit Routenoptimierung, bei dem der konkrete Bedarf der Nutzer den aktuelle „Fahrplan“ bestimmt
- Entwicklung der Vorgehensweise zur Einbindung dieses neuen Mobilitätsangebotes in die Arbeits- und Prozessorganisation des ÖPNV am Beispiel von drei Betreibern:
 - Individualtransport von Schulungsteilnehmern und Besuchern auf privatem Betriebsgelände im Kreis Nordfriesland in Enge-Sande
 - ÖPNV Transport von Touristen und Einheimischen auf der Insel Sylt im öffentlichen Straßenverkehr im Kreis Nordfriesland in Keitum

- ÖPNV Transport von Pendlern im öffentlichen Straßenverkehr im Kreis Dithmarschen zwischen den Ortschaften Lunden und Lehe (noch ausstehend zum Zeitpunkt der Berichterstattung)
- Erforschung aller rechtlichen Aspekte von autonomen Fahrzeugen im ÖPNV

3.2 Bezug zum Programmschwerpunkt Gesellschaftliche Aspekte - Projektziel: neue Erkenntnisse zu Nutzererfahrungen und Nutzerverhalten

In Bezug auf die „Erkenntnisse zu Nutzererfahrungen und Nutzerverhalten“ wurden innerhalb des Projekts folgende Themen bearbeitet:

- Entwicklung der Informations- und Kommunikationsplattform für die Interaktion mit den Nutzern (Fahrgast-App/Stewart-App), Online-Meinungsumfrage, Fragebogenumfragen, Informationsveranstaltungen
- Informationserhalt zu Veränderungen der Verkehrsmittelwahl durch die Bereitstellung von autonomen, umweltfreundlichen Kleinbussen
- Erforschung des Nutzerverhaltens, der Nutzerakzeptanz und der Risiken bei Benutzung autonomer Fahrzeuge in drei Testszenarien:
 - Schulungsteilnehmer und Besucher auf privatem Gelände
 - Touristen und Einheimische auf öffentlicher Straße
 - Pendler auf öffentlicher Straße

3.3 Bezug zum Programmschwerpunkt Gesellschaftliche Aspekte - Projektziel: neue Ansätze für gesellschaftliche Akzeptanz und Risiko-Nutzen Abwägungen

In Bezug auf die „gesellschaftliche Akzeptanz und Risiko-Nutzen-Abwägungen“ wurden innerhalb des Projekts folgende Themen bearbeitet:

- Erforschung der Anforderung der Nutzer an Fahrzeug-Informationssysteme, auf individueller Ebene der Mitfahrenden, auf individueller Ebene der anderen Verkehrsteilnehmer im direkten Umfeld eines autonomen Fahrzeugs und auf gesellschaftlicher Ebene
- Autonomes Fahren und Elektromobilität: Erarbeitung der Erhöhung der Reichweite von Elektromobilen durch Routen- und Fahrtoptimierung
- Erforschung der Chancen für ergänzende, akzeptanzsteigernde Aspekte wie touristische oder kulturelle Angebote
- Anforderungsermittlung für Informationssysteme Startpunkt, Fahrtstrecke, Fahrtziel

3.4 Umsetzung nach Projektende - Projektziel: Auswirkungen und Zusatznutzen autonomer elektrischer Fahrzeuge

In Bezug auf die „Auswirkungen und den Zusatznutzen autonomer elektrischer Fahrzeuge“ wurden innerhalb des Projekts folgende Themen bearbeitet:

- Effizienzsteigerung für Betreiber des ÖPNV durch die Entwicklung eines neuartigen Mobilitätskonzeptes für Strecken in ländlichen Bereichen, die in regulären ÖPNV-Transporten mit Fahrpersonal nicht wirtschaftlich bedient werden können

- Steigerung des Kundenservice für Passagiere im ÖPNV durch ein innovatives Mobilitätsangebot, das „on-demand“ als kostengünstiges Rufbus-System möglich ist
- Verbesserung der CO₂-Bilanz durch Einsatz von kleinen, elektrisch angetriebenen Bussen

4. Damalige Ausgangslage

Die Entwicklung und der Einsatz von vollautonom fahrenden, fahrerlosen Fahrzeugen wird einen umwälzenden Effekt auf Mobilitätsdienstleistungen haben. Traditionelle Grenzen zwischen den Verkehrssystemen werden sich auflösen, denn das selbstfahrende, vollautonome Fahrzeug kann im Prinzip alles sein: ein privates Auto, ein Einzel-Taxi, ein Bus, ein CarSharing-Fahrzeug oder ein Großraum-Sammeltaxi. Interaktionen zwischen dem Verkehrsunternehmen und Passagieren können grundlegend neu gedacht werden. Der Einzug autonomer Fahrzeuge im ÖPNV wirft Fragen in den Bereichen Umwelt, Sicherheit, Verkehr und gesellschaftliche Akzeptanz auf, die die Mobilität im ÖPNV neu definieren werden. Gerade in ländlichen Regionen steht der ÖPNV vor großen Herausforderungen, die mit den damaligen noch heute zum größten Teil vorherrschenden Lösungsansätzen nur ungenügend befriedigt werden:

Herausforderungen für den ÖPNV in ländlichen Regionen:

- Strecken sind nicht rentabel bei zu weiten Entfernungen und zu wenig Nutzern
- Es gibt häufig zu wenig Taxiunternehmen und Schwierigkeiten, geeignetes Personal zu finden
- Es herrscht ein akuter Fahrmangel bei den ÖPNV-Unternehmen
- Es besteht das Problem von unattraktiven Umweg- und Stichfahrten zu abgelegenen Ortsteilen
- Es herrschen unflexible, feste Fahrpläne, mit denen der Bedarf der Nutzer nur teilweise getroffen wird

Derzeitige Lösungsansätze für die Mobilität in ländlichen Regionen:

- Bedarfsverkehre statt Linienbus
- Mitfahrerbanken und Mobilitätsbörsen zur Erleichterung der Nutzung privater Mitfahrgelegenheiten
- Bürgerbusse, die von ehrenamtlichen Fahrern gelenkt werden

5. Neuheitsgrad des Projekts

Eine neue und innovative Lösung für den ÖPNV in ländlichen Regionen können autonome Kleinbusse sein. Dieser Lösungsansatz wurde in dem vorgeschlagenen Projekt entwickelt und bzgl. der gesellschaftlichen Aspekte und der Organisation des Straßenverkehrs erforscht. Der autonome Bus macht das Benutzen eines „öffentlichen“ Verkehrsmittels wesentlich attraktiver. Man ruft sich ein Fahrzeug zu einer selbstgewählten Stelle und steigt ein. Man kann während der Fahrt telefonieren, lesen, online surfen etc. Am Zielort steigt man am gewünschten Haltepunkt aus, danach sucht sich das Fahrzeug selbstständig einen Abstellort, oder es steht anderen Personen zur Verfügung. Wenngleich aufgrund von später dargestellter fehlender Hersteller-Schnittstellen das Prinzip „on-demand“ nicht vollends erreicht werden konnte, gab das Projekt dennoch wichtige Erkenntnisse für die Voraussetzungen hierfür.

Autonome Fahrzeuge sind hoch flexibel und ermöglichen damit eine hoch innovative personennahe Dienstleistung: Die Digitalisierung ermöglicht es, dass sich zukünftig das Mobilitätsangebot optimal auf den Bedarf der Nutzer einstellen lässt. In Zukunft sollen autonome Busse nicht mehr nach Fahrplan fahren, sondern entsprechend des Bedarfs der Passagiere. Große Busse, die in ländlichen Regionen feste Linien für wenige Fahrgäste fahren, wären teilweise ersetzbar. Diese Fahrzeuge bieten die Chance, den Modal Split, der auf dem Land sehr stark vom motorisierten Individualverkehr dominiert wird, nachhaltig hin zu umweltfreundlichen Verkehrsmitteln zu verändern. Der Reifegrad der Technologien für autonom, mit geringer Geschwindigkeit fahrende Kleinbusse, ist so weit fortgeschritten, dass deren Einsatzbereitschaft für konkrete Mobilitätsdienstleistungen im Projekt hergestellt werden konnte und das Projekt wichtige Erkenntnisse für die weiteren Maßnahmen eines „on-demand“ Betriebs aufdecken konnte.

Mit Nutzung von autonomen Fahrzeugen der französischen Hersteller EasyMile und Navya sowie des deutschen Herstellers Hanseatische Fahrzeugmanufaktur (HFM) beschäftigte sich das Projekt mit Fragestellungen im Zusammenhang mit höheren, über die Teilautomatisierung hinausgehenden, Fahrfunktionen, der Organisation des Straßenverkehrs und gesellschaftlichen Aspekten sowie den rechtliche Fragestellungen insbesondere im ÖPNV. Verkehrs- und gesellschaftspolitische Fragen wurden für die Entwicklung und Evaluierung eines Geschäftsmodells für autonome Fahrzeuge im ÖPNV mit Einbindung von Nutzern bzw. anderen Verkehrsteilnehmern und der Integration in die bestehenden Betriebsprozesse betrachtet. Anwendungsfälle autonomer Fahrzeuge im ÖPNV in ländlicher Umgebung mitsamt den damit verbundenen Chancen und Risiken wurden im Projekt bewertet.

Neuheit und Erkenntnisgewinn des Projektes basieren auf zwei Projektmerkmalen:

- Es wurden drei verschiedene Fahrzeuge dreier verschiedener Hersteller in drei verschiedenen Szenarien genutzt um Nutzerverhalten, Nutzerakzeptanz und Zusammenwirken mit anderen Verkehrsteilnehmern zu erforschen
- Das Projekt hat durch die Einbeziehung von ÖPNV-Unternehmen und die Betrachtung aller rechtlichen Aspekte eine hohe Anwendungsrelevanz und Umsetzbarkeit nach Projektende

Weiterhin wurden folgende, über den internationalen Stand der Technik hinausgehende Erkenntnisse im Projekt gewonnen:

Neue rechtliche Aspekte beim Einsatz autonomer Fahrzeuge im ÖPNV: Bisherige Ansätze zum autonomen Fahren in verschiedenen Projekten und Testfeldern in Deutschland konzentrierten sich hauptsächlich auf die Mobilität auf Autobahnen und in städtischem Umfeld. Im Projekt wurden rechtliche Aspekte bzgl. der Position des Fahrzeugherstellers, des Besitzers und des Fahrers untersucht. Die zusätzlichen rechtlichen Aspekte, die mit einer neuen ÖPNV-Dienstleistung mit autonomen Fahrzeugen in ländlichen Regionen verbunden sind, wurden in diesem Projekt untersucht und rechtswissenschaftlich bewertet.

Die rechtlichen Probleme des autonomen Fahrens, speziell im ÖPNV, sind bis dato kaum erforscht gewesen. Die ungeklärten Rechtsfragen betrafen zunächst das Straßenverkehrszulassungsrecht. Hinzu kamen Fragen des zivilen Haftungsrechts (insbesondere Straßenverkehrs- und Produkthaftung sowie Kaufgewährleistungshaftung) und des Versicherungsrechts. Speziell im ÖPNV stellten sich zudem datenschutzrechtliche Fragen im Hinblick auf die bei einem NAF-Bus notwendige Erfassung von Fahrgastdaten und eine etwaige Videoüberwachung. Die Frage nach der passenden Rechtsform für Pilotprojekte berührte das Gesellschaftsrecht. Schließlich war zu klären, ob im Bereich des autonomen Fahrens im ÖPNV steuerliche Vergünstigungen gewährt werden sollten und inwieweit diese nach europäischem Beihilferecht zulässig wären.

Neue gesellschaftliche Aspekte des autonomen Fahrens im ÖPNV: Zum autonomen Fahren als völlig neue Form der individuellen, zukünftigen Mobilität in ländlichen Regionen

gehört eine gesellschaftliche und eine individuelle Akzeptanz. Ziel dieses Projektes war es, zu untersuchen, wie durch die Partizipation der Öffentlichkeit, durch die Integration autonomen Fahrens in bestehende Netzwerke der ländlichen Planung und durch transparente Planungs- und Umsetzungsprozesse die Bedürfnisse der Bevölkerung „Gehör“ finden konnten, um dazu Strategien für die zukünftige Umsetzung in ländlichen Regionen zu formulieren.

6. Vorstellung der Projektpartner

6.1 Geförderte Projektpartner



Die **EurA AG (EurA)²** übernahm als Verbundkoordinator die Organisation, Koordination und Gesamtleitung des Verbundes. Dazu gehörte u. a. die Einbeziehung der Bevölkerung anhand der Öffentlichkeitsarbeit und Ausrichtung der Veranstaltungen, Projektleitertreffen sowie Außerdarstellung des Projekts und die regelmäßige

Berichterstattung an den Projektträger.

Die EurA besitzt umfangreiche Erfahrungen mit der Koordination von Verbundprojekten und Netzwerken sowie Erfahrungen in Befragung von Nutzergruppen mit Schwerpunkt innovativer Produkte und Dienstleistungen.

Die EurA ist ein vom BMWi autorisiertes Technologie- und Innovationsberatungsunternehmen (Programm Go-Inno) mit Erfahrung in Nutzer- und Anwendungsanalysen innovativer Produkte. Sie ist Initiator und Koordinator in dem Ende 2016 gestarteten Innovationsnetzwerk „Autonomes Fahren im ländlichen Raum und im Tourismus“ in Schleswig-Holstein, aus welchem das NAF-Bus Projekt hervorging.



Die **Autokraft GmbH** der Deutschen Bahn/DB Regio (**Autokraft**) war innerhalb des Projekts für die Entwicklung eines Betriebskonzepts und die Durchführung des Testbetriebs mit Schwerpunkt im Pendlerverkehr auf öffentlicher Straße in Lunden/Lehe im Kreis Dithmarschen zuständig. Diese Tätigkeiten konnten zum Zeitpunkt der

Berichterstattung größtenteils noch nicht ausgeführt werden, da das Fahrzeug noch nicht geliefert war.

Bedarfsgesteuerte Angebote im ÖPNV sind in diversen Ausprägungen (ALITA, AST, ALFA, Anrufbus etc.) bei DB Regio vorhanden. Einige davon werden auch von der Autokraft betrieben. Dazu besteht umfangreiche Erfahrung mit Elektromobilität und teilautomatisierten Assistenzsystemen in Bussen.

² Die Projektpartner werden aus Gründen der Lesbarkeit im Folgenden in Kurzform und ohne Unternehmensform benutzt.

Die Autokraft ist das größte Omnibus-Verkehrsunternehmen in Schleswig-Holstein (S-H). Sie betreibt in S-H in mehreren Landkreisen und einigen Städten ganz oder teilweise den ÖPNV. Autokraft ist ein Tochterunternehmen der Deutsche Bahn/DB Regio.



Die **GreenTEC Campus GmbH (der GTC)** war innerhalb des Projekts für die Entwicklung der Nutzung auf dem privaten Testgelände und Betrieb des autonomen Busses auf dem Campus mit dem Schwerpunkt im Transport von Schulungsteilnehmern und Besuchern zuständig.

Vorarbeiten mit Bezug zum Vorhaben waren die Realisierung der Energieversorgung durch eigene Stromversorgung und innerhalb der Projektlaufzeit die Durchführung der Testfahrten auf dem privaten Gelände.

Die GreenTEC Campus GmbH ist Betreiber des GreenTEC Campus. Durch die Größe des Geländes (130 Hektar) und durch ein Straßennetz im nichtöffentlichen Bereich (17 km) verfügt der GTC über ideale Testbedingungen für autonome Fahrzeuge. Der Campus ist ein hoch innovativer grüner Gewerbepark, auch nach Dänemark, rund um erneuerbare Energien und E-Mobilität.



Die **Sylter Verkehrsgesellschaft (SVG)** war innerhalb des Projekts für die Entwicklung des Betriebskonzepts und Durchführung des Testbetriebs mit Schwerpunkt im Verkehr mit Touristen und Einheimischen in Keitum auf Sylt zuständig.

Die SVG hat die Elektromobilität im ÖPNV auf Sylt realisiert und teilautomatisierte Assistenzsysteme in Bussen eingeführt.

Sie ist der einzige ÖPNV-Anbieter auf der Insel Sylt mit rund 30 Bussen, die sowohl konventionell als auch elektrisch betrieben werden.



Die **MOTEG GmbH (Moteg)** war innerhalb des Projekts für die Entwicklung der energetischen Routenoptimierung und Berechnung der Nachladezeiten im Bereich Energiemanagement-Analyse tätig.

Durch die Moteg wurden seit 2015 rechnergestützte offline Simulationen von Elektrofahrzeugen, speziell Bussen im ÖPNV, auf Basis von im Realbetrieb aufgenommenen GPS-Daten durchgeführt.

Die Moteg hat zwei Schwerpunkte: Systemanalyse/Systemoptimierung und Einsatz von elektrischer Antriebstechnik sowie Beratung, Planung und Konzeptionierung von Elektromobilität mit effizientem Einsatz im ÖPNV und in Nutzfahrzeugflotten.



Interlink GmbH (Interlink) übernahm innerhalb des Projekts die Verkehrsplanung mit ÖPNV Schwerpunkt für den Einsatz der autonomen Shuttles im Mischverkehr auf öffentlicher Straße.

Interlink hat diverse Machbarkeitsstudien für den Einsatz autonomer Kleinbusse, aufgrund langjähriger Kenntnis im ÖPNV-Bereich, erstellt und kennt die Strukturen sowie Akteure in Schleswig-Holstein sehr gut.

Interlink ist ein umsetzungsorientiertes Beratungsunternehmen in allen Bereichen des schienen- und straßengebundenen öffentlichen Verkehrs mit umfangreicher verkehrsplanerischer Kompetenz. Sie bildet zusammen mit zwei weiteren Partnern das Label „Büro autoBus“.



Die **FastLeanSmart GmbH (FLS)** war im Projekt für die Entwicklung der Echtzeitplanung für die autonomen Busse in den verschiedenen Einsatzszenarien tätig.

Sie hat Entwicklungen für Echtzeit-Planungsalgorithmen sowie eine Echtzeit-Terminplanung und -Tourenoptimierung durchgeführt.

FLS ist technologisch führender Entwickler und Anbieter von Software für Terminplanung und Tourenplanung, Tourenoptimierung sowie mobiles Workforce Management.



Das **Institut für Informatik mit der Arbeitsgruppe Zuverlässige Systeme von Prof. Dr. Nowotka der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU/Informatik)** brachte Erfahrungen aus Vorarbeiten aus drei BMBF-Projekten zur Zuverlässigkeit und Resilienz von Assistenzsystemen autonomer Fahrzeuge in das Projekt

NAF-Bus mit ein und war innerhalb des Projekts zuständig für die Sicherheitstests zur Resilienz der Fahrzeuge.

Die Arbeitsgruppe Zuverlässige Systeme der CAU war an drei BMBF geförderten Projekten mit Bezug zur softwareseitigen Sicherheit von Transportsystemen beteiligt: „Automotive, Rail and Avionics Multicore Systems“ (ARAMiS II), „Affordable Safe & Secure Mobility Evolution“ (ASSUME) und „Hoch-parallele Software-Verifikation nebenläufiger Anwendungen in der Automobilindustrie“ (HPSV). Die in diesen Projekten erarbeiteten Grundlagen bildeten die Basis für die Beteiligung an diesem Projekt.



Das **geographische Institut unter der Leitung von Prof. Dr. Dünckmann der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU/Kulturgeographie)** leitete innerhalb des Projekts die empirische Sozialforschung, um das Projekt in

seinen sozialen und politischen Dimensionen wissenschaftlich zu begleiten. Teilbereich war hierbei die Praxis der räumlichen Planung.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Dünckmann widmet sich der Untersuchung sozialer Strukturen im ländlichen Raum S-H's. Sie verfügte über die nötige Expertise in der empirischen Sozialforschung, um das Projekt wissenschaftlich zu begleiten. Darüber hinaus verfügte die Arbeitsgruppe ebenfalls über sehr gute Kontakte zur Praxis der räumlichen Planung in S-H.



Das **Institut für Wirtschafts- und Steuerrecht unter der Leitung von Prof. Dr. Stöber der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU/Rechtswissenschaften)** erarbeitete im Projekt den Rechtsrahmen autonomer Fahrzeuge.

Prof. Dr. Stöber verfügt über langjährige Lehr- und Forschungstätigkeit und zahlreiche Fachpublikationen zu Fragen des zivilen Haftungs- und Kaufrechts, insbesondere im Zusammenhang mit Kraftfahrzeugen, zum Datenschutzrecht sowie zum Gesellschafts- und Steuerrecht.

Die rechtlichen Probleme des autonomen Fahrens im Allgemeinen und speziell im ÖPNV waren bislang kaum erforscht gewesen. Die ungeklärten Rechtsfragen betrafen zunächst das Straßenverkehrszulassungsrecht. Hinzu kamen Fragen des zivilen Haftungsrechts (insbesondere Straßenverkehrs- und Produkthaftung sowie Kaufgewährleistungshaftung) und des Versicherungsrechts. Speziell im ÖPNV stellten sich zudem datenschutzrechtliche Fragen im Hinblick auf die bei einem NAF-Bus notwendige Erfassung von Fahrgastdaten und eine etwaige Videoüberwachung. Die Frage nach der passenden Rechtsform für Pilotprojekte berührte das Gesellschaftsrecht.

6.2 Assoziierte Projektpartner

Neben den im Projekt geförderten Partnern waren mehrere assoziierte Partner in dem Projekt beteiligt. Diese assoziierten Partner waren in unterschiedlichem Maße im Projekt involviert und trugen zum Projekterfolg bei, ohne eine finanzielle Förderung zu erhalten.

Tabelle 1: Assoziierte Projektpartner

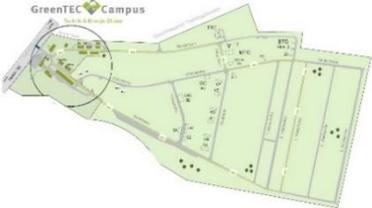
Assoziierte Partner	Interesse und Beitrag zum Projekt
Landschaftszweckverband Sylt, Verband aller Kommunen und Gemeinden der Insel Sylt	<ul style="list-style-type: none">• Weiterentwicklung/Verbesserung des öffentlichen Personennahverkehrs insgesamt für die Insel Sylt• Anbindung derzeit unversorgter Teile der Insel mit einem ÖPNV-Angebot• Unterstützung des Projektes für den Erhalt aller notwendigen Genehmigungen auf Ebene der Kommune bzw. des Landkreises für den Betrieb der Fahrzeuge
IHK Flensburg	<ul style="list-style-type: none">• Weiterentwicklung/Verbesserung des öffentlichen Personennahverkehrs insgesamt für den Kreis Nordfriesland• Unterstützung des Projektes im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und des Transfers der Forschungsergebnisse
EasyMile, Frankreich	<ul style="list-style-type: none">• Hersteller des im Projekt ersten autonomen Fahrzeugs „EZ10“

	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung des Projektes durch Lieferung des Fahrzeugs und Zusammenarbeit bei Inbetriebnahme, Streckenführung, Einsatz im SAE-Level-4 Fahrbetrieb, Weiterbildung der Operator etc.
Navya AS, Frankreich	<ul style="list-style-type: none"> • Hersteller der autonomen Fahrzeuge Navya ARMA und somit des im Projekt zweiten autonomen Fahrzeugs • Unterstützung des Projektes durch Lieferung des Fahrzeugs und weitere Zusammenarbeit bei Ausbildung der Operator/Streckenführung etc.
HFM, Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> • Hersteller des im Projekt dritten autonomen Fahrzeugs „Busbee“ • Unterstützung des Projektes durch Bau des Fahrzeugs (Lieferung noch ausstehend)
Landkreis Nordfriesland	<ul style="list-style-type: none"> • Zuständige Genehmigungsbehörde für die beiden Testbetriebe im Kreis Nordfriesland • Unterstützung des Projektes bei der Genehmigung der Testbetriebe
Landkreis Dithmarschen	<ul style="list-style-type: none"> • Zuständige Genehmigungsbehörde für den Testbetrieb im Kreis Dithmarschen • Unterstützung des Projektes bei der Genehmigung der Testbetriebe
TÜV Nord	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfungen und Zertifizierungen in den Geschäftsbereichen Automobil • Prüfung und Zulassung der Fahrzeuge

7. Einsatzgebiete

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Vorhabens wurden für drei verschiedene Anwendungsszenarien autonomer Busse im ÖPNV entwickelt. Für diese drei Szenarien waren drei verschiedene Fahrzeughersteller im Projekt vertreten – EasyMile, Navya und HFM. Die Teststrecken für diese Szenarien sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Aufgrund bestimmter Bedingungen der Streckenauswahl, wurden die Einsatzgebiete während der Projektlaufzeit leicht gegenüber der anfänglichen Planung abgeändert, so dass anstatt dreier Testszenarien im Kreis Nordfriesland, letzten Endes zwei Testszenarien in Nordfriesland und eines in Dithmarschen gewählt wurde.. Die Begründung hierfür liegt darin, dass das geplante Einsatzgebiet der Autokraft aus dem Landkreis Nordfriesland in den Landkreis Dithmarschen verlegt werden müsste, da die Autokraft Ihre Leistungen im Kreis Nordfriesland verloren hatte und ein Einsatz des Fahrzeuges nicht gewährleistet werden konnte.

Tabelle 2: Einsatzszenarien

Testszenario	Projektpartner und Teststrecke	Anzahl gefahrene km und Runden sowie Anzahl Fahrgäste der autonomen Fahrzeuge in den Tests	Karte
Schulungsteilnehmer und Besucher	GTC in Engesande, Schleswig-Holstein (Kreis Nordfriesland), 2 km Straße auf privatem Gelände	Insgesamt 5.290 km, 1.691 Runden, 7.155 Fahrgäste im Zeitraum von Juni 2018 bis Januar 2020, ausgewählte und vorprogrammierte Strecken	
Touristen und Einheimische	SVG in Keitum auf Sylt, Schleswig-Holstein (Kreis Nordfriesland), 2,7 km lange Strecke auf öffentlicher Straße	Insgesamt 7.426 km, 2.800 Runden, 15.555 Fahrgäste im Zeitraum von April 2019 bis Oktober 2020, ausgewählte und vorprogrammierte Strecke	
Pendler	Autokraft in Lunden/Lehe, Schleswig-Holstein (Kreis Dithmarschen), 3,2 km lange Strecke auf öffentlicher Straße	Fahrgastbetrieb auf ausgewählter und vorprogrammierter Strecke noch ausstehend (für Zeitraum zweites Quartal 2021 bis September 2021)	

8. Die eingesetzten Fahrzeuge

Drei Hersteller sind mit selbst entwickelten Fahrzeugen auf dem Markt der elektrisch betriebenen und autonom fahrenden Kleinbusse zum Projektbeginn aktiv gewesen.

Diese waren:

- Navya aus Frankreich
- EasyMile SAS aus Frankreich
- Local Motors aus USA/Deutschland

Navya ist dabei der Hersteller, der sein Fahrzeug zum damaligen Zeitpunkt, den Navya „Arma“, am weitesten entwickelt hatte, sein Fahrzeug fertigte und in einer Serienherstellung in Lyon produzierte. Navya hatte im Jahr 2016 ca. 30 Fahrzeuge verkauft und plante im Jahr 2017 ca. 130 Fahrzeuge zu verkaufen. Seit April 2016 sind sechs Fahrzeuge im Personentransport auf dem Gelände des Kernkraftwerk Civaux in Frankreich im Einsatz; ein erster experimenteller Einsatz im ÖPNV begann im Juni 2016 mit zwei Fahrzeugen in Sitten/Schweiz; im September 2016 lief in Lyon ein weiterer Einsatz im öffentlichen Nahverkehr an.

EasyMile SAS war für den Projektzeitraum mit seinem fahrerlosen Fahrzeug EZ10 entwicklungs- und fertigungsseitig ebenfalls verfügbar. Das 2014 vorgestellte Fahrzeug wurde bei Ligier gefertigt und war Anfang 2017 in 50 Standorten in 14 Ländern im Versuch. Beispielsweise waren in Paris zwei Busse zwischen Januar und April 2017 in Partnerschaft mit der städtischen Verkehrsgesellschaft RATP im experimentellen Passagiereinsatz auf einer kurzen Strecke. Das Fahrzeug war zu Projektbeginn derzeit noch nicht kommerziell verfügbar.

Local Motors entwickelte zum Projektbeginn gerade sein Fahrzeugkonzept „Olli“ zur Serienreife. Der fahrerlose Kleinbus sollte in Alt-Treptow in Berlin produziert werden, dafür baute man zum damaligen Zeitpunkt dort eine Fertigung auf. Das Fahrzeug war derzeit als Prototyp auf dem Bürogelände EUREF in Berlin-Schöneberg im experimentellen Passagiereinsatz und war noch nicht käuflich verfügbar.

Diese drei Hersteller wurden im April 2017 gebeten, Angaben zu den Kosten für Beschaffung und Betrieb zu machen. Angefragt wurden Angaben für Kauf, Leasing und Miete der Fahrzeuge, als Menge wurden drei Fahrzeuge zugrunde gelegt.

Für die Nennung erster Angaben aller drei Hersteller wurde in der anfänglichen Phase noch keine strukturierte Abfrage durchgeführt, diese erfolgte im weiteren Rahmen des Beschaffungsprozesses im Projekt. Im Rahmen dieses Prozesses wurden dann auch die technischen Spezifikationen als Grundlage der konkreten Angebotseinholung erstellt.

Alle drei Hersteller waren keine Großserienhersteller, die in der Lage waren, kurzfristig ein Angebot für Ihr Produkt zu erstellen. Angebote wurden sehr individuell erstellt, sofern dies für die Unternehmen zu diesem frühen Zeitpunkt überhaupt möglich war. Das Angebot wurde für jeden Kunden individuell auf den jeweiligen Einsatzfall abgestimmt.

Die Kalkulation für das geplante Vorhaben wurde daher zunächst auf Basis indikativer, unverbindlicher Angebote oder erster Angaben der Hersteller erstellt. Für Navya und EasyMile war dies möglich, Local Motors sah sich außer Stande, zum damaligen Zeitpunkt ein Angebot zu erstellen. Aufgrund der Kürze der Frist zur Antragstellung war es nicht möglich, in weitere technische und wirtschaftliche Verhandlungen zu detaillierten Angeboten einzutreten.

Die Beschaffung der Fahrzeuge wurde nach Bewilligung des Projektes auf Basis vollständiger, verbindlicher Angebote durchgeführt und aufgrund der Auswahlkriterien fiel die Entscheidung auf die Beschaffung eines Fahrzeugs von EasyMile, eines Fahrzeugs von Navya sowie eines Fahrzeugs von HFM. Neben der bereits getroffenen Wahl für die Fahrzeuge von EasyMile und Navya fiel die Wahl für das dritte Fahrzeug daraufhin auf HFM u. a., weil das Unternehmen als einziges die Machbarkeit der Strecke Lunden und Lehe ohne weitreichende infrastrukturelle Maßnahmen bestätigte. Die Fahrzeuge von EasyMile und Navya brachten somit Ergebnisse über zwei verschiedene autonome Fahrzeugtypen, die Ergebnisse des HFM-Fahrzeugs

stehen zum Zeitpunkt dieser Berichtserstellung aufgrund verzögerter Fahrzeuglieferung noch aus.

Tabelle 3: Technische Daten der Fahrzeuge

	EasyMile	Navya	HFM
Antrieb:	elektrisch	elektrisch	elektrisch
Plätze:	8 Sitzplätze, 4 Stehplätze (inklusive Operator)	11 Personen, davon 1 Begleiter	8+1 Sitzplätze
Länge:	4,020 m	4,75 m	4,949 m
Breite:	1,998 m	2,11 m	2,070 m
Höhe:	2,871 m	2,65 m	2,065 m
Wendekreis:	6 m	< 9 m	< 12 m
Zulässiges Gesamtgewicht:	2.950 kg	3.450 kg	2.500 kg
Technische Höchstgeschwindigkeit:	40 km/h im manuellen Modus, 20 km/h im autonomen Modus	45 km/h im manuellen Modus, 18 km/h im autonomen Modus	49 km/h im manuellen Modus, 25 km/h im autonomen Modus
Batteriekapazität:	23,04 kWh	33 kWh	20 kWh
Ladetechnik:	konduktiv	konduktiv	konduktiv
Tür:	Doppeltür	Doppeltür	Flügeltür
Marktpräsenz seit:	2014	2015	2017



Abbildung 1: NAF-Bus EMil, Hersteller EasyMile, Betreiber GTC



Abbildung 2: NAF-Bus AutoNom, Hersteller Navya, Betreiber SVG



Abbildung 3: NAF-Bus, Hersteller HFM, Betreiber Autokraft

9. Projektzeitplan

Das NAF-Bus Projekt startete im Juli 2017 und war zunächst mit einem regulären Projektende bis zum 30. Juni 2020 gefördert. Aufgrund von Verzögerungen innerhalb der Projektlaufzeit beschloss das Projektteam eine erste kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis 31. Dezember 2020 und eine darauffolgende zweite, teilbasierte Laufzeitverlängerung bis zum September 2021 zu beantragen, welche beide vom Projektträger bewilligt wurden und somit gute Möglichkeiten zur Sammlung neuer Erkenntnisse trotz der Verzögerungen und der Corona-Pandemie boten, die ohne Laufzeitverlängerung nicht möglich gewesen wären. Die

Verschiebungen werden im Folgenden näher erläutert und sollen weiteren Projekten als Anschlusspunkte dienen, um bereits zu Projektbeginn einen Überblick über mögliche Stolpersteine zu bekommen.

Innerhalb der Projektverlängerung bis zum September 2021 sind nur noch die Autokraft als Betreiber des HFM-Busses sowie im Unterauftrag Interlink zur Unterstützung der Zulassung und Streckenvorbereitung und die EurA zur Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit und zur Projektkoordination involviert.

Innerhalb des Projektes kam es durch die Lieferverzögerung des EasyMile Shuttles zu Verschiebungen im Arbeits- und Zeitplan. Hierdurch verschoben sich nicht nur das Einmessen, sondern auch das Einrichten der Strecke. Die damit verbundenen Vorgaben führten zu einer Verschiebung der Meilensteine. Die notwendige Operatorausbildung fand ebenfalls zeitverzögert statt. Der Fahrbetrieb (Test- und Regelbetrieb) hingegen konnte wie geplant durchgeführt werden.

Die Corona-Pandemie sorgte ab März 2020 für eine erhebliche Zeit- und Arbeitsverzögerung. Durch den strikten Lockdown in Frankreich war eine Kommunikation mit EasyMile-Mitarbeitern nur noch sporadisch möglich. Dies führte dazu, dass wichtige Informationen für das weitere Voranschreiten des Projektes, explizit das No-Op Fahren (No-Operator Fahren), sehr zeitverzögert eintrafen. Aufgrund der Tatsache, dass das No-Op-Fahren dem Supervisor die Möglichkeit bietet, auch aus dem Homeoffice heraus die Kontrolle über das Shuttle sicherzustellen und somit die Corona-Hygiene Vorschriften eingehalten werden konnten, wurden die notwendigen Überprüfungsfahrten fast zeitverlustfrei durchgeführt. Durch diese Möglichkeit der Fernüberwachung konnte, im Gegensatz zu fast allen deutschlandweiten Projekten mit autonomen Shuttles, der Betrieb auf dem GTC-Gelände aufrechterhalten werden.

Aufgrund der Verzögerung bei der Fahrzeuglieferung für den GTC konnten auch Arbeiten im Bereich der Software/Echtzeitmessung erst mit der entsprechenden Verzögerung beginnen, beispielsweise die Integration des eigemessenen Straßennetzes oder die Schnittstelle zur Busposition.

Durch ebenfalls Lieferverzögerungen des Herstellers Navya hat sich auch der Einsatz des zweiten Fahrzeugs innerhalb des Projekts verschoben. Längere Vertragsverhandlungen zwischen der SVG und dem Fahrzeughersteller Navya sowie zu Beginn falsch eingeschätzte Machbarkeit bzw. Umsetzbarkeit der anvisierten Strecke durch Navya waren hierfür die Gründe. Da dieser Shuttle im öffentlichen Verkehrsbereich zum Einsatz kam, musste zudem vor Inbetriebnahme der TÜV eine technische Abnahme vom Fahrzeug machen und eine Betriebserlaubnis erteilen. Auch die zu fahrende Strecke wurde im Anschluss nach dem Vermessen der Strecke in Zusammenspiel mit dem Shuttle abgenommen. Die nach dem Test gültige Software ID war Grundlage der Genehmigung.

Erst danach konnte am 18.04.2019 der Fahrgastbetrieb in Keitum auf Sylt aufgenommen werden. Durch u. a. diese Verzögerungen wurde die erste kostenneutrale Projektverlängerung bis Ende 2020 gestellt und bewilligt.

Durch die Corona-Pandemie musste der Betrieb auf Sylt von etwa Mitte März bis Anfang Juli 2020 und ab 31.10.2020 ausgesetzt werden.

Ebenfalls wegen der Corona-Pandemie musste auf optionale Erhebungen, wie Befragungen und Bürgerbeteiligungen für den zweiten Turnus des Busbetriebs in Keitum auf Sylt verzichtet werden.

Die Durchführung der Fahrzeugtests auf dem GTC und auf Sylt mussten wegen der Pandemie von der ersten Hälfte 2020 in die zweite Hälfte 2020 verlegt werden. Daher, und auch wegen der sehr schwierigen Kommunikation mit dem Forschungsdatenzentrum in Halle (Salle), zogen sich Testauswertung und die Arbeit an der Veröffentlichung bis in das Jahr 2021.

Bedingt durch die, bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts, Nichtlieferung des im Projekt dritten Fahrzeuges des Herstellers HFM konnte die Zeitplanung bei diesem Fahrzeug ebenfalls nicht wie geplant eingehalten werden. Gründe waren Verzögerungen beim Aufbau des Pilotfahrzeuges, da es u.a. zu konstruktiven Änderungen des Baues sowie zu Schwierigkeiten bei den Zulieferern kam, die durch die Corona-Pandemie verstärkt wurden. Alle Arbeitsschritte (Abstimmung mit zuständigen Zulassungsbehörden, Beschilderung der Strecke, Gespräche mit TÜV Nord, erste Schulungen der Fahrer), die notwendig waren, wurden, soweit es möglich war, jedoch bereits umgesetzt, damit ein zügiger Betriebsstart sofort nach Fahrzeuglieferung gewährleistet werden kann. Aus diesem Grund wurde eine zweite kostenneutrale Projektlaufzeitverlängerung bis zum 30.09.2021 bewilligt.

Durch die Verzögerungen in der Aufnahme des Busbetriebs in Lunden/Lehe (Kreis Dithmarschen) waren Fahrgastbefragungen und andere Erhebungen zur Resonanz der Bevölkerung im Projektzeitraum nicht zu verwirklichen. Die Fragebögen werden aber bei einer Lieferung und durch die Projektverlängerung bis zum September 2021 nach Ausscheiden des Projektpartners der CAU zu Kiel durch die EurA ausgewertet werden.

Auch die geplanten Sicherheitstests konnten von der CAU aufgrund fehlender Lieferung von HFM zu diesem Fahrzeug nicht mehr ausgeführt werden.

Die Zeitpläne wurden im Laufe des Projekts immer wieder von allen Projektpartnern mit groß aufgebracht Flexibilität an die sich verändernden Liefertermine der Fahrzeughersteller angepasst, womit das Endziel des Projekts dennoch größtenteils erreicht werden konnte.

10. Übertragbarkeit in andere Regionen

Das Projekt ist durch seine Anwendungsnähe von besonderer Bedeutung hinsichtlich der Umsetzbarkeit in reale Nutzungsszenarien des ÖPNV.

Neben den eigenen Tests wird durch die Zusammenarbeit im Projektkonsortium auch die Einbeziehung der Entwicklungsergebnisse, die mit anderen Teststrecken erarbeitet werden, möglich. Diese gemeinsamen Entwicklungs- und Evaluierungsarbeiten sind von großer Bedeutung für Anschlussprojekte.

Die Projektergebnisse sind grundsätzlich in andere Regionen übertragbar und sind somit von bundesweiter Bedeutung.

Diverse Anfragen, die das Projektteam über die Projekthomepage erreichten, zeigten wie hoch das Interesse am Einsatz autonomer Fahrzeuge in anderen Umgebungen bereits im Projektzeitraum war.

11. Öffentlichkeitsarbeit

Während der Projektlaufzeit wurden diverse öffentlichkeitswirksame Maßnahmen durchgeführt, die dazu dienten, das Projekt mit seinen Ergebnissen einem breiten Publikum zugänglich zu machen und für Transparenz zu sorgen. Diese Maßnahmen wurden

federführend von der Projektleitung, jedoch mit großer Unterstützung aller Projektpartner ausgeführt. So wurde das Projekt nicht nur über die projekteigenen Kanäle bekannt gemacht, sondern zusätzlich auch über die bereits bestehenden Netzwerke der Projektpartner weiterverbreitet, um den Empfängerkreis möglichst groß zu gestalten.

Zu Beginn des Projekts wurde durch die Projektleitung der EurA eine Projekthomepage erstellt, auf der in den Rubriken „Home“, „News“, „Kontakt“, „Login“, „FAQ“ und „Meinungsumfrage“ über den gesamten Projektzeitraum hindurch laufend über das Projekt berichtet wurde.

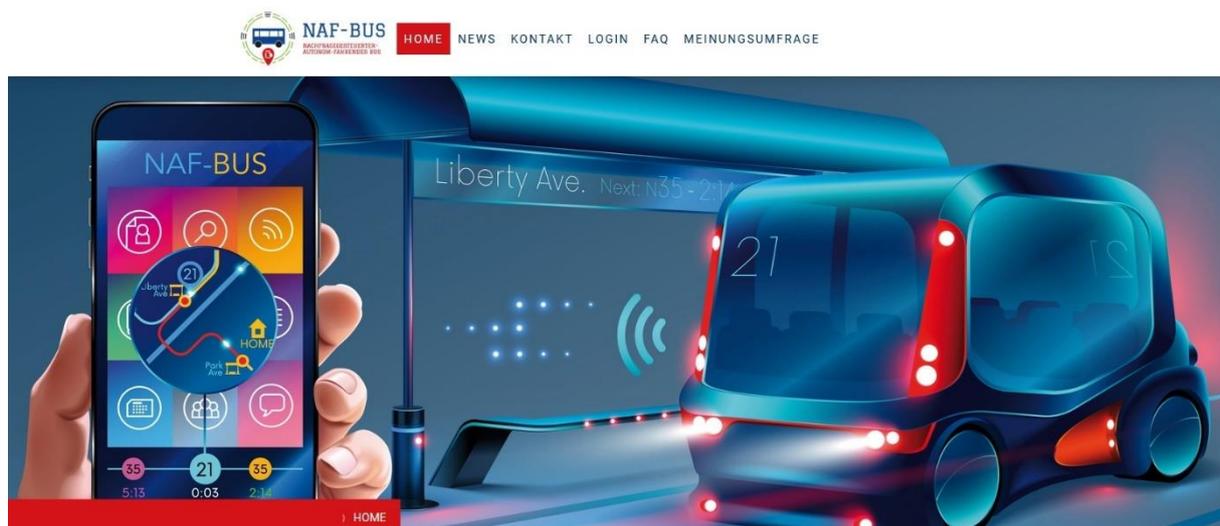


Abbildung 4: NAF-Bus Projekthomepage

In der „**Home**“ Rubrik wird die Abkürzung „NAF“ dargestellt, wie auch die BMVI-Förderung und das Mobilitätskonzept erklärt. Eine Meinungsumfrage zu autonomen Bussen sowie die Vorankündigung und ein Rückblick zur Abschlussveranstaltung vom 23. Februar 2021 finden sich dort ebenfalls, um möglichst als Eyecatcher direkt im Anfangsbereich zu dienen. In der Unterrubrik „**Über uns**“ werden alle Projektpartner mit Logo, Kontaktdaten sowie Foto des Projektleiters und Verlinkung auf die Projektpartner-Homepages dargestellt, um eine direkte und schnelle Kontaktaufnahme zu ermöglichen.

In der Rubrik „**News**“ finden sich Beiträge zu breit gefächerten Themen, die während der Projektlaufzeit anfielen, darunter z. B. die erste und zweite Projektverlängerung, die Einweihung des NAF-Busses auf dem GTC zum SAE Level 4 Fahrbetrieb, der Besuch diverser politischer Vertreter, Zwischenergebnisse wie z. B. Ergebnisse der Fahrgastbefragungen, ebenfalls aber auch Ergebnisse über Wettbewerbsteilnahmen, Berichte über die Teilnahme und Ausstellung an externen Events in der Öffentlichkeit (darunter z. B. der NAF-Bus des GTC auf dem Future Energies Science Match 2019 in Kiel als best practice case oder auf der Internationalen Automobil Ausstellung in Frankfurt und auf der digitalen Woche in Kiel). Auch dort sind Berichte über die Einweihungen der ersten beiden NAF-Busse mit z. B. der Einweihung des Sylter Busses durch Dr. Bernd Buchholz in Keitum zu finden. Die Unterrubrik „**Events**“ als Unterbereich der News kündigte Veranstaltungen an wie beispielsweise das Grünstrom-Event auf dem GTC in Enge-Sande oder auch den Akteursworkshop wie auch Rückblicke auf vergangene Veranstaltungen wie die Abschlussveranstaltung. In der Unterrubrik „**Presse**“ als Unterbereich der „News“ findet sich eine Auswahl an erschienenen Presseartikeln zu sämtlichen bereits genannten Themen mit einer Verlinkung auf weitere ältere Presseartikel im Archiv weiter unten auf der Seite.

Das „**Kontakt**“-Formular diente der Kontaktaufnahme aller Interessierten von außen, um ihnen Möglichkeit zu geben, direkte Fragen an das Projektteam zu stellen. Innerhalb der Laufzeit des Projekts gingen hierüber viele Anfragen ein. Häufig handelte es sich dabei um Bachelor- und oder Masterstudenten, die sich mit dem autonomen und vernetzten Fahren beschäftigten oder um Interessierte aus vielen verschiedenen Orten innerhalb ganz Deutschlands, die daran Interesse hatten, in ihrer Gemeinde ein solches Projekt mit autonomen Fahrzeugen auf die Beine zu stellen.

Im „**Login**“ Bereich konnten die entsprechenden Mitglieder mit einem vergebenen Passwort Präsentationen von besuchten internen Projektveranstaltungen herunterladen (wie z. B. vom Kick-off-meeting). Ebenfalls konnten die Teilnehmer der öffentlichen Abschlussveranstaltung in diesem Bereich die entsprechenden Präsentationen herunterladen.

Im Bereich „**FAQ**“ werden diverse Fragen zum Projekt und autonomen Fahren erklärt. Dort geht es um die Ziele des Projekts, die Laufzeit, die erreichten Meilensteine in graphischer Darstellung, die Projekteinsatzorte u. v. m. Auch werden dort Themen zu allgemeinen Fragen wie den rechtlichen Bestimmungen, Sicherheitsthemen autonomer Fahrzeuge und der Ausstattung/Funktion solcher Fahrzeuge beantwortet.

In der Rubrik „**Meinungsumfrage**“ haben Besucher die Möglichkeit, an einer Umfrage zu allgemein autonomen Bussen teilzunehmen, welche zum guten Auffinden ebenfalls auf der Homepage erscheint.



Abbildung 5: NAF-Bus Newsletter

Auch wurden neben der Projekthomepage zu Projektbeginn Flyer über das Projekt gedruckt. Inhalte des Flyers sind die Darstellung des Ziels, die BMVI-Förderung, die Motivation, die Klärung des Projektakronyms, die Auflistung der Projektpartner, die Kontaktdaten der Gesamtprojektleitung im Corporate Design der Projekthomepage. Auch ein Roll-up wurde zum Projekt gedruckt und als Aufsteller bei Veranstaltungen genutzt.

Des Weiteren wurden regelmäßige Online-Newsletter an eine Liste von 160 Abonnenten versandt – von einer zuvor eingerichteten E-Mail-Absender-Adresse „autonomesfahren-sh@aura-ag.de“.

Insgesamt elf Newsletter zu folgenden Terminen wurden versandt: 1. Ausgabe im März 2018; 2. Ausgabe im Mai 2018; 3. Ausgabe im Juli 2018; 4. Ausgabe im Juli 2019; 5. Ausgabe im September 2019; 6. Ausgabe im November 2019; 7. Ausgabe im April 2020; 8. Ausgabe im Mai 2020; 9. Ausgabe im September 2020; 10. Ausgabe im Dezember 2020; 11. Ausgabe im Februar 2021.

Die darin enthaltenen Themen werden aufgrund der Länge hier nicht in ausführlicher Form dargestellt, ähneln sich aber den Themen, die auf der Projekthomepage veröffentlicht wurden. Wenn es grade keine nennenswerten oder öffentlichkeitswirksamen Neuigkeiten gab, wurde der Newsletter für eine Zeit ausgesetzt, dafür erschienen in anderen Perioden Newsletter in engerem Zeitraum in Form von Sonderausgaben, wenn aus aktuellem Anlass Bedarf dazu bestand.

Außerdem wurden Pressemitteilungen zu folgenden Themen erstellt:

- zur Teststrecke und Ankündigung des NAF-Busses in Keitum
- zum geplanten Einsatz des NAF-Busses in Lunden/Lehe
- zum Bürger Informations-Abend in Keitum
- zum Zwischenresümee des Keitumer NAF-Busses
- zum NAF-Bus EMil als best practice case auf dem Future Energies Science Match in Kiel
- zum Einsatz im SAE Level 4 Fahrbetrieb des NAF-Busses EMil auf dem GTC
- zur TOP 10 Platzierung im Innovationspreis Reallabore in der Kategorie Einblicke
- zum Neustart der Aufnahme des Fahrbetriebs des Keitumer NAF-Busses nach Corona-bedingter Pause
- zum Besuch MDB Gero Storjohann auf dem GTC
- zur Einladung der Öffentlichkeit zur Teilnahme an der Abschlussveranstaltung

Die Pressemitteilungen wurden sowohl an den lokalen, regionalen und bundesweiten Presseverteiler in Form von E-Mails als auch zusätzlich online über die Pressbox.de für den Kreis der Journalisten veröffentlicht.



PRESSE BOX® Tour Lösungen Produkt Blog

Pressemitteilungen durchsuchen

Software Hardware E-Commerce Maschinenbau Elektrotechnik Logistik

Home > EurA AG > BoxId: 1008083 – TOP-10-Platzierung des Projekts NAF-Bus im Innovationspreis Reallabore 2020 in der Kategorie „Einblicke“

TOP-10-Platzierung des Projekts NAF-Bus im Innovationspreis Reallabore 2020 in der Kategorie „Einblicke“

[NEWS ABONNIEREN](#) [HERAUSGEBER KONTAKTIEREN](#) 📄 🖨️ ✉️ 📌 🗄️

Projekt NAF-Bus erfreut sich durch Nominierung an großer Zustimmung

(PresseBox) (Enge-Sande, 28.05.20) Am 26. Mai fand die Preisverleihung des vom **Bundeministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)** geförderten „**Innovationspreises für Reallabore – Testräume für Innovation und Regulierung**“ - statt. Wenn das Projekt NAF-Bus (Nachfragegesteuerter Autonom Fahrender Bus) es auch leider nicht auf die letzte Siegerstufe geschafft hat, so hat es doch eine **TOP-10-Nominierung in der Kategorie „Einblicke“** erzielen können.

„Herausragende Reallabore sichtbar machen, innovative Ideen würdigen und zu neuen Reallaboren ermuntern – das sind die Ziele des Wettbewerbs ‘Innovationspreis Reallabore: Testräume für Innovation und Regulierung’, den das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) erstmalig am 2. Dezember 2019 gestartet hatte.“ (Quelle: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Wettbewerb/innovationspreis-reallabore.html>)

Abbildung 6: NAF-Bus Pressemitteilung

Erschienen sind die Pressemitteilungen mehrfach in folgenden Zeitungen: Sylter Rundschau, Schleswig-Holsteinischer Zeitungsverlag, Hamburger Abendblatt, Kieler Nachrichten, MoinMoin, Die Welt, Wochenschau und NF Tageblatt, Lübecker Nachrichten sowie zusätzlich neben Zeitungen in verschiedenen Magazinen, Fachzeitschriften und Zeitungsbeilagen, darunter:

- Innovation und Markt, Ausgabe 2/2019
- Positionen, Ausgabe 3/2019
- Der Nahverkehr, Heft 10 im Oktober 2019
- Ellwanger Wirtschaftsbroschüre Januar 2020
- Unizeit, April 2020

Auch wurde mit dem Magazin auto motor und sport/Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG ein Interview organisiert, bei dem nach Testfahrten mit den NAF-Bussen über diese berichtet wurde.

Meldungen erschienen ebenfalls im Fernsehen und Rundfunk auf SAT 1 regional, im NDR Schleswig-Holstein Magazin und im Sylt TV.

Ebenfalls wurden per Twitter diverse Meldungen zum Projekt NAF-Bus auf dem Twitter-Kanal der Gesamtprojektleitung getweetet und auch Neuigkeiten auf dem EurA LinkedIn Kanal gepostet. Veröffentlicht wurden relevante Themen, die sich auch auf der Homepage wiederfinden. Beim EurA LinkedIn Kanal mit 3.000 Followern wurde beispielsweise die Abschlussveranstaltung angekündigt, um die Veranstaltung auch in Social Media an viele Interessierte zu bringen.

Das Projekt ist ebenfalls in den ITS Weltkongress aufgenommen worden – mit speziellem Fokus auf den Einsatz in Lunden/Lehe als Teil der Metropolregion Hamburg. Hier werden regelmäßige Projektstände übermittelt. Auch hat das Projekt beim VCÖ Mobilitätspreis 2018 eine TOP 5 Nominierung erreicht und dadurch den Bekanntheitsgrad des Projekts und des autonomen Fahrens weiter gesteigert. Im Innovationspreis für Reallabore in der Kategorie „Einblicke“ erhielt das Projekt eine TOP 10 Nominierung.

Bezogen auf die Öffentlichkeitsarbeit wurden während der Projektlaufzeit bereits Artikel, Pressemitteilungen, Verlinkungen etc. an den Projektträger zur Nachverfolgung übersendet.

Neben diesen öffentlichkeitswirksamen Tätigkeiten der Gesamtprojektleitung, folgen die unterstützenden Tätigkeiten in diesem Bereich durch die Projektpartner.

Der NAF-Bus EMil auf dem GTC in Enge-Sande wurde durch verschiedene Besuche auf politischer Ebene sowie auf diversen Veranstaltungen und Messen durch den Projektpartner GTC einem breiten Publikum vorgestellt. Im Folgenden findet sich daher hier eine zeitliche Auflistung.

1. Halbjahr 2018

- Besuch des Wirtschaftsministers S-H, Dr. Bernd Buchholz, MdL
- Besuch des energiepolitischen Sprechers der „Jamaika“-Koalition S-H, Hein (CDU), Voss (B90/Grüne) und Richert (FDP)
- Präsentation des Fahrzeuges auf dem Grün Strom Event, Enge-Sande
- Workshop zur Akteursbeteiligung des Projektpartners CAU Kiel

- Besuch des stellv. Bundesvorsitzenden SPD und Fraktionsvorsitzenden Landtag S-H, Ralf Stegner, MdL

2. Halbjahr 2018

- Besuch des Ministerpräsidenten S-H, Daniel Günther
- Digitale Woche Kiel 2018, CAU zu Kiel
- Start des Shuttleservices auch für öffentliche Besuchergruppen, Start Umfrage CAU zu Kiel

1. Halbjahr 2019:

- Besuch der verkehrspolitischen Sprecher der Jamaika-Koalition S-H, MdLs Herr Arp (CDU)
- Pressetermin Keitum, Vorstellen des NAF-Bus Projektes – zweites Fahrzeug des Projektes
- New Energy Husum
- GrünStrom Event auf dem GTC
- 28 hochrangige Besuchergruppen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft
- tägliche Mitnahme von Besuchern/Gästen des GTC z. B. Urlauber, Besucher anderer Firmen (ca. 80 - 100 ausgefüllte Fragebögen pro Monat, ca. 120 - 150 Mitfahrer pro Monat)

2. Halbjahr 2019:

- 05.07. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe "Forum: Energie" der egeb:
 - Wirtschaftsförderung "EMil – ein autonom fahrender Bus im ländlichen Bereich?", Brunsbüttel, Bürgermeister, Vertreter aus Gemeinden
- Besuch von Vertretern der CDU, SL-FL, Vortrag NAF-Bus Projekt (August)
- Besuch von Vertretern Die Grünen, Dithmarschen (August)
- Besuch von Vertretern Bündnis 90/Die Grünen, S-H (August)
- 06.-07.09.2019 Digitale Woche Kiel, Stadt Kiel, Projektvorstellung inkl. Bus
- 27.07. Bündnis 90/Die Grünen, Besuchergruppe GTC
- 30.07. Besuchergruppe "Exkursion des deutschen Kongresses der Geografie"
- 29.08. MDB Beutin, Klima- und energiepolitische Sprecher DIE LINKE
- 05.09. – 07.09. Digitale Woche, Kiel
- 08.09. – 15.09. Internationale Automobil Ausstellung (IAA) Frankfurt, Infostand BMVI
- 21.10. Besuch TU Berlin
- 04.11. Besuch Delegation Steinburg
- 02.12. - 03.12. Future Energies 2019, Kiel Sparkassen Arena

1. Halbjahr 2020

- 09.01. Besuch des Vorsitzenden des CDU-Fraktionsarbeitskreises Europa im Landtag S-H, Hartmut Hemmerich (CDU), MdL
- 12.03. Besuch Landtagspräsident S-H, Klaus Schlie

- Besuch Bundesvorsitzender der FDP Christian Lindner, Minister für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein, Dr. Bernd Buchholz

Auch der NAF-Bus AutoNom in Keitum auf Sylt wurde durch Maßnahmen des Projektpartners SVG der Öffentlichkeit dargestellt.

Zum Projektstart wurden die Stakeholder ermittelt und über das Projekt informiert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Anwohner von Keitum und deren Ortsbeirat gelegt. Hier wurde das Projekt sowohl dem Ortsbeirat als auch der gesamten Öffentlichkeit bei einer Informationsveranstaltung im Friesensaal Keitum präsentiert.

Zur offiziellen Eröffnung im Mai 2019 war S-H's Wirtschaftsminister Dr. Bernd Buchholz vor Ort und hat den Shuttle eingeweiht.



Abbildung 7: Einweihung AutoNom auf Sylt durch Dr. Bernd Buchholz

Weitere geplante öffentliche Veranstaltungen konnten aufgrund der Corona-Pandemie nicht durchgeführt werden.

In Bezug auf den im Projekt dritten NAF-Bus, welcher für den Einsatz in Lunden/Lehe geplant ist, jedoch bis zur Erstellung dieses Berichts noch nicht geliefert wurde, wurden während der gesamten Projektlaufzeit seitens des Projektpartners Autokraft die Gemeindevertretungen beider Gemeinden über das Projekt informiert und laufend auf dem aktuellen Stand gehalten. Auch wurde über das Projekt auf der Homepage der Autokraft berichtet, ebenfalls wie im Newsletter „Bus im Blick“ der DB Regio Bus.

Neben der Gesamtprojektleitung sowie den Betreibern der autonomen Busse (der GTC, der SVG und der Autokraft), wurde das Projekt durch die Netzwerke der weiteren Projektpartner bei ähnlichen Projekten bekannt gemacht.

So wurde vom Projektpartner Interlink im Juni 2018 ein Vernetzungstreffen mit vier anderen Anwendungsprojekten mit automatisierten Shuttles (TaBuLa, AutoNV_OPR, Stimulate, GVZ Großbeeren) in Hamburg veranstaltet. Im Anschluss wurde eine Pressemitteilung herausgegeben, die in verschiedenen Medien aufgegriffen wurde.

Zur Vernetzung wurde zudem eine Exkursion mit einer Gruppe von Fachteilnehmenden organisiert. Am 8. und 9. November 2018 war die Kleingruppe aus deutschen AVF-Projekten in Bad Birnbach (DB Regio Bus in Zusammenarbeit mit ioki), Pfronstetten-Aichelau (Werk der Firmen Paravan und HFM) und Neuhausen am Rheinflall (Schweiz, Firma AMoTech und ÖV-Lab am Rheinflall) unterwegs.

Am 19. September 2019 wurde ein Anwendertreffen von Shuttle-Betreibern mit dem Fokus dezentraler Infrastruktur zusammen mit der Hochbahn AG in Hamburg organisiert. Durch Interlink-Mitarbeitende wurde das Projekt NAF-Bus vorgestellt und in Diskussionen vertreten.

Weitere geplante Veranstaltungen konnten aufgrund der COVID-19-Pandemie ab Anfang 2020 leider auch von Interlink nicht weiter umgesetzt werden.

Des Weiteren wurden auf der Website von Interlink stets aktuelle Meldungen aus dem Projekt veröffentlicht (<https://interlink-verkehr.de/>). Einige Mitarbeitende beteiligen sich außerdem an dem Verfassen von Newsletter-Beiträgen für den NAF-Bus-Newsletter, der, wie weiter oben beschrieben, von der Gesamtprojektleitung herausgegeben wurde.

Auch bei extern organisierten Veranstaltungen repräsentieren die Mitarbeitenden der Interlink das Projekt und hielten Vorträge zum NAF-Bus-Projekt. Einig Beispiele sind im Folgenden aufgeführt:

- Roundtable Testfelder, veranstaltet von der Berliner Agentur für Elektromobilität eMO, 12. Dezember 2018
- DVWG Hamburg im Jahr 2018
- 4. VDV-Zukunftskongress Autonomes Fahren im Öffentlichen Verkehr in Berlin mit einem Vortrag zum aktuellen Stand im NAF-Bus-Projekt, 22. Mai 2019
- Vortrag bei der Digitalen Woche in Kiel, 7.-14. September 2019
- Präsenz während der „New Mobility World“ in Frankfurt am Main, 13. bis 15. September 2019
- Fachgespräch zur Nutzung von digitalen Testfeldern für das automatisierte und vernetzte Fahren im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 10.10.19
- IAA – Internationale Automobil-Ausstellung, Frankfurt/Main, 14./15.09.2019
- 5GCMM Expo, Hannover, 9.10.2019
- breidenbach+frost, Wien, 21.10.2019
- Stadt Licht+Verkehr, Leipzig, 27.11.2019
- Stadt Münster, 17.06.2020
- Forum Kompetenzzentrum Digitale Mobilität, 09.01.2020
- DVWG Rhein-Main im Jahr 2020

Zudem fließen die Erkenntnisse in die Vorlesungsreihe „Grundlagen und Instrumente der Regionalentwicklung“ im Masterstudiengang „Regionalentwicklung und Naturschutz“ an der HNE Eberswalde ein.

Im Zusammenhang mit der Mitwirkung der Interlink im Projekt EASYRIDE in München, wird der Testbetrieb auf Sylt als Anwendungsfall in einen Leitfaden für die genehmigungsrechtliche Praxis autonomer Shuttles einfließen, der im Jahr 2021 veröffentlicht wird.

Vom IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V. wurde eine projektübergreifende Stellungnahme zum Gesetzesvorhaben des BMVI für das automatisierte Fahren initiiert. Interlink übernahm die inhaltliche Sichtung und Ergänzung sowie Koordination für die Beteiligung durch das NAF-Bus-Projekt.

Durch den weiteren Projektpartner FLS wurde das NAF-Bus-Projekt ebenfalls durch folgende Maßnahmen bekannt gemacht, darunter folgende Blog-Beiträge der Webseite www.fastleansmart.com:

- Beitrag im FLS Blog am 17.08.2018:
<https://www.fastleansmart.com/blog/autonomes-fahren-fls-forschungspartner-im-naf-bus-projekt/>
- Beitrag im FLS Blog am 12.07.2018:
<https://www.fastleansmart.com/blog/autonomer-bus-kommt-in-nordfriesland-an/>
- Beitrag im FLS Blog am 26.03.2019
<https://www.fastleansmart.com/blog/autonomer-bus-bald-auch-im-kreis-dithmarschen-unterwegs/>
- Beitrag im FLS Blog am 23.01.2019
<https://www.fastleansmart.com/blog/autonomer-bus-im-einsatz-auf-sylt/>

Ebenfalls nutze die FLS ihre Social-Media-Kanäle zur Bewerbung des Projekts:

- Beiträge auf Facebook am 13.7.2018, 23.01.2019 und am 23.03.2019
- Beiträge auf Xing am 11.9.2018, 23.01.2019 und 26.03.2019
- Beiträge auf LinkedIn am 23.01.2019 und 26.03.2019

Veröffentlichungen fanden von der FLS in folgenden Medien statt:

- Eurotransport.de
- lastauto omnibus
- Elektronik Praxis
- Pressebeitrag im S-H Magazin 54 Grad Nord (Ausgabe Dezember 2018)

Im Folgenden sind außerdem Aktivitäten aufgeführt, die nicht zu einer unmittelbaren Veröffentlichung geführt, aber zur Bekanntheitssteigerung des Projekts beigetragen haben:

- Kommunikation mit Kieler Nachrichten, SHZ, lokale Presse, Deutsche Verkehrs Zeitung
- Ministerbesuch von Dr. Bernd Buchholz
- Kundenbesuche im Haus (Auslage von Informationsmaterial)
- Auslage der NAF-Bus Flyer an den Unternehmensstandorten und bei Firmenevents
- Besucher-Information im Rahmen des HR-Messeauftritts der FLS beim „Firmenkontakttag 2019“ (Oktober 2019)
- Besucher-Information im Rahmen des Unternehmensbesuchs von Schülern der Stiftung Louisenlund (Januar 2020)
- Präsentation des Projektes im Rahmen eines Vortrags zum Thema Innovationsmanagement bei Opencampus S-H (10.12.2018)
- Ankündigung der Ausstellung des NAF-Busses im Rahmen der Digitalen Woche Kiel auf der FLS Homepage (August/September 2018)

Informationen von Journalisten bei stattfindenden Redaktionsgesprächen ohne folgende Berichterstattung:

- Freie Redakteurin Frau von Elm (u.a. tätig für Retail Technology)
- Herr Metschies (Kieler Nachrichten)
- Herr von Borstel (IHK-Magazin)
- Informationen der neuen Mitarbeiter im Rahmen der Onboarding-Veranstaltung „FLS Newbie Week“ im Juli 2019, Oktober 2019, Januar 2020 und Mai 2020

Im Bereich der CAU zu Kiel wurden auf Ebene der drei im Projekt mitwirkenden Institute folgende öffentlichkeitswirksame Maßnahmen ausgeführt.

[CAU/Kulturgeographie]:

Erste Ergebnisse der Akzeptanzanalyse wurden im DIVA-Netzwerk des BMVI vorgestellt. Ebenso wurden Ergebnisse auf dem FutureEnergyScience Match 2019 in Kiel vorgetragen. Projektergebnisse wurden 2020 auf der Dortmunder Konferenz für Raumplanung vorgestellt und in den Kreisen von Verkehrs- und Mobilitätsexperten diskutiert.

[CAU/Informatik]:

Im Bereich der Informatik wurden die Forschungsergebnisse schriftlich veröffentlicht. Ebenso wurden sie im Rahmen der digitalen Woche Kiel 2018, des NAF-Bus-Newsletters und der NAF-Bus-Abschlussveranstaltung präsentiert.

[CAU/Jura]:

Durch den rechtswissenschaftlichen Lehrstuhl selbst wurden mehrere Aufsätze veröffentlicht:

- Das Fahrzeuggenehmigungsverfahren für den autonom fahrenden NAF-Bus (V+T Ausgabe 03.19)
- Haftungsrechtliche Probleme des autonomen Fahrens – Teil 1 (V+T, Ausgabe 05.19)
- Haftungsrechtliche Probleme des autonomen Fahrens – Teil 2 (V+T, Ausgabe 06.19)
- Haftungsrechtliche Probleme des autonomen Fahrens – Teil 3 (V+T, Ausgabe 07.19)
- Datenschutzrechtliche Probleme autonom fahrender Busse – Teil 1 (V+T, Ausgabe 05.20)
- Datenschutzrechtliche Probleme autonom fahrender Busse – Teil 2 (V+T, Ausgabe 06.20)
- Die Schadensersatzhaftung für automatisierte und autonome Fahrzeuge (DAR, Ausgabe 11.20)

Alle Projektpartner nahmen zudem an übergeordneten öffentlichen Veranstaltungen teil und beteiligten sich zusätzlich mit Beiträgen am Newsletter des Projekts.

12. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Projekts dargestellt. Dies erfolgt in der Untergliederung auf die verschiedenen Aufgabenbereiche der Projektpartner mit Bezug auf wissenschaftlicher und technischer Ebene. Einige Bereiche wie beispielsweise die vorbereitenden Maßnahmen zur Streckenwahl und -einmessung sowie die Genehmigungsprozesse überschneiden sich inhaltlich innerhalb der verschiedenen Arbeitspakete der Projektpartner und auch der Einsatzszenarien, weshalb eine Aufgliederung in die verschiedenen Fahrzeuge hier weniger sinnvoll erschien und die Ergebnisse in diesen

und ähnlichen Bereichen gebündelt für alle drei Anwenderfälle pro Projektpartner dargestellt werden. Eine Überlagerung des ein- oder anderen Aufgabenbereichs konnte daher nicht vermieden werden, um das ganzheitliche Verständnis der Ergebnisse sicherzustellen.

12.1 EurA – Gesamtprojektleitung/Koordination des Verbundes/Einbeziehung der Bevölkerung

F&E Schwerpunkte der EurA innerhalb des NAF-Bus-Projekts waren:

- 1) Die Entwicklung eines Konzepts für praktische Akzeptanzuntersuchung
- 2) Die Entwicklung der App für Nutzerbefragung gemeinsam mit der CAU zu Kiel
- 3) Transfer und Vernetzung mit Akteuren des Innovationsnetzwerks zur Weiterverbreitung der Projektergebnisse
- 4) Koordination des Verbundes und Berichterstattung

Zum Schwerpunkt 1) hat die CAU zu Kiel ein Konzept der Akzeptanzuntersuchung entwickelt, welches im entsprechenden Ergebnisteil der CAU zu Kiel näher erläutert wird. Die EurA war an der Abstimmung des Konzepts beteiligt und hat entsprechende Ratschläge zur Art, Form, Methode und Zeitpunkt der Untersuchung beigetragen.

Zum Schwerpunkt 2) wurde keine App zur Nutzerbefragung entwickelt, da die Fragebögen in Papierform in den NAF-Bussen ausgehändigt und daraufhin ausgewertet wurden.

Zum Schwerpunkt 3) hat die EurA Vernetzungstreffen zur Weiterverbreitung der Projektergebnisse ausgerichtet. Eine Konferenz zum autonomen Fahren im ländlichen Raum mit Chancen für den ÖPNV wurde am 31. Mai 2017 in Kiel abgehalten. Ein weiteres Vernetzungstreffen innerhalb des Innovationsnetzwerks fand am 20. Juni 2018 auf dem GTC statt.

Auch Besuchergruppen wurde das Projekt sowie das Landesnetzwerk als Ursprung des NAF-Bus Projekts vorgestellt – so z. B. der Delegation Steinburg am 4. November 2019 in Engesande in den Räumlichkeiten der EurA.

Im Austausch zur Weiterverbreitung der Ergebnisse fanden außerdem viele Besuche und Testfahrten auf dem GTC mit der EurA und folgenden politischen Vertretern statt, bei denen sowohl das Landesnetzwerk „Autonomes Fahren im ländlichen Raum“ als auch das daraus entstandene Projekt NAF-Bus erläutert wurde. Folgende Besuche sind hier zu nennen:

- Ministerpräsidenten S-H's und NRW's, Daniel Günther und Armin Laschet
- Gero Storjohann, MDB
- Innenministerin des Landes S-H Dr. Sabine Sütterlin-Waack
- Astrid Damerow, MDB
- Christian Lindner, MDB
- SPD-Fraktionsvorsitzender im S-H Landtag Ralf Stegner

- verkehrspolitische Sprecher der Jamaika Koalition Hans-Jörn Arp (CDU), Kay Richert (FDP) und Dr. Andreas Tietze (Bündnis 90 / Die Grünen)



Abbildung 8: Besuch von Ministerpräsidenten Daniel Günther und Armin Laschet



Abbildung 9: Besuch von Astrid Damerow, MDB

Die Weiterverbreitung der Projektergebnisse wurde außerdem weiter oben im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit detaillierter dargestellt.

Zum Schwerpunkt 4) hat die EurA als Verbundkoordinator des Projekts innerhalb der Laufzeit insgesamt 25 Projektleitertreffen (PL-Treffen) und fünf Fahrzeugbetreiber-Treffen (FB-Treffen) sowie zwei Verhandlungstreffen und ein Genehmigungstreffen organisiert.

In den Treffen wurden alle relevanten Themen von der Fahrzeugbeschaffung, über die Abrechnung bis hin zum Fahrzeugeinsatz und Berichtswesen sowie alle Fristen, der Projektfortschritt und Problemlösungen für aktuelle Herausforderungen besprochen. Alle Projektpartner wurden durch eine im Voraus versandte Agenda über die Tagesordnungspunkte für ihre jeweiligen Arbeitspakete informiert und stellten ihre Arbeitsfortschritte in Präsentationsform dar. Sämtliche Präsentationen, Teilnehmerlisten und Protokolle sind digital und in Papierform abgespeichert worden. Zum Teilen wichtiger Dokumente wurde ein share point eingerichtet, auf dem alle Projektleiter Zugriff hatten.

Das Kick-off-Meeting wurde ebenfalls von der EurA am 5. September 2017 auf dem GTC ausgerichtet. Ebenfalls für die Einweihungsfeier für den Keitumer NAF-Bus hat die EurA zum Termin am 4. Mai 2019 in Keitum die Gäste und Stakeholdergruppen eingeladen – in Unterstützung durch die SVG vor Ort. Ebenfalls lud die EurA zur Abschlussveranstaltung für den 23. Februar 2021 ein, welche aufgrund der Corona-Pandemie online stattfand und sich erfreulicherweise auch online als gut besucht erwies.

Bezüglich der Berichterstattung wurden die Abrechnungen der Projektpartner durch die EurA überwacht und koordiniert, so dass alle dem Projekt zuzuordnenden Rechnungen und Belege frist- und ordnungsmäßig an den Projektträger weitergeleitet wurden. Ebenfalls koordinierte die Projektkoordination die Erstellung der Halbjahres- und Jahresberichte. Beide zum Dezember 2020 und zum September 2021 genehmigten kostenneutralen Projektverlängerungen wurden in vorheriger Absprache mit allen Projektpartnern durch die EurA in einem Antrag eingereicht.

12.2 Interlink – Verkehrsplanung mit ÖPNV Schwerpunkt für Einsatz autonome Shuttles im Mischverkehr

Im NAF-Bus-Projekt wurden am Markt verfügbare, elektrische, automatisiert fahrende Busse für den on-demand-Verkehr im ÖPNV in drei Szenarien im ländlichen Raum auserwählt (zwei davon bis zur Berichterstattung getestet und hinsichtlich ihrer Eignung untersucht). Die drei Testbetriebe wurden mit unterschiedlichen Schwerpunkten geplant und umgesetzt wie weiter oben in den Einsatzgebieten beschrieben.

Der inhaltliche Schwerpunkt und die Verantwortlichkeiten von Interlink lagen dabei auf der Umsetzungsplanung, -vorbereitung sowie der -begleitung und -nachbereitung der drei Testbetriebe. Dazu gehörten u. a.

- die formellen, organisatorischen und technischen Anforderungen, die an die Betriebsdurchführung gestellt werden
- die Streckenauswahl nach verkehrlichem Nutzen und technischer Machbarkeit
- die Risikoanalyse der Streckenvarianten
- die Bedarfsermittlung und Umsetzungsbegleitung infrastruktureller Maßnahmen
- die Unterstützung der Betreiber bei der Fahrzeugbeschaffung (Marktuntersuchung, Lastenheft-Erstellung, Durchführung Vergabeprozess)
- die Unterstützung der Betreiber bei den Genehmigungsprozessen (Kommunikation mit der öffentlichen Verwaltung, Organisation des Technischen Gutachtens, Unterstützung bezüglich Rechtsrahmen)
- die Betriebskonzeption
- die Erstellung von Genehmigungsunterlagen (Handbücher, Betriebskonzepte, Risikoanalysen)
- die Mitwirkung an der Öffentlichkeitsarbeit und
- die Analyse und Auswertung der Betriebe

Die wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse werden entlang dieser thematischen Bereiche im Folgenden aufgezählt.

12.2.1 Streckenauswahl, Risikoanalyse und infrastrukturelle Maßnahmen



Abbildung 10: Beschilderung "Vorsicht Autonomes Fahrzeug"

Zur Auswahl der drei Strecken wurden zunächst die Anforderungsprofile grob skizziert, die zur Erreichung des Projektziels erforderlich waren. Dazu wurden Analysen der potenziellen Nachfrage im Projektgebiet auf verkehrsplanerischem Erfahrungshintergrund durchgeführt und mit den lokalen Akteuren (z. B. die Betreiber und die SVG Südwestholstein ÖPNV-Verwaltungsgemeinschaft) abgestimmt.

Es wurden Streckenbegehungen zur Feststellung des infrastrukturellen Handlungsbedarfes (Beschilderung, Parkflächen, Markierungen) durchgeführt, u. a. mit Straßenverkehrsbehörde, Ordnungsamt, Bürgermeistern und Polizei abgestimmt.

Pro Einsatzszenarium standen mehrere Varianten zur Auswahl. Die Streckenvarianten wurden anhand von Bewertungskriterien, die zusammen mit den lokalen Akteuren erarbeitet wurden, bewertet, Vorzugsvarianten ausgewählt und Umsetzungsstufen konzipiert.



Abbildung 11: Abstellort für NAF-Bus auf Sylt

Anschließend wurden die zur Auswahl stehenden Strecken aller drei Testbetriebe hinsichtlich möglicher Risikopunkte für das automatisierte Fahren untersucht. Video- und Fotomaterial wurde erstellt. Das streckenbezogene Risiko im laufenden Betrieb wurde zunächst grob beschrieben und bewertet sowie Maßnahmen zur Risikoreduzierung oder -vermeidung aufgezeigt.

Diese Vorarbeiten gingen in die Anforderungen an die zu liefernden Fahrzeugsysteme ein. Im Anschluss an die erfolgte Vergabe führten die ausgewählten Hersteller detaillierte Streckenanalysen durch, aus denen sich teilweise weiterer

Handlungsbedarf bezüglich der Infrastruktur ergab. Dazu gehörten bauliche und verkehrliche Maßnahmen sowie Beschnitt des Straßengrüns. Beispielsweise war es für den Hersteller Navya, der für den Testbetrieb auf Sylt ausgewählt wurde, erforderlich eine GNSS-Antennenstation auf einem höher gelegenen Gebäude in unmittelbarer Nähe zur Strecke einzurichten. Außerdem wurde ein Abstellort in unmittelbarer Streckennähe gebraucht. Zusammen mit der SVG wurden ein Antennenstandort sowie eine passende Unterstellung organisiert.

Die Risikokriterien bei der Streckenanalyse wurden mit durch die Umsetzungen steigender Erfahrung stetig weiterentwickelt, sodass heute ein ausgereifter Katalog (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**4) entstanden ist, der auch in anderen Regionen angewandt wird.

Für die Risikoanalyse in Lunden und Lehe konnten die im ersten Testbetrieb gemachten Erfahrungen dazu genutzt werden, die zu analysierenden Faktoren weiter zu verfeinern. So wurden von Interlink Messungen der Funk- und Satellitensignalqualitäten (GNSS und GSM/LTE) durchgeführt, welche für die Eingangsdaten der Fahrzeugpositionierung relevant sind. Der Katalog an Risikokriterien wird laufend an neue Entwicklungen, neue Technik anderer Hersteller und neue rechtliche Rahmenbedingungen angepasst. Der Einbezug von drei Herstellern in das NAF-Bus-Projekt war dabei sehr hilfreich.

Tabelle 4: Risikokriterien

Nr.	Kategorie
1	Fahrspurbreite
2	Fahrbahnbelag (Art)
3	Fahrbahnbelag (Zustand)
4	Fahrbahnmarkierungen, -begrenzungen
5	Haltestellen (feste)
6	Lichtsignalanlagen
7	Poller-Anlagen und Schranken
8	Bahnübergang
9	Fußgängerüberweg

10	Radwegführung
11	Tunnel, Unterführungen, Haus-Durchfahrten
12	Neigungen
13	Lokalisierungselemente
14	Mischverkehrsflächen ohne/mit wenig Bebauung
15	Sichtbarkeit anderer Verkehrsteilnehmer
16	Wendepunkte
17	Vegetation
18	Geschwindigkeiten
19	Parken und Halten im Straßenraum
20	Einbahnstraßen
21	Linksabbiegen
22	Vorfahrtregelungen
23	Mehrspurige Straßen
24	Verkehrsaufkommen
25	Straßenkategorie (Baulastträger)
26	GSM-Qualität
27	LTE-Qualität
28	GNSS-Qualität
29	Satelliten-Anzahl
30	Abstellort
31	Ladestation (außerhalb der Garage)
32	Sonstige Gefahrenpunkte

Alle drei Betreiber wurden bei dem gesamten Prozess vom Interlink-Team unterstützt. Die Risikoanalysen wurden nach Analyse der Hersteller aktualisiert und als Teil der Genehmigungsunterlagen eingereicht. Die Inhalte mussten darüber hinaus als Streckenkonzepte aufgearbeitet werden, deren Passfähigkeit zum sonstigen Mobilitätssystem von den zuständigen Behörden schriftlich bestätigt werden mussten, um die Betriebserlaubnis der Fahrzeuge erhalten zu können.

12.2.2 Fahrzeugbeschaffung

Für die Umsetzung der Projektziele wurden im Rahmen eines Vergabeverfahrens drei automatisierte Fahrzeuge beschafft. Vor Start des Vergabeverfahrens wurde gemeinsam mit der Projektgruppe des ebenfalls vom BMVI geförderten Projektes „AutoNV_OPR“ ein gemeinsames Vorgehen beschlossen, um Synergien bezüglich des Zeitmanagements und möglicher Mengenrabatte heben zu können. So wurde das Vergabeverfahren in Abstimmung und zeitlich parallel durchgeführt.

Die Grundlage der Fahrzeugbeschaffung bildeten mehrere intensive Abstimmungsgespräche zwischen den drei Betreibern, weiteren NAF-Bus-Partnern sowie mit Projektpartnern von AutoNV_OPR zur Formulierung der Anforderungen an die zu liefernden Systeme und die

einzusetzenden Fahrzeuge, insbesondere hinsichtlich der für den Einsatz im ÖPNV sowie zur Erreichung der Projektziele wichtigen Punkte. Das erstellte Lastenheft beschreibt ausführlich die Anforderungen an das Fahrzeug, Systemkomponenten, Schnittstellen und Rahmenbedingungen, wie bspw. die Kompetenzen der Hersteller, Datensicherheit etc. Es wurde zwischen September und Dezember 2017 erarbeitet und enthielt schlussendlich 249 Punkte (darunter Muss- und Kann-Kriterien). Darauf aufbauend und ergänzend wurde eine Marktanalyse erstellt, die einen Marktüberblick zu potenziellen Lieferanten automatisierter Klein- und Minibusse gab (wurde ab November 2017 stetig weitergeführt).

Aufgrund der geringen potenziellen Anbieterzahl, des engen Zeitplanes, der begrenzten Kenntnisse über die innovative Technologie und der kurzen Vorbereitungszeit vor Einsatz der Fahrzeuge wurde ein Verhandlungsverfahren gewählt. Auf Basis einer Marktsondierung und der Abfrage des Interesses bei den identifizierten Herstellern wurde eine Verhandlungsphase über die abgegebenen Angebote und Vertragsinhalte abgeschlossen. Im Wesentlichen wurden folgende Schritte durchlaufen: Erstellung Lastenheft, Einholen der Interessenbekundungen, Zusendung der Vergabeunterlagen, Angebotseinholung, Verhandlungsgespräche inkl. einer gemeinsamen Streckenbesichtigung, Angebotsprüfung, -auswertung und Entscheidung für das beste Angebot. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen wurden für zukünftige Vergabeverfahren und Projekte aufbereitet.

Im Vergabeverfahren reichten HFM sowie die französischen Hersteller EasyMile und Navya Angebote ein und wurden zur Angebotspräsentation eingeladen. HFM kündigte an, dass ihr Fahrzeugmodell erst ab Oktober 2018 lieferfähig sein würde, so dass die Firma für die ersten beiden Testbetriebe nicht in Frage kam. EasyMile und Navya wurden daraufhin zu Vertragsverhandlungen inkl. einer Vor-Ort-Besichtigung in Nordfriesland eingeladen. Die Angebote und Verhandlungsergebnisse wurden anhand von einheitlichen Bewertungskriterien bewertet.

Der GTC entschied sich für das Leasing eines EasyMile-Fahrzeuges, die SVG für den Kauf eines Navya-Fahrzeuges. Im Sommer 2018 wurden für das dritte Fahrzeug mit allen drei Anbietern Streckenbesichtigungen im Kreis Dithmarschen durchgeführt bzw. Videomaterial zur groben Analyse zur Verfügung gestellt. Die Autokraft hat sich daraufhin für den dritten Anbieter HFM entschieden, da es der Einzige war, der die Machbarkeit für eine der möglichen Strecken positiv einschätzte. HFM überzeugte außerdem mit Erfahrungen aus dem Fahrzeugbau (Fokus auf Homologation), der möglichen Geschwindigkeit von 49 km/h im manuellen Betrieb und der Offenheit zur Kooperation mit den Projektpartnern. Außerdem war es für das Gesamtprojekt sehr reizvoll die drei damals in Deutschland verfügbaren Hersteller direkt miteinander vergleichen zu können und Erfahrungen zu sammeln.

In diesem Zusammenhang stellt die Lieferverzögerung des dritten Herstellers, HFM, ein wesentliches Ereignis dar, welches folgend näher erläutert wird. Aufgrund der starken Lieferverzögerung wurden von den NAF-Bus-Partnern Regelungen für die Außenkommunikation entwickelt sowie eine Strategie für den Umgang mit dem Hersteller verabredet, um mehr Verbindlichkeit zu erzeugen. Dazu gehörten auch regelmäßige Besuche des Werks und Statusmeldungen seitens HFM.

12.2.3 Betriebskonzepte und Handbücher



Abbildung 12: Fahrplan NAF-Bus auf Sylt

Für die drei Testbetriebe wurden die wichtigsten Informationen zum Fahrtenprogramm, Streckenverlauf, Abstellort der Fahrzeuge, Personalbedarf, zu Haltestellen, Betriebszeiten, Ladepunkten sowie zur Organisation des Betriebes und dessen Überwachung in Zusammenarbeit mit den Betreibern erarbeitet und jeweils in einem Betriebskonzept genannten Dokument zusammengestellt.

Interlink erstellte zudem je Fahrzeugtyp ein Handbuch, das auf die jeweiligen Einsatzorte zugeschnitten das System erläutert, die erforderlichen Prozesse für die Fahrzeugführenden sowie die Leitstelle beschreibt sowie Verantwortlichkeiten und Kommunikationswege festlegt. Als Ergänzung zu den Bedienungsanleitungen der Hersteller beschreiben die Handbücher die Betriebsdurchführung inkl. besonderer Vorkommnisse (auch in Notfällen) und Prozessketten. Beide Unterlagen wurden als wichtige Bestandteile mit der Antragstellung für die Betriebserlaubnis der Fahrzeuge eingereicht.

12.2.4 Genehmigungen

Im Projekt NAF-Bus wurde mit dem Navya-Fahrzeug der SVG auf Sylt der erste Zulassungsprozess eines automatisierten People-Movers in S-H durchlaufen, was sich als maßgeblich für alle weiteren Aktivitäten in S-H gezeigt hat. Nach dem DB-Projekt in Bad Birnbach war es die zweite Zulassung eines solchen Fahrzeugsystems in Deutschland.

Als wichtiger erster Schritt wurden Gespräche mit der Straßenverkehrsbehörde des Kreises Nordfriesland und dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus des Landes S-H (MWVATT) geführt, um die Anforderungen und Zuständigkeiten für die Genehmigungsprozesse abzuklären. Für den Testbetrieb auf dem GTC war es nicht erforderlich, eine Betriebserlaubnis zu beantragen, weil die Strecke sich nicht im öffentlichen Raum befand (die Kriterien, ob ein Gelände öffentlich genutzt wird oder nicht, wurden vom NAF-Bus-Partner, der CAU zu Kiel, geprüft). Für die zwei anderen Testbetriebe musste je eine Einzelbetriebserlaubnis erlangt werden. Dazu musste für das Fahrzeug ein technisches Gutachten durch einen amtlich anerkannten Sachverständigen erstellt werden. Gemeinsam mit den Projekten AutoNV_OPR und TaBuLa wurden Angebote von verschiedenen Technischen Prüforganisationen eingeholt. Der Eingang und die Bewertung aller Angebote führten zur Auswahl der TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG.

Die SVG erhielt für ihr Navya-Fahrzeug ein positives Gutachten. Die erste Prüfung durch TÜV NORD Mobilität erfolgte direkt beim Hersteller in Lyon, um eventuell geforderte Umbaumaßnahmen noch im Werk vornehmen zu können. Nach weiteren Prüfungen in der Zentrale in Hannover konnte die fahrzeugseitige Prüfung abgeschlossen werden. Parallel wurde der Bedarf infrastruktureller Maßnahmen mit dem Hersteller im Detail geplant und dafür erforderliche Anordnungen und Baugenehmigungen eingeholt. Interlink erstellte und aktualisierte die für die Ausnahmegenehmigung einzureichenden Unterlagen (Risikoanalyse, Betriebskonzept, Handbuch, Streckenkonzept) und organisierte sowie begleitete die Abnahme der automatisierten Fahrfunktionen direkt auf der Strecke in Keitum, welche durch TÜV NORD Mobilität zusammen mit dem Kreis Nordfriesland und dem MWVATT durchgeführt wurde.

Damit konnte bei der Straßenverkehrsbehörde des Kreises Nordfriesland, die durch das MWVATT unterstützt wurde, eine Einzelbetriebserlaubnis gem. § 21 StVZO i. V. m. einer Ausnahmegenehmigung gem. § 70 StVZO beantragt werden. Mit der erfolgten Einzelbetriebserlaubnis und bestehender Kfz-Haftpflichtversicherung konnte die Zulassung des Fahrzeugs erwirkt werden. Mit dem zugelassenen Fahrzeug konnte beim ÖPNV-Aufgabenträger des Kreises Nordfriesland die Genehmigung des Linienverkehrs gem. § 2 Abs. 7 PBefG zur praktischen Erprobung neuer Verkehrsmittel i. V. m. § 42 PBefG erwirkt werden.

Der gleiche Prozess wurde im Projektverlauf für den dritten Testbetrieb in Lunden und Lehe gestartet. Es wurde ebenfalls der Sachverständige des TÜV NORD Mobilität beauftragt, Fahrzeug und Strecke zu prüfen. Es wurden Vor-Ort- sowie Abstimmungstermine mit der Straßenverkehrsbehörde des Kreises Dithmarschen durchgeführt und die infrastrukturellen Maßnahmen mit Bürgermeistern, Polizei und Ordnungsamt abgestimmt. Interlink erstellte und aktualisierte ebenso die für die Ausnahmegenehmigung einzureichenden Unterlagen: Risikoanalyse, Betriebskonzept, Handbuch und Streckenkonzept. Die Koordination des Genehmigungsprozesses erfolgte zusammen mit dem Fachdienst Straßenverkehr des Kreises Dithmarschen, TÜV NORD Mobilität und MWVATT. Da sich die Fahrzeuglieferung über das Ende des Berichtszeitraumes erstreckt, konnte der Genehmigungsprozess erst im Jahr 2021 abgeschlossen werden.

12.2.5 Inbetriebnahme

Das erste Fahrzeug der Firma EasyMile wurde im Juni 2018 bei einem Pressetermin auf dem GTC in Enge-Sande offiziell vorgestellt. Das automatisierte Shuttle kann für Fahrten von Gästen sowie Lehrgangsteilnehmern über ein Online-Tool gebucht werden (<https://www.greentec-campus.de/emil-und-testgelaende/>).

Der Betrieb auf dem Wissenschaftscampus weist die Vorteile eines Privatgeländes auf, wird stetig weiterentwickelt und inkludiert außerdem als einer der ersten öffentlichen Testbetriebe die Erprobung des SAE-Level-4-Fahrens (Betrieb ohne Operator).

Am 04. Mai 2019 wurde der Betrieb der Keitumer Teststrecke auf Sylt mit dem Navya-Fahrzeug für Fahrgäste offiziell eröffnet.

Der Start des dritten Fahrgastbetriebes in Lunden und Lehe wird voraussichtlich im zweiten Quartal 2021 stattfinden. Interlink unterstützte die Betreiber auf dem Weg zur Inbetriebnahme bei allen erforderlichen Aktivitäten.

12.2.6 Akteursbeteiligung

Interlink beteiligte sich aktiv an der Vorbereitung und Durchführung einer Bürgerveranstaltung auf Sylt im April 2019 sowie an einer Informationsveranstaltung bei den Gemeindevertretungen von Lunden und Lehe im Mai 2019. Im Kreis Dithmarschen wurde der Kontakt mit den lokalen Akteuren gepflegt, um diese bezüglich der Lieferverzögerungen auf dem Laufenden zu halten.

12.2.7 Analyse und Auswertung der Ergebnisse der Betriebe

Von den Betreibern, Nutzern und anderen Verkehrsteilnehmern wurden nach der Betriebsaufnahme jeweils Erfahrungen mit dem Betrieb, den Fahrzeugen und der Streckenführung gemacht. Diese Erfahrungen wurden ausgewertet und die Umsetzung und Anpassung z. B. in Details der Streckenführung oder bei einzelnen Haltestellenstandorten sowie bei der Identifikation von Nacharbeiten bei der baulichen Anpassung und der verkehrstechnischen Systeme im Umfeld geprüft. Als Ergebnis entstand eine Zusammenstellung möglicher Einsatzszenarien mit automatisierten Bussen verschiedener

Gefäßgrößen und ihrer prognostizierten Umsetzbarkeit (heute, mittelfristig, langfristig). Außerdem konnte die Methodik bei der Risikoanalyse immer weiter verfeinert werden.

Es wurde darüber hinaus der Entwicklungsstand des nachfragegesteuerten, autonomen Fahrens inklusive der Grenzen und Möglichkeiten von Softwarelösungen untersucht und zusammengestellt. Im Rahmen dieses Projektes war das automatisierte nachfragegesteuerte Fahren aus technischen und finanziellen Gründen nicht möglich, weil die Fahrzeugsysteme entlang fester Trajektorien auf entsprechend vorbereiteten Strecken fahren und nur dort zugelassen werden. Der Eingriff einer Nachfrage-App auf die Fahrzeugsteuerung war im Projektzeitraum mit den Modellen der Marktführer Navya und EasyMile noch nicht möglich. Es entwickelt sich erst allmählich in nachfolgenden Projekten zu einer technisch machbaren Alternative (z. B. beim Projekt ReallabHH in Hamburg).

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik der CAU wurden außerdem die Grundlagen für potenzielle Testszenarien, die die Fahrzeuge durchlaufen würden, erarbeitet, die sich methodisch an den häufigsten Unfallursachen im Straßenverkehr orientieren.

Im NAF-Bus-Projekt sollten am Markt verfügbare, elektrisch angetriebene, automatisiert fahrende Busse im ÖPNV in drei Szenarien getestet und hinsichtlich ihrer Eignung für on-demand-Verkehr untersucht werden. Ziel war es, die Fahrzeuge im Flächenverkehr mit spontaner Fahrtwunschanmeldung über eine Bestell-Plattform, also auf nicht vorab bekannter Streckenführung einzusetzen. Die Gebiete sollten inner- und außerorts im ländlichen Raum liegen und mit bestehenden Bus- und Bahnlinien verknüpft sein. Abschließend war es das Ziel, auf Basis der gemachten Erfahrungen ein neues Geschäftsmodell für die bedarfsgesteuerte und routenoptimierte Angebotserweiterung im ÖPNV zu entwickeln.

Der Betrieb mit den im Jahr 2018 verfügbaren Fahrzeugen der in Europa aktiven Hersteller setzt das Kartographieren der jeweiligen Strecke und das Programmieren der Fahrzeugfunktionen voraus. Die Fahrzeuge fahren auf den eingemessenen Strecken in möglichst wenig komplexen Umgebungen entlang eines Referenzpfades.

Die Hersteller verbauen verschiedene Sensoren bzw. verschiedene Sensorkombinationen in ihren Modellen, z. B. Satellitensignal-Empfänger, Radumlaufzähler, Laserscanner und Kameras. Die Umgebung wird mit diesen kontinuierlich erfasst, wodurch die Orientierung, Lokalisierung und Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr möglich ist. Im automatisierten Modus ist das Umfahren von auf der Strecke befindlichen Hindernissen, wie regelwidrig parkenden Fahrzeuge oder im Weg stehende Mülltonnen, im geringen Rahmen (wenige Zentimeter) bereits möglich. Allerdings ist das Einfahren in die Gegenfahrbahn zum autonomen Umfahren von Hindernissen noch nicht realisiert. Einfache Verkehrssituationen, wie gleichberechtigte Kreuzungen, erhöhtes Verkehrsaufkommen oder ordnungsgemäß parkende Fahrzeuge, werden erkannt und im Regelfall bewältigt. Um außerhalb der vordefinierten Strecke zu fahren oder um größeren Hindernissen auszuweichen, muss auf den manuellen Modus ausgewichen werden, der durch einen Fahrzeugführer mit einer Steuerungseinheit erfolgt. Die erreichbare Geschwindigkeit ist abhängig vom Fahrzeugmodell, vom Fahrmodus (manuell oder automatisiert), von der jeweiligen Genehmigungsbehörde zugelassenen Höchstgeschwindigkeit und von den Umgebungsbedingungen (z. B. Begrenzung auf Schrittgeschwindigkeit in einer Spielstraße). Die rechtlich bedingte Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge liegt jedoch bei 25 km/h. In den aktuellen Testbetrieben in Deutschland wurden maximal 20 km/h genehmigt, da ebenfalls die Komplexität der Einsatzumgebung von den Behörden in den Genehmigungsprozess einbezogen wurde.

Die geplanten Ziele im NAF-Bus-Projekt wurden zu großen Teilen erreicht. Es wurden zwei am Markt verfügbare, elektrisch angetriebene, automatisiert fahrende Busse im Fahrgastbetrieb in unterschiedlichen Szenarien getestet. Ein dritter befindet sich, wie schon beschrieben, in der Beschaffung und die Vorbereitung der Inbetriebnahme ist bereits weitestgehend abgeschlossen. In der Zeit der Projektverlängerung wird der Fahrgastbetrieb aufgenommen. Die drei ausgewählten Testgebiete liegen außerhalb großer Zentren, also im

ländlich sowie kleinstädtisch geprägten Raum. Der zweite und dritte Betrieb wurde jeweils mit bestehenden Bus- und Bahnlinien verknüpft. Beim ersten war dies nicht möglich, da die am GTC anliegende Lecker Straße mit 50 km/h eine zu hohe Geschwindigkeit für die Shuttle-Fahrzeuge aufweist, die nur auf Straßen mit 30 km/h Höchstgeschwindigkeit eingesetzt werden können.

Die geplante Gestaltung der Betriebskonzepte wurde dahingehend eingeschränkt, dass die technologische Reife des automatisierten Fahrens bei den für den ÖPNV geeigneten Fahrzeugen noch nicht sehr fortgeschritten war bzw. sich im Projektverlauf nicht stark genug weiterentwickelt hat. Außerhalb geschlossener Ortschaften zu fahren, was für den ländlichen Raum höchst relevant ist, um die Verknüpfung mit ÖPNV-Knotenpunkten zu realisieren, war aufgrund der Geschwindigkeitsbegrenzungen auf maximal 25 km/h nicht möglich. Zu Einschränkungen kam es auch bei dem nachfragegesteuerten Fahren im öffentlichen Raum. Aufgrund der Bindung des Fahrzeuges an eine Trajektorie ist jede Streckenveränderung und -erweiterung bisher an hohe Kosten und hohen Verwaltungsaufwand geknüpft (diese Funktion wird in den neusten Projekten mit automatisierten Shuttle-Bussen weiterentwickelt). Die verfügbaren Fahrzeugsysteme waren noch nicht für den on-demand-Verkehr geeignet und so konnten im NAF-Bus-Projekt die Möglichkeiten und Grenzen umfassend untersucht werden. Das Ziel, die Fahrzeuge im Flächenverkehr mit spontaner Fahrtwunschanmeldung über eine Bestell-Plattform einzusetzen, konnte nicht erreicht werden. Es mangelte an der Schnittstelle zwischen Bestell-Plattform und Fahrzeugsteuerung. Außerdem hätten alle denkbaren Streckenvarianten geplant, infrastrukturell vorbereitet und eingemessen werden müssen, was den zeitlichen und finanziellen Rahmen des Projektes überstiegen hätte.

Daher wurden Linienverkehre geplant, welche allerdings auch einen sinnvollen verkehrlichen Nutzen zur Feinerschließung darstellten. Zudem war es aus rechtlichen Gründen im öffentlichen Raum stets erforderlich, dass ein Fahrzeugführer im Fahrzeug anwesend war und Überwachungs-/Übernahmepflichten erfüllte. Daher wird das Automatisierungslevel der Fahrzeuge als Level-3-System eingestuft. Die Fahrzeuge sind nicht fähig, alle Situationen in einem bestimmten Anwendungsfall zu bewältigen (z. B. kein Umfahren von Hindernissen auf der Trajektorie), außer, wenn der Anwendungsfall sehr simpel ausgewählt wird. Auf dem GTC wurde dies demonstriert, da eine Teilstrecke mit Level 4 befahren wurde. Somit wurden alle Möglichkeiten der aktuellen Technik im Rahmen des Projektes ausgeschöpft.

Das Ziel, ein skalierbares Geschäftsmodell für den ÖPNV mit Routenoptimierung zu entwickeln, konnte somit nicht erreicht werden. Die Ergebnisse und Erfahrungen der Testbetriebe konnten jedoch dazu genutzt werden, den Handlungsbedarf für den Weg dorthin zu identifizieren und in die aktuellen Diskussionen rund um Anschlussaktivitäten und die gesetzlichen Änderungen für das autonome Fahren einzubringen.

12.3 FLS – Entwicklung der Echtzeitplanung für die autonomen Busse

Im Rahmen des Förderprojekts war die Aufgabe der FLS, ein System zu entwickeln, das nachfrageorientiert die Routen der eingesetzten Fahrzeuge optimiert. Ursprünglich waren folgende Komponenten hierfür vorgesehen:

1. Ein cloud-basierter Optimierungsserver
2. Eine App für den Fahrgast, mit dem er seine Fahrten buchen kann
3. Eine Schnittstelle zum Bus, um die optimierten Routen auf das Fahrzeug zu übertragen

Der dritte Punkt wurde durch folgenden Punkt ersetzt, als klar wurde, dass der Bushersteller EasyMile eine entsprechende Schnittstelle nicht zur Verfügung stellte:

4. Eine App für den Stewart, der den Bus steuert und entsprechend der Optimierung den Bus zu den Haltestellen steuert

Die Punkte 1, 2 und 4 sind bis zum Projektende umgesetzt worden. Abschließende Tests vor Ort auf dem GTC führten zur Veröffentlichung des finalen Releases. Unter Last ist die Anwendung mangels Fahrgäste allerdings nicht erprobt worden.

Die Schnittstelle zum Energiemanagement des Busses (zum von der Moteg im Laufe dieses Projekts entwickelten System) war ursprünglich geplant. Da das Energiemanagement im Laufe des Projekts aus Sicht der Routenoptimierung allerdings nicht notwendig war (der Bus musste im Laufe einer Route nicht mit leerer Batterie an die Ladestation) und weil die Entwicklungsarbeiten an den übrigen Themen deutlich mehr Aufwand bedeuteten, wurde dieser Punkt verworfen.

12.3.1 Der cloud-basierte Optimierungsserver

Die FLS hat ein im Internet erreichbaren Optimierungsserver bereitgestellt mit folgenden Merkmalen und Aufgaben:

- a. Absicherung durch verschlüsselte Verbindung mit Authentifizierung der User
- b. Erreichbarkeit durch Fahrgast- und Stewart-App
- c. Entgegennahme von Fahraufträgen durch die Fahrgast-App
- d. Optimierung der Einplanung von Fahraufträgen mit allen Ein- und Ausstiegen und Vermeidung von zwischenzeitlichen Überladungen
- e. Berechnung aller Fahrzeiten und Distanzen auf Basis des vom Fahrzeughersteller auf dem GTC eingemessenen Straßennetzes mit allen Haltestellen
- f. Abruf der Bus-Position in Echtzeit und Darstellung derselben auf der Landkarte

Für Punkt b und c waren umfangreiche Arbeiten an den Server-Schnittstellen notwendig. Fahraufträge mussten erfasst, Termine vorgeschlagen und ein Auftrag storniert werden können. Weiterhin musste eine Funktion entwickelt werden zum Anlegen von Accounts und Passwörtern für neue User der Fahrgast-App.

Für Punkt d wurde ein Großteil der Entwicklungszeit verbraucht. Alle Fahraufträge bestehen intern aus zwei Aufträgen (Einstieg und Ausstieg), die zwar hintereinander, ansonsten aber mit anderen Ein- und Ausstiegen gemischt werden können. Eine zwischenzeitliche Überladung soll ausgeschlossen sein. Hierfür wurde der mathematische Optimierungsalgorithmus stark angepasst und ist als Ergebnis nun in der Lage, ganz allgemein Routen für die Personenbeförderung zu optimieren.

Für Punkt e war es notwendig, die vom Bushersteller erfassten Strecken im Geo-JSON Format zu importieren. Standardmäßig arbeiteten FLS Programme mit realen Straßennetzen. Dies musste für das Projekt deaktiviert werden. Stattdessen sollte ein externes Netz für die Berechnung aller Distanzen und Fahrzeiten herangezogen werden. Zusätzlich sollte dieses Layer auch auf einem Bild sichtbar gemacht werden, das der User in seiner Fahrgast-App sieht.

Für Punkt f musste eine Schnittstelle zum Bushersteller EasyMile implementiert werden, die in Echtzeit die Position des Fahrzeugs abrufen und an die Fahrgast-App weitergibt.

Das gesamte System (Server und Apps) wurden häufig upgedated, da fortwährend daran gearbeitet wurde.

12.3.2 Die Fahrgast-App

Die Fahrgast-App ist von der FLS vollkommen neu entwickelt worden und hat folgende Merkmale und Aufgaben:

- a. Als PWA App ist sie lauffähig unter iOS, Android, Windows und Linux
- b. Der Fahrgast kann sich mit seiner E-Mail registrieren und anmelden
- c. Der Fahrgast kann Start- und Zielhaltestelle aus einer Liste auswählen
- d. Der Fahrgast kann Wunschzeit für Abfahrt oder Ankunft wählen
- e. Er erhält eine Rückmeldung, falls die Einplanung nicht möglich ist
- f. Der Auftragsstatus ist sichtbar
- g. Der Fahrgast kann einen Auftrag stornieren
- h. Der Fahrgast kann die Position des Busses live sehen
- i. Fahrgast soll nach dem Transport über einen Link an einer Umfrage der CAU zur Akzeptanz teilnehmen können

Die Fahrgast-App wurde mit dem modernen Ionic Framework entwickelt. Die Schnittstellen zum Server sind umfangreich und wurden in der Projektlaufzeit permanent erweitert. So kann die App beispielsweise nach der aktuellen Position des Busses fragen und diese auf der Landkarte darstellen.

12.3.3 Die Stewart-App

Auch die Stewart-App ist von der FLS vollkommen neu mit dem Ionic Framework entwickelt worden und hat folgende Merkmale und Aufgaben:

- a. Als PWA App ist sie lauffähig unter iOS, Android, Windows und Linux
- b. Der Stewart des Busses kann sich einloggen
- c. Der Stewart sieht die nächsten anzufahrenden Stationen mit der Anzahl der Ein- und Ausstiege
- d. Der Stewart kann die Ankunft und Abfahrt quittieren. Bei Einstiegen kann er zusätzlich angeben, ob geplante Fahrgäste eingestiegen sind. Falls nicht, werden die entsprechenden Fahraufträge im System gelöscht und es entfallen die entsprechenden nachfolgenden Ausstiegshalte
- e. Der Stewart kann Feierabend melden. Die Tour wird dann für die Planung gesperrt, noch nicht angefahrte Haltestellen aus der Tour gelöscht

Eine explizite Einstiegskontrolle in Form von QR-Codes an der Einstiegstür o. ä. sieht die Ausstattung des Fahrzeugs nicht vor.

12.4 GTC - Entwicklung der Nutzung auf Testgelände und Betrieb, Schwerpunkt Schulungsteilnehmer und Besucher auf dem Campus

The image shows a survey form for the NAF-Bus project. At the top, there are logos for GreenTEC Campus, CAU (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), and NAF-BUS. The main heading is 'FAHRGASTBEFRAGUNG'. Below this, there is a section for 'Liebe Gäste des GreenTEC Campus,' followed by an introduction and contact information for the Geographisches Institut der CAU. The survey is divided into two main sections: 'Anlass und Nutzungspräferenzen' and 'Zu welchem Anlass nutzen Sie diesen autonomen Bus?'. Each section contains a list of options with checkboxes and a text input field for 'Sonstiges:'. The first section asks why the respondent is at the GreenTEC Campus, with options like 'Ich arbeite hier', 'Ich nehme hier an einer Schulung / an einem Training teil', etc. The second section asks for the reason for using the autonomous bus, with options like '... zum Spaß', '... aus Neugierde', etc.

Abbildung 13: Fragebögen NAF-Bus GTC

In Zusammenarbeit mit der CAU Kiel wurden für Fahrgäste des autonomen Shuttles EMil für den Fahrgastbetrieb auf dem GTC in Engesande Fragebögen angefertigt, an die Fahrgäste verteilt und auf freiwilliger Basis von diesen ausgefüllt. Inhalt der Akzeptanzstudie waren Fragen zum Wohlfühl und Eindrücke des autonomen Busses. Des Weiteren wurden Abfragen über mögliche zukünftige Nutzung solcher Fahrzeuge gemacht, um einen Eindruck über mögliche Bedarfs-/Nutzungsaspekte zu erhalten. Ergebnisse zu der Umfrage finden sich im Teiler der CAU zu Kiel.

Mit dem Projektpartner Moteg wurden Testszenarien entwickelt, um realistische Verbrauchsdaten bei unterschiedlichen Bedingungen zu erhalten. Hierbei wurden bei unterschiedlichen Wetterbedingungen unterschiedlich angeschaltete Verbraucher sowie unterschiedliche Beladungen mit in die Untersuchungen einbezogen. Auch die zu fahrende Strecke wurde mit Hilfe eines GPS-Trackers genau vermessen, womit gleichzeitig die topologischen Daten erfasst werden konnten. Mit den hierbei gewonnenen Daten lassen sich zukünftig Streckenmodelle simulieren, um genauere Vorhersagen über

Reichweite und Einsatzzeiten zu erhalten. Dies stellt für einen Betreiber einen enormen Vorteil in der Einsatz- und Kostenplanung dar.

Auf der gut zwei Kilometer langen GTC-Strecke wurden im Laufe des Projektes ca. 5.000 km gefahren. Das Fahrzeug wurde - unter Beachtung der Herstellerangaben - ganzjährig eingesetzt. Somit konnten unter anderem Erkenntnisse im Bereich Wetterbedingungen gesammelt werden. Es stellte sich heraus, dass gerade starker Schneefall oder Regen dafür sorgen, dass die LIDARS (light detection and ranging sensor) Hindernisse erkennen und dadurch Notstopps einleiten können. Aber auch nicht unmittelbar sichtbare wetterbedingte Ereignisse führten zu einer Unterbrechung des Fahrbetriebes. Hier sind speziell Nebel/Wasserdampf anzuführen. Wasserdampf entsteht zum Beispiel, wenn die Sonne nach einem Regenschauer die Straße wieder erwärmt/trocknet. Dies führt zu aufsteigendem Wasserdampf, welcher stellenweise mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen ist. Die hochauflösenden LIDARS können diesen aber detektieren. Wenn der Wasserdampf im nahen Sicherheitsbereich aufsteigt und das System dies als Hindernis wahrnimmt, wird die

Geschwindigkeit des Shuttles herabgesetzt. Ist das Hindernis – der Wasserdampf - wieder verflüchtigt, lässt das System das Shuttle wieder auf die vorprogrammierte Fahrgeschwindigkeit beschleunigen. Eine „unruhige“ Fahrt ist die Folge. Im schlimmsten Fall kann der Wasserdampf auch zu einem Notstopp führen.

Eine weitere Erfahrung, die im Zusammenhang mit den LIDARS gemacht wurde, ist der Einsatz im ländlichen Bereich. Hier wurde festgestellt, dass es unabdingbar war, eine den Jahreszeiten entsprechend regelmäßige Straßenrandpflege durchzuführen. Durch das Wachsen der Gräser am Straßenrand erreichten diese irgendwann eine für die LIDARS erkennbare Höhe, was auch wiederum zu einer Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit führte. Unter Umständen konnten Gräser, welche nahe der Fahrspur gewachsen waren, dazu führen, dass diese als Hindernis erkannt wurden und ein Stoppen des Fahrzeuges verursachten.

Das Fahren im ländlichen Bereich führte zu einer weiteren Erkenntnis. So ist die Lokalisierung dort sehr schwierig. Um eine bestmögliche Lokalisierung zu gewährleisten, werden feste unveränderliche Strukturen, wie z. B. Gebäude benötigt. Im rein ländlichen Bereich kann eine sichere Lokalisierung ohne diese Strukturen schwierig sein. Die im Vorfeld durch die businternen Systeme erstellte Karte kann nach kurzer Zeit zu ungenau werden. Nicht nur durch das Wachsen von Bäumen und Sträuchern verändert sich das Umgebungsbild für die LIDAR-Systeme erheblich. Das heißt, die vorher ermittelten Abstände stimmen nicht mehr überein. Das gleiche Problem entsteht bei unterschiedlichen Jahreszeiten. Eine im Sommer aufgenommene Karte wird im Herbst, wenn die Bäume ihre Blätter verlieren, ganz anders aussehen.

Um eine Lokalisierung in Bereichen ohne feste Strukturen zu ermöglichen, müssen Hilfsstrukturen aufgebaut werden. Auf dem GTC wurden hierfür 2 m x 1 m große Tafeln an den Straßenlaternen installiert. Diese dienen nun als Orientierungsflächen im Bereich des Waldstückes und sorgen jahreszeitenunabhängig für eine sichere Lokalisierung.

Im Bereich des Waldstückes konnte ebenfalls eine Verschlechterung des GPS-Signales beobachtet werden. Dies ist zum einen davon abhängig, mit wie vielen Satelliten das Shuttle verbunden ist, zum anderen von der Abschattung des Signales durch die Bäume. Auch hier spielen die Jahreszeiten wieder eine Rolle. So ist die Abschattung im Winter geringer als im Sommer, wenn die Bäume durch ihr Blattwerk eine größere Fläche und Dichte aufweisen.

Abschließend lässt sich zum Thema Lokalisierung/Sicherheit jedoch sagen, dass alle Systeme wie vorgesehen funktioniert haben und es keine Situationen gab, welche sich technisch nicht erklären ließen. Es gab keine Situation, in der das Shuttle unsicher oder ungewöhnlich reagiert hat.

Weitere technische Erkenntnisse wurden bei den Testfahrten mit unterschiedlichen aktiven Verbrauchern z. B. Klimaanlage, unterschiedlicher Beladung und bei unterschiedlichen Wetterbedingungen ermittelt. So zeigte sich, dass gerade Heizung und Klimaanlage einen hohen Energieverbrauch mit sich bringen und dadurch die Reichweite des Shuttles von ca. 120 km erheblich verringerten.

Dahingehend haben die Beladung oder die äußeren Wetterbedingungen eher minimalen oder gar keinen Einfluss auf die Reichweite. Nähere Informationen hierzu finden sich im Teil der Moteg wieder.

Mit der CAU wurden während des Projektes sicherheitsrelevante Tests durchgeführt. So wurde z. B. getestet, in welchem Bereich Objekte erkannt werden. Hierfür wurden Objekte wie Leitkegel in unterschiedlichen Winkeln und Abständen aufgestellt und das Verhalten des Shuttles bei Annäherung dokumentiert.

Auch während des Fahrens wurden sicherheitsrelevante Reaktionen des Busses untersucht. So wurde betrachtet, wie das Fahrzeug reagiert, wenn ein Verkehrsteilnehmer dicht am Fahrzeug vorbeifährt. Auch das Verlassen der Bushaltestelle bei gleichzeitigem Überholen durch einen Verkehrsteilnehmer (Auto, E-Scooter) wurde näher beleuchtet. Auch hier wird auf den Berichtsteil der CAU verwiesen.

Da während des Projektes ein sehr enger Kontakt mit dem Fahrzeughersteller EasyMile bestand, wurde das Shuttle des GTC immer auf dem neuesten Stand gehalten. Durch Softwareupdates wurde die Sicherheit, aber auch die Zuverlässigkeit des Fahrzeuges, verbessert. Ein Softwareupdate brachte z. B. den Mehrgewinn, dass beim Erstellen neuer Karten nicht wie bisher nur die oberen Lokalisierungslasersensoren benutzt werden, sondern nun auch die unteren Lasersensoren. Dies führte dazu, dass man ein genaueres Umfeld der zukünftigen Fahrstrecke zur Verfügung hatte und somit die Positionstreuung des Shuttles durch noch mehr Referenzpunkte verbesserte. Des Weiteren gestaltete sich das Erstellen der zukünftigen Fahrstrecke einfacher, da man nun noch mehr Umgebungsinformationen von niedrigeren Objekten an der Fahrstrecke erhielt. Somit waren anschließende nötige Optimierungen der Strecke geringer.

Im letzten Drittel des Projektes konnten tiefe Einblicke im theoretischen on-demand Betrieb des EZ10 Shuttles gemacht werden. Es wurde zwar serverseitig gezeigt, dass ein on-demand theoretisch möglich wäre und dieser auch funktionieren würde, aber eine Freigabe für das physische on-demand Fahren auf der Hauptstrecke des GTC wurde nicht erteilt. Somit konnte ein Grundbestandteil des Projektes „*das Nachfragegesteuerte Fahren – on-demand-Service*“ nur bedingt auf dem GTC umgesetzt und nur auf der extra abgesperrten Strecke getestet werden. Mit EasyMile wurde aber beschlossen, dass auf dem Gelände des GTC das operatorlose Fahren getestet werden könnte. Dies bedeutet, dass das Shuttle ohne jegliches Personal im Bus die ihm vorgegebene Strecke absolvieren muss. Hierfür wurde extra die vorhandene Fahrstrecke erweitert und ein Teilstück hergerichtet, welches vom öffentlichen Verkehr abgeriegelt wurde. Zusätzlich wurde für den No-Op Betrieb eine Leitstelle eingerichtet, welche ein Überwachen des Shuttles aus der Ferne erlaubte. Drei Mitarbeiter des GTC erhielten zusätzlich die Ausbildung zum Supervisor, um das Shuttle nicht nur beobachten, sondern auch von dem Leitstand aus bedienen zu können. Mit Hilfe des Leitstandes hatte man jederzeit Überblick über Position, Geschwindigkeit und alle technischen Systeme des Busses.

Anschließend mussten mehrere Phasen durchlaufen werden. Eine Phase zum Beispiel beinhaltete über 100 Stunden Fahrzeit mit einem Operator an Bord, welcher im Bus auf technische Auffälligkeiten achtete und einem Supervisor im Leitstand, welcher den Fahrbetrieb sicherstellte.

Ein technischer Aspekt, welcher nicht unerwähnt bleiben darf, ist die Tatsache, dass für den Betrieb des Shuttles eine serverseitige Anbindung zu EasyMile notwendig war. Das heißt, egal wann oder wo ein Einsatz eines EasyMile Busses gewünscht ist, musste mit dem Hersteller Rücksprache gehalten werden. Hierfür war unter anderem ein Sicherheitsbericht der Strecke anzufertigen, um eine Freigabe für die Strecke zu bekommen. Ohne diese Freigabe gab es keinen Fahrstrecken-Server und ohne diesen Server würde das Shuttle nicht fahren. Somit besteht, egal ob das Fahrzeug gemietet, geleast oder gekauft wurde, immer eine Abhängigkeit und war eine Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller zwingend nötig. War die Genehmigung erteilt und der Fahrstrecken-Server eingerichtet und freigeschaltet, konnte der Fahrbetrieb auf der Strecke jedoch unabhängig von EasyMile zu jeder Tageszeit erfolgen.

Als Fazit gab es die größte Änderung im Bereich „*Nachfragegesteuerter Shuttleservice*“ (on-demand). Nach einem Treffen mit dem Niederlassungsleiter DACH & Osteuropa und dem Cheftechniker EasyMile Frankreich auf dem GTC musste diese Bestrebung, ein autonomes Shuttle physisch über den Campus fahren zu lassen, erst einmal ad acta gelegt werden. Die

vorhandenen Strecken waren laut Aussage EasyMile für den on-demand Betrieb aus Sicherheitsaspekten nicht geeignet und erhielten keine Freigabe. Um einen solchen on-demand Betrieb auch physisch zu realisieren, müsste ein ganz neuer Bereich erschlossen und eingemessen werden. Die zu erwartenden Kosten standen in keinem Verhältnis zu dem eingeplanten Budget.

Als „Ersatz“ wurde mit EasyMile besprochen, einen neuen Weg einzuschlagen und das zukunftssträchtige No-Op Fahren auf dem GTC zu erproben. Der GTC wurde somit auserkoren, in Deutschland der erste Ort zu sein, welcher das operatorlose Fahren durchführen und erproben durfte und dies auch nach Projektende weiterhin tut.

Die neue Planung sah vor, dass Ende März/Anfang April 2020 alle Vorbereitungen abgeschlossen sein sollten und somit in den letzten beiden Monaten des Projektes Erfahrungen mit dem No-Op Betrieb gesammelt werden sollten. Die Corona-Pandemie sorgte auch hier für erhebliche Verzögerungen, so dass am Ende des Projektes 75% der nötigen Vorgaben, z. B. 100 Stunden mit einem Operator an Bord und einem Supervisor im Leitstand, abgeschlossen waren. Weitere Test hierzu führt der GTC jedoch auch nach Projektende durch.

12.5 SVG – Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Tourismus in Keitum

Mit dem Projektpartner Moteg wurden während des Testbetriebs in Keitum auf Sylt die Stromverbräuche untersucht und analysiert. Hierzu wurden verschiedene Testszenarien erstellt und durchgeführt. Die Betriebsstrecke in Keitum wurde mithilfe eines GPS Trackers aufgezeichnet und auch topologisch erfasst. Besonders bei extrem warmen oder auch kalten Temperaturen zeigten sich hier Schwächen bei den Verbrauchern Klima und Heizung.

Zusammen mit der CAU wurden sowohl die Anwohner an der Strecke im Betriebsgebiet in Keitum als auch die Fahrgäste zum Betrieb befragt. Eine Fahrgastbefragung im Shuttle diente der Analyse des Nutzungsgrundes und der Akzeptanz. Auch hier wird auf den Abschnitt der CAU weiter unten in diesem Bericht verwiesen.

Weiterhin wurden mit der CAU Testszenarien bezüglich der Sicherheit durchgeführt. Hier lag das spezielle Augenmerk auf der Sensorik. Ergebnisse über diese Testszenarien sind im Berichtsteil der CAU dargestellt.

Der autonom fahrende Bus der Sylter Verkehrsgesellschaft in Keitum

Wir laden Sie ein, einen Beitrag zur Senkung der Verkehrsbelastung in Keitum zu leisten.

Der autonom fahrende Bus verbindet den Parkplatz Keitum West mit der Ortsmitte und dem Heimatmuseum. So können Sie ohne Parkplatzsuche oder lange Fußwege Keitum erleben.

- Auto bequem am Ortseingang parken (Kreisell) und in den „KLEINEN BLAUEN“ einsteigen.
- ganzjähriger Fahrplan Dienstag - Samstag (siehe unten)
- barrierefrei und kostenlos.

Um einen Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten, fährt der Bus maximal 18 km/h und hält über Sensoren ausreichenden Sicherheitsabstand zu potentiellen Hindernissen. Wenn es auf der Straße mal eng wird, bleibt das Fahrzeug automatisch stehen, um niemanden zu gefährden. Ein Fahrzeugexperte (Operator) kontrolliert die Fahrt und kann jederzeit eingreifen.

Was ist zu beachten?
Der autonome Bus kann Hindernisse auf der Fahrbahn aus Sicherheitsgründen nicht automatisch umfahren. Steht etwa ein PKW im Parkverbot auf der Straße, ist die Weiterfahrt für den Bus und damit auch der nachfolgende Verkehr behindert. Erst nach Eingreifen des Operators kann das Hindernis umfahren werden.
Bitte vermeiden Sie daher – wie auch sonst – ein Parken im Halteverbot.

Linie 7 - Haltestellen in Keitum

FÜR SIE KOSTENFREI UNTERWEGS!

folgen Sie uns auf Facebook:
www.facebook.com/SylterVerkehrsgesellschaft

DIENSTAG - SAMSTAG		Witterungs- und wartungsbedingte Ausfälle möglich. Infos an den Haltestellen und Facebook											
	Abf. - Abfahrtszeit	gerichtet										April - Oktober	
1	Parplatz West	10:00	10:30	11:15	11:45	12:15	12:45	13:45	14:15	14:45	15:15	16:30	16:30
2	Mittel/Schmittz's Eck	10:03	10:33	11:18	11:48	12:18	12:48	13:48	14:18	14:48	15:18	16:33	16:33
3	Geertsteg	10:05	10:35	11:26	11:56	12:26	12:56	13:56	14:26	14:56	15:26	16:35	16:35
4	Melmsal	10:07	10:37	11:22	11:52	12:22	12:52	13:52	14:22	14:52	15:22	16:37	16:37
5	Am Tipkenhoop	10:09	10:39	11:24	11:54	12:24	12:54	13:54	14:24	14:54	15:24	16:39	16:39
6	Heimatmuseum	10:12	10:42	11:27	11:57	12:27	12:57	13:57	14:27	14:57	15:27	16:42	16:42
7	Prichwal	10:16	10:46	11:31	12:01	12:31	13:01	14:01	14:31	15:01	15:31	16:46	16:46
8	Parplatz West an	10:22	10:52	11:37	12:07	12:37	13:07	14:07	14:37	15:07	15:37	16:52	16:52

Sylter Verkehrsgesellschaft · Telefon 0 46 51 / 83 61 00 · info@svg-busreisen.de · www.svg-busreisen.de

Abbildung 14: Flyer Fahrplan Sylt

Da sich der NAF-Bus in Keitum im öffentlichen Verkehr bewegte, musste der TÜV Nord das Fahrzeug abnehmen und eine Betriebserlaubnis erteilen. Dazu waren kleine Anpassungen notwendig: Es wurden Spiegel im Fahrzeug angebracht und es wurden Aufkleber auf Deutsch angefertigt, die z. B. die Notausstiege, Nothaltnöpfe, Feuerlöscher, Operatorplatz und Türöffnerknöpfe gekennzeichnet haben. Die Beleuchtung im Shuttle und auch bei Fahrtrichtungswechseln wurde über den Hersteller per Update auf die deutschen Verkehrsregeln angepasst.



Abbildung 15: Navya Display im Fahrzeug

Außerdem wurde eine Ausnahmegenehmigung abweichend von §33 und §34 BOKraft eingeholt und eine Linienkonzession nach §42 PBefG beantragt. Unter Auflagen wurde der Betrieb im April 2019 genehmigt und Änderungen an der Softwareversion mussten gemeldet und neu genehmigt werden. Um in Keitum fahren zu können, wurde an einem zentralen Gebäude in Keitum eine GNSS Base/Antenne angebracht und die Strecke wurde mit spezieller Messtechnik eingemessen. Zusätzlich mussten im Kreisverkehr am Ortseingang Landmarker errichtet werden, da hier zu wenige Referenzpunkte für das Lidar-System vorhanden waren. Ohne diese Maßnahmen könnte das Shuttle nur manuell gefahren werden. Somit ist das Shuttle nur nach Umsetzung dieser Aspekte an anderen Orten einsetzbar. Über einen Display im Fahrzeug konnte der Operator zu jeder Zeit die erforderlichen Daten einsehen.



Abbildung 16: GNSS Base auf Sylt

Die Fahrten wurden von speziell ausgebildeten Operatoren begleitet, die jederzeit in den autonomen Betrieb eingreifen konnten. Voraussetzung an die Operatoren war, dass sie bereits zwei Jahre im Besitz eines PKW-Führerscheins waren und es musste eine Ausnahme bei der Verkehrsbehörde eingeholt werden, dass sie bis zu zehn Personen im Shuttle befördern dürfen.

An insgesamt vier Stellen/Kreuzungen musste der Operator dem Shuttle die freie Fahrt quittieren. Der Betrieb fand nach einer Liniengenehmigung von Dienstag bis Samstag statt (siehe Abbildung 14).

Eine besondere Herausforderung im Betrieb stellte die Akzeptanz der restlichen Verkehrsteilnehmer dar. Durch die maximale Geschwindigkeit von 18 km/h wurde der Shuttle oft überholt und aufgrund der engen Straßen in einem recht geringen Abstand, was starke, teilweise abrupte Bremsungen zur Folge hatte. Zudem mussten die Operatoren oft manuell Hindernisse umfahren, wie z. B. Falschparker und Mülltonnen. Dadurch, dass der Shuttle auf einer virtuellen Schiene fährt, kam es teilweise zu Unverständnis anderer Verkehrsteilnehmer, sofern die Fahrspur verengt war und der Shuttle nicht auswich, sondern stehen blieb.

Ein weiterer Schwachpunkt war der extrem hohe Stromverbrauch der Nebenaggregate, wie z. B. Heizung und Klimaanlage. Im Sommer bei sehr hohen Temperaturen und im Winter bei sehr niedrigen Temperaturen ließ sich der Tagesumlauf nur mit Zwischenladen darstellen. Hierbei kam heraus, dass ein gut belüfteter oder auch schattiger Platz zum Laden von Vorteil war. Bei zu hohen Temperaturen ließ sich das Shuttle nicht laden.

Dadurch, dass der Ort Keitum eine sehr starke Vegetation besitzt, mussten des Öfteren die Hecken und Äste der Bäume zurückgeschnitten werden, da diese in den Abtastbereich der Sensoren hineingewachsen waren. Auch durch Starkregen oder Schneefall wurde die Sensorik beeinträchtigt und der Verkehr wurde in diesen Fällen aus Sicherheitsgründen eingestellt.

Der restliche Betrieb verlief sehr positiv und auch bei Engstellen fuhr das Shuttle sehr zuverlässig vorbei. Selbst die „rechts-vor-links-Regeln“ bei den Seitenstraßen verliefen ohne Probleme. Im Verlauf der Strecke musste das Shuttle mehrfach abbiegen und erkannte selbstständig, ob dies z. B. durch Gegenverkehr möglich war.

Leider wurden seitens des Herstellers keine Schnittstellen für die Nachfragesteuerung frei gegeben. Insofern konnte der Betrieb nur als Fahrplan basierter Linienbetrieb getestet werden. Durch die fehlende Schnittstellen-Bereitstellung des Herstellers Navya konnte der Punkt „Nachfragegesteuerter on-demand Betrieb“ somit leider nicht umgesetzt werden. Es wurde zwar seitens des Projektpartners FLS eine App basierte Version der Nachfragesteuerung umgesetzt, jedoch nicht für den Standort Sylt/Keitum.

Ebenso konnte das Arbeitspaket „Installation induktive Ladestation“ nicht umgesetzt werden, da diese Technik bei dem Navya Shuttle nicht verfügbar war.

12.6 Autokraft - Entwicklung Betriebskonzept und Durchführung Testbetrieb, Schwerpunkt Pendlerverkehr in Lunden/Lehe

Innerhalb des Projektes sollte innerhalb eines ÖPNV-Bediengebietes eine Teststrecke ermittelt werden, bei der das dritte Fahrzeug aus dem Projekt verkehren sollte. Die geplante Teststrecke in Nordfriesland konnte u.a. aufgrund der Leistungsausschreibung im ÖPNV und der daraus resultierenden Unsicherheit bzgl. der weiteren Bedienung der Autokraft nicht umgesetzt werden. Daher wurde eine Alternativstrecke im Landkreis Dithmarschen (Lunden – Lehe) ausgesucht, die auch mit allen Akteuren vor Ort als geeignet eingestuft wurde. Leider konnte diese Strecke aufgrund verspäteter Lieferung des Fahrzeuges von HFM noch nicht in Betrieb genommen werden. Daher konnten bis zum 31.12.2020 noch keine wissenschaftlichen Ergebnisse gesammelt werden.

Die Streckenauswahl fiel auf den Landkreis Dithmarschen, damit die heute nicht so gut an den ÖPNV angeschlossene Ortschaft Lehe eine direkte Verbindung an den Bahnhof in Lunden bekommt. Zudem trugen die verkehrlichen Bedingungen (u. a. Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h) dazu bei, dass die Geschwindigkeitsdifferenz zu anderen Verkehrsteilnehmern nicht zu hoch wird. An den Stellen, wo die Geschwindigkeiten 70 km/h betragen, soll das Fahrzeug von HFM im manuellen Betrieb verkehren. Doch leider konnten auch hier keine Erkenntnisse gesammelt werden, da das Fahrzeug bis zum 31.12.2020 noch nicht ausgeliefert wurde.

12.7 Moteg - Entwicklung energetische Routenoptimierung und Berechnung Nachladezeiten

Innerhalb des Verbundprojekts lag der Fokus der Moteg auf dem Antriebs-, Energie- und Ladesystem, sowie den Klimatisierungs-/Heizungssystemen der eingesetzten Fahrzeuge. Hierbei bildeten die Ermittlung der Energieverbräuche bei unterschiedlichen klimatischen Einsatzbedingungen und Jahreszeiten, das Ladeverhalten und die Ermittlung tatsächlicher realer Ladeleistungen an unterschiedlichen Netzanschlüssen den Mittelpunkt der Fahrzeugtests und Analysen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollte dann eine Online-Software zur Energieberechnung und für das Lademanagement der Fahrzeuge im „on-demand“ Einsatz, zur Nutzung in Kombination mit einer Routingsoftware eines weiteren Projektbeteiligten Unternehmens entwickelt, programmiert, getestet und im Echtbetrieb der autonomen Fahrzeuge validiert werden. Weiterhin war es Ziel auf Basis der gewonnenen Daten ein Ladekonzept für alle Fahrzeugbetreiber, sowie ein Elektromobilitäts- und Einsatzkonzept

für den Betrieb der Fahrzeuge der Betreiber mit öffentlichem Dienstleistungsauftrag (SVG und Autokraft) zu entwickeln und zu erstellen.

Nachfolgende übergeordnete Projektziele galt es seitens der Moteg zum Projektende zu bewerten:

Test und Eignung verfügbarer elektrischer autonomer Busse für den on-demand Verkehr in ländlichen Räumen im ÖPNV:

- Im Flächenverkehr mit spontaner Fahrtwunschanmeldung über eine Bestellplattform
- auf nicht vorab bekannter Streckenführung
- inner- und außerorts im ländlichen Raum

Im Weiteren wird auf die Durchführung, Ergebnisse und Erkenntnisse der drei Arbeitspakete im Detail eingegangen.

Fehlende Informationen von Herstellerseite wurden durch erweiterten intensiven Testbetrieb bei den Betreibern der Fahrzeuge ermittelt. Hierbei sind die vorbildliche Kooperation und der persönliche Einsatz aller Mitarbeiter der entsprechenden Betreiber im Laufe des Projekts hervorzuheben.

12.7.1 Entwicklung Erfassung/Simulation Energieverbrauch und Optimierung Ladezyklen

Kern dieses Arbeitspakets war die Entwicklung und Programmierung der Online-Software zur Anbindung an eine separat durch die FLS zu entwickelnde Routing-Software. Ziel der Software der Moteg war hierbei, den Fahrbetrieb der autonomen Busse unter stets ausreichender Energiebevorratung sicher zu stellen, um ein Liegenbleiben des Busses aufgrund leerer Batterie auf einer im Vorfeld nicht bekannten Strecke zu vermeiden. Zu Beginn des Projektes wurden hierzu Workshops mit dem für die Routingsoftware verantwortlichen Unternehmen FLS und dem Projektpartner Interlink zur Koordinierung von Softwareschnittstelle und Format, sowie fahrzeugseitigen Schnittstelleninhalten durchgeführt. Ziel dieser Workshops war eine höchstmögliche Interoperabilität zu erreichen und die notwendigen Schnittstellenparameter im Lastenheft der Fahrzeugausschreibung zu verankern.

Wie sich schon sehr früh herausstellte, waren die Fahrzeuge nicht für einen on-demand Betrieb mit freier Routenführung auf unbekanntem Strecken fähig. Daher wurde seitens FLS in Rücksprache mit der Moteg entschieden, die Softwareschnittstelle zwischen Routing- und Energiemanagementsoftware nicht direkt zu implementieren und lediglich die Schnittstelle zu koordinieren, um eine spätere Implementierung ohne Probleme zu ermöglichen.

Nach Abschluss der inhaltlichen und technischen Koordinierung mit FLS, wurde dann im Rahmen des NAF-Bus Projekts zur schnellen und flexiblen Vorabberechnung des Ladeverhaltens und des Verbrauchs der Fahrzeuge seitens Moteg jeweils eine analytisch arbeitende Software für die allgemeine Verbrauchsberechnung und für das Ladeverhalten von batterieelektrischen Fahrzeugen programmiert und evaluiert. Für die Berechnung werden hierbei alle relevanten Parameter von einer externen Software an die Schnittstelle übergeben. Um unterschiedliche Fahrzeugtypen abbilden zu können, wurden die fahrzeugspezifischen Parameter für die im Projekt eingesetzten Fahrzeuge der Hersteller EasyMile und Navya durch einen umfangreichen Testbetrieb ermittelt. Als Rückgabe liefern die Funktionen dann die für die Strecke benötigte Energie bzw. den Energieverbrauch und den SOC nach Abschluss eines

Ladevorgangs. Somit kann die Software nachträglich in eine Routingsoftware integriert werden, sobald diese Funktionalität auch von den Fahrzeugen bereitgestellt werden sollte.

Die Validierung der Software erfolgte durch einen Vergleich mit der hochpräzisen, aber durch den numerischen Ansatz langsamen Software eMoPlan, welche ebenfalls durch die Moteg in der Vergangenheit entwickelt wurde. Durch die projektbezogene Parametrierung auf die eingesetzten autonomen Fahrzeuge, konnte zusätzlich die Verbrauchsberechnung als auch die Nachladeberechnung im Echtbetrieb evaluiert werden. Entwicklung, Parametrierung und Evaluierung erfolgte hierbei primär in Kombination mit dem durch den GTC beschafften Fahrzeug der Firma EasyMile, da sich die Auslieferung des Busses von Navya für die SVG um ca. ein Jahr verzögerte. Die notwendigen Parameter des Navya Busses der SVG wurden später im Testbetrieb ermittelt, in die Software integriert und ebenfalls evaluiert. Eine Implementierung des Fahrzeugs der Firma HFM für die Autokraft erfolgte nicht, da das Fahrzeug bis Projektende nicht geliefert wurde. Das Arbeitspaket wurde mit der Erstellung der Software Dokumentation im Frühjahr 2020 abgeschlossen.

12.7.2 Erstellung der Elektromobilitätskonzepte

Sämtliche Tätigkeiten im Rahmen dieses Arbeitspaketes zielten auf die später zu erstellenden Elektromobilitätskonzepte für den Betrieb und Einsatz der beschafften Fahrzeuge bei den Betreibern mit öffentlichem Dienstleistungsauftrag ab. Während der gesamten Projektlaufzeit stand die Moteg hierbei für diese Betreiber beratend zu den Themen Antrieb, Energieversorgung und Energiemanagement, Laden der Fahrzeuge und grundlegende technische Einsatzfragen zur Seite. Beispielhaft seien hier Tätigkeiten wie Streckenvermessung per GPS, Auswahl potenzieller Ladestandorte, Unterstützung bei Netzanschlussfragen der Ladegeräte und Kommunikation mit dem Netzbetreiber der Insel Sylt genannt. Die für die Elektromobilitätskonzepte notwendigen technischen Informationen zum Verbrauch und Ladeverhalten der Fahrzeuge wurden ermittelt.

Da sich im Laufe des Projekts ergab, dass die beschafften autonomen Busse einen on-demand Betrieb nicht zulassen, wurde durch die SVG ein normaler Linienbetrieb wie im ÖPNV üblich mit dem Navya Bus geplant und durchgeführt. Das für die SVG erstellte Elektromobilitätskonzept basierte auf diesem Linienbetrieb und beinhaltete neben den Hauptthemen Energie- & Lademanagement zusätzlich die Bereiche Einsatzplanung/Dienstaufsicht, Personal, Werkstatt/Wartung/Instandsetzung sowie Fahrplan und Streckenverlauf des durchgeführten Einsatzbetriebs der SVG in Keitum auf Sylt.

Da das Fahrzeug von HFM für den Betreiber Autokraft nicht innerhalb der Moteg Projektlaufzeit geliefert wurde, konnte für die Autokraft aufgrund fehlender Informationen, Daten und Fahrzeugtests kein Elektromobilitätskonzept erstellt werden. Der Betreiber wurde und wird weiterhin jedoch in allen Belangen durch die Moteg unterstützt, um einen erfolgreichen Testbetrieb der Autokraft zu ermöglichen.

12.7.3 Energiemanagement Fahrzeuge (Ladekonzept, Strecke, Energieversorgung)

Die Inhalte der Arbeitspakete bauten aufeinander auf, so dass die vorigen beschriebenen Arbeiten als technische Grundlage für die Erstellung der Konzepte dienten und zur Parametrierung der Fahrzeuge innerhalb der zuvor beschriebenen Softwareentwicklung herangezogen wurden.

Zur Ermittlung der Energieverbräuche der Fahrzeuge sowie möglichen Ladeleistungen wurden ausgiebige Tests zum Energieverbrauch bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen mit

und ohne Klimatisierung, sowie mit unterschiedlicher Passagierzahl mit den einzelnen autonomen Bussen durchgeführt. Zusätzlich erfolgte die Aufzeichnung der Lastprofile (Strecke, Topografie, Geschwindigkeit) der Fahrzeuge auf den Einsatzstrecken auf dem GTC und der Insel Sylt. Zur Bestimmung der tatsächlichen Ladeleistung der Busse wurden Messungen an unterschiedlichen Ladepunkten mit unterschiedlichen maximal zur Verfügung stehenden Strömen und Ladeleistungen durchgeführt.

Da teils nur sehr wenige Informationen zu Antrieb, Verbrauch, Batterie und Ladeverhalten durch die Fahrzeughersteller zur Verfügung gestellt wurden, lag der Fokus der Analysen darin, durch nachvollziehbare und wiederholbare Tests und Messungen die echten im täglichen Betrieb auftretenden Verbräuche, tatsächlich realisierbaren Ladeleistungen sowie optimalen Parameter für die zu entwickelnde Software zu gewinnen. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse für die Fahrzeuge von EasyMile und Navya dargestellt und bewertet. Für das Fahrzeug von HFM konnten aufgrund der noch ausstehenden Auslieferung lediglich die durch den Hersteller bisher übermittelten Daten ohne Bewertung seitens der Moteg benannt werden.

Der Antrieb des EasyMile Busses entspricht in allen Bereichen den Anforderungen an den Betrieb des Fahrzeugs. Die maximal mögliche Geschwindigkeit des Busses beträgt gemäß Herstellerdokumentation 40 km/h, welche jedoch im autonomen Modus aktuell auf 15 km/h limitiert ist. Im täglichen Betrieb auf dem GTC wurde basierend auf dieser Beschränkung eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 7,5 km/h erreicht.

Als Energiespeicher ist im Fahrzeug eine Lithium Eisenphosphat Batterie mit einer brutto Kapazität von 30,72 kWh und 24,58 kWh nutzbar verbaut. Zur Nachladung der Batterie verfügt das Fahrzeug über einen Standard Typ-2 Ladeanschluss und ein internes einphasiges AC-Ladegerät, welches eine maximale Ladeleistung von 5,7 kW erlaubt. Eine Nachladung des Busses kann entweder über eine handelsübliche Schuko Steckdose, hier wird ein Ladekabel mit Kommunikationseinheit benötigt (Lieferumfang des Herstellers), oder über eine standardisierte AC-Wallbox erfolgen. Eine induktive Ladung ist nicht möglich.

Der Bus ist sowohl mit einer Klimaanlage als auch mit einer internen Heizung ausgestattet. Die Klimaanlage verfügt hierbei über keine automatische Temperaturführung (Einstellung Soll-Temperatur), sondern lediglich über zwei Kühlstufen, welche durch den Operator manuell ein-/abgeschaltet werden können. Auch die Heizung verfügt über keine Temperaturführung und nur eine manuell zuschaltbare Heizstufe. Sowohl Klimaanlage als auch Heizung nutzen einen gemeinsamen Luftauslass im oberen Bereich des Fahrzeuginnenraums.

Die durchgeführten sehr ausgiebigen Tests auf dem GTC haben für das Fahrzeug von EasyMile nachfolgende in der Praxis ermittelten Ladeleistungen und Energieverbräuche ergeben:

Laden (netto Leistungsaufnahme in der Batterie inklusive Verluste):

- 230 V Anschluss via Schuko Stecker → Ø Ladeleistung 2,33 kW oder 9,5 % SOC pro Stunde
- 22 kW Wallbox → Ø Ladeleistung 3,79 kW oder 15,5 % SOC pro Stunde

Energieverbrauch:

- Nur Traktion → Ø 0,17 kWh/km → max. Reichweite (90 % Batteriekapazität) = 130 km
- Winterbetrieb inklusive Heizung → Ø 0,6 kWh/km → max. Reichweite (90 % Batteriekapazität) = 37 km

Die Ergebnisse und Tests haben gezeigt, dass aufgrund des gewählten Heizkonzepts und der geringen Durchschnittsgeschwindigkeit des Busses die Reichweite im Winter stark reduziert

war. Alle Komponenten haben sich als zuverlässig und dem tatsächlichen Fahrzeugbetrieb angemessen erwiesen.

Der autonome Bus des Herstellers Navya ist mit einem 15 kW (25 kW kurzfristige Spitzenleistung) Elektromotor ausgestattet, welcher für alle zugelassenen Fahrsituationen ausreichend dimensioniert ist. Die gemäß Herstellerangabe maximale Geschwindigkeit beträgt 45 km/h, welche jedoch im autonomen Modus auf 18 km/h limitiert ist. Basierend auf dieser Geschwindigkeitsbegrenzung wurde im Linieneinsatz der SVG eine Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 7 km/h erzielt.

Zur Energieversorgung ist im Fahrzeug eine Lithium-Eisenphosphat Batterie mit einer Gesamtkapazität von 33 kWh verbaut.

Zur Nachladung der Batterie verfügt das Fahrzeug über ein proprietären nicht standardisierten Ladeanschluss. Das zur Verbindung mit einer handelsüblichen Starkstromsteckdose notwendige Ladekabel war Teil des Lieferumfangs, kann aber auch nur bei diesem bezogen werden. Es ermöglichte den einphasigen Anschluss mit 230 V und maximal 32 A. Die in dieser Konfiguration maximale Ladeleistung beträgt 7,36 kW. Als großer Nachteil dieser Lösung stellte sich im Betrieb heraus, dass das System keine automatisch spannungsfreie Kontaktierung wie über das standardisierte Typ-2 Kabel sicherstellte. Daher kam es zu Verschmorungen der Steckerkontakte aufgrund von Lichtbögen beim Stecken/Entfernen des Steckers. Bei der SVG wurde daher im Nachhinein ein Schalter vor dem netzseitigen Anschlusspunkt des Ladekabels installiert, über welchen der Operator vor Kontaktierung die Spannungsfreiheit sicherstellen kann. Dieser Schalter löste zwar das Problem, jedoch wäre eine automatisch spannungsfreie fahrzeugseitige Lösung aus Moteg Sicht zu bevorzugen. Eine induktive Lademöglichkeit wurde Herstellerseitig bis Projektende nicht realisiert.

Zur Klimatisierung ist im Fahrzeug eine umschaltbare Klimaanlage verbaut, welche sowohl zum Kühlen als auch Heizen genutzt werden kann. Beide Modi sind Temperaturgeführt und regeln die eingestellte Solltemperatur automatisch ein. Bei Erreichen der Solltemperatur im Heizmodus wurde jedoch zum Halten der Temperatur zwischen Kühl- und Heizmodus hin und her geschaltet, was die Energieeffizienz der Anlage reduzierte. Die Luftauslässe befinden sich für den Kühlmodus im oberen und den Heizmodus im unteren Fahrzeugbereich.

Die im Testbetrieb mit dem Bus auf der Insel Sylt im Linienbetrieb ermittelten Ladeleistungen und Energieverbräuche und somit möglichen Reichweiten des Navya Busses ergaben sich wie folgt.

Laden (netto Leistungsaufnahme in der Batterie inklusive Verluste):

- 230 V Anschluss via Schuko Stecker → Ø Ladeleistung 2,72 kW oder 8,2 % SOC pro Stunde
- 22 kW Wallbox → Ø Ladeleistung 5,76 kW oder 17,5 % SOC pro Stunde

Energieverbrauch:

- Nur Traktion → Ø 0,24 kWh/km → max. Reichweite (90 % Batteriekapazität) = 124 km
- Sommer-/Winterbetrieb inklusive Klimatisierung → Ø 0,8 kWh/km → max. Reichweite (90 % Batteriekapazität) = 37 km

Auch bei diesem Fahrzeug haben die Ergebnisse und Tests ergeben, dass speziell der Betrieb im Winter inklusive Heizung in Kombination mit der geringen Durchschnittsgeschwindigkeit die Reichweite im Winter stark reduzierte. Eine smartere Regelung der Klimaanlage, oder sogar die Nutzung einer Wärmepumpenklimaanlage wie sie in modernen Elektrobussen verbaut

wird, wäre wünschenswert. Primär lässt sich die extreme Reichweitenreduzierung jedoch auf die geringe Durchschnittsgeschwindigkeit zurückführen.

Bis auf die bemängelte proprietären Ladelösung haben sich alle Komponenten als zuverlässig und dem tatsächlichen Fahrzeugbetrieb angemessen erwiesen. Dies schließt die verfügbare Batteriekapazität bezogen auf den vorgeplanten Linienbetrieb in Keitum auf Sylt mit ein.

Abschließend an dieser Stelle folgen, die für das Fahrzeug von HFM übermittelten, technischen Daten, mit welchem aufgrund der nicht vollzogenen Auslieferung bis Projektende der Moteg zum 31.12.2020 keine Tests und somit auch keine Validierung durchgeführt werden konnten.

Das Fahrzeug verfügt über zwei Radnabenmotoren mit einer kombinierten Dauerleistung von 65 kW und einer Spitzenleistung von 110 kW. Die maximale Geschwindigkeit wird mit 49 km/h angegeben, welche im autonomen Modus auf 25 km/h begrenzt ist.

Als Energiespeicher ist eine Batterie mit 20 kWh nutzbarer Kapazität verbaut, welche eine Reichweite laut Herstellerangaben von bis zu 150 km erlaubt.

Die Nachladung der Batterie erfolgt über einen handelsüblichen Typ-2 Anschluss mit bis zu 20 kW. Zur Klimatisierung des Fahrzeugs im Sommer und Winter ist auf dem Dach des Busses eine Kombi-Klimaanlage mit ca. 7 kW Leistung verbaut.

Zusammenfassend haben die durchgeführten Fahrzeugtests ergeben, dass sowohl Antrieb, Batterie und Ladesystem der Fahrzeuge den Ansprüchen an den durchgeführten Betrieb entsprachen. Der extreme Reichweiteneinfluss der Klimatisierung ist primär auf die niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge zurückzuführen. Trotz alledem wird eine effiziente Regelung der Klimatisierung zur Energieeinsparung empfohlen. Hinsichtlich der Ladesysteme sollten keine proprietären Lösungen genutzt werden, sondern auf standardisierte Komponenten wie den TYP-2 Anschluss zur AC-Ladung zurückgegriffen werden.

Im Hinblick auf die zu Beginn dargestellten und durch die Moteg zu bewertenden übergeordneten Projektziele ergaben sich folgende Ergebnisse.

Der flexible Betrieb der getesteten Fahrzeuge mit spontaner Fahrtwunschanmeldung ohne vorherige feststehende Einsatzplanung war nicht möglich, da eine variable kurzfristige Einsatzvorgabe aufgrund fehlender Zugriffsmöglichkeit durch die entwickelte Bestellplattform und Routing-App der FLS nicht möglich war. Somit war auch der Einsatz und Test der durch die Moteg entwickelten Energie- und Lademanagement Software im Echtbetrieb nicht möglich.

Ein Einsatz der eingesetzten Fahrzeuge auf vorab nicht bekannter Streckenführung war nicht möglich, da sämtliche zu befahrenden Strecken vorab vermessen und in einer Datenbank hinterlegt werden mussten. Somit war ein voll flexibler „on-demand“ Betrieb z. B. der SVG im Projektzeitraum nicht möglich.

Aufgrund der sehr geringen Geschwindigkeit der getesteten Fahrzeuge und der hieraus resultierenden Differenzgeschwindigkeit zu anderen motorisierten Verkehrsteilnehmern war der Einsatz der getesteten Fahrzeuge außerorts im ländlichen Raum nicht möglich. Die geringe Fahrzeuggeschwindigkeit ist aus Sicht der Moteg, neben dem Befahren nicht vorher eingemessener Strecken, auch eine der größten zukünftig zu meisternden Hürden für den Einsatz autonomer Busse im öffentlichen Nahverkehr in ländlichen Räumen, da diese insbesondere in Kombination mit der Heizung im Winter zu starken Reichweiteneinbußen führt.

Da ein Testbetrieb der entwickelten Moteg Software zum Energie- und Lademanagement aufgrund fehlender Schnittstellenfreigabe der Fahrzeughersteller nicht möglich war, wurden die freiwerdenden Kapazitäten für zusätzliche Tests und Validierungen des Energieverbrauchs im Winter/Sommer sinnvoll genutzt.

12.8 CAU zu Kiel – wissenschaftliche Begleitung

12.8.1 Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Zuverlässige Systeme – Schwerpunkt Tests zur Zuverlässigkeit und Resilienz der autonomen Fahrzeuge

Ein ursprüngliches Ziel der Arbeitsgruppe Zuverlässige Systeme der CAU zu Kiel war die Verifikation der Steuerungssoftware, ein anderes die Konzeption von Zuverlässigkeitstests für Fahrzeuge im privaten und im öffentlichen Verkehr. Ersteres konnte leider nicht realisiert werden, weil die Fahrzeughersteller Zugriff auf die Steuerungssoftware verweigerten. Letzteres wurde am Beispiel der Fahrzeuge in Enge-Sande und auf Sylt realisiert. Als Ersatz für das erste Ziel wurde allgemein an der Erhöhung der Sicherheit von Computersystemen mit künstlichen Neuronalen Netzen gearbeitet, was auch für autonome Fahrzeuge relevant ist.

Die Tätigkeiten des Instituts für Informatik der CAU lagen in folgenden Bereichen:

- Sichtung des Stands der Wissenschaft und Technik über die funktionale Sicherheit von autonomen Systemen
- Entwicklung eines Mechanismus mithilfe dessen künstliche neuronale Netze vor Angriffen auf deren Korrektheit teilweise geschützt werden. Die Beschreibung des Verfahrens wurde auf einem Preprint-Server veröffentlicht (<http://arxiv.org/abs/1909.05580>) und die Referenzimplementierung auf einer Code-Sharing-Plattform (<https://github.com/ypotdevin/randomized-defenses>).
- Entwicklung eines auf der Analyse von Straßenverkehrsunfalldaten (siehe Preprintveröffentlichung, https://macau.uni-kiel.de/receive/macau_mods_00001452 und <https://github.com/ypotdevin/severity-unfallstatistik>) und Begleitmaterial, <https://github.com/ypotdevin/severity-unfallstatistik>) und auf Risikomanagement beruhenden Konzepts zur Bewertung der Risikobilanz autonomer Fahrzeuge im Vergleich zu menschlicher Fahrleistung aus Sicht von Fahrzeugzulassern und Fahrzeughaltern. Im Rahmen zweier Fallstudien wurde dieses Konzept auf dem GTC mit dem EZ10 von EasyMile und auf Sylt mit der ARMA von Navya erprobt.

Die deutliche Mehrheit (32 von 41) der Risikobilanzbeiträge des EZ10 ist nicht negativ, 19 davon sogar strikt positiv. Lediglich 6 von 41 sind strikt negativ und bei den übrigen drei Beiträgen besteht noch Unsicherheit. Bei den strikt negativen Beiträgen zeigt sich jedoch eine große Schwäche des EZ10: Das Fahrzeug besaß zum Zeitpunkt des Tests nicht die Fähigkeit beim Detektieren eines Objekts mit seinen Sensoren die Natur des Objekts einzuschätzen. Ob es nun ein Verkehrsteilnehmer, Müll, Laub, ein Insekt oder auch nur ein Grashalm ist – gerät es zu nahe ans Fahrzeug, wird ein der Nähe dementsprechend starkes Bremsmanöver ausgelöst. Da diese Schwäche systematisch ist, wiegen

unserer Ansicht nach die positiven Beiträge die negativen nicht auf. Wir kommen zu dem Schluss, dass die notwendige Bedingung einer positiven Gesamtrisikobilanz durch den EZ10, zumindest mit der damaligen Version der Steuerungssoftware, nicht erfüllt wird. Der EZ10 ist damit (noch) nicht bereit für die allgemeine Zulassung für den öffentlichen Straßenverkehr.

Auch beim ARMA ist die Mehrheit (28 von 34) der Risikobilanzbeiträge nicht negativ, 16 davon zweifelsfrei positiv. Fünf Beiträge sind strikt negativ, zwei davon besonders deutlich. Jene beiden rühren daher, dass das Fahrzeug in manchen Konstellationen große Schwierigkeiten damit hat, durch seine Sensoren einen Leitkegel zu erkennen. Selbst wenn es einen solchen erkennt, und kurz vor dem Kontakt mit ihm stoppt, nimmt es oftmals unmittelbar danach die Fahrt wieder auf und fährt den Leitkegel an oder überfährt ihn. Die Tatsache, dass das Fahrzeug solch nicht zu vernachlässigende Objekte des Straßenverkehrs nicht zuverlässig erkennt, gepaart damit, dass das Fahrzeug nicht erkennt, dass gerade eine Kollision stattfindet, lässt uns zu dem Schluss kommen, dass die mehrheitlich positiven Beiträge die wenigen, jedoch stark ausgeprägten negativen Beiträge nicht aufwiegen. Daher können wir auch hier die notwendige Bedingung einer positiven Gesamtrisikobilanz durch den ARMA mit der damaligen Version der Steuerungssoftware nicht als erfüllt betrachten. Nicht von dieser Einschätzung berührt wird der prototypische Einsatz unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen, wie etwa stark begrenzter Geschwindigkeit und dem Einsatz eines Operators.

Insgesamt wurden die Ziele

1. Entwicklung und Anwendung von Testszenarien und Verifikationstechniken für autonom fahrende Verkehrsmittel des ÖPNV insbesondere in ländlichen Szenarien
2. Erforschung der Resilienz des Fahrzeugs in ungeplanten Situationen
3. Entwicklung von Ansätzen zur Verbesserung der Resilienz

erreicht – wenn auch nicht so wie ursprünglich geplant. Ziel 1 beinhaltet die oben bereits erwähnten Fallstudien. Ziel 2 wurde erfüllt, indem die Testszenarien so gestaltet wurden, dass auch außergewöhnliche Situationen betrachtet wurden, ebenso wie fehlerhafte oder ausbleibende Aktionen des Operators. Für Zielerreichung 3 wurde der oben erwähnte Abwehrmechanismus für künstliche neuronale Netze (welcher sehr wahrscheinlich in künftigen autonomen Fahrzeugen eingesetzt werden) entwickelt.

12.8.2 Geographisches Institut – Schwerpunkt empirische Sozialforschung im Bereich der Akzeptanzanalyse

An der Befragung auf dem GTC haben 154 Fahrgäste teilgenommen. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ für die schleswig-holsteinische Bevölkerung. Sie geben ausschließlich die Sichtweise von Gästen des GTC wieder. Hierbei handelt es sich um eine spezifische Gruppe, die im Folgenden kurz charakterisiert wird.

Die Befragten kamen vorwiegend aus den umliegenden Gemeinden Nordfrieslands, vereinzelt auch aus entfernteren Städten und Gemeinden S-H's. Eine Minderheit der Befragten stammte aus anderen Bundesländern. Unter den Befragten fanden sich vor allem Gäste, die das Angebot auf dem GTC besichtigten (41 %) sowie Schulungsteilnehmer auf dem GTC (32 %). 17 % besuchten den Campus explizit, um mit dem autonomen Bus fahren zu können. Die Befragten waren im Durchschnitt 37 Jahre alt, wobei die Altersverteilung eine hohe

Spannweite zeigt. Es wurden sowohl Studierende sowie Schüler, als auch ältere Menschen im Rentenalter befragt. Die mittleren Altersgruppen sind in der Befragung leicht überrepräsentiert, ältere Menschen über 75 Jahre eher unterrepräsentiert. Mit 69 % sind überwiegend männliche Fahrgäste unter den Befragten. Dies ergibt sich unter anderem dadurch, dass die Lehrgangsteilnehmer auf dem GTC nach Erfahrungen des GTC zu 95 - 98 % männlich sind. Es ist anzunehmen, dass die Häufung männlicher Teilnehmer in mittleren Altersgruppen die typische Besucherschaft des GTC abbildet. Folgt man gesellschaftlich etablierten Sozialisationsmustern, weisen Männer gegenüber Frauen häufiger eine Technikaffinität auf. Gleichzeitig besuchten eher Technikaffine den GTC. Demnach gaben die empirischen Erfahrungen auf dem GTC tendenziell das Bild männlicher technikinteressierter Personen wieder.

In Annäherung an autonome Busse zeigte sich unter den befragten Fahrgästen ein sehr homogenes Bild. Sie assoziierten mit autonomen Bussen primär Neugierde (40 %) und Technikbegeisterung (45 %). Diese starke Ausprägung der Technikbegeisterung mag darin begründet sein, dass der GTC ein Angebot für technikaffine Menschen bereitstellt und entsprechend häufiger technikaffine Menschen als Fahrgäste anzutreffen waren bzw. sind. Hierunter nannten vor allem männliche Befragte (70 %) besonders häufig Technikbegeisterung als Assoziation. Insgesamt zeigte sich, dass sich die Gäste auf dem GTC in besonderer Weise von der innovativen Technik des autonomen Fahrens angesprochen fühlten. Zugleich wurde die Fahrt mit dem autonomen Bus mehrheitlich als besonderes Ereignis bewertet, von dem man anderen erzählen wolle. 81 % aller Befragten bestätigten, auf jeden Fall Freunden, Bekannten und/oder der Familie von der Fahrt zu berichten. Weitere 15 % gaben an, es vielleicht zu berichten. Nur 2 % wollten nicht von der Fahrt berichten.

Mit den Testfahrten wurde nicht nur eine Erprobung der Technik verfolgt. Gleichzeitig sollte der kostenlose autonome Bus Shuttle dazu beitragen, dass sich die Fahrgäste durch positive Erfahrungen dem autonomen ÖPNV annähernten. Diese Annäherung schien mit dem Testbetrieb auf dem GTC zu gelingen. Die Fahrt löste bei den Fahrgästen vor allem Erstaunen (29 %), Freude (25 %) und Überraschung (12 %) aus. Deutlich weniger empfanden Aufregung (16 %) oder Anspannung (4 %). Niemand gab an, Angst zu empfinden. Die Testfahrten zum Kennenlernen erwiesen sich demnach als geeignet, um Menschen die Nutzung autonomer Busse in positiver Weise näher zu bringen. Dieses Bild zeigte sich ebenfalls in den Erfahrungen, die die Fahrgäste durch die Testfahrt gewannen. Fast alle Befragten konnten sich mit der Testfahrt eine bessere Vorstellung von autonomen Bussen verschaffen. Ebenso hatte das Kennenlernen des autonomen Busses dazu beigetragen, Vertrauen zu schaffen und eine Nutzung autonomer Busse anzuregen. 39 % stimmten sehr zu und 46 % stimmten eher zu, der Technik seit der Testfahrt eher zu vertrauen. Vergleichbar viele gaben an, autonome Busse nach der Testfahrt reizvoll zu finden. Die deutliche Mehrheit (84 %) stimmten zudem voll zu oder eher zu, häufiger mit autonomen Bussen fahren zu wollen. Dies lässt erwarten, dass autonome Busse zukünftig ohne Vorbehalte genutzt werden, während zugleich ein zumindest hypothetisch hohes Interesse an der Nutzung autonomer Busangebote besteht.



Abbildung 17: Erfahrungen durch die Testfahrt auf dem GTC

Aus technischer Sicht bedarf es noch deutlicher Fortschritte in der Entwicklung zuverlässiger Systeme des autonomen Fahrens, um ein funktionierendes autonomes ÖPNV-Angebot schaffen zu können. Daneben steht die Etablierung geeigneter rechtlicher Rahmen und die Aushandlung eines ethischen Konsenses gegenüber automatisierten Entscheidungs-Algorithmus aus. Der restriktive Stand der Technik macht unter anderem nicht selten ein Eingreifen des Operators in den Fahrbetrieb notwendig. Auch war nur eine sehr langsame und vorsichtige Fahrweise möglich, in der es häufig zu Abbremsungen kam. Offenbar waren die Befragten jedoch mit dem Stand der Technik, den sie auf dem GTC erleben, überwiegend zufrieden. Nur 5 % stimmten eher oder sehr zu, von dem autonomen Bus enttäuscht zu sein. Lediglich 12 % stimmten eher oder sehr zu, dass sie sich das Fahren mit dem autonomen Bus anders vorgestellt haben. Trotz des begrenzten Technikstandes wurde der autonome Bus mehrheitlich als innovativ und zukunftssträchtig bewertet. Nur 1 % der Befragten hegte hierbei eher Zweifel. Zudem bewertete die deutliche Mehrheit autonome Busse als hilfreich und praktisch. Vergleichsweise weniger Fahrgäste sahen den autonomen Bus als alltagstauglich und ausgereift an. Wenn es um eine alltägliche verlässliche Nutzung ging, schien demnach auf Nutzerseite noch Entwicklungsbedarf deutlich zu werden. Insgesamt lassen sich die positiven Bewertungen des Busbetriebs jedoch als Hinweis deuten, dass autonome Busse auf Nutzerseite eine Resonanz finden und sich zukünftig als ein praktisches Verkehrsmittel etablieren könnten.

Das Fahrzeug stellte einen neuen Typus dar, der in dieser Form nicht etabliert ist. Dieses Fahrzeug wurde mit deutlicher Mehrheit als modern und sicher bewertet. Ebenso erschien der Bus überwiegend als einladend. Darüber hinaus hoben Fahrgäste in Gesprächen mit dem Operator die vertrauenserweckende Erscheinung des Busses als positiv hervor. Der Bus erschien demnach klein, niedlich und sympathieweckend. Diese sympathische und zugleich kompakte Erscheinung trug nach Aussagen einiger Fahrgäste dazu bei, dass der Bus als sicher wahrgenommen wurde. Die Namensgebung EMil mag hierzu womöglich zusätzlich einen Beitrag leisten und könnte einer Personifizierung des Busses als sympathischer Gefährte gleichkommen. Gegenüber dieser ansprechenden Erscheinung bewerteten jedoch nicht alle Befragten das Fahrzeug als hochwertig (8 % stimmten eher nicht oder gar nicht zu). Daneben zeigt sich bei dem Komfort des Busses ein gewisses Entwicklungspotential. 18 % stimmten eher nicht oder gar nicht zu, dass der Bus komfortabel sei. Laut Aussagen des Operators wurden hier vor allem unbequeme, schmale Sitze und technische Mängel der Kühl- und Heizanlage genannt. Ebenso wurde das durch eine sehr vorsichtige Fahrweise bedingte abrupte Abbremsen des Busses als unangenehm empfunden. Insgesamt zeigt sich gegenüber der Erscheinung und Bauart der Fahrzeuge jedoch eine weitgehende Zufriedenheit.

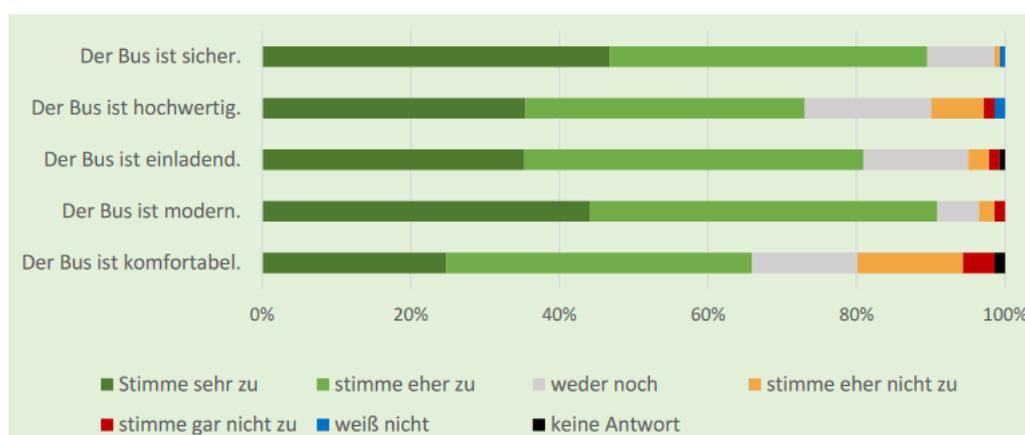


Abbildung 18: Bewertung des Fahrzeuges auf dem GTC

Expertenworkshops und die Analyse von Experteninterviews spiegelten die Interessen an einem Einsatz autonomer Busse im ÖPNV wider. Ebenfalls wurden Anforderungen und

Einsatzszenarien für autonome Busangebote abgesteckt. Zudem konnte herausgestellt werden, wo Unterstützung- und Aufklärungsbedarf in der Planung autonomer Busangebote besteht.

Die Meinungsumfrage verdeutlichte, wie Bürger autonome Busse als innovatives ÖPNV-Angebot bewerten und zeigte die potentielle Nutzungsbereitschaft auf. Fahrgastbefragungen belegten eine hohe Akzeptanz autonomer Busse sowie eine geringe Ausprägung sicherheitsbezogener Vorbehalte gegenüber der innovativen Technik. Die Ergebnisberichte dienen als Handreichung für Mobilitätsmanager und planende Kommunen.

Mittels zweier Bürgerbeteiligungsverfahren konnte die Resonanz der Anwohnerschaft in Keitum auf Sylt auf das geplante Angebot erhoben werden. Auf diese Weise wurden Ängste, Erwartungen und Nutzungsansprüche gegenüber autonomen Bussen identifiziert, die als Maßgabe für weitere planerische Schritte dienen. Im Dialog mit den teilnehmenden Bürgern konnten Bedenken und Vorbehalte zudem unmittelbar zerstreut und Anregungen für eine bedarfsgerechte Planung des Busangebotes gesammelt werden.

Der Testbetrieb in Keitum wurde ebenfalls von Fahrgastbefragungen begleitet. Im Zeitraum des untersuchten Testbetriebs von Mai 2019 bis Januar 2020 haben ca. 12.000 Fahrgäste den Bus genutzt. An der Fahrgastbefragung haben 182 Fahrgäste teilgenommen. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs sind die Ergebnisse nicht repräsentativ für alle Fahrgäste des autonomen Busses in Keitum, eröffnen aber dennoch Eindrücke, welche Resonanz der autonome Bus bei den Fahrgästen fand. So lässt sich erkennen, warum die Fahrgäste den Bus nutzten und wie sie die Fahrt wahrgenommen haben. Ebenso können Hinweise auf die zukünftige Nutzungsbereitschaft autonomer Busse abgeleitet werden.

An der Fahrgastbefragung in Keitum nahmen zu gleichen Teilen männliche und weibliche Personen teil. Mit 86 % nutzte die deutliche Mehrheit der Befragten den autonomen Bus während ihres Urlaubs. Nur 5 % der Fahrgäste waren Bewohner von Keitum. Demnach bot der autonome Bus offenbar kein Angebot, das für Einheimische von Interesse war, jedoch aber für Urlaubsgäste in Keitum. 21 % der Befragten waren explizit wegen des autonomen Busses nach Keitum gekommen. Diese Gruppe war gezielt an dem autonomen Bus interessiert und bekam in Keitum die Möglichkeit, den Bus kennenzulernen. Hierunter nutzten vor allem jüngere Fahrgäste zwischen 20 und 30 Jahren sowie Fahrgäste zwischen 50 und 70 Jahren gezielt den autonomen Bus in Keitum.

Insgesamt waren die befragten Fahrgäste im Mittel 50 Jahre alt. Am stärksten war die Gruppe der über 50- bis 70-Jährigen unter den Fahrgästen vertreten. Diese Verteilung spiegelte die Altersstruktur der Urlaubsgäste auf Sylt wider. So bilden die über 50 bis 70-Jährigen auch insgesamt die größte Gruppe der Gäste auf Sylt (ISTS 2019, S. 17). Demgegenüber findet sich im Vergleich zur Altersstruktur aller Urlauber auf Sylt ein erhöhter Anteil von Fahrgästen im Alter zwischen 30 bis 40 Jahren. Sie schienen sich leicht häufiger von dem Bus angesprochen zu fühlen. Der Anteil der 71- bis über 80-Jährigen war hingegen leicht unterrepräsentiert. Sie nutzten den Bus offenbar seltener. Demnach wurde das Busangebot von älteren Menschen nicht auffallend häufig, wie in der Planung angenommen, als Alternative zu anstrengenden Wegen zu Fuß genutzt. Hier wäre weiter zu eruieren, warum die Gäste von 70 Jahren und älter den autonomen Bus seltener nutzten und wie sie sich stattdessen fortbewegten. Waren etwa Berührungsängste mit der Technik der Grund für eine seltene Nutzung oder spricht das Angebot nicht die Präferenzen und Bedarfe dieser Altersgruppe an? Doch trotz der leichten Ungleichverteilungen in der Altersstruktur schien es insgesamt keine Frage des Alters zu sein, ob man in einen autonomen Bus einstieg.

Weshalb sind Sie in Keitum?	
Ich wohne hier.	5%
Ich bin zum Arbeiten hier.	3%
Ich mache hier Urlaub.	86%
Ich bin wegen des autonomen Busses hier.	21%
Sonstiges	1%

n=182, zwei Antworten möglich

Abbildung 19: Anlass des Aufenthalts in Keitum

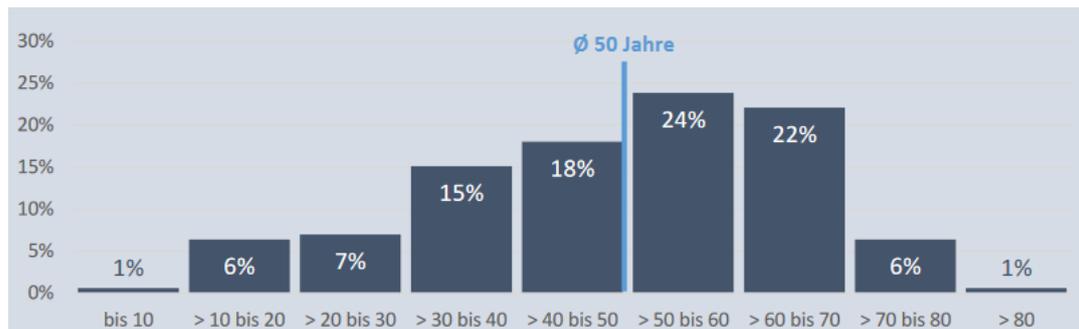


Abbildung 20: Altersverteilung der befragten Fahrgäste in Jahren in Keitum

Zu welchem Anlass nutzen Sie den Bus?	
Zum Spaß	97%
Zur Fortbewegung	3%
Sonstiges	1%

n=176

Ohne den autonomen Bus...	
... hätte ich den Weg nicht zurück gelegt	30%
... wäre ich zu Fuß gegangen	50%
... wäre ich mit dem Fahrrad gefahren	11%
... wäre ich mit dem PKW / Motorrad gefahren	8%
Sonstiges	1%

n=180

Abbildung 21: Anlass der Nutzung und Nutzungsalternativen in Keitum

Unabhängig vom Alter der Befragten wurde die Nutzung des autonomen Busses vor allem als unterhaltsames Angebot wahrgenommen. Lediglich 3 % gaben an, den Bus tatsächlich als Fortbewegungsmittel zu nutzen. Stattdessen fuhren die Fahrgäste fast ausschließlich zum Spaß (bzw. aus Neugierde und Interesse) mit dem Bus (97 %). Für sie war die angestrebte Funktion des Busses als Park & Ride Angebot sowie als lokales Fortbewegungsmittel offenbar zweitrangig oder gar nicht relevant. Eine vergleichbare Wahrnehmung des autonomen Busses zeigte sich bereits für das Angebot eines autonomen Busshuttles auf dem Privatgelände des GTC in Enge-Sande. Auch hier wurde der Bus fast ausschließlich aus Spaß und Neugierde genutzt, wie weiter oben beschrieben.

Gleichzeitig schien der autonome Bus ähnlich wie auf dem GTC nur in seltenen Fällen Fahrten mit dem Kraftfahrzeug zu ersetzen. Auch erzeugte der autonome Bus durch die überwiegende Nutzung „zum Spaß“ mehr Verkehr, als ohne das Busangebot auf der Straße stattgefunden hätte. So hätten 30 % der Befragten den Weg nicht zurückgelegt, wenn sie nicht das Angebot des autonomen Busses wahrgenommen hätten. Gleichzeitig wurden vor allem nachhaltige Formen der Fortbewegung auf den Bus verlagert, die auch ohne den Bus hätten realisiert

werden konnten. Etwa hätten 11 % anstelle des autonomen Busses das Fahrrad genutzt. Ebenso gab die Hälfte aller Fahrgäste an, dass sie ohne den autonomen Bus zu Fuß gegangen wären. Dieser Anteil des Fußverkehrs ist durch das Busangebot zusätzlich auf die Straße verlagert worden. In 8 % aller Fälle konnte jedoch erreicht werden, dass anstelle des eigenen Kraftfahrzeugs der Bus genutzt wurde. Dieser Anteil zeigt, dass der Bus als Shuttle Service funktionieren kann, jedoch als solcher derzeit kaum nachgefragt wurde. Hier können gezielte Maßnahmen eines Parkraummanagements den Anreiz erhöhen, sich anstelle mit dem eigenen Pkw mit dem Bus durch Keitum zu bewegen.

Weitere Hinweise auf die Adaptionspotentiale des autonomen Busses versprach ein Blick auf die Nutzungshäufigkeit des Busses. Mehr als zwei Drittel der Fahrgäste fuhren zum Zeitpunkt der Befragung bereits zum zweiten Mal mit dem autonomen Bus. Weitere 8 % nutzen den Bus zum dritten oder vierten Mal, hierunter vor allem diejenigen, die explizit wegen des autonomen Busses nach Keitum gekommen sind. Auch insgesamt wurde der Bus offenbar nicht nur zum einmaligen Kennenlernen genutzt. Die mehrfache Nutzung deutete an, dass das Busangebot durchaus Anlass zur Nutzung bot und sich in der Mobilitätspraxis mittelfristig etablieren könnte.

Fragen zur Bewertung des Fahrerlebnisses zeigten, dass die Fahrgäste verschiedene Vorstellungen von der Fahrt mit dem autonomen Bus hatten. Ein Viertel stimmte sehr oder eher zu, dass sie sich die Fahrt ganz anders vorgestellt haben. Demgegenüber stimmten mit 46 % die Mehrheit der Befragten eher nicht oder gar nicht zu, dass sie sich die Fahrt anders vorgestellt haben. Ihre Erfahrungen mit dem autonomen Bus entsprachen demnach sehr oder weitgehend ihren Erwartungen. Gleichzeitig antworteten 22 % „weder noch“, weitere 9 % wussten keine Antwort oder entschieden sich, keine Antwort zu geben. Es ist anzunehmen, dass diese Fahrgäste keine konkreten Vorstellungen von der Fahrt hatten und eher zufällig bzw. spontan mit dem autonomen Bus in Berührung gekommen sind. Die tatsächliche Fahrt mit dem autonomen Bus war für die Fahrgäste mehrheitlich ein aufregendes Ereignis. 87 % empfanden die Fahrt als sehr oder eher aufregend. Nur 7 % der Befragten gaben an, die Fahrt als eher nicht oder gar nicht aufregend empfunden zu haben. Fahrgäste, die bereits eine Vorstellung von der Fahrt mit dem autonomen Bus hatten, empfanden die Fahrt tendenziell weniger aufregend. Vermittelte man demnach potentiellen Fahrgästen vorab eine Vorstellung von der Fahrt mit autonomen Bussen, waren sie besser auf das Kommende gefasst und erlebten die Fahrt entspannter. Auf diese Weise könnten Unsicherheiten und Hemmungen der Nutzung des Busses im Vorfeld erfolgreich abgebaut werden. Gleichzeitig deutete sich an, dass die Fahrgäste die Fahrt in positiver Weise als aufregend erlebten. Wer sich entschieden hatte den Bus zu nutzen, empfand den Bus mit wenigen Ausnahmen als sicher oder weitgehend sicher (97 % aller Befragten). Auch gaben 89 % der Fahrgäste an, sich während der Fahrt wohlgefühlt zu haben. Knapp 90 % der Befragten, die die Fahrt als eher oder sehr aufregend bewerteten, fühlten sich während der Fahrt eher oder sehr wohl. 95 % dieser Gruppe empfanden den Bus zugleich als eher oder sehr sicher. Ebenso vertrauen 89 % aller Fahrgäste der Technik eher oder sehr. Insgesamt wurde nicht nur der Bus mehrheitlich als sicher bewertet, die Fahrt selbst wurde auch positiv erlebt. Diese Einschätzung der Fahrgäste liefert sehr gute Voraussetzungen dafür, dass autonome Busse in Zukunft vertrauensvoll genutzt werden.

Der autonome Bus wurde aus Sicht der Nutzer nicht nur als vertrauenswürdig, sondern auch als praktisch bewertet. Nur 7 % gaben an, dass ein autonomer Bus für sie eher kein oder gar kein praktisches Verkehrsmittel sei. 17 % stimmten mit „weder noch“ und standen dem autonome Busangebot damit eher indifferent gegenüber. Demgegenüber wurde der autonome Bus mit einem Anteil von 72 % aller Befragten mehrheitlich als sehr oder eher praktisches Verkehrsmittel bewertet. Zugleich stimmte mit 91 % der Befragten die deutliche Mehrheit sehr oder eher zu, dass es mehr autonome Busse wie in Keitum geben sollte. Dieses mehrheitlich bekundete Interesse an dem Angebot des autonomen Busses deutete ebenfalls auf ein hohes Potential hin, dass autonome Busse zukünftig eine Nutzung als Verkehrsmittel erfahren könnten. Demgegenüber zeigten bereits andere Studien, dass sich Personen mehrheitlich

ÖPNV-Angebote wünschen. Dieser Wunsch resultiert jedoch überwiegend aus einem Anliegen heraus, das Angebot potentiell nutzen zu können, während die Mehrheit das Angebot schließlich selten bis nie nutzt. Hier bliebe abzuwarten, ob Angebote autonomer Busse schließlich tatsächlich eine gesteigerte Nutzung erfahren.

Einen Einfluss auf die Nutzung könnte auch der Komfort während der Busfahrt gehabt haben. Die Ausstattung des autonomen Busses war eher funktional. Etwa verfügte der Bus über eine eher einfache und enge Bestuhlung. Auch arbeitete die Heiz- und Lüftungsanlage nicht immer zuverlässig. Dennoch fiel die Bewertung des Komforts relativ hoch aus. Mit 59 % empfand die Mehrheit der Fahrgäste den Bus als sehr oder eher komfortabel. 21 % der Befragten fanden den Bus weder komfortabel noch unkomfortabel und konnten sich demnach mit dem verfügbaren Standard arrangieren. Jedoch gaben auch 20 % aller Befragten an, dass sie den Bus als eher nicht oder gar nicht komfortabel wahrgenommen haben. Hierzu merkten die Fahrgäste vor allem das abrupte Bremsen als unangenehm bis sehr unangenehm an. Im Testbetrieb des autonomen Busses hatte die Sicherheit der Fahrgäste oberste Priorität. Aus diesem Grund ist die Technik auf eine sehr defensive Fahrweise ausgerichtet. Die Sensorik reagierte sensibel innerhalb eines geringen Toleranzbereichs. Der Bus brauchte einen großzügigen freien Sicherheitsabstand, um sich sicher fortbewegen zu können. Erschien ein Hindernis in diesem Bereich, bremste der Bus ab. Während der autonome Bus auf den engen Straßen in Keitum oft anderen Verkehrsteilnehmern sehr nah begegnete, wurde der Sicherheitsabstand häufig unterschritten. Aus Vorsicht bremste das Fahrzeug ab, auch wenn für die Fahrgäste nicht unmittelbar eine Gefahrensituation erkennbar war. Optimierungen auf Soft- und Hardwareseite können hier perspektivisch Besserungen im Bremsverhalten bringen, wenn der Toleranzbereich der Sensorik angepasst wird und der Bus auch in dichteren Begegnungen mit anderen Objekten ohne abruptes Bremsen weiterfährt. Hier bleibt es jedoch die Herausforderung, eine geeignete Fahrweise im Ausgleich von Fahrsicherheit und Performance / Fahrkomfort zu finden. Trotz des frühen Entwicklungsstadiums des autonomen Busses, in dem es schnell zu technischen Störungen kommen kann, wurde der Bus von den Fahrgästen zu 78 % als sehr zuverlässig oder eher zuverlässig wahrgenommen. 13 % bewerteten den Bus als weder zuverlässig noch unzuverlässig und 2 % als eher nicht zuverlässig. Ein weiterer Anteil von 8 % konnte hierzu keine Aussage treffen. Diese Unsicherheit ließe sich darauf zurückführen, dass der autonome Bus zumeist nur gelegentlich und eher spontan genutzt wurde, so dass keine Erfahrungen gesammelt werden konnten, ob der Bus als Verkehrsmittel zuverlässig sei. Die Höchstgeschwindigkeit des autonomen Busses war von der Zulassungsstelle auf 18 km/h festgesetzt. Demnach konnten sich die Fahrgäste mit dem autonomen Bus ähnlich schnell wie mit einem Fahrrad fortbewegen. Die Höchstgeschwindigkeit erreichte der Bus jedoch ausschließlich, wenn die Sensorik keinerlei Hindernisse im Radius des Sicherheitsabstandes meldet und ein ausreichend starkes GPS-Signal empfangen wurde. Störten etwa dichte Baumkronen den GPS-Empfang oder hatte der Bus wenig Platz, um sich auf seiner „virtuellen Schiene“ im benötigten Sicherheitsabstand fortzubewegen, erreichte der Bus nur geringere Geschwindigkeiten von etwa 10 - 12 km/h. So bewegte sich der Bus zeitweilig nur etwas schneller als der Fußverkehr. Diese Geschwindigkeit wurde von anderen Kraftfahrzeugführern in Keitum vielfach als zu langsam und als störend kritisiert. Unter den Fahrgästen bewerteten 9 % das Geschwindigkeitsprofil als deutlich zu langsam und 34 % als eher zu langsam. Knapp ein Viertel der Befragten empfand die Geschwindigkeit weder zu langsam noch zu schnell und knapp ein Drittel bewertete die Geschwindigkeit als gar nicht oder eher nicht zu langsam. Demnach empfand mehr als die Hälfte die Geschwindigkeit nicht als problematisch. Zu dieser Bewertung könnte beigetragen haben, dass der autonome Bus überwiegend zum Spaß und ohne Zeitdruck genutzt wurde und nicht, um einem konkreten Mobilitätsanlass nachzugehen. So wurde eine geringere Geschwindigkeit ohne Zeitdruck und ohne konkretes Ziel vermutlich eher toleriert. Ad hoc Gespräche mit Fahrgästen zeigten zudem, dass die Geschwindigkeit gerade für ein autonomes Fahrzeug als angemessen empfunden wurde. So fühlten sich die Fahrgäste

sicherer, wenn der Bus langsam und vorsichtig fuhr. Zu schnelle Geschwindigkeiten sind für autonome Busse in diesem Anwendungsfall demnach nicht unbedingt erwünscht.

Da sich die Aufnahme des Busbetriebs in Dithmarschen über den Zeitpunkt der Projektbeteiligung der CAU zu Kiel hinaus verzögert hat, war für diesen Anwendungsfall keine Analyse der Akzeptanz mehr möglich, welche jedoch in Vertretung durch die EurA ausgeführt werden wird.

12.8.3 Institut für Wirtschafts- und Steuerrecht - Schwerpunkt Erforschung rechtlicher Rahmenbedingungen autonomer Fahrzeuge

Die rechtlichen Grundlagen wurden insbesondere durch die Aufarbeitung bestehender Regelungen zum Straßenverkehrszulassungs-, Versicherungs-, Haftungs- und Datenschutzrecht erarbeitet. Im letzten Berichtszeitraum wurden die Ergebnisse zusammengeführt. Zudem wurden Ideen zu einem Rechtsrahmen des autonomen, vernetzten Fahrens zusammengetragen.

Trotz der Verzögerungen in der Fahrzeugbeschaffung und der Corona-Pandemie-Verzögerung konnten aus Sicht der CAU zu Kiel die Projektziele innerhalb des Verlängerungszeitraumes erreicht werden.

Solange es an einer rechtlichen Grundlage fehlt, muss der NAF-Bus mit einem Steward betrieben werden. Ein autonomer Betrieb bleibt damit perspektivisch möglich. Allerdings ist der autonome Betrieb der NAF-Busse außerhalb des privaten Testgeländes kurzfristig nicht gewährleistet.

13. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für die Zukunft – ein Ausblick

Die Projektergebnisse können für diverse Gebiete im Bereich des autonomen und vernetzten Fahrens verwendet werden.

Bezogen auf die Arbeitspakete der Projektkoordination lässt sich hier sagen, dass ein ständiger Austausch auf verschiedenen Stakeholder-Ebenen notwendig war und ist, um das autonome und vernetzte Fahren voran zu treiben. Dazu gehörten diverse Austauschtermine mit politischen Vertretern, um die Grundlage und die Basisstrukturen für die zukünftige Entwicklung auf diesem Gebiet ins Gespräch zu bringen, anschaulich darzustellen und in den Aufbau entsprechender rechtlicher Strukturen mit einfließen zu lassen. Die Ergebnisse der verschiedenen Partner wurden durch Besuche auf dem GTC mit der EurA als Gesamtprojektkoordinator diskutiert und es wurde weiterer Handlungsbedarf für die Notwendigkeit einer Normierung etc. beim Einsatz autonomer Fahrzeuge zusammenfassend dargestellt.

Immer wieder zeigte sich auch, wie wichtig es ist, die Ergebnisse transparent der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, da innerhalb der Projektlaufzeit viele Interessierte aus Gemeinden in ganz Deutschland nach einem Einsteigen in das Projekt oder nach Hilfestellung fragten, wie ein ähnliches, neues Projekt dort angegangen werden könnte.

Durch die Testszenarien mit drei verschiedenen Herstellern konnten im Projekt unterschiedliche Funktionen und Bauweisen der Fahrzeuge ermittelt werden.

Die EurA hat in ihrem Arbeitspaket des Wissenstransfers und des Netzwerkes innerhalb der gesamten Projektlaufzeit eine Vernetzung zu politischen Vertretern, Ämtern (Straßenverkehrsämtern/Ordnungsämtern), Polizeidienststellen im Verkehrswesen, Bürgermeistern verschiedener Gemeinden, Bachelor- und Masterstudenten im Bereich der

Zukunftsmobilität, Pressevertretern sowie den Fahrzeugherstellern und interessierten Privatpersonen aufgebaut. Diese Verbindungen werden für zukünftige Projekte und Netzwerke im Bereich des autonomen und vernetzten Fahrens weitergeführt und erweitert werden. Ein Folgeprojekt, in dem das von NAF-Bus gesammelte Wissen Anwendung finden kann, ist z.B. das geförderte Projekt 5G-TELK-NF, in welchem verschiedene Anwendungsfälle mit der neuen Mobilfunkgeneration in einer Leitstelle zum autonomen und vernetzten Fahren etabliert werden sollen.

Vielen öffentlichen Stellen und wissenschaftlichen Einrichtungen ist das NAF-Bus Projekt bekannt geworden (was sich u. a. an der Anzahl der Kontaktanfragen durch die Projekthomepage und die eingehenden Anrufe messen ließ). Einrichtungen wie die CAU, die auch im 5G-TELK-NF Projekt Partner ist, haben sich durch dieses Projekt Vorkenntnisse im Bereich des autonomen Fahrens angeeignet, die in zukünftige Projekte miteingebracht werden können und sehr hilfreich sein werden.

Die Nominierungen in den genannten Wettbewerben gingen mit der Nennung in Datenbanken einher, die ebenfalls für wissenschaftlich Einrichtungen und Unternehmen öffentlich ersichtlich sind und genutzt werden können sowie als Ansporn dienen könnten, Innovationen und Projekte in diesem Bereich umzusetzen und auf dem Gebiet weiter zu forschen.

Zu nennen ist z. B. das Einfließen der Projektergebnisse in die Änderung der Gesetzgebung zu rechtlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. dem Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften - Gesetz zum autonomen Fahren in festgelegten Betriebsbereichen - vom 3. April 2020. Diese Thematik wurde immer wieder mit politischen Vertretern von EurA Seite aus erläutert.

Durch den 2,5-jährigen Betrieb und nicht zuletzt durch den Aufbau der Fahrstrecken konnte das NAF-Bus-Team vom GTC viele Erfahrungen sammeln. Auch die enge Zusammenarbeit mit dem Bushersteller führte dazu, dass auf dem GTC ein sehr hoher Ausbildungsstand in Bezug auf das EZ10 Gen2 Shuttle erreicht wurde. So wurden auf dem GTC nicht nur neun Operator und ein Chief Operator ausgebildet, sondern der Projektleiter erhielt die Erlaubnis und Zertifikate von EasyMile, um selbst neue Operator auszubilden, kleine Strecken selbst einzumessen und Leitstandpersonal auszubilden. Damit besitzt der GTC einmalige hohe Qualifikationen, welche normalerweise nur EasyMile-Mitarbeitern vorbehalten bleiben. Gerade dieser ungewöhnlich hohe Ausbildungsstand führt dazu, dass in der Zukunft EasyMile auf die Ressourcen des GTC zurückgreifen wird. So ist angedacht, zukünftige Demonstrationen deutschlandweit durch GTC-Personal zu unterstützen und somit das autonome Fahren bekannter zu machen.

Des Weiteren ist geplant, anderen Gemeinden und Städten die Möglichkeit zu geben, das autonome Fahren einmal selbst vor Ort kennenzulernen. Aufgrund der Tatsache, dass der GTC nicht nur das Fahrzeug, sondern auch das Personal und das nötige Know-how besitzt, könnte eine Umsetzung eines Probefahrbetriebes kostengünstiger und schnell realisiert werden. Hinzu kommt, dass das gerade deutschlandweit einmalige Wissen über einen No-Op Betrieb und den damit verbundenen Aufbau eines Leitstandes (inkl. Ausbildung des Leitstandpersonals) ein sehr interessanter Aspekt für einen autonomen Linienbetrieb bedeutet.

Da das Projekt darauf abzielte, den momentan genutzten Rufbus-Betrieb im ländlichen Bereich zu entlasten, ist vorrangig ein Einsatz des Fahrzeuges im Raum S-H geplant. Ebenso geplant sind weiterhin Ausstellungen, Demonstrationen und Vorführungen mit dem CO₂-neutralen Bus „EMil“.

Da der GTC in vielen Bereichen aktiv ist, stellte sich zum Ende des Projektes die immer wichtiger werdende Frage, wie es mit der Datensicherheit eines autonomen Shuttles bestellt ist. Von Seiten des Fahrzeugherstellers werden in Toulouse sicherheitsrelevante Tests durchgeführt. Doch in welchem Umfang und mit welchen Ergebnissen wurde nicht aufgezeigt. Der GTC arbeitet eng mit dem Bundesverband für den Schutz Kritischer Infrastrukturen e.V.

(BSKI) und dem ortsansässigen Rechenzentribetreiber Wind Cloud zusammen, und Themen wie Daten- und auch Cybersicherheit spielen auf dem GTC eine wichtige Rolle.

Des Weiteren laufen Planungen auf dem Campus, ein 5G-Campus-Netz aufzubauen. Durch die höhere Datendichte wäre ein neuartiges Kartensystem für das Shuttle möglich. Anstatt ein begrenztes Volumen für die Speicherung der Daten (interne Festplatte) zu nutzen, wäre der Einsatz einer temporären Karte durchaus denkbar. Hierfür würden die benötigten Kartenabschnitte für den nächsten Fahrabschnitt per 5G-Netz heruntergeladen und zwischengespeichert werden. Anschließend würde das nicht mehr benötigte Kartenmaterial wieder gelöscht und der neuen Fahrabschnitt geladen werden. Dies hätte zum einen den Vorteil, dass nicht mehr gigabytegroße Daten auf dem Bus dauerhaft abgespeichert werden und somit das Speichermedium irgendwann an seine Kapazitätsgrenzen kommen würde, sondern man theoretisch eine unbegrenzte Fahrstrecke nutzen könnte.

Zum anderen würde man immer aktuelles Kartenmaterial erhalten - sprich Änderungen der Strecke, z. B. temporäre Baustellen oder Umleitungen, können momentan nur händisch direkt am Bus eingepflegt werden. Durch die serverseitige Lagerung der Streckenabschnitte wäre eine Aktualisierung auch während des Fahrbetriebes für mehrere Shuttle gleichzeitig möglich. Aber auch hierfür braucht man zukünftig hochsicherer Datenanbindungen, um einen Fremdzugriff zu verhindern (Daten- und Cybersicherheit). Diese Themen und Möglichkeiten sowie deren Realisierung müssen mit dem Fahrzeughersteller besprochen werden.

Ein weiterer Ansatz wäre, das Fahrzeug nicht nur beobachtend vom Leitstand aus zu begleiten und bei einem Notstopp wieder zu aktivieren, wenn es die Situation erlaubt, sondern ein aktives Eingreifen vom Leitstand aus wäre denkbar. Hierfür würde sich das teleoperierte Fahren eignen, bei dem der Supervisor im Leitstand die Möglichkeit hätte, z. B. per Joystick das Fahrzeug um ein Hindernis herum zu fahren. Des Weiteren könnten so auch kurzzeitige lokalisierungsschwache Bereiche optional bewältigt werden. Inwieweit der Hersteller EasyMile in diesem Bereich schon Aktivitäten und zukünftige Aufgabenbereiche angestrebt hat, muss ebenfalls abgeklärt werden.

Auch nach Abschluss des Projektes sind noch einige Fragen offen. So gibt es weiterhin wenige Informationen, wie sich ein Einsatz eines solchen Shuttles im rein ländlichen Bereich realisieren und wirtschaftlich betreiben ließe. Alle Fahrzeughersteller legen für ihre Shuttles entweder Städte oder kleine Gemeinden als Einsatzort fest. Der Betrieb in einem sehr ländlichen Bereich, wie er in großen Teilen S-H vorzufinden ist, finden im Moment keinerlei oder nur wenig Betrachtung. Aber gerade hier wäre auch zukünftig eine Weiterentwicklung wünschenswert.

Der Hersteller EasyMile hat zum Jahresbeginn 2020 ein neues Fahrzeugmodell herausgebracht – Generation 3. Dieses Fahrzeug unterscheidet sich technisch erheblich von der Generation 2. Eventuell ergeben sich durch einen Wechsel auf das neue Modell mehr Möglichkeiten und es bringt das autonome und vernetzte Fahren vermehrt in den ländlichen Bereich.

Auch der auf dem GTC deutschlandweit erstmalige No-Op Betrieb stellt eine interessante Möglichkeit dar, um z. B. einen Linienbetrieb wirtschaftlicher zu gestalten. Der momentan erlaubte Betrieb eines autonomen Shuttles ist mit der Auflage verbunden, dass ein ausgebildeter Operator sich im Fahrzeug befindet und dieses begleitet. Durch den No-Op Betrieb könnte ein Supervisor mehrere Fahrzeuge „begleiten“ und somit die nicht unerheblichen Personalkosten einsparen und dabei helfen den bestehenden Fahrermangel zu teilweise zu kompensieren. Für einen reibungslosen Betrieb wären somit ein Supervisor und ein Field-Operator (techn. Vor-Ort Service) nötig. Das heißt, ab einer Flottengröße von drei Fahrzeugen wären die wirtschaftlichen Vorteile schon gegeben. Hinzu kommt, dass der Fahrzeughersteller davon ausgeht, dass ein Supervisor durchaus fünf bis zehn Fahrzeuge

überwachen kann. Auch müssten die psychischen Belastungen für einen Supervisor beim Betrieb mit mehreren Fahrzeugen untersucht werden. Ersten Äußerungen zufolge könnte ein Supervisor mehr Stunden pro Schicht absolvieren, was - gegenüber den momentan angesetzten vier Stunden - einen wirtschaftlichen Vorteil bedeuten würde. Aber auch beim No-Op Betrieb liegen noch keinerlei fundierte Erfahrungswerte bezüglich Übersichtlichkeit, Hardwareanforderung oder Belastung für den Supervisor vor.

Bezogen auf den Sylter NAF-Bus ist zu sagen, dass dadurch, dass die Genehmigung und auch die Konzession des Sylter Fahrzeugs nur befristet auf die Projektlaufzeit erteilt worden sind, für einen weiteren Betrieb auf Sylt eine Verlängerung dieser notwendig wäre. Durch die sehr hohen Betriebskosten ist ein wirtschaftlicher Betrieb jedoch nicht darstellbar.

Die gesammelten Erfahrungen im Projekt haben gezeigt, dass ein Betrieb für die letzte Meile denkbar ist, jedoch noch nicht alles reibungslos funktioniert und folgende Punkte weiter untersucht werden sollten, um eine Praxistauglichkeit zu erreichen.

Ohne einen Zugriff auf die Schnittstellen vom Fahrzeug ist das nachfragegesteuerte Fahren nur möglich, wenn der Hersteller des Shuttles selbst über diese Technik verfügt. Zudem ist der Einsatz vom Shuttle mit Operator noch zu kostenintensiv, hier ist der No-Op Betrieb wünschenswert. Die Geschwindigkeit vom Shuttle mit 18 km/h bietet nur Einsatzmöglichkeiten in Regionen mit geringen Geschwindigkeiten anderer MIV Teilnehmer an und die Technik der Steuerung der Nebenverbraucher ist noch nicht genug ausgereift.

Als nächste Phase müsste der No-Op Betrieb getestet werden, wozu im öffentlichen Raum die rechtlichen Bedingungen angepasst werden müssten. Im Zuge des No-Op Betriebes wären dann weitere Punkte zu testen wie z. B. Zustiegskontrollen und Fahrausweiskontrollen. Weiterhin müssten die Hersteller den on-demand Service darstellen können oder ihre Schnittstellen offenlegen. Auch der Betrieb mit mehreren Fahrzeugen, ggf. auch unterschiedlicher Hersteller wäre ein mögliches zukünftiges Testszenario.

Auch die Autokraft sieht das autonome Fahren als eine vielversprechende Technologie an, die zukünftig zur Verbesserung des Angebotes des ÖPNV dienen wird und somit einen wichtigen Beitrag für die Verkehrswende leisten kann. Ob und wann sich die Technologie durchsetzen wird, hängt auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen (Fahren ohne Operator, höhere Geschwindigkeiten etc.) sowie der Entwicklung auf dem Fahrzeugmarkt ab. Sobald die Fahrzeuge auch ohne den Operator verkehren dürfen, wird der Einsatz dieser Fahrzeuge für die ÖPNV-Unternehmen noch mehr in den Fokus rücken. Denn nur so können die in meistens ländlichen Gegenden fehlenden Personalkapazitäten der Unternehmen ausgeglichen werden. Ebenso ist zu beachten, dass die derzeit erreichten Höchstgeschwindigkeiten nicht ausreichen, um einen effizienten ÖPNV zu betreiben. Und nicht zuletzt schrecken noch die zu hohen Investitionen für die Fahrzeuge die meisten Unternehmen von einer Anschaffung ab. Hier ist aber zu beobachten, dass vermehrt weitere Hersteller kurz vor dem Marktdurchbruch stehen, so dass hier mit sinkenden Preisen zu rechnen ist. Erst wenn die hier genannten Hindernisse in den kommenden Jahren abgebaut werden, wäre es denkbar, diese Fahrzeuge flächendeckend auch bei der Autokraft einzusetzen.

Zudem soll Überholen mit Ausweichen auf die Gegenfahrspur ermöglicht werden. Dazu muss zukünftig die Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer und Länge des zu umfahrenden Hindernisses berechnet werden. Eine aktive Entscheidungsfindung des Fahrzeugs ist zurzeit noch nicht möglich, Fahrzeuge sind heute nur reaktiv. Höhere Geschwindigkeiten spielen eine sehr wichtige Rolle wie auch die Standardisierung von Zulassungs- und Prüfprozessen. Die Fahrzeuge sollten weniger wettersensibel hergestellt werden und es sollte der Fokus auf eine Verbesserung der Ortung und Übertragung von Echtzeitdaten (z. B. mit Hilfe der 5G-Technologie) gelegt werden.

Die Arbeitsergebnisse und gewonnenen Kenntnisse aus allen drei Szenarien wurden zur Bearbeitung anderer Umsetzungsprojekte oder deren Vorbereitung verwendet. Insbesondere die Prozesse für die Genehmigungen im öffentlichen Raum zur Beförderung von Fahrgästen werden in anderen Anwendungsfällen sowie in einem Leitfaden für die Praxis eingebracht. Zudem wurde vom Interlink-Team durch die Erkenntnisse des Standes der Technik ein Katalog an Kriterien erarbeitet, die für eine Risikoanalyse einer denkbaren Einsatzstrecke untersucht werden müssen. Auch diese Risikokriterien sind für Folgeprojekte anwendbar und hilfreich.

Interlink konnte die Erfahrungen und die Vernetzung aus der Mitwirkung in mehreren Förderprojekten (als beauftragter Dienstleister oder wie beim NAF-Bus als Projektpartner) in den Projekten gut unterbringen und im Sinne der Projekte und des Erkenntnisgewinns nutzbringend anwenden und verwerten. Sie war vielfach in der Rolle des Vermittlers und „Scharniers“ zwischen den Herstellern und den Anwendern bzw. Betreibern. Diese Rolle gilt es auf weitere Projekte auszudehnen, die zur Weiterentwicklung der Technologie und der Implementierung im Busbetrieb beitragen.

Dies ist auch bereits gelungen, denn Interlink wurde beispielsweise im Rahmen des Forschungsprojektes RealLabHH (Reallabor Hamburg) beauftragt. Im Teilprojekt 4 wird der Stadtteil Hamburg-Bergedorf auf einen on-demand-Betrieb mit automatisiert fahrenden Elektroshuttles vorbereitet (Umsetzung voraussichtlich von August bis Oktober 2021). Zusammen mit Continental, den Verkehrsbetrieben Hamburg-Holstein GmbH (VHH), dem Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.), der DEKRA Automobil GmbH sowie dem Shuttle-Hersteller EasyMile ist Interlink an der Vorbereitung und Umsetzung beteiligt. Dabei geht es insbesondere um die Streckenfindung für das zu bedienende Streckennetz und der Definition von Haltepunkten sowie um die Zulassungsvorbereitung und Betriebsplanung. Der Testbetrieb in Bergedorf ist eines von elf Teilprojekten des vom BMVI geförderten RealLabHH, das innovative Mobilitätsangebote in Hamburg erprobt und im Rahmen des ITS World Congress im Oktober 2021 präsentiert. Weitere Beauftragungen für Projekte (Anzahl aktuell über fünf), mit denen bereits ein Austausch zu Inhalten und/oder eine Bewerbung auf die ausgeschriebenen stattgefunden hat, sind aktuell noch nicht entschieden, aber werden erwartet. Interlink hat durch die umfangreichen Vorerfahrungen aus dem NAF-Bus-Projekt einen Vorteil gegenüber Konkurrenten bekommen und wird von verschiedenen Akteuren regelmäßig für Austauschformate zu Vorhaben mit automatisierten Shuttle-Bussen hinzugezogen.

Das autonome Fahren ist eine vielversprechende Technologie, die zukünftig zur Verbesserung des Angebotes des ÖPNV beitragen und somit einen wichtigen Beitrag für die Verkehrswende leisten kann. Dadurch, dass deutlich weniger Personal pro Fahrgast eingesetzt werden muss, können Busse mit kleineren Kapazitäten als Linienbusse betrieben werden. Dies käme insbesondere in Räumen mit geringer Nachfrage zugute und könnte die Erschließung der Ersten/Letzten Meile lösen. Aus den unterschiedlichen Gefäßgrößen und denkbaren Anwendungsfällen sowie anderen Faktoren ergeben sich verschiedene Einsatzszenarien, z. B. ein Quartierbus mit einem Sechssitzer oder die Automatisierung der Abläufe auf dem Busbetriebshof.

Gemäß der Studie „The 2020 Digital Auto Report“³ von Strategy&PwC wird das automatisierte Fahren im Level 4 (in bestimmten Gebieten) für Fahrzeuge der bei NAF-Bus in Einsatz gebrachten Art (People-Mover) ab 2025 mit 30 km/h möglich sein, mit 50 km/h ab 2028 (beides ohne Spurwechsel). Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für Interlink werden daher kurz- und mittelfristig als positiv eingeschätzt, da bis zur massenhaften Umsetzung von automatisiertem Verkehr (in der Studie ab etwa 2035 prognostiziert) noch regelmäßig Beratungsleistungen zur Einführung automatisierter Verkehre nachgefragt werden. Zunächst werden die Einsatzszenarien in abgetrennten Arealen, für die Erste/Letzte Meile, als

³ Online abrufbar unter: <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/studie/2020/digital-auto-report-2020.html>, letzter Zugriff: 30.03.2021

Quartierbus und auf dem Betriebshof weiterhin umsetzbar sein. Ab 2030/35 werden größere Gefäße hinzukommen, also Einsatzszenarien wie Nacht-, Stadt-, Regional-, Schul- und Intercity-Bus.

Die nächsten Schritte sind ohne die Weiterentwicklung des autonomen Fahrens auf rechtlicher und technischer Seite nicht möglich. Interlink wie auch alle weiteren Projektpartner begrüßen die geplanten Änderungen des Straßenverkehrsrechts für das automatisierte Fahren innerhalb fester Betriebsbereiche.

Neben der Weiterentwicklung der Fahrfunktionen ist die ÖPNV-Kompatibilität der Fahrzeuge und ihrer Ausstattung entscheidend. Hierbei bestehen starke Abhängigkeiten zu den Herstellern, die im Falle von NAF-Bus nicht als Projektpartner eingeplant waren.

Wichtiger Aspekt ist die Verbesserung der momentan noch unzureichenden Ortung und deren Zuverlässigkeit in Wald, Straßenschluchten oder ähnlichen Bedingungen (z. B. Parkhäuser, Tunnel). Auch besteht momentan noch zu hoher Aufwand für neue Streckenabschnitte. Neues Einmessen ist erforderlich, sobald sich die Umgebung am Streckenverlauf ändert, dies ist zeitintensiv. Auch sind nur kurze Strecken aus Gründen der Leistungsfähigkeit und des Speicherplatzes und ansonsten zu hoher Datenmenge möglich. Auch Fahrzeuge mit Wasserstoff-Antrieb sowie dafür erforderliche Infrastruktur bei den Betreibern und das Voranbringen induktiver Ladung sieht Interlink als wichtige weitere Forschungsaspekte. Außerdem müsse die Standardisierung von V2X-Schnittstellen und Schaffung von redundanten Systemen sowie die automatisierte Befahrung von Bahnübergängen vorangebracht werden. Nennenswerte Aspekte für die Zukunft sind zudem Bestellinfrastruktur (auch ortsfest), die Sicherheit und Zuverlässigkeit von automatisierter Rampenthematik, die Mensch-Maschine-Interaktion, d.h. die Kommunikation Fahrzeugsystem mit dem Umfeld, sowie Aufklärungs-/Akzeptanzkampagnen und Flotteneinsatz.

Für die FLS ist es ein Vorteil, ein komplettes System (Routenoptimierung, Fahrgast-App, Stewart-App) für die nachfragegesteuerte Personenbeförderung im ÖPNV auf Anforderung durch die Projektaktivitäten verfügbar zu haben, wenngleich die Lösung noch nicht aktiv vertrieben wird.

Eine Vermarktung der durch Moteg entwickelten Online Energie- und Lademanagement Software für autonome Fahrzeuge ist aktuell aufgrund des technischen Stands der verfügbaren Fahrzeuge noch nicht erkennbar, jedoch für die Zukunft nicht ausgeschlossen.

Zukünftige Erfolgsaussichten hängen stark von der technischen Weiterentwicklung der Fahrzeuge im autonomen Betrieb und deren erweiterten Einsatzgebieten ab. Speziell sei an dieser Stelle nochmals die notwendige Steigerung der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit zur Minimierung der Differenzgeschwindigkeit zu anderen Verkehrsteilnehmern und zur Minderung des Reichweiteneinflusses von Klimaanlage und Heizung genannt. Elektrischer Antrieb und Batteriesysteme erfüllen grundsätzlich die an die Fahrzeuge gestellten Ansprüche. Die erzielten Ergebnisse der Moteg zum Thema Laden und Energieverbrauch können anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden.

Im Rahmen des Projektes konnten die technischen Möglichkeiten autonomer Busse in der Praxis der Personenbeförderung ausgelotet werden. Im nächsten Schritt sind Untersuchungen der verkehrlichen Effekte autonomer Busse anzuschließen, um den verkehrlichen Mehrwert in verschiedenen Szenarien besser abschätzen zu können. Ebenso sind Untersuchungen der Potentiale autonomer Busse zur Veränderung gesellschaftlicher Mobilitätspraktiken zugunsten einer Mobilitätswende erforderlich. Hierzu zählt auch eine Untersuchung von Nachfragepotentialen sowie nachfragefördernder Maßnahmen im autonomen ÖPNV. Dabei liegt das besondere Interesse auf der Weiterentwicklung und Evaluation eines vollflexiblen, digitalen ÖPNV on-demand als potentiell attraktive Alternative zur MIV Nutzung.

Auf den von der CAU erbrachten Ansatz zur Abwehr von Angriffen auf künstliche neuronale Netze kann aufgebaut werden. Die Methodik zur Bewertung der Risikobilanz kann auf andere Verkehrsbereiche übertragen werden. Die CAU hat sich in die Community derjenigen, die sich mit der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Machine-Learning-Systemen beschäftigen, eingebracht und steht weiterhin mit ihr in Verbindung.

Die erbrachten Erkenntnisse des Projekts kommen neben allen Projektpartnern ebenfalls den assoziierten Partnern zugute. Sei es die IHK, die die Ergebnisse in die Stadtplanung miteinbringen kann, die Hochschulen, die die Erfahrungen für neue Studiengänge mit einbinden können oder auch der TÜV, der die Ergebnisse für folgende Fahrzeugzulassungen in Folgeprojekten nutzen kann. Neben den für die Zukunft gut nutzbaren Ergebnissen für das Voranbringen des autonomen und vernetzten Fahrens für die Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, hat das NAF-Bus Projekt nicht zuletzt auch Vorteile für die Projektpartner selbst erbracht.