Digibus 2017

Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich

Cornelia Zankl und Karl Rehrl

salzburgresearch

Impressum

Titel	**Digibus 2017**
Autoren	DI Mag.(FH) Cornelia Zankl, DI Dr. Karl Rehrl
Herausgeber	Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH
Veröffentlichung	23. Mai 2018
Lizenz	Creative Commons 4.0 International, Namensnennung – Nicht kommerziell – Keine Bearbeitung CC BY-NC-ND 4.0
Fördergeber	Land Salzburg
Fotorechte	Die Rechte für alle abgebildeten Fotos liegen bei Salzburg Research, sofern nicht anders angegeben.
Markenrechte	Die Marke „Digibus“ ist beim Amt der Europäischen Union für Geistiges Eigentum als Schutzmarke eingetragen.
Zitierhinweis	Zankl, C., & Rehrl, K. (2018). Digibus 2017 - Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich. Salzburg: Salzburg Research. http://www.digibus.at

Sämtliche personenbezogene Bezeichnungen in diesem Bericht sind geschlechtsneutral zu verstehen und beziehen sich gleichermaßen auf Frauen und Männer.

Vorwort

Im Rahmen des Salzburger Landesmobilitätskonzeptes „salzburg mobil 2025“ sowie der Wissenschafts- und Innovationsstrategie 2025 des Landes Salzburg hat die Landesforschungsgesellschaft Salzburg Research als erste Forschungseinrichtung in Österreich Testfahrten mit einem selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen im gemischten Verkehr durchgeführt. Durch diese Testfahrten konnten wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen gesammelt werden, die einerseits eine realistische Einschätzung des aktuellen Standes der Technik ermöglichen und andererseits die Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten zu diesem Thema bilden.

Unser Dank gilt in erster Linie dem Land Salzburg und insbesondere Herrn Landeshauptmann Dr. Wilfried Haslauer, der das Projekt von Anfang an unterstützt und dadurch die Testfahrten ermöglicht hat. Des Weiteren gilt unser Dank Landesbaudirektor DI Christian Nagl und der Abteilung 6 - Infrastruktur und Verkehr des Landes Salzburg, die das Projekt finanziell unterstützt und auch fachlich betreut hat.

Besonderer Dank gilt auch dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) sowie der Kontaktstelle für Automatisiertes Fahren der AustriaTech für die Gestaltung der Rahmenbedingungen sowie für die Unterstützung bei der Antragsstellung für die Testgenehmigung.

Darüber hinaus danken wir der Gemeinde Koppl, insbesondere Herrn Bürgermeister Rupert Reischl sowie Bauamtsleiter Herrn Rupert Viehauser, die vor Ort die idealen Rahmenbedingungen für die Testfahrten geschaffen haben und oftmals sehr spontan auf neue Anforderungen reagiert und so reibungslose Testfahrten ermöglicht haben. Insbesondere möchten wir auch der Bevölkerung von Koppl danken, die insgesamt sehr positiv auf die Testfahrten mit dem selbstfahrenden Shuttlebus reagiert und diese gut angenommen hat.

Weiters möchten wir auch dem Salzburger Verkehrsverbund, Geschäftsführerin Frau Mag. (FH) Allegra Frommer sowie dem Bereichsleiter der Abteilung Verkehrsplanung Herrn Michael Lackner danken, die das Projekt Digibus ebenfalls von Anfang an unterstützt und mitgetragen haben.

Ebenso danken wir dem Dachverein zur Regionalentwicklung Fuschlseeregion Mondseeland und Herrn Dr. Günther Penetzdorfer von der Masterconcept Consulting GmbH für die tatkräftige Unterstützung in der Anfangsphase des Projekts sowie für die laufende Bekanntmachung der Digibus Aktivitäten.

Abschließend danken wir auch der Firma Navya Tech, dem Hersteller des selbstfahrenden Shuttlebusses, für die laufende Betreuung und Unterstützung bei technischen Fragestellungen, ohne die diese Testfahrten nicht möglich gewesen wären.

Inhaltsverzeichnis

Impressum 2
Vorwort 3
Inhaltsverzeichnis 4
Abbildungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 7
1 Hintergrund und Rahmenbedingungen 8
1.1 Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren 9
1.2 Erste Testfahrten in Salzburg 11
2 Genehmigungsverfahren für die Testfahrten 12
2.1 Kennzeichen für den selbstfahrenden Shuttlebus 12
2.2 Versicherungsschutz 13
2.3 Bewerbung um eine Testgenehmigung 13
3 Teststrecke in Koppl bei Salzburg 13
3.1 Teststrecken in der Gemeinde Koppl 14
3.2 Die erste/letzte Meile im ÖPNV 15
3.3 Potenzielle Einsatzmöglichkeiten für selbstfahrende Shuttlebusse 16
3.4 Physische und digitale Infrastruktur in Koppl 17
4 Testfahrzeug Navya Arma 20
4.1 Merkmale des selbstfahrenden Shuttles 20
4.2 Identität des selbstfahrenden Shuttles 22
4.3 Fahrtraining für Operatoren 23
4.4 Einlernen der Strecke 24
4.5 Positionierung und Umgebungserkennung 24
4.6 Fahrmanöver und Fahrsituationen 26
4.7 Fahrerloser Betrieb 26
5 Testfahrten mit dem selbstfahrenden Shuttlebus 27
5.1 Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen 27
5.2 Ankündigung der Testfahrten 27
5.2.1 Kommunikation durch die Gemeinde Koppl 27
5.2.2 Website 28
5.2.3 Social Media 28
5.2.4 Printmedien 29
5.3 Ablauf Testfahrten 30
5.4 Mitnahme von Kindern 30
5.5 Zwecke der Testfahrten 31
5.5.1 Interne Testfahrten 31
5.5.2 Demofahrten für Unternehmens-Delegationen 31

5.5.3 Demofahrten bei Veranstaltungen 32
5.5.4 Öffentliche Testfahrten bei den eMobility Playdays 32
5.5.5 Öffentliche Testfahrten für Privatpersonen 33
5.5.6 Testfahrten mit Pressevertretern 34
6 Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Digibus-Testfahrten 34
6.1 Kennzahlen zu den Testfahrten 35
6.2 Unfälle und kritische Situationen während der Testfahrten 37
6.3 Qualitative Ergebnisse 38
6.3.1 Herausforderungen im Testbetrieb 39
6.3.2 Häufigkeiten aufgetretener Probleme während der Testfahrten 41
6.4 Quantitative Ergebnisse der Fahrgastbefragung 42
6.5 Angewandte Sicherheitsmechanismen 52
6.5.1 Datenschutz 52
6.5.2 Cybersicherheit 52
6.5.3 Verkehrssicherheit der getesteten Systeme 52
6.6 Nachhaltigkeit der erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse 53
7 Fazit und nächste Schritte 54
8 Literaturverzeichnis 58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: (a) Aktionsplan „Automatisiertes Fahren“, (b) Use Case 3 "Neue Flexibilität".....8
Abbildung 2: Landesmobilitätskonzept salzburg.mobil.2025.....9
Abbildung 3: Die 5 Stufen des automatisierten Fahrens nach SAE J3016.....10
Abbildung 4: Erste Testfahrt mit dem Navya Arma DL3 Shuttlebus in der Altstadt von Salzburg.....12
Abbildung 5: Probekennzeichen für den selbstfahrenden Shuttlebus.....12
Abbildung 11: Die zwei Teststrecken in der Gemeinde Koppl bei Salzburg.....15
Abbildung 12: Wendeplatz für den Digibus vor und nach den baulichen Anpassungen.....18
Abbildung 13: Gekennzeichnete Starthaltestelle in Koppl Ortsmitte.....18
Abbildung 14: Information zu den Digibus Testfahrtzeiten bei der Bushaltestelle in Koppl Ortsmitte.....19
Abbildung 15: Digibus in seiner Garage.....19
Abbildung 16: Barrierefreier Zugang zum Digibus.....22
Abbildung 6: (a) Beklebung vom Digibus , (b) Digibus im Corporate Design.....23
Abbildung 17: (a) Fahrt im manuellen Fahrmodus, (b) Trainings Zertifikat von Navya.....24
Abbildung 18: Proprietäre GNSS-Basisstation am Gegenhang.....26
Abbildung 10: Bericht in der Koppler Gemeindezeitung zu den Digibus-Testfahrten.....28
Abbildung 7: Website Digibus.....28
Abbildung 8: (a) Digibus Facebook Seite, (b) Digibus auf Twitter.....29
Abbildung 9: (a) Digibus Postkarte, (b) Digibus Plakat.....29
Abbildung 19: (a) Zustimmungserklärung der Erziehungsberechtigten für den Transport von Kindern im Digibus, (b) Hinweisschild im Digibus zur Mitnahme von Kindern.....31
Abbildung 20: Demofahrten mit Commend Österreich und der Salzburg Wohnbau AG.....32
Abbildung 21: Teststrecke am Red Bull Ring in Spielberg.....33
Abbildung 22: Testfahrten mit Privatpersonen.....33
Abbildung 23: Testfahrten mit einem Team von Raum.Film, die im Auftrag des ORF eine Reportage zum Thema automatisiertes Fahren drehten.....34
Abbildung 24: Wetterbedingungen während der Testfahrten.....36
Abbildung 25: Anteil der Testfahrten nach Testzweck.....36
Abbildung 26: Online-Umfrage für Digibus-Fahrgäste.....43
Abbildung 27: Vorwissen zu automatisierten Fahrzeugen.....43
Abbildung 28: Vorhandene Erfahrungen mit automatisierten Shuttlebussen.....44
Abbildung 29: Gründe für die Testfahrt mit dem Digibus.....45
Abbildung 30: Gefallen an der Digibus-Fahrt.....45
Abbildung 31: Sicherheitsgefühl im Digibus.....48
Abbildung 32: Nutzungspotenziale für den Digibus.....49
Abbildung 33: (a) Pkw Besitz; (b) potenzieller Ersatz des privaten Pkw durch einen selbstfahrenden Shuttlebus.....50

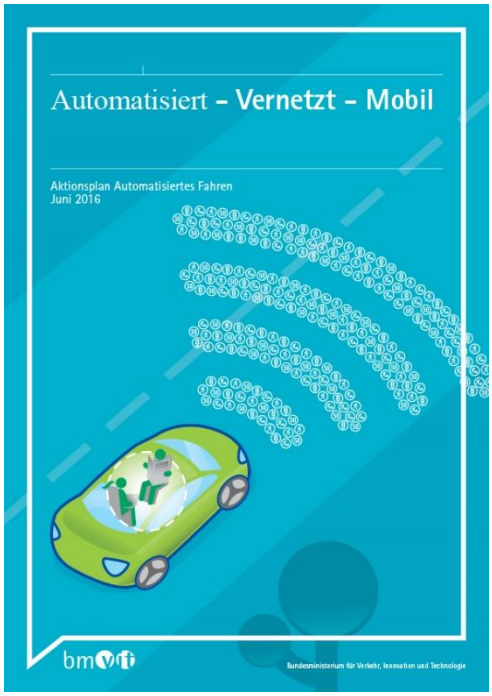
Abbildung 34: Geschlecht der befragten Personen....50
Abbildung 35: Alter der befragten Personen....51
Abbildung 36: Beschäftigung der befragten Personen....51
Abbildung 37: ERTAC Roadmap: wesentliche Entwicklungspfade von autonomen Fahrzeugen....55

Tabellenverzeichnis

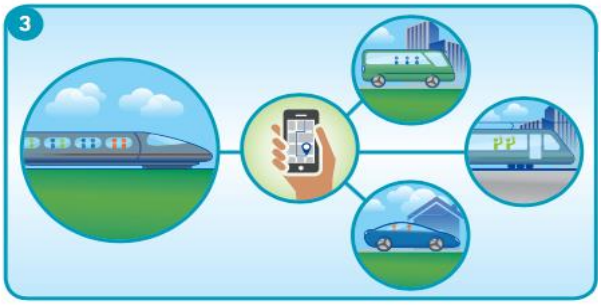
Tabelle 1: Kennzahlen Gemeinde Koppl....13
Tabelle 2: Physische und digitale Charakteristiken entlang der Teststrecke....20
Tabelle 3: Überblick Kennzahlen zu den Digibus Testfahrten....35
Tabelle 4: Registrierte Häufigkeiten der aufgetretenen Probleme während der Digibus-Testfahrten....42
Tabelle 5: Registrierte Häufigkeiten der positiven Aspekte während der Testfahrten....46
Tabelle 6: Registrierte Häufigkeiten überraschender Aspekte während der Testfahrten....47
Tabelle 7: Registrierte Häufigkeiten negativer Aspekte während der Testfahrten....47
Tabelle 8: Registrierte Häufigkeiten und Gründe für ein unsicheres Gefühl der Passagiere im Digibus....49

1 Hintergrund und Rahmenbedingungen

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) präsentierte im Juni 2016 den **Aktionsplan für automatisiertes Fahren.** In dem Aktionsplan wurden Grundlagen definiert, die es Forschungseinrichtungen ermöglichen, neue Technologien unter realen Bedingungen zu testen und weiterzuentwickeln. Zentrales Element des Aktionsplans sind sieben Use Cases, die die Einsatzmöglichkeiten des automatisierten und vernetzten Fahrens definieren und voneinander abgrenzen.



© BMVIT, 2016



© BMVIT, 2016

Abbildung 1: (a) Aktionsplan „Automatisiertes Fahren“, (b) Use Case 3 "Neue Flexibilität"

Darunter befindet sich **Use Case 3** mit dem Fokus **„Neue Flexibilität“,** der als prioritärer Use Case bewertet wurde. Dieser besagt, dass automatische und vernetzte Fahrzeuge hohe Flexibilität im intermodalen Verkehrssystem ermöglichen sollen. Routenoptimierung und die Anpassung der Fahrzeiten an persönliche Wünsche sowie eine sichere und komfortable Anschlussmobilität an intermodalen Umstiegsknoten sollen durch neue Fahrzeugkonzepte und Informations- sowie Buchungsdienste sichergestellt werden. Diese Anforderungen sollen

- in einem virtuellen Labor,
- in einem Testlabor und/oder
- in einem Reallabor getestet werden.

Neue Flexibilität soll durch automatisierte und vernetzte Fahrzeuge erbracht werden, die neue und nutzerangepasste Wahlmöglichkeiten bieten. Insbesondere als Zubringersysteme zu Knotenpunkten des öffentlichen Verkehrs oder zu höherrangigen Straßen im urbanen und

ländlichen Raum. Durch On-Demand-Angebote soll nicht nur die Flexibilität der Mobilitätsnutzer/-innen erhöht, sondern auch die Umwelt entlastet werden.

Darüber hinaus werden in dem Aktionsplan Umsetzungsmaßnahmen definiert. Eine Maßnahme ist das Ermöglichen von Testfahrten mit automatisierten Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen. Basierend auf den Use Cases wurde vom BMVIT eine Verordnung erlassen, die den rechtlichen Rahmen für Tests auf öffentlichen Straßen vorgibt (BMVIT, 2016).

Das Land Salzburg hat im Jahr 2016 das **Landesmobilitätskonzept salzburg.mobil 2025** (2016-2025) verabschiedet. Im Rahmen von salzburg.mobil 2025 sollen u.a. innovative Formen der nachhaltigen Mobilität erprobt werden. Ein Schwerpunkt dabei liegt auf der Attraktivierung der letzten Meile im öffentlichen Personennahverkehr (Land Salzburg, 2016).

© Land Salzburg, 2016

Abbildung 2: Landesmobilitätskonzept salzburg.mobil.2025

1.1 Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren

Die internationale Ingenieurs- und Automobilindustrie Vereinigung SAE hat eine Norm veröffentlicht, die Abstufungen des autonomen Fahrens unterscheidet. Aufgebaut ist die Norm J3016 in fünf Abstufungen von Stufe 1 bis 5 (Stufe 0 beschreibt das rein menschliche Fahren ohne Automatisierung). Die ersten zwei Abstufungen beschreiben jenen Bereich, in dem der menschliche Fahrer die Kontrolle über das Fahrzeug besitzt. Ab Stufe 3 übernimmt die

Maschine mehr und mehr die Fahrzeugsteuerung. Bei Stufe 5 werden schließlich alle Fahraufgaben in jeder Situation vom Fahrzeug übernommen (SAE International, 2014).

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/ Deceleration	*Monitoring* of Driving Environment	Fallback Performance of *Dynamic Driving Task*	System Capability *(Driving Modes)*
***Human driver* monitors the driving environment**						
0	**No Automation**	the full-time performance by the *human driver* of all aspects of the *dynamic driving task*, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	**Driver Assistance**	the *driving mode*-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	**Partial Automation**	the *driving mode*-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/ deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	**System**	Human driver	Human driver	Some driving modes
***Automated driving system* ("system") monitors the driving environment**						
3	**Conditional Automation**	the *driving mode*-specific performance by an *automated driving system* of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the *human driver* will respond appropriately to a *request to intervene*	System	**System**	Human driver	Some driving modes
4	**High Automation**	the *driving mode*-specific performance by an automated driving system of all aspects of the *dynamic driving task*, even if a *human driver* does not respond appropriately to a *request to intervene*	System	System	**System**	Some driving modes
5	**Full Automation**	the full-time performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task* under all roadway and environmental conditions that can be managed by a *human driver*	System	System	System	**All driving modes**

© SAE International, 2014

Abbildung 3: Die 5 Stufen des automatisierten Fahrens nach SAE J3016

Ab Automatisierungsstufe drei sind Anpassungen des Rechtsrahmens notwendig, da der Fahrer ab dieser Stufe das Verkehrsgeschehen nicht mehr ständig überwachen muss. Die grundsätzliche Regelung in Österreich laut Wiener Straßenverkehrskonvention (BGBl. 1977 II S. 809, 811) besagt, dass ein Lenker das Fahrzeug ununterbrochen beherrschen und die Geschwindigkeit an relevante Umstände wie Witterung oder Verkehrsdichte anpassen muss. Bei automatisierten Fahrzeugen ist dies nicht mehr möglich, deswegen wurde Artikel 8 der Wiener Straßenverkehrskonvention um Absatz 5^{bis} ergänzt. Dieser Anpassung zufolge sind automatisierte Fahrzeugsysteme dann mit der Wiener Straßenverkehrskonvention vereinbar, wenn die manuelle Kontrolle von einem Lenker übernommen oder das System ausgeschaltet werden kann. Darüber hinaus sind automatisierte Systeme nunmehr konventionskonform, wenn sie den Vorgaben anderer internationaler Abkommen über die Zulassung von Fahrzeugen entsprechen (Bundesgesetzblatt, 1977).

Die Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren in Österreich sind durch die Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren (Automatisiertes Fahren Verordnung – AutomatFahrV, BGBl. II Nr. 402/2016) festgelegt. Die Verordnung erlaubt, dass Lenker bestimmte Fahraufgaben an im Fahrzeug vorhandene Assistenzsysteme bzw. automatisierte oder vernetzte Fahrsysteme

übertragen dürfen. Das betrifft zum einen Systeme, die bereits genehmigt und in Serie sind (z.B. Stauassistenten), aber aufgrund der bestehenden „Lenkerpflichten“ derzeit nicht genutzt werden dürfen. Zum anderen soll dies für komplett neue Systeme im Teststadium gelten, die dafür bestimmten Anforderungen entsprechen müssen. Es erfolgt aber keine generelle Legalisierung neuer, noch nicht typisierter Technologien (BMVIT, 2016).

Für einen selbstfahrenden Shuttlebus gelten folgende Vorgaben.

Auszug Abschnitt 2, §7 aus der AutomatFahrV (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2016):

(1) Im Sinne dieser Verordnung gilt als autonomer Kleinbus, ein Fahrzeug der Klassen M1, M2 und M3, das mit einem System ausgerüstet ist, das in der Lage ist, bei einer Geschwindigkeit bis zu 20 km/h alle Fahraufgaben zu übernehmen.

(2) Dieses System darf von Fahrzeugherstellern, Entwicklern von Systemen und Forschungseinrichtungen getestet werden.

(3) Das System darf auf Straßen mit öffentlichem Verkehr nur verwendet werden, wenn vorab mit dem System mindestens 1.000 Testkilometer zurückgelegt worden sind.

(4) Der autonome Kleinbus darf auf einer vordefinierten Teststrecke getestet werden.

(5) Sobald der Lenker das System aktiviert, werden sämtliche Fahraufgaben auf das System übertragen. Das System muss daher in der Lage sein, alle Fahrsituationen automatisch zu bewältigen.

(6) Es muss eine Notfallvorrichtung vorhanden sein, mit der das System deaktiviert werden kann. Wenn es zu einer kritischen Situation kommt, muss der Lenker die Notfallvorrichtung unverzüglich betätigen.

(7) Das System darf bis zu einer maximalen Geschwindigkeit von 20 km/h getestet werden.

(8) Während des Testzeitraumes dürfen Personen ausschließlich auf den vorgesehenen Sitzplätzen und nicht gewerblich befördert werden.

1.2 Erste Testfahrten in Salzburg

Am 19. Oktober 2016 testete Salzburg Research den ersten selbstfahrenden Shuttlebus Österreichs in der Altstadt von Salzburg. Ende 2016 hat sich Salzburg Research für eine Testgenehmigung für selbstfahrende Shuttlebusse auf Basis der AutomatFahrV (BGBl. II Nr. 402/2016) beworben (vergleich Kapitel 2.3) und diese erteilt bekommen.

© wildbild, 2016

Abbildung 4: Erste Testfahrt mit dem Navya Arma DL3 Shuttlebus in der Altstadt von Salzburg

2 Genehmigungsverfahren für die Testfahrten

Um die ersten Testfahrten auf öffentlichen Straßen in Österreich durchführen zu können, war es erforderlich, Genehmigungen für den Testbetrieb und für die KFZ-Kennzeichen zu erwirken sowie den Versicherungsschutz abzuklären.

2.1 KFZ-Kennzeichen für den selbstfahrenden Shuttlebus

In §4 der AutomatFahrV ist festgelegt, dass automatisierte Fahrzeuge, die nicht zum Verkehr zugelassen sind, mit einem Probefahrkennzeichen auf öffentlichen Straßen getestet werden dürfen (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2016). Nach Rücksprache mit der KFZ-Prüfstelle des Landes Salzburg und der Landespolizeidirektion wurde bei der Landespolizeidirektion Salzburg der Antrag auf ein Probefahrkennzeichen für den selbstfahrenden Shuttlebus eingebracht. Nach positiver Prüfung des Antrags wurde Salzburg Research das Probekennzeichen mit der Nummer „S-1IBV“ zugeteilt. Zulassungsinhaber für den selbstfahrenden Shuttlebus war Salzburg Research.

Abbildung 5: Probekennzeichen für den selbstfahrenden Shuttlebus

2.2 Versicherungsschutz

Die Versicherung für den selbstfahrenden Shuttle wurde bei der UNIQA Österreich Versicherung AG abgeschlossen und umfasste eine Kfz-Haftpflichtversicherung in Höhe von maximal Euro 20.000.000 sowie eine Vollkaskoversicherung.

2.3 Bewerbung um eine Testgenehmigung

Salzburg Research hat im öffentlichen Auftrag des Landes Salzburg (Abteilung 6 – Landesbaudirektion) beim Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) um eine Genehmigung von Testfahrten mit einem selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen auf Basis der Verordnung über Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren (AutomatFahrV) des selbigen Bundesministeriums angesucht. Das BMVIT bescheinigte, dass Salzburg Research die entsprechenden Nachweise vorgelegt hat und erteilte am 18. April 2017 die Genehmigung für den Testbetrieb im Zeitraum von 20.04.2017 bis 31.12.2017 mit einem selbstfahrenden Shuttlebus der Firma Navya Tech. Die Testfahrten durften von acht namentlich genannten Mitarbeitern durchgeführt werden.

3 Teststrecke in Koppl bei Salzburg

Die Teststrecke für den selbstfahrenden Shuttle wurde in der Gemeinde Koppl im Bundesland Salzburg eingerichtet. Die Gemeinde befindet sich im Bezirk Flachgau und grenzt an den östlichen Stadtrand der Landeshauptstadt Salzburg. In folgender Tabelle wird die Gemeinde Koppl anhand einiger ausgewählter Kennzahlen beschrieben (Gemeinde Koppl, 2017):

Kennzahlen Gemeinde Koppl (Stand 01/2017)	
Bundesland	Salzburg
Einwohneranzahl in der Gemeinde Koppl	3.413
Anzahl Haushalte	1.243
Fläche	20,9 km²
Höhe	755 m.ü.d.M
Bevölkerungsdichte	163 Einwohner pro km²
Ortschaften im Gemeindegebiet	6

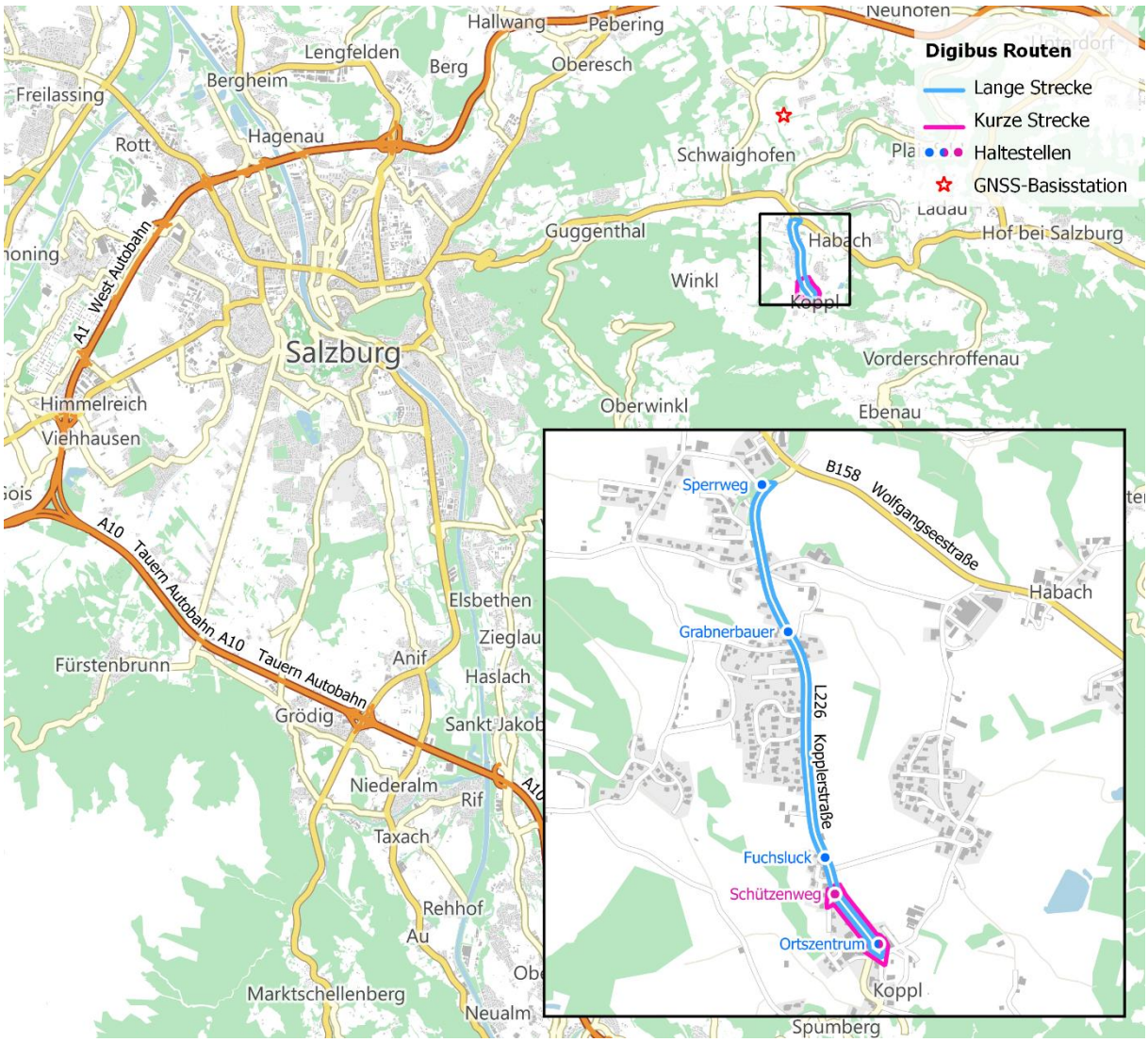
Tabelle 1: Kennzahlen Gemeinde Koppl

3.1 Teststrecken in der Gemeinde Koppl

In der Gemeinde Koppl wurden im Testzeitraum zwei Teststrecken eingerichtet. Eine kurze Teststrecke (vergleich Abbildung 11) mit einer Länge von etwa 400 Meter beginnend im Ortszentrum Koppl bis zum Schützenweg diente im April und Mai zu Demonstrationszwecken und ermöglichte ein erstes Kennenlernen der Technologie. Aufgrund der kurzen Fahrdauer von rund 5 Minuten für eine Testrunde eignete sich diese Strecke vor allem für größere Gruppen und Personen welche vor allem an der Technologie interessiert sind.

Die zweite Teststecke erstreckte sich von Koppl Ortsmitte bis zur Bushaltestelle Sperrbrücke (vergleich Abbildung 11). Die einfache Länge der Teststrecke beträgt 1,4 km, eine Testrunde rund 2,8 km. Die Steigung auf dieser Strecke beträgt maximal 8 Prozent beziehungsweise 65 Höhenmeter. Entlang dieser Strecke sind je Fahrtrichtung 4 Bushaltestellen eingerichtet, inklusive jeweils Start- und Endhaltestelle. Die Herausforderungen entlang dieser Strecke ergeben sich aus der ländlichen Umgebung (z.B. fehlende Anhaltspunkte wie Häuser, Bodenmarkierungen zur zuverlässigen Fahrzeuglokalisierung), mangelnde Qualität des GPS-Signals, mangelnde verkehrliche Infrastruktur wie beispielsweise signalisierte Kreuzungen sowie die maximale Steigung von 8%. Von Juni bis November wurden die Testfahrten auf der langen Strecke durchgeführt.

Folgende Grafik bietet einen Überblick über die zwei Teststrecken in Koppl.



© Landkarte: openstreetmap 2017; Bearbeitung SRFG

Abbildung 6: Die zwei Teststrecken in der Gemeinde Koppl bei Salzburg

3.2 Die erste/letzte Meile im ÖPNV

Im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ist die Erschließung der „ersten/letzten Meile“ – also der Weg von der Haltestelle zum Ziel oder nach Hause – kritisch für die Kundenakzeptanz. Ist diese Distanz zu lang, nutzen die Menschen lieber ihr privates Auto, anstatt das vorhandene öffentliche Verkehrsangebot zu nutzen. Selbstfahrende Shuttlebusse können als lokale Zubringer die Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs entscheidend verbessern. Der Trend zur Automatisierung im Verkehrswesen erfasst zunehmend den öffentlichen Personennahverkehr. Mikro-ÖV-Systeme, also Zubringer-Dienste zu vorhandenen öffentlichen Verkehrsmitteln, haben vor allem auch im ländlichen Raum in den letzten Jahren zu einer Qualitätsverbesserung geführt. Allerdings ist der Betrieb von Mikro-ÖV-Systemen entweder kostenintensiv oder beruht auf Leistungen Freiwilliger. Dadurch ist eine Ausrollung solcher Systeme derzeit nicht flächendeckend möglich. Automatisierte Personentransportsysteme – hochautomatisierte Fahrzeuge bzw. selbstfahrende

Shuttlebusse – können neuartige Mikro-ÖV-Systeme ermöglichen, die vor allem zur Erschließung von ländlichen Regionen oder Stadtteilen eingesetzt werden können.

Die Gemeinde Koppl ist ein typisches Beispiel für die sogenannte erste/letzte Meile: wie beschrieben befindet sich das Ortszentrum ca. 1,4 km von der Bundesstraße 158 (Salzburg – Bad Ischl) und damit von der Postbuslinie 150 des Salzburger Verkehrsverbundes entfernt. Zwischen der Postbuslinie 150 und dem Zentrum fährt zwar der Zubringerbus der Linie 152, aus wirtschaftlichen Gründen aber nur sehr selten. Ein selbstfahrender Shuttlebus könnte die Lücke für die weniger rentable Zeit schließen.

3.3 Potenzielle Einsatzmöglichkeiten für selbstfahrende Shuttlebusse

Längerfristig betrachtet gibt es zahlreiche potenzielle Einsatzmöglichkeiten für selbstfahrende Shuttlebusse in einer Gemeinde wie Koppl. Diese reichen von Zubringerservices für Pendler und Schüler über einen Einsatz für Touristen, um beispielsweise zu den Ausgangspunkten für Wanderungen zu gelangen, bis hin zu einem Zustellservice, das der Shuttlebus während möglicher Stillstandszeiten übernehmen könnte.

Im Folgenden werden mögliche Einsatzbereiche für einen selbstfahrenden Shuttle am Beispiel der Gemeinde Koppl näher beschrieben:

- **Zubringer zum öffentlichen Verkehr für täglichen Berufsweg bei fixierter Haltestelle**

  Der selbstfahrende Shuttlebus holt Pendler an einer vorab fixierten Haltestelle max. 200 Meter entfernt von der Wohnadresse ab und bringt diese gemeinsam mit weiteren Fahrgästen zur Bushaltestelle der Linie 150. Durch die Abstimmung mit dem Fahrplan der Linie 150 sowie durch Echtzeitinformationen kommt das Shuttle immer pünktlich und verhindert unnötige Wartezeiten. Entlang der Strecke zwischen Ortszentrum und Bushaltestelle der Linie 150 gibt es je nach Bedarf mehrere fixierte Bushaltestellen.

- **Zubringer zum Öffentlichen Verkehr für täglichen Berufsweg: On-Demand Service Abholung zuhause**

  Der selbstfahrende Shuttlebus kann von Pendlern via App oder online im Voraus bestellt werden und bringt diese je nach Nachfrage zu diesem Zeitpunkt alleine oder mit weiteren Fahrgästen zur Bushaltestelle der Linie 150. Das Shuttle holt die Fahrgäste direkt zuhause zur gewünschten Uhrzeit ab.

- **Shuttle zum Ortszentrum für (Tages-)Touristen**

  Der selbstfahrende Shuttlebus holt Touristen, die mit der Linie 150 bei der Bushaltestelle an der Wolfgangseebundesstraße ankommen, ab und bringt diese in das Ortszentrum Koppls oder je nach Wunsch zu weiteren Destinationen (Restaurant, Wanderweg, Aussichtsplattform, etc.). Das Shuttle kann entweder im Vorhinein via App oder direkt an der Bushaltstelle bestellt werden. Je nach Bedarf bringt das Shuttle Touristen von unterschiedlichen fixierten Punkten wieder zurück zur Bushaltestelle der Linie 150.

- **Dorfshuttle**

  Der selbstfahrende Shuttlebus verkehrt entweder nach Fahrplan oder mittels On-Demand-Service im Ortszentrum Koppls und verbindet den Ortskern mit den umliegenden Siedlungen. Dieser Shuttledienst unterstützt ältere Personen bei täglichen Tätigkeiten (Einkaufen, Arztbesuche, Amtsgänge, etc.) oder bringt je nach Bedarf die Bewohner im Ort von A nach B. Beispielsweise Kinder zum Musikunterricht, die berufstätigen Pendler nach der Arbeit zum Feuerwehrtraining oder die ältere Dame zu ihrer Kartenspielrunde.

- **Zustellservice**

  Der selbstfahrende Shuttlebus übernimmt während möglicher Stillstandszeiten Zustelldienste. Einkäufe von Kunden im örtlichen Supermarkt werden nach Hause zugestellt oder schmutzige Bettwäsche wird vom Hotel zur örtlichen Wäscherei geliefert. Zusätzliche Services dieser Art bieten sich an um den Bus optimal auszulasten.

3.4 Physische und digitale Infrastruktur in Koppl

Um die Strecke von Koppl Ortsmitte bis zur Bushaltestelle Sperrbrücke mit dem Digibus befahren zu können, waren kleinere bauliche Maßnahmen und Anpassungen notwendig.

Zum einen wurde im Bereich der Bushaltestelle Sperrbrücke ein Wendeplatz geschaffen, der dem Digibus das Umkehren auf der Strecke ermöglicht. Zugleich dient der Wendeplatz als Haltestelle. Diese Haltestelle befindet sich in unmittelbarer Nähe der Postbus-Haltestelle Sperrbrücke an der Linie 150 (Salzburg – Bad Ischl) und ist in dem geschilderten Erste/Letzte-Meile-Szenario als Anschlusshaltestelle an den Postbus gedacht.

Abbildung 7: Wendeplatz für den Digibus vor und nach den baulichen Anpassungen

Sowohl bei der Bushaltestelle in Koppl Ortsmitte als auch beim Wendeplatz bei der Bushaltestelle Sperrbrücke wurden Stelen mit Fahrplaninformationen aufgestellt, um einerseits die Teststrecke kenntlich zu machen und andererseits Informationen zu den Testfahrzeiten öffentlich bekannt geben zu können.

Am Parkplatz im Ortszentrum unmittelbar vor dem Gemeindehaus und der Freiwilligen Feuerwehr wurde eine zweite Haltestelle für den Digibus eingerichtet und ebenfalls durch eine Stele als solche gekennzeichnet.

© wildbild/SRFG 2017

Abbildung 8: Gekennzeichnete Starthaltestelle in Koppl Ortsmitte

Abbildung 9: Information zu den Digibus Testfahrtzeiten bei der Bushaltestelle in Koppl Ortsmitte

Geparkt und geladen wurde der Digibus in einer Garage unweit des Startplatzes der Teststrecke, die von der Gemeinde Koppl für die Dauer der Testfahrten zur Verfügung gestellt wurde. Die Garage ist mit einer 400 Volt / 32 Ampere-Stromversorgung ausgestattet, die über einen Adapter zum Laden des Shuttlebusses genutzt wurde (230 Volt / 16 Ampere).

Abbildung 10: Digibus in seiner Garage

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die physischen und digitalen Charakteristiken der Teststrecken in Koppl.

	Bauliche und physische Angebote	Qualität der Infrastruktur
Bauliche Infrastruktur	• Lange Teststrecke: 1,4 km Länge je Fahrtrichtung mit; 4 Haltestellen je Wegrichtung (inklusive Start und Ziel) • Kurze Teststrecke: 200 m Länge je Fahrtrichtung; 2 Haltestellen je Wegrichtung (inklusive Start und Ziel) • Asphaltierte Straße • Steigung von max. 8 % (etwa 65 Höhenmeter) • Leicht kurvige Straße • Anbindung an öffentlichen Verkehr (Postbushaltestelle Buslinie 150/155 Koppl Sperrbrücke) gegeben • Umkehrmöglichkeit für das Shuttle bei Haltestelle Sperrbrücke • Kennzeichnung der Teststrecke durch zwei Verkehrsschilder • Linienmarkierung	• Linienmarkierung nicht durchgängig auf der Teststrecke vorhanden • Straßenschäden auf der gesamten Strecke vorhanden
Digitale Infrastruktur	• Digitale 3D-Karte (mit dem Shuttle aufgezeichnet und manuell bearbeitet) • Mobile Datenverbindung (3G/4G) • Internetbasierter Dienst für GNSS-Korrekturdaten (APOS) / lokale Referenzbasis für GNSS-Korrekturdaten • Satellitenabdeckung	• Eine Verfügbarkeit von mindestens 14 Satelliten war nicht zu jedem Zeitpunkt gewährleistet • Durchgängige mobile Datenabdeckung mit 3G / 4G war nicht zu jedem Zeitpunkt gegeben

Tabelle 2: Physische und digitale Charakteristiken entlang der Teststrecke

4 Testfahrzeug Navya Arma

Für die Testfahrten in Koppl war im Zeitraum April bis Mai als Testfahrzeug das Modell Arma DL3 und im Zeitraum von Juni bis November 2017 das Modell Arma DL4 von Navya Tech im Einsatz. Navya Tech ist ein französisches Unternehmen, das sich auf die Konzeption, Herstellung und den Betrieb von elektrischen, autonomen Fahrzeugen spezialisiert hat. Sitz des Unternehmens ist einerseits in Paris und andererseits in Lyon (Villeurbanne). Navya Tech wurde im Jahr 2014 von Christoph Sapet (früher Infogrames) gegründet und entwickelt technologische Lösungen für eine nachhaltige Mobilität. Die Fahrzeugtechnologie wird von Citroen PSA geliefert, Navya Tech selbst spezialisiert sich auf die Softwaretechnologie (Navya Tech, 2017).

4.1 Merkmale des selbstfahrenden Shuttles

Mit Stand April 2017 hat Navya Tech 33 selbstfahrende Shuttles produziert. Das Testfahrzeug, das in Koppl zum Einsatz kam, war das Fahrzeug mit der Nummer P33, also das 33. Fahrzeug,

das von Navya Tech produziert wurde. Der Fokus des Unternehmens liegt primär auf der weltweiten Demonstration von selbstfahrenden Fahrzeugen. Die Arma Shuttlebusse von Navya Tech verfügten 2017 über keine EU-Typzulassung, weswegen die Testfahrten nur mit einem Probefahrtkennzeichen und nicht mit einem regulären Kennzeichen möglich waren.

Der selbstfahrende Shuttlebus Navya Arma DL4 verfügt über folgende Merkmale (Navya Tech, 2017):

- Dimensionen: 4,75 m lang, 2,11 m breit, 2,65 m hoch
- Antrieb: Elektromotor
- Lokalisierung und Hindernis-Erfassung:
    - zwei 360° multi-layer LIDARs (Light detection and ranging)
    - sechs 180° mono-layer LIDARs
    - Stereovision Kamera
    - Odometrie (Position und Orientierung anhand der Daten seines Vortriebsystems)
- Geschwindigkeit: max. 45 km/h (erlaubte Maximalgeschwindigkeit im Testbetrieb auf offener Straße in Österreich: 20 km/h)
- Kapazität: max. 11 Personen (9 Personen im Testbetrieb)
- Fährt vordefinierte Strecken
- Verfügt über Not-Aus-Knopf
- Erfahrungen im Mischverkehr und mit Personentransport vorhanden

Das Shuttle ist barrierefrei gebaut und ermöglicht das Befahren mit einem Rollstuhl oder mit Kinderwägen über eine Rampe.

Abbildung 11: Barrierefreier Zugang zum Digibus

4.2 Identität des selbstfahrenden Shuttles

Der Digibus 2017-Testversuch ist Teil einer längerfristig angelegten Testreihe mit selbstfahrenden Shuttlebussen. Daher bestand von Anfang an das Ziel, eine Marke für die Testreihen zu entwickeln und damit einhergehend ein Corporate Design für den Testbetrieb zu finden, das unabhängig vom Hersteller ist, da Fahrzeuge verschiedener Hersteller zum Einsatz kommen können/sollen. Es sollte eine gemeinsame Sprache gefunden werden, die beim Namen beginnt und sich durch alle Kommunikationskanäle zieht. Salzburg Research beauftragte daher die Agentur WUGER – Brands in motion mit der Entwicklung eines Corporate Designs. Das Ergebnis war der Name „Digibus“, der sich aus „digital“ (autonome Steuerung) und Bus zusammensetzt. Beim Design geht es, vereinfacht gesprochen, um die Verbindung zweier Wegpunkte. Die „digital dots“ sind Wegpunkte, dazwischen fließt Strom, fließen Informationen und in diesem Raum bewegt sich der Digibus. Der Name „Digibus“ wurde von Salzburg Research beim Amt der Europäischen Union für geistiges Eigentum als Unionsmarke eingetragen. Die Eintragung der Marke erfolgte am 11. Oktober 2017.

Abbildung 12: (a) Beklebung vom Digibus , (b) Digibus im Corporate Design

4.3 Fahrtraining für Operatoren

Für die Fahrten auf öffentlichen Straßen ist es laut AutomatFahrV erforderlich, dass im Shuttlebus eine geschulte Begleitperson anwesend ist, die in Notfällen eingreifen kann. Für die Testfahrten in Koppl wurden acht Salzburg Research-Mitarbeiter als sogenannte „Operatoren“ geschult. Die Schulung wurde von einem Mitarbeiter von Navya Tech durchgeführt und umfasste folgende Komponenten:

- Technische Spezifikationen des Shuttles
- Manuelles Bedienen des Shuttles
- Fahren im autonomen Modus
- Berichterstattung
- Notfallmanagement

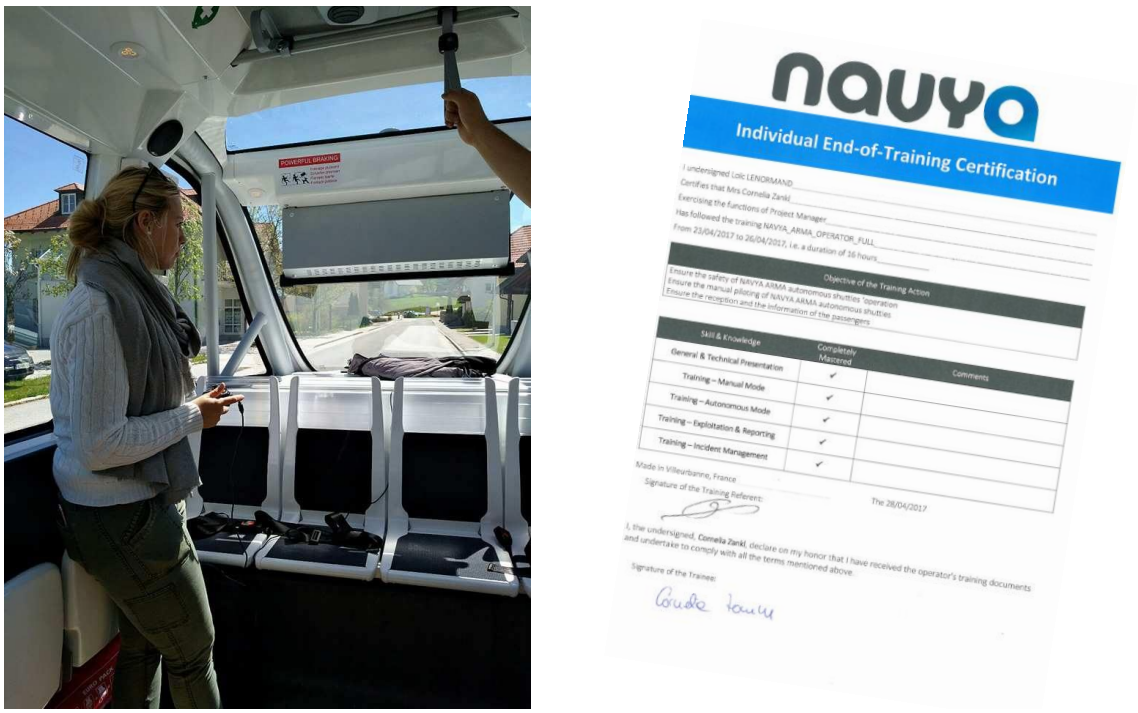


Abbildung 13: (a) Fahrt im manuellen Fahrmodus, (b) Trainings Zertifikat von Navya

4.4 Einlernen der Strecke

Der Shuttlebus kann nur Strecken selbständig befahren, die zuvor manuell erfasst wurden. Die Erfassung erfolgt derart, dass die Teststrecke im manuellen Fahrmodus (die Steuerung erfolgt mit einem Xbox-Controller) mit einer Geschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde abgefahren wird. Dabei werden die Umgebungsdaten mit Hilfe der SLAM-Technologie (Levison, Thrun, & Montemerlo, 2007) aufgezeichnet und als 3D-Punktwolke bzw. als virtuelle Trajektorie abgespeichert. Bildlich gesprochen werden durch das Erfassen der Trajektorie „unsichtbare Schienen“ auf die Teststrecke gelegt. In einem Nachbearbeitungsprozess werden alle dynamischen Objekte, wie beispielsweise Fahrräder, Fußgänger oder Pkw, aus den 3D-Punktdaten entfernt sowie die Trajektorie in einem iterativen Prozess derart angepasst, dass das gewünschte Fahrverhalten erreicht wird. Zusätzlich werden auch die Steuerungsbefehle für das Fahrzeug etwa an Kreuzungen und Haltestellen manuell angepasst. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sowohl eine zufriedenstellende 3D-Karte als auch eine zufriedenstellende Trajektorie vorliegen. Für die Bearbeitung der langen Strecke in Koppl hat dieser Prozess ca. drei Wochen in Anspruch genommen.

4.5 Positionierung und Umgebungserkennung

Die technische Konzeption des Navya Arma beruht auf drei transversalen Säulen: Der Wahrnehmung, über die das Shuttle die Umgebung, in der es sich befindet, wahrnehmen und

Hindernisse erkennen kann. Der Entscheidung, anhand derer die Route und der Kurs berechnet und festgelegt werden. Und der Navigation, mit der die Entscheidungen des Bordcomputers in Fahrbefehle umgesetzt werden.

Zur Wahrnehmung der Umgebung sowie zur Kartographierung dieser werden **LIDAR-Sensoren** eingesetzt. Diese ermöglichen eine genaue Positionierung und sind für das Erkennen von Hindernissen erforderlich. Am Shuttle befinden sich auf der Vorder- und Rückseite je drei Sensoren, auf den Seitenwänden des Shuttles je zwei Sensoren. Zur Positionierung des Shuttles kamen die LIDAR-Sensoren in Koppl vorrangig im bebauten Ortsgebiet zum Einsatz. Solange sich links und rechts von der Strecke Gebäude befinden, die für die Sensoren als Referenzpunkte dienen, konnte mit den Sensoren eine hohe Positionierungsgenauigkeit erreicht werden.

Darüber hinaus kam aufgrund der ruralen Umgebung ein Multi-GNSS-Realtime-Kinematik-System (RTK) (Sun, Xia, Foster, & Lee, 2017) zum Einsatz, da eine ausschließliche Positionierung mit den LIDAR-Sensoren in den wenig- bzw. unbebauten Bereichen nicht ausreichend war. Multi-GNSS-RTK ist eine geeignete Technologie, um eine zentimetergenaue Positionen eines Fahrzeugs mittels Satellitenpositionierung zu erhalten. Voraussetzung für die zentimetergenaue **GNSS-Positionierung** ist ein zuverlässiges Korrektursignal von einer nahen GNSS-Referenzstation. Dieses Signal wird entweder über Mobilfunk (3G/4G) von einem Internet-basierten Korrekturdienst (z.B. APOS-Dienst in Österreich) oder von einer lokalen Referenzstation (z.B. über UHF-Frequenzen) übertragen. Aufgrund einer nicht-zuverlässigen Mobilfunkverbindung auf Teilen der Strecke wurde in Koppl eine proprietäre GNSS-Basis von Navya Tech, die auf dem Hügel gegenüber der Teststrecke errichtet wurde, verwendet. So konnte das von der GNSS-Basis ausgesandte Korrektursignal entlang der gesamten Route vom Shuttle empfangen werden. Dabei ist ein „direkter Blickkontakt“ für ein zuverlässiges Signal vorteilhaft.

Abbildung 14: Proprietäre GNSS-Basisstation am Gegenhang

Zusätzlich wird bei der Erfassung der Fahrtstrecke **Odometrie** zur Bestimmung der Fahrspur eingesetzt. Im automatisierten Fahrmodus wird u.a. das Odometer für die Bestätigung der Position verwendet. Außerdem wird die dreidimensionale Lage des Fahrzeugs mit Hilfe einer **Inertial Measurement Unit (IMU)** ermittelt.

4.6 Fahrmanöver und Fahrsituationen

Jedes Fahrmanöver des Shuttles muss im Vorfeld manuell definiert werden. So müssen für jeden Streckenabschnitt die Geschwindigkeit, Vorrangregeln, Abbiegeverhalten, etc. manuell festgelegt werden. Aktuell können vom Shuttlebus nur sehr einfache Fahrmanöver bei niedriger Geschwindigkeit automatisiert bewältigt werden. Der Shuttlebus ist in der Lage, zuverlässig vor Hindernissen anzuhalten, die den Fahrweg blockieren. Ein Umfahren der Hindernisse oder ein Überholen von anderen Verkehrsteilnehmern, wie beispielsweise Radfahrern, war während der Testphase nicht möglich.

In Koppl wurden folgende Fahrmanöver getestet:

- rechts abbiegen in eine Vorrangstraße ohne Signalisierung
- links abbiegen auf einer Vorrangstraße ohne Signalisierung
- das Einhalten von Vorrangregeln inkl. Stopp-Schild
- Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern (Pkw, Lkw, Fahrräder, Fußgänger)

4.7 Fahrerloser Betrieb

Ein fahrerloser Betrieb ist derzeit nur auf abgesperrten Strecken möglich. Auf öffentlichen Strecken muss in Österreich laut AutomatFahrV immer eine geschulte Begleitperson an Board

sein. Neben den rechtlichen Einschränkungen ist auch aus technischer Sicht ein fahrerloser Betrieb mit dem Navya Shuttle derzeit noch nicht möglich (Vergleich Kapitel 7).

5 Testfahrten mit dem selbstfahrenden Shuttlebus

Im Folgenden werden die vorbeugenden Sicherheitsmaßnahmen, die Abläufe sowie die Zwecke der Testfahrten beschrieben.

5.1 Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen

Vor Beginn der Testfahrten wurden von Salzburg Research Maßnahmen erarbeitet, wie bei einem Unfall bzw. bei einer kritischen Situation zu reagieren ist. Um Unfälle bzw. kritische Situationen zu vermeiden, wurden in einer Checkliste Punkte festgehalten, die vor Inbetriebnahme des Shuttles zu beachten sind sowie ein genauer Ablauf der Testfahrten dargestellt. Diese Kriterien umfassten folgende Punkte:

- Was zählt als Notfall-Situation/kritische Situation?
- Wann ist die Notfallvorrichtung (Not-Stopp) zu betätigen?
- Verhalten des Operators an der Unfallstelle
    - bei Personenschaden
    - bei Sachschaden
    - bei technischem Gebrechen
- Krisenkommunikation (intern)
- Kontaktpersonen, die bei einem Notfall zu informieren sind
- Übersicht Notfall-Telefonnummern

5.2 Ankündigung der Testfahrten

Um die Bevölkerung in Koppl und Umgebung über die Aktivitäten von Salzburg Research zu informieren, wurden regelmäßig Informationen dazu über diverse Informationskanäle verbreitet.

5.2.1 Kommunikation durch die Gemeinde Koppl

In der Koppler Gemeindezeitung wurden regelmäßig Berichte über die Testumgebung und die Testfahrten veröffentlicht. Darüber hinaus wurden die Plakate mit den Informationen zu den öffentlichen Testzeiten auf A-Ständern an mehreren Standorten in der Gemeinde aufgestellt.

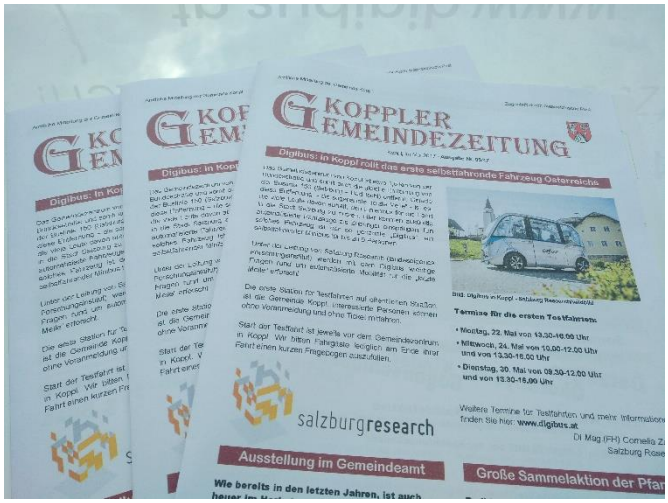


Abbildung 15: Bericht in der Koppler Gemeindezeitung zu den Digibus-Testfahrten

5.2.2 Website

Auf der Digibus Website www.digibus.at wurden einerseits generelle Informationen rund um automatisiertes Fahren in Österreich, die Teststrecke in Koppl, technische Aspekte sowie Besonderheiten vom Digibus und das Einsatzszenario gegeben. Anderseits waren dort Informationen zu den öffentlichen Testzeiten zu finden.

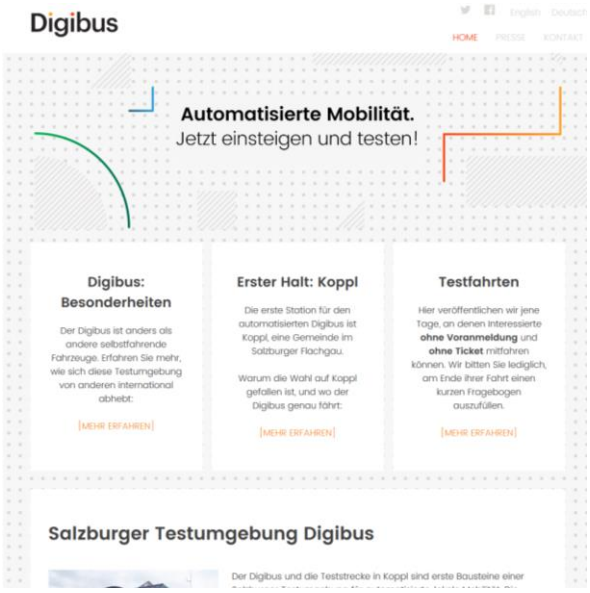


Abbildung 16: Website Digibus

5.2.3 Social Media

Aktuelle Informationen rund um den Digibus wurden laufend über den Digibus Twitter Account sowie auf der Digibus Facebook-Seite veröffentlicht.

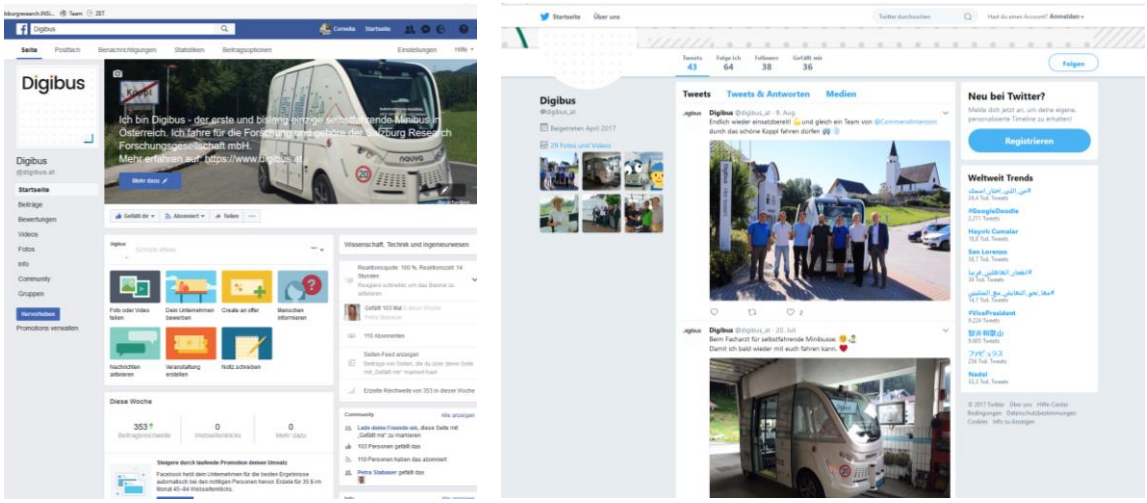


Abbildung 17: (a) Digibus Facebook Seite, (b) Digibus auf Twitter

5.2.4 Printmedien

Neben den digitalen Werbemitteln wurden auch Printmedien wie Postkarten und Plakate produziert, die ebenfalls über das Projekt im Allgemeinen sowie über die Testfahrten selbst informiert haben.

Abbildung 18: (a) Digibus Postkarte, (b) Digibus Plakat

5.3 Ablauf Testfahrten

Die Testfahrten von Salzburg Research folgten jeweils einem vordefinierten Ablauf. Nachdem das Shuttle im manuellen Modus von der Garage zu seinem Startpunkt vor der Gemeinde gebracht wurde, erfolgte eine Probefahrt, bei der nur die Operatoren im Fahrzeug waren. Wenn diese Probefahrt reibungslos verlaufen ist, konnten die Testfahrten mit Fahrgästen starten.

5.4 Mitnahme von Kindern

Beim Digibus handelt es sich gemäß § 3 Abs. 1 Z 2 2.1.2. des Kraftfahrgesetzes, kurz KFG, um ein Fahrzeug zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen, außer dem Fahrersitz, und einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 5.000 kg (Klasse M2) (Kraftfahrgesetz, 1967). Es handelte sich somit um einen Omnibus, der nicht im Kraftfahrlinienverkehr eingesetzt wurde, da keine regelmäßige Beförderung von Personen mit dem Digibus stattfand und Salzburg Research nicht als Personenkraftfahrverkehrsunternehmer zu qualifizieren ist.

Demnach hat gemäß § 106 Abs. 5 Z 1 KFG der Lenker dafür zu sorgen, dass Kinder bis zur Vollendung des 14. Lebensjahres, die 150 cm und größer sind, auf einem Sitzplatz, der mit einem Sicherheitsgurt ausgerüstet ist, nur befördert werden dürfen, wenn sie den Sicherheitsgurt bestimmungsgemäß gebrauchen.

Gemäß § 106 Abs. 5 Z 3 KFG hat der Lenker des Fahrzeuges ebenfalls dafür zu sorgen, dass Kinder bis zur Vollendung des 14. Lebensjahres, in Fahrzeugen der Klassen M2, die nicht in Kraftlinienverkehr eingesetzt werden, die vorhandenen Sicherheitssysteme (Sicherheitsgurte oder Rückhalteeinrichtung) benutzen, wenn sie sich auf ihrem Sitz befinden. Falls eine erwachsene Begleitperson im Omnibus mitfährt, so geht diese Verpflichtung auf diese Person über.

Daraus ergaben sich für die Mitnahme von Kindern im Digibus folgende Auflagen:

- Kinder unter 3 Jahren konnten nicht mitgenommen werden, da es keine entsprechenden Sicherheitssysteme im Bus gab.
- Kinder zwischen 3 und 14 Jahren wurden nur unter Verwendung der Sicherheitsgurte transportiert.
- Bei Minderjährigen war eine Zustimmungserklärung einer erziehungsberechtigten Person erforderlich, wenn keine erwachsene Begleitperson dabei war.

Abbildung 19: (a) Zustimmungserklärung der Erziehungsberechtigten für den Transport von Kindern im Digibus, (b) Hinweisschild im Digibus zur Mitnahme von Kindern

5.5 Zwecke der Testfahrten

Die Testfahrten in der Gemeinde Koppl wurden zu folgenden Zwecken durchgeführt:

5.5.1 Interne Testfahrten

Interne Testfahren wurden in erster Linie zu Schulungszwecken, zum Erproben der Technologie und zum Austesten von Fahrmanövern durchgeführt. Bei internen Testfahrten waren nur Mitarbeiter von Salzburg Research und Navya Tech an Board.

5.5.2 Demofahrten für Unternehmens-Delegationen

Am Kennenlernen der neuen Technologie waren auch zahlreiche Unternehmen interessiert, die sich im weiteren Sinne mit autonomen Fahrzeugtechniken, Digitalisierung, Robotertechnik, etc. beschäftigen. Auf Anfrage wurden von Salzburg Research Testfahrten für Unternehmens-Delegationen durchgeführt.

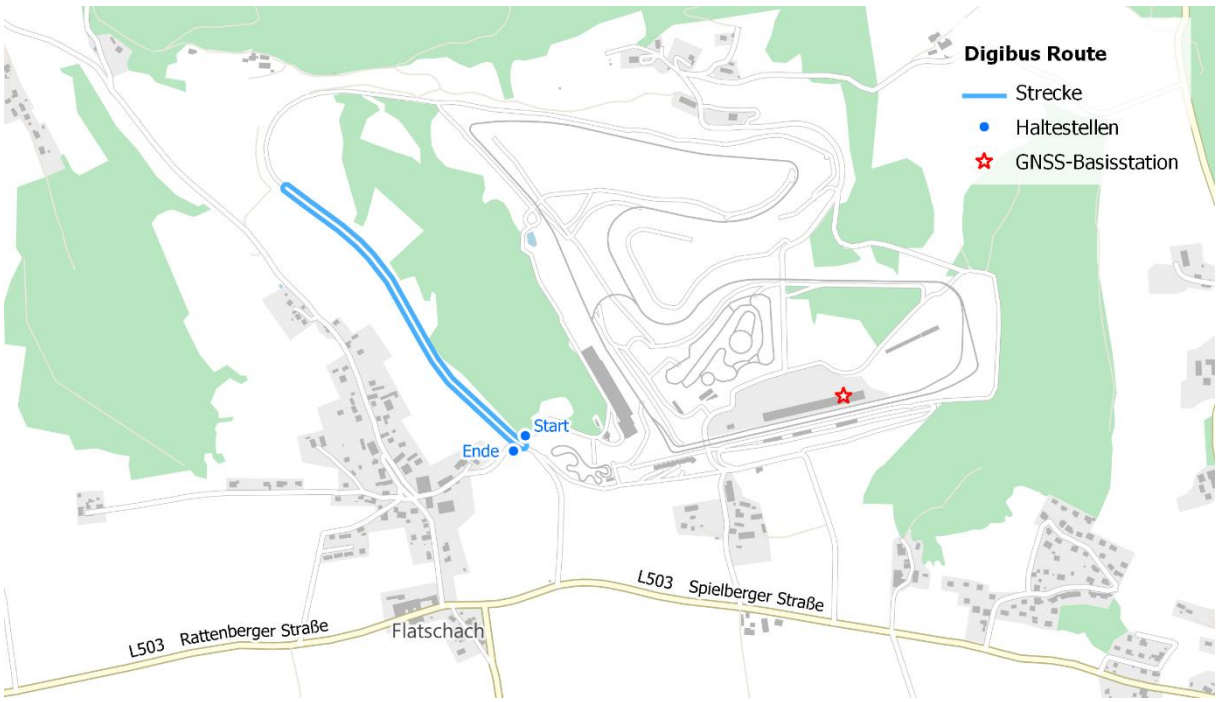
Abbildung 20: Demofahrten mit Commend Österreich und der Salzburg Wohnbau AG

5.5.3 Demofahrten bei Veranstaltungen

Demofahrten mit dem Digibus wurden auch im Rahmen von Veranstaltungen als Programmpunkt angeboten. So konnten beispielsweise Teilnehmer des 4. Nahverkerskongresses (26. April 2017), der AGIT (7. Juli 2017) und des Koppler Dorffestes (16. Juli 2017) an einer Testfahrt teilnehmen.

5.5.4 Öffentliche Testfahrten bei den eMobility Playdays

Testfahrten außerhalb von Koppl wurden im Rahmen der eMobility Playdays am 29. und 30. September 2017 auf dem Red Bull Ring in Spielberg (Steiermark) angeboten. Dort waren Testfahrten für das Publikum der Veranstaltung auf einem abgeschlossenen Gelände möglich. An diesen zwei Tagen wurden 60 Fahrten auf einer insgesamt zwei Kilometer (ein Kilometer pro Fahrtrichtung) langen Strecke durchgeführt und dabei 360 Personen befördert. Die Strecke beinhaltete das Fahren auf einer fast geraden Strecke sowie das Wenden auf der Fahrbahn (vergleich Abbildung 21). Für eine zuverlässige Übermittlung des Korrektursignals und eine genaue Positionierung wurde auch am Spielbergring eine GNSS-Basisstation errichtet. Die Entfernung von der Strecke bis zur GNSS-Basisstation betrug zwischen rund 800 und 1.500 m Luftlinie. Anders als in Koppl war in diesem Fall kein „direkter Blickkontakt“ gegeben. Die Übermittlung des Korrektursignals erfolgte über Mobilfunktechnologie (3G/4G).



© Landkarte: openstreetmap 2017; Bearbeitung SRFG

Abbildung 21: Teststrecke am Red Bull Ring in Spielberg

5.5.5 Öffentliche Testfahrten für Privatpersonen

Teil des Forschungsprojekts war es, dass interessierte Personen den selbstfahrenden Shuttlebus in Koppl kostenlos ausprobieren konnten und ihre Erfahrungen mit Salzburg Research teilten. Zu diesem Zweck wurden regelmäßig öffentliche Testfahrten durchgeführt, bei denen interessierte Privatpersonen eine Testrunde mit dem Digibus fahren konnten. Die Testzeiten wurden vorab auf der Digibus-Website, via Facebook und Twitter, auf den Informationstafeln bei den Digibus Haltestellen, auf Plakaten sowie in der Koppler Gemeindezeitung bekannt gegeben.

Abbildung 22: Testfahrten mit Privatpersonen

5.5.6 Testfahrten mit Pressevertretern

Das Interesse am Kennenlernen der neuen Technologie war auch seitens der Presse groß. Sowohl Pressevertreter von Print- und Online-Medien als auch Reporter vom Fernsehen waren an Testfahrten mit dem Digibus interessiert.

Unter anderem machten Pressevertreter von folgenden Medien eine Testfahrt mit dem Digibus beziehungsweise wurde in den folgenden Print- und/oder Online-Medien über die Testfahrten berichtet: ADAC Motorwelt, Falter, der Standard, Die Presse, Kronen Zeitung, ORF, Tölzer Kurier, Salzburger Nachrichten, Traktuell, Wiener Zeitung

Abbildung 23: Testfahrten mit einem Team von Raum.Film, die im Auftrag des ORF eine Reportage zum Thema automatisiertes Fahren drehten

6 Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Digibus-Testfahrten

Aus dem 7-monatigen Testbetrieb haben sich für Salzburg Research zahlreiche wertvolle Erkenntnisse ergeben. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass praktische Erfahrungen anhand von öffentlichen Teststrecken zur Erprobung der neuen Technologie unverzichtbar sind. Zwischen den Angaben der Fahrzeughersteller und der tatsächlich erlebten Realität hinsichtlich des Entwicklungsstandes der Technik zeigten sich große Unterschiede. So hält das Fahrzeug beispielsweise zuverlässig vor Hindernissen an, sie können jedoch nicht umfahren werden, wie es vom Hersteller in Aussicht gestellt wurde. Entgegen der Angaben von Navya Tech sind Kreuzungssituationen, vor allem das Linksabbiegen, auch nur mithilfe eines Operators machbar.

Im Detail konnten folgende Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Testfahrten mit den Navya Shuttles gewonnen werden.

6.1 Kennzahlen zu den Testfahrten

Folgende Kennzahlen geben einen zahlenmäßigen Überblick über die durchgeführten Testfahrten im Zeitraum April bis November 2017. Diese Daten wurden von den Operatoren durch das Ausfüllen eines Online-Testprotokolls auf einem Smartphone erhoben.

Kennzahl	Anzahl
Transportierte Personen	874
Testfahrten insgesamt	240
- **davon Testfahrten kurze Strecke**	138
- **davon Testfahrten lange Strecke**	102
Gefahrene Kilometer	341
- **davon auf Landstraßen**	22
- **davon im Ortsgebiet**	318
Anzahl Unfälle	0
Anzahl kritische Situationen	1

Tabelle 3: Überblick Kennzahlen zu den Digibus Testfahrten

Im Testzeitraum vom 24. April bis 22. November 2017 wurden insgesamt 240 Testfahrten (davon 138 auf der kurzen und 102 auf der langen Strecke) durchgeführt, bei denen 874 Personen befördert wurden. Bei den Testfahrten wurden insgesamt 341 Kilometer zurückgelegt. Die meisten Testfahrten (70 %) wurden unter sonnigen und trockenen oder leicht bewölkten Bedingungen durchgeführt. Bei rund 28 % der Testfahrten war es stark bewölkt oder regnerisch. 2 % der Testfahrten fanden bei starkem Regen, 0,7 % der Testfahrten bei Schneefall statt. Die Fahrten bei starkem Regen sowie Schneefall mussten aufgrund der Witterungsbedingungen abgebrochen werden.

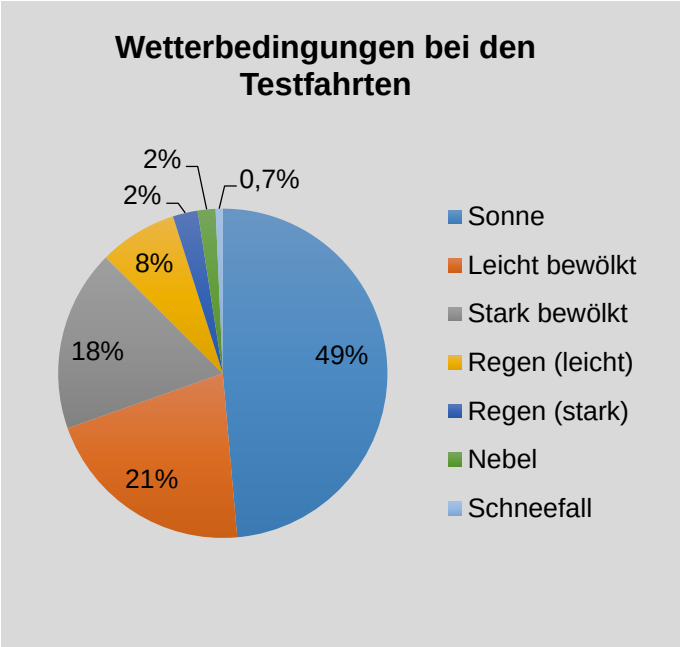


Abbildung 24: Wetterbedingungen während der Testfahrten

Der Großteil der Testfahrten (45 %) wurde zu Demonstrationszwecken für Unternehmensdelegationen, Vertreter von Behörden oder Verkehrsbehörden, die Presse oder für Privatpersonen durchgeführt. Rund 18 % der Fahrten wurden für technische Tests durchgeführt. Hier wurden beispielsweise Optimierungen an der Zielführung vorgenommen, die Software aktualisiert, Bremstests durchgeführt oder die Funktionalität und / oder die Reichweite der Sensoren getestet. 19 % der Fahrten waren Schulungsfahrten nach Inbetriebnahme des Shuttles, bei denen nur die Operatoren an Board waren, 15 % der Fahrten dienten als Schulungsfahrten für die Operatoren und 3 % waren Fahrten zur Datenerfassung, um dem Shuttle die Strecken einzulernen.

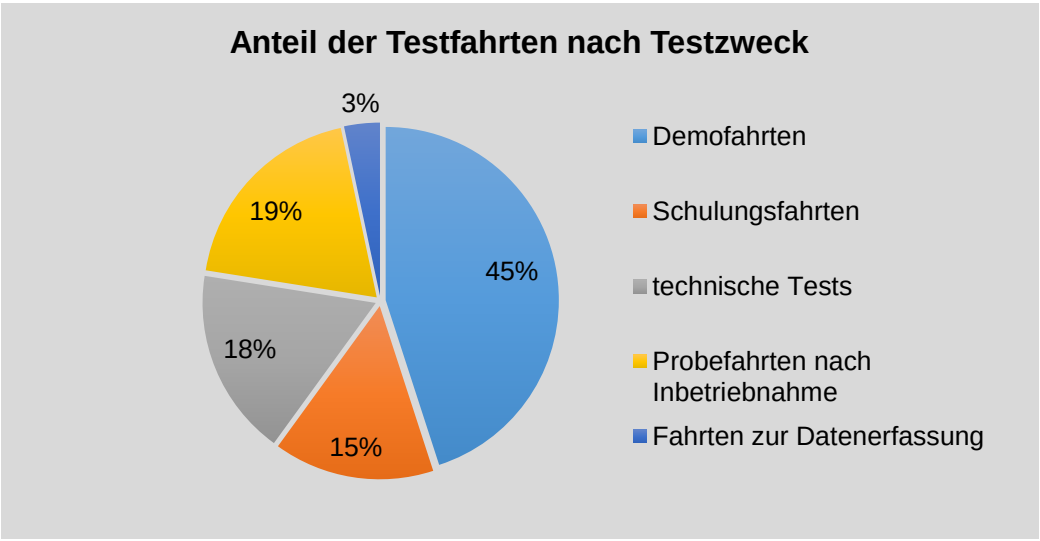


Abbildung 25: Anteil der Testfahrten nach Testzweck

6.2 Unfälle und kritische Situationen während der Testfahrten

Während der 7-monatigen Testphase ereigneten sich keine Unfälle oder Beinahe-Unfälle. Bei einer Testfahrt kam es zu einer kritischen Situation, die folgendermaßen beschrieben werden kann.

Am 7. Juli 2017 wurden in einem Zeitraum von rund drei Stunden insgesamt acht Fahrten unternommen, die einfache Strecke wurde 16 Mal zurückgelegt (Hinweg und Rückweg = 1 Fahrt). Wie bereits erwähnt, betrug die Länge einer einfachen Wegstrecke 1,4 km. Daraus ergab sich eine Gesamtfahrleistung an diesem Tag von 22,4 km (16 x 1.400 m = 22.400 m). Die maximale Steigung auf der Teststrecke beträgt acht Prozent.

Bei den ersten fünf Fahrten waren jeweils zwei bis vier Personen im Shuttle, bei den Fahrten sechs bis acht jeweils neun Personen. Das entspricht der möglichen Vollbesetzung für das Navya Shuttle laut AutomatFahrV bzw. dem Führerschein B der Operatoren. Die Fahrten sollten alle im autonomen Modus durchgeführt werden. Bei Fahrt Nummer sieben wurde ein derartiger Leistungsabfall des elektrischen Antriebs festgestellt, dass das Shuttle nicht mehr regulär den Steigungsabschnitt bewältigen konnte und auf der Strecke stehen blieb, ohne dass ein Hindernis erkennbar gewesen wäre. Daraufhin wurde versucht, die Stelle – zuerst vollbeladen - im manuellen Modus zu befahren. Das gelang aufgrund des Leistungsabfalls des elektrischen Antriebs ebenfalls nicht mehr. Ein Vorwärtskommen war nicht mehr möglich, das Shuttle rollte im manuellen Modus ein bis zwei Meter rückwärts. Daraufhin stiegen die Fahrgäste aus und die Klimaanlage wurde abgeschaltet. Nach mehreren Versuchen konnte die steile Stelle nur mehr mit dem Operator an Board befahren werden. Auf einem flacheren Fahrstück stiegen die Fahrgäste wieder zu und die Fahrt zum Endpunkt der Strecke wurde fortgesetzt. Bei Fahrt Nummer acht wiederholte sich der Leistungsabfall. Bei dieser letzten Fahrt gelang es überhaupt nicht mehr, die Steigung zu bewältigen. Daraufhin wurde die Strecke im manuellen Modus bergab zurück zum Wendeplatz (Haltestelle Sperrbrücke) gefahren. Bei dieser manuellen Rückfahrt trat ein eigenartiges Brems- und Manövrierverhalten des Shuttles auf. Das Bremsen war als pulsierendes „Ruckeln“ spürbar, die Manövrierfähigkeit mit dem Controller war eingeschränkt. Am Wendeplatz wurde das Shuttle für rund 1,5 Stunden abgestellt. Anschließend war die Rückfahrt nach Koppl Ortsmitte im autonomen Modus wieder möglich.

Die elektronische Feststellbremse funktionierte zu jedem Zeitpunkt der Testfahrten, sodass das Shuttle auch auf den steilen Streckenabschnitten zum Stillstand gebracht werden konnte. Aufgrund des Leistungsabfalls konnte der elektrische Antrieb aber beim Bergauffahren nicht mehr die notwendige Leistung bringen, wodurch das Shuttle im autonomen Modus gebremst stehenblieb, im manuellen Modus kam es im Vorwärtsbetrieb auf der Steigungsstrecke zu

einem Zurückrollen, da die notwendige Antriebsleistung fehlte. Wechselte man vom Vorwärtsbetrieb wieder in den Stopp-Modus, wurde das Shuttle unmittelbar eingebremst.

Die Fahrgeschwindigkeit des Shuttles betrug während der Testfahrten höchstens 4,5 m/s (16,2 km/h). Die Außentemperatur betrug zwischen 25° und 26° Celsius und es war sonnig. Die Fahrbahn war trocken. Der Batterieladestand lag zum Zeitpunkt des Vorfalls bei rund 50%.

Eine Notbremsung (roter Knopf im Shuttle) musste nicht eingeleitet werden. Um die Sicherheit der Fahrgäste während der letzten Fahrt nicht zu gefährden, wurden sie unmittelbar nach dem Vorfall zum Aussteigen gebeten. Die Fahrt wurde dann ohne Fahrgäste fortgesetzt. Die Fahrgäste mussten zu Fuß zum Ausgangspunkt zurückgehen bzw. wurden von einem Bus abgeholt.

Durch eine eingehende Untersuchung der kritischen Situation durch Navya Tech stellte sich heraus, dass das Problem auf eine Überhitzung des elektrischen Antriebs zurückzuführen war (mehr als 150° Temperatur des Antriebs wurden gemessen). Um den Antrieb zu schützen, hat das Fahrzeug in einen Sicherheitsmodus gewechselt, der die Antriebsleistung des Shuttles reduzierte (Begrenzung der Stromzufuhr). Folglich verlor das Fahrzeug an Antriebskraft, wodurch erklärbar ist, dass das Shuttle die Steigung nicht mehr bewältigen konnte. Die Firma Navya Tech hatte die Operatoren vorab nicht unterrichtet, dass das Shuttle bei Störungen in einen Sicherheitsmodus wechseln kann. Bedingt durch diesen Sicherheitsmodus trat das oben geschilderte eigenartige Brems- und Manövrierverhalten des Shuttles auf.

Um solche Überhitzungen im weiteren Testverlauf zu vermeiden, hat die Firma Navya Tech das Fahrzeug mit einem Gebläse zur Kühlung des Elektroantriebs ausgerüstet. Darüber hinaus wurde Salzburg Research in Aussicht gestellt, dass ein "Meldungsfenster" programmiert wird, das am Bildschirm im Shuttle eingeblendet wird, sobald die Motortemperatur einen kritischen Bereich erreicht. Das ist bis zum Ende der Testfahrten im November jedoch nicht umgesetzt worden.

6.3 Qualitative Ergebnisse

Die von Salzburg Research durchgeführten Testfahrten haben gezeigt, dass das selbstfahrende Shuttle derzeit nicht die Anforderungen hoch- oder vollautomatisierter Fahrzeuge erfüllt. Bei dem Fahrzeug handelt es sich um einen Prototyp in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Die tatsächliche Fahrleistung des Shuttles blieb deutlich hinter den Erwartungen zurück. Obwohl der Hersteller angibt, dass der Navya Arma DL4 Shuttle das erste selbstfahrende Fahrzeug ist, das die SAE J3016 Stufe 5 ("Vollautomatisierung") erfüllt, klassifizieren wir das Shuttle, basierend auf den Erfahrungen in Koppl bestenfalls als Stufe 3 ("bedingte Automatisierung"). Dies bedeutet, dass der menschliche Bediener für die Mehrzahl

der Manöver das Verhalten des Fahrzeugs überwachen muss, um gegebenenfalls eingreifen zu können. Bestimmte Fahrmanöver (Ausfahren aus einer Nebenstraße, Ausfahren aus Bushaltestellen, Linksabbiegen an ungeregelten Kreuzungen mit Gegenverkehr) können derzeit überhaupt nur mit menschlicher Interaktion bewältigt werden.

6.3.1 Herausforderungen im Testbetrieb

Als die größten Herausforderungen im Testbetrieb haben sich folgende Punkte herauskristallisiert:

(1) **Organisatorische Herausforderungen:** Die Zusammenarbeit mit dem Hersteller Navya Tech stellte sich als schwierig heraus. Auf Rückmeldungen von unserer Seite wurde nur bedingt eingegangen, teilweise auch sehr spät oder nicht reagiert. Für uns wäre wünschenswert gewesen, dass aufgrund unserer Rückmeldungen eine Weiterentwicklung der Technologien stattfindet. Das ist im Testzeitraum nicht passiert, weder an der Hard- noch an der Software wurden technologische Verbesserungen vorgenommen.

(2) Infrastrukturelle Herausforderungen:

- Infrastrukturelle Herausforderungen entlang der Strecke ergaben sich aus der ländlichen Umgebung (mangelnde Anhaltspunkte wie Häuser, Bodenmarkierungen, etc.) zur Nutzung der LIDAR Sensoren, mangelndes GPS-Signal, mangelnde Infrastruktur in Form von signalisierten Kreuzungen sowie einem Höhenunterschied entlang der Strecke von 65 Höhenmetern (8 % maximale Steigung).
- Da am Ende der langen Teststrecke eine Umkehr auf der Straße bzw. in einer der Nebenstraßen nicht möglich war, musste ein Wendeplatz eingerichtet werden. Dieser wurde von der Gemeinde Koppl errichtet.
- Ebenso war eine absperrbare, trockene Garage mit einem Stromanschluss in unmittelbarer Nähe der Strecke notwendig, um das Shuttle in Stillstandszeiten sicher und sachgemäß verwahren zu können.
- Für die GNSS-Basisstation musste ein geeigneter Platz auf einem Hang gegenüber der Fahrstrecke gefunden werden. Erforderlich war dafür ein absperrbarer, trockener Bereich/Raum mit Stromanschluss und mit Sichtkontakt zur Strecke, so dass das Korrektursignal von der GNSS-Basisstation an das Shuttle gesendet und von diesem empfangen werden konnte.

(3) **Technische Herausforderungen:** Technische Herausforderungen gab es vielfältige, dazu zählten beispielsweise folgende:

- Das **Einlernen einer neuen Route** ist derzeit ein sehr komplexer und ressourcenintensiver Prozess. Ein standardisiertes, herstellerunabhängiges Verfahren zur Analyse, Auswertung und Digitalisierung der Fahrumgebung sowie

eine standardisierte Werkzeugkette für die (teil-) automatisierte Erstellung der digitalen Fahrumgebung oder Fahrspur fehlen bisher.

- Eines der am häufigsten registrierten Probleme war, dass das Shuttle **ohne ersichtlichen Grund oder ohne erkennbares Hindernis anhielt**. Mögliche Gründe könnten Äste von Bäumen oder Sträuchern am Straßenrand, eine unzuverlässige Übermittlung der GNSS-Korrekturdaten für die Positionierung durch eine unzuverlässige Datenübertragung (3G/4G bzw. UHF) oder Sensorreflexionen gewesen sein.
- In Bezug auf die **Positionierung** wurde durch die Testfahrten in Koppl bestätigt, dass die LIDAR-Positionierung in bebauten Umgebungen, solange sich Gebäude auf der linken und rechten Seite entlang der Route als Referenzobjekte befinden, zuverlässig funktioniert. Sobald der bebaute Bereich verlassen wird, müssen andere Positionierungsansätze verwendet werden, wie beispielsweise Multi-GNSS-RTK-Positionierung. Die Positionierungsqualität hängt jedoch stark von der Sichtbarkeit der Satelliten sowie von einer zuverlässigen Übertragung des Korrektursignals ab. Lt. Auskunft des Herstellers benötigt das Arma DL4 Shuttle mindestens 14 sichtbare Satelliten. Das Erreichen einer solchen GNSS-Abdeckung für alle Streckenabschnitte und an jedem Tag war in Koppl eine Herausforderung. Besonders an Tagen mit schlechten Wetterbedingungen haben wir viele Situationen mit weniger als 14 sichtbaren Satelliten erlebt.
- Eine **stabile Bereitstellung von GNSS-Korrekturdaten** war ebenso eine Herausforderung. Der internetbasierte Dienst (z.B. APOS in Österreich) war für Koppl in erster Linie aufgrund der unterschiedlichen Qualität der 3G / 4G-Datenübertragung nicht zuverlässig genug. Das Übertragungsproblem konnte mit einer lokalen GNSS-Basis gelöst werden, die von Navya bereitgestellt wurde und das Korrektursignal in der Regel verlässlich über UHF übermittelte.
- Im Hinblick auf die **Umgebungserfassung** hat sich gezeigt, dass die Erkennung von statischen Hindernissen im Allgemeinen gut funktioniert und dass das selbstfahrende Shuttle zuverlässig vor Hindernissen stoppt. Probleme ergeben sich aus toten Winkeln, die eine zuverlässige 360° -Erkennung von Hindernissen verhindern. Dies ist vor allem ein Problem der unglücklichen Position der 360°-LIDAR-Sensoren auf der Dachoberseite (Dachkanten schatten die Sensoren zur Seite ab) und kann in Zukunft leicht gelöst werden. Andere Probleme ergaben sich aus einer zu geringen räumlichen Auflösung der verwendeten Velodyn VLP-16 LIDAR-Sensoren. Die 16 Schichten dieser Sensoren sind auf die unmittelbare Umgebung vor und hinter dem Fahrzeug fokussiert und ermöglichen keine zuverlässige Erkennung von Objekten in der Distanz, insbesondere, wenn sich

diese Objekte mit höheren Geschwindigkeiten (> 30km / h) bewegen. Dieses Problem kann mit LIDAR-Sensoren mit höherer Auflösung oder mit zusätzlichen Sensoren, wie beispielsweise Radar-Sensoren oder Kameras gelöst werden.

- Hinsichtlich der **Fahrmanöver** wurde durch die Tests bestätigt, dass das Shuttle nur einfache, vordefinierte Manöver handhaben kann. Das Shuttle ist bei weitem noch nicht in der Lage, im gemischten Verkehr alle erforderlichen Manöver entlang der Strecke selbstständig auszuführen. Wie bereits erwähnt, stoppt das Shuttle zuverlässig vor Hindernissen auf dem Fahrweg. Es ist jedoch nicht in der Lage, an dem Hindernis automatisch vorbeizufahren. Diese Aufgabe muss die Begleitperson manuell übernehmen. Ebenso bedarf es bei Ausfahrten von Bushaltestellen sowie beim Linksabbiegen einer manuellen Interaktion der Begleitperson.

(4) **Herausforderungen aufgrund der Witterung:** Fahrten bei Schneefall sowie einige Fahrten bei starkem Regen mussten aufgrund der zu extremen Witterungsbedingungen abgebrochen werden. Bei Starkregen und Schneefall erkannten die Sensoren die Niederschläge als Hindernisse und hielten aufgrund dessen in sehr kurzen Abständen an. Ein Vorwärtskommen im autonomen Modus war in solchen Situationen nicht mehr möglich. Darüber hinaus wurde das Shuttle nicht ausreichend belüftet bzw. die Luft getrocknet, sodass die Scheiben bei Feuchtigkeit im Shuttleinneren beschlugen und eine ausreichende Sicht für die Operatoren nicht mehr gewährleistet war.

(5) Eine der größten Herausforderungen beim Testen selbstfahrender Fahrzeuge im gemischten Verkehr ergab sich aus der **Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern**. In einigen Situationen war nicht klar, was das automatisierte Fahrzeug als nächstes tun wird und wie sich andere Verkehrsteilnehmer verhalten sollen. Beispielsweise signalisierte das Shuttle einen Stopp über ein Display an der hinteren Windschutzscheibe. Bedeutet das aber für die nachkommenden Verkehrsteilnehmer, dass es sicher ist, das Shuttle zu passieren, oder sollten sie auch hinter dem Shuttle anhalten? Im Moment sind solche Fragen völlig offen und es fehlen Standards für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern.

6.3.2 Häufigkeiten aufgetretener Probleme während der Testfahrten

In folgender Tabelle ist ein Überblick über die Häufigkeiten der aufgetretenen Probleme während der Testfahrten zu finden. Die Daten basieren auf den Testprotokollen, die nach jeder Fahrt von den Operatoren ausgefüllt wurden. Eine vollständige quantifizierte Erfassung aller Probleme konnte nicht gewährleistet werden, da die Erfassung einerseits auf Basis eines Protokolls erfolgte und Salzburg Research andererseits vom Hersteller keinen Zugriff auf die Fahrzeugdaten erhielt. Es ist davon auszugehen, dass die registrierten Probleme auch

häufiger aufgetreten sind, aber nicht immer registriert wurden, da die Tabelle nur Ereignisse listet, die tatsächlich protokolliert wurden. Ein mehrfaches Auftreten während einer Fahrt wurde beispielsweise nicht immer gesondert protokolliert. Zusätzlich wurde die Protokollierung bewusst offengehalten (Freitext), da vor Beginn der Testfahrten nicht bekannt war, welche Ereignisse überhaupt auftreten können. Für zukünftige Testfahrten wird jedenfalls empfohlen, die häufigsten Ereignisse im Protokoll bereits als Auswahl vorzusehen, sodass deren Auftreten effektiver protokolliert werden kann.

Aufgetretene Probleme während der Digibus-Testfahrten	Registrierte Häufigkeiten
Bus bremst ohne erkennbare Hindernis ab	37
Manuelles Bremsen/Eingreifen war erforderlich	18
Nach Fahrt im manuellen Modus oder einem Stopp, war die Weiterfahrt im autonomen Modus nicht mehr möglich	14
Shuttle erkennt Hindernis, manuelles Umfahren notwendig	11
Bus erkennt herankommende Fahrzeuge nicht (beim Linksabbiegen oder bei Ausfahrt aus Haltestelle)	9
Shuttle verliert Orientierung/Positionierung	7
Shuttle fuhr aus Haltestelle rückwärts statt vorwärts hinaus	4
Blackboxspeicher war voll, Weiterfahrt dadurch nicht mehr möglich	2
Akustisches Signal nach Erkennen von Hindernissen wird nicht beendet	2
Shuttle wird während des Abbiegevorgang von einem anderen Fahrzeug überholt	2
Shuttle gewährt Vorrang nicht	2
Haltestellenauswahl am Touchscreen funktioniert nicht	1
Shuttle erkennt Hindernis in der Fahrspur nicht	1
Manuelle Fahrt war nur mit 0,5 m/Sekunde möglich, Wechsel zu höherer Geschwindigkeit war nicht möglich	1
Totalausfall aller Systeme	1
Viele Stopps aufgrund von Schneeregen	1

Tabelle 4: Registrierte Häufigkeiten der aufgetretenen Probleme während der Digibus-Testfahrten

6.4 Quantitative Ergebnisse der Fahrgastbefragung

Neben der Bewertung der Fähigkeiten des Shuttles bestand das zweite Ziel der Testfahrten darin, Erfahrungen der Passagiere zu sammeln. Die Erfahrungen der Passagiere wurden direkt nach jeder Testfahrt per Online-Umfrage auf einem Smartphone abgefragt. Insgesamt wurden im Testzeitraum 294 Umfragen abgeschlossen.

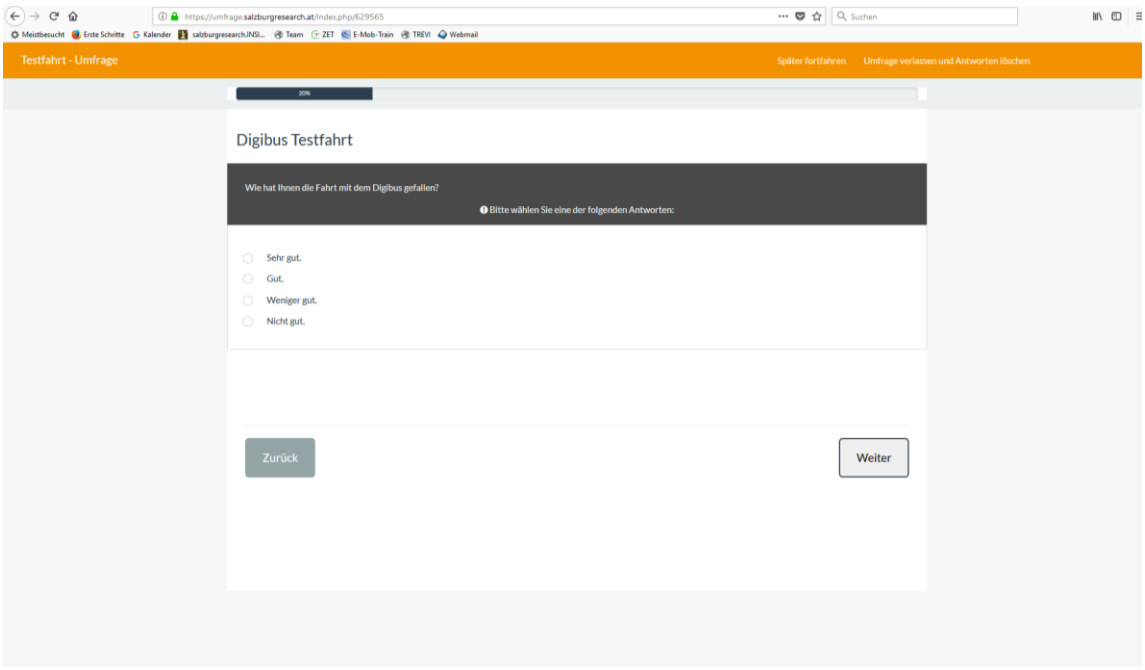


Abbildung 26: Online-Umfrage für Digibus-Fahrgäste

Bezüglich der Vorkenntnisse des automatisierten Fahrens gaben 13 % der Passagiere an, keine Kenntnisse über automatisierte Fahrzeuge zu haben. Fast 43 % hatten bereits vom automatisierten Fahren gehört, 44 % sagten, dass sie sich bereits mit dem Thema beschäftigt haben. Dieser hohe Wert ergibt sich aus der Tatsache, dass zahlreiche Unternehmensdelegationen mit einschlägigen Kenntnissen auf diesem Gebiet an den Testfahrten teilnahmen.

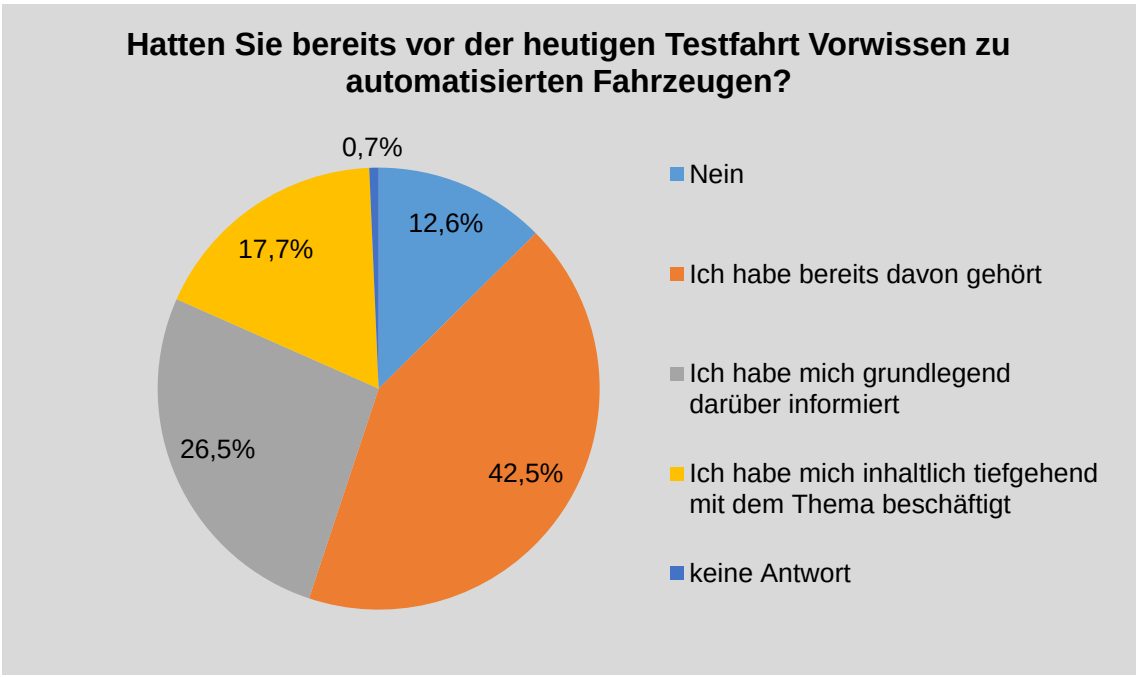


Abbildung 27: Vorwissen zu automatisierten Fahrzeugen

Für den Großteil der Passagiere (84,7 %) war die Testfahrt mit dem Digibus die erste Fahrt in einem selbstfahrenden Shuttle. 9,2 % gaben an, dass sie bereits einmal mit einem selbstfahrenden Shuttlebus mitgefahren sind und für etwas mehr als 5 % war es eine wiederholte Fahrt mit dem Digibus.

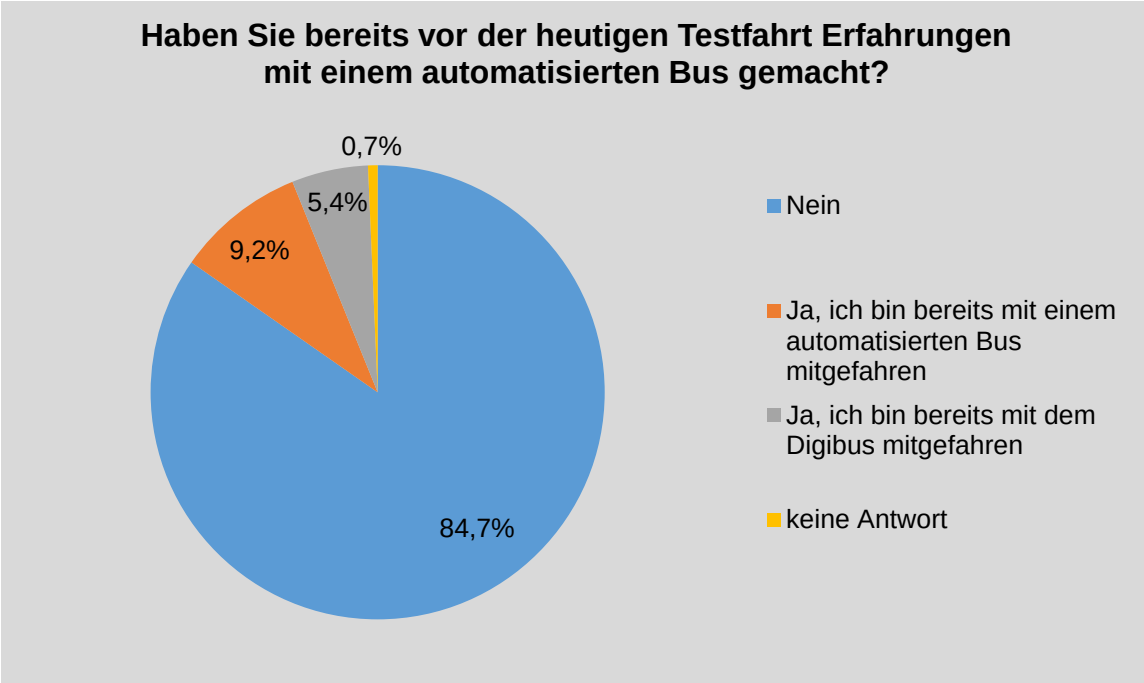


Abbildung 28: Vorhandene Erfahrungen mit automatisierten Shuttlebussen

Die Gründe für die Teilnahme an einer Testfahrt mit dem Digibus waren sehr ausgewogen: 29,4 % machten die Testfahrt aus beruflichem bzw. wissenschaftlichem Interesse, 25,5 % aus Interesse an einer innovativen Mobilitätsform, 23,0 % aus Neugierde und 20,4 % aus Interesse an der Technologie.

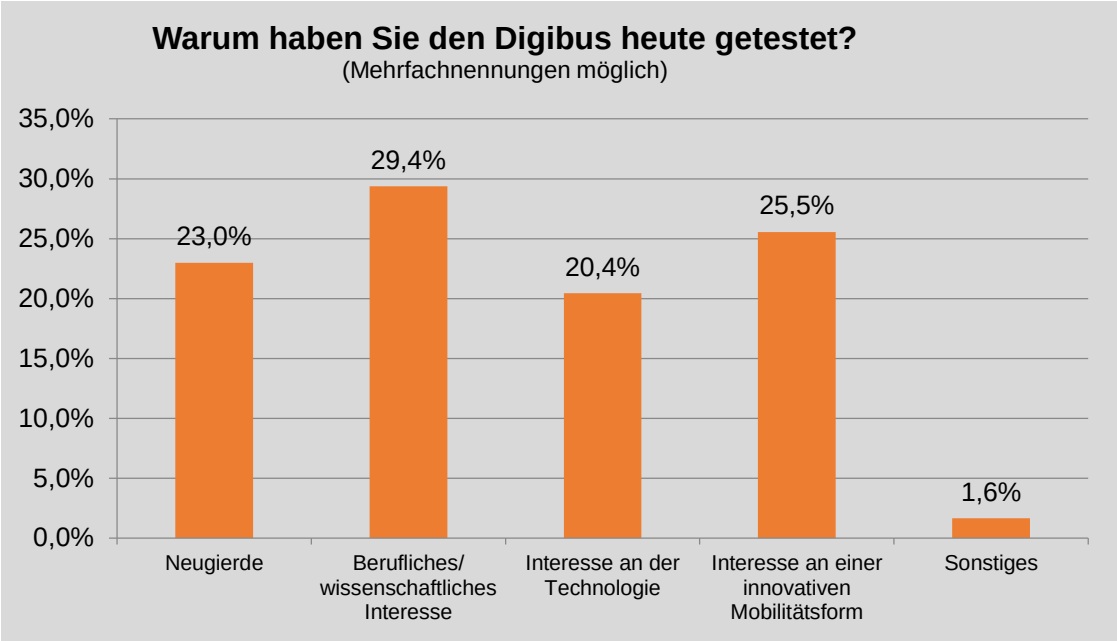


Abbildung 29: Gründe für die Testfahrt mit dem Digibus

Rund 92 % der Passagiere hat die Fahrt mit dem Digibus sehr gut oder gut gefallen. Laut Aussagen (Auswahl der Aussagen) von Passagieren schätzten sie besonders „das angenehme Fahrverhalten", „das sichere Fahrgefühl", „das autonome Fahren" oder „das zuverlässige Erkennen anderer Verkehrsteilnehmer oder Hindernisse".

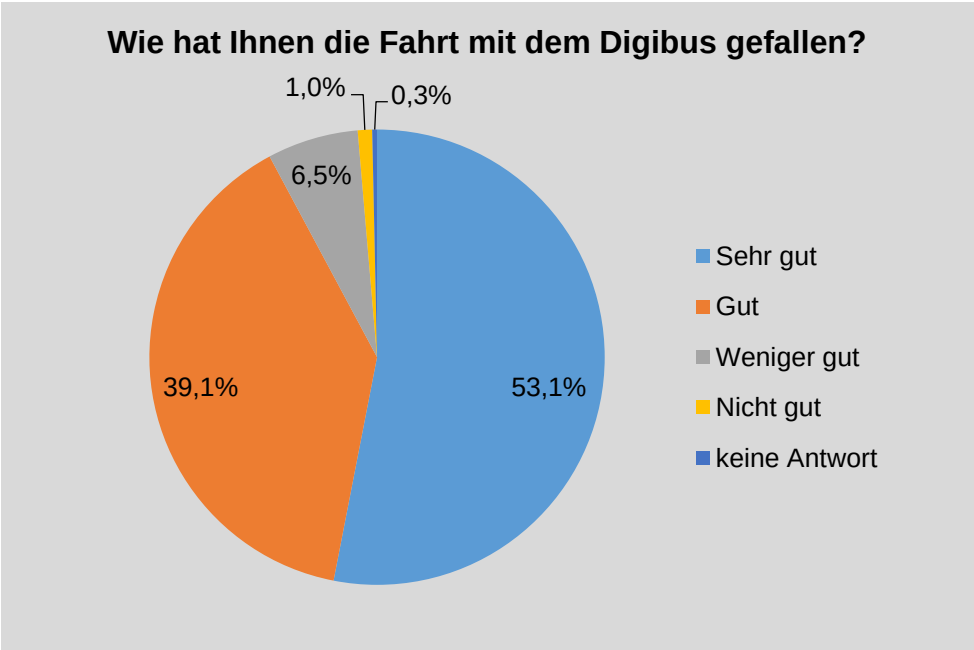


Abbildung 30: Gefallen an der Digibus-Fahrt

Was hat Ihnen an der Digibus-Testfahrt gut gefallen?	Registrierte Häufigkeiten
Angenehmes Fahrverhalten	14
Sicheres Fahrgefühl/vorsichtige Fahrweise	9
Autonomes Fahren an sich	6
Zuverlässiges Erkennen anderer Verkehrsteilnehmer und von Hindernissen	6
Generell die fortschrittliche Technologie	5
Hohe Fahrgeschwindigkeit	5
Vorhandensein einer Klimaanlage/angenehmes Klima im Shuttle	5
Kein Fahrer notwendig	2
Präzise Fahrweise/Genauigkeit der Positionierung	2
Präzises Anfahren der Haltestellen	2
Ästhetik des Shuttles	1
Beschleunigung	1
Einsatzmöglichkeiten (ländliches Gebiet, last mile, etc.)	1
Funktionierendes Zusammenspiel mit anderen Verkehrsteilnehmern	1
Genaue Programmierung der Fahrstrecke	1
Neuheit der Technologie	1
Potenzielle Lösung für dünn besiedelte Gebiete	1
Robustheit des Shuttles	1
Routine der Operatoren	1
Schnelle Reaktion des Shuttles beim Abbiegen	1
Sensorik	1
Unterschiede zur Tesla-Technologie	1
Vorausschauende Fahrweise	1

Tabelle 5: Registrierte Häufigkeiten der positiven Aspekte während der Testfahrten

Gibt es Aspekte, die Sie überrascht haben?	Registrierte Häufigkeiten
Abruptes Bremsverhalten/ruckelnde Fahrweise	9
Noch keine ausgereifte Technologie/prototypische Implementierung	8
X-Box-Konsole als Steuerungselement/kein Lenkrad vorhanden	3
Mangelnde Leistung für Bewältigung der Steigung (bei Vollbesetzung)	3
Aufwändige Streckenprogrammierung	2
Einfache Handhabung der Technologie	2
Komplexität "normaler" Verkehrssituationen	2

Geschwindigkeit von max. 16 km/h	2
Manuelle Eingriffe erforderlich	2
Noch ein weiter Weg bis zum gänzlich autonomen Fahren	2
Hohe Abhängigkeit von GPS und Sensoren	1
Einschlag der Räder	1
Eingeschränkte Flexibilität	1
Fortgeschrittener Entwicklungsstand der Technologie	1
Reaktionszeit des Shuttles	1
Harter Wechsel von manuellem zu autonomem Fahrmodus	1
Anschnallen im Shuttle erforderlich	1
Keine Erkennung der Straßenausrüstung	1
Kommunikation mit Umgebung noch nicht ausgereift	1
Unplanmäßige Stopps während der Fahrt	1

Tabelle 6: Registrierte Häufigkeiten überraschender Aspekte während der Testfahrten

Etwas mehr als 6 % der Passagiere sagten, dass ihnen die Fahrt mit dem Digibus weniger gut gefallen hat und 1 % der Passagiere gab an, dass sie die Testfahrt überhaupt nicht mochten. Die Gründe waren zum Beispiel „hohe Bremsintensität bzw. häufiges Bremsen", „prototypisches Stadium der Technologie" oder „kein flüssiges Fahrverhalten“.

Was hat Ihnen an der Testfahrt mit dem Digibus nicht gefallen oder was haben Sie dabei vermisst?	**Registrierte Häufigkeiten**
Hohe Bremsintensität/häufiges Bremsen	3
Prototypisches Stadium der Technologie	3
Kein flüssiges Fahrverhalten	2
Unsicheres Fahrgefühl	2
Unklare/keine Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern	2
Langsame Geschwindigkeit	1
Keine ausgereifte Technologie	1
Mangelnder Fahrkomfort	1
Viele manuelle Eingriffe erforderlich	1
Shuttle konnte Steigung nicht bewältigen	1
Träges System	1
Unübersichtlichkeit für Operatoren	1
Fehleranfälligkeit	1
Regen verhindert richtiges Fahren	1
Viele Stopps während der Fahrt	1

Tabelle 7: Registrierte Häufigkeiten negativer Aspekte während der Testfahrten

Die Passagierbefragung ergab auch sehr positive Werte für ein gutes Sicherheitsgefühl an Bord. Fast 90 % der Passagiere fühlten sich an Bord des Digibusses sehr sicher oder sicher. Dazu muss die Annahme ergänzt werden, dass das Sicherheitsempfinden der Passagiere höchstwahrscheinlich abnimmt, wenn das Shuttle vollständig fahrerlos fährt. Als die Passagiere nach den Gründen gefragt wurden, warum sie sich an Bord nicht sicher fühlten, lauteten die Antworten „abruptes oder ruckartiges Bremsen", „nicht genug Vertrauen in diese neue Technologie", „mangelnde Erfahrung", „schlechte Sensorik" oder „das Shuttle kann nicht zwischen Personen und Fahrzeugen unterscheiden".

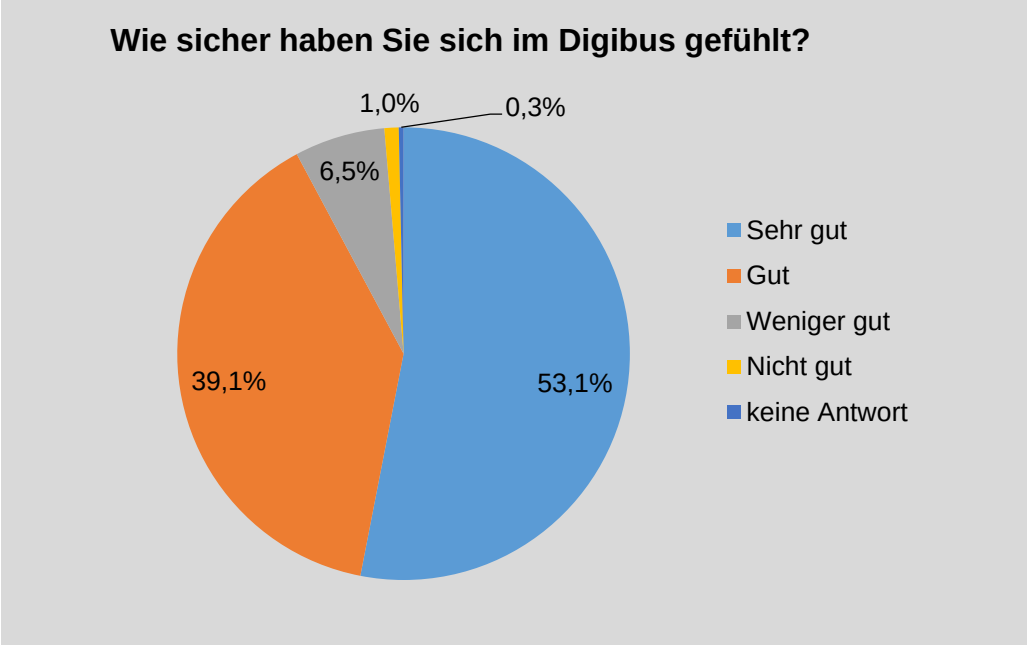


Abbildung 31: Sicherheitsgefühl im Digibus

Warum haben Sie sich im Digibus weniger sicher/unsicher gefühlt?	Registrierte Häufigkeiten
Abruptes Bremsverhalten/ruckelnde Fahrweise	6
Mangelndes Vertrauen in die Technologie	2
Shuttle rollte bergab	2
Shuttle stellt Hindernis für andere Verkehrsteilnehmer dar	2
Erfahrungsmangel	1
Autonomes Fahren nicht möglich	1
Shuttle erkennt keine Verkehrsschilder	1
Shuttle erkennt keine Unterschiede zwischen Menschen und Autos	1
Sensorik nicht gut genug	1
Wirkung zwischen Sensorik und Aktuatorik unklar	1
Lautes Motorengeräusch	1

Ruppiger Wechsel von manuellem zu autonomem Fahrmodus	1
Beschlagen der Fenster macht Rundumsicht unmöglich	1
Zuverlässigkeit des Systems	1

Tabelle 8: Registrierte Häufigkeiten und Gründe für ein unsicheres Gefühl der Passagiere im Digibus

Auf die Frage, wofür sich die befragten Personen eine Nutzung des Digibus in ihrer Umgebung vorstellen könnten, antworten 28,3 % zum Pendeln für den Schul- und Arbeitsweg beziehungsweise als Zubringer zur nächsten Haltestelle des öffentlichen Verkehrs. 20,7 % gaben an, dass sie so einen Bus für Alltagserledigungen, wie z.B. Einkaufen, Arztbesuche, Amtswege, etc., nutzen würden. Je rund 16 % der Passagiere können sich vorstellen, dass der Digibus für Freizeitaktivitäten (Fahrten zum Fußballtraining oder Musikunterricht, als Zubringer zum Skilift, als Wanderbus, etc.), als Zustelldienst für Pakete, Einkäufe, etc. oder als Werksverkehr für Personen auf einem abgeschlossenen Betriebsgelände zum Einsatz kommt. 1,4 % der Befragten können sich keine Nutzung eines solchen Shuttlebusses vorstellen.

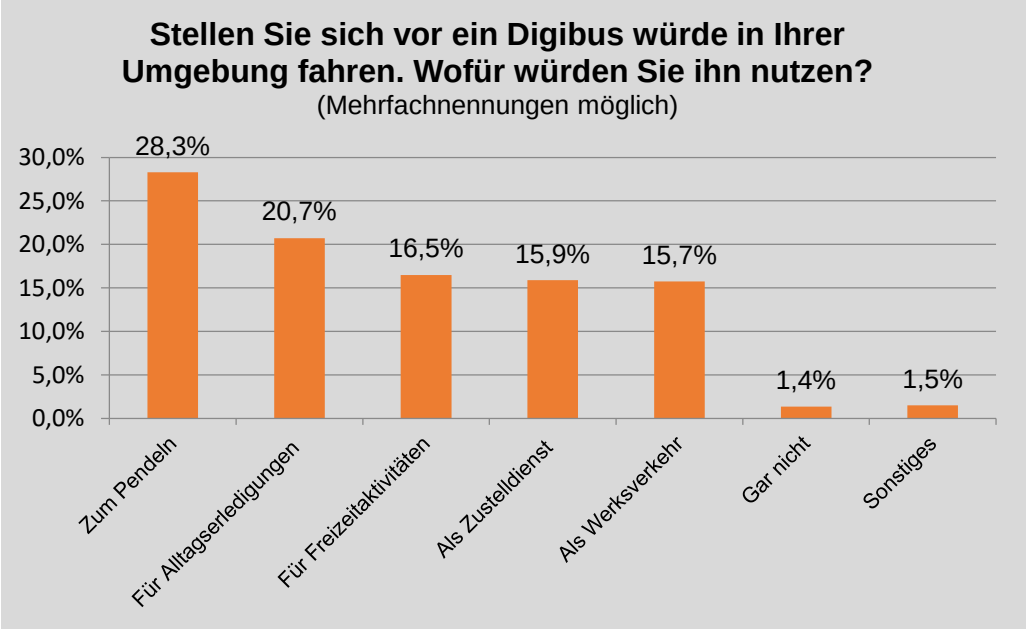
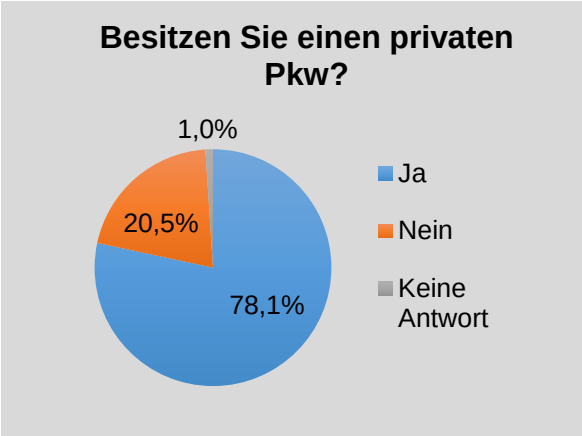


Abbildung 32: Nutzungspotenziale für den Digibus

Fast 80 % der Passagiere besitzen einen privaten Pkw, 20,5 % verfügen über keinen eigenen Pkw. Fast 40 % der Befragten können sich vorstellen, dass ein selbstfahrender Shuttlebus, der in ihrer Gemeinde fährt, ihren privaten (Zweit-)Pkw ersetzen könnte. Rund 59 % sehen das als keine realistische Option und können sich nicht vorstellen, dass ein selbstfahrender Shuttlebus den privaten (Zweit-)Pkw ersetzen könnte.



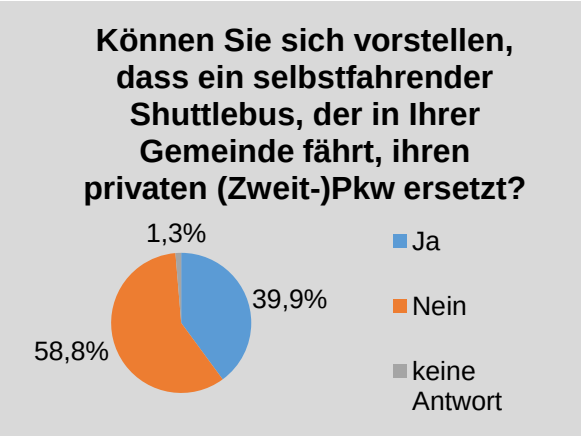


Abbildung 33: (a) Pkw Besitz; (b) potenzieller Ersatz des privaten Pkw durch einen selbstfahrenden Shuttlebus

Hinsichtlich der demographischen Daten waren 56,2 % der befragten Personen männlich und 41,1 % weiblich.

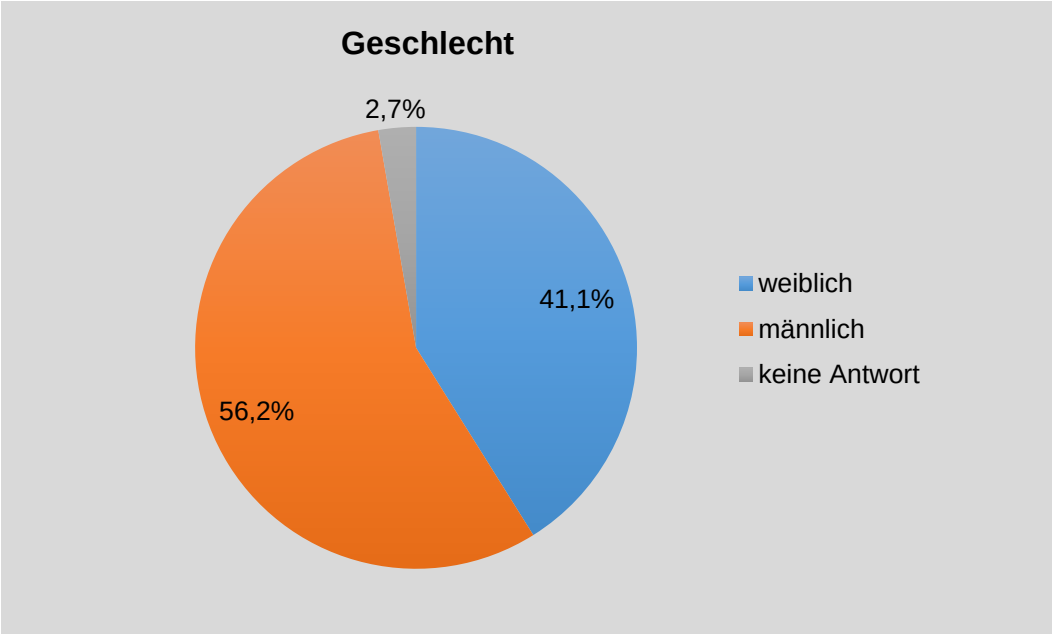


Abbildung 34: Geschlecht der befragten Personen

Der Großteil der Passagiere war zwischen 21 und 50 Jahren alt. 15,1 % waren zwischen 51 und 60 Jahren, 9,6 % waren älter als 60 Jahre. Zwischen 13 und 20 Jahren waren knapp mehr als 5 % der befragten Personen.

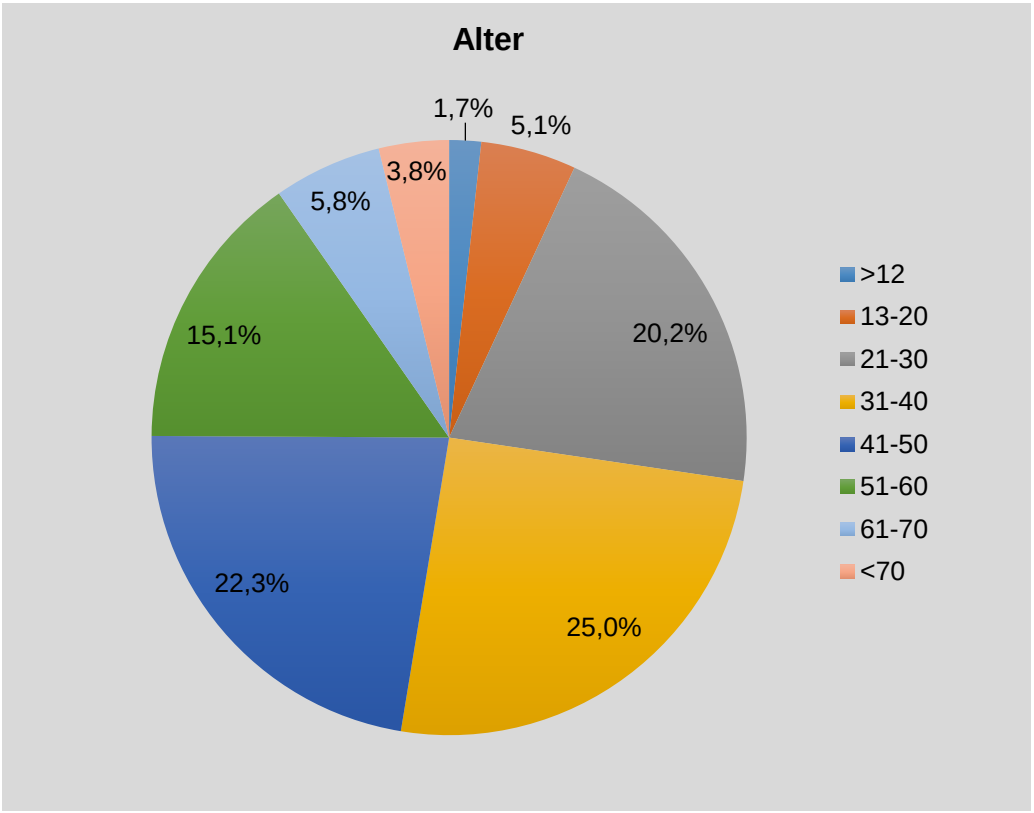


Abbildung 35: Alter der befragten Personen

Hinsichtlich der Beschäftigungsverhältnisse gaben 65,4 % der Passagiere an, dass sie berufstätig sind, je 11,0 % waren in Ausbildung bzw. selbständig und 8,2 % gaben an, dass sie in Pension sind.

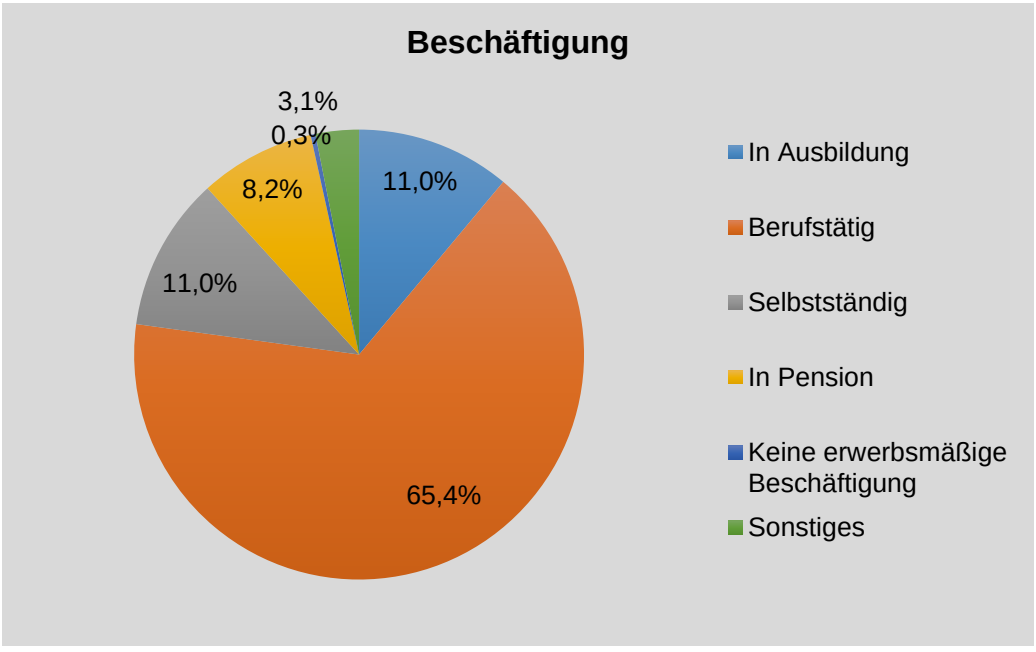


Abbildung 36: Beschäftigung der befragten Personen

6.5 Angewandte Sicherheitsmechanismen

Sicherheitsrelevante Aspekte hinsichtlich Datenschutz und Cyberkriminalität waren während der Testfahrten ausreichend erfüllt und die Verkehrssicherheit der getesteten Systeme war zu jedem Zeitpunkt gewährleistet.

6.5.1 Datenschutz

Die eingesetzten Shuttles ARMA DL3 und ARMA DL4 zeichneten Fahrdaten ohne direkten Personenbezug in einem internen Speicher (Blackbox) auf. Diese Daten wurden verschlüsselt in der Blackbox abgelegt und waren ausschließlich dem Hersteller Navya Tech zugänglich. Das Fahrprotokoll wurde getrennt zu diesen Daten aufgezeichnet.

In der eingebauten Blackbox wurden Daten über den Betriebszustand der Shuttle gesammelt. Die Daten wurden kontinuierlich von den Sensoren gesammelt. Auf diese Daten hatte ausschließlich Navya Tech Zugriff.

Bei den von Salzburg Research durchgeführten Befragungen wurden keine personenbezogenen Daten erhoben.

6.5.2 Cybersicherheit

Alle vom Fahrzeug gesendeten oder erhaltenen Daten lagen ausschließlich verschlüsselt vor und durchliefen ein VPN-System (Virtual Private Network). Der Zugang zu den Systemen war branchenüblich geschützt und war während der Tests nur den Mitarbeitern der Firma Navya Tech zugänglich. Grundsätzlich erlaubt das System keine Bewegungssteuerung von außerhalb des Fahrzeugs. Dies wird von der Software verwaltet, die alle vom Fahrzeug empfangenen Daten sammelt und prüft. Sollte eine Nichtübereinstimmung festgestellt werden, erzeugt das Fahrzeug eine Fehlermeldung und stoppt unmittelbar.

6.5.3 Verkehrssicherheit der getesteten Systeme

Im getesteten Szenario konnte die Verkehrssicherheit durch Tests mit niedriger Geschwindigkeit (max. 16 km/h) jederzeit gewährleistet werden. Um die Sicherheit der Passagiere zu jedem Zeitpunkt sicherzustellen, wurden von Navya Tech sogenannte „Sicherheitsstopps“ bei jeder Haltestelle, beim Linksabbiegen und bei jedem Stoppschild einprogrammiert. Das bedeutete, dass der Fahrweg durch den Operator durch das Drücken des „Go-Buttons“ freigegeben werden musste und das Shuttle erst dann seine Fahrt fortsetzte. Diese Sicherheitsstopps wurden einprogrammiert, da die eingesetzten Sensoren nicht für die Geschwindigkeiten (> 30 km/h) von herannahenden Fahrzeugen ausgerichtet waren.

Darüber hinaus kamen akustische bzw. visuelle Signalisationen zum Einsatz. Ein akustisches Signal ertönte, wenn das Shuttle auf ein Hindernis in seinem Fahrweg traf. Visuelle Informationen wurden auf den zwei nach außen gerichteten Displays für die anderen Verkehrsteilnehmer übermittelt. Diese waren jedoch nicht immer eindeutig, Standards für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern fehlen derzeit noch. Details dazu siehe Kapitel 7.3.1, Unterpunkt (5). Ebenso fehlen in diesem Bereich noch wissenschaftliche Ergebnisse bzw. Standards, zu welchem Verhalten welche Signalisation führt.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sich das Shuttle in der Forschungs- und Entwicklungsphase befindet und noch umfangreiche Entwicklungen bis zur vollständig autonomen Funktionsfähigkeit für den Straßenverkehr notwendig sind.

6.6 Nachhaltigkeit der erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse

In Koppl fanden erstmals Testfahrten mit einem selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen im Mischverkehr in Österreich statt. Dementsprechend groß war das Medieninteresse. Durch die Berichterstattung wurde die breite Öffentlichkeit auf das Thema aufmerksam. Die Neugierde am Testen dieser neuen Technologie sowie das Interesse der Bevölkerung daran waren groß.

Solche Tests in realer Umgebung führen zu ersten Erfahrungen der Bevölkerung mit selbstfahrenden Fahrzeugen und sind wesentlich für die Bewusstseins- bzw. Vertrauensbildung. Wichtig dabei ist einerseits zu zeigen, dass das Thema nicht mehr nur Zukunftsmusik ist, sondern bereits in der Realität angekommen ist. Andererseits wurde auch der breiten Bevölkerung deutlich vor Augen geführt, wie begrenzt die Einsatzmöglichkeiten derzeit sind und welche Entwicklungsschritte bis zu einer vollständig autonomen Fahrweise noch zu leisten sind. Oftmals war die Erwartungshaltung, dass es sich bei dem Testbetrieb bereits um einen regulären Linienbetrieb handelt bzw. dieser unmittelbar nach den Tests eingerichtet wird. Bei den Testfahrten selbst wurde den Fahrgästen meist sehr schnell klar, dass ein Linienbetrieb mit dem derzeitigen Stand der Technologie noch relativ weit entfernt ist.

Mit dem Test eines selbstfahrenden Shuttlebusses in einer ländlichen Umgebung wurde bewusst ein Szenario gewählt, das autonomes Fahren mit nachhaltiger, öffentlicher Mobilität sowie der Thematik der „ersten/letzten Meile“ verknüpft. Ist diese Distanz zu lang, steigen die Menschen lieber in den eigenen PKW, anstatt das vorhandene öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen. Selbstfahrende Shuttlebusse können als lokale Zubringer die Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs entscheidend verbessern. Der Trend zur Automatisierung im Verkehrswesen erfasst zunehmend auch den öffentlichen Personennahverkehr. Hier hat sich vor allem die Erschließung der ersten/letzten Meile immer wieder als kritischer Aspekt für die Kundenakzeptanz herausgestellt. Mikro-ÖV-Systeme, also Zubringer-Dienste zu

vorhandenen öffentlichen Verkehrsmitteln, haben vor allem auch im ländlichen Raum in den letzten Jahren zu einer Qualitätsverbesserung geführt. Allerdings ist der Betrieb von Mikro-ÖV-Systemen entweder kostenintensiv oder beruht auf Leistungen Freiwilliger. Dadurch ist eine Ausrollung solcher Systeme derzeit nicht flächendeckend möglich. Automatisierte Personentransportsysteme – hochautomatisierte Fahrzeuge oder selbstfahrende Shuttlebusse – können neuartige Mikro-ÖV-Systeme ermöglichen, die vor allem zur Erschließung von ländlichen Regionen oder Stadtteilen eingesetzt werden können.

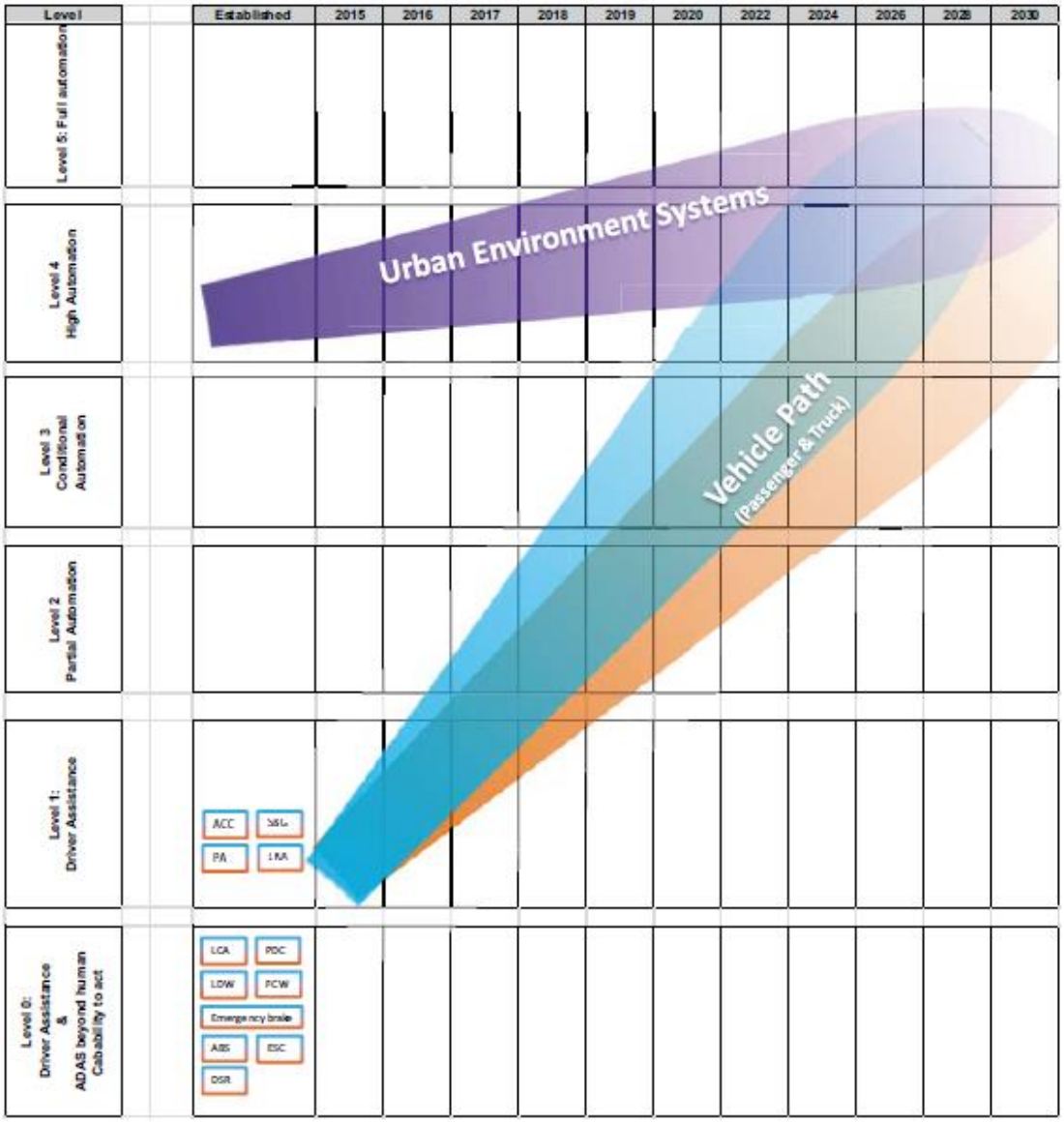
7 Fazit und nächste Schritte

Der Testbetrieb in Koppl war einer der ersten Versuche weltweit mit einem selbstfahrenden Shuttle auf öffentlichen Straßen im gemischtem Verkehr in ländlicher Umgebung. Im Mittelpunkt des Versuchs stand die reale Erprobung eines selbstfahrenden Shuttles zur Überbrückung der ersten / letzten Meile im öffentlichen Personennahverkehr. Von April bis November 2017 wurden 240 Testfahrten mit 874 Passagieren auf 341 Testkilometern durchgeführt. Die begleitende Befragung der Fahrgäste mit 294 Teilnehmern ergab eine hohe Akzeptanz der neuen Technologie und ein gutes Sicherheitsgefühl an Board des Digibusses.

Die Ergebnisse der Testfahrten zeigen, dass die Technologie zum Testen bereit ist, aber es noch ein langer Weg bis zum fahrerlosen Betrieb ist, insbesondere in gemischten Verkehrsszenarien. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das getestete selbstfahrende Shuttle die Erwartungen an hoch- bzw. vollautomatisierte Fahrzeuge noch nicht erfüllte. Eine zentrale Erkenntnis der Testfahrten ist allerdings, dass praktische Erfahrungen auf öffentlichen Straßen im Mischverkehr im Rahmen des automatisierten Fahrens unverzichtbar sind um den tatsächlichen Entwicklungsstand unter realistischen Bedingungen zu überprüfen. Bei der Realerprobung zeigten sich große Unterschiede zwischen den Ankündigungen des Herstellers und dem tatsächlichen Entwicklungsstand. Das erprobte Fahrzeug kann derzeit nur als eine Art Prototyp in der Forschungs- und Entwicklungsphase betrachtet werden. Trotz des enormen technischen Fortschritts der letzten Jahre zeigte die aktuelle Realerprobung, dass der erprobte Shuttlebus gegenwärtig maximal in die Automatisierungsstufe 3 („bedingte Automatisierung“) einzustufen ist (nach SAE J3016).

Die europäische Roadmap für die Entwicklung von automatisiertem Fahren (ERTRAC-Roadmap Automatisiertes Fahren) aus dem Jahr 2017 beschreibt auch einen Entwicklungspfad für automatisierte urbane Mobilitätssysteme („automatisierte Shuttles“). Laut dieser Roadmap ist die Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen für den Zeitraum 2018 - 2024 auf speziell für autonome Shuttle gewidmeten Strecken und für den Zeitraum 2024 - 2030 auf öffentlichen Straßen im gemischten Verkehr geplant. Bis dahin ist noch ein

enormer Aufwand an Forschung und Entwicklung notwendig (ERTRAC, 2017). Die folgende Grafik zeigt den Entwicklungspfad für automatisierte urbane Mobilitätssysteme im Vergleich zum Entwicklungspfad für autonom fahrende Pkw und Lkw.



© ERTAC 2017

Abbildung 37: ERTAC Roadmap: wesentliche Entwicklungspfade von autonomen Fahrzeugen

In Österreich sollen laut dem Aktionsplan für automatisiertes Fahren „Automatisiert – Vernetzt – Mobil“ des BMVIT automatisierte Shuttles als bedarfsgesteuerte Zu-/Abbringer zu Mobilitätsknoten eine Schlüsselrolle einnehmen (Anwendungsfall 3 „Neue Flexibilität“) (BMVIT, 2016). Dementsprechend sind auch Maßnahmen für die Entwicklung von automatisierten Mobilitätssystemen vorgesehen.

Salzburg Research möchte auch in den nächsten Jahren zur Erforschung von „Automatisiertem Fahren“ als Teil eines intermodalen öffentlichen Mobilitätssystems beitragen und hat daher bei der 9. Ausschreibung der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmenprogramm „Mobilität der Zukunft“ im

September 2017 das Leitprojekt „Digibus Austria“ zum Thema automatisiertes Fahren im öffentlichen Personennahverkehr eingereicht und eine Zusage erhalten. „Digibus Austria“ startet im April 2018 und wird bei einer Laufzeit von 3 Jahren unter der Leitung von Salzburg Research von einem hochkarätigen Partnerkonsortium von führenden Unternehmen (Kapsch TrafficCom, ÖBB Holding, PRISMA solutions, Commend, Fluidtime, HERRY Consult, EasyMile) sowie Forschungsinstituten (Virtual Vehicle, Austrian Institute of Technology, Universität Salzburg – Center for Human Computer Interaction, Universität für Bodenkultur Wien – Institut für Verkehrswesen, Factum) entlang der gesamten Wertschöpfungskette des ÖPNVs vom Fahrzeuganbieter bis zum Mobilitätsdienstleister durchgeführt.

Ziel des Leitprojekts ist die Erforschung und Erprobung von Methoden, Technologien und Modellen für einen zuverlässigen und verkehrssicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen für den Personennahverkehr als Zu-/Abbringer in einem regionalen, intermodalen Mobilitätssystem. Obwohl weltweit immer mehr Testversuche angekündigt bzw. durchgeführt werden, sind bisher wenige Forschungsprojekte bekannt, die eine systematische Weiterentwicklung von automatisierten Shuttles in Richtung höherer Stufen zum Ziel haben. Im Rahmen des Projekts sollen die Grundlagen für die Erreichung der Stufe 4 (Hochautomatisierung) geschaffen werden und somit soll eine Weiterentwicklung auf die nächste Automatisierungsstufe stattfinden. Konkret sollen im Leitprojekt „Digibus Austria“ folgende Fragestellungen erforscht und beantwortet werden:

- **Digitale und physische Infrastruktur:** Mit welchen Methoden kann die Eignung bzw. Ausstattung einer Fahrumgebung bzw. Fahrstrecke für ein hoch- bzw. vollautomatisiertes Personenshuttle analysiert und bewertet werden und wie kann die digitale Fahrumgebung bzw. Fahrspur für ein hoch – bzw. vollautomatisiertes Fahrzeug (teil-) automatisiert erstellt werden?
- **Konnektivität:** Welche Technologien (LTE-V, ITS G5) eignen sich für welche Konnektivitätsanforderungen hoch –bzw. vollautomatisierter Personenshuttles und wie kann dadurch die Zuverlässigkeit der Positionierung bzw. Kommunikation verbessert werden?
- **Verkehrssicherheit und Straßentauglichkeit:** Mit welchen Methoden kann die Straßentauglichkeit bzw. Verkehrssicherheit eines hochautomatisierten Personenshuttles überprüft werden und welches Kollektiv an Fahrszenarien kann von einem hochautomatisierten Shuttle im Mischverkehr verkehrssicher und regelkonform bewältigt werden?
- **Menschliche Faktoren:**
  (a) Welche Interaktionskonzepte mit anderen Verkehrsteilnehmer/-innen eignen sich für regionale Fahrszenarien von hochautomatisierten Personenshuttles und welche

Erkenntnisse lassen sich dazu mit einem Fahrsimulator bzw. durch Realerprobungen gewinnen?

(b) Welche Methoden zur multimodalen Fahrgastinteraktion mit Fokus auf Sprach- bzw. Video-basierte Ansätze eignen sich für den fahrerlosen Betrieb und wie kann dadurch ein ähnliches oder höheres Vertrauen im Vergleich zu einem Betrieb mit Fahrer/-in aufgebaut werden?

- **Neue Mobilitätsdienste:** Welche Konzepte eignen sich für die Einbindung von hoch – bzw. vollautomatisierten Personenshuttles in ein intermodales, regionales Mobilitätssystem und wie können diese Konzepte in bestehende digitale Mobilitätsdienste integriert werden?
- **Regulatorische Maßnahmen:** Welche Rahmenbedingungen (technisch, organisatorisch, rechtlich, gesellschaftlich, wirtschaftlich) sind für Realerprobungen bzw. in weiterer Folge für den Betrieb von hoch- bzw. vollautomatisierten Personenshuttles in regionalen Umgebungen zu berücksichtigen und wie können diese in einem Referenzmodell abgebildet werden?

Sämtliche Methoden, Technologien und Modelle werden im Projekt „Digibus Austria“ auf einer nichtöffentlichen sowie zwei öffentlichen, regionalen Teststrecken erprobt. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für ein österreichisches Referenzmodell für die Realerprobung und den Betrieb von hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Personennahverkehr.

Weitere Informationen zum Leitprojekt können unter https://www.digibus-austria.at abgerufen werden.

8 Literaturverzeichnis

BMVIT. (2016). Automatisiert – Vernetzt – Mobil, Aktionsplan Automatisiertes Fahren. Abgerufen am 12. 12 2017 von https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/mobilitaet/downloads/automatisiert.pdf

Bundesgesetzblatt. (1977). Teil II, Wiener Straßenverkehrskonvention. Abgerufen am 10. 10 2017 von https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl277s0809.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl277s0809.pdf%27%5D__1502710688250

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. (2016). Abgerufen am 10. 10 2017 von 402. Verordnung, Automatisiertes Fahren Verordnung – AutomatFahrV: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2016_II_402/BGBLA_2016_II_402.pdf

ERTRAC. (15. 02 2018). Automated Driving Roadmap 2017. Abgerufen am 15.02.2018 von ERTRAC Roadmaps. http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id48/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf

Gemeinde Koppl. (2017). Abgerufen am 14. 12 2017 von http://www.koppl.at/

Kraftfahrgesetz. (1967). in der Fassung vom 16.01.2018, BGBI. Nr. 267/1967. Abgerufen am 16. 01 2018 von https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384

Land Salzburg. (2016). Abgerufen am 12. 12 2017 von salzburg.mobil.2025, Salzburger Landesmobilitätskonzept: https://www.salzburg.gv.at/verkehr_/Documents/salzburgmobil2025_programm2016.pdf

Levison, J., Thrun, S., & Montemerlo, M. (2007). Map-Based Precision Vehicle Loc. in Urban Env.. In Robotics: Science and Systems. p. 1.

Navya Tech. (2017). Abgerufen am 14. 12 2017 von https://navya.tech/en/

SAE International. (2014). Abgerufen am 05. 12 2017 von Levels of automated driving: http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf

Sun, Q., Xia, J., Foster, J., & Lee, H. (2017). Pursuing Precise Vehicle Movement Trajectory in Urban Residential Area Using Multi-GNSS RTK Tracking. Transportation Research Procedia, 25, pp.2356–2372.