



# **Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Buslinienverkehr**

## **MASTERARBEIT**

vorgelegt von  
Aldin Bibić, B.Sc.

bei  
Univ. Prof. Dr. -Ing. Martin Fellendorf  
Technische Universität Graz  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:  
Dipl.-Ing. Michael Cik  
Technische Universität Graz  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, 19. November 2018



Beschluss der Curricula-Kommission der Technischen Universität Graz für das Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Infrastruktur. Genehmigt in der Sitzung vom 29.02.2016.

**Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit identisch.

Graz, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Aldin Bibić, B.Sc.

**Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. This document is identical with the electronic version uploaded via TUGRAZonline.

Graz, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Aldin Bibić, B.Sc.

## Danksagung

Hiermit möchte ich mich recht herzlich bei allen Personen bedanken, die mich während meines Studiums und der Anfertigung dieser Masterarbeit begleitet, motiviert und unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank meinen Betreuern Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf und Dipl.-Ing. Michael Cik, die durch Ihre Unterstützung, Kritik und Motivation diese Arbeit ermöglicht haben. Die aufgebrachte Geduld und Hilfsbereitschaft weiß ich zu schätzen und ich fühle mich geehrt diese Personen und ihre Fachkompetenz, während der Anfertigung dieser Masterarbeit, an meiner Seite gehabt zu haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinem Bruder, die mich während meiner gesamten Studienzeit finanziell und moralisch unterstützt haben. Durch ihre Unterstützung haben sie mir mein Studium erst ermöglicht, was ich ihnen mein ganzes Leben nicht vergessen werde.

Eine Person, ohne die ich mein Studium nicht abschließen hätte können, und die deswegen einen besonderen Dank verdient, ist meine Lebensgefährtin Danijela. Ihre Liebe und Unterstützung an schwierigen Tagen, wenn ich keine Lust hatte für eine Prüfung zu lernen oder an meiner Masterarbeit zu schreiben, ist unbezahlbar und somit für immer in meinem Herzen verankert.

Ich möchte mich herzlich bei den Umfrageteilnehmern bedanken, die durch ihre Teilnahme an der Verkehrsbefragung in Graz die Anfertigung dieser Masterarbeit ermöglicht haben.

Der letzte Dank gilt meinen Kommilitonen/innen, Freunden und Bekannten, die mir meine Studienzeit erleichtert und amüsant gestaltet haben. Es war eine schöne Zeit, die ich nie vergessen werde.

Graz, am 06.11.2017

## Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Aldin Bibić

# Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Buslinienverkehr

## Problemstellung

Der öffentliche Personenverkehr (ÖPV) spielt sowohl in städtischen Gebieten als Massenverkehrsmittel und in ländlichen Räumen für Personen ohne Kfz-Verfügbarkeit eine wichtige Rolle zur Mobilitätssicherung. Während der ÖPV im ländlichen Raum ein Grundangebot an Mobilität schafft, werden in städtischen Gebieten bei einem guten Besetzungsgrad eine Vielzahl von Kfz-Fahrten durch den ÖPV ersetzt. Dies steigert die Effizienz des Verkehrssystems (weniger Staus) verbunden mit positiven Effekten auf die Umwelt (weniger Schadstoffemissionen pro Personenkilometer) und Verbesserung der Verkehrssicherheit.

Mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen hat sich die Sicherheit von PKWs und LKWs in den letzten Jahrzehnten verbessert und durch den Einsatz von alternativen Kraftstoffen, wie Erdgas und dem elektrischen Antrieb, unternimmt die Automobilindustrie Anstrengungen, die Luftschadstoffe zu reduzieren. Mit einer weiteren Automatisierung bis hin zum selbstfahrenden Fahrzeug soll der Risiko-faktor "Fahrer/Lenker" im Straßenverkehr schrittweise ersetzt und der Straßenverkehr sicherer werden. Fahrerloses Fahren wird auch die derzeit beginnende Entwicklung der Sharing-Community weiter unterstützen. Statt ein Fahrzeug, das häufig ungenutzt parkt, zu besitzen, kann dieses bei Bedarf am Startort vorbeikommen. Ob dieses Fahrzeug für die Fahrt allein oder als Sammelfahrt genutzt wird, hängt von den persönlichen Präferenzen, den finanziellen Ressourcen und den verfügbaren Fahrzeugtypen ab. Mit der Einführung selbstfahrender Fahrzeuge wird daher die strikte Trennung zwischen individuellen und öffentlichen Verkehrsmitteln aufgehoben. Abhängig von den Betriebsformen bedeuten taxiähnliche Betriebsformen von selbstfahrenden Fahrzeugen für den ÖPV Chancen und Risiken zugleich. Schlecht ausgelastete Busse und Bahnen durch selbstfahrende Fahrzeuge zu ersetzen, kann betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvoll sein; die Konkurrenz bei gut ausgelasteten Linienverkehren kann jedoch zu negativen Folgen führen.

Damit der konventionelle ÖPV, insbesondere der öffentliche Busverkehr, in einer Zeit in der auto-nomes Fahren keine reine Zukunftsidee mehr ist, nicht an Attraktivität verliert, sollte der Einfluss des automatisierten Fahrens auf den öffentlichen Busverkehr analysiert werden. Dabei sollte das automatisierte Fahren nicht nur als Bedrohung sondern auch als Chance für den Busverkehr gesehen werden.

## **Aufgabenstellung**

In dieser Masterarbeit soll der Einfluss des automatisierten Fahrens auf den öffentlichen Buslinienverkehr in Graz analysiert werden. Im Fokus stehen dabei die Benutzerakzeptanz gegenüber selbstfahrenden Bussen, die Linienführung und eine Wirtschaftlichkeitsanalyse autonom fahrender Busse. In einer Fahrgastbefragung im Stadtgebiet von Graz soll die Akzeptanz anhand hypothetischer aber künftig realistischer Szenarien geprüft werden. Es soll der Einfluss der autonomen Fortbewegung auf die Linienführung von Busverbindungen gezeigt werden und Szenarien für Busverbindungen unterschiedlicher Linientypen angefertigt werden. Des Weiteren sollen betriebswirtschaftliche Auswirkungen auf Verkehrsunternehmen (geringere Fahrerkosten, höhere Fahrzeugkosten) analysiert werden.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

Literaturrecherche zum Thema automatisiertes Fahren in Verbindung mit öffentlichem Personenverkehr.

- Klassifikation von bereits existierenden autonom fahrenden ÖV-Verbindungen. Analyse der Motivation diese Verbindungen autonom auszuführen, der entstandenen Problemen und deren Lösungen während der Umsetzung dieser Verbindungen.
- Systematisierung von Kenngrößen im öffentlichen Verkehr der Grazer Buslinien; z.B. Haltestellendichte, Fahrgastwechselzeiten, Reisegeschwindigkeit und Fahrgastzahlen jeweils mit ihren Streubereichen.
- Fahrgastbefragung zum Thema „Benutzerakzeptanz von autonom fahrenden Bussen in Graz“ als stated-preference Befragung; d.h. mit hypothetischen Szenarien für ausgewählte Linientypen der Stadt Graz.
- Wirtschaftlichkeitsberechnung autonom fahrender Busverbindungen anhand der gesammelten Daten.

Für die Anfertigung der Masterarbeit stehen Unterlagen der Technischen Universität Graz zur Verfügung sowie Fachliteratur zum Thema autonomes Fahren und öffentlicher Personenverkehr. Sofern von Verkehrsunternehmen oder dem ISV vertrauliche Daten bereitgestellt werden, verpflichtet sich der Diplomand diese ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Aufbereitung und Analyse der zur Verwendung gestellten Unterlagen Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Masterarbeitstext, Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf  
Tel.: 0316 873 6220  
martin.fellendorf@tugraz.at

Dipl.-Ing. Michael Cik  
Tel.: 0316 873 6224  
michael.cik@tugraz.at

## Kurzfassung

### Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Buslinienverkehr

182 Seiten, 33 Abbildungen, 36 Tabellen

Der Buslinienverkehr nimmt eine wichtige Rolle in der Gestaltung öffentlicher Mobilitätsangebote an, wie im städtischen, so auch im ländlichen Gebiet. Der Buslinienverkehr trägt zur Reduzierung von straßenverkehrlichen Luftschadstoffen pro Fahrgast bei, erhöht den Straßenverkehrsfluss und hilft die Anzahl von Straßenverkehrsunfällen zu senken. Mit der Entwicklung von Automatisierungstechniken im privaten Bereich und den damit verbundenen Möglichkeiten, läuft der Buslinienverkehr auf die Gefahr auf, zukünftig durch automatisierte Carsharing- oder automatisierte Taxi-Dienste, teilweise oder gänzlich ersetzt zu werden. Um dieser Gefahr entgegen zu wirken, ist es notwendig die Einsatzmöglichkeiten automatisierter Fahrzeug für den Buslinienverkehr rechtzeitig zu untersuchen.

Das Ziel dieser Masterarbeit war es herauszufinden, welche Auswirkungen automatisiertes Fahren auf den Buslinienverkehr haben kann und was die Hindernisse einer Implementation automatisierter Fahrzeuge in den Buslinienverkehr sind. Des Weiteren wurde untersucht, wie der Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Buslinienverkehr der österreichischen Stadt Graz aussehen könnte. Um die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Einsatzes automatisierter Busse auf den Betreiber öffentlicher Buslinien in Graz zu verstehen, wurde zusätzlich eine Wirtschaftlichkeitsberechnung automatisierter Busse durchgeführt. Abschließend, wurden Meinungen und Erwartungen der Einwohner von Graz über automatisierte Fahrzeuge durch eine Stated-Preference-Befragung gesammelt.

Im ersten Teil der Arbeit wird der Begriff „Automatisiertes Fahren“ erklärt, wichtige Entwicklungen der Vergangenheit auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens werden erläutert und Verbindungen in und außerhalb Österreichs, auf denen ein automatisierter Bus getestet wird bzw. in der Vergangenheit getestet wurde, vorgestellt. Der zweite Teil beschäftigt sich mit den wirtschaftlichen Auswirkungen eines Einsatzes automatisierter Busse auf den Betreiber öffentlicher Buslinien in Graz, der Holding Graz Linien. Es wurden insgesamt sieben Betriebsszenarien eines automatisierten Busses untersucht und eine Kostenrechnung für jedes Szenario durchgeführt. In sechs Betriebsszenarien wird ein Betrieb von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen angenommen. Im siebten Szenario wird von der gleichen Fuhrparkstruktur, wie sie derzeit bei der Holding Graz Linien vorhanden ist, ausgegangen, außer, dass es sich dabei um den Betrieb von gleich großen automatisierten Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbussen handelt.

Zusätzlich zu der Wirtschaftlichkeitsberechnung automatisierter Busse, wurde im April 2018 eine Verkehrsbefragung in Graz durchgeführt. Das Ziel war es Meinungen über automatisierte Fahrzeuge zu sammeln und das Nutzungsverhalten potenzieller Kunden bei einem Einsatz automatisierter Busse in Graz zu untersuchen. Die Umfrageergebnisse werden im dritten Teil der Arbeit behandelt. Im vierten und letzten Teil der Arbeit, wurden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung und der Verkehrsbefragung benutzt, um die Frage zu beantworten, ob, und wenn ja, wo ein Betrieb automatisierter Busse in Graz technisch umsetzbar und wirtschaftlich sinnvoll wäre.

## Abstract

### **Effects of autonomous driving technologies on the public transport bus service**

182 pages, 33 figures, 36 tables

The public bus transportation service plays an important part in designing transportation services as in cities as well as in rural areas. Public bus transportation services help lower pollutant emission Values per passenger, keep the traffic congestion low and help reduce the number of traffic accidents. With the development of autonomous driving technologies for private cars and all its advantages and disadvantages, the conventional public bus transportation service runs up to the danger of partially being replaced with autonomous shuttle services or other forms of shared autonomous car services in the near or far future. To counteract this potential threat, it is important to duly evaluate the potential of autonomous driving technologies for public bus transportation services.

The objective of this Master thesis was to find out which exact effects autonomous driving technologies could have on public bus transportation services and which are the main obstacles of implementing autonomous driving technologies in the public bus transportation sector. Additionally, it was analysed, how the use of autonomous busses for public transportation, in a time where self-driving cars are not a fiction anymore, could look like in the Austrian city Graz. To understand the economic effect of autonomous vehicles on the operator of autonomous public bus transportation routes in Graz, an economy calculation was conducted. Finally, the opinions of the residents of Graz towards autonomous vehicles were examined through a stated-preference survey.

In the first part of this Master thesis the term “autonomous driving” is explained, mayor developments of the past are being presented and a couple of routes, where autonomous busses are already operated or have been tested in the past, in and outside of Austria, are being introduced. The second part handles the economic impacts of the operation of autonomous busses on the operator of public bus transportation services in Graz, the Holding Graz Linien (engl. Holding Graz Lines). Seven different operating scenarios were assumed and the economic effects of each of them calculated. Six of these scenarios assume a 100% use of the autonomous minibus Arma DL4 from Navya and one assume the same fleet structure as currently operated under Holding Graz Linien, but with same sized autonomous electric busses.

Additionally, to the economic impacts of autonomous busses, a survey with the purpose to find out how the population of Graz would react to autonomous driving busses in their city and if and how they would use such service, was conducted as part of this Thesis in April 2018. The results of this survey are presented in the third part of this Thesis. In the fourth and last part, the economic effects of autonomous busses and the survey results are used to answer the question about the possibility of implementing autonomous driving technologies in the public bus transportation sector in Graz.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ziel	2
1.2	Inhalt	4
<b>2</b>	<b>Automatisiertes Fahren</b>	<b>7</b>
2.1	Entwicklung des automatisierten Straßenverkehrs	7
2.2	Stufen der Fahrzeugautomatisierung	11
<b>3</b>	<b>Automatisierter Buslinienverkehr</b>	<b>14</b>
3.1	Digibus in Koppl	15
3.2	PRT-Pods am Flughafen London Heathrow	17
3.3	Robosoft RoboCity in La Rochelle	19
3.4	Easymile EZ10 in Helsinki	20
3.5	Mcity Driverless Shuttle	22
3.6	Parkshuttle in Rivium	24
<b>4</b>	<b>Kostenrechnung konventioneller und automatisierter Busse am Beispiel der HGL</b>	<b>27</b>
4.1	Kostenrechnung Konventioneller Busbetrieb	29
4.2	Kostenrechnung automatisierter Busbetrieb	35
4.3	Kostenrechnung Kleinbus	46
4.3.1	Miete Navya Arma DL4	47
4.3.2	Kauf Navya Arma DL4	52
<b>5</b>	<b>Verkehrsbefragungen und Umfrageergebnisse Graz</b>	<b>58</b>
5.1	Grundlagen Verkehrsbefragung	58
5.2	Umfragen beim Einsatz automatisierter Kleinbusse	62
5.2.1	Umfrageergebnisse Koppl	62
5.2.2	Umfrageergebnisse La Rochelle	64
5.2.3	CityMobil2-Befragungen in Europa	66
5.3	Aufbau der Stated-Preference-Befragung in Graz	69
5.4	Ergebnisse soziodemografischer Daten	71
5.5	Erwartungen an automatisiertes Fahren	73
5.6	Auswertung von 3 exemplarischen Busverbindungen	76
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>96</b>
6.1	Zusammenfassung	96
6.2	Fazit/Ergebnis	98
6.3	Ausblick	100
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>103</b>

<b>Internetverzeichnis.....</b>	<b>105</b>
<b>Anhang 1 – Verkehrsbefragung Graz .....</b>	<b>109</b>
<b>Anhang 2 – Belegungsgrad der Holding Graz Buslinien.....</b>	<b>115</b>
<b>Anhang 3 – Kostenrechnung konventioneller Busbetrieb .....</b>	<b>117</b>
<b>Anhang 4 – Kilometerkosten konventioneller Busbetrieb der Holding Graz Linien .....</b>	<b>121</b>
<b>Anhang 5 – Kostenrechnung vollautomatisierter Busbetrieb.....</b>	<b>123</b>
<b>Anhang 6 – Kostenrechnung vollautomatisierter Busbetrieb, unter der Annahme eines geringeren Anschaffungspreises für Elektrobusse .....</b>	<b>127</b>
<b>Anhang 7 – Kostenvergleich konventioneller und vollautomatisierter Busbetrieb .....</b>	<b>131</b>
<b>Anhang 8 – Sensitivitätsanalyse der Kostenparameter vom konventionellen und vollautomatisierten Busbetrieb .....</b>	<b>133</b>
<b>Anhang 9 – Kostenrechnung Betrieb von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen in Graz.....</b>	<b>137</b>
<b>Anhang 10 – Vergleich Betriebsszenarien 1-6 mit Kosten des konventionellen und vollautomatisierten Busbetriebes.....</b>	<b>157</b>
<b>Anhang 11 – Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert nach dem Geschlecht der Umfrageteilnehmer .....</b>	<b>159</b>
<b>Anhang 12 – Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert nach dem Alter der Umfrageteilnehmer .....</b>	<b>165</b>
<b>Anhang 13 – Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert nach dem Bildungsstand der Umfrageteilnehmer.....</b>	<b>173</b>
<b>Anhang 14 – Verbindung zwischen bestimmten Antworten .....</b>	<b>181</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Systemskizze Masterarbeit.....	6
Abbildung 2:	Stufen der Fahrzeugautomatisierung.....	12
Abbildung 3:	Navya Arma DL4 in Koppl, Österreich .....	15
Abbildung 4:	Teststrecken in Koppl .....	16
Abbildung 5:	Pods am Flughafen London Heathrow, Großbritannien .....	18
Abbildung 6:	Robosoft RoboCity Kleinbus in La Rochelle, Frankreich .....	19
Abbildung 7:	Easymile EZ10 .....	21
Abbildung 8:	Mcity Testeinrichtung.....	23
Abbildung 9:	Vollautomatisierter Bus der Universität Michigan, USA .....	24
Abbildung 10:	Parkshuttle in Rotterdam, Niederlande.....	25
Abbildung 11:	GRT-Strecke in Rivium, Niederlande.....	26
Abbildung 12:	Systemskizze Kostenrechnung automatisierter Busbetrieb .....	36
Abbildung 13:	Demografische Daten der Befragung La Rochelle .....	65
Abbildung 14:	Demografische Daten Befragung Graz .....	71
Abbildung 15:	Nutzungshäufigkeit des ÖV in Graz .....	72
Abbildung 16:	Bekanntheit und Meinung über vollautomatisierte Fahrzeuge .....	73
Abbildung 17:	Meinung über Reisegeschwindigkeit und Fahrpreis .....	76
Abbildung 18:	Routenlängen der Grazer Buslinien.....	78
Abbildung 19:	Haltestellenanzahl der Grazer Buslinien.....	78
Abbildung 20:	Haltestellendichte der Grazer Buslinien .....	78
Abbildung 21:	Reisegeschwindigkeit der Grazer Buslinien.....	78
Abbildung 22:	Verbindung zwischen TU Graz und St. Peter Schulzentrum.....	80
Abbildung 23:	Verbindung zwischen Karmeliterplatz und Karl-Franzenz-Universität.....	82
Abbildung 24:	Verbindung zwischen SmartCity und Reininghaus .....	83
Abbildung 25:	Attraktivität der vorgestellten automatisierten Busverbindungen .....	85
Abbildung 26:	Wohlbefinden bei abendlicher Fahrt mit einer unbekanntem männlichen Person.....	87
Abbildung 27:	Optionen zur Sicherheitserhöhung bei abendlicher Fahrt mit männlicher Person.....	88
Abbildung 28:	Wohlbefinden bei abendlicher Fahrt mit einer unbekanntem weiblichen Person .....	89
Abbildung 29:	Optionen zur Sicherheitserhöhung bei abendlicher Fahrt mit weiblicher Person .....	90
Abbildung 30:	Einfluss der Attraktivität der Busverbindung auf den Fahrpreis .....	92
Abbildung 31:	Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf die Reisegeschwindigkeit..	93
Abbildung 32:	Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf den Fahrpreis.....	95
Abbildung 33:	Innenraum eines fahrerlosen bzw. vollautomatisierten Busses .....	112

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Belegungsgrad der Grazer Buslinien im Jahr 2017 .....	30
Tabelle 2:	Abschreibungskosten Busbetrieb HGL .....	31
Tabelle 3:	Kfz-Versicherungskosten Busbetrieb HGL .....	31
Tabelle 4:	Angestelltenausgaben Busbetrieb HGL .....	32
Tabelle 5:	Variable Kosten Busbetrieb HGL.....	33
Tabelle 6:	Gesamtausgaben Busbetrieb HGL.....	34
Tabelle 7:	Kilometerkosten Busbetrieb HGL .....	35
Tabelle 8:	Abschreibungskosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb .....	38
Tabelle 9:	Kfz-Versicherungskosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb .....	39
Tabelle 10:	Kfz-Technikergehälter vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb .....	39
Tabelle 11:	Ladeinfrastrukturkosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb.....	40
Tabelle 12:	Werkstattausrüstung vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb.....	41
Tabelle 13:	Variable Kosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb.....	42
Tabelle 14:	Gesamtausgaben vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb.....	43
Tabelle 15:	Abschreibungskosten bei angepassten Anschaffungspreis für Elektrobusse .....	44
Tabelle 16:	Jahresausgaben vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb, unter der Annahme eines niedrigeren Anschaffungspreises elektrischer Busse.....	45
Tabelle 17:	Kostenvergleich konventioneller vs. vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb .....	45
Tabelle 18:	Mietkosten Kleinbus.....	48
Tabelle 19:	Miete Kleinbus – Kfz-Technikergehälter.....	48
Tabelle 20:	Miete Kleinbus – Ladeausrüstung .....	49
Tabelle 21:	Miete Kleinbus – Werkstattausrüstung.....	50
Tabelle 22:	Variablen Kosten Kleinbus aus Bösch et al. [2018].....	50
Tabelle 23:	Miete Kleinbus – Variable Kosten.....	51
Tabelle 24:	Miete Kleinbus – Gesamtkosten.....	51
Tabelle 25:	Miete Kleinbus – Kostenvergleich .....	52
Tabelle 26:	Abschreibungskosten Kleinbus.....	52
Tabelle 27:	Kauf Kleinbus – Kfz-Versicherungskosten.....	53
Tabelle 28:	Kauf Kleinbus – Kfz-Technikergehälter .....	54
Tabelle 29:	Kauf Kleinbus – Werkstattausrüstung .....	54
Tabelle 30:	Kauf Kleinbus – Variable Kosten .....	55
Tabelle 31:	Kauf Kleinbus – Gesamtkosten .....	56
Tabelle 32:	Kauf Kleinbus – Kostenvergleich.....	56
Tabelle 33:	Kostenvergleich aller Betriebsszenarien .....	57
Tabelle 34:	ASA-Koeffizient der CityMobil2-Umfrage nach Stam und Delle Sitta [2014] .....	67
Tabelle 35:	Geschätzte Auswirkungen automatisierter Busse auf den ÖPNV in Graz.....	75
Tabelle 36:	Netzkennzahlen der Grazer Buslinien .....	79

## Abkürzungen

ARTS	Automated Road Transport Systems
AutomatFahvV	Verordnung über automatisiertes Fahren
BMF	Bundesministerium für Finanzen
BMI	Bundesministerium für Inneres
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BFS	Bundesamt für Statistik
bzw.	Beziehungsweise
DARPA	Defence Advanced Research Project Agency
DOT	Department of Transport
EU	Europäische Union
GM	General Motors
GPS	Global Positioning System
GRT	Group Rapid Transit
HCO	Helsinki City Organisation
HV	Hauptverkehrszeiten
HRTA	Helsinki Regional Transport Authority
inkl.	inklusive
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
km	Kilometer
LiDAR	Light Detection and Ranging
Lkw	Lastkraftwagen
LEC	Lurie Engineering Center
m	Meter
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MOD	Mobility on demand
NCRC	North Campus Research Complex
NLSF	National Land Survey of Finland
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PROMETHEUS	Programme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety
PRT	Personal Rapid Transit
RCA	Radio Corporation of America
TU Graz	Technische Universität Graz
u. a.	unter anderem

---

u. ä.	und ähnlich
USA	United States of America
usw	und so weiter
uvm	und vieles mehr
VaMoRs	Versuchsfahrzeug für vollautomatisierte Mobilität und Rechnersehen
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
VCÖ	Verkehrsclub Österreich
VDA	Verband der Automobilindustrie
z. B.	zum Beispiel

# 1 Einleitung

Zweifellos hat sich der Straßenverkehr in den letzten Jahrzehnten verändert. Durch zahlreiche Entwicklungen und Anpassungen an die Anforderungen jeder Ära, entwickelte sich der Straßenverkehr zu dem Bild, das wir heute kennen. Von dieser Entwicklung wurde auch die Fahrzeugindustrie nicht verschont. Unterschiedliche Techniken haben das Auto geprägt und zum beliebtesten Verkehrsmittel der modernen Zeit gemacht [Statista, 2014]. Nichtsdestotrotz, haben die Leistungen der Vergangenheit Fahrzeugentwicklern keine Auszeit verschafft. Im Gegenteil, Marktwettbewerb, rechtliche Entscheidungen und Nutzererwartungen treiben Fahrzeugentwicklungen jedes Jahr zu neuen Meilensteinen und die Anzahl zugelassener Kraftfahrzeuge, kurz Kfz, für den Straßenverkehr steigt in Österreich beständig weiter.

In Österreich waren Ende 2017 6,77 Millionen Kfz für den Straßenverkehr zugelassen. Dies entspricht einer Erhöhung des Kfz-Bestandes im Vergleich zum Vorjahr um 1,8% [Statistik Austria, 2018]. Bei einer Einwohnerzahl von 8,8 Millionen ergibt sich eine Kfz-Dichte von ca. 770 Kfz pro 1.000 Einwohner, und ist somit höher als in den Nachbarländern Deutschland, mit ca. 689 Kfz pro 1.000 Einwohner [KBA, 2018] und der Schweiz, mit ca. 735 Kfz pro 1.000 Einwohner [BFS, 2018].

Der hohe Kfz-Bestand in Österreich führt nicht nur zu positiven Auswirkungen auf die Mobilität der Österreicher, sondern hinterlässt auch negative Spuren auf die Umwelt. Nach einer Studie des Verkehrsclub Österreich, kurz VCÖ [2018], werden in Österreich die dritthöchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr in Europa generiert. Mit insgesamt 2,5 Tonnen ausgestoßenen CO<sub>2</sub> pro Person im Straßenverkehr, werden in Österreich 34% mehr straßenverkehrliche Emissionen generiert als in Deutschland und 42% mehr als in der Schweiz. Der Durchschnitt in der Europäischen Union liegt bei 1,7 Tonnen ausgestoßenen CO<sub>2</sub> im Straßenverkehr pro Person [VCÖ, 2018]. Gleichzeitig wird die Staugefahr im Straßenverkehr in Österreich nicht geringer und die jährlich im Stau verbrachten Stunden erreichten letztes Jahr in Österreich bis zu 40 Stunden pro Fahrzeuglenker [INRIX, 2018].

Gegenteilig zu der Erhöhung der Schadstoffemissionen im Straßenverkehr, steht in Österreich die Entwicklung der Anzahl jährlich tödlich verunglückter Personen im Straßenverkehr, deren Anzahl in den letzten zehn Jahren um 39% gesunken ist [Statistik Austria, 2018]. Der Rückgang der Verkehrstoten ist auf die Weiterentwicklung von bestehenden und Entwicklung von neuen Sicherheitssystemen in und an den Fahrzeugen selbst, wie beispielsweise dem Fußgänger-Airbag (Volvo V40) oder Umweltbeobachtungssystemen (VW Front Assist), zurückzuführen [Auto Presse, 2017]. Ein anderes Bild zeigt sich bei der Anzahl der Straßenverkehrsunfälle und verletzten Personen im Straßenverkehr, die in Österreich seit 2008 um nur 4,5% bzw. 6,5% gesunken sind [Statistik Austria, 2018]. In über 85% der Verkehrsunfälle mit Personenschaden gilt der Lenker des Kfz als Hauptunfallursache. Die Gründe reichen von Unachtsamkeit (32,3%), über nicht angepasste Fahrgeschwindigkeit (26,3%) bis hin zu Nichtbeachten von Verkehrsregeln im Straßenverkehr (3,4%) [BMI, 2017].

Um auch die Anzahl der Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden zu verringern, arbeiten Fahrzeughersteller und Gesetzesgeber an Lösungen, um den Fahrzeuglenker auf das Geschehen im Straßenverkehr aufmerksam zu machen und somit das Führen des Fahrzeuges zu erleichtern. Als Ergebnis wurden Fahrerassistenzsysteme entwickelt, die den Fahrzeuglenker beim Führen des Fahrzeuges entweder unterstützen oder in einigen Situationen sogar die Kontrolle über bestimmte Fahrzeugfunktionen selbst übernehmen [VDA, 2015]. Dazu gehören beispielsweise der Abstandsregelautomat, der sich an die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges orientiert und in Kombination mit

einem Notbremsassistenten das Fahrzeug bei Gefahr zum Stillstand bringen kann [Auto Presse, 2017].

Um das hohe Unfallrisiko, das vom Fehlverhalten des Fahrzeuglenkers hergeht, sowie den negativen Einfluss des Fahrzeuglenkers beim Ausstoß von Luftschadstoffen und der Erhöhung von Staugefahr zu verringern, entfernte sich die Fahrzeugentwicklungen der letzten Jahre immer mehr von ausschließlich unterstützenden Fahrzeugsystemen und orientierte sich mehr hin zu hoch- und vollautomatisierten Fahren [VDA, 2015]. Heute erkennt man nicht nur einen Trend hin zu Techniken zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr, sondern auch Entwicklungen zur Verringerung von Schadstoffemissionen und der Erhöhung der eigenen Bequemlichkeit und Effizienz am Lenkrad. Durch die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen werden immer mehr Aufgaben vom Fahrzeuglenker genommen und der Fahrzeugtechnik anvertraut. Egal ob es sich um die Übernahme der Quer- oder Längsführung des Fahrzeuges oder einer Kombination der beiden handelt, scheinen die Entwicklungen immer mehr in Richtung eines selbstfahrenden Fahrzeuges zu gehen [VDA, 2015].

Eine Komponente, die, wie in der Vergangenheit so auch heute, einen fixen Bestandteil des Straßenverkehrs bildet, ist der öffentliche Personennahverkehr, kurz ÖPNV. Eine Stadt ohne ein bestimmtes Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln ist in der heutigen Zeit undenkbar. Der ÖPNV stellt aus Sicht der persönlichen Mobilitätsgestaltung für eine Vielzahl von Personengruppen ein unverzichtbares Gut dar und kann in bestimmten Situationen die eigenen Lebensentscheidungen, wie beispielsweise die Wohnungssuche, beeinflussen. In Österreich ist diese Abhängigkeit und das Nutzungsverhalten gegenüber dem ÖPNV besonders ausgeprägt. Obwohl die Kfz-Dichte in Österreich die der meisten Nachbarländer überschreitet, gelten die Österreicher als Spitzenreiter bei der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Im Verhältnis zur Einwohnerzahl, werden in Österreich, pro Jahr und Einwohner, die meisten Kilometer in der Europäischen Union mit öffentlichen Verkehrsmitteln bewältigt. Mit durchschnittlich 3.405 Kilometern pro Einwohner und Jahr werden in Österreich 60% mehr Kilometer mit öffentlichen Verkehrsmitteln überwunden als in jedem anderen Staat der Europäischen Union [VCÖ, 2017].

## 1.1 Ziel

In einer Zeit, in der der motorisierte Individualverkehr, kurz MIV, den Großteil des Straßenverkehrs bildet [Statista, 2014] und stetig neue Entwicklungen im Bereich des MIV getätigt werden [VDA, 2015], darf der ÖPNV nicht außer Acht gelassen werden. Vor allem in einem Land wie Österreich, in dem der ÖPNV eine besondere Bedeutung einnimmt [VCÖ, 2017], ist die technische Entwicklung der benutzten Fahrzeuge und Betriebsabläufe im ÖPNV und gleichzeitige Anpassung des Betriebes an die Wünsche und Vorlieben der Kunden als wichtig zu betrachten.

Durch technologische Fortschritte und der steigenden Erkennung des Potenzials selbstfahrender Autos von politischer, industrieller und gesellschaftlicher Seite [Maurer et al., 2015], steigt auch die Wahrscheinlichkeit zukünftig ein selbstfahrendes Auto, unter Einhaltung bestimmter Sicherheitsstandards, zu entwickeln und für die breite Nutzung zugänglich zu machen. Mit der Entwicklung selbstfahrender Personenkraftwagen, kurz Pkws, ist davon auszugehen, dass mit der Zeit auch selbstfahrende Taxi- und/oder Carsharing-Dienste geschaffen und als Konkurrenz zum konventionellen Busbetrieb in Städten zu betrachten sein werden [VDV, 2015]. Vor allem in einer Zeit, in der das vollautomatisierte Fahren keine Zukunftsidee mehr ist, wäre es rücksichtslos die Möglichkeiten des automatisierten Fahrens für den ÖPNV nicht zu erforschen. Es ist wichtig rechtzeitig auf die Entwicklungen im Bereich automatisiertes Fahren, und den daraus entstehenden Möglichkeiten für den ÖPNV, zu

reagieren und mögliche Implementationen vollautomatisierter Busse, unter fortwährender Beachtung von Kundenmeinungen, zu erkennen und in das moderne Stadt- und Straßenverkehrsbild zu etablieren. Dabei ist zu beachten, dass die Umweltvorteile vollautomatisierter Fahrzeuge besonders in Kombination mit dem elektrischen Antrieb zum Vorschein kommen, und deswegen die Entwicklungen automatisierter Fahrzeuge mit dem Einsatz elektrischer Motoren abzustimmen sind.

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Untersuchung der Entwicklungen im Bereich automatisiertes Fahren und der rechtlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eines Einsatzes vollautomatisierter Elektrobusse in der österreichischen Stadt Graz. Es wurden, anhand bereits getätigter Arbeiten auf dem Feld des automatisierten Fahrens, Kostenrechnungen unterschiedlicher Einsatzmöglichkeiten vollautomatisierter Elektrobusse im ÖPNV von Graz durchgeführt. Nachdem die wirtschaftlichen Auswirkungen des Betriebes automatisierter Elektrobusse auf den Betreiber öffentlicher Buslinien erkundigt wurden, wurden Meinungen, Vorschläge und Bedenken der Grazer Bevölkerung über automatisierte Fahrzeuge gesammelt und mögliche Einsatzgebiete vollautomatisierter Elektrobusse in Graz, mit Fokus auf die technische Umsetzung und den geschaffenen Mehrwert im ÖPNV, vorgestellt. In der zweiten Hälfte der Verkehrsbefragung wurde die Grazer Bevölkerung zu den möglichen automatisierten Busverbindungen und ihrem Nutzungsverhalten dieser Verbindungen befragt. Abschließend wurde, unter Berücksichtigung der gewonnenen Daten aus der Kostenrechnung und der Verkehrsbefragung, die Möglichkeit eines wirtschaftlich und gesellschaftlich sinnvollen Einsatzes vollautomatisierter Elektrobusse im ÖPNV der Stadt Graz zur Erhöhung der Stadtmobilität, Luftqualität und des Verkehrsflusses abgewogen.

Es wurde, unter der Annahme unterschiedlicher Betriebsszenarien und der besonderen Kostenzusammensetzung vollautomatisierter Elektrofahrzeuge, der Einsatz vollautomatisierter Elektrobusse in Graz untersucht und versucht die Frage zu beantworten, ob, und bis zu welchem Grad, ein wirtschaftlich und gesellschaftlich vorteilhafter Einsatz vollautomatisierter Elektrobusse in Graz möglich ist. Es wurden die nötigen Änderungen der Straßeninfrastruktur und des derzeitigen Busbetriebes, um einen Betrieb von ausschließlich vollautomatisierten Elektrobussen zu ermöglichen, analysiert und definiert. Zusätzlich wurden Lösungsansätze für die Streckenwahl und Betriebsszenarien eines Einsatzes vollautomatisierter Busse in Graz vorgestellt. Durch die entwickelten Einsatzszenarien und gesammelten Meinungen über vollautomatisierte Elektrobusse in Graz, kann die Arbeit als Weiterbildung im Bereich des automatisierten Fahrens und als Grundlage für Verkehrsunternehmen, für die Entwicklung eigener Lösungsansätze und Betriebsmodelle für die Implementation von automatisierten Fahrzeugen in den ÖPNV, genutzt werden.

Unter der Abgrenzung des Einsatzes und Betriebes vollautomatisierter Busse, ist wichtig zu beachten, dass sich die Arbeit nicht ausführlich mit der eigentlichen Fahrzeugtechnik befasste. Es wurden die benutzten Techniken, Sensoren und Systeme, die das automatisierte Fahren ermöglichen, erwähnt und kurz beschrieben, es wurde aber nicht detailliert die Funktionsweise dieser Techniken und Systeme erklärt. Des Weiteren wurde nicht auf die benötigten Entwicklungen im Bereich Sensorik, die notwendig sind um ein sicheres vollautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, eingegangen. Die Umweltauswirkungen des elektrischen Antriebes wurden erwähnt, es wurde aber nicht ausführlich auf den Einsatz dieses Antriebes im MIV eingegangen, und somit auch nicht die benötigten Änderungen der Straßeninfrastruktur für die Ermöglichung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen im MIV erklärt. Es ist zu beachten, dass trotz der positiven direkten Effekte von Elektrofahrzeugen auf die Umwelt, ein Einsatz dieser Fahrzeuge nur in Ländern sinnvoll ist, in denen die Stromkraft aus umweltfreundlichen Quellen gewonnen wird. Länder, die ihre Stromkraft aus Energiequellen gewinnen, die in einem er-

höhten Ausstoß von Luftschadstoffen resultieren, können die direkten positiven Effekte des elektrischen Antriebes zunichtemachen.

Um den Einfluss des elektrischen Antriebes und der damit erhöhten Stromerzeugung auf die Luftqualität bewerten zu können, bedarf es einem bestimmten Maß an Informationen über die Art der Stromerzeugung, -bewirtschaftung und deren Vertrieb. Diese Informationen sind nicht Teil dieser Arbeit und wurden deswegen nicht näher betrachtet. Als Literaturvorschlag zur Ökobilanz von Elektrofahrzeugen bietet sich der UPI-Bericht 79 des Umwelt- und Prognoseinstituts e. V. für das Beispiel Deutschland an (Internetseite: [http://www.upi-institut.de/upi79\\_elektroautos.htm](http://www.upi-institut.de/upi79_elektroautos.htm))

## 1.2 Inhalt

Um die Wirtschaftlichkeit des Betriebes vollautomatisierter Elektrobusse berechnen und Einsatzmöglichkeiten automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV ausarbeiten zu können, werden bestimmte Informationen und Vorgehensweisen um diese Informationen zu erlangen, benötigt. Erstens muss der Begriff „Automatisiertes Fahren“ genau beschrieben werden. Somit definiert man Rahmenbedingungen eines möglichen Einsatzes und Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge. Im zweiten Kapitel der Arbeit wurden, durch die Geschichte des Kfz, die Entwicklungsstufen der Automatisierungstechnik näher vorgestellt. Es wurden fünf Stufen der Fahrzeugautomatisierung grafisch dargestellt, textlich erklärt und durch Beispiele verständlich gemacht.

Nachdem der Begriff „Automatisiertes Fahren“ und die Entwicklung der Fahrzeugkomponenten, die das Funktionieren automatisierter Fahrzeuge ermöglichen, vorgestellt wurden, wurden im dritten Kapitel die bisherigen Einsätze automatisierter Busse im ÖPNV näher betrachtet. Es wurden unterschiedliche Busverbindungen betrachtet, wobei darauf geachtet wurde, dass sich die vorgestellten automatisierten Busverbindungen in den Fahrzeugmerkmalen und Einsatzgebieten unterscheiden, um den variationsreichen Einsatz automatisierter Elektrobusse darzustellen. Es wurde die Streckenwahl dieser Busverbindung untersucht und beantwortet, zu welchen Ergebnissen man während des Einsatzes der automatisierten Busse gekommen ist. Es wurde auf die Hindernisse und Probleme, die während des Betriebes dieser Busverbindungen entstanden sind, eingegangen und Lösungen dieser Probleme vorgestellt. Des Weiteren wurde erklärt, ob sich der Betrieb der automatisierten Busverbindungen in den getesteten Städten als sinnvoll herausgestellt hat, und wenn ja, welche Ideen für das zukünftige Fortbestehen dieser Busverbindung und der Optimierung des Betriebes notwendig sind um den Betrieb von Elektrobussen in diesen Städten auch zukünftig zu gewährleisten.

Um die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Einsatzes vollautomatisierter Elektrobusse im ÖPNV auf die Ausgaben des Betreibers der Busverbindungen verstehen zu können, wurde im vierten Teil eine Wirtschaftlichkeitsberechnung vollautomatisierter Busse im ÖPNV am Beispiel Graz durchgeführt. Um eine Kostenrechnung durchführen zu können, wurden Methoden bereits getätigter Arbeiten benutzt. Als Grundlage der Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse in Graz diente die Arbeit von Bösch et al. [2018], von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Um eine für die Graz repräsentative Kostenrechnung durchzuführen, wurde diese in Absprache mit dem Verkehrsunternehmen Holding Graz Linien, kurz HGL, durchgeführt.

Um die betrieblichen Auswirkungen des Einsatzes vollautomatisierter Elektrobusse im ÖPNV berechnen zu können, musste anfangs eine genaue Kenntnis über die Kostenparameter und -zusammensetzung konventioneller Busse erlangt werden, damit diese mit den Kosten vollautomatisierter Elektrobusse verglichen werden kann. Da sich bei den Kostenpunkten um betriebsinterne Informationen handelt, wurden in einem persönlichen Gespräch die Unternehmensdaten und Kostenparameter des

Betriebes konventioneller Busse der HGL, verschafft. In Absprache mit den HGL wurde die Benutzung und Veröffentlichung dieser Daten besprochen. Für die Kostenpunkte, zu denen die HGL keine Informationen bzw. keine aktuellen Daten hatte, wurden anhand der Arbeit von Bösch et al. [2018], und der dafür benutzten Studien, nachvollziehbare Annahmen getroffen. Nachdem die fixen und variablen Kostenanteile, sowie die Kilometerkosten des Betriebes konventioneller Busse berechnet wurden, wurden Kosten des Betriebes von ausschließlich vollautomatisierten, elektrisch betriebener Standard- und Gelenkbussen berechnet. Es wurde darauf geachtet, dass bei nicht ausreichenden Informationen über den Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse, wie es beispielsweise beim Anschaffungspreis, der Ladeinfrastrukturkosten, der zusätzlichen Werkstattausrüstung, den Versicherungskosten und der Zusammensetzung des variablen Kostenanteils der Fall ist, logische Annahmen getroffen werden, die eine leichte Nachvollziehbarkeit der Kostenrechnung ermöglichen. Nachdem die Kostenrechnung für den vollautomatisierten Betrieb durchgeführt wurde, wurden im Anschluss die Kilometerkosten beider Betriebssysteme verglichen und tabellarisch gegenübergestellt.

Da sich der Einsatz von Automatisierungstechniken im ÖPNV bislang auf den Einsatz in kleineren Fahrzeugen beschränkte und es derzeit keine vollautomatisierte Standard- und/oder Gelenkbusse gibt, wurde zusätzlich die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen betrachtet. Bei dem Arma DL4 handelt es sich um einen Kleinbus des französischen Fahrzeugherstellers Navya, der bereits in mehreren Städten Europas getestet wurde, darunter auch in Koppl bei Salzburg. Weil derzeit in keiner Stadt weltweit ein mit dem Betrieb konventioneller Busse in Graz vergleichbarer ÖPNV mit ausschließlich Kleinbussen betrieben wird, wurden für die Kostenrechnung sechs unterschiedliche Betriebsszenarien angenommen. Für jedes Betriebsszenario wurde die benötigte Fahrzeuganzahl, Ladeinfrastruktur und Werkstattausrüstung berechnet und in weiterer Folge die fixen und variablen Kostenanteile berechnet. Der Übersicht halber wurden im vierten Teil dieser Arbeit zwei Kostenrechnungen, der insgesamt sechs Betriebsszenarien mit einem Navya Arma DL4, detaillierter dargestellt. Im Anhang dieser Arbeit befinden sich die Kostenrechnungen der vier übrigen Betriebsszenarien von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen.

Die Auswirkungen automatisierter Elektrobusse auf den Straßenverkehr und die Umwelt hängen außer den technischen Merkmalen der benutzten Fahrzeuge, auch von der betrieblichen Umsetzung automatisierter Elektrobusse im ÖPNV ab. Diese Umsetzung wird durch das Nutzungsverhalten potenzieller Kunden maßgebend beeinflusst und muss auf die Wünsche, Vorlieben und Erwartungen der ÖPNV-Kunden angepasst werden. Um die direkten Einflüsse vollautomatisierter Elektrobusse auf das Nutzungsverhalten potenzieller Kunden abwägen zu können, müssen bestimmte Forschungen getätigt werden. Dazu gehört die Durchführung bestimmter empirischer Forschungsmethoden. Dadurch werden nicht nur Meinungen möglicher Nutzer vollautomatisierter Busse befragt, sondern auch Informationen über die Sensitivität der derzeitigen ÖPNV-Nutzer auf Angebotsänderungen im ÖPNV gewonnen. Im fünften Teil werden unterschiedliche Methoden der empirischen Meinungsforschung näher erklärt.

Um die Meinungen von potenziellen Kunden über den Einsatz vollautomatisierter Elektrobusse in der Stadt Graz zu erforschen, wurde zwischen 1. April und 7. Mai 2018 eine Verkehrsbefragung in Graz durchgeführt. Die Befragung bestand aus insgesamt 15 Fragen, die das Ziel hatten, die Meinungen, Vorschläge und Bedenken der Grazer Bewohner über Automatisierungstechniken allgemein und über den Einsatz dieser Techniken im ÖPNV zu befragen. Um sicherstellen zu können, dass die Befragung repräsentativ für Graz ist, wurden nur potenzielle Kunden befragt, die eine enge Verbindung zur Stadt besitzen und somit den ÖPNV öfter benutzen können, wie beispielsweise Personen die in Graz wohnen, arbeiten und/oder zur Schule gehen. Die Befragung wurde so konzipiert, dass den potenzi-

ellen Kunden die Thematik anhand anschaulicher Beispiele erklärt wird, damit sich auch ÖPNV-Kunden, die sich weniger mit automatisierten Fahrzeugen beschäftigen, einen Überblick über Einsatzmöglichkeiten vollautomatisierter Elektrobusse in Graz verschaffen können. In der zweiten Hälfte der Verkehrsbefragung wurden drei mögliche Verbindungen für den Einsatz eines vollautomatisierten Elektrobusse in Graz vorgestellt. Es reichte die Befragung für eine Verbindung durchzuführen. Eine Durchführung der Befragung von Seite eines Teilnehmers für alle vorgestellten Verbindungen war nicht notwendig. Somit konnten sich die Umfrageteilnehmer auf die Verbindung konzentrieren, die für ihre täglichen Beschäftigungen den höchsten Mehrwert aufweist.

Des Weiteren wurden hypothetische Szenarien vorgestellt und das Verhalten potenzieller Kunden in Graz in diesen hypothetischen, aber, bei einem breiten Einsatz vollautomatisierter Elektrobusse äußerst realistischen Szenarien, befragt. Am Ende wurden die Ergebnisse der Befragung nach Geschlecht, Alter und Bildungsstand ausgewertet, sortiert und im fünften Kapitel dieser Arbeit tabellarisch, bei wichtigen Fragestellungen auch grafisch, vorgestellt. Zusätzlich wurde jede Antwort der Busverbindung zugeteilt für die man sich entschieden hatte die Befragung durchzuführen. Dadurch konnten die Umfragergebnisse, neben den demografischen Daten, auch nach der gewählten Busverbindungen ausgewertet werden. Dadurch war es möglich, die Meinungen über die Busverbindungen nach Geschlecht, Alter und Bildung zu vergleichen. Die Kostenrechnung und die Meinungen potenzieller Kunden über automatisierte Fahrzeuge ermöglichten im abschließenden Teil der Arbeit die Beantwortung der Frage, ob ein Einsatz vollautomatisierter Busse in Graz wirtschaftlich und gesellschaftlich umsetzbar wäre. Die Kundenmeinungen über die vorgestellten Busverbindungen lieferten die Antwort auf die Frage, wo ein Einsatz vollautomatisierter Elektrobusse in Graz den größten Mehrwert schaffen würde.

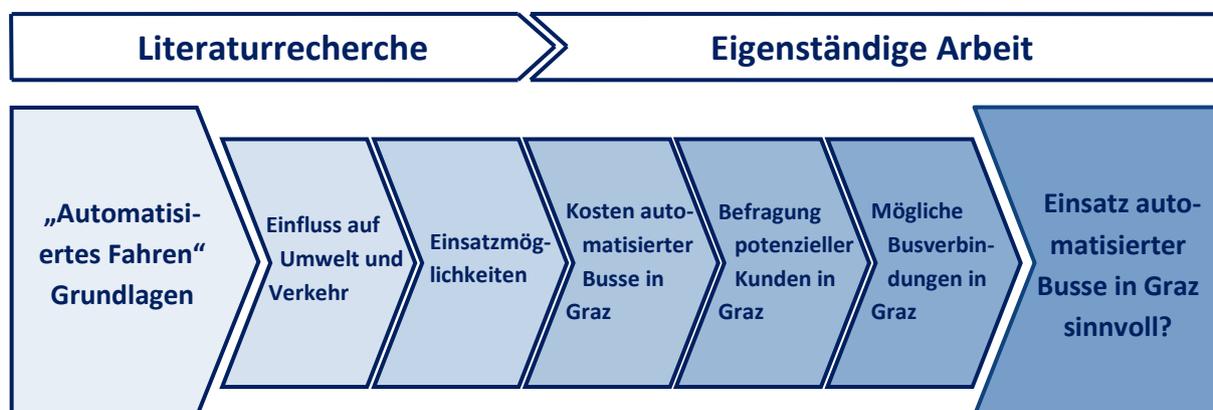


Abbildung 1: Systemskizze Masterarbeit

## 2 Automatisiertes Fahren

Das freie Reisen gehört seit Jahrtausenden zum festen Bestandteil der Menschheitsgeschichte, sowie, unter dem Freizügigkeitsrecht, zum Menschenrecht jeder einzelnen Person. Dazu gehören nicht nur Reisen zur Befriedigung persönlicher Wünsche und Bedürfnisse, sondern auch das Bewegen von Gütern zur Sicherung des eigenen Lebensstandards [Europäische Kommission, 2018], wie es in der Vergangenheit beispielsweise Handelskarawanen waren. Vor der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert, benutzte man Kutschen als primäres Verkehrsmittel auf längeren Reisen. Für mehr als 2.000 Jahre gehörten Pferdekutschen zum Alltag in der Landwirtschaft, sowie im Personen- und Güterverkehr. Mit der industriellen Revolution wurden die ersten Maschinen entwickelt, die dazu eingesetzt wurden alltägliche Aufgaben zu erleichtern und/oder effizienter zu gestalten. Neben dem Einsatz im Kohleabbau, der Schwerindustrie und der Dampfschifffahrt, fand der Einsatz dieser Technik auch schnell den Weg zum Straßenverkehr. Nach der Entwicklung des Verbrennungsmotors wurden vermehrt Straßenfahrzeuge für die Personenbeförderung entwickelt. Heute bieten Fahrzeuge im privaten und öffentlichen Bereich Möglichkeiten der Mobilitätsgestaltung, die ohne die Fahrzeugentwicklungen der letzten Jahrzehnte nicht möglich gewesen wäre. Den nächsten Schritt der persönlichen Mobilitätsgestaltung könnten Techniken machen, die es Straßenfahrzeugen ermöglichen die Führung des Fahrzeuges bis zu bestimmten Graden selbst zu übernehmen. Techniken, Systeme und Funktionen die das ermöglichen, fallen unter den Begriff „Automatisiertes Fahren“.

### 2.1 Entwicklung des automatisierten Straßenverkehrs

Im Jahr 1769 entwickelte der französische Offizier und Erfinder Nicholas Cugnot ein Fahrzeug, dessen Vorderrad durch Wasserdampf, der aus einem im Vorderteil des Wagens angebrachten Wasserkessel stammte, angetrieben wurde. Als Hommage an Pferde, die zu der Zeit als Zugmittel für Kutschen benutzt wurden, nannte er sein Gefährt „Fardier“, was ins Deutsche übersetzt "Pferdewagen" bedeutet. Obwohl die Reisegeschwindigkeit des „Fardiers“ unter fünf km/h betrug, war die Vorstellungsfahrt des Fahrzeuges alles andere als unspektakulär. Nicht nur die Größe des Fahrzeuges war imposant, sondern auch die Tatsache, dass während der Vorstellungsfahrt auch der erste Straßenverkehrsunfall mit einem Kfz entstand. Dabei durchschlug der „Fardier“ die Mauer der naheliegenden Militärkaserne. Schnell offenbarte sich, dass Kraftfahrzeuge neben der Technik zur Fortbewegung, auch eine Möglichkeit besitzen müssen, mit der man das Fahrzeug zum Stillstand bringen kann, denn Cugnots „Fardier“ besaß keine Bremsen [Welt, 2009]. Trotz der nicht reibungslos verlaufenden Vorstellungsfahrt des „Fardiers“, bewies Cugnot, dass Maschinen auch für die Fortbewegung von Personen und Gütern auf Straßen möglich ist. Die größten Erfolge erzielten Dampfmaschinen im Bergbau und der Eisenbahn, während sich der Einsatz von Dampfmaschinen im Straßenverkehr nicht durchsetzen konnte. Es dauerte weitere 117 Jahre, von der Entwicklung des „Fardiers“ 1769, und die Entwicklung von Verbrennungsmotoren, um die Nutzung von Pferdekutschen als primäres Fortbewegungsmittel auf Straßen abzulösen und den Einsatz von Maschinen zur Fortbewegung von Menschen und Gütern zu ermöglichen [Mercedes-Benz, 2018].

Im Jahr 1886 entwickelte der deutsche Ingenieur Carl Benz das erste Straßenkraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor [Mercedes-Benz, 2018]. Carl Benz benutzte als Antrieb für seinen „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“ einen Motor, der auf dem Verbrennungsprinzip des vom österreichischen Uhrmachers Christian Reithmann entwickelten Viertaktverfahrens basiert. Carl Benz benutzte zum ersten Mal das Viertaktverfahren, seit seiner Entwicklung im Jahr 1860, bei dem das Benzingemisch insgesamt vier Phasen im Motorraum durchläuft bevor durch die gewonnene Energie ein Rad oder

eine Kurbelwelle angetrieben werden [Wikipedia, 2018], erfolgreich in einem Straßenkraftfahrzeug. Auch heutzutage kommen Ottomotoren<sup>1</sup> nach dem Viertaktprinzip in Kfz zum Einsatz. Mit seinen 0,75 Pferdestärken ist der benutzte Motor im Automobil von Carl Benz nicht mit den Motoren in heutigen Kfz zu vergleichen, trotzdem ebnete der „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“ den Weg Kraftfahrzeugen, die nach ihm entwickelt wurden und gilt heute als der Urvater des modernen Automobils [Mercedes-Benz, 2018].

Nachdem nicht nur technisch bewiesen wurde, dass außer Pferden und Menschen auch Maschinen Straßenfahrzeuge antreiben können, sondern auch die Vorteile gegenüber Pferdekutschen und Fahrrädern erkannt wurden, war die Entwicklung von weiteren Straßenkraftfahrzeugen nicht aufzuhalten. Mit der Zeit wurden Straßenkraftfahrzeuge größer, schneller und mit dem 1951 vom deutschen Erfinder Walter Linderer patentierten System zum Schutz von Fahrzeuginsassen während Verkehrsunfällen, heute besser bekannt als Airbag, auch sicherer [Auto-Medienportal, 2016]. Mitte der 1950er Jahre begann man sich auf die Entwicklung von Techniken zur Erhöhung des Fahrkomforts zu konzentrieren. In den 1950er und 1960er Jahren wurden die ersten Geschwindigkeitsregelanlagen entwickelt und in Kfz eingesetzt. Seither hat sich der Straßenverkehr und die benutzten Fahrzeuge kontinuierlich weiterentwickelt [VDA, 2015].

Durch den Neubau von Straßenverbindungen und dem Ausbau bestehender Straßen konnte die steigende Anzahl an Kfz im Straßenverkehr nach dem zweiten Weltkrieg bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden. Dass die Straßenkapazität bestimmte Grenzen besitzt und nicht durch unendliche Ausbauten erhöht werden kann, zeigt sich heute nicht nur vermehrt im asiatischen Bereich, sondern auch in mehreren Städten der USA und Europa [VDA, 2015]. Es bedarf einer weiteren Revolution des privaten Automobilssektors um die heutigen Straßenverkehrsprobleme, wie es beispielsweise Verkehrsstaus, erhöhte Luftschadstoffemissionen und Verkehrsunfallanzahlen sind, zu mindern. Eine vielversprechende Möglichkeit, die meisten dieser Probleme im privaten Kfz-Sektor lösen zu können, stellen für einige Fahrzeugentwickler, Verkehrsplaner und Gesetzesgeber automatisierte Fahrzeuge dar [VDA, 2015]. Unter automatisierten Fahrzeugen versteht man Fahrzeuge die über Techniken verfügen, mit der das selbstständige Führen/Lenken des Fahrzeuges bis zu einem bestimmten Grad ermöglicht wird [Maurer et al., 2015]. Diese Grade werden in sogenannte Automatisierungsstufen gegliedert (siehe Kap. 2.2, Seite 11). Abhängig an welche Normen bzw. Verbände man sich hält, wird die Automatisierung von Straßenfahrzeugen in vier bzw. fünf Stufen unterteilt. Die Stufe 0 bezeichnet in allen Normen ein Fahrzeug das über keine Automatisierungstechniken verfügt und der menschliche Fahrer/Lenker die gesamte Kontrolle über das Fahrzeug besitzt. Mit jeder weiteren Stufe steigt der Einfluss der Technik auf die Kontrolle des Fahrzeuges und mindert gleichzeitig die Notwendigkeit eines menschlichen Fahrers/Lenkens (siehe Abbildung 2, Seite 12).

Die ersten Ideen eines automatisierten Straßenverkehrs wurden auf der Weltausstellung 1939 in New York gezeigt. General Motors, kurz GM, zeigte mit der Ausstellung „Futurama“ ein Straßenkonzept, nach dem ab 1960 Straßenfahrzeuge auf automatisierten Autobahnen fahren und Fahrzeuglenker durch eine automatische Funksteuerung ersetzt werden. Zusätzlich werden Straßenfahrzeuge nicht durch fossile Brennstoffe, sondern durch elektrische Motoren angetrieben, wie es beispielsweise bereits heute bei einigen Fahrzeugmodellen der Fall ist. Die Batterien der Straßenkraftfahrzeuge würden, nach Meinung von GM, durch Induktivschleifen in der Fahrbahn aufgeladen werden [FHWA, 2007]. 18 Jahre später wurde der erste Test von Induktivschleifen zum automatisierten Lenken von

---

<sup>1</sup> Nach dem deutschen Miterfinder des Viertaktverfahrens Nicolaus August Otto benannt. Die Bezeichnung „Ottomotor“ wurde rechtlich zum ersten Mal 1946 benutzt. Bis dahin sprach man vom Verbrennungsmotor.

Straßenkraftfahrzeugen von der „Radio Corporation of America“, kurz RCA, und dem Ingenieur Leland Hancock in den USA durchgeführt [Journalstar, 2014]. Weitere Testfahrten folgten in den 1960er Jahren durch das Verkehrs- und Straßenforschungslabor von Großbritannien [The Telegraph, 2001]. Nachdem erkannt wurde, dass die Infrastrukturmaßnahmen, die notwendig wären um die automatische Führung von Straßenfahrzeugen mit Induktivschleifen zu ermöglichen, wirtschaftlich und betrieblich wenig sinnvoll ist, wandte sich der Fokus des automatisierten Fahrens in den 1970er Jahren auf die Fahrzeugtechnik. Die Idee war weiterhin den Straßenverkehr zu automatisieren und den Straßenverkehr eines Tages durch vollautomatisierte Fahrzeuge sicherer, effizienter und flüssiger zu gestalten. Der erste Schritt der Fahrzeugtechnik mehr Kontrolle über die Fahrzeugführung zu geben war es vermehrt Sensoren zur visuellen Verfolgung des Straßenverlaufes zu entwickeln [VDA, 2015].

1986 wurden die ersten Erfolge mit einem Fahrzeug erzielt, dass Sensoren und Kameras benutze um den Straßenverlauf abzulesen und die damit gewonnenen Information zur vollautomatisierten Steuerung des Fahrzeuges benutzte. Im Rahmen des „**Programme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety**“, kurz PROMETHEUS, entwickelte man das „**Versuchsfahrzeug für Autonome Mobilität und Rechnersehen**“, kurz VaMoRs, das bei Versuchsfahrten andere Fahrzeuge im Verkehr erkennen konnte und Fahrstreifenwechsel selbstständig durchführte. VaMoRs erreichte bei Testfahrten Geschwindigkeiten von über 95 km/h und fuhr über 20 Kilometer vollautomatisiert [Youtube, 2016]. Weitere Entwicklungen auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens wurden in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts getätigt, bevor PROMETHEUS im Jahr 1995, mit der letzten Fahrt des Fahrzeuges VaMP<sup>2</sup> von München nach Kopenhagen, eingestellt wurde. Auf der 1.750 Kilometer langen Strecke betrug der längste, vollautomatisiert gefahrene Streckenabschnitt 158 Kilometer und die maximale vollautomatisiert gefahrene Geschwindigkeit 180 km/h [Wünsche, 2013].

In den 2000er Jahren wurden weitere Entwicklungen auf dem Feld der Fahrerassistenzsysteme getätigt und Projekte zur Erforschung der Möglichkeiten vollautomatisierter Fahrzeuge begonnen. Die „Grand Challenges“, die von der „Defense Advanced Research Project Agency“, kurz DARPA, im Jahr 2004 gestartet wurden, hatten das Ziel die Grenzen und Möglichkeiten von selbstfahrenden Fahrzeugen in unterschiedlichen Umgebungen zu erforschen und die Entwicklungen von kleineren Unternehmen finanziell zu unterstützen. Es fanden insgesamt drei Grand Challenges zwischen 2004 und 2007 statt. Bei den „DARPA Grand Challenges“ lag das Ziel darin eine bestimmte Strecke in einer vorgeschriebenen Zeit mit einem selbstfahrenden Straßenfahrzeug zu durchfahren, wobei bestimmte Regeln eingehalten werden mussten und Regelverstöße zu Punktabzügen führten. Das Preisgeld für den Sieger der Herausforderungen lag zwischen einer und zwei Millionen US-Dollar [DARPA, 2014]. Im Jahr 2009 startete der Internetkonzern Google seine eigenen Forschungen zur Entwicklung eines vollautomatisierten Straßenfahrzeuges, dass später in das selbstständige Unternehmen „Waymo“ umgewandelt wurde [Waymo, 2017].

Durch die Forschungen der letzten Jahrzehnte auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens, existieren bereits heute die ersten Fahrzeuge, die nach den Herstellerangaben über hochautomatisierte Techniken verfügen, wobei sich die benutzten Techniken zwischen Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller voneinander unterscheiden können (Tesla Autopilot, Volkswagen Stauassistent). Man kann mit einer hohen Sicherheit behaupten, dass sich das moderne Straßenverkehrsbild von dem vor 70 Jahren in einer Vielzahl von Merkmalen unterscheidet. Eine Komponente des Straßenverkehrs, die Während der gesamten Entwicklung des Straßenverkehrs in ihrer Hauptaufgabe unverändert geblieben ist und sich als ein fester Bestandteil des Straßenverkehrsbildes behauptet hat, ist der öffent-

---

<sup>2</sup> Ab 1990 wurde die englische Bezeichnung „Vehicle for autonomous Mobility Projects“ benutzt.

liche Personennahverkehr, kurz ÖPNV. Heute sind die öffentlichen Verkehrsmittel, wie öffentliche Busse, Straßenbahnen und Züge, aus dem modernen Stadtbild nicht mehr wegzudenken. Die Automatisierung des Straßenverkehrs hat in den letzten Jahren im MIV, bereits begonnen und kann bereits heute eine Vielzahl an Erfolgen vorzeigen. Derzeit stellen die rechtlichen Rahmenbedingungen in den meisten Staaten der Welt das größte Hindernis in der Erprobung dieser Techniken dar. Obwohl Testfahrten von automatisierten und vollautomatisierten Fahrzeugen nicht explizit verboten werden, wird die Durchführung von Testfahrten mit vollautomatisierten Fahrzeugen durch bürokratische Zwischenschritte und Sondergenehmigungen in vielen Staaten erschwert. Vor allen werden Testfahrten vollautomatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen und im alltäglichen Straßenverkehr, wegen Sicherheitsbedenken und nicht ausreichender Testfahrten automatisierter Fahrzeuge auf abgegrenzten Straßen, mit kritischen Augen betrachtet [BMVIT, 2016].

Es ist davon auszugehen, dass mit der Weiterentwicklung von Automatisierungstechniken, der erhöhten Anzahl an erfolgreich absolvierten Testfahrten automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen und dem gesellschaftlichen Umdenken in Richtung eines wirtschaftlichen und ökologisch vorteilhaften Straßenverkehrs, die Einführung von Automatisierungstechniken im MIV erleichtert und beschleunigt wird. Die Auswirkungen von Automatisierungstechniken, bei einer rechtlich zugelassenen Nutzung von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe drei und darüber hinaus, sind für den öffentlichen Verkehr, besonders für den öffentlichen Buslinienverkehr, schwer abschätzbar. Im MIV kann jede Person, die körperlich und rechtlich in der Lage ist ein Fahrzeug zu lenken, selbst entscheiden ob sie ein Fahrzeug besitzen möchte, dass in bestimmten Situationen bestimmte Fahrzeugfunktionen zur Fahrzeugführung selbst übernehmen kann oder ob sie eher ein Fahrzeug besitzen möchte, bei dem die meisten Funktionen der Fahrzeugkontrolle beim Lenker liegen.

Nichtsdestotrotz, müssen heutzutage alle in Österreich zugelassenen Pkw, eine bestimmte Anzahl an Fahrerassistenzsystemen aufweisen um am Straßenverkehr teilnehmen zu können. Die meisten dieser Assistenzsysteme dienen der Erhöhung der Sicherheit der Fahrzeuginsassen und haben als Aufgabe die Stabilität des Fahrzeuges in kritischen Situationen zu erhöhen, beispielsweise durch Antiblockiersysteme bei Bremssystemen, elektronische Stabilitätsprogramme oder Bremsverstärker. Diese werden in Österreich jährlich auf ihre ordnungsgemäße Funktion getestet. Ein bestimmter Grad an Automatisierung muss somit bei jedem Fahrzeug, das täglich benutzt werden möchte, gegeben sein, unwesentlich ob es sich um ein neu gebautes oder gebrauchtes Fahrzeug handelt. Ausnahmen werden gewährt, wenn das Fahrzeug zu einer bestimmten Fahrzeugkategorie gehört. In Österreich ist dieser Fall gegeben, wenn es sich um Fahrzeuge handelt, die nach dem Kraftfahrzeuggesetz 1967, §2 Absatz 1, Ziffer 43, als historische Fahrzeuge definiert sind. Das sind Fahrzeuge die vor 1956 gebaut wurden, älter als 30 Jahre sind und als historische Fahrzeuge im Kraftfahrzeuggesetz eingetragen sind und im Jahr an nicht mehr als 120 Tagen benützt werden [Kraftfahrzeuggesetz, 2018]. Die Entscheidung ob man ein Fahrzeug besitzen möchte, dass vollautomatisiert fahren kann, und wenn ja, ob man diese Funktion benutzen möchte, bleibt dem Besitzer selbst überlassen.

Der ÖPNV dient, anders als der MIV, einer Vielzahl potenzieller Kunden, von denen jeder Einzelne eigene Wünsche, Vorlieben, Vorstellungen und Erwartungen an den öffentlichen Verkehr besitzt. Des Weiteren stellt der ÖPNV einer hohen Anzahl an Personen die einzige Möglichkeit einer eigenen Mobilitätsgestaltung auf längeren Strecken dar. Das betrifft Personen ohne Führerschein, minderjährige oder körperlich Benachteiligte Personen. Personen die diesen Kategorien gehören und täglich eine bestimmte Strecke fahren, beispielsweise der Weg zur Arbeit oder zur Schule, sind auf den ÖPNV mehr oder weniger angewiesen. Die Empfindlichkeit des ÖPNV gegenüber Änderungen betrieblicher Natur sind grundlegend größer als im MIV. Aus diesen Gründen, ist die Testung von automatisierten

Fahrzeugen im ÖPNV erschwert und bedarf einem höheren Maß an Genauigkeit, Sicherheit und Überzeugungskraft als dies im MIV der Fall ist. Wichtig zu erwähnen ist, dass das volle Potenzial von Automatisierungstechniken im ÖPNV erst ab der Automatisierungsstufe 4, dem vollautomatisierten Fahren, ausgenutzt werden kann [Becker und Axhausen, 2017]. Erst mit einer Technik, bei der kein Fahrer/Lenker notwendig ist um das Fahrzeug zu kontrollieren, können im ÖPNV die wirtschaftlichen Vorteile, durch beispielsweise eingesparte Lohngehälter, ausgenutzt werden und die Verkehrssicherheitsvorteile, wie beispielsweise durch den Entfall menschlicher Unaufmerksamkeit, werden ausgeschöpft. Aus diesen Gründen sollte die Entwicklung und der Einsatz automatisierter Fahrzeuge, mit einer Automatisierungsstufe 4 im ÖPNV angestrebt werden. In dieser Arbeit wird aus diesen Gründen nur der Einfluss von Fahrzeugen der Automatisierungsstufen oberhalb der Stufe 3 auf den ÖPNV näher betrachtet.

## 2.2 Stufen der Fahrzeugautomatisierung

Nach Fagnant und Kockelman [2015] und dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, kurz VDV [VDV, 2015] stellt die automatisierte Fahrt den nächsten Schritt in der Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit, der effizienteren persönlichen Zeitnutzung, der effizienteren städtischen Raumplanung und der Verringerung von verkehrlichen Luftschadstoffen dar. Unter dem automatisierten Fahren versteht man eine Technik in Kfz, der es durch den Einsatz von bestimmten Systemen, ermöglicht wird Aufgaben der Fortbewegung im Straßenverkehr zum Teil oder gänzlich zu übernehmen. Es können unterschiedliche Steuerungstechniken und Sensoren zur Überwachung der Fahrzeugumgebung zum Einsatz kommen. Ultraschallsensoren und Kameras werden in Straßenkraftfahrzeugen bereits heute für die Erkennung der Fahrbahn, Verkehrszeichen und anderer Verkehrsteilnehmer benutzt (Opel Insignia Verkehrszeichenerkennung, VW Passat Front Assist). Diese werden rund um das Fahrzeug angebracht und ermöglichen somit eine Rundumsicht der Verkehrssituation. LiDAR Sensoren kommen zum Einsatz, wenn die Entfernung zu anderen Objekten eingeschätzt werden muss. Mithilfe LiDAR Sensoren schafft die Fahrzeugtechnik ein räumliches Bild der Fahrzeugumgebung und ermöglicht es der Fahrzeugtechnik rechtzeitig auf andere Verkehrsteilnehmer, Hindernisse auf der Fahrbahn oder unerwartete Verkehrssituationen rechtzeitig zu reagieren. Der Einfluss der Fahrzeugtechnik auf die Kontrolle des Fahrzeuges im Straßenverkehr gliedert sich nach dem Verband der Automobilindustrie, kurz VDA [VDA, 2015], in fünf Stufen:

- Stufe 1 – unterstütztes Fahren,
- Stufe 2 – teilautomatisiertes Fahren,
- Stufe 3 – hochautomatisiertes Fahren,
- Stufe 4 – vollautomatisiertes bzw. autonomes Fahren und
- Stufe 5 – fahrerloses Fahren.

Die Stufe 0 aus der Abbildung 2 wird nicht zu den fünf Stufen des automatisierten Fahrens gezählt, da der Fahrer in Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 0 die volle Kontrolle über das Fahrzeug besitzt. Der Fahrer übernimmt die Längs- und Querführung des Fahrzeugs und trifft Entscheidungen nach eigenem Wunsch und Ermessen. Die Fahrzeugtechnik kann den Fahrer dahingehend unterstützen, dass Umgebungseinflüsse, wie beispielsweise Warnschilder, erkannt werden und der Fahrer auf diese aufmerksam gemacht wird.

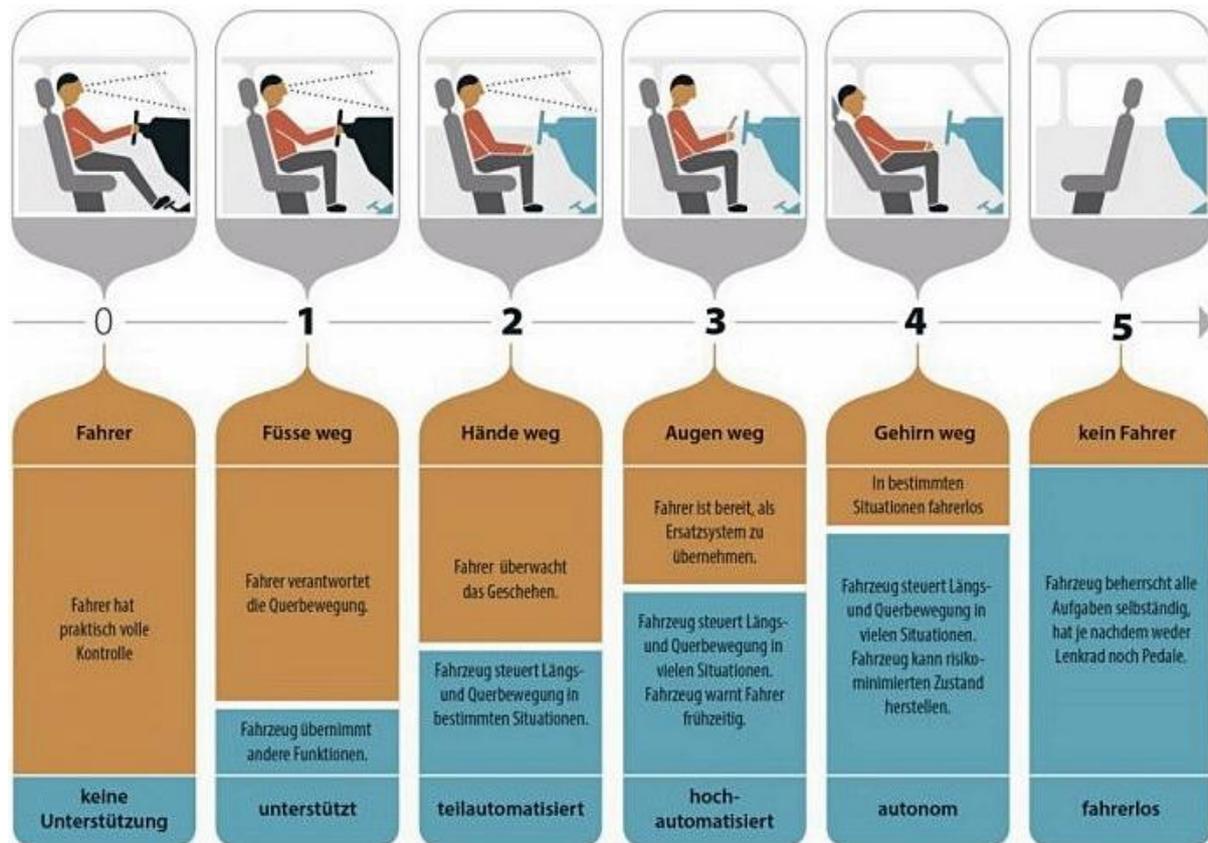


Abbildung 2: Stufen der Fahrzeugautomatisierung

(Quelle: <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/elektroauto/wann-kommt-eigentlich-autonomes-fahren/>, 2017)

In den Automatisierungsstufen 1 und 2 ist die Fahrzeugtechnik in Lage in bestimmten Situationen die Quer- und/oder Längsführung des Fahrzeuges zu übernehmen. Der Fahrzeuglenker darf in Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 2 das Lenkrad und die Pedale für eine bestimmte Zeit unberührt lassen. Aufsicht über die Fahrzeuginstrumente und Systeme unterliegt weiterhin dem Lenker sowie die Übernahme der Fahrzeugkontrolle bei Gefahrensituationen. Die Automatisierungsstufe 3 stellt eine Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik der Automatisierungsstufen 1 und 2 dar. Durch die weiterentwickelte Technik wird dem Fahrer erlaubt die Augen von der Straße und den Fahrzeuginstrumenten zu nehmen. Der Fahrer kann sich während der Fahrt anderen Aufgaben widmen. Bei einer potenziellen Gefahrensituation wird der Fahrer vom Fahrzeugsystem rechtzeitig akustisch und visuell gewarnt und aufgefordert die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen [VDA, 2015].

Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 4 verfügen über Systeme, die in der Lage sind Gefahrensituationen zu erkennen und auf diese vorschriftsgemäß zu reagieren. Das Fahrzeug wird in Gefahrensituationen selbstständig in eine gefahrminimierende Verkehrsposition gebracht. Die Fahrzeuginsassen müssen während der Fahrt nicht auf die Straße oder die Fahrzeuginstrumente achten. Somit wird den Fahrzeuginsassen ermöglicht während der Fahrt anderen Aufgaben, die eine hohe Aufmerksamkeit verlangen, nachzugehen. Bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 5 sind Fahrzeuginsassen während der Fahrt nicht mehr erforderlich. Die Systematik des Fahrzeuges kann alle Aufgaben, die für einen sicheren Verkehrsablauf notwendig sind, selbstständig ausführen. Das Fahrzeug kann auf Befehl zu einer bestimmten Adresse bestellt werden und sich, nachdem die Fahrgäste zum Ziel gefahren wurden, selbstständig einen geeigneten Parkplatz suchen. Bei der Definition der Automatisie-

rungsstufe 5 handelt es sich um eine rechtliche Bezeichnung, bei der sich die Technik und Funktionen nicht von den Funktionen eines Fahrzeuges der Automatisierungsstufe 4 unterscheiden [VDA, 2015].

Einige Einsatzmöglichkeiten des automatisierten Fahrens, neben dem Einsatz von vollautomatisierten Bussen im öffentlichen Stadtverkehr, sind:

- Automatisierte Taxi- bzw. Carsharing-Systeme [VDV, 2015],
- Automatisierte Postfahrzeuge,
- Automatisierte Lieferwagen u. ä.

Heute werden bereits die ersten Fahrzeuge gebaut die über die Automatisierungsstufe 3 verfügen [Waymo, 2017]. Darunter versteht man Fahrerassistenzsysteme, wie beispielsweise den Stauassistenten (VW Front Assist), der in bestimmten Situationen die Quer- und Längsführung des Fahrzeuges übernimmt, sowie die Fahrzeugumgebung überwacht und Gefahrensituationen erkennt. Da die Vorteile des automatisierten Fahrens auf den ÖPNV nur mit der vollautomatisierten und fahrerlosen Fahrt zum Vorschein kommen, wird in weiterer Folge nur auf Fahrzeuge der Automatisierungsstufen 4 und 5 und deren Einfluss auf den öffentlichen Buslinienverkehr eingegangen.

Vernetzte und vollautomatisierte Busse sind nicht, wie beispielsweise Straßenbahnen, an Schienen gebunden und müssen somit nicht einer strikten Route folgen, was eine schnelle Anpassung der Verkehrsrouten an die tatsächliche Nachfrage nach Verkehrsmitteln erlaubt. Nach Lenz und Fraedrich [2015] ist in bestimmten Situationen, beispielsweise bei niedrigen Belegungsgraden, ein dynamischer Zeitplan ohne feste Abfahrzeiten, der sich nach der Kundennachfrage richtet, möglich. Der Einsatz vernetzter Busse kann in einer Erhöhung des Auslastungsgrades der benutzten Fahrzeuge, durch Anpassung der Fahrzeugkapazität und gefahrener Route an die Fahrgastnachfrage, resultieren. Die möglichen positiven Effekte von vollautomatisierten Bussen auf Verkehrsunternehmen wären geringere Fahrzeugkosten durch Verringerung der Fahrzeugflotte und/oder durch Erhöhung des Belegungsgrades, und Einsparungen im Lohnkostenbereich. Auf der anderen Seite, ist davon auszugehen, dass durch das Fehlen eines Fahrzeuglenkers, die Fahrgäste weniger auf die Hygiene im Fahrzeug achten und dadurch höhere Reinigungskosten anfallen können. Mögliche positive Effekte auf die Nutzer des ÖPNV wären geringere Fahrpreise, bei Erhöhung des Auslastungsgrades und Verringerung der Fahrzeugflotte, und längere Betriebszeiten. Gleichzeitig muss mit Nachteilen, wie beispielsweise erhöhtem Sicherheitsrisiko bei Nachtfahrten oder längeren Reisezeiten durch niedrigere Fahrgeschwindigkeiten, gerechnet werden.

### 3 Automatisierter Buslinienverkehr

Nach dem VDV [2015], wird die Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluss auf den ÖPNV und die Verteilung des Verkehrsaufkommens haben. Durch die Entwicklung von automatisierten Kfz besteht die Gefahr, dass der ÖPNV als überflüssig angesehen wird und dessen Einfluss auf die Mobilitätsgestaltung im städtischen und ländlichen Raum schwinden könnte. Durch Pkw, die mit Automatisierungstechniken ausgestattet sind, wird die Attraktivität des Besitzes eigener Kfz gegenüber der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel weiter erhöht. Das erhöhte MIV-Aufkommen durch geringere ÖV-Nutzung und der erleichterte Zugang zur Nutzung privater Fahrzeuge durch jugendliche, körperlich benachteiligte Personen und Personen ohne Führerschein, kann zu einem erhöhten Fahrzeugaufkommen im Straßenverkehr führen. Das würde einen gegensätzlichen Einfluss auf den Straßenverkehrsfluss haben als durch das automatisierte Fahren erhofft wird.

Ein weiteres Szenario zeigt, dass vollautomatisierte Carsharing-Systeme oder vollautomatisierte Taxi-Systeme den ÖPNV durch den Einsatz auf überlasteten Linien sinnvoll ergänzen könnten [VDV, 2015]. Ein Einsatz von vollautomatisierten Kleinbussen könnte sich auf nicht ausgelasteten Linien als hilfreich erweisen. Ein möglicher Einsatz von automatisierten Techniken, ist nach Becker und Axhausen [2017] die anfangs reine Einführung vollautomatisierter Fahrzeuge im ÖPNV, beispielsweise als vollautomatisierte Busse. Falls sich das System als sicher und effizienter als konventionelle Fahrzeuge beweist, kann der Kauf von privaten vollautomatisierten Fahrzeugen ermöglicht werden. Durch diese Herangehensweise würden die Vorteile des automatisierten Fahrens dem Nutzer langsam näher gebracht werden und Verkehrsunternehmen könnten auf die Auswirkungen vom Kauf privater, vollautomatisierter Fahrzeuge effektiver reagieren. Wegen den genannten Vorteilen des ÖPNV in Kap. 1, wären Nutzer idealerweise mit dem vollautomatisierten ÖPNV ausreichend zufrieden und würden dadurch weniger Gründe sehen ein privates, vollautomatisiertes Fahrzeug zu besitzen.

Als erster Schritt gilt es die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit vollautomatisierter Fahrzeuge zu erproben. Eine mögliche Umsetzung wäre durch die Einführung von vollautomatisierten Bussen auf speziell für den Verkehr automatisierter Fahrzeuge gebauten Strecken. Das könnten beispielsweise vollautomatisierte, elektrisch betriebene Kleinbusse, mit einer geringen Anzahl an Sitz- und Stehplätzen, sein, die auf abgegrenzten Systemen eine fixe Strecke befahren. Zu solchen Systemen gehören Verbindungen zwischen Parkplätzen und Flughafenterminals, Verbindungen zwischen einzelnen Flughafenterminals, auf Universitätsgeländen oder Verbindungen auf größeren Bahnhöfen. Einen weiteren Vorteil vollautomatisierter Busse sieht man auf der sogenannten „Ersten Meile“ und der „Letzten Meile“ [Fraunhofer Institut, 2016]. Unter der „Ersten Meile“ versteht man die Entfernung zwischen dem Wohnort von potenziellen ÖPNV-Nutzern und der nächsten ÖPNV-Haltestelle oder dem nächsten „Park and Ride“-Parkplatz. Das ist die Entfernung die man noch selbst mit dem eigenen Verkehrsmittel überbrücken muss, bevor man den ÖPNV nutzen kann. Die „Letzte Meile“ ist die Entfernung zwischen der Zielhaltestelle und der eigentlichen Zieladresse. Vollautomatisierte Kleinbusse könnten auch die Fahrzeugnutzung zwischen dem „Park and Ride“-Parkplatz und der gewünschten Zieladresse, beispielsweise einem Stadtzentrum, ersetzen und somit das Verkehrsaufkommen in Innenstädten verringern.

Im Folgenden werden einige Strecken vorgestellt, auf denen vollautomatisierte Elektrobusse getestet und für Zukunftseinsätze in Erwägung gezogen wurden. Es ist zu beachten, dass die folgend erwähnten Testfahrten vollautomatisierter Elektrobusse nicht die einzigen sind, die weltweit durchgeführt wurden. Automatisierungstechniken entwickelt sich stetig weiter und es ist unmöglich den Lauf die-

ser Technologie in einer Arbeit zusammen zu fassen. Die Anzahl durchgeführter Testfahrten vollautomatisierter Busse zwischen der Anfertigung und dem Lesen dieser Arbeit können somit voneinander abweichen. Die hier beschriebenen Testfahrten dienen als eine kurze Einführung in die Möglichkeiten und Vielseitigkeit vollautomatisierter Elektrobusse und deren möglichen Einfluss auf den Straßenverkehr.

### 3.1 Digibus in Koppl

Nach dem Bundesgesetzblatt [BMVIT, 2016], werden Rahmenbedingungen für Testfahrten von automatisierten Fahrzeugen in Österreich durch die Verordnung über automatisiertes Fahren, kurz AutomatFahrV, geregelt. Diese Verordnung wurde am 19. Dezember 2016 vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, kurz BMVIT, verabschiedet und regelt Fragen bezüglich Definitionen automatisierter Fahrzeuge, Grundvoraussetzungen, die automatisierte Fahrzeuge erfüllen müssen bevor sie getestet werden dürfen und erforderliche Dokumentationen die nach der Testfahrt dem Ministerium zugeschickt werden müssen.

Zwischen April und November 2017 wurden in Österreich Testfahrten eines vollautomatisierten Kleinbusses in Koppl bei Salzburg durchgeführt. Die Testbescheinigung wurde von Seite des BMVIT der Salzburger Research Organisation erteilt. Dabei handelte es sich um die erste Bescheinigung auf Basis der AutomatFahrV zur Testung vollautomatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen in Österreich [Zankl und Rehrl, 2018].

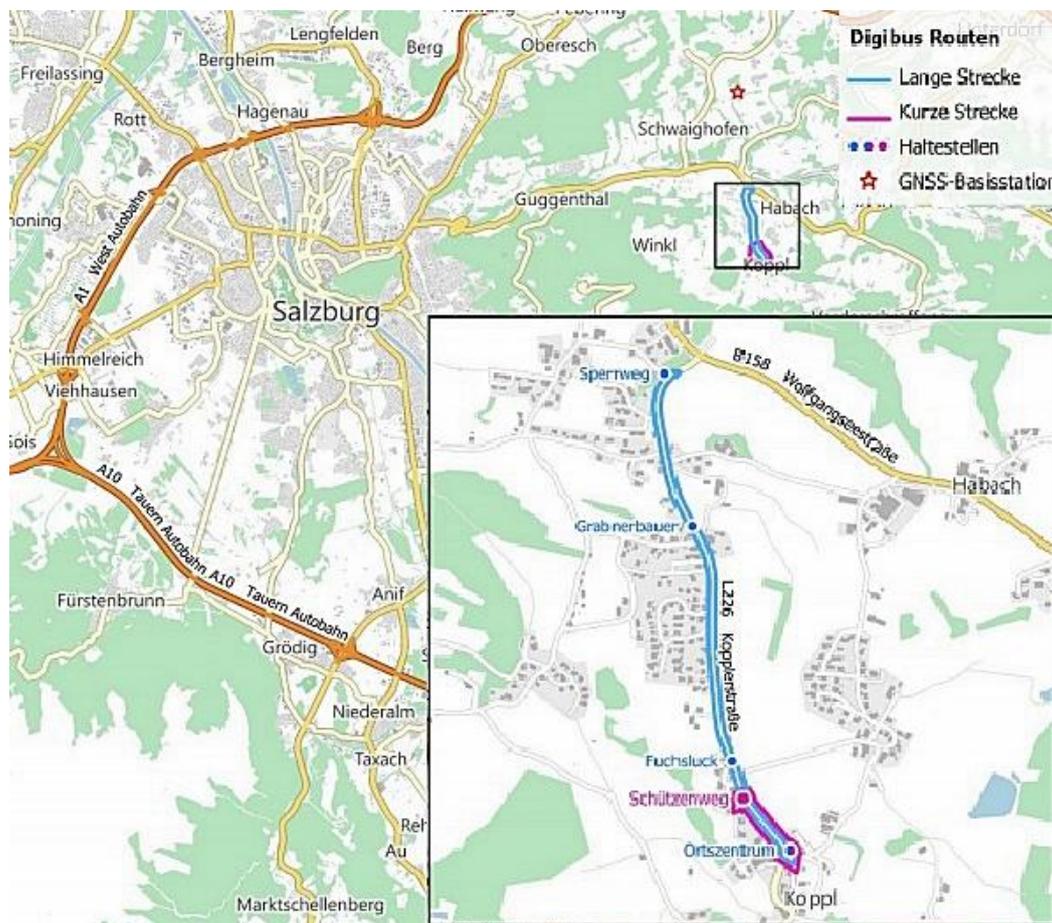


Abbildung 3: Navya Arma DL4 in Koppl, Österreich

(Quelle: <https://www.digibus.at/>, 2017)

Der Digibus ist ein vollautomatisierter Kleinbus des französischen Herstellers Navya. Das Model Arma DL4 ist 4,75 m lang, 2,11 m breit und 2,65 m hoch. Er wird von einem elektrischen Motor angetrieben

und erreicht bei Testfahrten Geschwindigkeiten von bis zu 20 km/h. Die technisch maximale Reisegeschwindigkeit von 45 km/h wird aus rechtlichen Gründen der AutomatFahrV, auf die Testfahrge-  
 schwindigkeit begrenzt. Im Arma DL4 finden elf Personen, bzw. neun Personen bei Testfahrten [Navya, 2018], platz. Bei jeder Testfahrt in Koppl befand sich eine Begleitperson, nach Vorgaben der AutomatFahrV, die mit der Technik des Fahrzeuges bekannt und für die Eingabe des Zielortes im Digi-  
 bus zuständig war. Testfahrten wurden auf zwei Teststrecken getätigt. Die ersten Testfahrten zwi-  
 schen April und Mai 2017, wurden auf einer 400 Meter langen Rundstrecke im Ortszentrum von  
 Koppl mit einem Vorgängermodell des Arma DL4 durchgeführt. Für die ersten Testfahrten wurde be-  
 wusst eine kürzere Strecke, mit einer Fahrzeit von fünf Minuten, gewählt, um Personen, die zum ers-  
 ten Mal Kontakt mit der Technik hatten, eine Möglichkeit zu bieten die Technik langsam kennenzu-  
 lernen, ohne den Drang einer lange Fahrt zu verspüren [Zankl und Rehl, 2018].



**Abbildung 4: Teststrecken in Koppl**

(Quelle: Zankl C. und Rehl K. (2018): DigiBus 2017 – Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich, 2018)

Bei der zweiten Teststrecke, während der Testfahrten zwischen Juni und November 2017, handelt es sich um eine 1,4 Kilometer lange Verbindung zwischen dem Gemeindezentrum von Koppl und der Haltestelle „Sperrweg“, auf der die Buslinie 150 zwischen Salzburg und Bad Ischl des Salzburger Verkehrs-  
 bundes anhaltet. Eine vollständige Testrunde entsprach einer Länge von 2,8 Kilometern. Entlang der Strecke wurden insgesamt acht Haltestellen, vier für jede Richtungen eingerichtet. Die Hauptaufgabe des Digi-  
 busses war die Erschließung der ersten/letzten Meile. Zu den größten Hindernissen während den Testfahrten zählten Unterbrechungen des Global Positioning System-Empfangs,

kurz GPS-Empfang, die technische Begrenzungen des Fahrzeuges bezüglich der größtmöglich zu befahrenen Steigung von 8% und Situationen, in denen das Fahrzeug eine Linksabiegung durchführen musste [Zankl und Rehr, 2018].

Die Strecken wurden vor den Testfahrten digital eingelesen, was dem Digibus das vollautomatisierte Befahren der Teststrecken ermöglichte. Das Erfassen der Route erfolgte durch das Befahren der Strecken im manuellen Modus des Digibusses. Die Fahrmanöver, wie Abbiegungen, Fahrgeschwindigkeit usw. wurden vor den Testfahrten manuell definiert und ins System des Busses eingegeben. Die Fahrt war für alle Fahrgäste kostenlos, wobei zu erwähnen ist, dass der Digibus nach keinem festen Fahrplan fuhr, sondern nur an bestimmten Tagen und zu zuvor definierten Zeiten. Zusätzlich wurden Demonstrationsfahrten für Pressevertreter und im Rahmen von Veranstaltungen durchgeführt, wie es beispielsweise am 26. April 2017 im Rahmen des 4. Nahverkehrskongresses getätigt wurde [Zankl und Rehr, 2018]. Die größten Hindernisse stellten die Unterschiede zwischen den Angaben des Fahrzeugherstellers und der realen Fahrzeugmöglichkeiten während der Testfahrten dar. Beispielsweise gibt der Navya an, dass der Arma DL4 im Stande ist ein Hindernis selbstständig zu erkennen und zu umfahren. Während der Testfahrten war der Digibus im Stande ein Hindernis zu erkennen und vor diesem sicher zum Stehen zu kommen, das Hindernis konnte aber nicht selbstständig umfahren werden. In diesen Situationen musste die Begleitperson die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen und dieses sicher um das Hindernis manövrieren. Nach jeder Fahrt wurden die Fahrgäste gebeten einen Fragebogen bezüglich des Fahrerlebnisses auszufüllen. Dabei wurden Fragen zum Fahrkomfort und der Fahrsicherheit gestellt [Zankl und Rehr, 2018]. Ergebnisse der Teilnehmerbefragung werden im Kap. 5.2.1 präsentiert.

Ein möglicher Einsatz des Digibusses wären Fahrten in weniger frequentierten Zeiten, in denen die Linie 152 des Salzburger Verkehrsverbundes, auf der selben Strecke, entweder nicht fährt oder wenige Fahrgäste befördert. Bereiche die man sich mit den Testfahrten des Digibusses in Koppl erhoffte zu beantworten, sind die sinnvolle Integration von vollautomatisierten Fahrzeugen in das bestehende ÖPNV-Angebot, Kommunikationstechnologien zwischen automatisierten und nichtautomatisierten Fahrzeugen, Interaktionen zwischen dem Bus und den Fahrgästen und die Erhöhung des Fahrgastkomforts während der Fahrt [Zankl und Rehr, 2018].

### **3.2 PRT-Pods am Flughafen London Heathrow**

Seit 1968 halten sich die meisten Länder der Vereinten Nationen an das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr, als Rechtsvorschrift zur Regulierung des Straßenverkehrs. Das Ziel des Übereinkommens war die Standardisierung von Verkehrsregeln und die erleichterte Interoperabilität zwischen Staaten mit unterschiedlichen Verkehrsregeln. In der Wiener Straßenverkehrskonvention sind elementare Definitionen hinsichtlich dem Verhalten von Fahrer, Fußgänger und anderer Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr erklärt. Großbritannien gehört zu den wenigen Staaten in Europa, neben Nordirland, dem Vatikan, Spanien und Portugal, die das Straßenverkehrsübereinkommen unterschrieben, aber bis heute nicht ratifiziert haben [Straßenverkehrsübereinkommen 1982, 2018]. Die Regulierung von Testfahrten automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr regelt in Großbritannien die nationale Straßenverkehrsordnung von 1988, in Zusammenarbeit mit dem nationalen Ministerium für Transport (engl. Department of Transport, kurz DOT) [DOT, 1988].

Seit 2011 sind auf dem Flughafen London Heathrow vollautomatisierte Pods im Einsatz. Bei den Pods handelt es sich um eine neue Art der persönlichen Fortbewegung, dem Personal Rapid Transit, kurz PRT. Die Pods sind vollautomatisierte, elektrisch angetriebene Kleinbusse, die Platz für maximal 4

Fahrgäste, inkl. Gepäck, bieten. Die Pods verfügen über 4 seitlich angebrachte Laser, 2 im vorderen und 2 im hinteren Teil der Pods, die Bordsteine erkennen und die vollautomatisierte Führung der Pods ermöglichen. Die aus 21 Pods bestehende Flotte befördert Fahrgäste auf einem separat gebauten Straßennetz, zwischen dem Terminal 5 des Flughafens und dem 3,8 Kilometer entfernten Business-Parkplatz. Die Pods benötigen weniger als 6 Minuten um die 3,8 Kilometer lange Strecke zwischen dem Terminal und dem Parkplatz zu befahren. Weil der Fahrpreis in den Parkplatzgebühren inkludiert ist, stehen die Pods jedem Parkplatznutzer frei zur Verfügung. Die Zieleingabe in den Haltestellen, die gleichzeitig zur automatischen Ladung der Pod-Batterien dienen, erfolgt durch den Nutzer selbst [Youtube, 2014]. Die von dem britischen Unternehmen Ultra and BAA gebauten Pods sind in der Lage Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 40 km/h zu erreichen [Ultra Global PRT, 2011].



**Abbildung 5: Pods am Flughafen London Heathrow, Großbritannien**

(Quelle: <http://mediacentre.heathrow.com/pressrelease/details/81/Corporate-operational-24/5605>, 2016)

Jedes Pod besitzt eine Überwachungseinheit zur Kontrolle der eigenen elementaren Funktionen. Zusätzlich zu den Kontrolleinheiten in den Pods, gibt es eine zentrale Überwachungsstation, wodurch die einzelnen Fahrten überwacht werden und auf Gefahrensituationen, wie beispielsweise stehengebliebene Pods, hinweist. Die Überwachungsstation hat zusätzlich die Möglichkeit Fahrfunktionen der Pods zu überschreiben und die Kontrolle über die Pods zu übernehmen. Die Sicherheit der Fahrgäste in den Pods wird durch Kameraüberwachungen gewährleistet [Youtube, 2014].

Bevor 2011 die PRT-Pods eingeführt wurden, beförderte ein städtischer Bus Fahrgäste zum Terminal 5 und zurück zum Business-Parkplatz. Der Linienbus fuhr nach einem fixen Fahrplan, wobei der Bus alle 20 Minuten Halt am Flughafen machte. Laut Ultra Global PRT wurden durch die PRT-Pods die Warte- und Reisezeiten, unbeeinflusst durch Straßenstaus, signifikant verkürzt. Man erwartet, dass die PRT-Pods jährlich ca. 500.000 Fahrgäste befördern und damit 50.000 Fahrten eines konventionellen Stadtbusses ersetzen werden [Ultra Global PRT, 2011]. Durch den Einsatz eines elektrischen Antriebes verbrauchen die Pods 70% weniger Energie als Pkw und 50% weniger Energie als Stadtbusse. Die Baukosten der 3,8 Kilometer langen Strecke belaufen sich auf € 34 Millionen [Youtube, 2014].

### 3.3 Robosoft RoboCity in La Rochelle

Zwischen 2012 und 2016 wurde das von der EU finanzierte Forschungsprojekt CityMobil2 durchgeführt [Stam und Delle Site, 2014]. Ziel des Projektes war es die Schaffung einer Grundlage für das Bestehen einer hindernisfreien Zukunft durch den Einsatz vollautomatisierter Busse. Das Budget des Projektes betrug € 15 Millionen, von denen € 9,5 Millionen von der EU und der restliche Betrag durch Projektpartner finanziert wurde. Das Projekt beinhaltete mehrere Testfahrten vollautomatisierter Kleinbusse in mehreren europäischen Städten. Die Testfahrten wurden in drei Klassen unterteilt:

- Vorzeigefahrten, die wenige Tage dauern,
- kleine Demonstrationsfahrten, die ein paar Monate dauern und
- große Demonstrationsfahrten, die mehrere Monate dauern.

CityMobil2 hatte das Ziel, neben der Entwicklung und Testung automatisierter Kleinbusse, Forschungsergebnisse anzubieten, durch die ein langfristiger Einsatz vollautomatisierte Kleinbusse, durch die Entwicklung ganzer automatisierter Straßenverkehrssysteme (Automated Road Transport Systems, ARTS), in Europa möglich wäre. Weitere Ziele des Projektes war die Vernetzung automatisierter Busse mit anderen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern und die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für die Zertifizierung und den Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge in Europa. Unter den Fahrzeugherstellern des Projektes gehörten die französischen Unternehmen Robosoft und EasyMile [Stam und Delle Site, 2014].



Abbildung 6: Robosoft RoboCity Kleinbus in La Rochelle, Frankreich

(Quelle: [https://www.sharedautomatedmobility.org/wiki/Robosoft\\_Robocity](https://www.sharedautomatedmobility.org/wiki/Robosoft_Robocity), Photo: Tobias Haider, 2015)

Wichtige Demonstrationsfahrten, die im Rahmen des CityMobil2-Projektes durchgeführt wurde, fanden zwischen Dezember 2014 und April 2015 in der französischen Stadt La Rochelle statt. La Rochelle

befindet sich im Westen von Frankreich und hat 146.000 Einwohner [Wikipedia, 2018]. Getestet wurden sechs Robosoft RoboCity Kleinbusse (siehe Abbildung 6, Seite 19). Die Elektro-Kleinbusse wurden extra für das CityMobil2-Projekt entwickelt und boten Platz für 10 Personen. Am Anfang waren Testfahrten für sechs Monate geplant. Diese wurden später auf vier Monate verkürzt. Als Grund galten stockende Produktion der Testfahrzeuge und die Erteilung der Testgenehmigungen. Die Testfahrten wurden in drei Phasen gegliedert. In der ersten Phase wurden drei Kleinbusse zwischen dem Touristenbüro und dem Stadtaquarium betrieben. In der zweiten Phase wurde eine Strecke zwischen der Öffentlichen Bücherei und der Universität von La Rochelle mit drei weiteren Kleinbussen aufgenommen. In der dritten Phase, die zwischen März und April 2015 stattfand, wurden die zwei Strecken zu einer einzelnen, 1,7 Kilometer langen Strecke, verbunden [Stam und Delle Site, 2014].

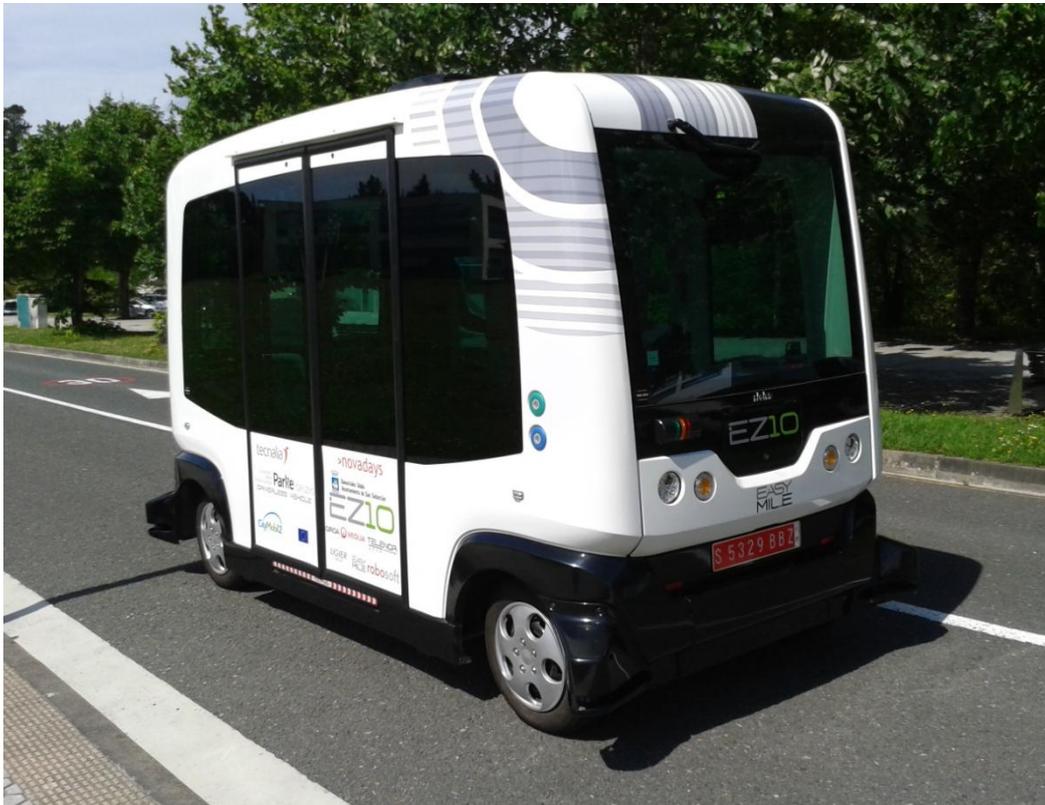
Während der Testfahrten befand sich immer ein Sicherheitslenker im Fahrzeug, der bei Bedarf die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen konnte [Pessaro, 2016]. Das war in 6% der Testdauer notwendig, wenn beispielsweise falsch geparkte Fahrzeuge eine Behinderung darstellten. Die sechs Robosoft RoboCity Kleinbusse wurden in 94% der Testzeit vollautomatisiert betrieben. Während den viermonatigen Testfahrten wurden ca. 15.000 Fahrgäste befördert. Probleme entstanden, neben den genannten unvorhersehbaren Hindernissen auf der Straße, zusätzlich auf einem Teilabschnitt der Strecke, der durch einen Park führte. Durch die Bäume wurde der GPS-Empfang gestört, wodurch der Sicherheitslenker die Führung des Kleinbusses übernehmen musste. Das Problem wurde später durch Systemupdates von EasyMile behoben. Einige wichtige Erkenntnisse der Testfahrten in La Rochelle waren die Notwendigkeit klar erkennbarer Straßenmarkierungen für die Interaktion mit Fußgängern und Radfahrern, die Notwendigkeit einer Verwaltungszentrale für den Betrieb der Kleinbusse und das Kleinbusse den konventionellen ÖPNV nicht ersetzen, sondern eher sinnvoll ergänzen sollten [Stam und Delle Site, 2014]. Die Erkenntnisse bewiesen sich als hilfreich bei den nächsten Testfahrten 2015 in Lausanne (Schweiz) und 2016 in Trikala (Griechenland) [Pessaro, 2016]. Die Entwicklung des Robosoft RoboCity-Kleinbusses wurde nach den Testfahrten in La Rochelle eingestellt. Der Fahrzeughersteller EasyMile, der durch die Fusion zwischen Robosoft und dem französischen Fahrzeughersteller Ligier entstand, konzentrierte sich auf die Entwicklung des EZ10-Kleinbusses.

### 3.4 Easymile EZ10 in Helsinki

Im Sommer 2014 stellte die Stadt Helsinki (Finnland) einen 10-Jahres-Plan für die Umstrukturierung des ÖPNV vor [The Guardian, 2014], wodurch der Besitz eines persönlichen Fahrzeuges überflüssig werden soll. Der Plan soll mit sogenannten „mobility on demand“, kurz MOD-Diensten (Mobilität auf Anfrage) umgesetzt werden. Unter MOD-Diensten plant die Stadt Helsinki neben konventionellen ÖPNV-Systemen, Taxi- und Carsharing-Dienste, mietbare Fahrräder und Kleinbusse anzubieten.

Durch die Bündelung der Verkehrsanfrage und der effizienteren Nutzung kleinerer Fahrzeugflotten, erhofft sich die Stadt Helsinki, außer der Erhöhung der Mobilität und Verringerung schädlicher Luftschadstoffe durch den MIV, weniger Verkehrsstaus und günstigere Fahrtickets für den ÖPNV anbieten zu können. Ein Verkehrsdienst mit ähnlichen Ambitionen wurde 2013 von der Regionalen Verkehrsbehörde in Helsinki (Helsinki Regional Transport Authority, HRTA) gestartet. Dabei handelte es sich um einen On demand-Kleinbus mit dem Namen „Kutsuplus“. Bei „Kutsuplus“ konnte der Fahrgast, nachdem er den Kleinbus per Smartphone bestellt hat, selbst entscheiden ob er direkt zum Ziel gefahren oder ob das Fahrzeug während der Fahrt auch mit anderen Fahrgästen geteilt werden möchte. Im zweiten Fall prüfte das System ob es in der Nähe weitere Fahrgastanfragen gab. Wenn das der Fall war, errechnete die Fahrzeugtechnik die optimale Route um alle Fahrgäste zu ihren individuellen Zielen zu befördern. Dieser Dienst erfüllt nicht die Voraussetzung des 10-Jahre-Planes güns-

tigere Fahrpreise anzubieten, da sich eine Fahrt mit „Kutsuplus“ als teurer als mit einem konventionellen Bus herausstellte. Der Fahrpreis des Verkehrsdienstes lag aber unterhalb des Preises einer vergleichbaren Fahrt mit einem konventionellen Taxi [The Guardian, 2014].



**Abbildung 7: EasyMile EZ10**

(Quelle: [https://www.sharedautomatedmobility.org/wiki/EasyMile\\_EZ10](https://www.sharedautomatedmobility.org/wiki/EasyMile_EZ10), Foto: Tobias Haider, 2016)

Der Dienst „Kutsuplus“ wurde ein Jahr nachdem er gestartet wurde eingestellt. Als Gründe für das Scheitern des Dienstes wurden hohe Kosten und der Mangel an Fahrgästen genannt. Um zu erforschen, welche Vorteile das automatisierte Fahren für den ÖPNV in Helsinki haben kann, testete man 2016 zwei vollautomatisierte Kleinbusse zwei Monate auf öffentlichen Straßen. Bei den elektrischen Fahrzeugen handelte es sich um EZ10-Kleinbusse der Herstellers EasyMile. Die Kleinbusse bieten Platz für 12 Personen [Ligier, 2018]. Die Straßenverkehrsordnung in Finnland verbietet die Testung von vollautomatisierte Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen derzeit nicht, was die Aufmerksamkeit einiger Fahrzeughersteller weckte und zu den Testfahrten der Kleinbusse führte [Trafi, 2017]. Die größte Herausforderung für die elektrischen Kleinbusse waren andere Verkehrsteilnehmer, mit denen sich die Kleinbusse die Straße teilten. Die Kleinbusse mussten auf unerwartete Verkehrssituationen selbstständig reagieren, was die Reisegeschwindigkeit auf 10 km/h begrenzte. Technisch sind die Easy-Mile EZ10 im Stande Geschwindigkeiten von 40 km/h zu erreichen [The Guardian, 2016]. Die Stadt Helsinki erhofft sich Erkenntnisse über den Einsatz von vollautomatisierten Kleinbussen für die erste und letzte Meile zu bekommen und dadurch den Einsatz vollautomatisierter Elektro-Kleinbussen in anderen finnischen Städten einzuleiten [The Guardian, 2014]. Nach Informationen auf der offiziellen Internetseite von EasyMile, wird der EZ10-Kleinbus u. a. in Australien, Deutschland, Frankreich, Japan, Singapur und den USA eingesetzt [EasyMile, 2018].

Mit dem SOHJOA-Projekt in Finnland möchte man eine Plattform für finnische Unternehmen schaffen, mit der Erkenntnisse über vollautomatisiertes Fahren geteilt und die Vorteile automatisierter

Fahrzeuge optimal eingesetzt werden können. Das Ziel ist die Entwicklung intelligenter Verkehrsdienstleistungen. Zu den Projektpartnern gehören u. a. Universitäten, die Stadt Organisation von Helsinki (Helsinki City Organisation, HCO) und die Nationale Kartierungsbehörde (National Land Survey of Finland, NLSF). Das Projekt wird durch den Strukturfond der EU gefördert [Helsinki Smart, 2018].

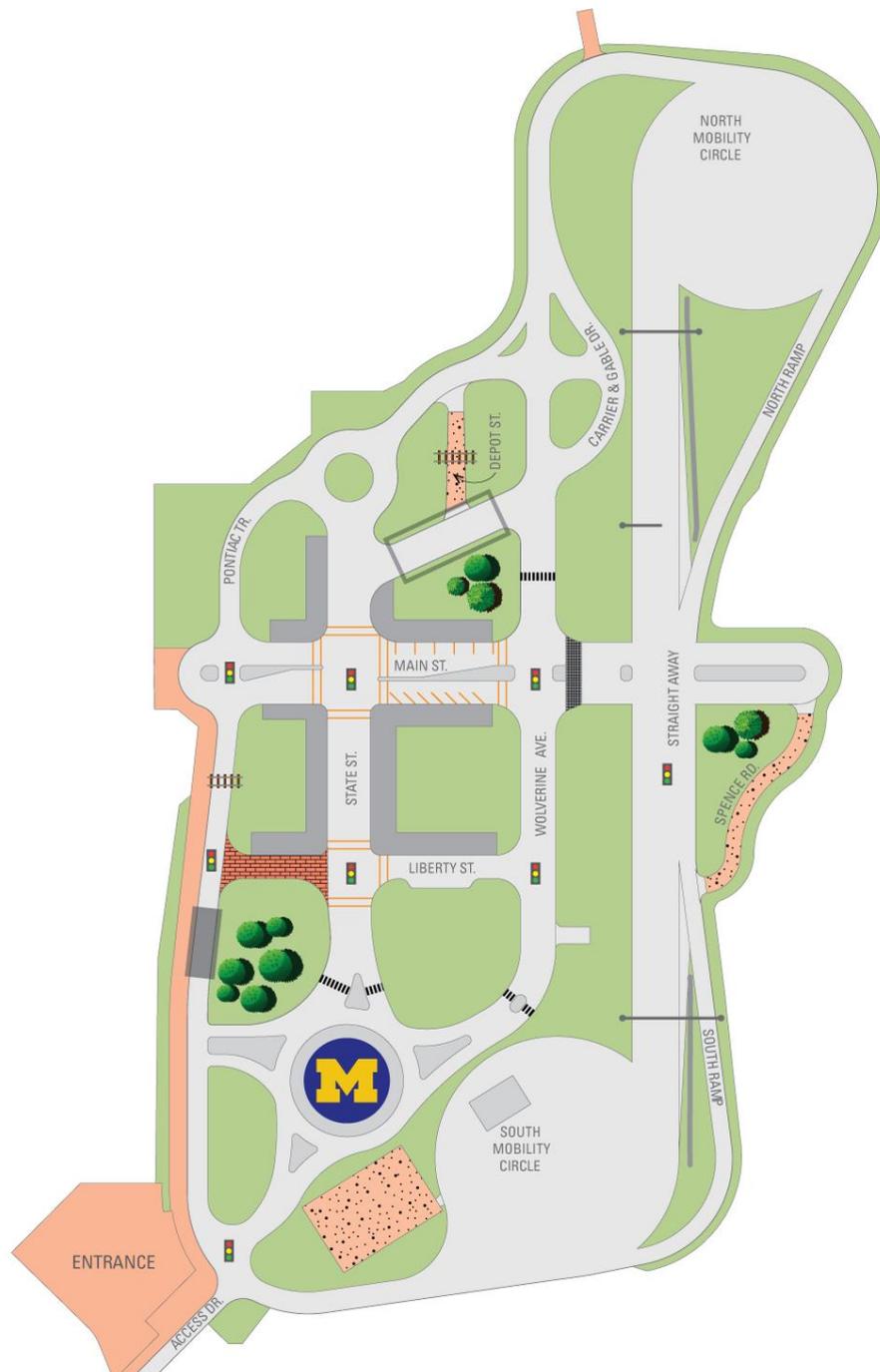
### 3.5 Mcity Driverless Shuttle

Bei der in Michigan (USA) gebauten Mcity handelt es sich um eine künstlich geschaffene Umgebung zur Entwicklung und Testung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge. Die Einrichtung befindet sich auf dem Nordcampus der Universität Michigan und umfasst 13 Hektar Landfläche [Michigan News, 2015]. Mit Mcity wurde eine kontrollierte Umgebung geschaffen, die über alle relevanten Eigenschaften einer echten Stadt verfügt. Mcity ist mit Verkehrslichtsignalanlagen, kurz VLSA, Unterführungen, unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen und Verkehrsknoten, sowie Geh- und Fahrradwegen, Fußgängerübergängen und Baustellen ausgestattet [Michigan University, 2018]. Die Einrichtung bietet Fahrzeugherstellern die Möglichkeit, automatisierte Fahrzeuge unter realen Bedingungen zu testen, bevor diese auf öffentlichen Straßen getestet werden [Michigan News, 2015].

Ein Vorteil von Mcity ist die Möglichkeit der Testung von Car to Car-Kommunikationstechnologien, kurz C2C-Kommunikation [Michigan News, 2015]. Darunter versteht man den Datenaustausch zwischen vernetzten Fahrzeugen während der Fahrt. Durch die Vernetzung mehrerer Fahrzeuge ist es möglich, Informationen über den Straßenverkehr, wie beispielsweise die Wetterlage oder Unfälle, von einem Fahrzeug an ein anderes zu schicken. Durch die C2C-Kommunikation wäre es möglich Gefahrensituationen schneller zu erkennen und den Straßenverkehr damit sicherer zu gestalten [Dreßler, 2013].

Neben der Entwicklung und Testung von C2C-Techniken zum Datenaustausch zwischen Fahrzeugen, bietet Mcity zusätzlich die Möglichkeit Car to Infrastructure-Kommunikationstechnologien, kurz C2I-Kommunikation, zu simulieren und zu testen [Michigan News, 2015]. Bei der C2I-Kommunikation handelt es sich um eine ähnliche Kommunikationstechnologie wie bei C2C, nur dass hier der Datenaustausch zwischen dem Fahrzeug und Infrastruktureinrichtungen stattfindet. Daten können entweder vom Fahrzeug zu einem bestimmten Infrastrukturpunkt geschickt oder von einer bestimmten Infrastruktureinrichtung empfangen werden. Ein Beispiel ist die Kommunikation zwischen einem Fahrzeug und einer VLSA. Das Fahrzeug kann der VLSA Daten über den eigenen Verkehrslauf schicken, was in bestimmten Situationen in einem geänderten Schaltzyklus der VLSA resultieren kann. Im Optimalfall wird dem Fahrzeug die Durchfahrt der Kreuzung ohne Haltevorgänge gewährt. Es entfallen unnötige Stopps an der Kreuzung, der Verkehrsfluss wird weniger gestört und Umweltbelastungen durch Motorabgase reduziert. Komplementär dazu, kann die VLSA Informationen über die nächste Grünphase an das Fahrzeug schicken. Bei der Erwartung eines längeren Haltevorganges, kann der Motor des Fahrzeuges abgeschaltet werden, was zu einer Reduzierung von Luftschadstoffen, bei Motoren, die fossile Brennstoffe benutzen, führen kann [Dreßler, 2013].

Zu den Partnern des Projektes gehören Automobilhersteller Ford Motor Co., General Motors Co., Honda Motor Co. Ltd., Nissan Motor Co. Ltd. und Toyota Motor Corp., sowie Kommunikations- und Technologieunternehmen Verizon Communications Inc. und Qualcomm Technologies Inc. Mcity wurde durch die University Michigan und das Verkehrsministerium in Michigan (Michigan Department of Transport, MDOT) finanziert. Das Projekt kostete 10 Millionen Dollar. Mcity wurde am 20. Juli 2015 eröffnet [Michigan News, 2015].



**Abbildung 8: Mcity Testeinrichtung**

(Quelle: <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/>, 2017)

Seit Herbst 2017 testet der französische Fahrzeughersteller Navya, in Zusammenarbeit mit der Universität Michigan, einen vollautomatisierten Kleinbus auf der Nordcampus-Forschungsanlage (North Campus Research Complex, NCRC) der Universität Michigan. Bei den ersten Testfahrten fuhr ein Navya Arma noch ohne Fahrgäste [Michigan News, 2017]. Ab Frühling 2018 plant man Studenten und Universitätsmitarbeiter mit zwei vollautomatisierten Kleinbussen zwischen dem NCRC und dem Lurie Engineering Center zu befördern [Michigan University, 2018]. Neben der erforderlichen Technik zur vollautomatisierten Fahrt, werden die Elektro-Kleinbusse zusätzlich mit Kameras im Innenraum ausgestattet. Damit möchte man Informationen über das Verhalten der Fahrgäste sammeln. Diese Informationen können dann zur Optimierung des Fahrbetriebes genutzt werden [Michigan News, 2017].



**Abbildung 9: Vollautomatisierter Bus der Universität Michigan, USA**

(Quelle: <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-driverless-shuttle/>, 2017)

Die zum Einsatz kommenden Navya Arma bieten Platz für elf Personen. Die elektrischen Kleinbusse werden auf der 3,2 Kilometer langen Strecke zwischen Montag und Freitag, von neun bis 15 Uhr, Fahrgäste befördern. Während des Betriebes werden die Elektro-Kleinbusse die Straße gleichzeitig mit anderen Verkehrsteilnehmern teilen. Somit entsteht ein Mischverkehr, durch den nützliche Auskünfte zur Weiterentwicklung vollautomatisierter Fahrzeuge gewonnen werden. Um die Fahrsicherheit zu erhöhen, wird sich auf jeder Fahrt ein Sicherheitsleiter befinden, der das Fahrzeug bei Bedarf abbremsen kann. Den Betrieb der Kleinbusse übernimmt das eigene Transport-, Logistik- und Parkunternehmen der Universität Michigan (U-M Transportation, Logistics and Parking) [Michigan University, 2018].

### 3.6 Parkshuttle in Rivium

Seit 1999 [2getthere, 2017] ist in Rivium, einem Gewerbegebiet in Rotterdam (Niederlande), ein Transportsystem in Betrieb, das auf dem Konzept des sogenannten Group Rapid Transit, kurz GRT, basiert [2getthere, 2018]. Dabei handelt es sich um vollautomatisierte Busse, die nach keinem fixem Fahrplan operieren. Stattdessen kann man an den einzelnen Haltestellen einen Bus aufrufen. Nach einer bestimmten Zeit, abhängig von der Tageszeit, Auslastung und Anzahl verfügbarer Fahrzeuge, kommt entweder ein leerer Bus, wenn es sich um die Anfangshaltestelle handelt, oder ein zum Teil besetzter Bus zur Haltestelle, wenn es sich um eine Haltestelle zwischen der Anfangs- und Endhaltestelle handelt. Nachdem man in den Bus eingestiegen ist, kann man die gewünschte Zielhaltestelle, per Knopfdruck auswählen [2getthere, 2018].

Die benutzten Fahrzeuge folgen im Betrieb Magneten, die in der Fahrbahn eingesetzt sind, und ermöglichen somit eine automatisierte Fahrt [2getthere, 2018]. Durch die Verwendung von Magneten,

folgen die Fahrzeuge einer vordefinierten Strecke und können deshalb nicht als vollautomatisierte Fahrzeuge bezeichnet werden (siehe Kap. 2.2, Seite 11). Viel mehr stellen die derzeit benutzten GRT-Fahrzeuge in Rivium ein hochautomatisiertes System dar.

Bei Bereitstellung einer ausreichender Anzahl an Bussen, bietet das System eine hohe Anpassungsfähigkeit an die betriebliche Nachfrage. Durch die On demand-Charakteristik des Systems wird eine leichte Implementation von Wartungsplänen für die einzelnen Fahrzeuge und niedrigere Betriebskosten, durch den Entfall von Lenkerlohnkosten und der Variation der verfügbaren Fahrzeuganzahl zu unterschiedlichen Tageszeiten, ermöglicht. Ein Fahrplanbetrieb zu Hauptverkehrszeiten und ein On demand-Betrieb zu weniger frequentierten Tageszeiten ist denkbar. Das Einsatzgebiet des GRT ist vielseitig und das System könnte auf Flughäfen, auf Gewerbe-, Industrie- und Universitätsgelände, sowie auf Freizeitparks eingesetzt werden. Unter der Annahme eines Belegungsgrades zwischen 65% und 80%, ist eine theoretische Beförderungszahlen von 5.000 Fahrgästen/Stunde möglich, wobei davon ausgegangen wird, dass das System bereits ab 1.500 Fahrgästen/Tag rentabel betrieben werden kann [2getthere, 2018].

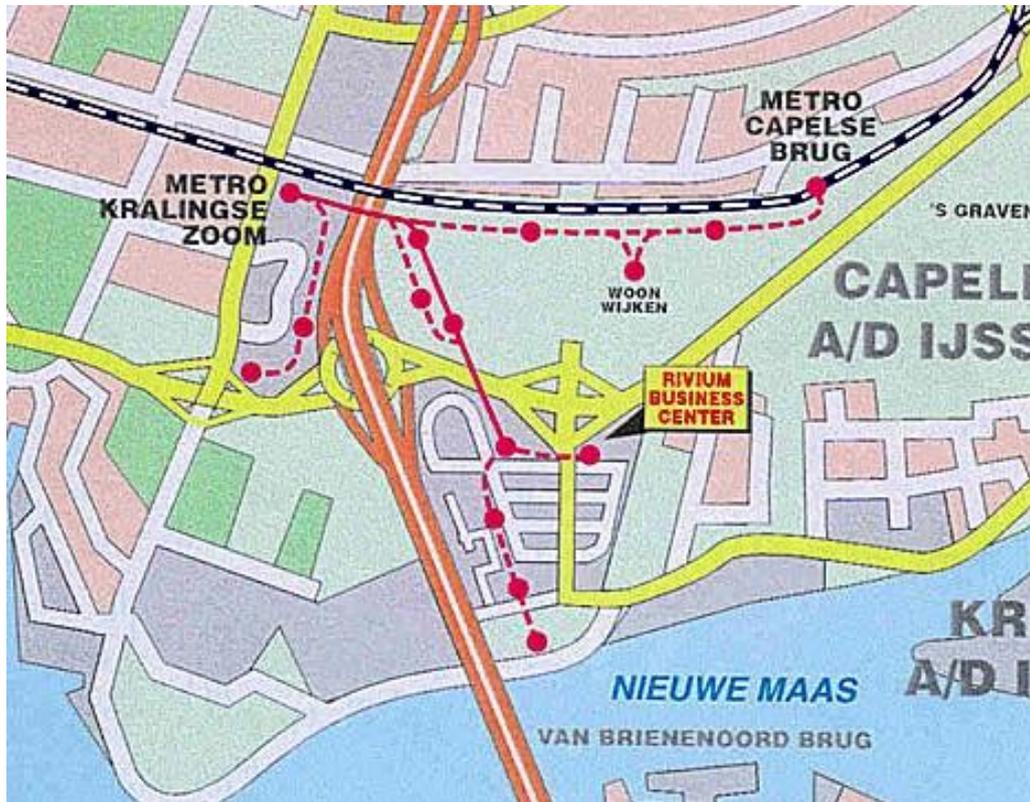


**Abbildung 10: Parkshuttle in Rotterdam, Niederlande**

(Quelle: <http://www.spijkstaal.nl/grt-parkshuttle&sel taal=en>, 2017)

Das GRT-System in Rivium wird von der Forschungsorganisation und Entwicklerteam 2getthere betrieben und die benutzten Fahrzeuge, sogenannte Parkshuttles, werden in Zusammenarbeit mit externen Partnern kontinuierlich weiterentwickelt und an die Betriebs- und Kundenbedürfnisse angepasst. Die Parkshuttles bieten derzeit Platz für bis zu 25 Fahrgäste [2getthere, 2018]. Die hochautomatisierten Busse fahren seit 1999 zwischen der U-Bahn-Station Kralingse Zoom und dem Gewerbegebiet Rivium. Somit gilt die Buslinie in Rivium als die älteste automatisierte Buslinie der Welt, die täglich betrieben wird [2getthere, 2017]. Die benutzte Strecke wurde ausschließlich für das GRT-System gebaut, besitzt aber zugleich Niveaugleiche Kreuzungen mit anderen Straßen, bei denen die automatisierten Busse Vorrang gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern besitzen. In den 17 Jahren

Betrieb, wurden mehr als sechs Millionen Fahrgäste mit den automatisierten Bussen in Rivium befördert. Derzeit befördert die Buslinie ca. 2.400 Fahrgäste/Tag [2getthere, 2017].



**Abbildung 11: GRT-Strecke in Rivium, Niederlande**

(Quelle: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/network2.jpg>, 2017)

Ab Sommer 2019 plant 2getthere sechs neue GRT-Busse auf der derzeitigen Strecke einzusetzen, bevor Ende 2019 der Betrieb auf öffentliche Straßen ausgeweitet wird. Die neue Strecke wird bis zu der Van Brienoord-Brücke führen, womit man die U-Bahn-Station Kralingse Zoom und den Wasserbus in Rotterdam verbinden möchte. Dies wird die erste Strecke weltweit sein, die mit automatisierten Bussen auf öffentlichen Straßen täglich betrieben wird. Durch die Ausweitung des Betriebes erwartet man eine zusätzliche Erhöhung der Fahrgastanzahl, was ein zusätzliches Hindernis darstellt, aber gleichzeitig auch eine Möglichkeit bietet das GRT-System einem weiten Publikum vorzustellen. Die Erweiterung der Buslinie zieht Investitionskosten von über € acht Millionen mit sich, von denen über € vier Millionen bereits investiert wurden. Der größte Teil dieser Investition kommt von der Rotterdamer Verkehrsgesellschaft, der Rotterdamer Gemeinde, dem Niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Wasserbewirtschaftung und dem Rotterdamer Hafen [2getthere, 2017].

Es ist noch ausstehend, wie das Niederländische Parlament über einen neuen Gesetzentwurf, durch den experimentelle Einsätze selbstfahrender Fahrzeuge geregelt werden sollen, abstimmt. 2getthere verhandelt derzeit mit dem Niederländischen Straßenverkehrsamt über die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen, die für den Einsatz eines selbstfahrenden Fahrzeuges auf öffentlichen Straßen notwendig sind, und wie diese am besten zu erfüllen sind. Eine Entscheidung des Parlamentes über den Gesetzesvorschlag wird 2018 erwartet [2getthere, 2017].

## 4 Kostenrechnung konventioneller und automatisierter Busse am Beispiel der Holding Graz Linien

Um die finanziellen Auswirkungen von Automatisierungstechniken auf den Betrieb öffentlicher Buslinien eines Verkehrunternehmens darstellen zu können, ist es sinnvoll eine Wirtschaftlichkeitsberechnung automatisierter Fahrzeuge durchzuführen. Bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung im Buslinienverkehr werden Kostenpunkte des Betriebes konventioneller Busse berechnet und mit den Kosten eines Betriebes anderer Fahrzeuge oder Fahrzeuggattungen verglichen. Somit lassen sich finanzielle Unterschiede des Betriebes unterschiedlicher Fahrzeuge, Dienste oder Fahrzeuggattungen erkennen. Des Weiteren bietet eine Kostenrechnung eine übersichtliche Darstellung der Zusammensetzung von fixen und variablen Kosten an und zeigt auf, ob und wie ein bestimmter Dienst optimiert werden kann. Für die Durchführung eines Kostenvergleiches ist das Wissen über bestimmte Unternehmenskennzahlen und Kostenparameter notwendig. Darunter gehören:

- Zusammensetzung der Fahrzeugflotte,
- Anschaffungspreis unterschiedlicher Busgattungen,
- Belegungsgrad der Buslinien,
- Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit,
- Durchschnittliche tägliche Einsatzzeit pro Bus,
- Kfz-Versicherungskosten,
- Anzahl angestellter Buslenker,
- Jährliche Angestelltenausgaben,
- Zusammensetzung der variablen Kosten und
- Jährlich gefahrenen Buskilometer.

Weil sich bei meisten dieser Kennzahlen um unternehmensinterne Informationen handelt, ist es verständlich, dass aus wirtschaftlichen Gründen und der Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit diese ungerne publik gemacht werden. Aus diesen Gründen wurde, bevor die Kostenrechnung konventioneller Busse im ÖPNV von Graz durchgeführt werden konnte, ein Termin mit Herr Dipl.-Kfm. Martin Schmidt, Leiter Linien und Verkehrsentwicklung der Abteilung Planungsmanagement und Infrastruktur der HGL, vereinbart, bei dem die benötigten Kostenpunkte und Kennzahlen des konventionellen Busbetriebes, sowie die Veröffentlichung dieser Kennzahlen besprochen wurden. Parameter, über die die HGL keine ausreichenden bzw. keine aktuellen Informationen besaß, wurden, unter bestimmten Annahmen, selbstständig berechnet. Die getroffenen Annahmen werden der Übersicht halber bei den einzelnen Kostenpunkten genauer erklärt. Zu den zusätzlich berechneten Parametern gehören die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit und die Zusammensetzung der variablen Kosten des konventionellen Busbetriebes.

Als Grundlage der Kostenrechnung automatisierter Elektrobusse in Graz wurde die Arbeit von Bösch et al. [2018] der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich benutzt. In der Arbeit vergleicht Bösch et al. [2018] den Einfluss von Automatisierungstechniken auf Kostenpunkte im ÖPNV, von Taxi-Diensten und im MIV, wobei für diese Arbeit nur die Kostenrechnung des ÖPNV berücksichtigt wurde. Für die Durchführung der Kostenrechnung im ÖPNV trifft Bösch et al. [2018] unterschiedliche Annahmen, die durch eigene Recherche oder bereits getätigte Arbeiten und Statistiken Anderer, ent-

standen sind. Für die Kostenrechnung privater Fahrzeuge unterscheidet Bösch et. al. [2018] zwischen vier Fahrzeuggruppen [Bösch et al., 2018]:

- **Solo** – Fahrzeug mit Platz für eine Person,
- **Midsize** – Fahrzeug mit Platz für vier Personen,
- **Van** – Fahrzeug mit Platz für acht Personen und
- **Minibus** – Fahrzeug mit Platz für 20 Personen.

Die Charakteristiken des Kleinbusses sind für die folgenden Kostenrechnungen wichtig, weil die Zusammensetzung der variablen Kosten von Kleinbussen in der Arbeit von Bösch et al. [2018] als Grundlage für die Kostenrechnung eines Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen in Graz (siehe Kap. 4.3, Seite 46) benutzt wurden. Für die Auswirkungen der Elektrifizierung und Automatisierung bestehender Fahrzeuge im ÖPNV nimmt Bösch et. al. [2018] an, dass die Automatisierung und der elektrische Antrieb keinen signifikanten Einfluss auf die fixen und variablen Kosten bzw. den Anschaffungspreis von öffentlichen Bussen haben werden:

*„Automation technology and electric propulsion are not expected to have substantial impacts on the fixed and variable cost of public bus and train services because automation technology is already pre-installed (in trains) or would not represent a substantial increase in the purchase price of a vehicle (for buses).“* [Bösch et al., 2018]

Diese Angaben steht im Gegensatz zu den Angaben der HGL, nach denen ein elektrisch betriebener Bus derzeit das Zwei- bis Dreifache des Anschaffungspreises eines konventionellen Busses kostet. Die Automatisierung von Fahrzeugen würde nach der Meinung der Information Handling Services, kurz IHS, den Anschaffungspreis um ca. 20% erhöhen [IHS, 2014]. Ausgehend davon, dass für die vollautomatisierte Fahrt zusätzliche Kosten für bestimmte Sensoren und eine ausgereifte Abstimmung der einzelnen Fahrzeugkomponenten anfallen, wurden dieser Annahmen bei der Kostenrechnung vollautomatisierter Busse mitberücksichtigt. Durch die Kostenrechnung werden folgende Werte berechnet [Bösch et al., 2018]:

- Kosten pro Fahrzeugkilometer,
- Kosten pro Sitzkilometer,
- Kosten pro Fahrgastkilometer und
- Kosten pro Fahrzeug und Tag.

Mit den gegebenen Randbedingungen für die Berechnung des Einflusses von Automatisierungstechniken und des elektrischen Antriebes auf die Kosten des Betriebes öffentlicher Buslinien, werden im nächsten Kapitel die einzelnen Schritte der Kostenrechnungen konventioneller und vollautomatisierter Elektrobusse näher erklärt. Die einzelnen Annahmen, die während der Kostenrechnung getroffen wurden, werden bei den einzelnen Kostenpunkten erwähnt und genauer beschrieben. Die Ergebnisse der Kostenrechnung werden im Anhang 10 als Kosten/Bus u. Tag, Kosten/Buskilometer, Kosten/Fahrgastkilometer und Kosten/Sitzkilometer angegeben und mit den Kilometerkosten des Betriebes von ausschließlich vollautomatisierten Elektrobussen verglichen.

## 4.1 Kostenrechnung Konventioneller Busbetrieb

Der erste Schritt zur Berechnung der Kosten konventioneller Busse und den Vergleich von Kosten konventioneller und vollautomatisierter Elektrobusse zu ermöglichen, ist die Berechnung des Belegungsgrades im konventionellen Busbetrieb. Dadurch lassen sich die Jahresausgaben im konventionellen und automatisierten Busbetrieb als Kosten/Fahrgastkilometer und Kosten/Sitzkilometer darstellen. Durch das Wissen über die Fuhrparkstruktur und die jährlich gefahrenen Kilometer eines Verkehrsunternehmens, lassen sich die Ergebnisse zusätzlich als Kosten/Bus u. Tag und Kosten/Buskilometer beschreiben.

Nach Angaben der HGL, besteht der derzeitige Fuhrpark der Holding Graz Buslinien aus:

- 1 Midi-Bus,
- 4 15m-Bussen (89 Plätze),
- 66 Standardbussen (65 Plätze) und
- 96 Gelenkbussen (102 Plätze).

Die HGL führt derzeit eine Umstrukturierung ihrer Busflotte durch, in deren Folge die 15m-Busse durch Standard- und Gelenkbusse ersetzt werden. Der Midi-Bus wird nach Angaben der HGL nicht im Linienverkehr genutzt. Die Tageswerte der Belegungsgrade der einzelnen Buslinien, sowie die gefahrenen Bus-, Sitz- und Fahrgastkilometer aus dem Jahr 2017 wurden von der HGL zur Verfügung gestellt (siehe **Tabelle 1**, Seite 30). Die Durchschnittliche Buskapazität auf den betriebenen Busverbindungen, die später bei der Berechnung der Kosten/Sitzkilometer herangezogen wird, ließ sich über die täglich gefahrenen Sitz- und Buskilometer berechnen.

Durch den Einsatz unterschiedlicher Busgattungen auf der selben Busverbindung, kann die durchschnittliche Buskapazität einem Wert zwischen 65 Plätzen (Standardbus) und 102 Plätzen (Gelenkbus) entsprechen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es sich bei den Plätzen um die Summe von Sitz- und Stehplätzen handelt. Die Busverbindungen die eine durchschnittliche Buskapazität von 65 bzw. 102 Plätzen aufweisen, sind die Busverbindungen, auf denen im Jahr 2017 ausschließlich Standard- bzw. Gelenkbusse betrieben wurden. Für die Berechnung der durchschnittlichen Buskapazität wurden nur die Buslinien berücksichtigt, die täglich und an Arbeitstagen betrieben werden (siehe Kap. 5.6, Seite 76). Ersatz- und Nachtlinien, sowie Busverbindungen die ausschließlich an Wochenenden betrieben werden, wurden in der Berechnung der Buskapazität nicht berücksichtigt. Für die Berechnung des durchschnittlichen Belegungsgrades wurden insgesamt 19 Buslinien betrachtet. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Buslinie 30, obwohl sie die beschriebenen Voraussetzungen zur Berechnung des durchschnittlichen Belegungsgrades entspricht, nicht berücksichtigt wurde, weil HGL für diese Buslinie keine Informationen zu den Kilometerwerten und/oder Belegungsgrad besaß. Des Weiteren wurden nur die Kilometerwerte der gewählten Buslinien betrachtet, die an Werktagen entstehen, weil Buslinien, die an Wochenenden anderen Routen folgen bzw. nicht den ganzen Tag betrieben werden, zu unterschiedlichen Kilometerwerten führen und somit die Belegungsgrade verzerren können. In der **Tabelle 1** sind die Berechnungsschritte, sowie die Kilometerwerte und Belegungsgrade der 19 untersuchten Buslinien dargestellt.

Tabelle 1: Belegungsgrad der Grazer Buslinien im Jahr 2017

Buslinie	Tagesfahrte n HGL	Tageswert Wagen-km HGL	Tageswert Platz-km HGL	Durschnittliche Buskapazität*	Tageswert Fahrgast-km HGL	Belegungsgrad HGL
		a	b		c = b/a	
31	193	1661,8	168.113,0	102	31.462	18,7%
32	266	2135,4	217.806,0	102	42.775	19,6%
33	184	1677,9	159.827,0	96	26.479	16,6%
34	162	1380,9	89.758,0	65	18.966	21,1%
39	206	1311,6	116.735,0	90	15.826	13,6%
40	220	1378,2	140.579,0	102	31.523	22,4%
48	53	342,8	22.285,0	65	2.142	9,6%
50	127	435,8	38.787,0	90	5.838	15,1%
52	142	1111,9	98.957,0	89	13.201	13,3%
53	145	1712,3	159.907,0	94	20.909	13,1%
58	203	852,0	55.458,0	65	13.505	24,4%
60	154	644,5	41.894,0	65	3.783	9,0%
62	157	1789,0	118.012,0	66	19.230	16,3%
63	208	1187,8	121.158,0	102	23.567	19,5%
64	152	2117,6	139.289,0	66	23.965	17,2%
65	131	743,5	49.053,0	66	5.953	12,1%
67	188	1470,7	134.001,0	92	20.461	15,3%
74	149	697,6	45.345,0	65	4.416	9,7%
85	205	1183,0	76.893,0	65	9.987	13,0%
				<b>Durchsch. Belegungsgrad aller Buslinien</b>	<b>15,8%</b>	

\*Auf Verbindungen, auf denen im Jahr 2017 Standard- und Gelenkbusse , betrieben wurden, kann die durchschnittliche Buskapazität aller an einem Tag getätigten Fahrten einen Wert zwischen 65 und 102 Plätzen aufweisen.

Im zweiten Schritt der Kostenrechnung wurden die Kostenpunkte des Betriebes konventioneller Busse berechnet. Für die Berechnung der Kosten des Betriebes konventioneller Busse in Graz wurden die Kostenparameter und Unternehmenskennzahlen der HGL benutzt. Die Kostenpunkte wurden zum leichteren Vergleich zwischen konventionellen Bussen und Betrieb vollautomatisierter Busse in Jahresausgaben, sowie Ausgaben/Bus u. Tag angegeben. Des Weiteren wurden Ausgaben in fixe und variable Kosten geteilt. Zu den fixen Kosten gehören:

- Abschreibung des Buswertes,
- Angestelltegehälter und
- Kfz-Versicherungskosten.

Weil der Midi-Bus derzeit nicht im Linienverkehr der HGL eingesetzt wird, wurde dieser in der Kostenrechnung nicht berücksichtigt. Von Seite der HGL wurden des Weiteren nur Informationen über den Anschaffungspreis von Standard- bzw. Gelenkbussen ausgetauscht, weswegen die 15m-Busse,

obwohl sie im Jahr 2017 betrieben wurden, nicht in der Kostenrechnung berücksichtigt wurden. Die HGL testet derzeit auch Elektrobusse. Weil sich diese aber nicht im Besitz der HGL befinden, wurden diese ebenfalls nicht für die Kostenrechnung berücksichtigt. Die Kostenrechnung wurde somit für einen Fuhrpark, bestehend aus insgesamt 162 Standard- und Gelenkbussen, durchgeführt. Ein Standardbus, der über 30 Sitz- und 35 Stehplätze verfügt, kostet nach den Angaben der HGL € 300.000. Ein Gelenkbus, mit 40 Sitz- und 62 Stehplätzen, kostet € 400.000. Für die Berechnung der Abschreibung dürfen nach Angaben des Bundesministeriums für Finanzen, kurz BMF [2018], die Kosten der Anschaffung gleichmäßig auf die Nutzungsdauer des abzuschreibenden Gutes abgesetzt werden. Folgend wurde für die Berechnung der jährlichen Abschreibungskosten der Busse eine lineare Abschreibung ohne Berücksichtigung eines Restwertes angewandt. Bei einer zehnjährigen Nutzungsdauer beträgt der jährliche Abschreibungsbetrag 10% des Fahrzeugwertes. Dadurch entstehen für den Fuhrpark der HGL jährliche Abschreibungskosten von € 5,8 Millionen bzw. täglichen Buskosten zwischen € 82,19 und € 109,59, abhängig davon ob ein Standard- oder Gelenkbus betrieben wird.

**Tabelle 2: Abschreibungskosten Busbetrieb HGL**

<b>Anmerkungen:</b>				
• <b>Lineare</b> Abschreibung ohne <b>Restwert</b>				
<b>Busgattung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anschaffungspreis</b>	<b>Buchhalterische Abschreibung [Jahre]</b>	<b>Jährliche Abschreibung</b>
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>(a*b)/c</b>
<b>Standardbus</b>	66	€ 300.000	10	€ 1.980.000
<b>Gelenkbus</b>	96	€ 400.000	10	€ 3.840.000
<b>Kosten/Jahr</b>				<b>€ 5.820.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>				<b>€ 82,19 - € 109,59</b>

Zu den Fixkosten gehören des Weiteren die Kfz-Versicherungskosten. Nach Angaben der HGL, betragen die durchschnittlichen jährlichen Kfz-Versicherungskosten/Bus ca. € 3.000. Weil von der HGL keine separaten Angaben zu den Kfz-Versicherungskosten für Standard- und Gelenkbusse gemacht wurden, kann man davon ausgehen, dass es sich bei den angegebenen Kfz-Versicherungskosten um durchschnittliche Versicherungskosten/Bus handelt, weswegen kein Unterschied zwischen Kosten/Standard- bzw. Kosten/Gelenkbus getätigt wurden.

**Tabelle 3: Kfz-Versicherungskosten Busbetrieb HGL**

• <b>Busanzahl</b>	162
	x
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/Bus (Angabe HGL)</b>	€ 3.000
<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 486.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 8,22</b>

Den Letzten Kostenparameter bei den fixen Kosten stellen die Angestelltenausgaben dar. Dazu wurden die Buslenker- und Kfz-Technikergehälter berücksichtigt. Es ist wichtig zu beachten, dass in ei-

nem Verkehrunternehmen auch Mitarbeiter auf anderen Unternehmenspositionen beschäftigt sind, die Buslenker- und Kfz-Technikerausgaben aber den größten Einfluss bei dem späteren Vergleich zwischen konventionellen und vollautomatisierten Busbetrieb ausmachen, vor allem im Vergleich mit vollautomatisierten Kleinbussen (siehe Kap. 4.3, Seite 46). Nach Angabe der HGL, sind derzeit ca. 600 Angestellte im Fahrdienst tätig, von denen ca. 400 dem Busbetrieb zugeordnet sind. Die HGL beschäftigt auch Mitarbeiter, die Busse und Straßenbahnen bedienen können. Da der Anteil dieser Angestellten nach Angaben der HGL verschwindend niedrig ist, kann davon ausgegangen werden, dass alle 400 Angestellte im Busfahrdienst nur für das Führen von Bussen zuständig sind. Nach Stand August 2016 belaufen sich die jährlichen Buslenkerausgaben der HGL auf ca. € 29.050 [HGL, 2016]. Unter Berücksichtigung des Gehaltsindex in Österreich, betragen die jährlichen Gehaltsausgaben/Buslenker, mit Stand August 2018 und bei einer Vollzeitbeschäftigung, ca. € 30.500.

Obwohl HGL angibt, dass nicht alle Buslenker vollzeitig angestellt sind, kann der Anteil der teilzeitig angestellten Buslenker nach eigenen Angaben als vernachlässigbar klein angesehen werden. Weil keine genauen Angaben bezüglich der Anzahl angestellter Werkstattmitarbeiter der HGL vorliegen, wurden Annahmen von Knotte et al. [2017] angewendet. Danach benötigt man bei einem Fuhrpark bestehend aus 150 Bussen, ca. 45 Werkstattmitarbeiter. Diese Annahme auf das Beispiel der HGL angewendet, resultiert in ca. 50 angestellten Kfz-Technikern. Nach der Lohndatenbank „Lohnanalyse“, belaufen sich die jährlichen Kfz-Technikergehälter für die Steiermark im September auf € 27.458 [Lohnanalyse, 2018]. Die gesamten jährlichen Buslenkerausgaben der HGL belaufen sich auf € 12,2 Millionen und die jährlichen Kfz-Technikerausgaben auf € 1,4 Millionen. Insgesamt erzeugen die Lohngehälter Kosten von € 229,54/Bus u. Tag. Weil es keinen Gehaltsunterschied macht ob ein Buslenker oder Kfz-Techniker einem Standard- oder Gelenkbus zugeteilt ist, wird bei den Gehaltskosten nicht zwischen täglichen Kosten für Standard- und täglichen Kosten für Gelenkbusse unterschieden.

**Tabelle 4: Angestelltenausgaben Busbetrieb HGL**

• Anzahl Buslenker (Angabe HGL)	400	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Buslenker (inkl. Dienstgeberbeitrag, Urlaubs- u. Weihnachtsgeld, Stand August 2018)	€ 30.500	
	+	
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	50	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
		<b>Kosten/Jahr</b>
		<b>€ 13.572.900</b>
		<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
		<b>€ 229,54</b>

Die variablen Kosten im Busbetrieb der HGL betragen nach eigenen Angaben zwischen € 1,3 bis € 1,7 pro gefahrenen Buskilometer, abhängig vom benutzten Bus und gefahrener Strecke. Um die variablen Kosten mit den variablen Kosten vollautomatisierter Busse detailliert vergleichen zu können, wurden die bekannten Kilometerkosten des variablen Kostenteils auf einzelne variable Kostenanteile aufgliedert.

Zu den variablen Kosten zählen [Bösch et al., 2018]:

- Treibstoffkosten,
- Instandhaltungskosten,
- Reinigungskosten,
- Kosten für Reifen und
- Kosten für Reparaturen und Fahrzeugabstellung.

Einigen Kostenpunkte lassen sich direkt berechnen und auf die Kilometerkosten umrechnen, wie beispielsweise Treibstoff und Reifenkosten. Für die Berechnung der Treibstoffkosten wurde der Treibstoffverbrauch eines Mercedes Benz Citaro, herangezogen. Ein Mercedes Benz Citaro verbraucht ca. 40 L/100 km bis ca. 50 L/100 km, abhängig von der Streckeneigenschaften und ob ein Standard- oder Gelenkbus auf der Strecke betrieben wird. Unter der Annahme eines Treibstoffpreises von € 1,16 für Diesel (Stand August 2018) und einem Rabatt von 5% bei einem Kauf von größeren Mengen Treibstoff [Bösch et al., 2018], ergeben sich Treibstoffkilometerkosten von € 0,44 bis € 0,57. Für die Berechnung der Reifenkosten wird angenommen das ein Reifen, inkl. zweimaligen jährlichen Reifenwechsel/Bus, ca. € 220 kostet [Bösch et al., 2018]. Die Reifenkilometerkosten betragen zwischen € 0,04/Standardbus und € 0,05/Gelenkbus.

**Tabelle 5: Variable Kosten Busbetrieb HGL**

<b>Annahmen bzw. Anmerkungen:</b>	
• Mercedes-Benz Citaro <b>Kraftstoffverbrauch</b> ca. 40 – 50 l/100 km (Strecken- und Busgattungsabhängig)	
• <b>Reifen</b> ca. € 220/Stück und Jahr [Bösch et al., 2018]	
• <b>Variable Kosten/Buskm (Busgattungsabhängig, HGL)</b>	<b>€ 1.30 - € 1.70</b>
• <b>Treibstoff (ca. 34%)</b>	€ 0,44 - € 0,57
• <b>Instandhaltung (ca. 28%)</b>	€ 0,36 - € 0,48
• <b>Reinigung (ca. 10%)</b>	€ 0,13 - € 0,17
• <b>Reifen (ca. 3%)</b>	€ 0,04 - € 0,05
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 25%)</b>	€ 0,33 - € 0,43
	x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer in 2017</b>	9.000.000
<b>Kosten/Jahr (o.Subv.)</b>	<b>€ 13.833.000</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.916.500</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 98,94 - € 129,38</b>

Instandhaltungs-, Reinigungs- und Reparaturkosten, sowie Kosten für die Fahrzeugabstellung lassen sich nicht ohne Weiteres auf das Beispiel der HGL umrechnen und benötigen weitere Literatur um berechnet zu werden. Um Annahmen für die variablen Kosten treffen zu können, wurden die Arbeiten von Nookala und Khan [1988] herangezogen. Nach Nookala und Khan [1988] betragen die Instandhaltungskosten konventioneller Busse zwischen \$ 0,18/km und \$ 0,46/km. Unter Berücksichtigung

der Inflation und einer Umrechnung in Euro, ergeben sich für das Beispiel der HGL Instandhaltungskosten zwischen € 0,36/km und € 0,48/km. Nookala und Khan [1988] nehmen an, dass die Reinigungskosten konventioneller Busse ca. 4% der variablen Kosten betragen. Weil Informationen über Reinigungskosten moderner Busse schwer zu berechnen sind, und bereits Bösch et al. [2018] erkannt hat, dass diese in der Praxis zu niedrig angenommen bzw. fälschlicherweise vernachlässigt werden, wurde angenommen, dass die Reinigungskosten ca. 10% der variablen Kosten der HGL betragen. Als letzter Teil der Kostenrechnung bleibt die Multiplikation der variablen Kilometerkosten mit den jährlich gefahrenen Buskilometern. Nach Angaben der HGL, wurden im Jahr 2017 ca. 9 Millionen Buskilometer in Graz gefahren. Das ergibt jährliche variable Kosten von ca. € 13,8 Millionen. Unter der Annahme, dass ca. 50% der variablen Kosten vom Staat subventioniert werden [Reynolds Feighan et al., 2000], ergeben sich tatsächliche jährliche variablen Kosten von ca. € 6,9 Millionen bzw. tägliche Buskosten zwischen € 98,94 und € 129,38.

In der Tabelle 6 ist auffallend, dass den größten Teil der fixen Kosten die Angestelltegehälter ausmachen. Danach folgen die jährlichen Abschreibungskosten. Die niedrigsten jährlichen Fixkosten im Busbetrieb fallen auf die Kfz-Versicherung. Zu den größten variablen Kosten gehören die Treibstoff- und Instandhaltungsausgaben. Die gesamten jährlichen variablen Kosten liegen um 19% höher als die jährlichen Abschreibungskosten, wobei die Angestelltenausgaben fast das Doppelte der variablen Kosten ausmachen. Aus der Summe der fixen und variablen Kosten ergeben sich tägliche Buskosten zwischen € 418,89 für einen Standardbus und € 476,74 für einen Gelenkbus. Die Kilometerkosten pro gefahrenen Buskilometer liegen zwischen € 2,75 und € 3,13.

**Tabelle 6: Gesamtausgaben Busbetrieb HGL**

• Abschreibung	€ 5.820.000
• Kfz-Versicherung	€ 486.000
• Angestelltegehälter	€ 13.572.900
• Variable Kosten	€ 6.916.500
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 26.795.400</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 418,89 - € 476,74</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 2,75 - € 3,13</b>

Nachdem die Kilometerkosten des konventionellen Betriebes der HGL berechnet wurden, ließen sich weitere betriebliche Kostenzahlen berechnen. Durch die von HGL zur Verfügung gestellten Belegungsgrade jeder Buslinie und die gefahrenen Fahrgast- und Sitzkilometer (siehe **Tabelle 1**, Seite 30), liesen sich die Kosten/Fahrgastkilometer und Kosten/Sitzkilometer des konventionellen Busbetriebes berechnen. Für die Berechnung der Kosten/Fahrgastkilometer wurde erst die Anzahl der beförderten Fahrgäste pro gefahrenen Buskilometer berechnet. Dafür wird der Tageswert der gefahrenen Fahrgastkilometer mit dem Tageswert der gefahrenen Buskilometer dividiert. Dieser Schritt wird für jede Buslinie durchgeführt. Im zweiten Schritt wurden die Kosten/Buskilometer aus der Kostenrechnung mit der berechneten Anzahl der beförderten Fahrgäste pro gefahrenen Buskilometer dividiert. Die Kosten/Sitzkilometer berechnen sich durch das Dividieren der Kosten/Buskilometer aus der Kostenrechnung mit der durchschnittlichen Buskapazität.

Tabelle 7: Kilometerkosten Busbetrieb HGL

Buslinie	Durchschnittliche Buskapazität*	Tageswert Bus-km.	Tageswert Fahrgast-km.	Kosten/ Bus-km [€]	Kosten/ Fahrgast-km.	Kosten/ Sitz-km.
	a	b	c	d	d/(c/b)	d/a
31	102	1.661,8	31.462,0	3,13	€ 0,17	€ 0,03
32	102	2.135,4	42.775,0	3,13	€ 0,16	€ 0,03
33	96	1.677,9	26.479,0	3,06**	€ 0,19	€ 0,03
34	65	1.380,9	18.966,0	2,75	€ 0,20	€ 0,04
39	90	1.311,6	15.826,0	3,00**	€ 0,25	€ 0,03
40	102	1.378,2	31.523,0	3,13	€ 0,14	€ 0,03
48	65	342,8	2.142,0	2,75	€ 0,44	€ 0,04
50	90	435,8	5.838,0	3,00**	€ 0,22	€ 0,03
52	89	1.111,9	13.201,0	2,99**	€ 0,25	€ 0,03
53	94	1.712,3	20.909,0	3,04**	€ 0,25	€ 0,03
58	65	852,0	13.505,0	2,75	€ 0,17	€ 0,04
60	65	644,5	3.783,0	2,75	€ 0,47	€ 0,04
62	66	1.789,0	19.230,0	2,76**	€ 0,26	€ 0,04
63	102	1.187,8	23.567,0	3,13	€ 0,16	€ 0,03
64	66	2.117,6	23.965,0	2,76**	€ 0,24	€ 0,04
65	66	743,5	5.953,0	2,76**	€ 0,34	€ 0,04
67	92	1.470,7	20.461,0	3,02**	€ 0,22	€ 0,03
74	65	697,6	4.416,0	2,75	€ 0,43	€ 0,04
85	65	1.183,0	9.987,0	2,75	€ 0,33	€ 0,04
				<b>Durchschnittliche Kilometerkosten</b>	<b>€ 0,26</b>	<b>€ 0,04</b>

\*Auf Verbindungen, auf denen im Jahr 2017 Standard- und Gelenkbusse , betrieben wurden, kann die durchschnittliche Buskapazität aller an einem Tag getätigten Fahrten einen Wert zwischen 65 und 102 Plätzen aufweisen.

\*\*Interpolation der Kilometerkosten, wegen der abweichenden durchschnittlichen Buskapazität auf der Busverbindung von der Kapazität von Standard- und Gelenkbussen.

## 4.2 Kostenrechnung automatisierter Busbetrieb

Um die Kostenparameter des Betriebes konventioneller Busse mit dem Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse vergleichen zu können, wird für die Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse die gleiche Fuhrparkstruktur, wie sie die HGL derzeit besitzt, angenommen. Es werden die Kosten des Betriebes von 66 vollautomatisierten, elektrisch betriebenen Standard- und 96 vollautomatisierten, elektrisch betriebenen Gelenkbussen berechnet und mit dem Betrieb der gleichen Anzahl konventioneller Busse verglichen. Mit dieser Vorgehensweise kann der Einfluss der Automatisierung und Elektrifizierung von Bussen im ÖPNV direkt aufgezeigt werden und mögliche Einsparungen bzw. erhöhte Ausgaben schnell erkannt werden. Die Kostenpunkte vollautomatisierter Elektrobusse unterscheiden sich von den Kostenpunkten konventioneller Busse in einigen Punkten. Die Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse folgt dabei einem genauen Ablauf, der übersichtlich in der Abbildung 12 dargestellt ist.

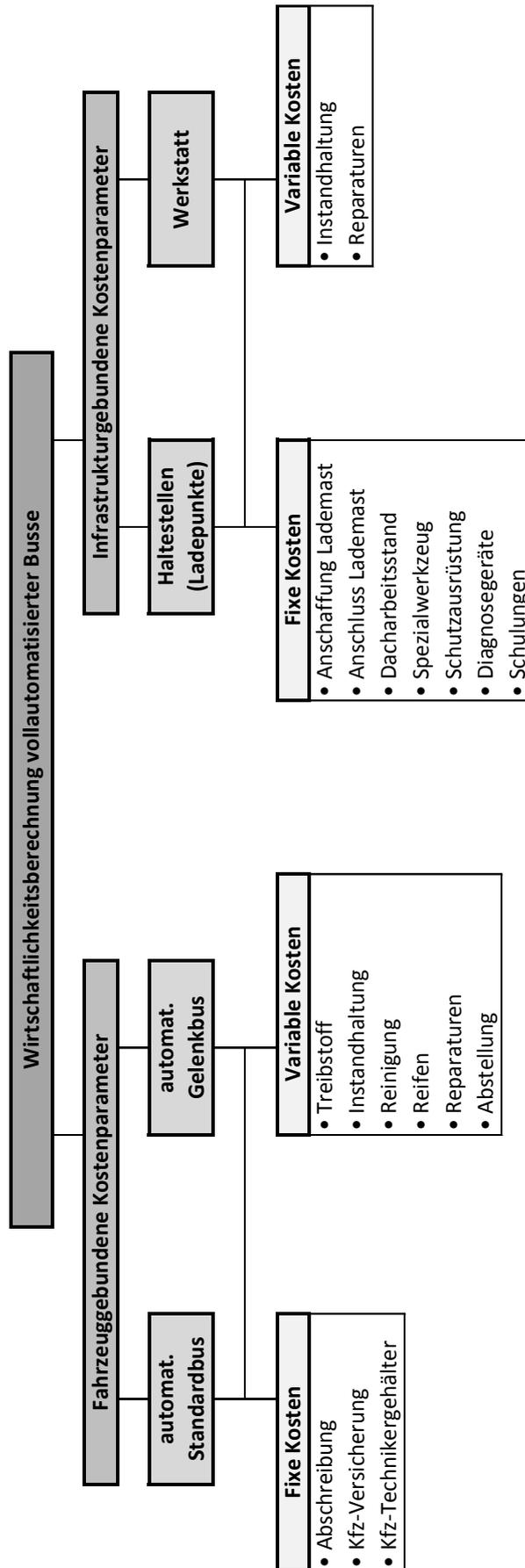


Abbildung 12: Systemskizze Kostenrechnung automatisierter Busbetrieb

Wie bei der Kostenrechnung des Betriebes konventionellen Busse, werden die Kosten in fixe und variable Kosten aufgeteilt. Ein Unterschied des Betriebes vollautomatisierter Elektrobusse, liegt in infrastrukturenbundenen Kosten, die zusätzlich anfallen um den Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse ermöglichen zu können. Ein Elektrobus verfügt über eine Batterie und einen elektrischen Motor, die es den Bus erlauben ohne fossile Brennstoffe angetrieben zu werden. Abhängig von der Batteriegröße, bestehen unterschiedliche Nachladestrategien um die Batterie von Elektrobusen im Betrieb aufzuladen [Knote et al., 2017]. Die erste Möglichkeit ist die Busse, in der Zeit in der sie nicht benutzt werden, im Betriebshof nachzuladen. Dies geschieht meistens über Nacht und wird als „Vollladen“ bzw. „Depotladen“ bezeichnet. Vollladerbusse müssen über eine ausreichend große Batterie verfügen, um durch den ganzen Tag ohne eine zusätzliche Nachladung betrieben zu werden. Wenn das nicht möglich ist, kann das Problem durch Anpassen der Anzahl verfügbarer Busse mit voller Batterie, die den Bus mit leerer Batterie im Betrieb ersetzen können, umgangen werden [Knote et al., 2017].

Die zweite Möglichkeit ist die sogenannte „Gelegenheitsladung“, bei der die Batterie der Busse an bestimmten Haltestellen für eine kurze Zeit nachgeladen werden. Da eine Vollladung, in der Zeit in der der Bus an der Haltestelle steht, nicht möglich ist, ist es notwendig mehrere strategisch wichtige Haltestellen zu elektrifizieren. Obwohl durch Gelegenheitsladungen kleinere Batterien in den Bussen eingesetzt werden können, können durch Gelegenheitsladungen teure Infrastrukturausgaben entstehen [Knote et al., 2017]. Die dritte Möglichkeit ist die Kombination von Voll- und Gelegenheitsladungen. Dabei werden Busse im Betriebshof über Nacht vollgeladen und bei Notwendigkeit an bestimmten Haltestellen Gelegenheitsgeladen. Es werden Infrastrukturkosten gespart, indem weniger Haltestellen elektrifiziert werden müssen, und der Fuhrpark kann kleiner gehalten werden, weil weniger Busse für den Austausch leergelaufener Busse im Betrieb notwendig sind [Knote et al., 2017].

Die Kosten der Elektrifizierung von Bushaltestellen beinhalten den Kauf des Lademastes, die Installation des Lademastes an der gewünschten Haltestelle und den Anschluss des Lademastes an das Stromnetz. Die Höhe der Kosten des Lademastes hängen größtenteils von der gewünschten Ladeleistung ab, die nach Knote et al. [2017] zwischen € 750 und € 1.000 pro 1.000 kW kosten. Die Anschlusskosten des Lademastes an das Stromnetz hängen von der Stromebene ab an welche der Lademast angeschlossen wird. Wegen der hohen Ladeleistung müssen Lademasten meistens an das Mittelspannungsnetz angeschlossen werden, wobei die Anschlusskosten, abhängig von der Entfernung zu einem geeigneten Anschluss, über mehrere € 10.000 betragen können. Des Weiteren fallen bei vollautomatisierten Elektrobusen Kosten für zusätzliche Werkstattausrüstung zur Wartung und Reparatur vollautomatisierter Elektrobusse an, die beim Betrieb konventioneller Busse nicht notwendig sind. Zur zusätzlichen Werkstattausrüstung gehören [Knote et al., 2017]:

- Dacharbeitsstand – für Wartungs- und Reparaturarbeiten am Dach des Busses,
- Spezialwerkzeug – für Wartungs- und Reparaturarbeiten an der Automatisierungstechnik und elektrischen Fahrzeugkomponenten,
- Schutzausrüstung – für Arbeiten an den elektrischen Fahrzeugkomponenten,
- Diagnosegeräte – für Arbeiten an Batterien elektrisch betriebener Busse und
- Schulungskosten der Mechaniker.

Die fixen und variablen Fahrzeugkosten vollautomatisierter Elektrobusse unterscheiden sich in einigen Punkten von den fixen und variablen Kosten konventioneller Busse. Neben der Einsparung von Buslenkergehältern bei vollautomatisierten Bussen und den höheren Anschaffungskosten für auto-

matisierte Elektrobusse, unterscheiden sich auch die einzelnen Punkte der variablen Kosten maßgebend von der Struktur der variablen Kosten konventioneller Busse. Der Übersicht halber werden diese Unterschiede bei den einzelnen Kostenpunkten genauer beschrieben. Für die Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse wurden die Annahmen von Bösch et al. [2018], Knotte et al. [2017], Stephens et al. [2016] und Reynolds-Feighan et al. [2000] benutzt.

Wie bei der Kostenrechnung konventioneller Busse, werden im ersten Schritt die Anschaffungskosten vollautomatisierter Elektro-Standard- und Gelenkbusse berechnet. Nach den Angaben der HGL, kostet ein Elektrobus derzeit das Zwei- bis Dreifache eines konventionellen Busses. Es wird angenommen, dass die Ausstattung eines konventionellen Busses mit der benötigten Automatisierungstechnik ca. 20% des Anschaffungspreises eines Elektrobusses kosten würde [IHS, 2014]. Wenn diese Annahmen auf die Anschaffungskosten konventioneller Busse angewandt werden, lässt sich der Anschaffungspreis eines vollautomatisierten Elektrobusses berechnen. Ein vollautomatisierter Elektro-Standardbus würde in diesem Fall ca. € 900.000 und ein vollautomatisierter Elektro-Gelenkbus ca. € 1,2 Millionen kosten. Für die Abschreibungskosten wurde, wie bei der Kostenrechnung konventioneller Busse, eine lineare Abschreibung über zehn Jahre und ohne Berücksichtigung eines Restwertes angenommen. Die daraus folgenden Abschreibungskosten für einen vollautomatisierten, elektrischen Fuhrpark, mit der gleichen Struktur wie der derzeitige Fuhrpark der HGL, würden jährliche Ausgaben von € 17,5 Millionen mit sich ziehen. Das resultiert in tägliche Buskosten zwischen € 246,58 für einen vollautomatisierten Elektro-Standardbus und € 328,77 für einen vollautomatisierten Elektro-Gelenkbus.

**Tabelle 8: Abschreibungskosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

<b>Annahmen:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleiche <b>Buskapazität</b></li> <li>• Gleiche <b>Fuhrparkstruktur</b> (Anzahl Standard- und Gelenkbusse)</li> <li>• <b>Elektrobus</b> = 2 bis 3-Fache des Anschaffungspreises eines konventionellen Busse (HGL) (benutzter Faktor 2,5)</li> <li>• <b>Ausstattung mit automatisierter Technik</b> zusätzliche 20% des Anschaffungspreises eines Elektrobusses [IHS, 2014]</li> <li>• <b>Lineare</b> Abschreibung ohne <b>Restwert</b></li> </ul>				
<b>Busgattung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anschaffungspreis</b>	<b>Buchhalterische Abschreibung [Jahre]</b>	<b>Jährliche Abschreibung</b>
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>(a*b)/c</b>
<b>Standardbus</b>	66	€ 900.000	10	€ 5.940.000
<b>Gelenkbus</b>	96	€ 1.200.000	10	€ 11.520.000
			<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 17.460.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 246,58 - € 328,77</b>

Vollautomatisierte Fahrzeuge werden dadurch charakterisiert, dass ihre Automatisierungstechnik soweit fortgeschritten ist, dass das selbstständige Lösen von alltäglichen Verkehrsaufgaben kein Problem darstellt. Dadurch entfällt die Notwendigkeit eines menschlichen Fahrer/Lenkers und somit auch die Buslenkergehälter die damit verbunden sind (siehe Abbildung 2, Seite 12). Was nicht entfällt, sind Kfz-Versicherungskosten. Diese unterscheiden sich in ihrer Höhe von den Versicherungs-

kosten konventioneller Busse. Nach der Internet-Vergleichsseite Comparis AG [2018] resultieren durch den elektrische Antrieb 35% niedrigere Versicherungskosten im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug, das mit fossilen Brennstoffen angetrieben wird. Des Weiteren nimmt Stephens et al. [2016] an, dass durch die sichere Fahrweise vollautomatisierter Fahrzeuge, bis zu 50% niedrigere Kfz-Versicherungskosten, im Vergleich zu einem nicht-automatisierten Fahrzeug, zu zahlen wären. Durch diese Annahmen betragen die jährlichen Versicherungskosten 975/automatisierten Bus. Die gesamten jährlichen Kfz-Versicherungskosten, bei einem Betrieb von ausschließlich vollautomatisierten Elektrobussen, würde die HGL ca. € 160.000 bzw. € 2,67 pro betriebenen Bus und Tag kosten.

**Tabelle 9: Kfz-Versicherungskosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

Annahmen:	
• Bis 35% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]	
• Bis 50% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]	
• <b>Busanzahl</b>	162
	x
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 975
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 157.950</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 2,67</b>

Obwohl für die Führung eines vollautomatisierten Busses kein Lenker notwendig ist und somit Buslenkerausgaben eingespart werden können, werden auch weiterhin Kfz-Techniker benötigt, die Instandhaltungs- und Reparaturaufgaben der vollautomatisierten Elektrobusse übernehmen. Hierbei wird die gleiche Anzahl Kfz-Techniker angenommen wie beim konventionellen Busbetrieb. Die jährlichen Ausgaben für Kfz-Techniker belaufen sich somit auf € 1,4 Millionen bzw. € 23,22/Bus u. Tag.

**Tabelle 10: Kfz-Technikergehälter vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

• <b>Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter</b>	50
	x
• <b>Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]</b>	€ 27.458
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 1.372.900</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 23,22</b>

Der nächste Punkt bei den fixen Kosten sind die infrastrukturegebundenen Kosten. Diese beinhalten die Elektrifizierung einer bestimmten Anzahl Haltestellen und die zusätzliche Werkstattausrüstung, die für Wartungs- und Reparaturarbeiten von vollautomatisierten Elektrobussen notwendig sind. Für die Berechnung der Infrastrukturausgaben wurde angenommen, dass die Batterie der Elektrobusse durch Gelegenheitsladungen aufgeladen werden und keine zusätzlichen Ladegeräte im Betriebshof zur Vollladung benutzt werden. Als Vorlage wurde die Berechnung von Knotte et al. [2017, S. 40] benutzt. Die Leistung der Lademasten wurde mit 300 kW angenommen, was in Anschaffungskosten für

den Lademast von ca. € 300.000 resultiert, wobei die Installationskosten des Lademastes bereits inkludiert sind. Unter der Annahme, dass der Lademast an das Mittelspannungsnetz angeschlossen wird und zusätzliche Kosten für den Mittelspannungs-Niederspannungstransformator anfallen, betragen die Anschlusskosten des Lademastes ca. € 85.000. Die Nutzungsdauer des Lademastes beträgt 20 Jahre und für den Anschluss des Lademastes 30 Jahre [Knote et al., 2017]. Nach Angaben der HGL, müssten bei einem 100%-igen Betrieb von Elektrobussen in Graz, 40 Bushaltestellen elektrifiziert werden. Die Elektrifizierung der Bushaltestellen würde jährliche Ausgaben von ca. € 700.000, für einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren bedeuten. Das gleicht täglichen Ausgaben von € 12,06/Bus. Weil die Elektrifizierung der Bushaltestellen unabhängig von der Busgattung ist, werden die Ladeinfrastrukturkosten nicht zwischen täglichen Kosten für Standard- bzw. Gelenkbusse unterschieden.

**Tabelle 11: Ladeinfrastrukturkosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gelegenheitsladung</b></li> <li>• bei <b>100% Betrieb</b> elektrischer Busse = ca. 40 Ladehaltestellen notwendig (Angabe HGL)</li> <li>• <b>Ladestation</b> ca. € 300.000 (inkl. <b>Installation</b> des Lademastes) [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladestation 20 Jahre [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 85.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 30 Jahre [Knote et al., 2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	40
	x
• <b>Ladestation</b>	(€ 300.000/20 Jahre
	+
• <b>Anschlusskosten Ladestation</b>	€ 85.000/30 Jahre)
	<b>€ 713.333</b>
	<b>€ 12,06</b>

Die Kosten für die zusätzliche Werkstattausrüstung, die bei einem 100%-igen Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse anfallen, wurden aus der Arbeit von Knote et al. [2017] übernommen und für die Busanzahl der HGL angepasst. Knote et al. [2017] geht davon aus, dass für 150 Busse ein 18 Meter langer Dacharbeitsstand inkl. Krananlage von einer Tonne, im Wert von € 165.000 notwendig ist. Weitere Werkstattausrüstung die anfällt beinhaltet Spezialwerkzeug im Wert von € 8.000, Diagnoseausrüstung für Elektrobusse im Wert von € 95.000 und Schutzausrüstung im Wert von € 2.000. In Summe beträgt die zusätzliche Werkstattausrüstung € 105.000. Man kann davon ausgehen, dass die HGL derzeit einige der notwendigen Werkstattausrüstung, wie beispielsweise Diagnosegeräte für den Betrieb von Elektrobussen und/oder Werkzeug, besitzt. Zu der Ausrüstung für einen 100%-igen Elektrobus-Betrieb kommen noch Werkstattkomponenten für die Wartung und Reparaturarbeiten von vollautomatisierten Elektrobussen dazu. Unter der Berücksichtigung dieser Annahmen, wurde für die Kosten der zusätzlichen Werkstattausrüstung ein Wert von € 100.000 angenommen. Die Nutzungsdauer der Werkstattausrüstung beläuft sich auf 20 Jahre für den Dacharbeitsstand inkl. Krananlage und je fünf Jahre für das Spezialwerkzeug, die Diagnosegeräte und Schutzausrüstung [Knote et al., 2017].

Neben der materiellen Werkstattausrüstung nimmt Knotte et al. [2017] an, dass zusätzliche Mechanikerschulungen für die Arbeit an Elektrobussen notwendig wären. Pro Mechaniker fallen dabei ca. € 285 an. Um die angenommenen 50 Kfz-Techniker, die bei HGL angestellt sind, für die Arbeit an vollautomatisierten Elektrobussen zu schulen, würden Kosten von ca. € 14.000 anfallen. Des Weiteren wird angenommen, dass mit Weiterentwicklungen auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens und dem elektrischen Antrieb, die Mechanikerschulungen alle 5 Jahre wiederholt werden müssen. Für den Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse fallen Werkstattkosten von ca. € 280.000 an. Auf die Nutzungsdauer der Werkstattausrüstung umgerechnet, betragen die jährlichen Werkstattkosten € 31.000 bzw. ca. € 0,53/Bus u. Tag. Ähnlich wie bei der Ladeinfrastruktur, wird davon ausgegangen, dass die gleiche Werkstattausrüstung für Arbeiten an Standard- und Gelenkbussen benutzt wird, weswegen die täglichen Werkstattkosten für alle Busgattungen gleich sind.

**Tabelle 12: Werkstattausrüstung vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

<b>Annahmen [Knotte et al., 2017]:</b>	
• <b>Dacharbeitsstand inkl. Krananlage</b> € 165.000	
• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre	
• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 100.000 (Nutzungsdauer: 5 Jahre)	
• <b>Schulungskosten</b> ca. € 14.000 (Annahme: 50 Mechaniker)	
• Wiederholung der Schulung alle 5 Jahre	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 165.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 100.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 14.000/5 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 31.050</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 0,53</b>

Für die Berechnung der variablen Kosten im vollautomatisierten, elektrischen Busbetrieb, wurden die Annahmen aus Bösch et al. [2018] übernommen und auf den Betriebe konventioneller Busse der HGL angewandt. Die erste Annahme die getroffen wurde, ist, dass durch den niedrigeren Treibstoffverbrauch und niedrigere Stromkosten bei einem Betrieb von elektrischen Bussen bis zu 50% der Treibstoffkosten eingespart werden können [Bösch et al., 2018]. Stephens et al. [2016] nimmt an, dass durch die effizientere Fahrt vollautomatisierter Fahrzeuge, beispielsweise durch wenige Bremsvorgänge, Geschwindigkeitsanpassung und kurze Haltezeiten bei Rotlicht, weitere 10% der Treibstoffkosten eingespart werden können. Durch die komplizierte Arbeitsweise von Elektrobussen und die Notwendigkeit des Austausches der Batterien nach einer bestimmten Zeit, geht das Institut für Automobilwirtschaft, kurz IFA [2012], davon aus, dass Elektrofahrzeuge, im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen, bis zu 28% höhere Instandhaltungskosten aufweisen. Zu den Kosten des Betriebes konventioneller Busse, kommen beim Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse zusätzlich die Instandhaltungskosten der Ladeinfrastruktur dazu. Knotte et al. [2017] geht von zusätzlichen Ausgaben von 2% der Investitionskosten für die gesamte Elektrifizierung der Bushaltestellen aus. Im Fall der HGL betragen die Gesamtkosten für die Elektrifizierung der 40 Bushaltestellen ca. € 710.000, wovon 2% bzw. € 14.000, als jährliche Instandhaltungskosten anfallen.

Weil in vollautomatisierten Bussen kein Buslenker vorhanden ist, kann man davon ausgehen, dass einige Fahrgäste weniger auf die Hygiene in den Bussen achten bzw. eher randalieren und die Innenausstattung der Busse verschmutzen werden. Es ist eine nachvollziehbare Annahme, dass die Reinigungskosten vollautomatisierter Elektrobusse durch diese Gegebenheiten bis zu 50% höher ausfallen als bei einem Betrieb konventioneller Busse, in dem Fahrgäste wegen dem Lenker eher auf ihr Verhalten achten. Es wurde angenommen, dass vollautomatisierte Elektrobusse keinen signifikanten Einfluss auf die Reifenabnutzung und/oder Kosten für einen Reifenaustausch ausüben. Um den Einfluss der Automatisierungstechnik und des elektrischen Antriebes auf die variablen Kosten konventioneller Busse aufzuzeigen, wurde davon ausgegangen, dass beim Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse jährlich gleichviel Kilometer gefahren werden wie beim Betrieb konventioneller Busse. Unter der Berücksichtigung aller bislang genannten Annahmen, errechnen sich variable Kosten von ca. € 1,26 bis € 1,65 pro gefahrenen Buskilometer. Das stellt eine leichte Verbesserung im Vergleich zum konventionellen Busbetrieb dar, bei dem die variable Kosten zwischen € 1,3 und € 1,7 betragen.

**Tabelle 13: Variable Kosten vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automatisierte Busse um bis zu 10% niedriger als bei konventionellen Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Instandhaltungskosten</b> für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von ca. 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei automatisierten Betrieb</li> <li>• Gleiche Anzahl gefahrener Buskilometer/Jahr</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variablen Kosten/Buskilometer (Busgattungsabhängig)</b></li> <li>• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b></li> <li>• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 37%)</b></li> <li>• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b></li> <li>• <b>Reinigung (ca. 16%)</b></li> <li>• <b>Reifen (ca. 3%)</b></li> <li>• <b>Reparaturen u. Abstimmung (ca. 28%)</b></li> </ul>	<p>€ 1,26 - € 1,65</p> <p>€ 0,20 - € 0,26</p> <p>€ 0,46 - € 0,61</p> <p>€ 0,002</p> <p>€ 0,20 - € 0,26</p> <p>€ 0,04 - € 0,05</p> <p>€ 0,36 - € 0,47</p> <p>x</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Jährlich gefahrene Kilometer (2017)</b></li> </ul>	<p>9.000.000</p>
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 13.437.900</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.718.950</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 96,04 - € 125,72</b>

Durch die getroffenen Annahmen, unterscheidet sich die Kostenstruktur der variablen Kosten vollautomatisierter Elektrobusse im Vergleich zum Betrieb konventioneller Busse. Die größten Einsparungen beim Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse lassen sich bei den Treibstoffkosten erzielen. Die-

se betragen für den vollautomatisierten, elektrischen Busbetrieb € 0,20 bis € 0,26 pro gefahrenen Buskilometer, während sie beim konventionellen Busbetrieb noch bei € 0,44 bis € 0,57 pro gefahrenen Buskilometer lagen. Die größte Ausgabenerhöhung ist bei den Instandhaltungskosten zu erkennen. Für die Instandhaltung vollautomatisierter Elektrobusse sind Ausgaben in Höhe von € 0,46 bis € 0,61 pro gefahrenen Buskilometer erforderlich. Beim Betrieb konventioneller Busse lagen diese noch bei € 0,36 bis € 0,48 pro gefahrenen Buskilometer. Die jährlichen variablen Kosten im vollautomatisierten Busbetrieb, inkl. möglicher Staatssubventionen von 50% der variablen Kosten, belaufen sich auf ca. € 6,7 Millionen bzw. liegen zwischen € 96,04 und € 125,72 pro Bus u. Tag.

Die Gesamtkosten im vollautomatisierten, elektrischen Busbetrieb sind in der Tabelle 14 dargestellt. Im Vergleich zum konventionellen Betrieb ist ersichtlich, dass sich die jährlichen Gesamtausgaben nicht signifikant von einander unterscheiden. Durch die Einsparungen im Lohnkostenbereich und die niedrigeren Kfz-Versicherungskosten ist der Betrieb von vollautomatisierten Elektrobusen am Beispiel des Fuhrparks der HGL mit niedrigeren Jahresausgaben verbunden als beim konventionellen Busbetrieb. Die täglichen Buskosten liegen zwischen € 2,50 und € 3,24. Wichtig zu erwähnen ist, dass obwohl der Betrieb vollautomatisierter Elektro-Gelenkbusse mit höheren Kilometerkosten verbunden ist als der Betrieb konventioneller Gelenkbusse, weiterhin niedrigere Kilometerkosten durch die Fuhrparkstruktur der HGL zu erzielen sind (siehe Tabelle 17, Seite 45), weil der Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standardbusse niedriger ist als der Betrieb konventioneller Standardbusse.

**Tabelle 14: Gesamtausgaben vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

• Abschreibung	€ 17.460.000
• Kfz-Versicherung	€ 157.950
• Kfz-Technikergehälter	€ 1.372.900
• Ladeinfrastruktur	€ 713.333
• Werkstattausrüstung	€ 31.050
• Variable Kosten	€ 6.718.950
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 26.454.183</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 381,10 - € 492,97</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 2,50 - € 3,24</b>

Der Kostenpunkt der derzeit noch höhere Einsparungen im vollautomatisierten Elektrobusbetrieb verhindert ist der hohe Anschaffungspreis vollautomatisierter Busse. Durch die hohen Kosten der Fahrzeugautomatisierung und -elektrifizierung sind die Anschaffungskosten eines vollautomatisierten Elektrobusses um 200% höher als bei einem konventionellen Bus. Dazu kommen noch die Kosten für die Ladeinfrastruktur und zusätzliche Werkstattausrüstung, die bei einem Betrieb konventioneller Busse nicht notwendig sind. Die größten Einsparungen bei einem Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse können im Personalbereich verbucht werden. Durch den Entfall eines menschlichen Lenkers können jährlich ca. € 12,2 Millionen an Buslenkergehältern eingespart werden. Das stellt gleichzeitig den größten wirtschaftlichen Vorteil vollautomatisierter Elektrobusse für Verkehrsunternehmen dar. Bei den Kfz-Versicherungen können weitere 67,5% der Ausgaben konventioneller Busse eingespart werden. Durch die niedrigeren variablen Kilometerkosten können ca. € 200.000 bzw. ca. 3% der variablen jährlichen Ausgaben des Betriebes konventioneller Busse eingespart werden.

Es ist davon auszugehen, dass mit der Entwicklung kostengünstigerer elektrischer Antriebe, durch neue Marktanbieter und erhöhte Konkurrenz am Fahrzeugmarkt, auch der Anschaffungspreis für Elektrobusse zukünftig fallen wird. Um den möglichen Einfluss günstigerer Elektrobusse auf den vollautomatisierten Elektrobus-Betrieb zu veranschaulichen, wurde eine weitere Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse durchgeführt, unter der Annahme eines angepassten Anschaffungspreises für Elektrobusse. Es wurde angenommen, dass ein Elektrobus nicht das Zwei- bis Dreifache eines konventionellen Busses kostet, wie das nach Angaben der HGL derzeit der Fall ist, sondern ca. 50% teurer ist als ein gleich großer konventioneller Bus. Alle übrigen Kostenpunkte des Betriebes vollautomatisierter Elektrobusse blieben gleich.

**Tabelle 15: Abschreibungskosten bei angepassten Anschaffungspreis für Elektrobusse**

<b>Annahmen:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleiche <b>Buskapazität</b></li> <li>• Gleiche <b>Fuhrparkstruktur</b> (Anzahl Standard- u. Gelenkbusse)</li> <li>• <b>Elektrobus = 50% teurer als ein konventioneller Bus</b></li> <li>• <b>Ausstattung mit autom. Technik</b> zusätzliche 20% des Anschaffungspreises eines Elektrobusse [IHS, 2014]</li> <li>• <b>Lineare</b> Abschreibung ohne <b>Restwert</b></li> </ul>				
<b>Busgattung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anschaffungspreis</b>	<b>Buchhalterische Abschreibung [Jahre]</b>	<b>Jährliche Abschreibung</b>
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>(a*b)/c</b>
Standardbus	66	€ 540.000	10	€ 3.564.000
Gelenkbus	96	€ 720.000	10	€ 6.912.000
<b>Kosten/Jahr</b>				<b>€ 10.476.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>				<b>€ 147,95 - € 197,26</b>

In Tabelle 15 ist zu erkennen, dass durch den günstigeren Anschaffungspreis elektrisch angetriebener Busse, eine Einsparung von 40% bei den jährlichen Abschreibungskosten, im Vergleich zu einem Anschaffungspreis der das Zwei- bis Dreifachen eines konventionellen Busses beträgt, zu erzielen sind. Der günstigere Anschaffungspreis resultiert in diesem Fall in täglichen Abschreibungskosten/Bus zwischen € 147,95 und € 197,26. Durch den niedrigen Anschaffungspreis elektrisch angetriebener Busse könnten die Jahresausgaben im Vergleich zum konventionellen Busbetrieb bis zu 27% gesenkt werden (siehe Tabelle 17, Seite 45). Der Betrieb eines vollautomatisierten Elektrobusse würde in diesem Fall in Kilometerkosten zwischen € 1,86 und € 2,75 resultieren (konventioneller Betrieb zwischen € 2,75 und € 3,13).

**Tabelle 16: Jahresausgaben vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb, unter der Annahme eines niedrigeren Anschaffungspreises elektrischer Busse**

• Abschreibung	€ 10.476.000
• Kfz-Versicherung	€ 157.950
• Kfz-Technikergehälter	€ 1.372.900
• Ladeinfrastruktur	€ 713.333
• Werkstattausrüstung	€ 31.050
• Variable Kosten	€ 6.718.950
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 19.470.183</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 282,47 - € 361,46</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 1,86 - € 2,75</b>

In der Tabelle 17 ist erkennbar, dass sich die variablen Kosten/Bus u. Tag beider Betriebsmöglichkeiten nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Des Weiteren ist auffallend, dass die zusätzliche Ladeinfrastruktur und Werkstattausrüstung eines automatisierten Elektrobus-Betriebes weniger als 3% der Gesamtkosten ausmachen. Damit wird die Wirtschaftlichkeit automatisierter Busse grundsätzlich über den Anschaffungspreis der Elektrobusse bestimmt und der Frage, bis zu welchem Wert die hohen Anschaffungspreise elektrischer Busse durch Lohnersparungen finanziert werden können.

**Tabelle 17: Kostenvergleich konventioneller vs. vollautomatisierter Elektrobus-Betrieb**

Kostenpunkt	Konventioneller Busbetrieb		Automatisierter Busbetrieb		Autom. Busbetrieb Preisanpassung	
	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk
Abschreibung	€ 82,19	€ 109,59	€ 246,58	€ 328,77	€ 147,95	€ 197,26
Kfz-Versicherungskosten	€ 8,22		€ 2,67		€ 2,67	
Buslenkergehälter	€ 206,32		-		-	
Kfz-Technikergehälter	€ 23,22		€ 23,22		€ 23,22	
Ladeinfrastruktur	-		€ 12,06		€ 12,06	
Werkstattausrüstung	-		€ 0,53		€ 0,53	
Variable Kosten	€ 98,94	€ 129,38	€ 96,04	€ 125,72	€ 96,04	€ 125,72
• Treibstoff	€ 33,64	€ 43,99	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06
• Instandhalt. Fahrzeuge	€ 27,70	€ 36,23	€ 35,48	€ 46,45	€ 35,48	€ 46,45
• Instandhalt. Ladeinfrastruk.	-		€ 0,15		€ 0,15	
• Reinigung Fahrzeuge	€ 9,89	€ 12,94	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06
• Reifen	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88
• Reparaturen u. Abstimmung	€ 24,74	€ 32,35	€ 26,80	€ 35,12	€ 26,80	€ 35,12
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 418,89</b>	<b>€ 476,74</b>	<b>€ 381,10</b>	<b>€ 492,97</b>	<b>€ 282,47</b>	<b>€ 361,46</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag (Busmix HGL)</b>	<b>€ 453,17</b>		<b>€ 447,39</b>		<b>€ 329,28</b>	
<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 2,75</b>	<b>€ 3,13</b>	<b>€ 2,50</b>	<b>€ 3,24</b>	<b>€ 1,86</b>	<b>€ 2,75</b>
<b>Kosten/Bus-km. (Busmix HGL)</b>	<b>€ 2,97</b>		<b>€ 2,94</b>		<b>€ 2,39</b>	
<b>Unterschied in %</b>	<b>0,0%</b>		<b>1,3%</b>		<b>27,3%</b>	

Der Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse, kann bei ausgereifter Technik, in einigen Bereichen Einsparungen mit sich bringen. Nichtsdestotrotz, muss in Gedanken behalten werden, dass bei einigen Kostenpunkten Annahmen getroffen wurden, die sich zukünftig als falsch herausstellen können und somit die Kostenrechnung vollautomatisierter Fahrzeuge beeinflussen könnten. Obwohl der Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse in einigen Fällen Einsparungen bringen kann, sollten die berechneten Werte, wegen der Vielzahl getroffener Annahmen, kritisch betrachtet werden. Zusätzlich zu beachten ist, dass bei den Berechnungen in dieser Arbeit von einem 100%-igen Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse ausgegangen wurde. Ob so ein Betrieb sinnvoll und technisch möglich ist, und wenn ja, in welchen Städten ein 100%-iger Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse umsetzbar wäre, liegt außerhalb der Grenzen dieser Arbeit und wird in weiterer Folge nicht näher betrachtet.

### 4.3 Kostenrechnung Kleinbus

Eine weitere Möglichkeit die Wirtschaftlichkeit vollautomatisierter Elektrobusse zu berechnen, ist anstelle der Benutzung vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbussen, die Kostenrechnung für bereits bestehender automatisierte Kleinbusse zu verwenden. Für diese Berechnung bietet sich das Modell Arma DL4, des französischen Fahrzeugherstellers Navya, an. Weil die Kosten eines Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen, derzeit nicht ausreichend erforscht sind, wurde als Grundlage die Kosten für den Betrieb eines konventionellen Kleinbusses herangezogen und auf diese Kosten die bereits vorgestellten Annahmen zum Betrieb vollautomatisierter Busse aus Kap. 4.2 angewandt. Daten zur Betriebskostenzusammenstellung konventioneller Kleinbusse sind in Bösch et al. [2018] zu finden (Näheres dazu im Kap. 4.3.1). Wie bei der Kostenrechnung vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbusse, werden auch hier die Kosten in fixe und variable Kosten aufgeteilt. Weil derzeit in keiner größeren Stadt ausschließlich vollautomatisierte Elektro-Kleinbusse im ÖPNV betrieben werden, wurden in der Kostenrechnung unterschiedliche Betriebs-szenarien angenommen.

Derzeit bestehen zwei Möglichkeiten einen Navya Arma DL4 als Verkehrsunternehmen anzuschaffen. Die erste besteht darin einen Navya Arma DL4 zu mieten und in den monatlichen Mietkosten bestimmte Dienstleistungen von Navya angeboten zu bekommen. Die zweite Möglichkeit ist einen Arma DL4 direkt von Navya zu kaufen und alle Kosten, die durch den Betrieb des automatisierten Kleinbusses entstehen, selbst zu übernehmen. In diesem Fall ist der Betreiber auch Inhaber des Kleinbusses und für die Deckung aller anfallender Kosten selbst verantwortlich.

Die Kostenrechnung wurde für insgesamt drei unterschiedliche Betriebsszenarien und für beide Anschaffungsmöglichkeiten eines Navya Arma DL4 durchgeführt. Es wurden somit insgesamt sechs unterschiedlichen Kostenrechnungen des Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen durchgeführt. Des Weiteren werden im Folgenden, wegen der Ähnlichkeit der Kostenrechnung der einzelnen Betriebsszenarien, je ein Betriebsszenario für jede Anschaffungsmöglichkeit genauer erklärt. Um die Kosten der zwei Anschaffungsmöglichkeiten miteinander vergleichen zu können, wird das gleiche Betriebsszenario für beide Anschaffungsmöglichkeiten angenommen. Somit unterscheiden sich nur die Anschaffungsarten der Navya Arma DL4, die Betriebsumgebung bleibt in beiden Fällen identisch. Die Ergebnisse der Kostenrechnung der übrigen Betriebsszenarien sind dem Anhang 9 zu entnehmen. Um die Kostenrechnung für einen Navya Arma DL4 durchführen zu können, müssen einige Charakteristiken des Kleinbusses bekannt sein.

Nach Angaben von Navya [2018] besitzt der Navya Arma DL4-Kleinbus folgende, für die Kostenrechnung wichtige, Eigenschaften [Navya, 2018]:

- Kapazität: 15 Plätze
- Maximale Fahrgeschwindigkeit: 25 km/h
- Ladezeit: 8 Stunden (3,6 kW Anschluss) bzw. 4 Stunden (7,1 kW Anschluss)

#### 4.3.1 Miete Navya Arma DL4

Für die Kostenrechnung des ersten Betriebsszenarios wird angenommen, dass ein Navya Arma DL4-Kleinbus gemietet wird. Zusätzlich wird angenommen, dass Navya die benötigte Menge von Arma DL4-Kleinbussen für einen 100%-igen automatisierten Betrieb liefern kann, obwohl dies, wegen der berechneten Anzahl benötigter Kleinbusse, derzeit eher als unrealistisch zu betrachten ist. Das angenommene Betriebsszenario zeigt die folgenden Eigenschaften auf:

- Heutiger Stand der Technik bzw. niedrigere Reisegeschwindigkeit und Beschleunigung des Navya Arma DL4 im Vergleich zu konventionellen Bussen,
- Durch die leichtere Anpassung von Nachfrage und Angebot und durch die Möglichkeit auf Strecken mit weniger Fahrgästen kleinere Busse einzusetzen, wird ein leicht erhöhter Belegungsgrad von 40% angenommen (Belegungsgrad konventioneller Busbetrieb: ca. 16%, siehe Tabelle 1, Seite 30),
- 30% der benötigten Navya Arma DL4 stehen geparkt für mögliche Ausfälle oder Einsatz in Hauptverkehrszeiten und
- Es wird von einem Fahrplanbetrieb mit fixen Routen ausgegangen.

Navya bietet derzeit die Möglichkeit einen Arma DL4-Kleinbus für ca. € 9.500/Monat und für 48 Monate zu mieten [Insideevs, 2017]. In den Mietkosten übernimmt Navya die Instandhaltung der Fahrzeuge, sowie die 24 Stunden-Überwachung und die Kfz-Versicherungskosten. Es wird angenommen, dass Navya einen Rabatt von 30% anbieten könnte, wenn mehrere Kleinbusse gemietet werden.

Um die Benötigte Anzahl von Navya Arma DL4-Kleinbussen, um die Fahrgastzahlen vom Winter 2017 bewältigen zu können, zu berechnen, benötigt es mehrerer Schritte. Erstens wird die Anzahl der „effektiven“ Plätze konventioneller Busse berechnet. Das ist die Platzanzahl, die bei einem 100%-igen Belegungsgrad notwendig wären, um die Fahrgastzahlen vom Winter 2017 befördern zu können. Die derzeitige Busflotte der HGL besteht aus 66 Standardbussen mit einer Kapazität von 65 Plätzen und 96 Gelenkbussen mit einer Kapazität von 102 Plätzen. Dies ist gleichzustellen mit 14.082 Plätzen der gesamten Busflotte. Angenommen das täglich 70% der Busse im Einsatz sind und die übrigen 30% für Wartungsaufgaben im Betriebshof geparkt sind, kommt man auf eine Anzahl von 9.858 benutzten Plätzen im Straßenverkehr. Wenn diese Anzahl mit dem tatsächlichen durchschnittlichen Belegungsgrad von 15,8% (siehe **Tabelle 1**, Seite 30) multipliziert wird, bekommt man die Anzahl der „effektiven“ Plätze im Straßenverkehr der HGL. Diese Anzahl dividiert mit 6 Plätzen (Belegungsgrad 40%), der für einen Betrieb des Navya Arma DL4 angenommen wurde, und man bekommt die Anzahl der Navya Arma DL4-Kleinbusse, die notwendig wären um theoretisch, und unter Einsatz aller Kleinbusse, die gleiche Fahrgastanzahl wie im konventionellen Busbetrieb befördern zu können. Dies sind in diesem Fall 260 Navya Arma DL4-Kleinbusse. Auf diese Anzahl werden weitere 25% Kleinbusse hinzugerechnet, weil die Batterie des Arma DL4 keinen ganztägigen Einsatz ermöglicht (durchschnittli-

cher täglicher Einsatz konventioneller Busse liegt nach Angaben der HGL bei über 12 Stunden/Bus) und eine Gelegenheitsladung beim Arma DL4 nicht möglich ist. Das bedeutet, dass die Kleinbusse nur im Betriebshof aufgeladen werden können. Zusätzlich werden 30% der Busanzahl für den Einsatz in HVZ oder bei Betriebsstörungen als im Betriebshof geparkt angenommen. Auf die berechnete Busanzahl von 423 Kleinbussen wurden wegen der derzeitig noch niedrigen Beschleunigung und Reisegeschwindigkeit vollautomatisierter Kleinbusse im Vergleich zu konventionellen Bussen, weitere 50% benötigter Kleinbusse in Rechnung gestellt, um die niedrigere Reisegeschwindigkeit durch einen dichteren Fahrplan kompensieren zu können. Am Ende beläuft sich die Anzahl der benötigten Navya Arma DL4-Kleinbusse auf 635. Unter der Annahme einer gleichen buchhalterischen Nutzungsdauer wie bei konventionellen Bussen, ergeben sich jährliche Mietkosten von € 50,7 Millionen bzw. tägliche Buskosten von € 218,63.

**Tabelle 18: Mietkosten Kleinbus**

Busgattung	Anzahl	Monatliche Miete	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Mietkosten
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	635	€ 6.650	10	<b>€ 50.673.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 218,63</b>

Weil Navya in den Mietkosten auch die Kfz-Versicherungskosten übernimmt, sind keine weiteren Berechnung für die Versicherung der Kleinbusse notwendig. Wie beim Einsatz vollautomatisierter Elektro-Standard- und Gelenkbussen, benötigen die vollautomatisierter Navya Arma DL4-Kleinbusse technisch gesehen keinen menschlichen Lenker um am Straßenverkehr teilnehmen zu können. Obwohl Navya, bei Miete der Kleinbusse, die Instandhaltungsarbeiten übernimmt, ist nicht bekannt ob auch Reparaturaufgaben/-kosten durch Navya übernommen werden. Es wird angenommen, dass anfallende Reparaturkosten durch den Betreiber selbst zu übernehmen wären. Anders als beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbusse, bei dem angenommen wurde, dass ein Kfz-Techniker die Instandhaltung und Reparatur von ca. 3 Bussen übernehmen kann [Knote et al., 2017], wurde durch den Entfall der Instandhaltungsaufgaben bei Miete des Arma DL4 angenommen, dass ein Kfz-Techniker die Reparaturaufgaben von ca.10 Kleinbussen übernehmen kann. Diese Annahmen resultieren in einer Anzahl von 64 angestellten Kfz-Technikern. Das Jahresbruttogehalt bleibt im Vergleich zum Betrieb konventioneller Busse unverändert.

**Tabelle 19: Miete Kleinbus – Kfz-Technikergehälter**

• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	64	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 1.757.312</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 7,58</b>

Für die Berechnung der benötigten Ladeausrüstung wird von den Kleinbussen als Vollloader ausgegangen. Des Weiteren wird angenommen, dass ein Ladegerät mit einem Ladeanschluss von 7,2 kW ca. 4 Stunden benötigt um einen Kleinbus aufzuladen [Navya, 2018]. Somit wäre es möglich über Nacht

zwei Kleinbusse mit einem Ladegerät aufzuladen. Nach Knotte et al. [2017] liegen die Anschaffungskosten für ein identisches Ladegerät bei ca. € 20.000 und die Anschlusskosten betragen ca. € 10.000. Die Nutzungsdauer der Ladegeräte beträgt 20 Jahre und des Anschlusses 14 Jahre. Bei einem Betrieb von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen würden ca. € 545.000 jährliche Investitionskosten für die benötigte Ladeausrüstung anfallen.

**Tabelle 20: Miete Kleinbus – Ladeausrüstung**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vollladung</b></li> <li>• <b>0,5 Ladegerät/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladenzeit/Kleinbus 4 Stunden [Navya, 2018])</li> <li>• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knotte et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knotte et al.,2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knotte et al.,2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knotte et al.,2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	318
	x
• <b>Jahreskosten pro Ladestation</b>	(€ 20.000/20 Jahre
	+
• <b>Jahreskosten pro Anschluss</b>	€ 10.000/14 Jahre)
	<b>€ 544.286</b>
	<b>€ 2,35</b>

Für die Berechnung der benötigten Werkstattausrüstung wurde angenommen, dass für die Durchführung von Reparaturaufgabe von Seite des Betreibers, bestimmte Werkstattausrüstung gegeben sein muss. Anders als bei der Übernahme der gesamten Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten durch den Betreiber, wie es beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Gelenkbusse der Fall ist, wurde hier davon ausgegangen, dass nur ca. 50% der benötigten Werkstattausrüstung vorhanden sein muss, da die Instandhaltungsarbeiten in der Miete inbegriffen sind und dadurch weniger Kosten für Spezialwerkzeug, Diagnosegeräte und Schutzausrüstung anfallen.

Ein weiterer positiver Effekt der Übernahme der Instandhaltungsarbeiten durch Navya ist die Möglichkeit für den Betreiber der Kleinbusse, weniger Mechaniker für Reparaturaufgaben einstellen zu müssen, was die Mechanikerschulungskosten senkt. Im Vergleich zum Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbussen, bei dem 50 Kfz-Techniker beschäftigt waren, fallen durch die hohe Anzahl betriebener Kleinbusse und insgesamt mehr angestellten Kfz-Technikern weiterhin höhere Schulungskosten an. Das resultiert in jährlichen Kosten für benötigte Werkstattausrüstung und Mechanikerschulungen in Höhe von € 65.300 bzw. € 0,28/Kleinbus u. Tag. Die niedrigen täglichen Buskosten im Vergleich zu den € 0,53/Bus u. Tag beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbusse, ergeben sich durch die hohe Anzahl betriebener Kleinbusse und der gleichmäßigen Verteilung der jährlichen Werkstattkosten auf den Gesamten Fuhrpark.

**Tabelle 21: Miete Kleinbus – Werkstattausrüstung**

<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
• <b>2 Dacharbeitsstände inkl. Krananlage</b> € 330.000	
• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre	
• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 225.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)	
• <b>Schulungskosten</b> ca. € 19.000 (Annahme: 64 Mechaniker)	
• Wiederholung der Schulung alle 5 Jahre	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 330.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 225.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 19.000/5 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 65.300</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 0,28</b>

Für die Berechnung der variablen Kilometerkosten wird als Grundlage die variablen Kosten konventioneller Kleinbusse aus Bösch et al. [2018] übernommen und die bereits im Kap. 4.2 vorgestellten Annahmen für den Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse angewandt. Die variablen Kosten des Betriebes eines konventionellen Kleinbusses sind in der Tabelle 22 dargestellt. Bösch et al. [2018] geht bei einem Kleinbus von einem Mercedes-Benz Sprinter aus.

**Tabelle 22: Variablen Kosten Kleinbus aus Bösch et al. [2018]**

<b>Kostenpunkt</b>	<b>Bösch et al. [2018] CHF/100 km</b>	<b>Umrechnung in €/100 km (Kurs Oktober 2018)</b>	<b>Umrechnung in €/km</b>
<b>Treibstoff</b>	20,30	17,83	0,18
<b>Instandhaltung</b>	12,80	11,24	0,11
<b>Reinigung</b>	5,00	4,39	0,04
<b>Reifen</b>	2,00	1,76	0,02

Auf die Kilometerkosten in Euro eines Kleinbusses wurden in weiterer Folge die Annahmen für einen Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse aus Kap. 4.2 angewandt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 23 dargestellt. Die niedrigere Buskapazität von Kleinbussen im Vergleich zu Standard- und Gelenkbussen, und die daraus resultierende höhere benötigte Anzahl an Kleinbussen für die Beförderung der gleichen Fahrgastzahlen wie im konventionellen Busbetrieb, ziehen gleichzeitig auch höhere gefahrene jährliche Buskilometer mit sich. Es wurde angenommen, das jährlich ca. das Dreifache an Buskilometern gefahren wird im Vergleich zum konventionellen Busbetrieb. Im Vergleich zu variablen Kosten zwischen € 1,3 und € 1,7 des konventionellen Busbetriebes, ergeben sich für den Betrieb vollautomatisierter Elektro-Kleinbusse variable Kilometerkosten von ca. € 0,35. Wichtig zu erwähnen ist, dass diese Kilometerkosten keine Instandhaltungskosten beinhalten, da diese von Navya selbst übernommen werden und bereits in den monatlichen Mietkosten abgedeckt sind. Den größten Teil der variablen Kosten vollautomatisierter Elektro-Kleinbusse bilden, wegen der komplizierten Technik und

der hohen Anzahl an Fahrzeugen, mit ca. 51% die Reparatur- und Abstellungskosten. Die kleinsten Kosten, wie bereits beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbusse, entstehen, mit 6% der variablen Kosten, durch Abnutzung und Wechsel von Reifen.

**Tabelle 23: Miete Kleinbus – Variable Kosten**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automatisierter Busse um bis zu 10% niedriger als bei konventionellen Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Wartungskosten</b> fallen weg (siehe <b>Mietkosten</b>)</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> beim automatisierten Busbetrieb</li> <li>• <b>Grundlage:</b> Kleinbus in Bösch et al. [2018]</li> </ul>	
• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>	€ 0,35
• <b>Treibstoff (ca. 23%)</b>	€ 0,08
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%</b>	€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 20%)</b>	€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 6%)</b>	€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 51%)</b>	€ 0,18
	x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>	35.500.000
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 12.371.395</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.185.698</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 26,69</b>

Die Zusammensetzung der Gesamtkosten für den Betrieb von vollautomatisierter Elektro-Kleinbussen ist in der Tabelle 24 dargestellt. Man erkennt, dass die Mietkosten mit ca. 86% den Großteil der Gesamtkosten bilden. Die niedrigen täglichen Buskosten und die niedrigen Buskilometerkosten entstehen durch die hohe Anzahl jährlich gefahrenen Buskilometer und der hohen Anzahl betriebener Kleinbusse, auf die sich die jährlichen Gesamtkosten gleichmäßig aufteilen.

**Tabelle 24: Miete Kleinbus – Gesamtkosten**

• <b>Mietkosten</b>	€ 50.673.000
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	€ 1.757.312
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>	€ 544.286
• <b>Werkstattausrüstung</b>	€ 65.300
• <b>Variable Kosten</b>	€ 6.185.698
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 59.225.595</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 255,53</b>
<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 1,67</b>

Es ist erkennbar, dass der Betrieb von ausschließlich Kleinbussen mit höheren Kosten verbunden ist als im Vergleich zum Betrieb konventioneller Standard- und Gelenkbusse. Durch den Betrieb von ausschließlich vollautomatisierten Elektro-Kleinbussen, entstehen ca. 126% höhere Ausgaben als beim Betrieb konventioneller Standard- und Gelenkbusse. Nicht zu vernachlässigen sind zusätzliche Kosten, die durch das erhöhte Verkehrsaufkommen von über 600 Kleinbussen, im Vergleich zu 162 konventionellen Bussen, in Graz entstehen könnten. Aus Mangel an Informationen, ist es schwer diese Kosten abzuschätzen, weswegen sie in der Kostenrechnung von vollautomatisierten Elektro-Kleinbussen nicht berücksichtigt wurden. Nichtsdestotrotz, sollten die Auswirkungen der Fahrzeuganzahl auf die Betriebsausgaben nicht vernachlässigt werden und ein bestimmter Prozentsatz auch beim Betrieb von ausschließlich konventionellen Kleinbussen berücksichtigt werden.

**Tabelle 25: Miete Kleinbus – Kostenvergleich**

<b>Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb</b>	€ 26.795.400
<b>Jahresausgaben vollautomatisierten Busbetrieb</b>	€ 59.225.595
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 32.430.195</b>
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>121,0%</b>

#### 4.3.2 Kauf Navya Arma DL4

Für das zweite Beispiel der Kostenrechnung des Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen wird vom gleichen Betriebsszenario ausgegangen wie in Kap. 4.3.1. Der Unterschied zum ersten Beispiel liegt in der Anschaffungsart der Kleinbusse. Die zweite Möglichkeit der Anschaffung eines Arma DL4-Kleinbusses die Navya anbietet ist ein Kauf der Kleinbusse. Navya bietet den Arma DL4 für ca. € 200.000 an [LOK Report, 2017]. In diesem Fall ist der Betreiber auch der Eigentümer des Kleinbusses und Navya übernimmt keine Instandhaltungs-, 24 Stunden Überwachungs- oder Kfz-Versicherungskosten, wie es während der Miete der Kleinbusse noch der Fall war.

Des Weiteren wurde angenommen, dass Navya weiterhin einen Rabatt von 30% beim Kauf mehrerer Arma DL4-Kleinbusse anbieten würde. Die buchhalterische Nutzungsdauer der Kleinbusse beträgt, wie beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Gelenkbusse, zehn Jahre, für die eine lineare Abschreibung ohne Berücksichtigung eines Restwertes angewendet wurde. Durch den 30%igen Rabatt entstehen Anschaffungskosten von € 140.000/Kleinbus. Bei 635 benötigten Kleinbussen entstehen jährliche Abschreibungskosten von € 8,9 Millionen, was täglichen Busausgaben von € 38,36 gleichkommt.

**Tabelle 26: Abschreibungskosten Kleinbus**

Busgattung	Anzahl	Anschaffungspreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
<b>Navya Arma DL 4</b>	635	€ 140.000	10	<b>€ 8.890.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 38,36</b>

Durch den Kauf der Kleinbusse, ist der Betreiber auch für die Übernahme der Kfz-Versicherungskosten der Kleinbusse zuständig. Für die Versicherungskosten eines Kleinbusses übernimmt Bösch et al. [2018] die Versicherungskosten eines Mercedes-Benz Sprinter. Da sich die Kfz-Versicherungskosten in der Schweiz von den Kfz-Versicherungskosten in Österreich unterscheiden, wurde auf dem Tarifvergleichsportal „Durchblicker“ die Kfz-Versicherungskosten eines Mercedes-Benz Sprinter aus Baujahr 2018 ermittelt. Es wurde von einer Kasko-Versicherung mit minimalen Selbstbehalt ausgegangen und jährliche Fahrkilometern von über 30.000 angegeben. Unter der Berücksichtigung des Betreibers und einer jährlichen Zahlung der Versicherungsprämie ergeben sich jährliche Kfz-Versicherungskosten eines Mercedes-Benz Sprinter in Graz von € 2.000 inkl. motorbezogenen Steuern. Des Weiteren wurde ein 20%-iger Rabatt bei einer Flottenversicherung angenommen, womit die jährlichen Kfz-Versicherungskosten eines Kleinbusses € 1.600 betragen. Mit der Anwendung der Annahmen für einen Betrieb vollautomatisierter Fahrzeuge aus Kap. 4.2, ergeben sich jährliche Kfz-Versicherungskosten/Kleinbus von € 520. Die gesamten jährlichen Kfz-Versicherungsausgaben des Busbetreibers würden sich beim Betrieb von 635 Kleinbussen auf ca. € 330.000 belaufen.

**Tabelle 27: Kauf Kleinbus – Kfz-Versicherungskosten**

<b>Annahme:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kasko-Versicherung</b> eines Kleinbusses ca. € 2.000/Jahr in Österreich [Durchblicker, 2018]</li> <li>• Durch <b>Flottenversicherung</b> Einsparungen von bis zu 20% angenommen</li> <li>• Bis 35% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]</li> <li>• 50% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]</li> </ul>	
• <b>Busanzahl</b>	635
	x
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 520
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 330.200</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 1,42</b>

Weil Navya bei einem Kauf der Elektro-Kleinbusse keine zusätzlichen Dienste anbietet, muss davon ausgegangen werden, dass Instandhaltungs- und Reparaturaufgaben/-kosten vom Betreiber selbst übernommen/abgedeckt werden müssen. Durch diese Gegebenheit, kann nicht weiterhin davon ausgegangen werden, dass ein Kfz-Techniker die Instandhaltung- und Reparaturaufgaben von 10 Kleinbussen übernehmen kann, sondern eher, wie beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Standard- und Elektro-Gelenkbusse, die Wartungsaufgaben von ca. 3 Kleinbussen übernimmt. Durch die Übernahme der gesamten Instandhaltungs- und Reparaturaufgaben durch den Betreiber selbst ist es notwendig mehr Kfz-Techniker zu beschäftigen als das bei der Miete der Kleinbusse notwendig war. Bei einer Anzahl von 635 Bussen, wurde angenommen, dass ca. 190 Kfz-Techniker für die Übernahme von Wartungsaufgaben notwendig wären. Die Kfz-Technikergehälter blieben im Vergleich zur Miete der Kleinbusse unverändert.

**Tabelle 28: Kauf Kleinbus – Kfz-Technikergehälter**

• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	190	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 5.217.020</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 22,51</b>

Die benötigte Ladeausrüstung im Betriebshof entspricht der Ladeausrüstung aus dem ersten Beispiel des Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen (siehe Kap. 4.3.1, Seite 47) und wird deswegen nicht gesondert angeführt. Die Kosten für die Werkstattausrüstung unterscheiden sich im Vergleich zum ersten Beispiel in der Anzahl der benötigten Mechaniker für Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten. Während bei der Miete eines Navya Arma DL4 64 Kfz-Techniker beschäftigt wurden, wird beim Kauf der Kleinbusse von 190 angestellten Kfz-Technikern ausgegangen. Durch die hohe Anzahl an Mechanikern, entstehen auch höhere Schulungskosten des Werkstattpersonals. Des Weiteren fallen, durch die hohe Busanzahl, doppelt so hohe Kosten für Dacharbeitsstände, Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung und Diagnosegeräte im Vergleich zur Miete der Kleinbusse an. Unter den getroffenen Annahmen, entstehen doppelt so hohe jährliche Kosten für die Werkstattausrüstung beim Kauf der Kleinbusse im Vergleich zur Miete der Kleinbusse. Die jährlichen Werkstattkosten belaufen sich bei 635 Kleinbussen auf € 124.250.

**Tabelle 29: Kauf Kleinbus – Werkstattausrüstung**

<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>		
• 3 Dacharbeitsstände inkl. Krananlage € 495.000		
• Nutzungsdauer Dacharbeitsstand 20 Jahre		
• Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte ca. € 445.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)		
• Schulungskosten ca. € 54.000 (Annahme.: 190 Mechaniker)		
• Wiederholung der Schulung alle 5 Jahre		
• Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage	(€ 495.000/20 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung	(€ 445.000/5 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten für Mechanikerschulungen	(€ 54.000/5 Jahre)	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 124.550</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 0,54</b>

Durch die zusätzlichen Instandhaltungsarbeiten, die in diesem Beispiel vom Betreiber der Kleinbusse selbst durchzuführen sind, ändern sich die Zusammensetzung der variablen Kosten im Vergleich zum ersten Beispiel, in dem Navya Arma DL4-Kleinbusse von Navya gemietet wurden. Die Instandhaltungskosten sind die einzigen Kosten die dazukommen, da die übrigen Kostenpunkte identisch zu den Kosten bei Miete der Kleinbusse sind. Nach Bösch et al. [2018] betragen die Instandhaltungskosten

eines konventionellen Kleinbusses € 0,11/Buskilometer (siehe Tabelle 22, Seite 50). Unter der Annahme, dass sich die Instandhaltungskosten durch die Elektrifizierung des Fahrzeuges um 28% erhöhen [IFA, 2012], und die Automatisierung keinen Einfluss auf die Instandhaltungskosten aufweist [Bösch et al., 2018], betragen die Instandhaltungskosten für einen vollautomatisierten Elektro-Kleinbus € 0,14/Buskilometer. Durch die zusätzlichen Instandhaltungskosten erhöhen sich gleichzeitig auch die gesamten jährlichen variablen Kosten von € 0,35 auf € 0,49. Die jährlich gefahrenen Buskilometer bleiben unverändert zur Miete der Kleinbusse. Mit den zusätzlichen Instandhaltungskosten entstehen jährliche variable Ausgaben von ca. € 17,4 Millionen, und unter Berücksichtigung einer 50%-igen Übernahme der variablen Kosten durch den Staat, ca. € 8,7 Millionen.

**Tabelle 30: Kauf Kleinbus – Variable Kosten**

Annahmen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automatisierter Busse um bis zu 10% niedriger als bei konventionellen Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Instandhaltungskosten</b> für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> beim automatisierten Busbetrieb</li> <li>• <b>Grundlage:</b> Minibus in Bösch et al. [2018]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b></li> <li>    • <b>Treibstoff (ca. 16%)</b></li> <li>    • <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 29%)</b></li> <li>    • <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b></li> <li>    • <b>Reinigung (ca. 14%)</b></li> <li>    • <b>Reifen (ca. 4%)</b></li> <li>    • <b>Reparaturen u. Abstimmung (ca. 37%)</b></li> </ul>	€ 0,49 € 0,08 € 0,14 € 0,001 € 0,07 € 0,02 € 0,18 x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b></li> </ul>	35.500.000
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 17.430.500</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 8.715.250</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 37,60</b>

Die Gesamtkosten des Kaufes und Betriebes von ausschließlich Navya Arma DL4-Kleinbussen sind trotz der zusätzlichen Instandhaltungs- und Kfz-Versicherungskosten, sowie der erhöhten Werkstatt-ausrüstung, um mehr als € 35 Millionen jährlich niedriger als bei einer Miete der selben Kleinbusse. Durch diese Einsparungen werden die Buskilometerkosten von € 1,67 bei der Miete der Kleinbusse um ca. 60% auf € 0,67 bei einem Kauf der Kleinbusse gesenkt. Die größten Einsparungen von ca. € 42 Millionen werden bei den jährlichen Abschreibungskosten erreicht. Die Größte Ausgabenerhöhung von € 3,5 Millionen entsteht durch die hohe Anzahl beschäftigter Kfz-Techniker.

**Tabelle 31: Kauf Kleinbus – Gesamtkosten**

• Abschreibung	€ 8.890.000
• Kfz-Versicherung	€ 330.200
• Kfz-Technikergehälter	€ 5.217.020
• Aufbau Ladeinfrastruktur	€ 544.286
• Werkstattausrüstung	€ 124.550
• Variable Kosten	€ 8.715.250
<b>Jährliche Ausgaben</b>	<b>€ 23.821.306</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 102,78</b>
<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 0,67</b>

Die Einsparungen durch den Kauf der vollautomatisierten Elektro-Kleinbusse ist des Weiteren im Vergleich mit den Gesamtkosten von konventionellen Bussen zu erkennen. Während sich die Gesamtkosten im konventionellen Busbetrieb auf ca. € 27 Millionen belaufen, sind durch den Kauf und Betrieb der Navya Arma DL4-Kleinbusse Einsparungen von bis zu 11% möglich. Es ist wichtig zu erwähnen, dass wie bei der Miete der Kleinbusse, auch beim Kauf der Kleinbusse die berechneten Jahresausgaben mit kritischen Blicken zu betrachten sind. Auswirkungen von eventuell anfallenden Kosten, die durch die hohe Anzahl betriebener Busse und das damit verbundene erhöhte Verkehrsaufkommen in Graz entstehen könnten, wurden bei der Kostenrechnung nicht berücksichtigt.

**Tabelle 32: Kauf Kleinbus – Kostenvergleich**

<b>Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb</b>	€ 26.795.400
<b>Jahresausgaben vollautomatisierter Busbetrieb</b>	€ 23.821.306
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 2.974.094</b>
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>11,1%</b>

Es ist wichtig zu erwähnen, dass der Betrieb von über 600 Fahrzeugen auch Änderungen in der Unternehmensstruktur bewirken können, wie beispielsweise Änderung der Anzahl beschäftigter Mitarbeiter auf anderen Positionen im Unternehmen außer im Fahrdienst und der Werkstatt. Die Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse kann u. U. eine detailliertere Gliederung der Kostenpunkte aufweisen als dies in dieser Arbeit getätigt wurde, und sollte deswegen für eine genaue Kostenrechnung vollautomatisierter Elektrobusse durch den eigentlichen Betreiber der Fahrzeuge separat für das eigene Unternehmen getätigt werden. Nichtsdestotrotz, können die Kostenrechnungen in dieser Arbeit als einen Anhaltspunkt bieten und als Grundlage für eigene Kostenrechnungen vollautomatisierter Elektrobusse herangezogen werden. Der Übersicht halber, sind die Kostenpunkte und Kilometerkosten aller berechneter Betriebsszenarien dieser Arbeit, sowie des konventionellen Busbetriebes, in der Tabelle 33 für den Busmix der HGL dargestellt.

Tabelle 33: Kostenvergleich aller Betriebsszenarien

Kostenpunkt	Konventioneller Busbetrieb		Automatisierter Busbetrieb		Autom. Busbetrieb		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk						
• Abschreibung	€ 82,19	€ 109,59	€ 246,58	€ 328,77	€ 147,95	€ 197,26	€ 218,63	-	€ 218,63	€ 38,36	€ 38,36	€ 38,36
• Mietkosten	-	-	-	-	-	-	€ 2,67	-	-	€ 1,42	-	€ 1,42
• Kfz-Versicherungskosten	€ 8,22	-	€ 23,22	-	€ 2,67	-	-	-	-	-	-	-
• Buslenkergehälter	€ 206,33	-	€ 23,22	-	€ 23,22	-	€ 7,85	€ 7,58	€ 7,74	€ 23,08	€ 22,51	€ 22,67
• Kfz-Technikergehälter	€ 23,22	-	€ 12,06	-	€ 12,06	-	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35
• Ladeinfrastruktur	-	-	-	-	-	-	€ 0,35	€ 0,28	€ 0,29	€ 0,57	€ 0,54	€ 0,58
• Werkstattaufrüstung	-	-	€ 0,53	-	€ 0,53	-	€ 0,35	€ 0,28	€ 0,29	€ 0,57	€ 0,54	€ 0,58
• Variable Kosten (gemittelt)	€ 98,94	€ 129,38	€ 96,04	€ 125,72	€ 96,04	€ 125,72	€ 24,89	€ 26,69	€ 25,39	€ 35,07	€ 37,60	€ 35,78
• Treibstoff	€ 33,64	€ 43,99	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06	€ 5,71	€ 6,13	€ 5,83	€ 5,60	€ 6,01	€ 5,71
• Instandhaltung Fahrzeuge	€ 27,70	€ 36,23	€ 35,48	€ 46,45	€ 35,48	€ 46,45	-	-	-	€ 10,15	€ 10,88	€ 10,36
• Instandh. Ladeinfrastruk.	-	-	€ 0,15	-	€ 0,15	-	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07
• Reinigung Fahrzeuge	€ 9,89	€ 12,94	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06	€ 4,97	€ 5,33	€ 5,07	€ 4,90	€ 5,25	€ 5,00
• Reifen	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 1,48	€ 1,59	€ 1,51	€ 1,39	€ 1,50	€ 1,42
• Reparaturen u. Abstellung	€ 24,74	€ 32,35	€ 26,80	€ 35,12	€ 26,80	€ 35,12	€ 12,67	€ 13,58	€ 12,91	€ 12,96	€ 13,89	€ 13,22
<b>Kosten/Bus u. Tag (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 453,17</b>		<b>€ 447,39</b>		<b>€ 329,28</b>		<b>€ 254,07</b>	<b>€ 255,53</b>	<b>€ 254,40</b>	<b>€ 100,85</b>	<b>€ 102,78</b>	<b>€ 101,16</b>
<b>Kosten/Bus-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 2,97</b>		<b>€ 2,94</b>		<b>€ 2,39</b>		<b>€ 1,78</b>	<b>€ 1,67</b>	<b>€ 1,75</b>	<b>€ 0,71</b>	<b>€ 0,67</b>	<b>€ 0,69</b>
<b>Kosten/Sitz-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 0,04</b>		<b>€ 0,04</b>		<b>€ 0,03</b>		<b>€ 0,12</b>	<b>€ 0,11</b>	<b>€ 0,12</b>	<b>€ 0,05</b>	<b>€ 0,05</b>	<b>€ 0,05</b>
<b>Kosten/Fahrgast-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 0,26</b>		<b>€ 0,26</b>		<b>€ 0,19</b>		<b>€ 0,15</b>	<b>€ 0,28</b>	<b>€ 0,19</b>	<b>€ 0,06</b>	<b>€ 0,11</b>	<b>€ 0,08</b>

\*Beim konventionellen und automatisierten Betrieb von Standard- und Gelenkbussen. Bezieht sich nicht auf Kosten aus den Szenarien 1-6, da hier ein Betrieb von ausschließlich Kleinbussen gegeben ist.

## 5 Verkehrsbefragungen und Umfrageergebnisse Graz

### 5.1 Grundlagen Verkehrsbefragung

Um Meinungen zu einer bestimmten Thematik zu sammeln, können unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen. Unter der empirischer Sozialforschung bezeichnet man die Sammlung bestimmter Information durch einen oder mehrere systematisch durchgeführte Feldversuche [Granzner-Stuhr, 2016]. Die Feldversuche unterliegen unterschiedlichen Regeln, abhängig von den Daten, die durch den Versuch gesammelt werden. Methoden empirischer Forschungen sind [Lang, 2017]:

- Befragungen,
- Beobachtungen,
- Experimente,
- Inhaltsanalyse,
- Diskussionen,
- Tests,
- Sekundäranalysen.

Abhängig von den gewünschten Daten, müssen vor der Durchführung einer der oben genannten Methoden, Rahmenbedingungen für den Versuch definiert werden. Diese Rahmenbedingungen können in zeitliche, räumliche, rechtliche und demografische Rahmenbedingungen unterteilt werden. Unter zeitlichen Rahmenbedingungen versteht man die Zeitspanne und Dauer, in der die gewählte Forschungsmethode durchgeführt wird. Es ist zu beachten, dass der Zeitrahmen, neben der Wahl der Forschungsthematik selbst, einer der wichtigsten Punkte einer erfolgreichen empirischen Sozialforschung ist. Um wirklichkeitsgetreue Daten zu einer bestimmten Thematik zu erhalten, muss der Zeitraum des Feldversuches auf die gewählte Thematik abgestimmt sein. Möchte man beispielsweise Daten über die Kundenzufriedenheit eines Reisebüros sammeln, lohnt es sich nicht eine Umfrage während der Sommermonate, in der die meisten Urlaube getätigt werden, durchzuführen. Wenn es sich um eine persönliche Umfrage im Geschäft handelt, wird die Teilnehmerzahl die realen Meinungen der Kunden nicht wirklichkeitsgetreu abbilden können. Wenn die Umfrage als Online- oder Telefonumfrage bestehender Kunden gestaltet wird, könnten die Ergebnisse durch die Störung der Kunden während desurlaubes verzerrt werden, oder es nehmen zu wenig Teilnehmer an der Umfrage teil um diese als repräsentativ bezeichnen zu können.

Ein ähnliches Beispiel wäre die Beobachtung von der Sitzplatzverteilung in Lehrräumen einer Universität. Wenn diese in der lehrveranstaltungsfreien Zeit oder zu Zeiten, in den der Lehrraum schwächer belegt ist, durchgeführt wird, führt das zu einer Verzerrung der tatsächlichen Situation und Zeiten in den der Lehrraum überfüllt ist bleiben unberücksichtigt. Die Dauer des Feldversuches ist zusätzlich wichtig, da eine zu lange Forschungsdauer zwangsläufig zu einer Verzerrung der Forschungsdaten führen kann [Granzner-Stuhr, 2016]. Wenn beispielsweise die durchschnittliche tägliche Besucheranzahl eines Freibades erkundet werden möchte, ist es sinnvoll die Zählungen nur während der Badesaison des Freibades durchzuführen. Nicht sinnvoll wäre es die Zählungen über das ganze Jahr zu tätigen und daraus den täglichen Besucherdurchschnitt zu bilden. Eine zu kurze Forschungsdauer kann den gleichen Effekt hervorrufen. Beispielsweise kann das bei der Erhebung von Daten zum Verkehrsaufkommen im Straßenverkehr vorkommen. Wenn der Feldversuch nur einige Stunden dauert,

führt das dazu, dass Tagesspitzen während der Hauptverkehrszeiten nicht wirklichkeitsgetreu dargestellt werden.

Um einen Forschungsversuch durchführen zu können, muss zusätzlich das geographische Gebiet festgelegt werden, in dem der Feldversuch durchgeführt wird. Die Größe des gewählten Gebietes hängt direkt mit der gegebenen Thematik zusammen. Möchte man beispielsweise Daten zum Verkehrsaufkommen sammeln, können diese für eine bestimmte Straße, Kreuzung oder ein größeres Gebiet gesammelt werden. Städte, die über ähnliche Bevölkerungszahlen verfügen, können eine vollkommen andere Verkehrszusammensetzung und -verteilung aufweisen. Deswegen ist es wichtig bei genauen Fragestellungen unabhängige empirische Forschungen durchzuführen und diese nicht aus bestehenden Daten einer früheren Forschung abzuleiten.

Rechtliche Rahmenbedingungen definieren geltende Gesetze und Verordnungen an die man sich während der Durchführung einer Forschungsmethode halten muss. Mit demografischen Rahmenbedingungen legt man die Zielgruppe einer empirischen Sozialforschung fest. Als wichtigstes gilt es das Alter und das Geschlecht der Testpersonen festzulegen, dessen Verhalten man erforschen möchte. Welche Adressaten einer bestimmten Forschungsmethode unterliegen hängt direkt mit der gegebenen Thematik ab. Die Größe der Zielgruppe kann weiter durch Fragen über die Schulausbildung, Nationalität, Familienstand, Einkommen, Wohnadresse u. ä. eingegrenzt werden.

Die Wahl der Forschungsmethode hängt von den folgenden Aspekten ab [Granzner-Stuhr, 2016]:

- Forschungsthematik,
- Theoretischer Hintergrund der Aufgabenstellung,
- Zur Verfügung stehende Mittel für die Datenerhebung,
- Eigener Wissensstand.

Zusätzlich unterscheidet man zwischen qualitativen und quantitativen Forschungsmethoden [Lang, 2017]. Nach Lang [2017] liegt der Fokus bei qualitativen Forschungsmethoden auf dem persönlichen Gespräch und dem daraus gewonnenen Verständnis über die Testteilnehmer und deren Antworten. Während des Gesprächs hält man sich an einen bestimmten Leitfaden, der aber keinen bestimmten Fragenverlauf vorgibt. Die Reihenfolge der abzuarbeitenden Fragen ergibt sich aus dem Gespräch selbst. In der qualitativen Sozialforschung entsteht eine persönliche Verbindung zwischen den Testprobanden und dem Interviewer und die Qualität der Testergebnisse hängt mit dem Verständnis des Interviewers gegenüber den Antworten des Testprobanden zusammen. Qualitative Sozialforschungsmethoden bieten sich bei Fragestellungen an, bei denen das Beschreiben und Verstehen von Problemstellungen im Vordergrund stehen. Qualitative Forschungsmethoden werden bei der Formulierung von neuen Hypothesen benutzt, wobei nach Granzner-Stuhr [2016], gegenteilig dazu quantitative Forschungsmethoden für die Überprüfung von bestehenden Hypothesen sinnvoll sind. Bei quantitativen Forschungsmethoden werden den Problemmerkmalen Zahlen zugeordnet und Antworten von Testprobanden nach diesen Zahlen sortiert. Zusätzlich können quantitative Forschungsmethoden bei der Stichprobenüberprüfung bestehenden Problemstellungen oder bei Beobachtungen bestimmter Situationen benutzt werden. Quantitative Forschungsmethoden ermöglichen das Messen und die statistische Auswertung von Daten [Granzner-Stuhr, 2016].

Nach Granzner-Stuhr [2016] besteht der Ablauf sozialer Forschungsmethoden aus den folgenden fünf Phasen:

- Formulierung der zu erforschenden Aufgabenstellung,

- Wahl der Forschungsmethode
- Forschungsausführung,
- Auswertung der gesammelten Daten und Antworten,
- Dokumentation der Forschungsergebnisse.

Lang [2017] ist der Meinung, dass jede Forschungsmethode ihre Vor- und Nachteile hat und für eine bestimmte Aufgabenstellung geeignet ist. Befragungen zeichnen sich durch gleichzeitige Erfassung von objektiven und subjektiven Daten und erleichtern das Verständnis nicht ausreichend erforschter Problemstellungen. Nachteilig werden die Möglichkeiten der Teilnahmeverweigerung, bei qualitativen Befragungen die Ehrlichkeit der Antworten und die Verzerrung von Daten durch Antworttendenzen genannt. Gegenteilig dazu stehen Beobachtungen, die relativ unauffällig durchgeführt werden können und dadurch die Objektivität einer Forschung erhöhen und die Verhaltensweise der Testpersonen ermöglicht. Beobachtungen werden bei Problemstellungen angewendet, bei denen Testpersonen ihr Verhalten zum Teil oder gänzlich nicht beschreiben können. Das kann sprachbedingt sein, beispielsweise bei stummen Personen oder Kleinkindern, aber auch bei Themen, die man nicht verbal beschreiben möchte oder kann, wie es beispielsweise bei unbewussten Handlungen der Fall ist. Nicht erfasst werden subjektive Meinungen, persönliche Einstellungen und der Seelenstand der Testpersonen. Fehlende Daten zum persönlichen Einstellungen der Testpersonen stellt einen Nachteil dar, weil das Verhalten der Testpersonen während einer Beobachtung nicht erklärt sondern nur beschrieben werden kann [Lang, 2017].

Experimente bieten sich bei Fragestellungen an, die nicht ausreichend erforscht wurden oder eine große Streuung der Ergebnisse vergangener Forschungsarbeiten vorliegt. Zusätzlich sind Experimente bei Problemstellungen sinnvoll, bei denen man sich über die Gesamtheit der Ergebnisse nicht sicher ist und neue Aspekte des Problems erforschen möchte. Des Weiteren kann durch ein Experiment relativ einfach der Einfluss unabhängiger Variablen auf abhängige Variablen getestet werden. Dafür werden unabhängige Variablen so lange geändert, bis ein gewünschter Effekt auf die abhängigen Variablen entsteht [Lang, 2017]. Weiterer Vorteil von Experimenten ist die Untersuchung von seltenen Situationen. Als Beispiel wird hier ein Hochwasserfall genannt, der beispielsweise alle hundert Jahre vorkommt. Durch Experimente kann dieser im Labor künstlich geschaffen, analysiert und mögliche Sicherheitsmaßnahmen rechtzeitig vorgenommen werden. Gleichzeitig können diese künstlich geschaffenen Situationen bei Experimenten nach Lang [2017] nachteilig sein. Bei unzureichender Analyse und Planung von Experimenten können diese den realen Tatbestand nicht wahrheitsgetreu abbilden und führen somit zu verzerrten oder nicht repräsentativen Testergebnissen.

Für die Beurteilung vergangener Problemstellungen und die daraus analysierten Aspekte für mögliche Zukunftssituationen bietet sich die Inhaltsanalyse an [Lang, 2017]. Untersuchungsobjekte der Inhaltsanalyse sind keine Personen und deren Verhalten, sondern schriftliche Texte. Die nicht-reaktive Eigenschaft von Inhaltsanalysen ermöglicht die Analyse von Texten auch mehrere Jahre nachdem diese verfasst wurden. Das zu untersuchende Material, beispielsweise Bücher, Zeitungen, Präsentationen u. ä. bleiben auch nach mehreren Jahren erhalten und verändern sich nach Lang [2017]:

*„nicht durch die Analyse, wie das beispielsweise Einstellungen und Verhaltensweisen von Personen bei Beobachtungen können, wenn die Testperson bemerkt, dass sie beobachtet wird,“* [Lang, 2017].

Der größte Nachteil von Inhaltsanalysen ist, dass diese nur bei wenigen Problemstellungen angewendet werden können und für die Erforschung von Verhaltensweisen unbrauchbar ist. Wenn eine bestimmte Fragestellung ausführlich erforscht und konkrete Meinungen zu einem bestimmten Problem

gesammelt werden müssen, ist es sinnvoll eine Gruppendiskussion zu veranstalten. Bei Gruppendiskussionen werden Teilnehmer nach genauen Kriterien, die zu der Fragestellung durch ihre demografische Eigenschaften passen, ausgewählt. Die Gruppen sollten aus sechs bis zehn Personen bestehen, wobei auch größere Gruppen nicht unüblich sind.

Der Diskussionsmoderator hat die Aufgaben der Diskussionsleitung, der Motivation der Teilnehmer zur Diskussion über ein bestimmtes Thema und die Aufgabe bestimmte Aspekte der Fragestellung anzusprechen und ausreichend Meinungen über die Teilaspekte der Fragestellung zu sammeln. Vorteile einer Gruppendiskussion ist die Detailliertheit der gesammelten Meinungen und, dass neue Fragestellungen leicht erforscht werden können. Durch die Dynamik der Gruppenteilnehmer werden auch neue Aspekte der Fragestellung beleuchtet und intensiv über die Thematik debattiert. Die Wirtschaftlichkeit von Gruppendiskussionen wird als nachteilig angesehen [Lang, 2017]. Bei kleinen Gruppengrößen und durch die vertiefte Diskussion über eine bestimmte Fragestellung, können Gruppendiskussionen über mehrere Stunden dauern, wobei die Gruppendiskussion auch über mehrere Tage aufgeteilt werden kann. Die Diskussionsteilnehmer müssen passend ihrer aufgebrauchten Zeit entschädigt werden, was Gruppendiskussionen unwirtschaftlich macht. Nachteil bei kleinen Gruppengrößen ist die wirklichkeitsgetreu Abbildung der Meinungen über ein bestimmtes Thema. Wenn der Verlauf der Gruppendiskussion in eine bestimmte Richtung tendiert, muss das nicht zwangsweise ein Indiz für die tatsächliche Meinung der Mehrheit darstellen. In diesen Fällen müssen mehrere Gruppendiskussionen veranstaltet werden, die zusätzliche Zeit in Anspruch nehmen und die Kosten der Forschung weiter erhöhen.

Tests ähneln, nach ihrer Aufbereitung, schriftlichen Befragungen. Bei Tests handelt es sich um standardisierte Befragungen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten. Durch die Standardisierung des Testbogens, sind auch Vergleiche zwischen einzelnen Tests oder den Antworten einzelner Testpersonen zu den Testergebnissen größerer Testgruppen möglich. Neben skalierten Antwortmöglichkeiten, wie es beispielsweise bei der Erforschung der Kundenzufriedenheit mit einer bestimmten Dienstleistung (sehr zufrieden, eher zufrieden, eher unzufrieden, sehr unzufrieden) der Fall ist, kann auch die Lösung bestimmter Aufgaben angefordert werden, wie es beispielsweise bei Intelligenztests vorkommt. Aufgabenstellungen mit nicht-skalierten Antwortmöglichkeiten bieten sich bei Persönlichkeitstests von Kleinkindern an, weil die Persönlichkeit von Kleinkindern damit leichter erforscht werden kann als mit quantitativen oder qualitativen Befragungen [Lang, 2017]. Nachteilig kann das Fehlen von Informationen zur gegebenen Aufgabenstellung darstellen, weil bestimmte Daten für die Erstellung von Testbogen vorhanden sein müssen.

Unter Sekundäranalysen versteht man die Analyse von bereits getätigten Forschungen zu einer bestimmten Thematik. Durch die Analyse bereits durchgeführter Forschungen spart man die Zeit der eigentlichen Datenerhebung, geht aber gleichzeitig das Risiko ein, dass die Daten ungeeignet für die eigene Fragestellung sind [Lang, 2017]. Nimmt man das Beispiel einer Verkehrsaufteilung und –verteilung einer bestimmten Stadt, kann das Ergebnis nicht zwangsläufig für die Schaltung einer VLSA in einer benachbarten Stadt angewendet werden. Des Weiteren können Daten, die in einem Unternehmen vor mehreren Jahren gesammelt wurden, für die heutige Unternehmensstruktur nicht relevant oder nur teilweise anwendbar sein. Vorteile besitzt die Sekundäranalyse in der Wirtschaftlichkeit der Methode. Durch die Analyse bereits getätigter Forschungen, wird keine separate Forschung der eigenen Fragestellung benötigt. Wenn eigene Forschungen durchgeführt werden, dienen diese nur als Ergänzung der vorhandenen Daten. Wenn keine eigene ergänzende Forschung getätigt wird, liegt der Nachteil bei Sekundäranalysen in der unvollständigen Beantwortung der eigenen Fragestellung und dem Verlas auf die Ergebnisse bereits getätigter Forschungen.

## 5.2 Umfragen beim Einsatz automatisierter Kleinbusse

Der ÖPNV stellt einen wichtigen Teilaspekt im Leben vieler Menschen da. Während einige Personen den ÖPNV benutzen um sicher durch den täglichen Verkehrsstress zu kommen, sehen andere den ÖPNV als geeignetes Mittel um die Emissionen von verkehrlichen Luftschadstoffen und die Anzahl von Verkehrsunfällen zu minimieren. Des Weiteren sind Teile der Bevölkerung auf den ÖPNV angewiesen, da sie selbst durch körperliche oder rechtliche Hindernisse keine andere Möglichkeiten zur persönlichen Mobilitätsgestaltung besitzen. Deswegen ist es wichtig Änderungen in der Gestaltung des ÖPNV-Angebotes in Zusammenarbeit mit den Benutzern zu gestalten, empirische Erhebungen durchzuführen und Meinungen und Vorschläge in die Gestaltung des Mobilitätsangebotes einzubinden. Der Einsatz automatisierter Technik im ÖPNV sollte dabei keine Ausnahme darstellen. Anders als bei dem Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge des MIV, bei dem jede Person für sich selbst entscheiden kann, ob sie in dieser Technik die Lösung für ihre täglichen Probleme sieht, stellt für den ÖPNV die Vielseitigkeit seiner Nutzer das größte Hindernis dar, weswegen Verkehrsbefragungen über den Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge im ÖPNV jedenfalls als notwendig anzusehen sind.

### 5.2.1 Umfrageergebnisse Koppl

Nach Zankl und Rehl [2018] wurden während des siebenmonatigen Testzeitraums des Navya Arma DL4 Digibusses 2017 insgesamt 240 Testfahrten auf 341 gefahrenen Kilometern durchgeführt. Die Anzahl der beförderten Personen belief sich auf 874. Rund 48% der Fahrten wurden als Demonstrationsfahrten durchgeführt. Die restlichen 52% der Fahrten bezogen sich auf Schulungsfahrten, technische Tests und Fahrten zur Datenerfassung. Während den Testfahrten kam es zu keinen Unfällen und zu einer einzigen verkehrstechnisch kritischen Situation. Die kritische Situation ereignete sich, als es zur Überhitzung des elektrischen Antriebes im Digibus kam, wodurch das Fahrzeug in einen Sicherheitsmodus wechselte. Dadurch wurde die Antriebsleistung verringert. Durch die geringe Antriebsleistung konnte ein steiler Teil der Strecke nicht überwindet werden und die Fahrgäste mussten das Fahrzeug verlassen. Nach einem weiteren Versuch die Steigung im manuellen Modus, und nur mit dem Sicherheitsfahrer im Digibus, zu befahren, rollte das Fahrzeug zwei Meter den Hang hinunter bevor entschieden wurde, das Fahrzeug im manuellen Modus den ganzen Hang zurückrollen zu lassen bevor der Hang befahren werden konnte. Als weiterer Nachteil erwiesen sich die technischen Einschränkungen des Fahrzeuges bezüglich seiner vollautomatisierten Fähigkeiten, die vom Hersteller Navya angegeben wurden. Beispielsweise konnte das Fahrzeug keine Linksabbiegungen und Ausfahrten aus Bushaltestellen selbstständig durchführen. Diese Fahrmanöver waren nur im manuellen Modus durchführbar [Zankl und Rehl, 2018].

Wegen den technischen Einschränkungen des Arma DL4 kam Salzburg Research zum Entschluss, dass das Fahrzeug *„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“* [Zankl und Rehl, 2018].

Von den 874 Fahrgästen, füllten 294 Personen die Online-Umfrage aus. 56,2% davon gaben an männlich und 41,1% weiblich zu sein. Die größte Altersgruppe bildeten die 31 bis 40-Jährigen (25%), dicht

gefolgt von 41 bis 50-Jährigen (22,3%) und 21 bis 30-Jährigen (20,2%). Die Mehrheit der Befragten war berufstätig (65,4%). Über 87% der befragten Fahrgäste gaben an mind. einmal von automatisierten Fahrzeugen gehört zu haben. Ein ähnlich hoher Wert von 84,7% der Befragten gab an, dass sie zum ersten Mal mit einem selbstfahrenden Shuttlebus unterwegs waren. Die Gründe der Teilnahme an den Testfahrten verteilten sich gleichmäßig auf:

- Berufliches bzw. wissenschaftliches Interesse,
- Interesse an einer innovativen Mobilitätsform,
- Neugierde und
- Interesse an der Technologie.

Die Sicherheit der Fahrgäste und anderer Teilnehmer waren eine der wichtigsten Punkte von Salzburg Research während der Durchführung der Testfahrten in Koppl [Zankl und Rehr, 2018]. Die Auswirkungen der getroffenen Sicherheitsmaßnahmen zeigen sich auch an den Aussagen der Fahrgäste, bezüglich des Sicherheitsgefühls während der Fahrt mit dem Digibus. Rund 92% der Befragten Personen gab an, dass die Fahrt mit dem Digibus als „gut“ bzw. „sehr gut“ empfunden wurde. Unter den häufigsten Gründen waren das angenehme Fahrverhalten und die vorsichtige Fahrweise des Fahrzeuges. Unter den Umfrageteilnehmern, die die Fahrt eher als „nicht gut“ empfunden, nannte die Mehrheit abrupte Bremsmanöver, und die dadurch nicht flüssige Fahrweise, als einen negativen Faktor. Erstaunlicherweise zählen die Antworten „sicheres Fahrgefühl“ und „angenehmes Fahrverhalten“ (ca. 13%) der Teilnehmer, die sich während der Fahrt sicher fühlten, und die Antworten „unsicheres Fahrgefühl“ und „unflüssiges Fahrverhalten“ (ca. 27%) der Teilnehmer, die sich während der Fahrt unsicher fühlten, zu den Top zwei Gründen wieso die Fahrt einigen Teilnehmern „gut“ und anderen „nicht gut“ gefallen hat [Zankl und Rehr, 2018]. Diese Daten zeigt, dass die Technik des Navya Arma DL4 nicht in der Lage war gleiche Fahrbedingungen für alle Teilnehmer zu schaffen bzw. dass externe Einflüsse, wie beispielsweise die abwechselnde Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer zwischen den Fahrten, einen zu großen Einfluss auf die Technik des Fahrzeuges ausübten und damit die Qualität der Fahrten beeinflussten.

78,1% der Befragten gaben an einen privaten Pkw zu besitzen. Bei der Frage, ob man sich vorstellen könnte einen selbstfahrenden Shuttlebus dem eigenen Pkw vorzuziehen, antwortete die Mehrheit von 58,8%, dass ihnen der eigenen Pkw lieber wäre obwohl gleichzeitig 65,5% der Befragten angab sich vorstellen zu können einen vollautomatisierten Shuttlebus für Pendelfahrten, Alltagserledigungen oder Freizeitaktivitäten zu nutzen [Zankl und Rehr, 2018]. Nach den Gründen wieso ihnen der eigene Pkw lieber ist wurde nicht gefragt. Es ist zu vermuten, dass die Nachteile der derzeitigen Technik, wie beispielsweise unflüssiges Fahrverhalten und zu geringe Fahrgeschwindigkeit, einen bedeutenden Einfluss auf die Einschätzung der Befragten hatten.

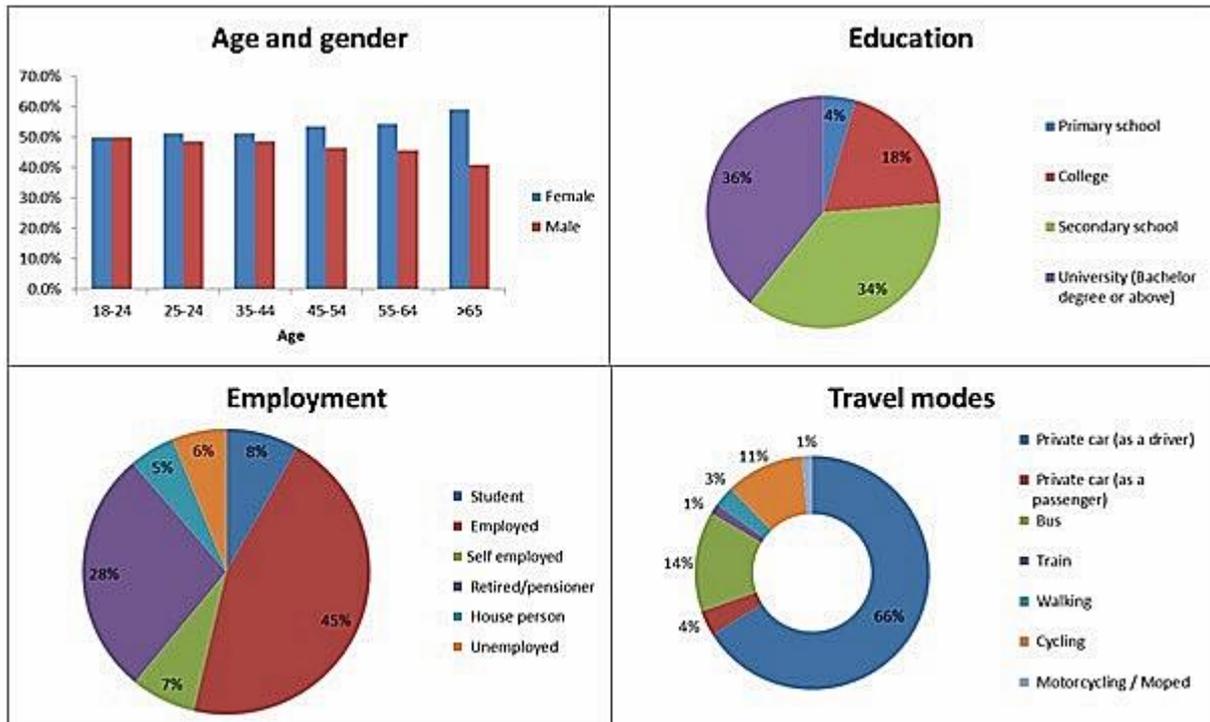
Obwohl der Fragebogen in Koppl sehr umfassend war, wurden einige Schlüsselfragen nicht gestellt. Eine davon ist die Frage wieso der eigene Pkw den Befragten lieber wäre als ein vollautomatisierter Shuttle-Bus der in Ihrer Gemeinde/Umgebung fährt. Andere Fragen wie das Sicherheitsgefühl bei abendlichen Fahrten, besonders wenn man bedenkt, dass ein Vorteil vollautomatisierter Busse, bei strategisch vorteilhafter Ladezyklen, im 24 Stunden-Betrieb liegt. Zusätzlich wurde nicht nach der Reisegeschwindigkeit gefragt, bis zu der sich die Umfrageteilnehmer noch sicher fühlen würden.

## 5.2.2 Umfrageergebnisse La Rochelle

Ähnlich wie bei den Testfahrten des Digibusses in Koppl, wurden nach den Demonstrationsfahrten des CityMobil2-Projektes in La Rochelle (siehe Kap. 3.3, Seite 19) Verkehrsbefragungen durchgeführt [Piao et al., 2016]. Befragt wurden neben den Busnutzern, auch Radfahrer, Fußgänger, Kooperationspartner und Anwohner in La Rochelle. Das Ziel war es nicht nur das Erlebnis der Benutzer der automatisierten Busse während der Fahrt zu dokumentieren, sondern auch den Einfluss automatisierter Buslinien auf die Bevölkerung der Stadt La Rochelle zu ermitteln. Es wurden zwei Befragungsmethoden gewählt, Internetbefragung und Telefoninterview. Insgesamt wurden 28 Fragen mit unterschiedlichen betrieblichen Aspekten gestellt. Neben Fragen zur öffentlichen Wahrnehmung der Funktionsweise vollautomatisierter Elektrobusse und der Attraktivität vollautomatisierter Buslinien, wurden auch Fragen zur Attraktivität vollautomatisierter Taxis und vollautomatisierter Carsharing-Dienste, sowie die Meinung über den Besitz eines privaten vollautomatisierten Pkws gestellt [Piao et al., 2016]. Zum Zweck dieser Arbeit, wird nur auf Antworten der Befragung in La Rochelle eingegangen, die sich auf den automatisierten Buslinienverkehr konzentrierten.

Die Befragungen fanden einen Monat nach den Demonstrationsfahrten statt. Zur Internetbefragung wurden nur Personen eingeladen, die in der Nähe der getesteten vollautomatisierten Buslinien in La Rochelle wohnen, arbeiten, studieren oder zur Schule gehen. Insgesamt nahmen 148 Personen an der Internetbefragung teil. Um Meinungen von Personen einzuholen, die nicht täglich in der Nähe des Aquariums oder des Touristenbüros in La Rochelle verkehren, wurde die Meinungsforschung um ein Telefoninterview erweitert. 500 Personen nahmen an dem Telefoninterview teil. Um mögliche Unausgewogenheiten in den Antworten der Teilnehmer eliminieren zu können, wurden im ersten Schritt, nach der Auswertung der Antworten aller Teilnehmer, die Teilnehmer der Internetbefragung und des Telefoninterviews nach Geschlecht, Alter und Schulausbildung sortiert. Im zweiten Schritt wurden Ergebnisse von Teilnehmern, die nicht dem lokalen demografischen Bild in La Rochelle ähnelten, aus den Ergebnissen aussortiert. Nach der Sortierung der Teilnehmerantworten im zweiten Schritt und der erneuten Auswertung der Daten, blieben Antworten von insgesamt 425 Teilnehmern übrig [Piao et al., 2016].

Zur Befragung wurden keine Personen zugelassen, die jünger als 18 Jahre waren. Für die gesamte Anzahl der Teilnehmer, beträgt der Anteil männlicher Umfrageteilnehmer 46,6% und der weiblichen Teilnehmer 53,6%. Mit erhöhten Alter zeigt sich ein erhöhter Unterschied zwischen der Anzahl befragter männlicher und befragter weiblicher Personen (siehe Abbildung 13, Seite 65). Schulausbildung, Beschäftigungsstand und bevorzugte Beförderungsart sind weitere demografische Aspekte die herangezogen wurden. Teilnehmer mit Universitätsabschluss bilden bei der Schulausbildung den größten Teil mit 36%. Des Weiteren gab 45% der Befragten an beschäftigt zu sein und 66% der befragten Personen gab an, einen eigenen Pkw zu besitzen bzw. diesen als primäres Beförderungsmittel zu nutzen.



**Abbildung 13: Demografische Daten Befragung La Rochelle**

(Quelle: Piao J. et al. (2016): Public views towards implementation of automated vehicles in urban areas, 2016)

Im ersten Teil der Befragung, wurden die Teilnehmer nach ihrer allgemeinen Meinung über automatisierte Fahrzeuge befragt. Wie bei der Befragung in Koppl, gaben 87% der befragten Personen an, schon einmal von automatisierten Fahrzeugen gehört zu haben. Als gefragt wurde, was man persönlich als größten Vorteil automatisierter Fahrzeuge im Allgemeinen sieht, antworteten 51% der Teilnehmer, dass mit automatisierten Fahrzeugen eine Verringerung des Kraftstoffverbrauches erreicht werden kann. Das Navigieren eines automatisierten Fahrzeuges auf öffentlichen Straßen gilt unter den Teilnehmern als kleinster Vorteil automatisierter Fahrzeuge. Nur 17% der Teilnehmer denken, dass man mit einem automatisierten Fahrzeug schneller und sicherer zu seinem Ziel gelangen könnte. Als zweitgeringster Vorteil automatisierter Fahrzeuge sahen die Teilnehmer in der Möglichkeit Verkehrsstaus in La Rochelle zu mindern. Nur 19% antworteten auf die Frage, ob man mit automatisierten Fahrzeuge weniger Verkehrsstau in der Stadt hätte mit „sehr wahrscheinlich“. Weiterer Kritikpunkt der Teilnehmer über automatisiertes Fahren, war die Frage nach der Verkehrssicherheit. 39% der befragten Personen antwortete, dass automatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr weniger sicher wären als ein menschlicher Fahrer/Lenker. Auf der anderen Seite, antworteten nur 25%, dass ihrer Meinung nach die Verkehrssicherheit mit automatisierten Fahrzeugen erhöht werden könnte [Piao et al., 2016].

Im zweiten Teil der Befragung wurden die Teilnehmer über den möglichen Einsatz automatisierter Busse in La Rochelle und der damit verbundenen Wirkung auf das Verkehrsbild in La Rochelle befragt. Bedenken äußerten die Teilnehmer bei nächtlichen bzw. abendlichen Fahrten mit einem automatisierten Bus. 44% gaben an, dass sie wegen der Sicherheit bei abendlichen und nächtlichen Fahrten mit einem automatisierten Bus „sehr besorgt“ wären. Im Gegenteil dazu sagten 22%, dass sie bei täglichen Fahrten mit einem automatisierten Bus wegen der Sicherheit besorgt wären. Was diese Sicherheitsbedenken bei den Teilnehmern hervorruft, wurde nicht genauer befragt [Piao et al., 2016]. Ungelöst bleibt, ob es sich bei den Sicherheitsbedenken um Bedenken technischer Natur, wenn beispielsweise Funktionen des Busses ausfallen, oder eher Bedenken über die Sicherheit, wenn man sich

von anderen Personen bedroht fühlt. Als größten Vorteil automatisierter Busse gaben die Teilnehmer niedrige Fahrpreise an. Begründet wurde dies durch mögliche Gehaltseinsparungen von Buslenker/-innen. Als befragt wurde, welchen Bus man eher benutzen würde, einen automatisierten oder einen konventionellen Bus, unter der Annahme dass der Fahrpreis, die Reisezeit, die Buskapazität und Strecke für beide Fahrten identisch sind, gaben 66,6% der Teilnehmer an, eher mit dem automatisierten Bus fahren zu würden. Von diesen 66,6%, gaben 60% an, dass sie es bevorzugen würden, wenn sich Buspersonal während der Fahrt an Bord befindet [Piao et al., 2016]. Es wurde nicht genau nach der Art des Buspersonals in der Befragung in La Rochelle gefragt. Es ist nicht ausreichend geklärt ob es sich bei dem gewünschten Personal um Personen handelt, die mit der Fahrzeugtechnik verwandt sind, Personen die sich mit dem Fahrplan auskennen, und in dieser Hinsicht den Kunden behilflich sein können, oder ob es sich um Personen zum Sicherheitsschutz im Fahrzeug handelt.

### 5.2.3 CityMobil2-Befragungen in Europa

Neben den Demonstrationsfahrten in La Rochelle, dessen Umfrageergebnisse im vorigen Kapitel detailliert aufbereitet wurden, wurden in Rahmen des CityMobil2-Projektes in elf weiteren europäischen Städten, Demonstrationsfahrten automatisierter Elektrobusse durchgeführt [Stam und Delle Site, 2014]. Testfahrten fanden in Stadtzentren von Oristano (Italien), Reggio Calabria (Italien) und Trikala (Griechenland) statt. In der Stadt San Sebastian (Spanien) und der Gemeinde Sophia Antipolis (Frankreich) wurden Testfahrten auf großen Unternehmensgrundstücken, sowie auf dem Gelände der Kirche Saint Sulpice (Frankreich) und dem Gelände des Forschungsinstitutes CERN (Schweiz) durchgeführt. Die übrigen Testfahrten automatisierter Busse im Rahmen von CityMobil2 wurden in den Städten Brüssel (Belgien), Leon (Spanien), Mailand (Italien) und Vantaa (Finnland) durchgeführt. Die Streckenlängen lagen zwischen 1,1 Kilometer und 4,3 Kilometer. Auf die Details der einzelnen Strecken wird wegen der großen Anzahl getesteter Verbindungen nicht näher eingegangen. Zur Weiterbildung auf diesem Gebiet bietet sich die Arbeit von Stam und Delle Site [2014] zur detaillierten Bewertung der durchgeführten Testfahrten und dazugehörigen Verkehrsbefragungen von CityMobil2 an. Vor der Durchführung der einzelnen Demonstrationsfahrten, wurden Stated-Preference-Befragungen zum Thema automatisiertes Fahren in allen Städten durchgeführt. Um die Auswertung der Daten zu erleichtern und die Befragungsergebnisse zwischen den einzelnen Städten vergleichen zu können, wurden alle Umfragebögen nach dem selben Prinzip erstellt.

In jeder Stadt bzw. Gemeinde wurden mindestens 200 Personen zu ihren Meinungen über automatisierte Verkehrssysteme befragt. Die einzige Ausnahme bildete die Meinungsumfrage in Vantaa. Als Umfragebasis galt der Vergleich zwischen einem konventionellen und einem automatisierten Kleinbus. Mit den Befragungen wollte man die Affinität der Umfrageteilnehmer gegenüber einem der zwei vorgestellten Kleinbussen in unterschiedlichen Verkehrsszenarien untersuchen. Die befragten Szenarien unterschieden sich in Warte- und Reisezeiten und dem angebotenen Fahrpreis. Anhand der alternativen spezifischen Eigenschaft (engl. Alternative Specific Attribute, ASA) wurde die Affinität der befragten Personen nach Befragungsort ausgewertet (siehe Tabelle 34, Seite 67) [Piao et al., 2016].

**Tabelle 34: ASA-Koeffizient der CityMobil2-Umfrage nach Stam und Delle Sitte [2014]**

APPLICATION	CITY	ASA	
		coefficient	t-stat
Within city centre	La Rochelle	0,56	3,90
	Oristano	1,19	7,11
	Reggio	-0,47	-2,65
	Trikala	-0,01	-0,09
Within mayor facility	CERN	1,22	12,14
	Saint Sulpice	0,86	10,07
	San Sebastian	0,29	1,85
	Sophia-Antipolis	0,16	1,24
From public transport node to mayor facility	Brussels	-0,28	-1,85
	Leon	-1,87	-7,48
	Milan	0,87	5,69
From public transport node to residential area	Vantaa	-1,57	-6,34

Der ASA-Koeffizient beschreibt die Neigung der Umfrageteilnehmer gegenüber konventionellen bzw. automatisierten Kleinbussen. Bei positiven ASA-Koeffizienten präferieren die Teilnehmer eher den automatisierten Bus, bei Negativwerten eher den konventionellen Bus. Dabei gilt, je höher der ASA-Koeffizient, desto stärker die Tendenz bei fiktiven Verkehrsszenarien zum automatisierten Bus. Gegenteilig dazu, je weiter der ASA-Koeffizient unter die Nullmarke sinkt, desto mehr Teilnehmer neigen in den gleichen Verkehrsszenarien zur Nutzung des konventionellen Busses. In der Tabelle 34 sind die jeweiligen ASA-Koeffizienten für die einzelnen Testorte angegeben. Die Städte wurden zusätzlich nach der Art der Busverbindung gegliedert. Die einzelnen Kategorien der Busverbindungen waren:

- Stadtzentren,
- Großen Einrichtungsgeländen,
- Verbindungen zwischen einer öffentlichen Haltestelle und größeren Einrichtungen und
- Verbindungen zwischen einer öffentlichen Haltestelle und einem Wohngebiet.

Bei den Testfahrten in Stadtzentren, liegt die größte Neigung zur Nutzung automatisierter Busse in der Stadt Oristano (ASA-Koeffizient: 1,19), die größte Neigung zur Nutzung konventioneller Busse in Reggio Calabria (ASA-Koeffizient: -0,47). Auf großen Unternehmensgeländen ist zu erkennen, dass die meisten Teilnehmer einen automatisierten Bus einem konventionellen Bus vorziehen würden. Auf dem Gelände von CERN war die Affinität zur Nutzung automatisierter Busse die größte (ASA-Koeffizient: 1,22), auf dem Einrichtungsgelände in der Stadt Sophia Antipolis die kleinste (ASA-Koeffizient: 0,16). Bei Busverbindungen von einer öffentlichen Haltestelle zum Gelände einer großen Einrichtung bzw. einem größeren Unternehmen, konnte man eine Neigung zum automatisierten Bus nur in Mailand erkennen (ASA-Koeffizient: 0,86). In den Städten Leon (ASA-Koeffizient: -1,87) und Brüssel (ASA-Koeffizient: -0,28) entschieden sich die meisten Teilnehmer einen konventionellen Bus zu nutzen. Ein

ähnliches Ergebnis wie in Leon lieferte die Befragung in der finnischen Stadt Vantaa (ASA-Koeffizient: -1,57), bei der die Nutzung einer Buslinie zwischen einer öffentlichen Haltestelle und einem Wohngebiet befragt wurde [Piao et al., 2016].

Weitere Erkenntnisse der Verkehrsbefragungen in Europa waren der Einfluss von demografischen Faktoren auf die Meinung über automatisierte Fahrzeuge. Es wurde festgestellt, dass die Neigung zur Nutzung automatisierter Fahrzeuge der Teilnehmer auf großen Einrichtungs- bzw. Unternehmensgrundstücken am höchsten ist. Des Weiteren kam man zur Erkenntnis, dass männliche Teilnehmer eher dazu neigen automatisierte Busse zu nutzen, wenn unter gleichen Umständen auch die Möglichkeit der Nutzung eines konventionellen Busses angeboten wird. Des Weiteren konnte man unter allen Befragten keine Gemeinsamkeiten zwischen Alter, Schulausbildung, Fahrzeugbesitz oder Besitz eines Monatstickets für den öffentlichen Verkehr und der bevorzugten Nutzung automatisierter oder konventioneller Busse erkennen. Die größten Vorteile automatisierter Busse für Teilnehmer, die den automatisierten Bus einem konventionellen Bus vorzogen, war die Interesse an einer neuen Technologie. Die meisten Teilnehmer, die eine erhöhte Neigung zur Nutzung automatisierter Busse hatten, gaben an, dass Neugierde in die gezeigte Technik der größte Einfluss sei, eine Fahrt mit dem automatisierten Bus vorzunehmen. Ein weiterer Grund war die Umweltfreundlichkeit automatisierter Busse, vor allem weil der präsentierte Bus elektrisch angetrieben wird. Weiterer Einfluss auf das positive Ergebnis des automatisierten Busses war die mögliche Erhöhung des Dienstleistungsniveaus. Die Teilnehmer gingen davon aus, dass mit automatisierten Bussen ein On demand-Service leichter umzusetzen wäre als mit konventionellen Bussen. Der Fahrplan eines automatisierten Busses wäre leicht auf die Kundennachfrage anzupassen und wäre nicht von verfügbaren Buslenkern/-innen abhängig [Piao et al., 2016].

Die Erhöhung des Dienstleistungsniveaus wurde dadurch erklärt, dass der Vorteil mit automatisierten Bussen länger fahren zu können, die Dienstleistungsstunden erhöht werden könnten und somit auch Nachtverbindungen leicht umsetzbar wären. Als letzter Vorteil automatisierter Busse wurde die Möglichkeit günstigerer Fahrpreise angeführt. Durch das Fehlen eines menschlichen Fahrers/-in besteht die Möglichkeit Gehaltskosten einzusparen, wodurch sich die Teilnehmer niedrige Fahrpreise erhoffen [Piao et al., 2016]. Ob es, und in welchem Ausmaß, durch automatisierte Busse zu einer Senkung des Fahrpreises kommen kann, hängt im Wesentlichen vom Anschaffungspreis elektrisch angetriebener Busse ab (siehe Kap. 4.2, Seite 35).

Der meistgenannte Grund einen automatisierten Bus nicht zu nutzen, war der negative Einfluss automatisierter Busse auf die Beschäftigungsanzahl von Buslenkern/-innen und die niedrigere Fahrsicherheit automatisierter Busse im Vergleich zu konventionellen Bussen. Es ist zu beobachten, dass sich zwischen allen Teilnehmern grundsätzlich zwei Gruppen bildeten. Eine Gruppe war der Meinung, dass automatisierte Busse mit hohen Wartungs- und Reparaturkosten und niedriger Sicherheit verbunden sind. Gegenteilig dazu, bestand die zweite Gruppe aus Personen, die der Meinung waren, dass automatisierte Busse günstiger zu betreiben sind und einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben können. Die Anzahl der Teilnehmer die Charakteristiken beider Gruppen aufwiesen, beispielsweise Personen mit der Meinung, dass automatisierte Busse teuer zu warten sind und die Verkehrssicherheit erhöhen können, waren im Vergleich zu den Mitgliederanzahl der zwei dominierenden Gruppen, verschwindend gering. Es wurde festgestellt, dass eine Auswertung von Nutzen/Kosten-Rechnungen automatisierter Busse zukünftig an Bedeutung gewinnen wird, weil diese zwei Faktoren einen wichtigen Einfluss auf die Meinung potenzieller Kunden über automatisierte Busse haben [Piao et al., 2016].

### 5.3 Aufbau der Stated-Preference-Befragung in Graz

Nachdem im Kap. 4.2 festgestellt wurde, dass der Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse, bei ausgereifter Technik bzw. gleichen Fahrzeugeigenschaften eines konventionellen Busses, mit ähnlichen Ausgaben verbunden ist wie der Betrieb konventioneller Busse der HGL, wurde, ergänzend zu den getätigten Umfragen in Europa (siehe Kap. 5.2.1 – Kap. 5.2.3, Seiten 62 – 69), eine Stated-Preference-Befragung im Raum Graz zum Thema Kundenakzeptanz automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr, mit Schwerpunkt auf den Buslinienverkehr in Graz, durchgeführt.

Das Ziel der Befragung war es potenziellen Kunden eine Möglichkeit zu bieten ihre Meinungen und Bedenken gegenüber automatisierten Fahrzeugen allgemein und über den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr darzustellen. Wichtig dabei waren hypothetische Szenarien, in denen den Teilnehmern eine bestimmte Anzahl an fiktiven Szenarien beschrieben und ihr Verhalten in diesen Szenarien befragt wurde. Zu den hypothetischen Szenarien, die in der Umfrage befragt wurden, gehörten Fragen zur Behaglichkeit potenzieller Kunden bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus, wenn sich während der Fahrt im Bus eine weitere, ihnen unbekannte Person befindet. Wenn Teilnehmer angaben, dass sie sich in dieser Situation unwohl bzw. von der Person bedroht fühlten, wurde in weiterer Folge befragt, was das Sicherheitsgefühl in gegebener Situation erhöhen würde. Folgende Möglichkeiten standen zur Auswahl:

- Kamera im Innenraum des Busses,
- Panikknopf, mit dem die Polizei alarmiert werden konnte,
- Notbremse,
- Sicherheitsbegleitung und
- Eigener Vorschlag.

Zusätzlich zu den fiktiven Szenarien in der Befragung, wurden den Teilnehmern drei mögliche Strecken für eine automatisierte Buslinie vorgestellt und ihre Meinungen zu diesen Strecken befragt. Damit die Meinungen potenzieller Kunden wirklichkeitsgetreu abgebildet werden konnten, wurden Teilnehmer nur zu der Strecke befragt, in deren Nähe sie entweder wohnen, arbeiten oder zur Schule gehen. Die befragten Verbindungen waren:

- Technische Universität Graz – St. Peter Schulzentrum
- Karmeliterplatz – Karl-Franzens-Universität
- SmartCity Graz – Reininghaus Graz

Die Befragung wurde zwischen dem 1. April 2018 und dem 7. Mai 2018 durchgeführt. Insgesamt nahmen 224 Personen an der Befragung teil. Weitere 19 Personen lasen die Willkommenseite der Befragung, in der das Forschungsthema erklärt wird, und entschieden nicht an der Befragung teilzunehmen. Weil das Ziel die Befragung der Grazer Bevölkerung war, wurden zur Befragung nur Personen zugelassen, die eine bestimmte alltägliche Verbindung zu der Stadt Graz hatten. Diese konnte entweder durch das Wohnen, Nachgehen einer festen Arbeit oder das Besuchen einer Schule in Graz gegeben sein. Touristen, die Graz besuchten oder bei Jemanden in Graz zu Besuch waren, wurden nicht zur Befragung zugelassen. Von den 224 Personen, fühlten 221 Teilnehmer den gesamten Fragebogen aus. Die drei Personen, die nicht zur Befragung zugelassen wurden, waren Personen die weder in Graz wohnen, arbeiten, eine Schule besuchen oder einem Studium nachgehen.

Als Umfrageform wurde ein digitaler Befragungsbogen gewählt. Die Befragung wurde mithilfe der Internetseite „Poll daddy“ erstellt. Die Befragung konnte auf zwei Arten durchgeführt werden: entweder konnte man den Fragebogen zu Hause oder Unterwegs ausfüllen, indem man durch einen Internetlink zur Befragung eingeladen wurde, oder durch das Ausfüllen der Befragung auf einem Tablet, der durch die Technische Universität Graz zur Verfügung gestellt wurde. Im zweiten Fall wurden Teilnehmer in Graz ausgewählt, zum Thema automatisiertes Fahren persönlich angesprochen, und zur Befragung eingeladen.

Der Befragungsbogen bestand aus 15 Fragen, aufgeteilt in drei Abschnitte. Jeder dieser Abschnitte hatte die Aufgabe bestimmte Bereiche des automatisierten Fahrens zu befragen oder bestimmte Informationen über die Teilnehmer zu sammeln. Nachdem man nach der Einladung zur Befragung auf der Internetseite von „Poll daddy“ gelangte bzw. die Befragung in der mobilen Poll daddy-App öffnete, wurde im Willkommensfenster das Thema der Befragung vorgestellt und für mögliche Fragen eine Kontakt-E-Mail angegeben. Des Weiteren wurden Teilnehmer darauf hingewiesen, dass keine persönlichen Daten an dritte Personen weitergeleitet werden bzw. dass während der Befragung keine persönlichen Fragen, wie beispielsweise Fragen über Name, Nachname oder genaue Wohnadresse, befragt werden. Die Teilnehmer wurden zusätzlich darauf hingewiesen, dass es keine richtigen oder falschen Antworten gibt und die ihre ehrliche Meinung zum Befragungsthema zählt.

Während der Durchführung der Befragung in der Stadt Graz zeichneten sich mehrere Hindernisse auf. Als größtes Hindernis stellte sich die Bereitschaft der Grazer Bevölkerung an der Befragung teilzunehmen. Die meisten der angesprochenen Personen hatte entweder keine Lust oder keine Zeit an der Befragung teilzunehmen. Am Grazer Hauptbahnhof, wo potenzielle Kunden zu der Verbindung zwischen der SmartCity Graz und dem Reininghaus Graz (siehe Kap. 5.6, Seite 76) befragt wurden, zeigte sich ein weiteres Hindernis auf. Die meisten der angesprochenen Personen am Grazer Hauptbahnhof verwechselten die Befragung mit einer Spendenaktion, weswegen die Befragung dieser Busverbindung in umliegende Straßen, in denen sich Fußgänger mehr Zeit ließen um das Thema der Befragung erklärt zu bekommen, verlegt werden musste.

In der Befragung wurden des Weiteren drei mögliche Verbindungen in Graz, auf denen ein vollautomatisierter Bus betrieben werden könnte, vorgestellt. Die Befragung musste nur für eine Verbindung ausgefüllt werden, für die sich die Teilnehmer selbst entscheiden konnten. Durch die Wahl nur einer Busverbindung und weil jede Verbindung Charakteristiken aufweist, die einen unterschiedlichen Einfluss auf die Antworten bestimmter Fragen hatten, wurde die Auswertung der Ergebnisse den einzelnen Busverbindungen zugeteilt. Das bedeutet, dass die Ergebnisse der verbindungsspezifischen Fragen drei Mal in dieser Arbeit abgebildet sind, für jede Busverbindung einmal. Ergebnisse, die eine nützliche Aussage über die Gesamtheit der Teilnehmer bietet, wie beispielsweise demografische Daten und Nutzungshäufigkeit des ÖPNV in Graz, werden für alle Verbindungen gesammelt dargestellt. Wer sich für die Daten nach Wahl der automatisierten Busverbindungen interessiert, findet im Anhang 11, 12, 13 und 14 zu dieser Arbeit die gesamten Befragungsergebnisse nach der Verbindungswahl tabellarisch sortiert. Diese Ergebnisse sind für jede vorgestellte automatisierte Busverbindung zusätzlich nach Geschlecht, Alter und Schulausbildung der Teilnehmer dargestellt.

Nach der Beantwortung der letzten Frage, wurde den Teilnehmern bestätigt die Befragung abgeschlossen zu haben, ihnen wurde für die aufgebrachte Zeit gedankt und eine E-Mail für mögliche Rückfragen angegeben. Das Ausfüllen der Befragung dauerte im Durchschnitt ca. 7 Minuten. In einzelnen Fällen konnte das Ausfüllen der Befragung, beeinflusst durch das Alter oder den Wissensstand des Teilnehmers, bis zu 16 Minuten dauern. Im Anhang 1 dieser Arbeit befindet sich ein Exemplar der verkehrsbefragung, die in Graz durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse jedes Befragungsabschnittes werden der Übersicht halber, nach einer kurzen Beschreibung des Aufbaues des jeweiligen Abschnittes, einzeln erläutert und dargestellt. Zusätzlich findet man tabellarisch alle Umfrageergebnisse in den Anhängen 11, 12, 13 und 14 zu dieser Arbeit. Die im Anhang dargestellten Ergebnisse bieten einen Überblick über die Meinungen und Bedenken potenzieller Kunden über automatisierter Busse in Graz und können als solche als Grundlage für weitere Forschungen auf dem Gebiet automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr in Graz dienen.

#### 5.4 Ergebnisse soziodemografischer Daten

Nachdem man sich bereit erklärt hat an der Befragung teilzunehmen, konnte man auswählen für welche Strecke man diese ausfüllen möchte. Den Teilnehmern wurde geraten, eine Strecke zu wählen, die man eventuell öfters befährt bzw. die einem am bekanntesten ist. Es reichte die Befragung für eine Strecke auszufüllen. Weitere Informationen zu der Wahl der einzelnen Verbindungen werden im Kap. 5.6 beschrieben. Im ersten Abschnitt der Befragung wurden Informationen zu demografischen Daten der Teilnehmer gesammelt. Die Informationen über Alter, Geschlecht und Schulausbildung wurden zur richtigen Zuordnung der Antworten während der Auswertung der Ergebnisse benutzt.

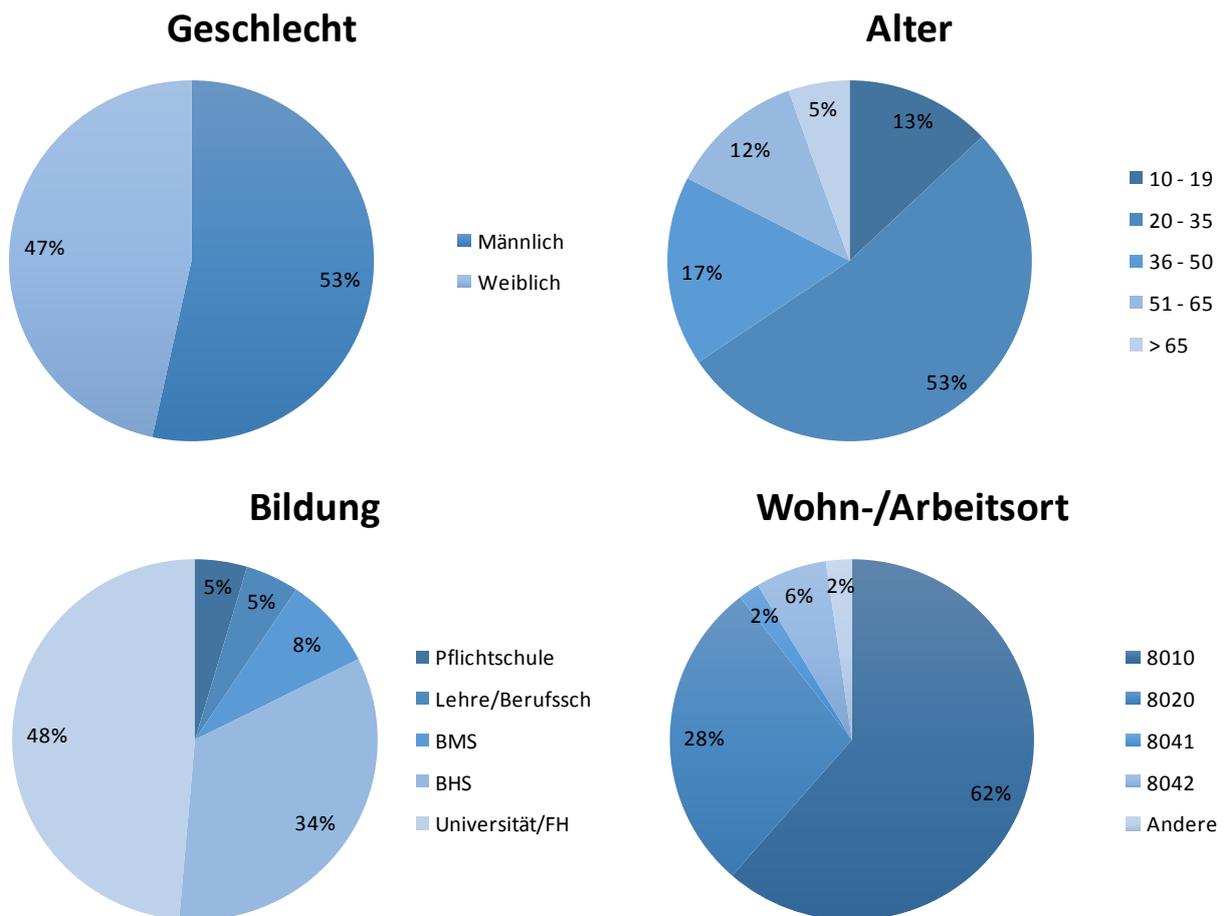


Abbildung 14: Demografische Daten Befragung Graz

Von den 224 Teilnehmern, gaben 54% an männlich und 46% weiblich zu sein. Des Weiteren konnten Teilnehmer ihr Alter einer von fünf Altersgruppen zuordnen. Die Idee hinter den gewählten Alters-

gruppen war die Einordnung jedes Teilnehmers einer bestimmten Personengruppe. Die 10-19-Jährige repräsentieren Schüler und Lehrlinge, die 20-35-Jährige Studenten, 36-50-Jährige Berufseinsteiger und mittellang Angestellte, 51-65-Jährige langjährige Berufstätige und die über 65-Jährige repräsentieren Ruheständler. Die größte Altersgruppe in Graz waren die 20-35 Jährigen mit 54%. Des Weiteren gaben 49% der Teilnehmer an, einen Universitäts- bzw. Fachhochschulabschluss zu besitzen. Die Abkürzungen „BMS“ und „BHS“ in der Abbildung 14 stehen für „Berufsbildende mittlere Schule“ und „Berufsbildende höhere Schule“.

Danach wurden die Teilnehmer nach der Postleitzahl (PLZ) ihres Wohnortes gefragt. Damit sichergestellt werden konnte, dass nur Personen mit einem engen Bezug zur Stadt Graz befragt werden, wurde, falls man angab nicht in Graz wohnhaft zu sein, eine zusätzliche Frage über die PLZ des Arbeitsortes bzw. der Schule des Teilnehmers gestellt. Antwortete man auf diese Frage, dass man nicht in Graz arbeitet und/oder zur Schule geht, wurde man automatisch zum Ende der Befragung geführt und somit nicht für die Befragung zugelassen. Personen, die angaben in Graz wohnhaft bzw. in Graz zu arbeiten oder zur Schule zu gehen, wurden zur Befragung zugelassen und konnten sich den Fragen des zweiten Abschnittes widmen. Die Abbildung 14 zeigt, dass die meisten Teilnehmer eine enge Verbindung mit der Innenstadt (PLZ 8010) haben, wo mehr als die Hälfte angab entweder zu wohnen, zu arbeiten oder zur Schule zu gehen.

Die Abbildung 15 zeigt die Nutzung des ÖPNV der 221 Teilnehmer in Graz. Die gleichmäßige Verteilung der Nutzungshäufigkeit über alle Teilnehmer ermöglichte eine repräsentative Darstellung der Meinung über eine automatisierte Busverbindung, da kein positiver oder negativer Einfluss der Abhängigkeit oder Nutzung des ÖPNV von Seite der Teilnehmer gegeben war. Die Anzahl der Teilnehmer, die den ÖPNV in Graz öfter benutzten, unterschied sich im Wesentlichen nicht von der Anzahl der Teilnehmer, die den ÖPNV in Graz eher weniger benutzen, was keine Beeinflussung der Attraktivität der vorgestellten automatisierten Busverbindungen durch die Nutzungshäufigkeit des ÖPNV in Graz sicherstellte.

### Wie oft benutzen Sie den Öffentlichen Verkehr in Graz?

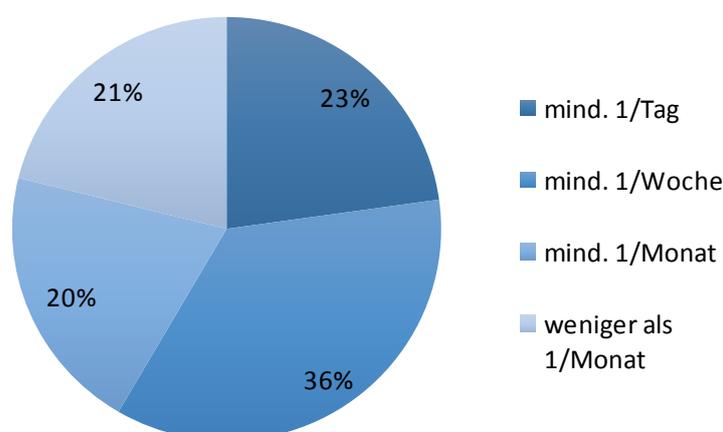


Abbildung 15: Nutzungshäufigkeit des ÖV in Graz

## 5.5 Erwartungen an automatisiertes Fahren

Nachdem demografische Daten erhoben wurden, wurde im zweiten Abschnitt der Befragung der Wissenstand und die allgemeine Meinung der Teilnehmer über automatisiertes Fahren befragt. 87% der Teilnehmer gab an schon einmal von vollautomatisierten Fahrzeugen gehört zu haben. Das zeigt, dass das Thema vollautomatisiertes Fahren in der Bevölkerung weit verbreitet ist und sich die Bewohner von Graz für das vollautomatisierte Fahren interessieren. Zum besseren Verständnis automatisierter Kleinbusse, wurde den Teilnehmern neben einer Beschreibung der Eigenschaften automatisierter Busse, auch ein verkürztes Vorstellungsvideo eines automatisierten Kleinbusses gezeigt (Internetlink Video: <https://www.youtube.com/watch?v=wUxzmbRpaYE>). Bei dem gezeigten Kleinbus handelt es sich um einen Arma DL4 des französischen Fahrzeugentwicklers Navya. Das ist der gleiche Kleinbus, für dessen Betrieb im Kap. 4.3 Kostenrechnungen durchgeführt wurden.

Das Video diente zur besseren Verständnis der Funktionsweise und möglichen Einsatzes automatisierter Kleinbusse im ÖPNV. Die Aufgabe des Videos war es nicht einen positiven oder negativen Einfluss auf die Meinung der Teilnehmer durch die Präsentation von Vor- und/oder Nachteilen automatisierter Kleinbusse hervorzurufen. Die Idee war es Teilnehmern, die sich bislang nicht mit dem automatisierten Fahren beschäftigt haben, die wichtigsten Informationen dieser Technik aus unterschiedlichen Blickwinkeln, sei es durch Bilder, textuelle Beschreibung oder einem Vorstellungsvideo, näher zu bringen. Das Video diente der besseren Vorstellung der Eigenschaften eines Kleinbusses. Auch wenn die Mehrheit der Teilnehmer angab schon einmal von vollautomatisierten Fahrzeugen gehört zu haben, bedeutete das nicht, dass sie auch eine Vorstellung davon besaßen, wie ein automatisierter Kleinbus aussieht. Es war die Aufgabe des Vorstellungsvideos das vorhandene Wissen der Teilnehmer über automatisierte Busse zu ergänzen. 92% der Teilnehmer gab an das Video zuvor nicht gesehen zu haben, was sich im Nachhinein positiv auf die Repräsentativität der Befragung auswirkte.

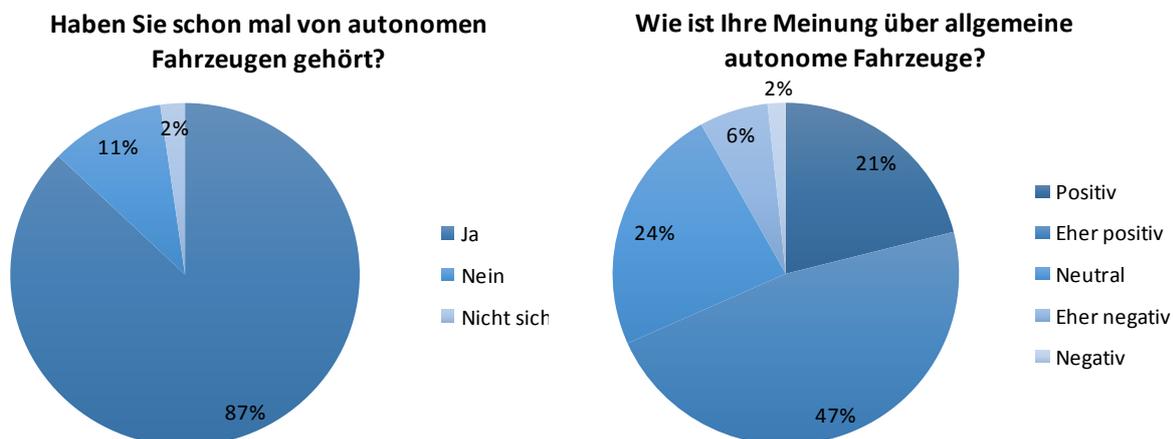


Abbildung 16: Bekanntheit und Meinung über vollautomatisierte Fahrzeuge

Nachdem das Video zu ende geschaut wurde, wurden die Teilnehmer nach ihrer allgemeinen Meinung über automatisierte Fahrzeuge befragt. Dass das Thema vollautomatisiertes Fahren von der Grazer Bevölkerung gut angenommen wird zeigt, dass 68% der Teilnehmer angab eine „positive“ bzw. „eher positive“ Meinung über vollautomatisierte Fahrzeuge zu besitzen. Weniger als 10% der Teilnehmer gab an, eine „negative“ bzw. „eher negative“ Meinung über vollautomatisierte Fahrzeuge zu besitzen. Der am meisten genannte Grund einer positiven Meinung über automatisierte Kleinbu-

sse war die höhere Sicherheit im Vergleich zu einem menschlichen Fahrer (28%). Der häufigste Grund einer negativen Meinung über automatisiertes Fahren war der mögliche Verlust von Arbeitsplätzen (31%) und negative Einfluss der unreifen Technik auf den Straßenverkehr (25%).

Nachdem die Teilnehmer ihre Meinungen gegenüber automatisierten Fahrzeugen äußerten, wurden die Teilnehmer gebeten den Einfluss automatisierter Busse auf unterschiedliche Bereiche des ÖPNV zu bewerten. Dazu wurden den Teilnehmern insgesamt acht Bereiche des öffentlichen Buslinienverkehrs vorgegeben. Diese Bereiche waren:

- Verkehrssicherheit,
- Sicherheit im Fahrzeug,
- Mobilitätsangebot,
- Ticketpreise,
- Fahrkomfort,
- Reisezeit,
- Buslinienanzahl und
- Betriebsstörungen.

Zu Bereichen, die durch zu kurze Wortwahl die Gefahr besaßen falsch interpretiert zu werden, wurde eine zusätzliche Beschreibung und/oder ein kurzes Beispiel genannt. Bereiche wie „Ticketpreise“ und „Fahrkomfort“ sind Beispiele eines eindeutig definierten Bereiches und benötigten deswegen keine weitere Beschreibung. Zu jedem Bereich konnten die Teilnehmer angeben ob sie der Meinung sind, dass sich der Bereich, durch den Einsatz automatisierter Busse im ÖPNV, für den Nutzer verschlechtern, gleich bleiben oder verbessern würde. Unter einer Verschlechterung verstand man eine Situationsänderung zuwider des ÖPNV-Nutzers, eine Verbesserung zugunsten des ÖPNV-Nutzers. Niedrigere Ticketpreise, Reisezeiten, Anzahl von Betriebsstörungen, Übergriffe in Fahrzeugen und Anzahl von Verkehrsunfällen galten als eine Verbesserung. Niedrigere Dienststunden, Fahrkomfort und Buslinienanzahl galten als eine Verschlechterung. Als abschließende Frage des zweiten Abschnittes der Befragung, wurden die Teilnehmer gefragt, welchen Preis sie bereit wären für ein Fahrticket mit einem automatisierten Kleinbus zu zahlen. Um das Beantworten der Frage und die Auswertung der Antworten zu erleichtern, mussten die Teilnehmer keinen genauen Preis nennen, sondern im Vergleich zu den Fahrpreisen in Graz, zur Zeit der Befragung, angeben, ob sie mehr, gleich viel oder weniger für die Fahrt bezahlen würden.

In der Tabelle 35 erkennt man, dass die Einflüsse von automatisierten Bussen auf den ÖPNV nach der Meinung potenzieller Kunden überwiegend positiv sind. Die Bereiche, für die der Einfluss automatisierter Kleinbusse nicht positiv ist, werden durch den Einsatz automatisierter Kleinbusse, nach Meinung der Teilnehmer, nicht negativ beeinflusst. Zu diesen Bereichen gehören Fahrpreise, Reisezeiten, Sicherheit im Fahrzeug und Betriebsstörungen, zu denen die Teilnehmer überwiegend der Meinung sind, dass diese eher gleich bleiben würden. Bereiche des ÖPNV, in denen sich die Teilnehmer eine Verbesserung durch den Einsatz automatisierter Busse erhoffen sind die Verkehrssicherheit, das Mobilitätsangeboten und die Buslinienanzahl. Durch die benutzten Techniken eines automatisierten Busses und dem Entfall menschlicher Unaufmerksamkeit, erwarten sich die Teilnehmer eine Verringerung von Verkehrsunfällen im ÖPNV. Der Entfall eines menschlichen Fahrers ermöglicht es eine Buslinie täglich länger zu betreiben, was die Umsetzung eines 24 Stunden-Betriebes erleichtern kann.

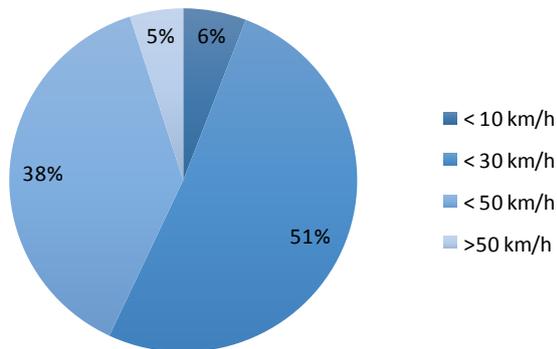
**Tabelle 35: Geschätzte Auswirkungen automatisierter Busse auf den ÖPNV in Graz**

Betriebstechnische Aspekte	Verbessern	Eher verbessern	Bleibt gleich	Eher verschlechtern	Verschlechtern
<b>Verkehrssicherheit</b> (z. B. Anzahl von Verkehrsunfällen)	47	85	66	19	4
<b>Sicherheit im Fahrzeug selbst</b> (z. B. Anzahl an Übergriffen in Bussen)	14	40	109	54	4
<b>Mobilitätsangebot</b> (z. B. Ganztagsverkehr, Haltestellenwartezeiten)	80	109	25	6	1
<b>Ticketpreise</b>	15	40	93	61	12
<b>Fahrkomfort</b>	14	74	118	12	3
<b>Reisezeiten</b> (von Anfangs- bis Endhaltestelle)	15	49	77	73	7
<b>Buslinienanzahl</b> (z. B. Erschließung abgelegener Stadtteile)	68	107	41	4	1
<b>Betriebsstörungen</b> (z. B. Anzahl Busausfälle)	14	35	105	57	10

Die Erhöhung der Buslinienanzahl des Busbetreibers stellt einen weiteren Bereich dar, von dem sich potenzielle Kunden einen positiven Einfluss automatisierter Busse im ÖPNV erwarten. Durch den schnelleren Einsatz automatisierter Kleinbusse im Vergleich zu konventionellen Bussen auf weniger befahrenen Strecken, wird auch eine Anbindung abgelegener Stadtteile erleichtert. Durch den Einsatz automatisierter Kleinbusse ist es möglich die benötigte Zeit für Zuweisung von Fahrern/-innen und der Anfertigung neuer Fahrpläne einzusparen. Es reicht, bei der Annahme einer ausgereiften Fahrzeugtechnik, die Streckenführung einzulesen, Verkehrsregel zu definieren und in die Fahrzeugsoftware abzuspeichern.

Ein wichtiger Aspekt des automatisierten Fahrens, neben den positiven Einflüssen automatisierter Elektrobusse auf die Umwelt, stellt das Wohlbefinden der Fahrgäste bei einer Fahrt mit einem automatisierten Kleinbus dar. Dabei spielt die Reisegeschwindigkeit eine wichtige Rolle. Mit Erhöhung der Reisegeschwindigkeit kann auch die Unfallgefahr im Straßenverkehr ansteigen und das Wohlbefinden von Fahrgästen negativ beeinflusst werden. Bei der Frage, bei welcher maximalen Reisegeschwindigkeit man sich in einem automatisierten Kleinbus noch wohl und sicher fühlen würde, gaben mehr als die Hälfte der Teilnehmer an, sich bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h zutrauen würden mit einem automatisierten Kleinbus zu reisen. 43% der Teilnehmer gab an auch bei Geschwindigkeit von über 30 km/h mit einem automatisierten Bus reisen zu würden. Wenn man sich die bisherigen Reisegeschwindigkeiten automatisierter Kleinbusse bei Testfahrten in Österreich anschaut, die durch die AutomatFahrV derzeit noch auf 20 km/h begrenzt wird, dann kann man davon ausgehen, dass die Mehrheit potenziellen Nutzer in Graz keine Probleme mit der Reisegeschwindigkeit derzeitiger automatisierter Elektrobusse hätte.

### Reisegeschwindigkeit, bei der Sie sich in einem aut. Minibus noch wohl fühlen?



### Welchen Preis wären sie bereit für ein Fahrticket mit einem AMB zu zahlen?

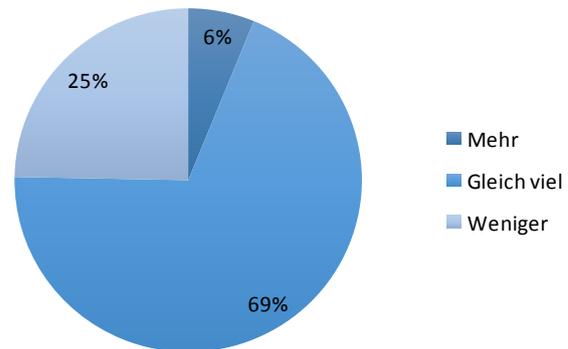


Abbildung 17: Meinung über Reisegeschwindigkeit und Fahrpreis

Um höhere Geschwindigkeiten von automatisierter Fahrzeugen zu erlauben, bedarf es einer Untersuchung der Auswirkungen höherer Reisegeschwindigkeiten von automatisierten Fahrzeugen auf die Verkehrssicherheit auf öffentlichen Straßen. Das ist nicht Teil dieser Arbeit und dem wird in weiterer Folge nicht weiter nachgegangen. Bei der Frage, welchen Preis man, im Vergleich mit dem zur Zeit der Durchführung der Befragung in Graz angebotenen Preisen im ÖPNV, bereit wäre für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus zu zahlen, gab die Mehrheit der Teilnehmer an, bereit zu sein den gleichen Preis wie für einen konventionellen Bus zu zahlen. 69% der Teilnehmer gab an mit den jetzigen Fahrpreisen in Graz zufrieden zu sein und sah keinen Grund einen höheren bzw. niedrigeren Preis für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus zu verlangen. Wichtig zu erwähnen ist, dass dreimal so viele Teilnehmer angaben, bereit zu sein einen niedrigeren Preis (25%) für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus zu zahlen als einen höheren (6%).

## 5.6 Auswertung von 3 exemplarischen Busverbindungen

Ein Ziel der Befragung war es mögliche Busverbindungen für automatisierte Busse in Graz vorzustellen und die Meinung potenzieller Kunden zur Nutzung dieser Buslinien zu befragen. Bevor entschieden werden konnte, wo ein Einsatz automatisierter Busse in Graz technisch umsetzbar wäre, mussten die bestehenden Grazer Buslinien nach ihren Netzkenngößen kategorisiert werden. Als wichtige Netzkenngößen zur Wahl möglicher Busverbindungen für den automatisierten öffentlichen Busverkehr wurde die Streckenlänge, Haltestellendichte, Reisezeit und Reisegeschwindigkeit gewählt. Zusätzlich wurden diese Netzkenngößen gesondert in Hin- und Rückfahrt betrachtet, da einige Buslinien unterschiedliche Kenngößen bei Hin- und Rückfahrten aufweisen.

Für die Reisezeiten, und die darauf berechneten Reisegeschwindigkeiten, wurde der Fahrplan der einzelnen Busverbindungen in drei Hauptverkehrszeiten (HVZ) geteilt. Für die Morgen-HVZ wurden die Stunden zwischen sechs Uhr und neun Uhr gewählt, für die Mittag-HVZ die Stunden zwischen neun Uhr und 16 Uhr und die Abend-HVZ lag zwischen 16 Uhr und 19 Uhr. Diese Teilung wurde vorgenommen weil die Reisezeiten und Reisegeschwindigkeiten der einzelnen Busverbindungen während eines Arbeitstages, bedingt durch Benutzeranzahlen, Türöffnungszeiten, Verkehrslage u. ä., schwankt. Damit das Ergebnis der Kategorisierung nicht verfälscht wird, wurden Buslinien, die durch ihre Charakteristik von denen anderer Buslinien in Graz abweichen, nicht in der Analyse berücksichtigt. Zu den nicht berücksichtigten Linien gehören Ersatzbusverbindungen und Nachtbuslinien der HGL. Zusätzlich wurde nur der Busfahrplan für Arbeitstage betrachtet, da einige Busverbindungen

unterschiedliche Abfahrtszeiten und -dichten für Wochenendtage aufweisen und das auch zu einer Verfälschung der tatsächlichen Netzkenngößen führen könnte. Nach der Aussondierung von Ersatz- und Nachlinien, blieben insgesamt 20 Busverbindungen der Grazer Linien, die anhand der bereits genannten Netzkenngößen analysiert und kategorisiert wurden. Zur Analyse der Netzkenngößen der Grazer Buslinien wurde das GUARD-Modell der Technischen Universität in Graz (TU Graz) benutzt. Bei dem GUARD-Modell handelt es sich um ein Forschungsprojekt der TU Graz [2011], das zwischen 2008 und 2011 betrieben wurde. Nach der Beschreibung des Projektes, war das Ziel:

*„Lösungen für eine Attraktivierung des ÖV durch Optimierungen in der Anschlusssicherung und in der Reiseinformation zu entwickeln. Als grundlegendes Werkzeug wird ein zeitlich und räumlich hochaufgelöstes multimodales Verkehrsmodell, mit Nachbildung von Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage für alle Verkehrsmittel, erstellt. Aus dem mit der Verkehrsnachfrage umgelegten Verkehrsmodell können ungünstige Anschlussverbindungen aufgezeigt und deren Veränderungen und Auswirkungen durch Verschiebung der Abfahrtszeiten bestimmt werden“ [TU Graz, 2011].*

Bei dem GUARD-Modell handelt es sich um ein Verkehrsmodell, in dem Verbindungen des ÖV von Graz eingebunden sind. Das GUARD-Modell beinhaltet alle relevanten Informationen zu Linien des öffentlichen Verkehrs in Graz, wie beispielsweise Fahrpläne von Busverbindungen, die genauen Busstrecken uvm.

Für die Haltestellenanzahlen jeder untersuchten Buslinie, wurden Fahrpläne der Busverbindungen von der Internetseite der HGL für das Jahr 2018 herangezogen. Für die Kategorisierung der Streckenlängen und Haltestellenanzahlen wurden im ersten Schritt alle Busverbindungen im GUARD-Modell isoliert, die für die Analyse relevant sind. Im nächsten Schritt wurde jede Buslinie gesondert untersucht. Anhand der Streckenlänge und der Haltestellenanzahl wurde die Haltestellendichte für jede Buslinie in Hin- und Rückrichtung berechnet. Im nächsten Schritt wurden die Reisezeiten in Hin- und Rückrichtung und für die einzelnen HVZ berechnet. Als Reisezeit wurde nur die Zeit, die ein Bus von der Anfangshaltestelle bis zur Endhaltestelle benötigt, berücksichtigt. Morgenfahrten aus der Remise bzw. Abendfahrten zurück in die Remise, wurden aus der Berechnung aussortiert. Für jede Buslinie bietet das GUARD-Modell einen aktuellen Fahrplan an. Anhand des Fahrplanes lassen sich die Reisezeiten und die Reisegeschwindigkeiten für jede Busverbindung und jede HVZ berechnen.

Nach der Analyse der Netzkenngößen der Busverbindungen in Graz, wurden diese kategorisiert und zum leichteren Vergleich in eine Tabelle eingetragen. Als kürzeste Busverbindung in Graz stellte sich mit 3,21 Kilometer Länge (Hin- und Rückrichtung gleich lang) die Buslinie 50, die zwischen dem Hauptbahnhof und dem Zentralfriedhof fährt, heraus. Die Buslinie 50 stellt zusätzlich auch die Strecke mit den wenigsten Haltestellen dar. Bei der Fahrt vom Zentralfriedhof zum Hauptbahnhof hält die Buslinie 50 an zehn Haltestellen. Die längste Route führt von Puntigam zu Stifting. Die Buslinie 64 fährt von der Haltestelle Puntigam insgesamt 15,29 Kilometer bis zur Haltestelle Stifting. Obwohl die Strecke der Buslinie die längste ist, ist sie nicht die Linie mit den meisten Haltestellen. Mit insgesamt 46 Haltestellen, besitzt die Buslinie 62, zwischen der Carnerigasse und Puntigam, eine Haltestelle mehr als die Buslinie 64.

Die Buslinie mit der höchsten Haltestellendichte ist die Buslinie 30, die gleichzeitig die Linie mit der niedrigsten durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit darstellt. Auf der Strecke zwischen Geidorf und der Gebietskrankenkasse hält die Linie 30 im Durchschnitt alle 271 Meter und fährt im Durchschnitt 13,0 km/h schnell. Die niedrige Reisegeschwindigkeit ist der engen Streckenführung in der Innenstadt geschuldet.

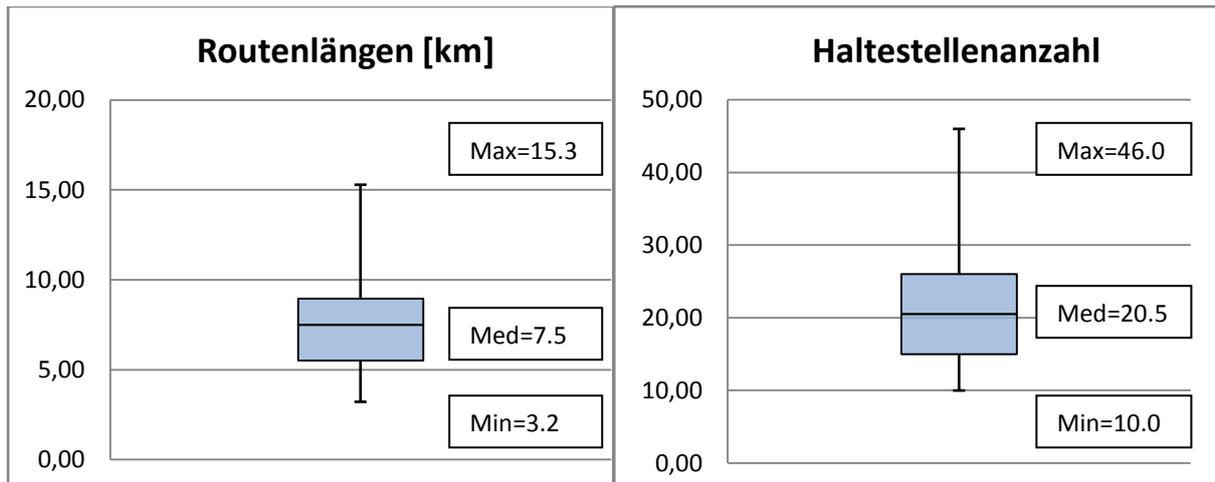


Abbildung 18: Routenlängen der Grazer Buslinien

Abbildung 19: Haltestellenanzahl der Grazer Buslinien

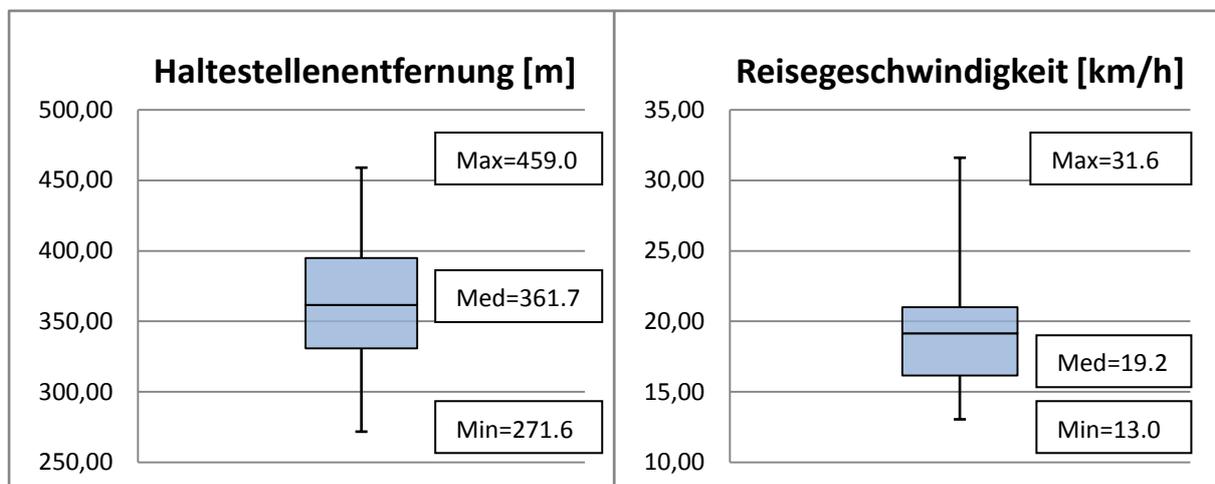


Abbildung 20: Haltestellendichte der Grazer Buslinien

Abbildung 21: Reisegeschwindigkeit der Grazer Buslinien

Die Linie mit der niedrigsten Haltestellendichte stellt die Linie 52 dar. Zwischen dem Hauptbahnhof und der Ziegelstraße hält der Bus der Linie 52 im Durchschnitt alle 459 Meter. Die Busverbindung mit der höchsten Reisegeschwindigkeit über den ganzen Tag hinweg, stellt mit 31,6 km/h die Buslinie 48 zwischen Thal-Kötschberg und Gösting, dar. Hier wurden nur die extremen Netzkennzahlen präsentiert. In der Tabelle 36 befinden sich die Kennzahlen der übrigen untersuchten Buslinien.

Nach der Kategorisierung der Grazer Buslinien und dem Vergleich bestehender Busverbindungen mit Streckenführungen bereits getesteter automatisierter Busse, wurde erkannt, dass keine derzeit betriebene Busverbindung in Graz als automatisierte Busverbindung realisierbar wäre und damit nicht für die Verkehrsbefragung in Graz in Frage kam. Die Gründe reichen von zu langen Strecken, über zu hohe Längsneigungen auf der gefahrenen Strecke, bis hin zu Strecken auf der sich zu viele Fußgänger befinden, was den Betrieb eines automatisierten Busses erschweren würde. Die kürzeste derzeit betriebene Busverbindung der Grazer Linien, die Buslinie 50, ist mit 3,21 Kilometern immer noch länger als die meisten Strecken, die bislang in Europa mit automatisierten Bussen zu Test- und Demonstrationszwecken befahren wurden. Des Weiteren wären Busverbindungen durch Stadtzentren, wie beispielsweise über den Hauptplatz oder den Jakominiplatz in Graz, wegen dem Einfluss hoher Fußgängeranzahlen auf die Fahrzeugsensorik, mit einem automatisierten Bus nicht befahrbar.

Tabelle 36: Netzkennzahlen der Grazer Buslinien

Buslinie	Routenlänge [km]		Haltestellenanzahl*		Haltestellenentfernung** [m]		Reisezeit [min]				Reisegeschw. [km/h]			
	Haltestellenentfernung** [m]		Hinfahrt		Rückfahrt		Hinfahrt		Rückfahrt		GUARD Modell			
	Hinfahrt	Rückfahrt	Hinfahrt	Rückfahrt	Hinfahrt	Rückfahrt	WT (6-9 Uhr)	WT (9-16 Uhr)	WT (16-19 Uhr)	WT (6-9 Uhr)	WT (9-16 Uhr)	WT (16-19 Uhr)	Hinfahrt	Rückfahrt
30	3,39	3,26	13	13	282,50	271,67	14	14	k. A.	k. A.	15	15	14,5	13,0
31	9,53	9,11	26	25	381,20	379,58	31	32	32	32	32	32	18,1	17,1
32	8,71	8,47	23	20	395,91	445,79	26	26	26	26	26	28	20,1	18,6
33	9,68	9,80	28	27	358,52	376,92	29	31	26	26	32	30	20,4	19,2
34	8,16	8,26	24	22	354,78	393,33	26	26	24	24	25	25	19,4	19,8
39	6,85	6,52	24	22	297,83	310,48	27	27	27	27	25	25	15,2	15,6
40	6,98	6,61	20	19	367,37	367,22	23	26	21	21	25	25	18,1	15,9
48	5,30	6,32	18	15	311,76	451,43	12	12	12	12	12	12	26,5	31,6
50	3,21	3,21	11	10	321,00	356,67	12	12	12	12	12	12	16,1	16,1
52	8,40	8,72	21	20	420,00	458,95	24	24	24	24	23	24	21,0	22,1
53	12,77	12,85	36	35	364,86	377,94	35	35	35	35	36	36	21,9	21,4
58	8,90	8,90	27	26	342,31	356,00	33	33	33	33	33	35	16,2	15,9
60	4,34	4,27	12	11	394,55	427,00	12	12	12	12	12	12	21,7	21,4
62	13,33	13,9	46	44	296,22	323,26	39	39	39	39	40	40	20,5	20,9
63	5,62	5,58	20	20	295,79	293,68	25	25	25	25	25	25	13,5	13,4
64	15,29	15,04	45	43	347,50	358,10	48	48	48	48	48	48	19,1	18,8
65	5,72	5,61	15	14	408,57	431,54	17	17	17	17	16	16	20,2	21,0
67	8,00	8,42	25	25	333,33	350,83	29	29	29	28	30	30	16,6	17,2
74	4,76	4,76	13	12	396,67	432,73	11	11	11	12	12	12	26,0	23,8
85	5,25	5,58	16	16	350,00	372,00	17	17	17	17	17	17	18,5	19,7

\*Nach Fahrplan der Holding Graz Linien, Quelle: <http://www.holding-graz.at/graz-linien/fahrplaene.html>

\*\*Durchschnittliche Haltestellenentfernung

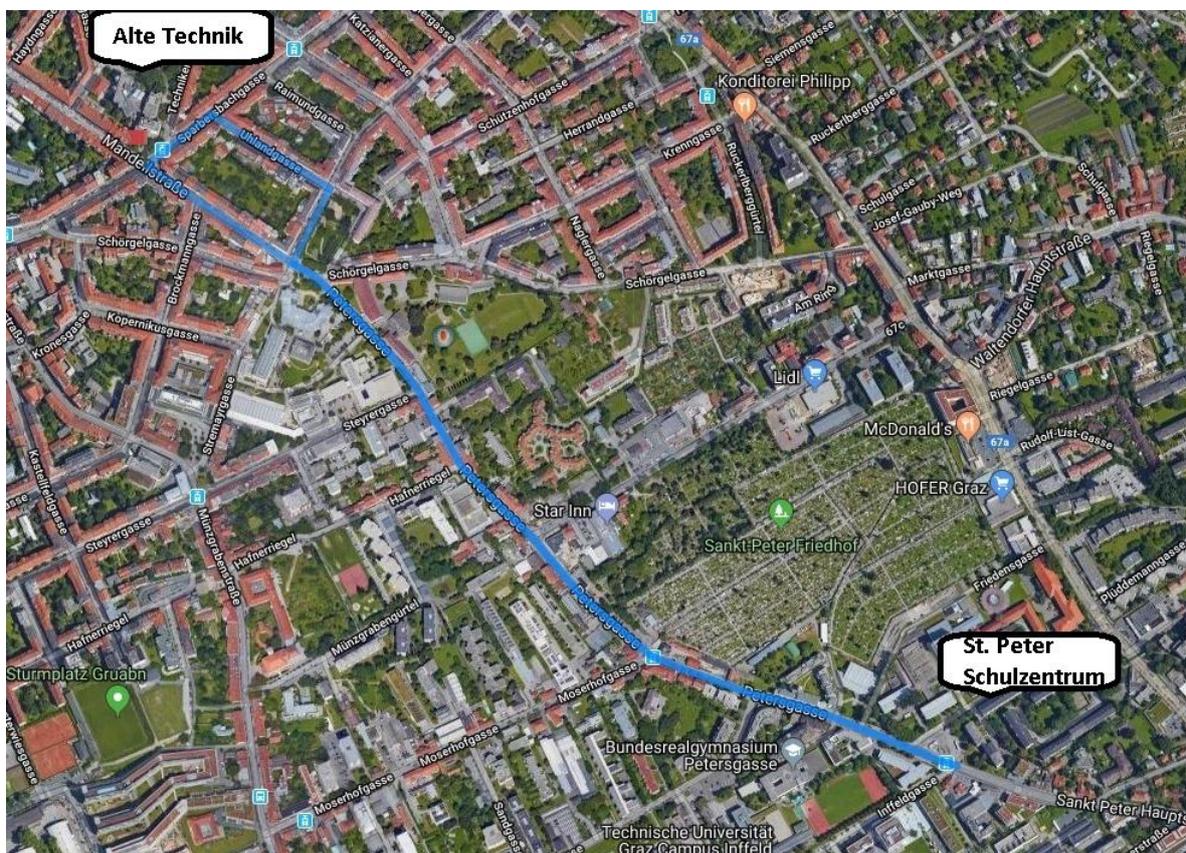
WT...Werktag

k. A....keine Angaben, Bus fährt zu dieser Zeit nicht bzw. fährt nur Teil der Strecke

Im nächsten Schritt wurde die genaue Strecken aller Buslinien in Graz, nach den Informationen auf der offiziellen Internetseite der HGL, in eine digitale Karte der Stadt Graz eingetragen. Dies ermöglichte eine übersichtliche Darstellung des Busliniennetzes in Graz und in weiterer Folge erleichterte diese Netzkarte die Erkennung möglicher Stadtgebiete, in denen eine oder mehrere, durch automatisierte Busse betriebene, Strecken wirtschaftlich sinnvoll wären und durch die ein Mehrwert geschaffen werden könnte. Nachdem alle Stadtgebiete erkannt wurden, in denen eine Busverbindung mit automatisierten Bussen technisch umsetzbar wären, fiel die Entscheidung auf drei Strecken. Die Verbindungen führten zwischen:

- der Technische Universität Graz und dem St. Peter Schulzentrum,
- dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität,
- der SmartCity Graz und dem Reininghaus Graz.

Die erste Strecke, von der man einen Mehrwert erwarten konnte und die ein automatisierter Bus, mit seinen technischen Eigenschaften, befahren könnte, ist in der Abbildung 22 zu sehen. Die Strecke befindet sich im Osten von Graz und führt vom Gebäude der Alten Technik der Technischen Universität Graz, über die Petersgasse bis hin zum St. Peter Schulzentrum. Die Strecke ist ca. 1,36 Kilometer, der Rundkurs ca. 2,70 Kilometer lang. In der Nähe des St. Peter Schulzentrums befindet sich zusätzlich die Infeldgasse, die zum Universitätscampus der Technischen Universität gehört. Die Strecke wäre somit auch für Studenten interessant, die Lehrveranstaltungen in Räumlichkeiten der Alten Technik und der Infeldgasse besuchen.



**Abbildung 22: Verbindung zwischen TU Graz und St. Peter Schulzentrum**

(Quelle: Google Maps, 2018)

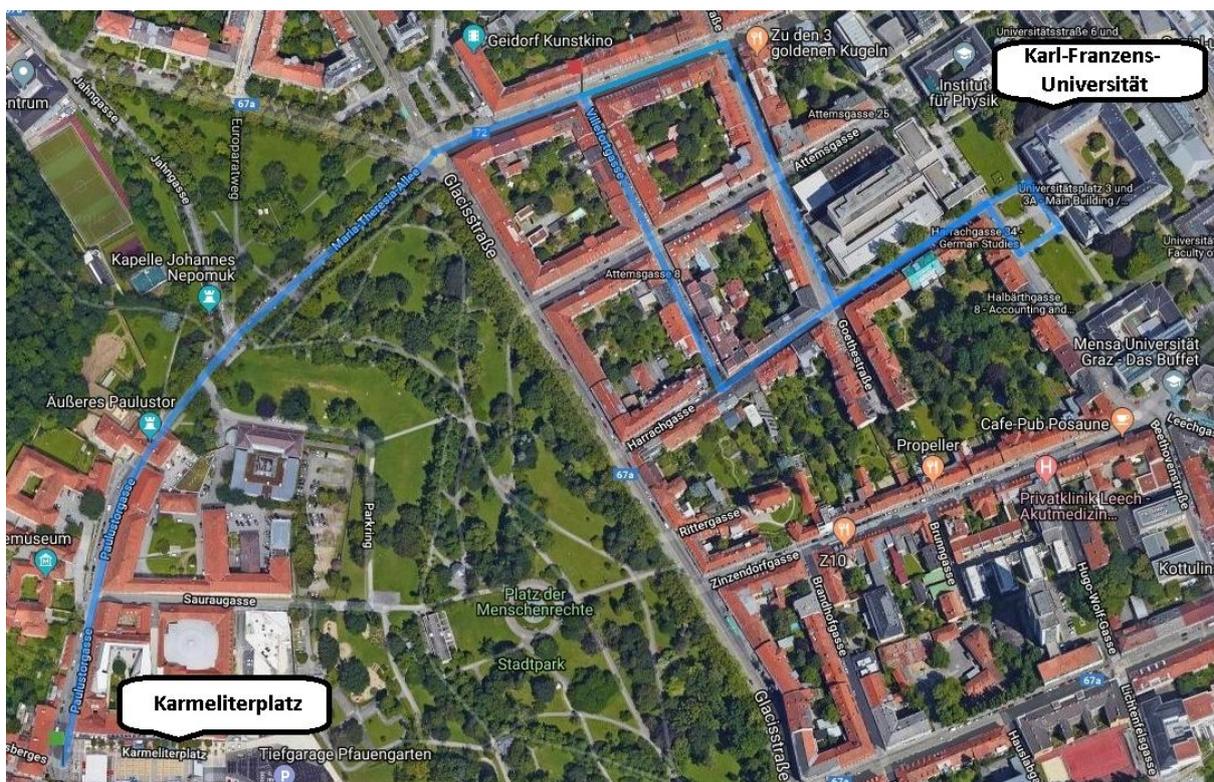
Auf der Strecke befinden sich weitere Gebäude der Technischen Universität, die zusätzliche Haltemöglichkeiten zwischen der Anfangs- und der Endhaltestelle bieten. Beim St. Peter Schulzentrum befinden sich die Endstation der Buslinien 63 und bietet somit eine Wendemöglichkeit für einen automatisierten Elektrobus. Die Haltestelle St. Peter Schulzentrum wird zusätzlich von der Buslinie 64 und der Straßenbahnlinie 6 genutzt, womit weiterführende Verbindungen in andere Stadtteile gegeben wären. Bei dem Gebäude der Alten Technik könnte ein automatisierter Kleinbus über die Uhlandgasse und dem Felix-Dahn Platz wenden.

Wenn man mit dem derzeitigen Angebot an Stadtbussen und Straßenbahnen von der Alten Technik bis zum St. Peter Schulzentrum kommen möchte, muss man mit der Straßenbahnlinie 3 zum Dietrichsteinplatz fahren. Nachdem man in die Straßenbahnlinie 6 umgestiegen ist, fährt man weitere fünf Haltestellen, bis man beim St. Peter Schulzentrum angelangt ist. Angenommen, dass man bei dem Umsteigevorgang am Dietrichsteinplatz keine Zeit verliert bzw. auf die Straßenbahnlinie 6 nicht warten muss, benötigt man mit den derzeitigen öffentlichen Verkehrsangeboten ca. elf Minuten um bis zum St. Peter Schulzentrum zu gelangen. Zu Fuß bräuchte man, bei normaler Laufgeschwindigkeit, ca. 17 Minuten um über die Petersgasse von der Alten Technik bis zum St. Peter Schulzentrum zu gelangen. Regelmäßige Verbindungen mit öffentlichen Stadtbussen werden auf dieser Strecke derzeit nicht angeboten. Bei der Annahme einer Reisegeschwindigkeit von 20 km/h, was nach der AutomatenfahrV die derzeit höchste zugelassene Reisegeschwindigkeit im Testbetrieb automatisierter Busse in Österreich ist, wäre es möglich die Strecke zwischen der Alten Technik und dem St. Peter Schulzentrum mit einem automatisierten Kleinbus in sechs Minuten zu durchfahren. Das entspricht einer Zeitersparnis gegenüber derzeitigen Straßenverbindungen von ca. 5 Minuten in einer Richtung und ca. elf Minuten im Vergleich zu Fußgängern. Bei einem Betrieb von zwei automatisierten Kleinbussen, könnte man, Unter Annahme einer optimalen Verkehrssituation und ohne technische Störungen des Fahrzeuges, ca. alle acht bis zehn Minuten eine Busverbindung zwischen der Alten Technik und dem St. Peter Schulzentrum betreiben.

Die zweite Strecke, zu der die Meinung potenzieller Kunden in der Befragung ermittelt wurde, befindet sich im Stadtzentrum und verbindet den Karmeliterplatz mit der Karl-Franzens-Universität. Zusätzlich führt die Verbindung zwischen dem Karmeliterplatz und dem Geidorfplatz durch einen kleinen Teil des Grazer Stadtparks. Die Strecke ist ca. 1,20 Kilometer, der Rundkurs ca. 2,40 Kilometer lang. Die Überlegungen bei dieser Strecke waren ähnlich wie bei der Verbindung zwischen der Alten Technik und dem St. Peter Schulzentrum. Der einzige Unterschied war weniger die Schaffung einer Verbindung zwischen zwei Schulzentren, sondern die Verbindung eines Ausbildungsortes mit dem Grazer Stadtzentrum. Durch die lokalen Gegebenheiten und die bestehenden Verbindungen zwischen dem Grazer Hauptplatz und umliegenden Interessenspunkten, fiel die Wahl auf die Verbindung der Karl-Franzens-Universität mit dem Grazer Hauptplatz.

Bei dieser Verbindung stellte sich die Sporgasse als Hindernis dar. Bei der Sporgasse handelt es sich um eine Seitengasse die vom Grazer Hauptplatz zum Karmeliterplatz führt und die durch eine enge Straßenbreite, hohe Fußgängeranzahl und einer hohen Längsneigung charakterisiert wird. Die hohen Fußgängeranzahl und die hohe Steigung der Sporgasse würden bei der Realisierung einer automatisierten Busverbindung die größten Hindernisse darstellen. Die Ultraschallsensoren, die einem automatisierten Bus das vollautomatisierte Fahren ermöglichen, sind aus Sicherheitsgründen auf Bewegungen umliegender Verkehrsteilnehmer empfindlich und die Technik zur Führung automatisierter Busse reagiert auf Meldungen der Fahrzeugsensoren schnell und konsequent, was eine flüssige Fahrt in der Sporgasse nicht ermöglichen würde. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass durch die hohe Längsneigung und den erhöhten Antrieb des Elektromotors automatisierter Busse die Batteriezellen überhi-

tzen und die Technik des automatisierten Kleinbusses in einen Sicherheitsmodus umschalten könnte, was zu einer verringerten Antriebsleistung führt. In extremen Fällen kann das in einem Rückwärtsrollen des automatisierten Kleinbusses führen und somit eine Gefahrensituation für Fahrzeuginsassen und andere Verkehrsteilnehmer bedeuten. Bei einer ähnlichen Situation während Testfahrten des Navya Arma DL4 in Koppl, musste der automatisierte Kleinbus wegen einer zu hohen Längsneigung im manuellen Modus einen Hang rückwärts rollen, bevor im manuellen Modus und ohne Fahrzeuginsassen (im Fahrzeug befand sich nur der Lenker des Kleinbusses) der Hang wieder befahren werden konnte (siehe Kap. 5.2.1, Seite 62). Wegen der hohen Steigung und Fußgängeranzahl in der Sporgasse, konnte keine direkte Verbindung zwischen der Karl-Franzens-Universität und dem Hauptplatz in Graz realisiert werden, weswegen die Strecke beim Karmeliterplatz endete.



**Abbildung 23: Verbindung zwischen Karmeliterplatz und Karl-Franzenz-Universität**

(Quelle: Google Maps, 2018)

Zusätzlich bieten das Gelände der Karl-Franzens-Universität und der Karmeliterplatz ausreichend Platz für das Wenden eines automatisierten Kleinbusses. Derzeit werden Busverbindungen zwischen dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität angeboten. Diese Buslinien verbinden die zwei Haltestellen nicht direkt, was Fahrgäste zum Umstieg am Geidorfplatz zwingt. Mit dem Umstieg von der Buslinie 63 auf die Buslinie 30 braucht man im optimalen Fall, wenn beim Umsteigen keine Zeit verloren wird, ca. neun Minuten um von der Karl-Franzens-Universität bis zum Karmeliterplatz zu gelangen. Zu Fuß benötigt man für dieselbe Strecke ca. 14 Minuten. Mit einem automatisierten Kleinbus, der über keine Zwischenhaltestellen auf der Strecke verfügt, benötigte man für dieselbe Strecke ca. sechs Minuten, was eine Zeitersparnis gegenüber bestehenden Buslinien von ca. drei Minuten, und zu Fußgängern von ca. acht Minuten entspricht. Bei einem Betrieb von zwei automatisierten Kleinbussen, könnte, unter Annahme einer günstigen Verkehrssituation und ohne technische Störungen des Fahrzeuges, ca. alle acht Minuten eine Busverbindung zwischen der Karl-Franzens-Universität und der Stadtmitte betrieben werden.

Die dritte Verbindung, die den Umfrageteilnehmern in Graz zur Wahl angeboten wurde, ist in der Abbildung 24 dargestellt. Die Strecke führt über die Waagner-Biro Straße im Westen von Graz und verbindet den Standort der SmartCity Graz West und das Graz-Reininghaus. Zusätzlich führt die Strecke am Grazer Hauptbahnhof vorbei, der als wichtiger Verkehrspunkt eine zusätzliche Haltemöglichkeit bietet. Beim SmartCity-Projekt in Graz handelt es sich um den Bau zusätzlicher Lebensräume, die „energieeffizient, ressourcenschonend und emissionsarm sind, und gleichzeitig die Bereiche Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Verkehr verbinden sollen“ [Smart City Graz, 2017]. 2013 wurden zwei „Smart City Graz“-Projekte von Seite des Grazer Gemeinderates im 4.0 Stadtentwicklungskonzept verankert. Mit den zwei Projekten im Westen und Süden von Graz werden Lebensräume geschaffen, die den Bereich des Hauptbahnhofes in Graz als wichtige Nahverkehrsdrehscheibe im Süd-Osten Europas festigen soll. Bis zum Jahr 2030 sind drei weitere Smart City Stadtteile in Graz geplant. Es wird davon ausgegangen, dass mit dem „Smart City Graz“-Projekt in der Waagner-Biro-Straße, bis zum Jahr 2025, Platz für ca. 3.800 Personen geschaffen wird [Smart City Graz, 2017]. Als Zukunftsprojekt, welches u.a. als Ziel hat die wichtigsten Lebensbereiche mit dem Straßenverkehr zu verbinden, bietet sich das „Smart City Graz“-Projekt im Westen von Graz als mögliches Gebiet für den Betrieb einer automatisierten Buslinie an.

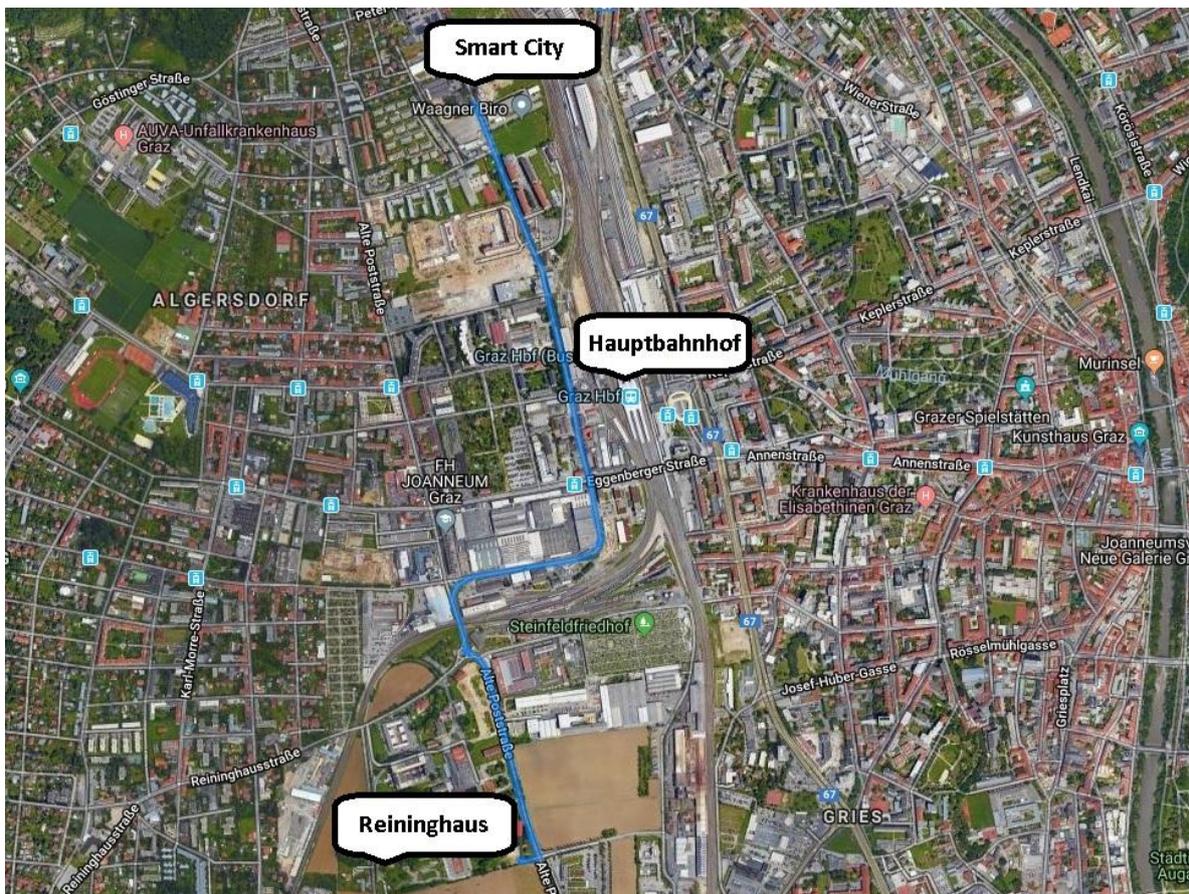


Abbildung 24: Verbindung zwischen SmartCity und Reininghaus

(Quelle: Google Maps, 2018)

Die vorgestellte Strecke befindet sich im Geltungsbereich des „Smart City Graz West“-Projektes und ist ca. 2,4 Kilometer, der Rundkurs 4,8 Kilometer lang. Ein automatisierter Bus würde von der Helmut-List-Halle bis zum Gelände des Reininghauses in Graz fahren. Genügend Möglichkeiten zum Wenden eines Kleinbusses sind auf beiden Endhaltestellen gegeben. Die Strecke führt über die Wa-

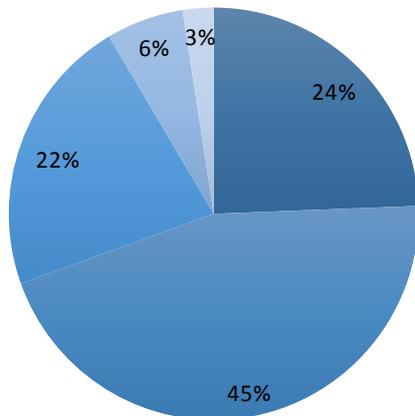
agner-Biro-Straße, die Köflachergasse und die Alte Poststraße. Auf der Strecke befindet sich zusätzlich eine Unterführung und ein Kreisverkehr. Derzeit fährt auf einem Teil der abgebildeten Strecke die Buslinie 85, es fehlt aber eine Busverbindung zwischen dem Reininghaus und dem Grazer Hauptbahnhof. Wenn man die derzeit betriebenen Buslinien in Graz benutzt, und den Teil der Strecke auf dem keine Busverbindungen angeboten werden zu Fuß geht, braucht man ca. 19 Minuten um von der Helmut-List-Halle bis zum Gelände des Reininghauses zu gelangen. Mit einer direkten Verbindungen dieser zwei Haltestellen mit einem automatisierten Kleinbus, wäre man in der Lage die Strecke in ca. zehn Minuten zu durchfahren. Das stellt eine Zeitersparnis gegenüber der Nutzung des derzeitigen ÖPNV von neun Minuten und im Vergleich zu Fußgängern, die die gesamte Strecke zu Fuß gehen, von ca. 19 Minuten. Bei einem Betrieb von zwei automatisierten Kleinbussen auf der gezeigten Strecke, könnte man, abhängig von der gegebenen Verkehrslage und unter der Annahme eines störungsfreien Betriebes, ca. alle zwölf bis 15 Minuten eine Busverbindung zwischen der Smart City Graz und dem Reininghaus Graz betreiben.

Im dritten Abschnitt der Verkehrsbefragung, wurden die Teilnehmer gefragt, wie attraktiv die gewählte Busverbindung für ihre täglichen Beschäftigungen ist. Die Teilnehmer wurde darauf hingewiesen, bei täglichen Beschäftigungen an Einkaufsfahrten, Fahrten zur Arbeit, Schule, Erholung oder Heimfahrten zu denken. Nach der Beantwortung der Frage wurde den Teilnehmern eine Möglichkeit geboten genauer zu begründen, wieso die gewählte Strecke als „attraktiv“ bzw. „unattraktiv“ angesehen wird.

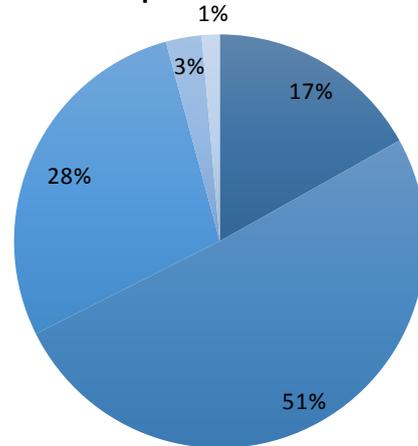
Die Abbildung 25 zeigt, dass die angebotenen Busverbindungen, bei den Teilnehmern gut ankamen. Alle Busverbindungen wurden von der Mehrheit der Teilnehmer als „attraktiv“ bzw. „eher attraktiv“ für tägliche Beschäftigungen bewertet. Bei den Teilnehmern als attraktivste Strecke galt die Busverbindung zwischen dem Gebäude der Alten Technik der Technischen Universität und dem St. Peter Schulzentrum. 69% der 82 Teilnehmer, die sich entschieden, die Fragebogen für diese Busverbindung auszufüllen, gaben an, dass die Strecke „attraktiv“ bzw. „eher attraktiv“ für tägliche Beschäftigungen sei. Der häufigste genannte Grund war die gute Verbindung zwischen den zwei Ausbildungsstandorten (76%). 75% der Teilnehmer, die die Strecke als „unattraktiv“ bzw. „eher unattraktiv“ bewertete, gab an, dass auf der Strecke keine Einkaufs- bzw. Freizeitmöglichkeiten bestehen und die Strecke deswegen nicht genutzt werden würde. 68% der 71 Teilnehmer gab an, dass die Verbindung zwischen dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität „attraktiv“ bzw. „eher attraktiv“ sei. Der am meisten genannte Grund war die gute Verbindung mit der Innenstadt (57%). Der häufigste Grund, die Verbindung als „unattraktiv“ bzw. „eher unattraktiv“ zu bewerten, war, dass man fast nie in dem Teil der Stadt ist und dadurch die Strecke nicht benutzen würde (66%). Für die Busverbindung zwischen dem Smart City Graz und dem Reininghaus Graz gaben 47% der 68 Teilnehmer an, dass diese Verbindung „attraktiv“ bzw. „eher attraktiv“ für tägliche Beschäftigungen ist. Der am häufigste genannte Grund war der persönliche Arbeits- bzw. Wohnort in der Nähe der Busverbindung (40%). Der häufigste Grund weswegen die Verbindung als „unattraktiv“ bzw. „eher unattraktiv“ bewertet wurde, war, dass sich auf der Strecke keine Einkaufs- oder Freizeitmöglichkeiten befinden und die Verbindung deswegen keinen sinnvollen Zweck erfüllen würde. (80%).

### Wie attraktiv ist die gewählte Busverbindung für Ihre täglichen Beschäftigungen?

TU Graz - St. Peter Schulzentrum



Karmeliterplatz - Karl-Franzens-Universität



Smart City - Reininghaus

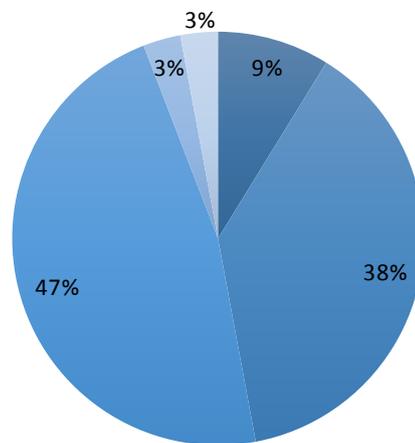


Abbildung 25: Attraktivität der vorgestellten automatisierten Busverbindungen

Die letzten drei Fragen der Befragung beschäftigte sich mit dem Komfort und dem Sicherheitsgefühl der Teilnehmer bei einer fiktiven Fahrt mit einem automatisierten Kleinbus. In der ersten Frage wurde die maximale Reisegeschwindigkeit, bei dem sich die Teilnehmer auf der gewählten Busverbindung noch sicher fühlen würden, befragt. Die letzten zwei Fragen waren ein Gedankenexperiment. Den Teilnehmern wurde eine fiktive Situation vorgestellt und befragt wie man sich in dieser fiktiven, aber durchaus möglichen Situation, fühlen würde. Die Situation war die folgende: Man fährt abends auf der gewählten Busverbindung in einem automatisierten Kleinbus. Im Fahrzeug befindet sich eine weitere unbekannte Person. Die Frage war, wie man sich in dieser Situation fühlen würde. Die Frage wurde separat für die Situation mit einer unbekanntem männlichen und einer unbekanntem weiblichen Person gestellt. Personen die angaben sich in dieser Situation nicht wohl zu fühlen oder sich nicht sicher waren wie sie sich fühlen würden, bekamen eine zusätzliche Frage gestellt. In dieser Frage wurde den Teilnehmern mehrere Sicherheitsoptionen vorgestellt, die bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus eingesetzt werden könnten. Die Teilnehmer sollten die Option wählen, von der sie der Meinung waren, ihr Sicherheitsgefühl in der gegebenen Situation am meisten zu steigern.

Die Sicherheitsoptionen waren:

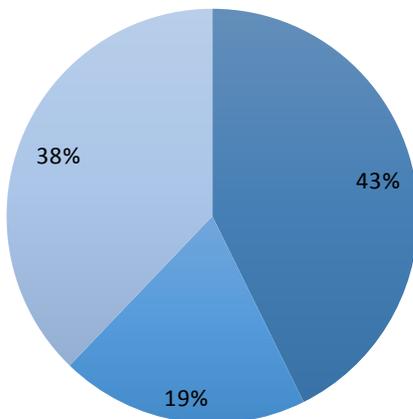
- Kamera im Innenraum des Kleinbusses, deren Videoaufnahmen bei einem Übergriff als Beweis der Selbstverteidigung oder als Beweis der Unschuld bei einer fälschlich beschuldigten Straftat benutzt werden können,
- Panikknopf, den man in einer bedrohlichen Situation betätigen kann und damit entweder die Polizei oder das Sicherheitsunternehmen, dass für die Sicherheit im Fahrzeug zuständig ist, zu verständigen,
- Notbremse, bekannt aus konventionellen Bussen, deren Betätigung den Stillstand des Fahrzeugs bewirkt und
- Sicherheitsbegleitung, die bei abendlichen Fahrten im automatisierten Fahrzeug mitfährt.

Falls man sich zwischen den angebotenen Optionen nicht entscheiden konnte, bestand die Möglichkeit anzugeben, dass man alle Möglichkeiten gleich gut findet. Eigene Ideen zu Sicherheitsoptionen konnten in eine separate Textbox dazugeschrieben werden. Falls man eine zusätzliche Option zu den angebotenen Sicherheitsoptionen dazuschrieb, wurde diese Option als die endgültige Antwort übernommen. Eine Auswahl einer angebotenen Option und die Zugabe einer eigenen Option war nicht möglich. Die Idee hinter der Trennung der abendlichen Fahrt in eine Fahrt mit einer männlichen und eine Fahrt mit einer weiblichen Person, war zu erforschen, ob es einen Unterschied in der Verhaltensweise der Teilnehmer ausmacht, wenn es sich bei der unbekannt Person um eine männliche oder eine weibliche Person handelt. Zusätzlich wurde erforscht welche Wirkung das Geschlecht der unbekannt Person auf die gewählte Sicherheitsoption bei unwohl fühlenden Teilnehmern hat.

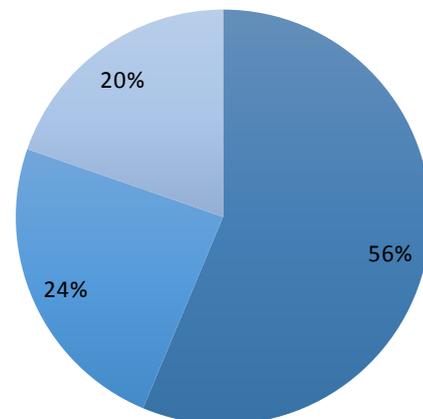
Bei der Frage nach dem Sicherheitsgefühl, bei einer abendlichen Fahrt mit einer unbekannt männlichen Person in einem automatisierten Kleinbus, zeigt sich, dass die meisten Teilnehmer Unbehagen und Angst in dieser Situation fühlen würden, unabhängig davon um welche Busverbindung es sich handelt. Die größte Unsicherheit würden die Teilnehmer bei der Verbindung zwischen der Technischen Universität und dem St. Peter Schulzentrum verspüren (57%). Als zweitsicherste Busverbindung gilt die Verbindung zwischen der Smart City und dem Reininghaus in Graz (48% würden sich unsicher fühlen). Als sicherste Verbindung gilt die Verbindung zwischen dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität (44% würden sich unsicher fühlen). Es ist davon auszugehen, dass persönliche Erlebnisse und das Alter der Teilnehmer einen bestimmten Einfluss auf die Behaglichkeit bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus haben. Dem Anhang 12 ist die Zusammensetzung der Teilnehmer nach Alter und Busverbindung zu entnehmen.

**Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus, mit einer unbekanntem männlichen Person sicher fühlen?**

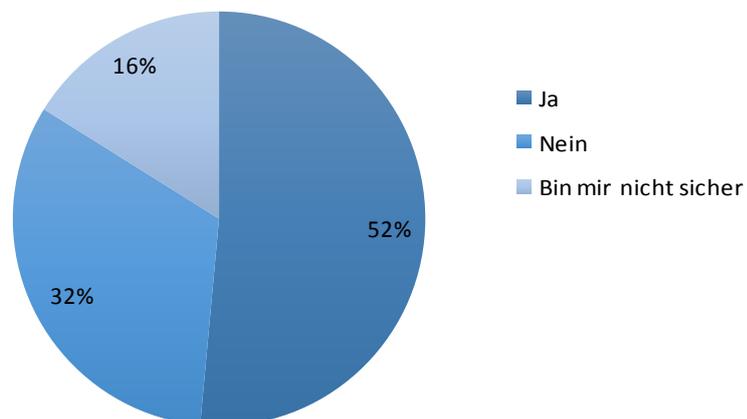
**TU Graz -St. Peter Schulzentrum**



**Karmeliterplatz - Karl-Franzens Universität**



**Smart City - Reininghaus**

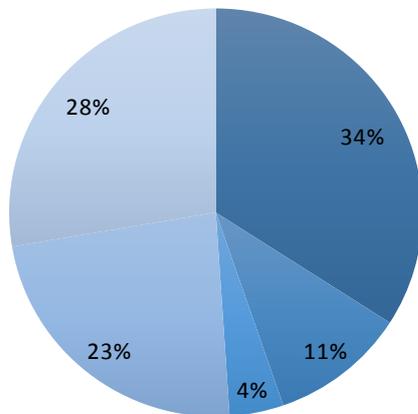


**Abbildung 26: Wohlbefinden bei abendlicher Fahrt mit einer unbekanntem männlichen Person**

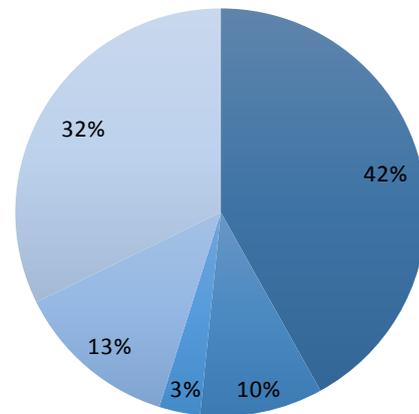
Bei den Sicherheitsoptionen, die in der vorgestellten fiktiven Situation, das Sicherheitsgefühl der Teilnehmer steigern könnten, zeigt sich ein klares Bild. Bei allen Busverbindungen dominiert die Kamera im Innenraum des Kleinbusses (TU Graz – St. Peter Schulzentrum 34%, Karmeliterplatz – Karl-Franzens-Universität 42% und Smart City – Reininghaus 44%) als der Faktor, durch den das Sicherheitsgefühl bei einer bedrohlichen Situation am meisten gesteigert werden würde. Als zweitbeste Optionen sahen die Teilnehmer eine menschliche Sicherheitsbegleitung für abendliche Stunden an, wobei zu beachten ist, dass diese Optionen einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit automatisierter Kleinbusse, und somit auch auf den angebotenen Fahrpreis, haben kann. Die Möglichkeit durch automatisierte Busse Lohnkosten einzusparen, würde durch den Einsatz von Sicherheitspersonal zu einem bestimmten Teil gedämpft werden und somit einen möglichen negativen Einfluss auf Fahrpreise haben. Unter allen Sicherheitsoptionen schnitt am schlechtesten die Notbremse ab (4%, 3% und 0%).

**Was würde ihr Sicherheitsgefühl, bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus, mit einer unbekanntem männlichen Person am meisten steigern?**

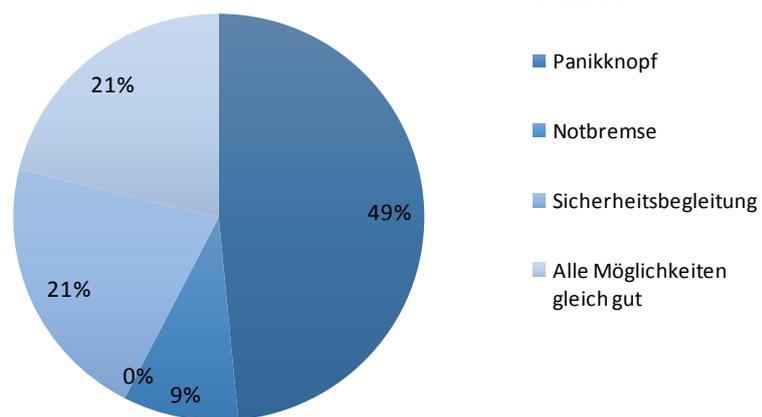
**TU Graz - St. Peter Schulzentrum**



**Karmeliterplatz - Karl-Franzens Universität**



**Smart City - Reininghaus**

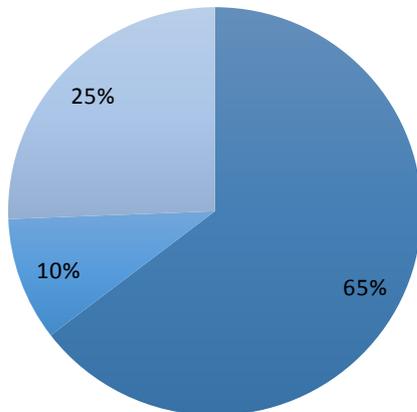


**Abbildung 27: Optionen zur Sicherheitserhöhung bei abendlicher Fahrt mit männlicher Person**

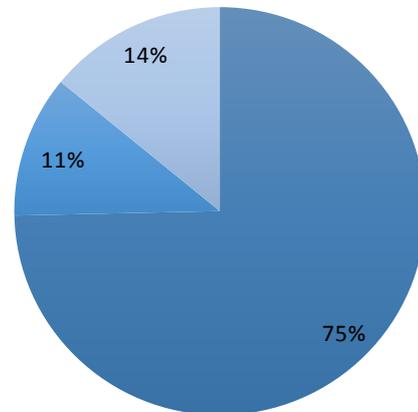
Bei den Ergebnissen der Situation, in der man am Abend alleine mit einer weiteren, unbekanntem weiblichen Person fährt, zeigt sich ein anderes Bild im Vergleich zur Situation mit einer unbekanntem männlichen Person. Bei allen Busverbindungen gaben mehr als die Hälfte der Teilnehmer an, sich in der vorgestellten Situation sicher fühlen zu würden (TU Graz – St. Peter Schulzentrum 65%, Karmeliterplatz – Karl-Franzens-Universität 75%, Smart City – Reininghaus 66%). Als unsicherste Verbindung gilt auch im zweiten Fall die Busverbindung zwischen der Technischen Universität und dem St. Peter Schulzentrum, bei der 25% der Teilnehmer angab, sich nicht sicher in der gegebenen Situation fühlen zu würden. Die Verbindungen zwischen dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität und die Verbindung zwischen der Smart City und dem Reininghaus weisen ein ähnlich niedriges Unsicherheitsgefühl auf, bei denen 14% bzw. 13% der Teilnehmer angab, sich in der vorgestellten Situation nicht sicher fühlen zu würden.

**Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus, mit einer unbekanntem weiblichen Person sicher fühlen?**

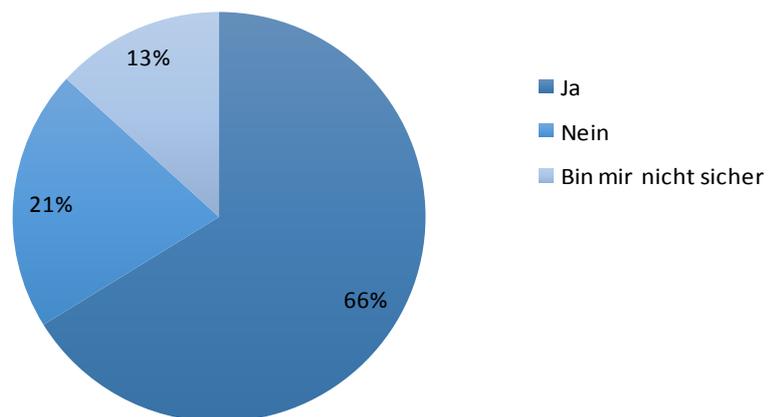
**TU Graz - St. Peter Schulzentrum**



**Karmeliterplatz - Karl-Franzens Universität**



**Smart City - Reininghaus**



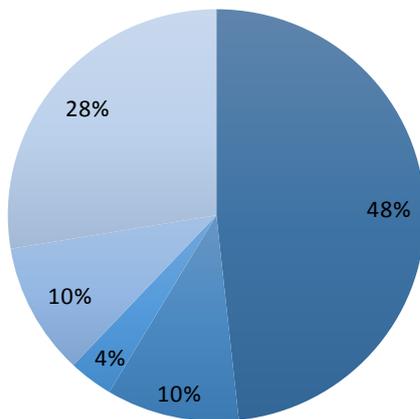
**Abbildung 28: Wohlbefinden bei abendlicher Fahrt mit einer unbekanntem weiblichen Person**

Die Wahl der Option zur Erhöhung des Sicherheitsgefühls, bei einer abendlichen Fahrt mit einer unbekanntem weiblichen Person unterscheidet sich nicht im Wesentlichen von der Situation, in der sich eine weitere unbekanntem männlichen Person im Fahrzeug befindet. Eine Kamera im Innenraum des Kleinbusses stellt weiterhin die bevorzugte Wahl der Teilnehmer dar. Wie bei der ersten vorgestellten fiktiven Situation, gaben auch im zweiten Fall die wenigsten Teilnehmer die Notbremse als bevorzugtes Mittel zur Steigerung des persönlichen Sicherheitsgefühles (TU Graz – St. Peter Schulzentrum 4%, Karmeliterplatz – Karl-Franzens Universität 6% und Smart City – Reininghaus 0%). Ein möglicher Grund der niedrigen Popularität der Notbremse zur Erhöhung der Fahrgastsicherheit in einem automatisierten Kleinbus, ist der kleine Nutzen einer Notbremse in einer bedrohlichen Situation. Bei bedrohlichen Fahrten, bewirkt die Notbremse, dass das Fahrzeug zum Stehen kommt und in weiterer Folge sich die Türen automatisch öffnen. Auch wenn das eine mögliche Flucht von potenziellen Angreifern ermöglicht, bietet das auch dem Angreifer die Möglichkeit das Opfer zu verfolgen. Dies hat zur Folge, dass ein möglicher Übergriff vom Fahrzeug entfernt stattfindet und somit Kameras im Innenraum des Fahrzeuges keinen Beitrag zur Klärung des Straftat liefern können. Bei einer oder mehreren Kameras im Innenraum des Kleinbusses wird, außer der Möglichkeit der Identifizierung des

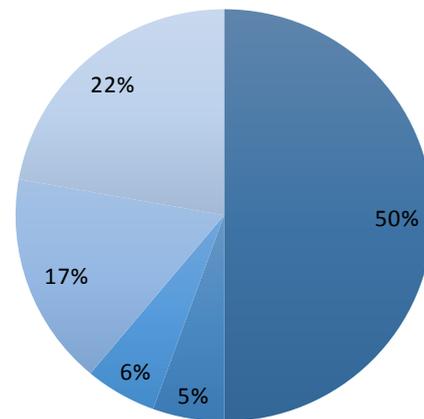
Angreifers, auch eine Möglichkeit geboten, Situationen, in denen man fälschlich einer Straftat beschuldigt wird, aufzuklären und die Unschuld der fälschlich beschuldigten Person zu beweisen.

**Was würde ihr Sicherheitsgefühl, bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Kleinbus, mit einer unbekanntem männlichen Person am meisten steigern?**

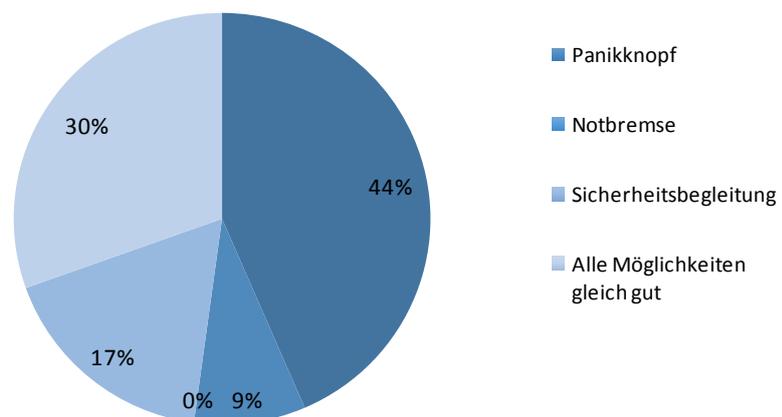
**TU Graz - St. Peter Schulzentrum**



**Karmeliterplatz - Karl-Franzens Universität**



**Smart City - Reininghaus**



**Abbildung 29: Optionen zur Sicherheitserhöhung bei abendlicher Fahrt mit weiblicher Person**

Im letzten Schritt der Auswertung der Umfrageergebnisse, wurde der Einfluss der Teilnehmermeinungen über automatisierte Fahrzeuge auf unterschiedliche betriebliche Aspekte des ÖPNV untersucht. Dazu wurde jeder der 221 Fragebogen separat betrachtet und die Antworten von drei bestimmten Fragen verglichen. Das Ziel dieser Untersuchung war zu sehen, welchen Einfluss Antworten einer Frage auf die Beantwortung einer anderen Fragenstellung haben und somit einen möglichen Zusammenhang zwischen der Meinung der Umfrageteilnehmer und dem Betrieb automatisierter Busse zu erkennen. Die Einflüsse wurden für die drei Busverbindungen geteilt betrachtet. Vergleiche wurden für die folgenden drei Punkte durchgeführt:

- Einfluss der Attraktivität der gewählten Busverbindung auf den Preis, den man bereit ist für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus zu zahlen,
- Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf die Reisegeschwindigkeit, bei der man sich bei einer Fahrt mit einem automatisierten Bus noch wohl fühlen würde und

- Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf den Preis, den man bereit ist für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus zu zahlen.

Nach der Untersuchung der Fragebögen, wurden die Ergebnisse in Tabellen eingetragen, aus denen in weiterer Folge kategorisierten Histogrammen angefertigt wurden. In der Abbildung 30 ist der Einfluss der Attraktivität der gewählten Busverbindung auf den Fahrpreis, den man bereit ist für eine Fahrt mit einem automatisierten Bus zu zahlen, graphisch dargestellt. Bei allen Busverbindungen ist ein leichter Anstieg der Bereitschaft für ein Fahrticket mehr zu bezahlen mit dem Anstieg der Attraktivität der vorgestellten Busverbindung verbunden. Der größte Einfluss ist bei der Busverbindung zwischen Smart City und Reininghaus zu erkennen, obwohl diese Verbindung von den Teilnehmern als unattraktivste bewertet wurde (siehe Abbildung 25, Seite 85). Bei allen Verbindungen gaben die meisten Teilnehmer an, bereit zu sein den gleichen Fahrpreis für eine Fahrt mit einem automatisierten Bus wie für einen konventionelle Bus zu zahlen, unabhängig davon, ob die Busverbindung als „attraktiv“ oder „unattraktiv“ bewertet wurde. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Busverbindungen von wenigen Teilnehmern (ein bis zwei Teilnehmer für jede Verbindung) als „unattraktiv“ bewertet wurden, und die Entscheidung den gleichen Preis für ein Fahrticket zu zahlen somit überproportional dargestellt wird.

Dadurch entsteht der Eindruck, dass 100% der Teilnehmer bereit wären den gleichen Preis zu zahlen obwohl die Busverbindung als „unattraktiv“ bewertet wurde. Erst unter den Teilnehmern, die angaben, dass die Verbindung „eher unattraktiv“ sei, hat die Meinung über die Busverbindung einen negativen Einfluss auf den Fahrpreis, den man bereit ist zu zahlen. Durch diese Gegebenheit und der Tatsache, dass ein bis zwei Teilnehmer pro Busverbindung im Vergleich zu den 68 (Smart City – Reininghaus), 71 (Karmeliterplatz – Karl-Franzens-Universität) und 82 (TU Graz – St. Peter Schulzentrum) Teilnehmern, prozentual gering ist, sollte der Zusammenhang zwischen „unattraktiven“ Strecken und dem Einfluss auf den Fahrpreis als nicht-repräsentativ angesehen werden.

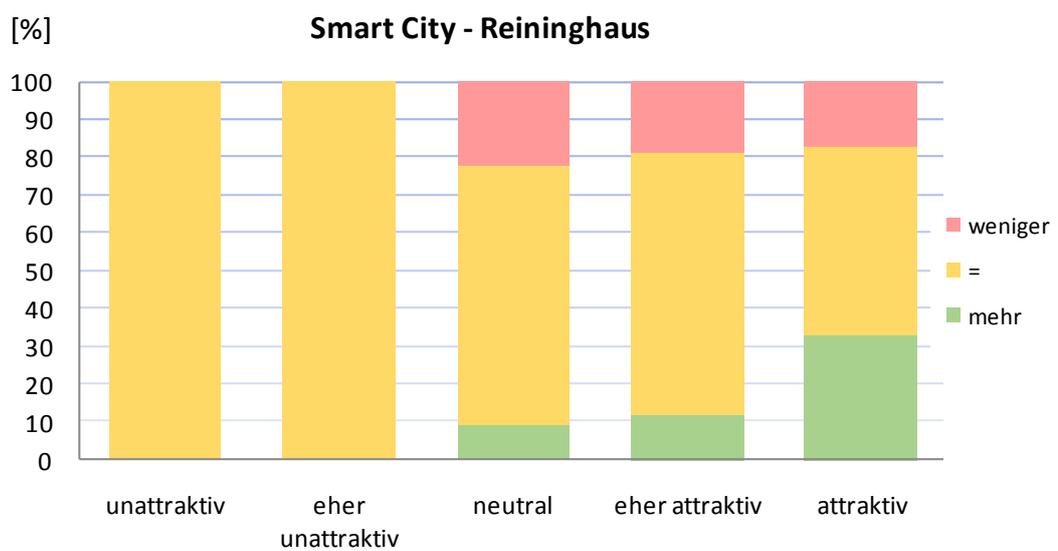
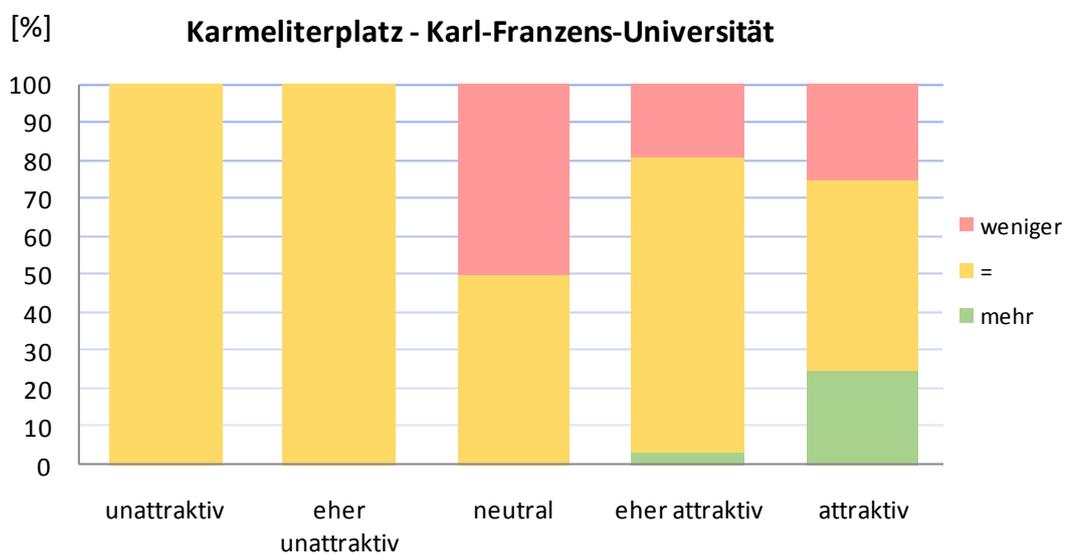
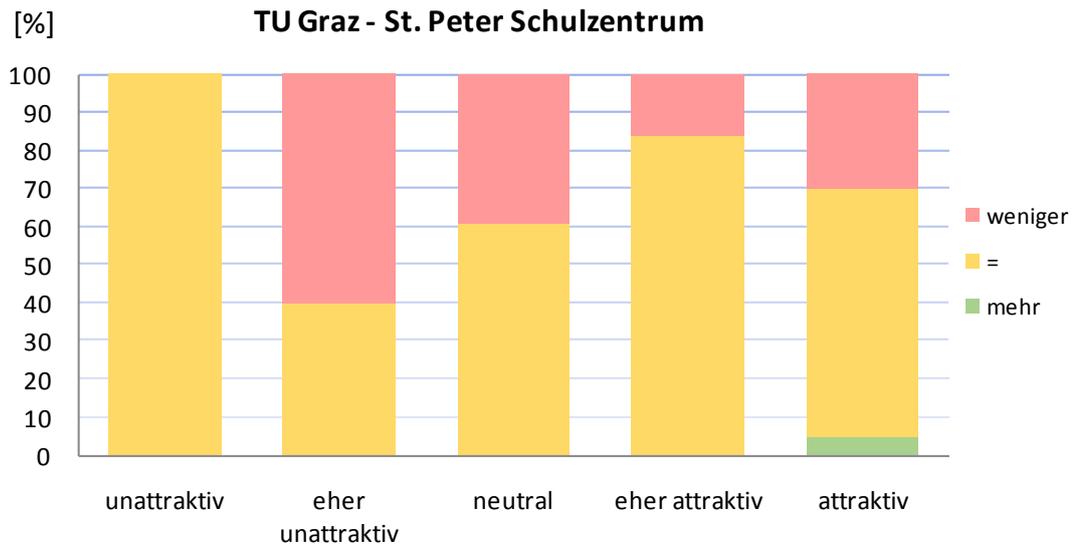


Abbildung 30: Einfluss der Attraktivität der Busverbindung auf den Fahrpreis

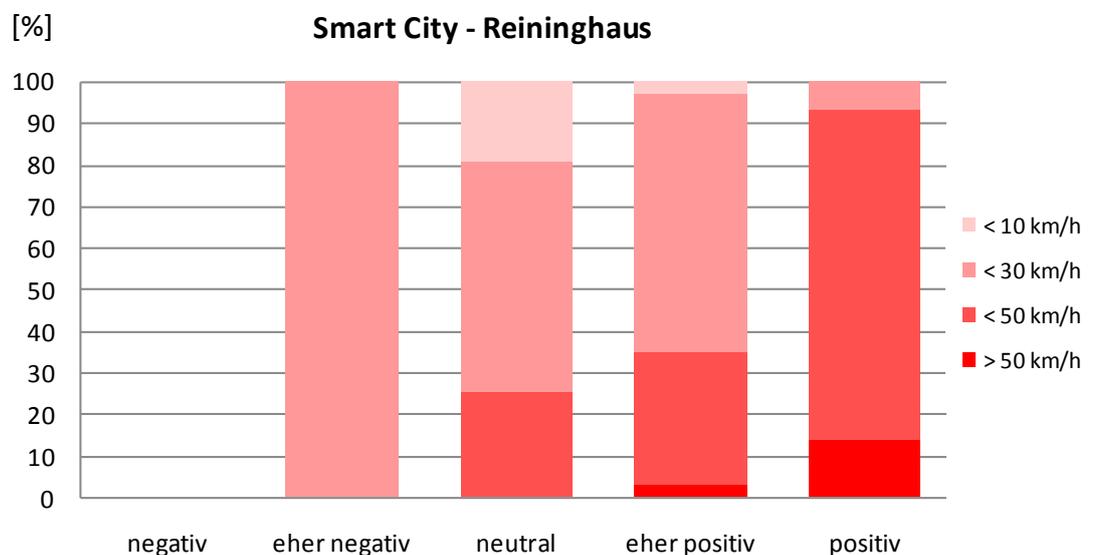
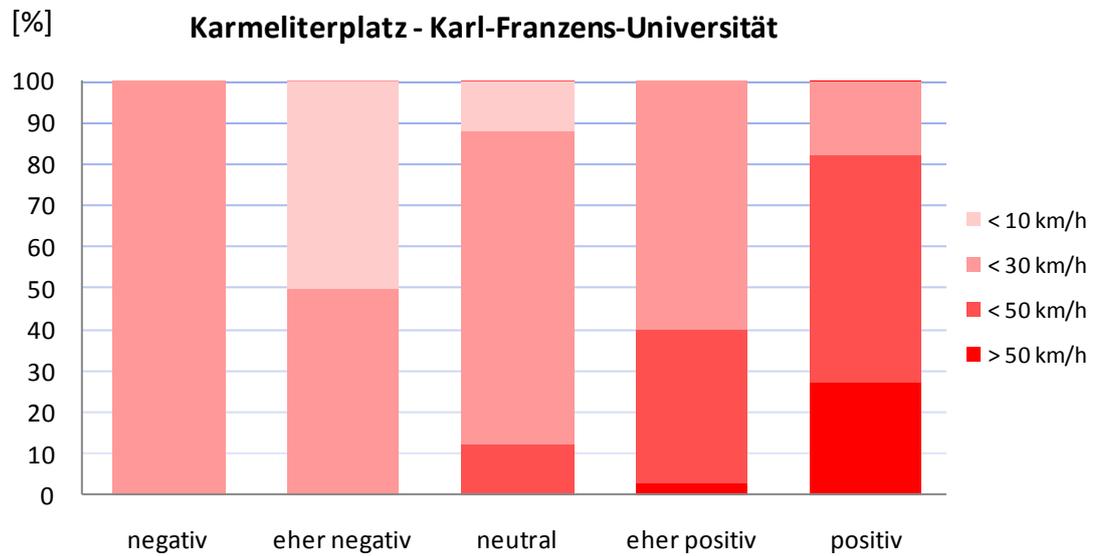
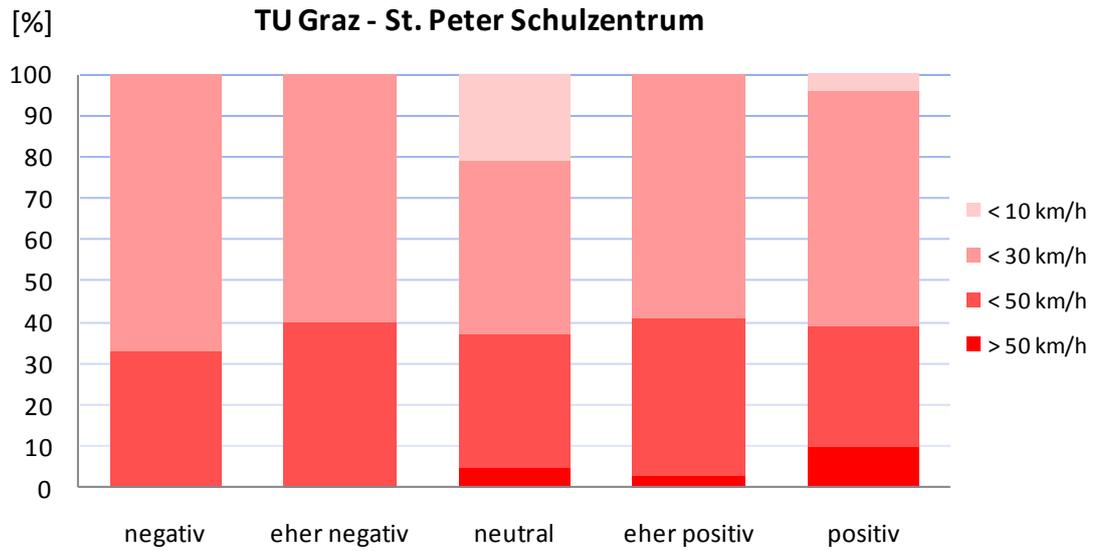


Abbildung 31: Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf die Reisegeschwindigkeit

In der Abbildung 31 ist der Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf die Reisegeschwindigkeit, bei der man sich bei einer Fahrt mit einem automatisierten Bus, noch wohl fühlen würde, abgebildet. Wie erwartet, steigt die Bereitschaft zu einer höheren Reisegeschwindigkeit, bei allen Busverbindungen, mit der positiven Meinung über automatisierte Fahrzeuge. Der Einfluss ist am deutlichsten bei der Verbindung zwischen Smart City und dem Reininghaus zu erkennen. Während 100% der Teilnehmer, die eine „eher negative“ Meinung (kein Teilnehmer mit einer negativen Meinung für diese Busverbindung) über automatisierte Fahrzeuge besitzen, sich bei einer Reisegeschwindigkeit bis 30 km/h sicher fühlen würden, sind über 80% der Teilnehmer, die eine positive Meinung über automatisierte Fahrzeuge besitzen, bereit bei Reisegeschwindigkeiten von über 30 km/h in einen automatisierten Bus mitzufahren. Einen ähnlichen Einfluss erkennt man bei der Verbindung zwischen dem Karmeliterplatz und der Karl-Franzens-Universität. Der geringste Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf die Reisegeschwindigkeit besteht bei der Busverbindung zwischen TU Graz und St. Peter Schulzentrum.

Der letzte Vergleich zeigt den Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf den Fahrpreis, den man bereit ist für eine Fahrt in einem automatisierten Bus zu zahlen. Ähnlich wie bei den vorherigen zwei Vergleichen, erkennt man auch hier, dass mit einer positiveren Meinung über automatisierte Fahrzeuge auch die Bereitschaft einen höheren Preis, für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus, zu zahlen, steigt. Dieser Einfluss ist bei allen Busverbindungen gegeben, wobei der größte Einfluss bei der Busverbindung Smart City – Reininghaus zu erkennen ist.

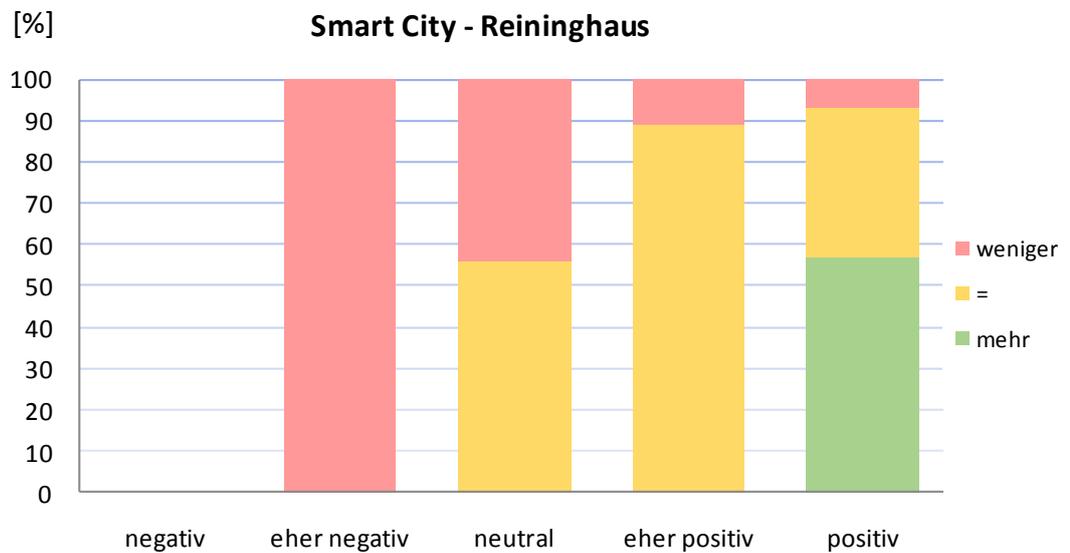
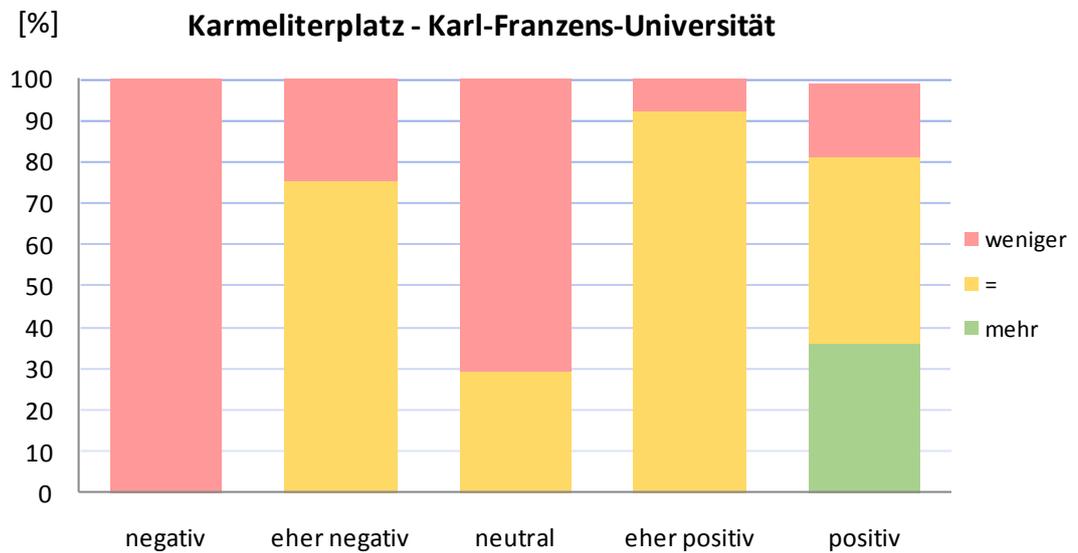
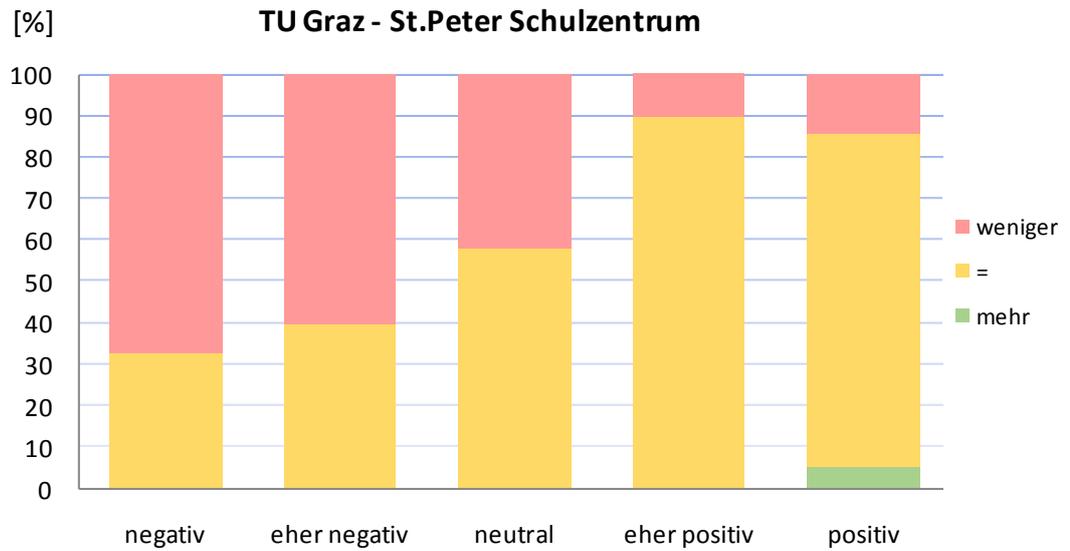


Abbildung 32: Einfluss der Meinung über automatisierte Fahrzeuge auf den Fahrpreis

## 6 Schlussfolgerung

### 6.1 Zusammenfassung

Der heutige Straßenverkehr steht vor einer Vielzahl an Herausforderungen. Diese haben nicht nur verkehrstechnische Auswirkungen sondern auch negative Auswirkungen auf die Umwelt. Immer mehr Fahrzeuge werden in Österreich für den Straßenverkehr zugelassen [Statistik Austria, 2018], was das Verkehrsaufkommen erhöht und den Verkehrsfluss negativ beeinflusst. Die Fahrzeugdichte in Österreich übertraf im letzten Jahr die Fahrzeugdichten der Schweiz und der von Deutschland. Durch die erhöhte Anzahl an Verkehrsteilnehmern bilden sich immer längere Staus auf österreichischen Straßen. Welchen Einfluss die hohe Fahrzeuganzahl auf die Behinderung des Verkehrsflusses in Österreich ausübt, erkennt man am besten an den verbrachten Stunden im Verkehrsstau, die 2017 durchschnittlich 40 Stunden pro Fahrzeuglenker in Österreich erreichten [INRIX, 2017].

Neben der Erhöhung von Verkehrsstaus, hat die steigende Anzahl zugelassener Fahrzeuge im Straßenverkehr auch dazu beigetragen, dass die Anzahl von Straßenverkehrsunfällen in Österreich in den letzten Jahren mehr oder weniger stagniert bzw. nicht mit der Tendenz sinkt, wie das bei der Anzahl der im Straßenverkehr tödlich verunglückten Personen der Fall ist [Statistik Austria, 2018]. Die Störung des Verkehrsflusses hat neben dem Verlust von Arbeitsstunden, und dadurch der Senkung des Bruttoinlandsproduktes, auch Auswirkungen auf die Umwelt. Durch vermehrt stehende Fahrzeuge im Straßenverkehr erhöht sich gleichzeitig auch die Emission von schädlichen CO<sub>2</sub> pro Person und gefahrenen Kilometer. Die Kombination von erhöhter Fahrzeuganzahl und Staubildung hat dazu geführt, das durch die hohen Emissionen im Straßenverkehr, Österreich die dritthöchsten Schadstoffemissionen in der Europäischen Union generiert [VCÖ, 2017].

Neben der Entwicklung von elektrischen Antrieben in Straßenfahrzeugen, zur Reduzierung von Luftschadstoffen im Straßenverkehr, arbeiten Fahrzeugentwickler und Gesetzesgeber gemeinsam an Lösungen auch die Anzahl von verletzten Personen im Straßenverkehr zu verringern. Mit dem Fußgänger-Airbag von Volvo oder dem Front Assist von Volkswagen, wurden bereits vielversprechende Lösungen zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr entworfen. Um den Straßenverkehrsfluss, Emission von Luftschadstoffen und Verkehrsunfälle auch zukünftig kontinuierlich zu verringern, arbeiten Fahrzeughersteller seit einigen Jahren an Entwicklungen von Fahrassistenzsystemen, die dem Fahrer das Führen des Fahrzeuges erleichtern und den Straßenverkehr sicherer gestalten sollen. Dadurch erhofft man sich nicht nur die meisten modernen Verkehrsprobleme zu lösen, sondern gleichzeitig auch Möglichkeiten zur persönlichen Mobilität anbieten zu können, die bislang noch nicht gegeben war. Mit automatisierten Fahrzeugen wird der menschliche Fahrer nicht nur in Gefahrensituationen unterstützt, sondern es wird auch versucht dessen Einfluss auf den Straßenverkehr zu minimieren. Das geht bis zu dem Maß, dass der Einfluss des menschlichen Fahrers im Straßenverkehr komplett verschwindet [VDA, 2015].

Mit der Entwicklung vollautomatisierter Fahrzeuge, würde der Mensch von den Aufgaben der Fahrzeugführung abgelöst werden. Bereits heute bestehen die ersten Fahrzeuge, die mit der Automatisierungsstufe 3 ausgestattet sind (Waymo, Tesla Model S, Audi A8, Volkswagen Passat etc.). Das es noch einige Jahre dauern wird, bis auch Fahrzeuge mit höheren Automatisierungsstufen am Markt angeboten werden, hängt nicht nur von den Entwicklungen der Fahrzeughersteller ab sondern auch von den Gesetzen, die den Einsatz solcher Fahrzeuge regeln [BMVIT, 2016].

Damit auch Betreiber von öffentlichen Verkehrsdienstleistungen auf die Entwicklung und Auswirkungen vollautomatisierter und selbstfahrender Fahrzeuge rechtzeitig vorbereitet werden, wurden in

dieser Arbeit die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Buslinienverkehr untersucht. Es wurde der Einsatz automatisierter Busse in Österreich und weltweit betrachtet und die unterschiedlichen Verkehrskonzepte untersucht und beschrieben. Dabei zeigte sich, dass die Umsetzung automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr derzeit am vielversprechendsten durch automatisierte Kleinbusse gegeben ist. Durch den Einsatz auf der „ersten“ bzw. „letzten“ Meile könnten unnötige Schadstoffe, die durch das Überwinden kurzer Distanzen mit dem privaten Fahrzeug produziert werden, vermieden und der Straßenverkehr sicherer gestaltet werden [Fraunhofer Institut, 2016]. Nicht nur durch den Einsatz auf der „ersten“ bzw. „letzten“ Meile oder der Möglichkeit eines 24 Stunden-Betriebes, sondern auch wegen der hohen Anzahl getesteter Kilometer mit automatisierten Bussen in und außerhalb Österreichs, stellen automatisierte Busse eine vielversprechende Lösung für eine Vielzahl an Verkehrsproblemen dar..

Bereits heute arbeiten einige Fahrzeughersteller an der Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepten, die den Straßenverkehr revolutionieren könnten. Der französische Fahrzeugentwickler Navya bietet beispielsweise den vollautomatisierten Arma DL4-Kleinbus an, der sich unter unterschiedlichen Bedingungen bereits als erfolgreich gezeigt hat. Neben Testfahrten auf dem Campus der Universität Michigan oder dem Einsatz in Paris und Lausanne [Navya, 2018], konnte die Technik auch bereits in Österreich, genauer in Koppl, gezeigt und der Einsatz der vollautomatisierten Technik einem breiten Publikum präsentiert werden [Zankl und Rehr, 2018]. Andere Einsatzgebiete vollautomatisierter Kleinbusse sind als Zubringerverkehr für längere Buslinien, die Verbindung von Flughafenterminals oder der Einsatz als On demand-Verkehrsdienst, auf speziell für den Verkehr von automatisierter Kleinbussen gebauten Strecken (siehe Kap. 3, Seite 14).

Damit nicht nur potenzielle Nutzer automatisierter Fahrzeuge auf die Entwicklung und den Einsatz automatisierter Busse, durch Demonstrations- und Testfahrten, vorbereitet werden, wurde im vierten Kapitel der Arbeit der Einfluss automatisierter Busse auf die Ausgaben von Betreibern öffentlicher Busse untersucht. Es wurden unterschiedliche Kostenparameter des Betriebes vollautomatisierter Elektrobusse am Beispiel der Holding Graz Linien berechnet und mit den Kosten des konventionellen Busbetriebes in der österreichischen Stadt Graz verglichen. Dabei wurde beachtet, dass die Vorteile automatisierter Busse für den Betreiber von Buslinien erst mit dem Entfall von Buslenkern als größten Kostenpunkt im konventionellen Betrieb, und durch den Einsatz von Bussen oberhalb der Automatisierungsstufe 3 zum Vorschein kommen [Becker und Axhausen, 2017].

Es wurde versucht zu klären, in welchen Bereichen Einsparungen zu erwarten sind bzw. in welchen Bereiche des Betriebes vollautomatisierter Busse in Graz mit erhöhten Ausgaben zu rechnen ist. Die berechneten Kostenparameter wurden im Nachhinein benutzt, um die Frage zu beantworten, ob sich ein Betrieb vollautomatisierter Busse in Graz für den Betreiber der Busverbindungen wirtschaftlich lohnen würde. Es zeigte sich, dass vollautomatisierte Elektrobusse mit fast identischen Jahresausgaben verbunden sind wie im konventionellen Busbetrieb. Auffallend war, dass automatisierte, und vor allem elektrisch betriebene, Busse derzeit noch mit hohen Anschaffungskosten verbunden sind und sich Einsparungen im Lohnkostenbereich und die hohen Anschaffungskosten von Elektrobussen ausgleichen.

Die Ergebnisse der Testfahrten des automatisierten Kleinbusses in Koppl zeigten, dass die österreichische Bevölkerung interessiert und aufgeschlossen gegenüber dem automatisierten Fahren steht und, dass Testfahrten automatisierter Fahrzeuge auch in anderen Städten in Österreich möglich sind und angestrebt werden sollten. Damit auch die Meinung der Grazer Bevölkerung über automatisierte Fahrzeuge gesammelt werden konnte, wurde im Frühling eine Verkehrsbefragung in Graz mit dem Thema „Akzeptanz potenzieller Kunden automatisierter Busse“ durchgeführt. Es sollte untersucht

werden, welche Erwartungen, Wünsche und Bedenken die Grazer über vollautomatisierte Busse besitzen und ob sie einen Einsatz vollautomatisierter Busse in ihrer Stadt willkommen heißen würden. Im Zuge der Befragung wurden drei mögliche Gebiete für den Einsatz des Navya Arma DL4 festgestellt und die Grazer zu möglichen Busverbindungen in diesen Gebieten befragt. Die Ergebnisse der Verkehrsbefragung wurden anhand der Busverbindungen und der demografischen Daten der Umfrageteilnehmer ausgewertet und tabellarisch sortiert. Die Grazer Bevölkerung zeigte sich dabei als allgemein sehr aufgeschlossen gegenüber automatisierten Fahrzeugen. Es kann gesagt werden, dass die Grazer eine positive Meinung über automatisierte Busse besitzen und dass sie automatisiertes Fahren mit Vorteilen für den Buslinienverkehr verbinden.

## 6.2 Fazit/Ergebnis

Bereits Bösch et al. [2018], Stephens et al. [2016] und Hazan et al. [2016] zeigten, dass durch automatisierte Fahrzeuge Einsparungen der Kilometerkosten im öffentlichen Verkehr erreicht werden können. Nach Bösch et al. [2018] könnten bis zu 45% der Kilometerkosten im konventionellen städtischen Busbetrieb eingespart werden.

Die Kostenrechnung am Beispiel der Holding Graz Linien zeigte eine Abhängigkeit von den benutzten Fahrzeugen in der Kostenrechnung. Im ersten Beispiel wurde von gleich großen vollautomatisierten Elektrobussen, wie sie die Holding Graz Linien derzeit in Graz betreibt, ausgegangen. Dabei zeigte sich, dass sich die Jahresausgaben vollautomatisierter Elektrobusse auf € 26,5 Millionen belaufen und somit um weniger als 2% niedriger sind als die Jahresausgaben konventioneller Standard- und Gelenkbusse. Die Frage, ob sich der Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse für die HGL aus wirtschaftlichen Aspekten lohnen würde, kann somit nicht eindeutig mit einem „JA“ beantwortet werden. Vor allem wenn bedenkt wird, dass nicht alle Einflüsse eines vollautomatisierter Busbetriebes, wie beispielsweise die Auswirkungen auf die Unternehmensstruktur und Anzahl angestellter Mitarbeiter, erfasst wurden.

Es ist des Weiteren zu beachten, dass die Erfassung aller Auswirkungen automatisierter Busse zurzeit nicht möglich ist, da weltweit vermehrt vollautomatisierte Kleinbusse entwickelt werden und vollautomatisierte Elektro-Standard und Elektro-Gelenkbusse eher Mangelware sind. Deswegen wurde im zweiten Beispiel Kostenrechnungen von vollautomatisierten Elektro-Kleinbussen durchgeführt. Hierbei zeigten sich das Betriebsszenario, das mit einem 100%-igen Betrieb vollautomatisierter Kleinbusse hergeht, als kritisch. Weil derzeit weltweit kein vergleichbarer Busbetrieb wie in Graz mit ausschließlich vollautomatisierten Kleinbussen betrieben wird, sind die Auswirkungen eines 100%-igen Betriebes vollautomatisierter Kleinbusse in Graz unmöglich vorherzusagen. Die sechs angenommenen Betriebsszenarien bei der Kostenrechnung vollautomatisierter Elektro-Kleinbusse, mit denen versucht wurde wenigstens die möglichen Betriebsszenarien aufzuzeigen, zeigten eine weite Streuung der angenommenen Belegungsgrade und Anzahl betriebener Kleinbusse. Dadurch variierten die Jahresausgaben zwischen € 6 Millionen und € 59 Millionen.

Unter allen berechneten Betriebsszenarien zeigte sich, dass die Anschaffungskosten vollautomatisierter Elektrobusse derzeit noch zu hoch sind um einen wirtschaftlichen Vorteil durch Einsparungen im Lohnkostenbereich beim Betrieb vollautomatisierter Busse erzielen zu können. Durch die Tatsache, dass Elektrobusse derzeit noch das Zwei- bis Dreifache eines konventionellen Busses kosten, werden mögliche Einsparungen von Buslenkergehältern zur Gänze für die Anschaffung vollautomatisierter Elektrobusse aufgebracht. Somit findet im Großen und Ganzen lediglich eine Umlagerung des

größten Kostenpunktes von den Buslenkergehältern zum Anschaffungspreis der Fahrzeuge statt und die Jahresausgaben bleiben mehrheitlich unverändert.

Es ist eine nachvollziehbare Annahme, dass mit neuen Entwicklungen, Optimierung der Fahrzeugtechnik und erhöhtem Konkurrenzdenken am Markt, auch die Anschaffungskosten eines Elektrobusses sinken werden. Erst unter der Annahme, dass ein Elektrobus nur ca. 50% mehr kostet als ein konventioneller Bus, können Einsparungen von bis zu 27% der Jahresausgaben erreicht werden. Obwohl die berechneten Jahresausgaben beim Betrieb vollautomatisierter Elektro-Kleinbusse andeuten, dass Einsparungen von bis zu 77% der Jahresausgaben erzielt werden können, und somit die Kosten/Fahrgastkilometer von derzeit € 0,26 auf € 0,06 sinken, sind die angenommenen Betriebsszenarien mit kritischen Augen zu betrachten.

Obwohl die Frage, ob sich ein 100%-iger Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse für den Betreiber wirtschaftlich lohnen würde, nicht mit einem klaren „JA“ beantwortet werden kann, kann bei einer ausgereiften Technik und zeitlich fallenden Anschaffungspreisen von Elektrobussen davon ausgegangen werden, dass der Betrieb vollautomatisierter Elektrobusse zukünftig mit keinen höheren Kosten im Vergleich zu derzeitigen Kosten konventioneller Busse verbunden sein wird. Des Weiteren kann angenommen werden, dass durch strategisch sinnvolle Einsätze und Streckenwahlen, eine geringe Anzahl automatisierter Busverbindungen bereits heute mit niedrigeren Kosten betrieben werden könnten. Dabei sollte die Entwicklung der Treibstoff-, Instandhaltungs-, Reparatur- und Reinigungskosten genau beobachtet werden, da über diese Ausgaben derzeit wenig Daten bestehen, diese aber in der Kostenrechnung einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluss auf die Gesamtkosten aufweisen.

Die Kostenrechnungen vollautomatisierter Busse für das Beispiel der HGL zeigten zusätzlich die Wichtigkeit der Detailliertheit der angewendeten Kostenparameter auf. Der Betrieb automatisierter Fahrzeuge kann tiefgründige Auswirkungen, nicht nur auf die Zusammensetzung der Betriebsausgaben haben, sondern auch auf die gesamte Unternehmensstruktur. Deswegen sollten die variablen Kosten des Betriebes automatisierter Kleinbusse weiterhin erforscht und dokumentiert werden, damit zukünftig genauere Kostenrechnungen durchgeführt werden können als dies derzeit möglich ist.

Des Weiteren ist zu beachten, dass der wirtschaftliche Erfolg automatisierter Busse auch vom Verhalten potenzieller Nutzer abhängt. Es reicht nicht, einen Dienst günstig anbieten zu können, wenn dieser von potenziellen Nutzern nicht positiv aufgenommen wird. Deswegen ist es ratsam, vor der Einführung neuer Techniken im ÖPNV Kundengespräche und Verkehrsbefragungen durchzuführen. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Stated-Preference-Befragung in Graz zeigte, dass die Grazer Bewohner offen gegenüber automatisierten Fahrzeugen stehen und sie sich einen Einsatz vollautomatisierter Busse in Graz vorstellen könnten. Mit über 65% positiven Meinungen über automatisierte Fahrzeuge, kann davon ausgegangen werden, dass ein Einsatz eines automatisierten Busses in Graz, aus Sicht der Kundenakzeptanz, leicht umsetzbar wäre. Unter den vorgestellten Busverbindungen zeigte sich die Verbindung zwischen der Technischen Universität und der St. Peter Hauptschule als beliebteste unter den befragten Teilnehmern. 70% der Teilnehmer gab an, dass die Verbindung für tägliche Beschäftigungen „attraktiv“ bzw. „eher attraktiv“ sei. Die Verbindung TU Graz – St. Peter Schulzentrum ist gleichzeitig die Verbindung mit der höchsten ÖPNV-Nutzung, wo 26,5% der befragten Teilnehmer angab, den ÖPNV mindestens einmal pro Tag zu nutzen.

Die Kostenrechnung aus Kap. 4.2 zeigte, dass sich die Kosten des Betriebes eines vollautomatisierten Elektrobusses nicht wesentlich von den Kosten eines konventionellen Busses unterscheiden. Unter der Annahme der gleichen staatlichen Subventionen wie im konventionellen Busbetrieb, könnte ein Betrieb eines vollautomatisierten Elektrobusses auf der Strecke zwischen TU Graz und dem St. Peter

Schulzentrum zum gleichen Fahrpreis, wie derzeit in Graz, angeboten werden. Diese Erkenntnis deckt sich mit dem Auswertung der Frage, welchen Preis man bereit wäre für eine Fahrt mit einem vollautomatisierten Bus zu zahlen, bei der 72% der Teilnehmer angab, bereit zu sein den gleichen Fahrpreis, wie derzeit in Graz, zu zahlen.

Ein Vorteil von vollautomatisierten Elektro-Kleinbussen liegt in der leichteren Anpassung vom Angebot auf die bestehende Nachfrage, auch durch den Tag hinweg. Dadurch könnten schwankende Verkehrsnachfragen zwischen Lehrveranstaltungszeiten und Lehrveranstaltungsfreien Zeiten leicht bewältigt werden, wodurch sich ein vollautomatisierter Elektro-Kleinbus als Schüler- und/oder Studentenfahrdienst zwischen der TU Graz und dem St. Peter Schulzentrum anbietet. Durch die Verbindung Alte Technik – Infeldgasse, könnte für Studenten, die auf beiden Orten Lehrveranstaltungen besuchen, eine alternative zu den derzeitigen öffentlichen Verkehrsmitteln in Graz angeboten werden.

Der einzige Punkt, bei dem die Verbindung TU-Graz – St. Peter Schulzentrum als nachteilig anzusehen ist, ist die Frage des Wohlbefindens der Nutzer bei abendlichen Fahrten. In beiden Fällen, bei der Fahrt mit einer unbekanntem männlichen und einer Fahrt mit einer unbekanntem weiblichen Person, gaben bei dieser Verbindung die wenigsten Teilnehmer an sich in diesen Situationen sicher zu fühlen (38,4% bzw. 62% der Befragten antwortete mit „Ja, ich würde mich sicher fühlen“). Durch Sicherheitsvorkehrungen, wie beispielsweise Kameausrüstungen und/oder Sicherheitsbegleitungen, könnten die Betriebskosten einen Wert erreichen, durch den ein wirtschaftlich profitabler Betrieb der Busverbindung verhindert werden könnte.

Nichtsdestotrotz, stellt die Verbindung zwischen der TU Graz und dem St. Peter Schulzentrum, aus Sicht der Kundenmeinung und der betrieblichen Umsetzung der Ergebnisse der Verkehrsbefragung, die vielversprechendste Option einen vollautomatisierten Bus in Graz umzusetzen und sollte aus diesen Gründen als Strecke für mögliche Testfahrten automatisierter Busse in Graz in Erwägung gezogen werden.

### 6.3 Ausblick

Das selbstfahrende Autos nicht in den nächsten paar Jahren die Straßen in Österreich erobern werden, sollte jedem, der sich mit den Entwicklungen auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens beschäftigt hat, klar sein. Trotzdem stellt das automatisierte Fahren in bestimmten Fällen eine vielversprechende Lösung für Straßenverkehrsprobleme der Gegenwart, aber auch für Verkehrshindernisse, die zukünftig erwartet werden, dar. Es ist davon auszugehen, dass mit Anpassungen der Verordnungen über die Testung und den Einsatz automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen, auch die Fahrzeughersteller motiviert werden Fahrzeugtechniken weiterzuentwickeln und somit der Weg zum vollautomatisierten und selbstfahrenden Fahrzeug verkürzt wird.

Kfz-Versicherungsunternehmen bieten derzeit günstigere Versicherungsprämien für elektrisch betriebene Fahrzeuge an. Es wird angenommen, dass durch den elektrischen Antrieb bis zu 35% niedrigere Versicherungskosten im Vergleich zum konventionellen Betrieb möglich sind [Comparis AG, 2018]. Es wird von zusätzlichen Einsparungen von bis zu 50% durch das Fehlen eines menschlichen Lenkers als Hauptursache für Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden, und der damit verbundenen sicheren Fahrweise vollautomatisierter Busse, ausgegangen [Bösch et al., 2018]. Des Weiteren kann man annehmen, dass durch die erwähnten positiven Einflüsse des vollautomatisierten und elektrischen Fahrens auf die Umwelt, Unfallstatistik und Straßenverkehr, und durch weitere Entwicklungen auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens, auch der Staat zukünftig den Wunsch äußert, vermehrt vollautomatisierte Fahrzeuge bzw. Fahrzeuge einer bestimmten Mindestautomatisierungsstu-

fe, zu subventionieren, sei das durch finanzielle Mittel oder andere betriebliche Vorteile. Dies würde die variablen Kosten des Betriebes vollautomatisierter Elektrobusse senken und einen günstigeren Fahrpreis als mit derzeit betriebenen Bussen ermöglichen.

Deswegen sollte rechtzeitig über die Umsetzung vollautomatisierter und selbstfahrender Fahrzeuge in das Straßenverkehrsbild nachgedacht werden. Dabei sollte man sich nicht nur auf die Implementation im privaten Bereich konzentrieren, sondern auch über Möglichkeiten des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr nachdenken und Vorteile dieser Technik für den ÖPNV rechtzeitig erkennen.

Einige europäische Städte, darunter Helsinki (Finland), La Rochelle (Frankreich) und Mailand (Italien), haben bereits vollautomatisierte Kleinbusse getestet und für den Einsatz im öffentlichen Verkehr in Erwägung gezogen [Stam und Delle Sitta, 2014]. Dass durch automatisiertes Fahren Vorteile für Einwohner und Umwelt entstehen können, hat auch die Hauptstadt Österreichs erkannt. In der Seestadt wird für 2019 die Aufnahme eines Navya Arma DL4-Kleinbusses in den Regelbetrieb geplant [Wiener Linien, 2018]. Man erhofft sich dadurch eine ressourcenschonende und gleichzeitig sichere Mobilitätsmöglichkeit anbieten zu können. Bevor der Regelbetrieb jedoch aufgenommen werden kann, bedarf es rechtlicher Schritte, um den Einsatz eines vollautomatisierten Busses mit Haltestellen und Fahrplänen zu ermöglichen. Das Projekt wird durch die Zusammenarbeit mehrerer Partner ermöglicht, dazu gehören die Wiener Linien, das Austrian Institute of Technology, Siemens AG, TÜV Austria und das Kuratorium für Verkehrssicherheit. Es wurde erkannt, dass, obwohl sich das automatisierte Fahren noch am Anfang seiner Entwicklung befindet, das Potenzial der Technik groß ist und bei stetig vorangehenden Entwicklungen, automatisierte Fahrzeuge als eine zuverlässige Alternative für konventionelle Bus- und Bahnsysteme entwickelt werden können.

Graz, als zweitgrößte Stadt Österreichs, bietet sich durch ihre Verkehrslage und Einwohnerhaltung gegenüber automatisierten Fahrzeugen als Testort für automatisierte Kleinbusse an. Strecken für mögliche automatisierte Busverbindungen wurden bereits erforscht und Meinungen potenzieller Kunden dazu befragt. Durch den Einsatz von Elektrobussen im Regelbetrieb, hat die HGL einen entscheidenden Schritt für eine nachhaltige Zukunft gemacht. Der erste Schritt Richtung eines Einsatzes automatisierter Busse in Graz wurde bereits gemacht. Es muss jetzt darauf aufgebaut werden, denn egal ob man über den heutigen Straßenverkehr eine positive oder negative Meinung hat, es wird die Zeit kommen, in der fossile Brennstoffe nicht in ausreichender Menge vorhanden sein, die hohen Unfallzahlen im Straßenverkehr von der Bevölkerung nicht länger toleriert und die hohen Straßenverkehrsemissionen nicht mehr zu tragen sein werden. In einer immer schneller lebenden Gesellschaft, wird es keine Umwege um die Nachfrage nach günstigen, zu jeder Zeit und für jedermann zur Verfügung stehenden, Verkehrsmitteln geben. Der Straßenverkehr, so wie wir ihn kennen, wird sich früher oder später in Richtung nachhaltiger Energiequellen und persönlicher Mobilitätslösungen orientieren müssen. Automatisierte Fahrzeuge könnten diesen Stein ins Rollen bringen, und nach Verbrennungsmotoren und elektrischen Antrieben, die nächste Revolution im Straßenverkehr einleiten.



## Literaturverzeichnis

- Bundesgesetz vom 23. Juni 1967 über das Kraftfahrwesen, i. d. F. vom 02.01.2018, BGBl. Nr. 267/1967.
- Becker F.; Axhausen K. W. (2017): Predicting the use of automated vehicles. [First results from the pilot survey]. Forschungsbericht, Institute for Transport Planning and Systems, Zürich.
- Bösch P. M.; Becker F.; Becker H.; Axhausen K. W. (2018): *Cost-based analysis of autonomous mobility services*. In: Transport Policy, the official journal of the World Conference on Transport Research Society, Vol. 64, pp. 76-91, Elsevier, 2018.
- Dreßler P. (2013): *Funksysteme, Protokolle und Anwendungen der Car-to-X-Kommunikation*. Hauptseminararbeit, Technische Universität Ilmenau, 2013.
- Department of Transport: *Road Safety (Traffic) Regulations 1988*, S.R. No. 30/1988, i. d. F. vom 04.11.1998, Version No. 043.
- Fagnant D. J.; Kockelman K. (2015): *Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on self-driven vehicles*. In: Transportation Research, Part A 77, pp. 167-181, Elsevier, 2015.
- Friedrich M.; Hartl M. (2016): *MEGAFON: Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs*. Forschungsbericht, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Stuttgarter Straßenbahnen, Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart, Stuttgart.
- Granzner-Stuhr S. (2016): *Masterprogramm 2 & 3: Qualitative & quantitative Forschungsmethoden*. Universitätslehrgang „Beratungswissenschaften & Management sozialer Systeme“, Sigmund Freud PrivatUniversität, Wien.
- Hazan J.; Lang N.; Ulrich P.; Chua J.; Doubara X.; Steffens T. (2016): *Will autonomous Vehicles Derail Trains?* Technical Report, The Boston Consulting Group, Boston.
- IFA: Institut für Automobilwirtschaft (2012): *Elektroautos mit deutlich niedrigeren Unterhaltskosten*. Presseinformation Elektromobilität, 20.11.2012.
- IHS Automotive (2014): *Emerging Technologies - Autonomous cars - Not if, but when*. Automotive Technology Report, Englewood.
- Johnson C.; Walker J. (2016): *Mobility Transformation: Peak Car ownership – The Market opportunity of electric automated mobility services*. Technical Report, Rocky Mountain Institute, Snowmass.
- Knote T.; Haufe B.; Saroch L. (2017): *E-Bus-Standard: Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse*. Forschungsbericht, Fraunhofer Institut für Verkehr- und Infrastruktursysteme, Dresden.
- Lang S. (2017): *Empirische Forschungsmethoden*. Skript zur Lehrveranstaltung „Empirische Forschungsmethoden“, Universität Trier, Trier.
- Lenz B.; Fraedrich E. (2015): *Neue Mobilitätskonzepte und autonomes Fahren: Potenziale der Veränderung*. In: Maurer et. al. Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Kapitel 9, Seiten 175-197, Springer, Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-662-45854-9, 2015.
- Litman T. (2018): *Autonomous Vehicles Implementation Predictions – Implications for Transport Planning*. Technical report, Victoria Transport Policy Institute, Victoria.

- Maibach M.; Peter M.; Sutter D. (2006): *Analysis of operating costs in the EU and the US*. Annex 1 to COMPETE Final Report: Analysis of the contribution of transport policies to the competitiveness of the EU economy and comparison with the United States, Technical Report TREN/05/MD/S07 .5358 5, European Commission – DG TREN, Karlsruhe.
- Maurer M.J.; Gerdes C.; Lenz B.; Winner H. (2015): *Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. ISBN 978-3-662-45853-2, Springer, Heidelberg.
- Nookala M.; Khan A. M. (1988): *Cost-Efficiency of Intercity Bus Technology Innovations*. In: Transportation Research Record, Vol. 1125, pp. 57-63, 1988.
- Pessaro B. (2016): *Evaluation of automated Vehicle technology for Transit - 2016 Update*. Technical Report NO. 2117-9060-21, National Center for Transit Research (NCTR), Tampa.
- Piao J.; McDonald M.; Hounsell N.; Graindorge M.; Graindorge T.; Malhene N. (2016): *Public views towards implementation of automated vehicles in urban areas*. In: Transportation Research Procedia, Vol. 14, pp. 2168-2177, Elsevier, 2016.
- Reynolds-Feighan A.; Durkan J.; Durkan J. (2000): *Comparison of Subvention Levels for Public Transport Systems in European Cities*. Technical Report, Department of Transport, Dublin.
- Stam D.; Delle Site P. (2014): *CityMobil2: City study comparative evaluation*. Seventh Framework Programme: Automated urban vehicles, European Commission.
- Stephens T. S.; Gonder J.; Chen J.; Lin Z.; Liu C.; Gohlke D. (2016): *Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and automated Vehicles*. Technical Report NREL/TP-5400-67216, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden.
- Übereinkommen über den Straßenverkehr vom 30.06.1982, BGBl. Nr. 289/1982, i. d. F. vom 26.09.1991, BGBl. Nr. 517/1991.
- Verband der Automobilindustrie (2015): *Automatisierung - Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*. VDA Broschüre vom 03.09.2015, Berlin.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2015): *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen*. VDV-Positionspapier „Autonome Fahrzeuge“ vom November 2015, Köln.
- Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) über Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren vom 19.12.2016, i. d. F. vom 10.03.2018, BGBl. II Nr. 402/2016.
- Wünsche H. J. (2013): *Geschichte des automatischen Fahrens*. 6. Tagung Fahrerassistenz. TÜV Süd, München.
- Zankl C.; Rehr K. (2018): *Digibus 2017 – Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich*. Forschungsbericht, Salzburg Research, Salzburg.

## Internetverzeichnis

- 2getthere (2017): *First autonomous system* [online] <https://www.2getthere.eu/first-autonomous-system/> [25.02.2018].
- 2getthere (2017): *First on public road* [online] <https://www.2getthere.eu/first-autonomous-vehicle-on-public-road/> [18.02.2018].
- 2getthere (2018): *Group Rapid Transit* [online] <https://www.2getthere.eu/systems/group-rapid-transit/> [18.02.2018].
- Auto-Medienportal (2016): *Im Rückspiegel: Vor 65 Jahren wurde der Airbag erfunden* [online] <https://www.auto-medienportal.net/artikel/detail/37312> [22.01.2018].
- Auto Presse (2017): *ADAC-Test: So sicher sind digitale Lebensretter* [online] <http://auto-presse.de/autonews.php?newsid=438094> [28.09.2018].
- Bundesministerium für Finanzen (2018): *Absetzung für Abnutzung* [online] <https://www.bmf.gv.at/steuern/selbststaendige-unternehmer/betriebsausgaben/ba-abschreibung.html> [22.09.2018].
- Bundesministerium für Inneres (2018): *Verkehrsangelegenheiten* [online] [https://www.bmi.gv.at/202/Verkehrsangelegenheiten/unfallstatistik\\_vorjahr.aspx](https://www.bmi.gv.at/202/Verkehrsangelegenheiten/unfallstatistik_vorjahr.aspx) [28.09.2018].
- Bundesministerium für Statistik (2018): *Fahrzeuge* [online] <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge.html> [28.09.2018].
- Comparis AG Internetseite (2018) <https://www.comparis.ch/> [20.09.2018].
- Defense Advanced Research Project Agency (2014): *DARPA Grand Challenges* [online] <https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13> [25.01.2018].
- Durchblicker Tarifvergleichsseite (2018) <https://durchblicker.at/> [25.10.2018].
- EasyMile Internetseite (2018) <http://www.easymile.com/> [02.02.2018].
- Europäische Kommission (2018): *Freizügigkeit – EU Bürger* [online] <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=457&langId=de> [14.01.2018].
- Federal Highway Administration (2007): *The Dream of an Automated Highway* [online] <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/07july/07.cfm> [22.01.2018].
- Fraunhofer Institut (2016): *Autonome Fahrzwuge 2030 Option für die letzte Meile* [online] [https://www.iml.fraunhofer.de/de/presse\\_medien/pressemitteilungen/ZF-Zukunftsstudie\\_letzte\\_Meile.html](https://www.iml.fraunhofer.de/de/presse_medien/pressemitteilungen/ZF-Zukunftsstudie_letzte_Meile.html) [29.01.2018].
- Graz Linien Blog (2016): *Wie werde ich BuslenkerIn?* [online] <https://blog.holding-graz.at/graz-linien-wie-erde-ich-buslenkerin/> [20.08.2018].
- Helsinki Smart (2018): *Need a lift? Hop on the SOHJOA driverless robobus* [online] <https://www.helsinkismart.fi/portfolio-items/sohjoa/> [25.02.2018].
- Holding Graz Linien (2018): *Fahrpläne Bus* [online] <https://www.holding-graz.at/tickets/fahrplaene/bus/linie-30.html> [19.08.2018].
- INRIX (2018): *Global Traffic Scorecard* [online] <http://inrix.com/scorecard/> [28.09.2018].
- InideEVs (2017): *Ride In An Autonomous Navya Arma Shuttle For Just 9,500 Euros A Month* [online] <https://insideevs.com/autonomous-navya-arma-shuttle-lease/> [20.09.2018].

- Journalstar (2014): *Nebraska tested driverless car technology 60 years ago* [online] [http://journalstar.com/news/local/govt-and-politics/nebraska-tested-driverless-car-technology-years-ago/article\\_a702fab9-cac3-5a6e-a95c-9b597fdab078.html](http://journalstar.com/news/local/govt-and-politics/nebraska-tested-driverless-car-technology-years-ago/article_a702fab9-cac3-5a6e-a95c-9b597fdab078.html) [30.09.2018].
- Kraftfahrt-Bundesamt (2018): *Jahresbilanz des Fahrzeugstandes am 1. Januar 2018* [online] [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html) [28.09.2018].
- Ligier (2018): *Meet the EZ10, the driverless shuttle* [online] <http://www.ligiergroup.com/ligier-group/meet-the-ez10-the-driverless-shuttle.html> [25.02.2018].
- Lohnanalyse Internetdatenbank (2018): *Kfz-Mechaniker/in in Österreich* <http://www.lohnanalyse.at/at/loehne/details/kfz-mechanikerin.html> [22.10.2018].
- LOK Report (2017): *Sachsen: Autonomer Elektrobus zu Gast in Dresden* [online] <https://www.lok-report.de/news/deutschland/aus-den-laendern/item/890-sachsen-autonomer-elektrobus-zu-gast-in-dresden.html> [20.09.2018].
- Mercedes-Benz (2018): *Benz Patent-Motorwagen* [online] [https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/instance/ko.xhtml?grp=DEFAULT\\_TEXT\\_GR&oid=4373#toRelation](https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/instance/ko.xhtml?grp=DEFAULT_TEXT_GR&oid=4373#toRelation) [20.01.2018].
- Michigan News (2015): *U-M opens Mcity test environment for connected and driverless vehicles* [online] <https://news.umich.edu/u-m-opens-mcity-test-environment-for-connected-and-driverless-vehicles/> [15.02.2018].
- Michigan News (2017): *Driverless shuttle service comin to U-M's North Campus* [online] <https://news.umich.edu/driverless-shuttle-service-coming-to-u-m-s-north-campus/> [25.10.2018].
- Michigan University (2018): *Mcity Test Facility* [online] <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/> [15.09.2018].
- Michigan University (2018): *Shuttle FAQ* [online] <https://mcity.umich.edu/shuttle/shuttle-faq/> [25.10.2018].
- Navya (2018): *Autonom Shuttle* [online] <https://navya.tech/en/autonom-en/autonom-shuttle/> [13.02.2018].
- Smart City Graz (2017): *Smart City Graz* [online] [http://www.smartcitygraz.at/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/folder\\_DE\\_EN\\_200x120-quer\\_neu.pdf](http://www.smartcitygraz.at/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/folder_DE_EN_200x120-quer_neu.pdf) [25.06.2018].
- Statista (2014): *Auto weiterhin Fortbewegungsmittel Nr. 1* [online] <https://de.statista.com/infografik/2836/die-beliebtesten-verkehrsmittel-der-deutschen/> [25.09.2018].
- Statistik Autria (2018): *Unfälle mit Personenschäden* [online] [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/verkehr/strasse/unfaelle\\_mit\\_personenschaden/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/unfaelle_mit_personenschaden/index.html) [22.09.2018].
- Statistik Austria (2018): *Kfz-Bestand 2017* [online] [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge\\_-\\_bestand/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html) [22.09.2018].
- The Guardian (2014): *Helsinki's ambitious plan to make car ownership pointless in 10 years* [online] <https://www.theguardian.com/cities/2014/jul/10/helsinki-shared-public-transport-plan-car-ownership-pointless> [12.02.2018].
- The Guardian (2016): *Self-driving busses take to roads alongside commuter traffic in Helsinki* [online] <https://www.theguardian.com/technology/2016/aug/18/self-driving-buses-helsinki> [12.02.2018].

- The Telegraph (2001): *Cruising into the future* [online] <https://www.telegraph.co.uk/motoring/4750544/Cruising-into-the-future.html> [24.01.2018].
- Finnisch Transport Safety Agency (2017): *Automated vehicle trials* [online] [https://www.trafi.fi/en/road/automated\\_vehicle\\_trials](https://www.trafi.fi/en/road/automated_vehicle_trials) [02.03.2018].
- Technische Universität Graz (2011): *GUARD – Guaranteed Ride Home* [online] [https://online.tugraz.at/tug\\_online/fdb\\_detail.ansicht?cvfanr=F25966&cvorgnr=37&sprache=1](https://online.tugraz.at/tug_online/fdb_detail.ansicht?cvfanr=F25966&cvorgnr=37&sprache=1) [03.06.2018].
- Ultra Global PRT (2011): *Heathrow Pods transport passengers to the future* [online] <http://www.ultraglobalprt.com/heathrow-pods-transport-passengers-to-the-future/> [04.02.2018].
- VCÖ – Mobilität mit Zukunft (2017): *Österreich Europas Spitzenreiter bei Bahn, Bus und städtischen Öffis* [online] <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/vcoe-oesterreich-europas-spitzenreiter-bei-bahn-bus-und-staedtischen-oeffis> [25.09.2018].
- VCÖ – Mobilität mit Zukunft (2017): *Österreich hat beim Straßenverkehr 3. höchste CO2-Emissionen der EU* [online] <https://www.vcoe.at/news/details/vcoe-oesterreich-hat-beim-strassenverkehr-3-hoechste-co2-emissionen-der-eu> [25.09.2018].
- Waymo (2017): *Journey* [online] <https://waymo.com/journey/> [16.09.2018].
- Wiener Linien (2018): *Wien bekommt eine fahrerlose Autobuslinie* [online] <https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/bvContentView.do?contentTypeld=1001&contentId=1801722&programId=74577&channelId=-47186> [29.10.2018].
- Wikipedia (2018): *Viertaktmotor* [online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Viertaktmotor> [22.01.2018].
- Wikipedia (2018): *La Rochelle* [online] [https://de.wikipedia.org/wiki/La\\_Rochelle](https://de.wikipedia.org/wiki/La_Rochelle) [22.02.2018].
- Youtube Channel Londonist Ltd. (2014): *Ride on the Heathrow Pods* [online] <https://www.youtube.com/watch?v=BF1RVbnzPfs> [22.02.2018].
- Youtube Channel Computer History Museum (2016): *Ernst Dickmanns 'VaMoRs Mercedes Mini Van, 1986-2003* [online] <https://www.youtube.com/watch?v=I39sxwYKIEE> [08.02.2018].



## Anhang 1 – Verkehrsbefragung Graz

Vielen Dank, dass Sie sich Zeit genommen haben an dieser Befragung teilzunehmen. Die Befragung erfolgt im Rahmen meiner Masterarbeit an der TU Graz mit dem Thema "Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Buslinienverkehr" am Beispiel Graz. Es werden insgesamt drei mögliche Einsatzgebiete vollautomatisierter Busse in Graz befragt. Auf der nächsten Seite können Sie auswählen, für welche Strecke Sie die Befragung durchführen möchten. Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nur für die Auswertung dieser Befragung benutzt. Persönliche Daten zum Alter, Geschlecht und Wohnort sind erforderlich, um die späteren Antworten richtig zu verknüpfen. Falls Sie Fragen zur Befragung haben, können Sie sich gerne an mich wenden.

Email: aldin.bibic@student.tugraz.at

**Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Was zählt ist Ihre ehrliche Meinung.**

### Frage 1) Für welche Strecke möchten Sie die Befragung durchführen?

- TU Graz – St. Peter Schulzentrum
- Karmeliterplatz - Karl-Franzens-Universität
- SmartCity - Reininghaus

### Frage 2.1) Veratten Sie uns bitte Ihr Geschlecht...

- Männlich
- Weiblich

### Frage 2.2) ...Ihr Alter...

- 10 -19
- 20 - 35
- 36 - 50
- 51 - 65
- >65

### Frage 2.3) ...und Ihre höchste Schulasubildung.

- Pflichtschule
- Lehre/Berufsschule
- Berufsbildende mittlere Schule (ohne Matura)
- Berufsbildende höhere Schule (mit Matura)
- Universität/Fachhochschule

### Frage 3.1) Sind Sie in Graz wohnhaft?

- Ja
- Nein

*Wenn Sie diese Frage mit „Ja“ beantwortet haben, überspringen Sie bitte die Fragen 3.2 u. 4.2.*

**Frage 3.2) Arbeiten, studieren oder gehen Sie in Graz zur Schule?**

- Ja
- Nein

*Wenn Sie mit „Ja“ geantwortet haben, überspringen Sie bitte die Frage 4.1. Wenn Sie mit „Nein“ geantwortet haben, sind Sie leider nicht für die Umfrage geeignet.*

**Frage 4.1) Geben Sie bitte die genaue PLZ Ihres Wohnortes ein.****Frage 4.2) Geben Sie bitte die genaue PLZ Ihres Arbeits-, Studien- bzw. Schulortes ein.****Frage 5) Wie oft benutzen Sie den Öffentlichen Verkehr in Graz?**

- mind. einmal pro Tag
- mind. einmal pro Woche
- mind. einmal pro Monat
- seltener als einmal pro Monat

**Frage 6) Haben Sie schon einmal von vollautomatisierten bzw. fahrerlosen Fahrzeugen gehört?**

*Vollautomatisiertes Auto, vollautomatisierter Bus, vollautomatisierter Lkw.*

- Ja
- Nein
- Bin mir nicht sicher

*Im Anschluss sehen Sie ein kurzes Präsentationsvideo eines fahrerlosen Busses, der derzeit in verschiedenen Städten in Europa getestet wird. Bitte schauen Sie sich das Video bis zum Ende an. Das Laden des Videos kann bis zu 10 Sekunden dauern. Bitte bewahren Sie Geduld.*

*Internetlink Video: <https://www.youtube.com/watch?v=wUxzmbRpaYE>*

**Frage 7) Haben Sie dieses Video schon einmal vor dieser Befragung gesehen?**

- Ja
- Nein
- Bin mir nicht sicher

Fahrerlose Fahrzeuge besitzen Fahrantriebe, die selbstständig die Aufgaben der Längs- und Querführung des Fahrzeuges übernehmen können. Durch die vollautomatisierte Technik ist ein Fahrer/Lenker für die Kontrolle des Fahrzeuges nicht mehr notwendig. Die Technik in vollautomatisierten Fahrzeugen scannt die Umgebung des Fahrzeuges durch Kameras und Ultraschallsensoren und führt Fahrmanöver, ohne die Eingabe eines menschlichen Fahrers/Lenkens, selbstständig aus. Der Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge wäre auch im Öffentlichen Verkehr möglich, durch den Einsatz vollautomatisierter Kleinbusse. Dabei handelt es sich um elektrisch betriebene Fahrzeuge, die bis zu 5 Meter lang sind und Platz für 9-12 Personen bieten.

**Frage 8.1) Wie ist Ihre Meinung allgemein über fahrerlose Fahrzeuge?**

- Positiv
- Eher positiv
- Neutral
- Eher negativ
- Negativ

**Frage 8.2) Begründen Sie bitte Ihre Antwort.**

--

**Frage 9) Nachdem Sie etwas über fahrerlose Fahrzeuge gelesen haben, kreuzen Sie bitte bei jedem Punkt an, wie Ihrer Meinung nach der Einfluss fahrerloser Busse im Öffentlichen Verkehr in Graz ausfallen würde bzw. ob der Punkt sich Ihrer Meinung nach verbessern oder verschlechtern würde.**

Aspekte	verbe- ssern	eher verbessern	bleibt gleich	eher verschlech- tern	verschlech- tern
<b>Verkehrssicherheit</b> (z. B. Anzahl von Verkehrsunfällen)					
<b>Sicherheit im Fahrzeug selbst</b> (z. B. Anzahl an Übergriffen in Bussen)					
<b>Mobilitätsangebot</b> (z. B. Ganztagsverkehr, Haltestellenwartezeiten usw.)					
<b>Ticketpreise</b>					
<b>Fahrkomfort</b>					
<b>Reisezeiten</b> (von Anfangs- bis Endhaltestelle)					
<b>Buslinienanzahl</b> (z. B. Erschließung abgelegener Stadtteile)					
<b>Betriebsstörungen</b> (z. B. Anzahl Busausfälle)					

**Frage 10) Welchen Preis wären Sie bereit für ein Fahrticket in einem fahrerlosen Bus im Vergleich zu den derzeitigen Fahrpreisen in Graz zu zahlen?**

- Mehr als für den derzeitigen Preis
- Gleich viel
- Weniger als für den derzeitigen Preis

**Frage 11.1) Wie attraktiv ist die Strecke, für die Sie sich am Anfang dieser Befragung entschieden haben, für Ihre alltäglichen Beschäftigungen?**

Bitte denken Sie bei "alltäglichen Beschäftigungen" an Einkaufswege, Wege zur Schule bzw. Arbeit.

- Attraktiv
- Eher attraktiv
- Neutral
- Eher unattraktiv
- Unattraktiv

**Frage 11.2) Begründen Sie bitte Ihre Antwort.**

**Frage 12) Bei welcher maximalen Reisegeschwindigkeit würden Sie sich während einer Fahrt in einem fahrerlosen Bus auf der von Ihnen gewählten Strecke noch wohl fühlen?**

- bis 10 km/h
- bis 30 km/h
- bis 50 km/h
- über 50 km/h

**Auf dem folgenden Foto wird der Innenraum eines fahrerlosen Kleinbusses gezeigt. Merken Sie sich bitte dieses Foto, da es für die nächsten Fragen wichtig ist.**



**Abbildung 33: Innenraum eines fahrerlosen bzw. vollautomatisierten Busses**

(Quelle: <http://itspodcast.com/podcast-episode-41-vehicle-data-smart-mobility-transportation-electrification/michigan-university-interior-of-driverless-shuttle-navya/>, 2018)

**Frage 13.1) Stellen Sie sich vor, Sie fahren Abends mit einem fahrerlosen Kleinbus auf der von Ihnen gewählten Strecke, während sich außer Ihnen im Bus nurnoch eine weitere, Ihnen unbekannte MÄNNLICHE Person befindet. Würden Sie sich in dieser Situation sicher fühlen?**

- Ja
- Nein
- Bin mir nicht sicher

*Wenn Sie diese Frage mit „JA“ beantwortet haben, überspringen Sie bitte die Frage 13.2.*

**Frage 13.2) Was würde Ihr Sicherheitsgefühl, wenn Sie sich in einem fahrerlosen Bus von einer MÄNNLICHEN Person bedroht fühlen, ammeisten steigern?**

- Kamera im Innenraum des Busses
- Panikknopf (*Polizei wird verständigt*)
- Notbremse
- Sicherheitsbegleitung
- Alle Möglichkeiten gleich gut
- Sonstige:

**Frage 14.1) ...und wenn es sich um eine Ihnen unbekannte, WEIBLICHE Person handeln würde. Würden Sie sich in dieser Situation sicherfühlen?**

- Ja
- Nein
- Bin mir nicht sicher

*Wenn Sie diese Frage mit „JA“ beantwortet haben, überspringen Sie bitte die Frage 14.2.*

**Frage 14.2) Was würde Ihr Sicherheitsgefühl, wenn Sie sich in einem fahrerlosen Bus von einer WEIBLICHEN Person bedroht fühlen, ammeisten steigern?**

- Kamera im Innenraum des Busses
- Panikknopf (*Polizei wird verständigt*)
- Notbremse
- Sicherheitsbegleitung
- Alle Möglichkeiten gleich gut
- Sonstige:

**Vielen Dank, dass Sie an dieser Umfrage teilgenommen haben. Falls Sie Rückfragen oder Vorschläge bezüglich der Umfrage haben, stehe ich unter der angegebenen Adresse zur Verfügung.**

**Email: [aldin.bibic@student.tugraz.at](mailto:aldin.bibic@student.tugraz.at)**



## **Anhang 2**

### **Belegungsgrad der Holding Graz Buslinien**

Buslinie	Tagesfahrten HGL	Tageswert Wagen-km HGL	Tageswert Platz-km HGL	Durschnittliche Buskapazität*	Tageswert Fahrgast-km HGL	Belegungsgrad HGL
		a	b		c = b/a	
31	193	1661,8	168.113,0	102	31.462	18,7%
32	266	2135,4	217.806,0	102	42.775	19,6%
33	184	1677,9	159.827,0	96	26.479	16,6%
34	162	1380,9	89.758,0	65	18.966	21,1%
39	206	1311,6	116.735,0	90	15.826	13,6%
40	220	1378,2	140.579,0	102	31.523	22,4%
48	53	342,8	22.285,0	65	2.142	9,6%
50	127	435,8	38.787,0	90	5.838	15,1%
52	142	1111,9	98.957,0	89	13.201	13,3%
53	145	1712,3	159.907,0	94	20.909	13,1%
58	203	852,0	55.458,0	65	13.505	24,4%
60	154	644,5	41.894,0	65	3.783	9,0%
62	157	1789,0	118.012,0	66	19.230	16,3%
63	208	1187,8	121.158,0	102	23.567	19,5%
64	152	2117,6	139.289,0	66	23.965	17,2%
65	131	743,5	49.053,0	66	5.953	12,1%
67	188	1470,7	134.001,0	92	20.461	15,3%
74	149	697,6	45.345,0	65	4.416	9,7%
85	205	1183,0	76.893,0	65	9.987	13,0%
				<b>Durchsch. Belegungsgrad aller Buslinien</b>		<b>15,8%</b>

\*Auf Verbindungen, auf denen im Jahr 2017 Standard- und Gelenkbusse , betrieben wurden, kann die durchschnittliche Buskapazität aller an einem Tag getätigten Fahrten einen Wert zwischen 65 und 102 Plätzen aufweisen.

# **Anhang 3**

## **Kostenrechnung konventioneller Busbetrieb**

## Ausgaben HGL - Konventioneller Busbetrieb

### Fixe Kosten

Abschreibung				
Anmerkungen:				
• Lineare Abschreibung ohne Restwert				
Busgattung	Anzahl	Anschaffungspreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
Standardbus	66	€ 300.000	10	€ 1.980.000
Gelenkbus	96	€ 400.000	10	€ 3.840.000
<b>Kosten/Jahr</b>				<b>€ 5.820.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>				<b>€ 82,19 - € 109,59</b>

Kfz-Versicherungskosten		
• Busanzahl		162
		x
• Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/Bus (Angabe HGL)		€ 3.000
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 486.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 8,22</b>

Angestelltegehälter		
• Anzahl Buslenker (Angabe HGL)		400
		x
• Jahresbruttogehalt/Buslenker (inkl. Dienstgeberbeitrag, Urlaubs- u. Weihnachtsgeld, Stand August 2018)		€ 30.500
		+
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter		50
		x
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]		€ 27.458
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 13.572.900</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 229,54</b>

<b>Variable Kosten</b>
------------------------

<b>Annahmen bzw. Anmerkungen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercedes-Benz Citaro <b>Kraftstoffverbrauch</b> ca. 40 - 50 l/100km (Strecken- u. Busgattungsabhängig)</li> <li>• <b>Reifen</b> ca. € 220/Stück [Bösch et al., 2018]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variable Kosten/Buskm (Busgattungsabhängig, HGL)</b> <span style="float: right;"><b>€ 1.30 - € 1.70</b></span></li> <li style="padding-left: 20px;">• <b>Treibstoff (ca. 34%)</b> <span style="float: right;">€ 0,44 - € 0,57</span></li> <li style="padding-left: 20px;">• <b>Instandhaltung (ca. 28%)</b> <span style="float: right;">€ 0,36 - € 0,48</span></li> <li style="padding-left: 20px;">• <b>Reinigung (ca. 10%)</b> <span style="float: right;">€ 0,13 - € 0,17</span></li> <li style="padding-left: 20px;">• <b>Reifen (ca. 3%)</b> <span style="float: right;">€ 0,04 - € 0,05</span></li> <li style="padding-left: 20px;">• <b>Reparaturen u. Abstimmung (ca. 25%)</b> <span style="float: right;">€ 0,33 - € 0,43</span></li> </ul>	x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer in 2017</b>	9.000.000
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 13.833.000</b>
Ann.: Subv. ca. 50%	<b>€ 6.916.500</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 98,94 - € 129,38</b>

<b>Jährliche Ausgaben konventioneller Busbetrieb der Hodling Graz Linien</b>
--

• <b>Abschreibung</b>	€ 5.820.000
• <b>Kfz-Versicherung</b>	€ 486.000
• <b>Angestelltegehälter</b>	€ 13.572.900
• <b>Variable Kosten</b>	€ 6.916.500
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 26.795.400</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 418,89 - € 476,74</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 2,75 - € 3,13</b>



**Anhang 4**  
**Kilometerkosten konventioneller Busbetrieb**  
**der Holding Graz Linien**

Buslinie	Durchschnittliche Buskapazität*	Tageswert Bus-km.	Tageswert Fahrgast-km.	Kosten/ Bus-km [€]	Kosten/ Fahrgast-km.	Kosten/ Sitz-km.
	a	b	c	d	d/(c/b)	d/a
31	102	1.661,8	31.462,0	3,13	€ 0,17	€ 0,03
32	102	2.135,4	42.775,0	3,13	€ 0,16	€ 0,03
33	96	1.677,9	26.479,0	3,06**	€ 0,19	€ 0,03
34	65	1.380,9	18.966,0	2,75	€ 0,20	€ 0,04
39	90	1.311,6	15.826,0	3,00**	€ 0,25	€ 0,03
40	102	1.378,2	31.523,0	3,13	€ 0,14	€ 0,03
48	65	342,8	2.142,0	2,75	€ 0,44	€ 0,04
50	90	435,8	5.838,0	3,00**	€ 0,22	€ 0,03
52	89	1.111,9	13.201,0	2,99**	€ 0,25	€ 0,03
53	94	1.712,3	20.909,0	3,04**	€ 0,25	€ 0,03
58	65	852,0	13.505,0	2,75	€ 0,17	€ 0,04
60	65	644,5	3.783,0	2,75	€ 0,47	€ 0,04
62	66	1.789,0	19.230,0	2,76**	€ 0,26	€ 0,04
63	102	1.187,8	23.567,0	3,13	€ 0,16	€ 0,03
64	66	2.117,6	23.965,0	2,76**	€ 0,24	€ 0,04
65	66	743,5	5.953,0	2,76**	€ 0,34	€ 0,04
67	92	1.470,7	20.461,0	3,02**	€ 0,22	€ 0,03
74	65	697,6	4.416,0	2,75	€ 0,43	€ 0,04
85	65	1.183,0	9.987,0	2,75	€ 0,33	€ 0,04
<b>Durchschnittliche Kilometerkosten</b>					<b>€ 0,26</b>	<b>€ 0,04</b>

\*Auf Verbindungen, auf denen im Jahr 2017 Standard- und Gelenkbusse , betrieben wurden, kann die durchschnittliche Buskapazität aller an einem Tag getätigten Fahrten einen Wert zwischen 65 und 102 Plätzen aufweisen.

\*\*Interpolation der Kilometerkosten, wegen der abweichenden durchschnittlichen Buskapazität auf der Busverbindung von der Kapazität von Standard- und Gelenkbussen.

# **Anhang 5**

## **Kostenrechnung vollautomatisierter Busbetrieb**

## Ausgaben - Automatisierter Busbetrieb

### Fixe Kosten

Abschreibung				
Annahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleiche <b>Buskapazität</b></li> <li>• Gleiche <b>Fuhrparkstruktur</b> (Anzahl Standard- und Gelenkbusse)</li> <li>• <b>Elektrobus</b> = 2 bis 3-Fache des Anschaffungspreises eines konv. Busses (HGL) (benutzter Faktor 2,5)</li> <li>• <b>Ausstattung mit autom. Technik</b> zusätzliche 20% des Anschaffungspreises eines Elektrobusse [IHS, 2014]</li> <li>• <b>Lineare</b> Abschreibung ohne <b>Restwert</b></li> </ul>				
Busgattung	Anzahl	Anschaffungspreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
Standardbus	66	€ 900.000	10	€ 5.940.000
Gelenkbus	96	€ 1.200.000	10	€ 11.520.000
<b>Kosten/Jahr</b>				<b>€ 17.460.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>				<b>€ 246,58 - € 328,77</b>

Kfz-Versicherung		
Annahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 35% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]</li> <li>• Bis 50% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]</li> </ul>		
• <b>Busanzahl</b>	162	
	x	
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 975	
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 157.950</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 2,67</b>

Kfz-Technikergehälter		
• <b>Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter</b>	50	
	x	
• <b>Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]</b>	€ 27.458	
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 1.372.900</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 23,22</b>

Ladeinfrastruktur	
<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gelegenheitsladung</b></li> <li>• bei <b>100% Betrieb</b> elektrischer Busse = ca. 40 Ladehaltestellen notwendig (Angabe HGL)</li> <li>• <b>Ladestation</b> ca. € 300.000 (inkl. <b>Installation</b> des Lademastes) [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladestation 20 Jahre [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 85.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 30 Jahre [Knote et al., 2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	40
	x
• <b>Ladestation</b>	(€ 300.000/20 Jahre
	+
• <b>Anschlusskosten Ladestation</b>	€ 85.000/30 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 713.333</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 12,06</b>

Werkstattausrüstung	
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dacharbeitsstand</b> inkl. <b>Krananlage</b> € 165.000</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre</li> <li>• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 100.000 (Nutzungsdauer: 5 Jahre)</li> <li>• <b>Schulungskosten</b> ca. € 14.000 (Annahme: 50 Mechaniker)</li> <li>• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre</li> </ul>	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 165.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 100.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 14.000/5 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 31.050</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 0,53</b>

### Variable Kosten

#### Annahmen:

- **Treibstoffkosten** durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]
- **Treibstoffkosten** durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]
- **Instandhaltungskosten** für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]
- Zusätzliche **Wartungskosten der Ladeinfrastruktur** von ca. 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]
- 50% höhere **Reinigungskosten** bei automatisierten Betrieb
- Gleiche Anzahl gefahrener Buskilometer/Jahr

• <b>Variablen Kosten/Buskilometer (Busgattungsabhängig)</b>	<b>€ 1,26 - € 1,65</b>
• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b>	€ 0,20 - € 0,26
• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 37%)</b>	€ 0,46 - € 0,61
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>	€ 0,002
• <b>Reinigung (ca. 16%)</b>	€ 0,20 - € 0,26
• <b>Reifen (ca. 3%)</b>	€ 0,04 - € 0,05
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 28%)</b>	€ 0,36 - € 0,47
	x
• <b>Jährlich gefahrene Kilometer (2017)</b>	9.000.000

<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 13.437.900</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.718.950</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 96,04 - € 125,72</b>

### Jährliche Ausgaben vollautomatisierten Elektrobus-Betrieb

• <b>Abschreibung</b>	<b>€ 17.460.000</b>
• <b>Kfz-Versicherung</b>	<b>€ 157.950</b>
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	<b>€ 1.372.900</b>
• <b>Ladeinfrastruktur</b>	<b>€ 713.333</b>
• <b>Werkstattausrüstung</b>	<b>€ 31.050</b>
• <b>Variable Kosten</b>	<b>€ 6.718.950</b>

<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 26.454.183</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 381,10 - € 492,97</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 2,50 - € 3,24</b>

## **Anhang 6**

**Kostenrechnung vollautomatisierter Busbetrieb, unter der  
Annahme eines geringeren Anschaffungspreises für Elektrobusse**

## Ausgaben - Automatisierter Busbetrieb (Elektrobus-Kaufpreisanpassung)

### Fixe Kosten

Abschreibung				
Annahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleiche <b>Buskapazität</b></li> <li>• Gleiche <b>Fuhrparkstruktur</b> (Anzahl Standard- u. Gelenkbusse)</li> <li>• <b>Elektrobus = 50% teurer als ein konventioneller Bus</b></li> <li>• <b>Ausstattung mit autom. Technik</b> zusätzliche 20% des Anschaffungspreises eines Elektrobussees [IHS, 2014]</li> <li>• <b>Lineare Abschreibung ohne Restwert</b></li> </ul>				
Busgattung	Anzahl	Anschaffungspreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
Standardbus	66	€ 540.000	10	€ 3.564.000
Gelenkbus	96	€ 720.000	10	€ 6.912.000
<b>Kosten/Jahr</b>				<b>€ 10.476.000</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>				<b>€ 147,95 - € 197,26</b>

Kfz-Versicherung		
Annahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 35% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]</li> <li>• Bis 50% niedrigere <b>Versicherungskosten</b> durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]</li> </ul>		
• <b>Busanzahl</b>	162	
	x	
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 975	
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 157.950</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 2,67</b>

Kfz-Technikergehälter		
• <b>Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter</b>	50	
	x	
• <b>Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]</b>	€ 27.458	
<b>Kosten/Jahr</b>		<b>€ 1.372.900</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>		<b>€ 23,22</b>

Ladeinfrastruktur	
<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gelegenheitsladung</b></li> <li>• bei <b>100% Betrieb</b> elektrischer Busse = ca. 40 Ladehaltestellen notwendig (Angabe HGL)</li> <li>• <b>Ladestation</b> ca. € 300.000 (inkl. <b>Installation</b> des Lademastes) [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladestation 20 Jahre [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 85.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 30 Jahre [Knote et al., 2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	40
	x
• <b>Ladestation</b>	(€ 300.000/20 Jahre
	+
• <b>Anschlusskosten Ladestation</b>	€ 85.000/30 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 713.333</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 12,06</b>

Werkstattausrüstung	
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dacharbeitsstand</b> inkl. <b>Krananlage</b> € 165.000</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre</li> <li>• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 100.000 (Nutzungsdauer: 5 Jahre)</li> <li>• <b>Schulungskosten</b> ca. € 14.000 (Ann.: 50 Mechaniker)</li> <li>• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre</li> </ul>	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 165.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 100.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 14.000/5 Jahre)
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 31.050</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 0,53</b>

**Variable Kosten**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Instandhaltungskosten</b> für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von ca. 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei automatisierten Betrieb</li> <li>• Gleiche Anzahl gefahrener Buskilometer/Jahr</li> </ul>	
• <b>Variablen Kosten/Buskilometer (Busgattungsabhängig)</b>	<b>€ 1,26 - € 1,65</b>
• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b>	€ 0,20 - € 0,26
• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 37%)</b>	€ 0,46 - € 0,61
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>	€ 0,002
• <b>Reinigung (ca. 16%)</b>	€ 0,20 - € 0,26
• <b>Reifen (ca. 3%)</b>	€ 0,04 - € 0,05
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 28%)</b>	€ 0,36 - € 0,47
	x
• <b>Jährlich gefahrene Kilometer (2017)</b>	9.000.000
	<b>€ 13.437.900</b>
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 13.437.900</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.718.950</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 96,04 - € 125,72</b>

**Jährliche Ausgaben vollautomatisierten Elektrobus-Betrieb**

• <b>Abschreibung</b>	<b>€ 10.476.000</b>
• <b>Kfz-Versicherung</b>	<b>€ 157.950</b>
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	<b>€ 1.372.900</b>
• <b>Ladeinfrastruktur</b>	<b>€ 713.333</b>
• <b>Werkstattausrüstung</b>	<b>€ 31.050</b>
• <b>Variable Kosten</b>	<b>€ 6.718.950</b>
	<b>€ 19.470.183</b>
<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 19.470.183</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 282,47 - € 361,46</b>
<b>Kosten/Buskilometer Busgattungsabhängig</b>	<b>€ 1,86 - € 2,75</b>

# **Anhang 7**

## **Kostenvergleich konventioneller und vollautomatisierter Busbetrieb**

### Vergleich konventioneller vs. automatisierter Betrieb

Kostenpunkt	Konventioneller Busbetrieb		Automatisierter Busbetrieb		Autom. Busbetrieb Preisanpassung	
	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk
Abschreibung	€ 82,19	€ 109,59	€ 246,58	€ 328,77	€ 147,95	€ 197,26
Kfz-Versicherungskosten	€ 8,22		€ 2,67		€ 2,67	
Buslenkergehälter	€ 206,32		-		-	
Kfz-Technikergehälter	€ 23,22		€ 23,22		€ 23,22	
Ladeinfrastruktur	-		€ 12,06		€ 12,06	
Werkstattausrüstung	-		€ 0,53		€ 0,53	
Variable Kosten	€ 98,94	€ 129,38	€ 96,04	€ 125,72	€ 96,04	€ 125,72
• Treibstoff	€ 33,64	€ 43,99	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06
• Instandhalt. Fahrzeuge	€ 27,70	€ 36,23	€ 35,48	€ 46,45	€ 35,48	€ 46,45
• Instandhalt. Ladeinfrastruk.	-		€ 0,15		€ 0,15	
• Reinigung Fahrzeuge	€ 9,89	€ 12,94	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06
• Reifen	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88
• Reparaturen u. Abstellung	€ 24,74	€ 32,35	€ 26,80	€ 35,12	€ 26,80	€ 35,12
Kosten/Bus u. Tag	€ 418,89	€ 476,74	€ 381,10	€ 492,97	€ 282,47	€ 361,46
Kosten/Bus u. Tag (Busmix HGL)	€ 453,17		€ 447,39		€ 329,28	
Kosten/Buskilometer	€ 2,75	€ 3,13	€ 2,50	€ 3,24	€ 1,86	€ 2,75
Kosten/Bus-km. (Busmix HGL)	€ 2,97		€ 2,94		€ 2,39	
Unterschied in % (Basis konv. Busbetrieb)	0,0%		1,3%		27,3%	

Anmerkung:			
• Kostenaufstellung in % (Busmix HGL)			
Kostenpunkt	Konventioneller Betrieb	Automatisierter Betrieb	Autom. Betrieb Preisanpassung
Abschreibung	21,7%	66,0%	53,8%
Kfz-Versicherungskosten	1,8%	0,6%	0,8%
Buslenkergehälter	45,5%	-	-
Kfz-Technikergehälter	5,1%	5,2%	7,1%
Ladeinfrastruktur	-	2,7%	3,7%
Werkstattausrüstung	-	0,1%	0,2%
Variable Kosten	25,8%	25,4%	34,5%
• Treibstoff	8,7%	4,0%	5,5%
• Instandhalt. Fahrzeuge	7,2%	9,3%	12,7%
• Instandhalt. Ladeinfrastruk.	-	< 0,1%	< 0,1%
• Reinigung Fahrzeuge	2,6%	4,0%	5,5%
• Reifen	0,8%	0,8%	1,0%
• Reparaturen u. Abstellung	6,5%	7,2%	9,8%
SUMME [%]	100,0%	100,0%	100,0%

# **Anhang 8**

## **Sensitivitätsanalyse der Kostenparameter vom konventionellen und vollautomatisierten Busbetrieb**

<b>Sensitivitätsanalyse</b>			
<b>Anmerkungen:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfluss einer 10 %-igen Änderung der Kostenparameter auf die Kosten/Bus u. Tag</li> <li>Obere Zahl: absolute Änderung in €/Bus u. T</li> <li>untere Zahl: relative Änderung in %</li> </ul>			
<b>Kostenparameter</b>		<b>Busgattung</b>	
		<b>Standardbus</b>	<b>Gelenkbus</b>
<b>Abschreibung</b>	konventionel	€ 8,22	€ 10,96
		2,0%	2,3%
	automatisiert	€ 24,65	€ 32,87
		6,5%	6,7%
<b>Kfz-Versicherungskosten</b>	konventionel	€ 0,82	
		0,2%	0,2%
	automatisiert	€ 0,27	
		0,1%	0,1%
<b>Buslenkergehälter</b>	konventionel	€ 20,63	
		4,9%	4,3%
	automatisiert	-	-
		-	-
<b>Kfz-Technikergehälter</b>	konventionel	€ 2,33	
		0,6%	0,5%
	automatisiert	€ 2,33	
		0,6	0,5
<b>Ladestation</b>	konventionel	-	-
		-	-
	automatisiert	€ 1,02	
		0,3%	0,2%
<b>Anschluss Ladestation</b>	konventionel	-	-
		-	-
	automatisiert	€ 0,20	
		0,1%	< 0,1%
<b>Werkstattausrüstung</b>	konventionel	-	-
		-	-
	automatisiert	< € 0,10	
		< 0,1%	< 0,1%
<b>Treibstoffkosten</b>	konventionel	€ 3,34	€ 4,33
		0,8%	0,9%
	automatisiert	€ 1,53	€ 1,98
		0,4%	0,4%
<b>Instandhaltung Fahrzeuge</b>	konventionel	€ 2,73	€ 3,65
		0,7%	0,8%
	automatisiert	€ 3,50	€ 4,65
		0,9%	0,9%
<b>Instandhaltung Ladeinfra.</b>	konventionel	-	-
		-	-
	automatisiert	< € 0,10	
		< 0,1%	< 0,1%

Kostenparameter		Busgattung	
		Standardbus	Gelenkbus
Reinigung	konventionel	€ 0,98	€ 1,29
		0,2%	0,3%
	automatisiert	€ 1,53	€ 1,98
		0,4%	0,4%
Reifen	konventionel	€ 0,30	€ 0,38
		0,1%	0,1%
	automatisiert	€ 0,31	€ 0,38
		0,1%	0,1%
Reparaturen u. Abstellung	konventionel	€ 2,51	€ 3,27
		0,6%	0,7%
	automatisiert	€ 2,74	€ 3,58
		0,7%	0,7%



**Anhang 9**  
**Kostenrechnung Betrieb von ausschließlich**  
**Navya Arma DL4-Kleinbussen in Graz**

**Szenario 1:**

- Ausgereifte Technik (gleiche durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)
- Miete des Navya Arma DL4 € 9.500/Monat [InsideEvs, 2017]
- Alle autonomen Minibusse täglich im Einsatz bzw. keine geparkten Minibusse vorhanden
- Mindestbelegungsgrad von 80% durch Anpassung von Angebot und Nachfrage
- On Demand-Service mit Routenoptimierung

**Fixe Kosten**

**Mietkosten**

**Annahmen:**

- **Mietkosten** € 9.500/Monat für 48 Monate (inkl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
- ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
- Benötigte **Fahrzeuganzahl:**
  - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
  - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
  - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
  - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
  - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.)

Busgattung	Anzahl	Monatliche Miete	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Mietkosten
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	163	€ 6.650	10	<b>€ 13.007.400</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>				<b>€ 218,63</b>

**Kfz-Technikergehälter**

- Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter 17
- x
- Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018] € 27.458

<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 466.786</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 7,85</b>

<b>Zusätzliche Ladeausrüstung</b>	
<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vollladung</b></li> <li>• <b>0,5 Ladegerät/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladenzeit/Kleinbus 4 Stunden [Navya, 2018])</li> <li>• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al., 2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	82
	x
• <b>Jahreskosten pro Ladestation</b>	(€ 20.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten pro Anschluss</b>	€ 10.000/14 Jahre)
	<b>€ 139.714</b>
	<b>€ 2,35</b>

<b>Zusätzliche Werkstattausrüstung</b>	
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dacharbeitsstand inkl. Krananlage</b> € 165.000</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre</li> <li>• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 57.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)</li> <li>• <b>Schulungskosten</b> ca. € 5.000 (Annahme: 17 Mechaniker)</li> <li>• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre</li> </ul>	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 165.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 57.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 5.000/5 Jahre)
	<b>€ 20.650</b>
	<b>€ 0,35</b>

**Variable Kosten**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Wartungskosten</b> fallen weg (siehe <b>Mietkosten</b>)</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei autom. Betrieb</li> <li>• <b>Grundlage:</b> Kleinbus in Bösch et al. [2018]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variablen Kosten/Buskm</b></li> <li>• <b>Treibstoff (ca. 23%)</b></li> <li>• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b></li> <li>• <b>Reinigung (ca. 20%)</b></li> <li>• <b>Reifen (ca. 6%)</b></li> <li>• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 51%)</b></li> </ul>	<p>€ 0,35</p> <p>€ 0,08</p> <p>€ 0,001</p> <p>€ 0,07</p> <p>€ 0,02</p> <p>€ 0,18</p> <p>x</p>
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>	8.500.000
	<b>Kosten/Jahr (ohne Subventionen)</b>
	<b>€ 2.962.165</b>
	<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>
	<b>€ 1.481.083</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 24,89</b>

**Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Busbetrieb**

• <b>Mietkosten</b>	€ 13.007.400
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	€ 466.786
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>	€ 139.714
• <b>Werkstattausrüstung</b>	€ 20.650
• <b>Variable Kosten</b>	€ 1.481.083
	<b>Jahresausgaben</b>
	<b>€ 15.115.633</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 254,07</b>
	<b>Kosten/Buskilometer</b>
	<b>€ 1,78</b>

<b>Jahresdifferenz</b>	
Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb	€ 26.795.400
Jahresausgaben vollautomatisierten Busbetrieb	€ 15.115.633
	<b>Jahresdifferenz</b>
	<b>€ 11.679.767</b>
	<b>Jahresdifferenz</b>
	<b>43,6%</b>

**Szenario 2:**

- Heutiger Stand der Technik (niedrigere durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)
- Miete des Navya Arma DL4 € 9.500/Monat [InsideEvs, 2017]
- 30% der autonomen Minibusse geparkt für mögliche Ausfälle oder Einsatz in Hauptverkehrszeiten
- Mindestbelegungsgrad von 40%
- Fahrplanbetrieb mit fixen, vordefinierten Routen

**Fixe Kosten****Mietkosten****Annahmen:**

- **Mietkosten** € 9.500/Monat für 48 Monate (inkl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
- ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
- Benötigte **Fahrzeuganzahl**:
  - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
  - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
  - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
  - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
  - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.)
  - Zus. 30% autom. Minibusse geparkt für Einsätze in Hauptverkehrszeiten oder bei Busausfällen
  - Zus. 50% autom. Minibusse wegen niedrigerer Reisegeschwindigkeit als von konventionellen Bussen

Busgattung	Anzahl	Monatliche Miete	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Mietkosten
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	635	€ 6.650	10	<b>€ 50.673.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 218,63</b>

**Kfz-Technikergehälter**

- Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter 64
- Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018] x € 27.458

<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 1.757.312</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 7,58</b>

<b>Zusätzliche Ladeausrüstung</b>	
<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vollladung</b></li> <li>• <b>0,5 Ladegerät/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladenzeit/Kleinbus 4 Stunden [Navya, 2018])</li> <li>• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al.,2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al.,2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al.,2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	318
	x
• <b>Jahreskosten pro Ladestation</b>	(€ 20.000/20 Jahre
	+
• <b>Jahreskosten pro Anschluss</b>	€ 10.000/14 Jahre)
	<b>€ 544.286</b>
	<b>€ 2,35</b>

<b>Zusätzliche Werkstattausrüstung</b>	
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2 Dacharbeitsstände inkl. Krananlage</b> € 330.000</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre</li> <li>• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 225.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)</li> <li>• <b>Schulungskosten</b> ca. € 19.000 (Annahme: 64 Mechaniker)</li> <li>• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre</li> </ul>	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 330.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 225.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 19.000/5 Jahre)
	<b>€ 65.300</b>
	<b>€ 0,28</b>

### Variable Kosten

#### Annahmen:

- **Treibstoffkosten** durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]
- **Treibstoffkosten** durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]
- **Wartungskosten** fallen weg (siehe **Mietkosten**)
- Zusätzliche **Wartungskosten der Ladeinfrastruktur** von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]
- 50% höhere **Reinigungskosten** bei autom. Betrieb
- **Grundlage:** Kleinbus in Bösch et al. [2018]

• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>		€ 0,35
• <b>Treibstoff (ca. 23%)</b>		€ 0,08
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>		€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 20%)</b>		€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 6%)</b>		€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 51%)</b>		€ 0,18
		x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>		35.500.000
	<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 12.371.395</b>
	<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 6.185.698</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 26,69</b>

### Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Busbetrieb

• <b>Mietkosten</b>		€ 50.673.000
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>		€ 1.757.312
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>		€ 544.286
• <b>Werkstattausrüstung</b>		€ 65.300
• <b>Variable Kosten</b>		€ 6.185.698
	<b>Jahresausgaben</b>	<b>€ 59.225.595</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 255,53</b>
	<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 1,67</b>

#### Jahresdifferenz

Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb		€ 26.795.400
Jahresausgaben vollautomatisierten Busbetrieb		€ 59.225.595
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 32.430.195</b>
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>121,0%</b>

- Szenario 3:**
- Ausgereifte Technik (gleiche durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)
  - Miete des NAVya Arma DL4 € 9.500/Monat [InsideEvs, 2017]
  - 30% der autonomen Minibusse geparkt für mögliche Ausfälle oder Einsatz in Hauptverkehrszeiten
  - Mindestbelegungsgrad von 60%
  - On Demand-Service wo dieser möglich und sinnvoll ist inkl. Routenoptimierung

**Fixe Kosten**

- Mietkosten**
- Annahmen:**
- **Mietkosten** € 9.500/Monat für 48 Monate (inkl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
  - ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
  - Benötigte **Fahrzeuganzahl:**
    - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
    - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
    - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
    - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
    - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.)
    - Zus. 30% autom. Minibusse geparkt für Einsätze in Hauptverkehrszeiten oder bei Busausfällen

Busgattung	Anzahl	Monatliche Miete	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Mietkosten
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	282	€ 6.650	10	<b>€ 22.503.600</b>
			Kosten/Bus u. Tag	<b>€ 218,63</b>

Kfz-Technikergehälter	
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	29
	x
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458
	<b>Kosten/Jahr € 796.282</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag € 7,74</b>

<b>Zusätzliche Ladeausrüstung</b>	
<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vollladung</b></li> <li>• <b>0,5 Ladegerät/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladenzeit/Kleinbus 4 Stunden [Navya, 2018])</li> <li>• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al., 2017]</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al., 2017]</li> </ul>	
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	141
	x
• <b>Jahreskosten pro Ladestation</b>	(€ 20.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten pro Anschluss</b>	(€ 10.000/14 Jahre)
	<b>€ 241.714</b>
	<b>€ 2,35</b>

<b>Zusätzliche Werkstattausrüstung</b>	
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dacharbeitsstand inkl. Krananlage</b> € 165.000</li> <li>• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre</li> <li>• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 100.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)</li> <li>• <b>Schulungskosten</b> ca. € 8.000 (Annahme: 29 Mechaniker)</li> <li>• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre</li> </ul>	
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 165.000/20 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 100.000/5 Jahre)
	+
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 8.000/5 Jahre)
	<b>€ 29.850</b>
	<b>€ 0,29</b>

### Variable Kosten

Annahmen:	
• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]	
• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]	
• <b>Wartungskosten</b> fallen weg (siehe <b>Mietkosten</b> )	
• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]	
• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei autom. Betrieb	
• <b>Grundlage:</b> Kleinbus in Bösch et al. [2018]	
• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>	€ 0,35
• <b>Treibstoff (ca. 23%)</b>	€ 0,08
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>	€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 20%)</b>	€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 6%)</b>	€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 51%)</b>	€ 0,18
	x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>	15.000.000
	<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>
	<b>€ 5.227.350</b>
	<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>
	<b>€ 2.613.675</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 25,39</b>

### Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Busbetrieb

• <b>Mietkosten</b>	€ 22.503.600
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	€ 796.282
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>	€ 241.714
• <b>Werkstattausrüstung</b>	€ 29.850
• <b>Variable Kosten</b>	€ 2.613.675
	<b>Jährliche Ausgaben</b>
	<b>€ 26.185.121</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 254,40</b>
	<b>Kosten/Buskilometer</b>
	<b>€ 1,75</b>

Jahresdifferenz	
<b>Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb</b>	€ 26.795.400
<b>Jahresausgaben vollautomatisierter Busbetrieb</b>	€ 26.185.121
	<b>Jahresdifferenz</b>
	<b>€ 610.279</b>
	<b>Jahresdifferenz</b>
	<b>2,3%</b>

**Szenario 4:**

- Ausgereifte Technik (gleiche durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)
- Kauf des Navya Arma DL4, Preis: ca. € 200.000/Fahrzeug [LOK Report, 2017]
- Alle autonomen Minibusse täglich im Einsatz bzw. keine geparkten Minibusse vorhanden
- Mindestbesetzungsgrad von 80% durch Anpassung von Angebot und Nachfrage
- On Demand-Service mit Routenoptimierung

**Fixe Kosten****Abschreibung****Annahmen:**

- **Anschaffungspreis** € 200.000 (excl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
- ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
- Benötigte **Fahrzeuganzahl**:
  - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
  - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
  - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
  - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
  - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.)
- **Lineare** Abschreibung ohne **Restwert**

Busgattung	Anzahl	Kaufpreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	163	€ 140.000	10	<b>€ 2.282.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 38,36</b>

**Kfz-Versicherungskosten****Annahme:**

- **Kasko-Versicherung** eines Kleinbusses ca. € 2000/Jahr in Österreich [Durchblicker, 2018]
- Durch **Flottenversicherung** Einsparungen von bis zu 20% angenommen
- Bis 35% niedrigere **Versicherungskosten** durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]
- 50% niedrigere **Versicherungskosten** durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]

• <b>Busanzahl</b>	163
	x
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 520
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 84.760</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 1,42</b>

<b>Kfz-Technikergehälter</b>		
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	50	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
		<b>€ 1.372.900</b>
	<b>Kosten/Jahr</b>	
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 23,08</b>

<b>Zusätzliche Ladeausrüstung</b>		
<b>Annahmen:</b>		
• <b>Vollladung</b>		
• 0,5 <b>Ladegeräte/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladezeit/Kleinbus 4 Stunden) [Navya, 2018]		
• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al.,2017]		
• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al.,2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al.,2017]		
• Anzahl Ladestationen	82	
	x	
• Jahreskosten pro Ladestation	(€ 20.000/20 Jahre	
	+	
• Jahreskosten pro Anschluss	€ 10.000/14 Jahre)	
		<b>€ 139.714</b>
	<b>Kosten/Jahr</b>	
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 2,35</b>

<b>Zusätzliche Werkstattausrüstung</b>		
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>		
• <b>Dacharbeitsstand</b> inkl. Krananlage € 165.000		
• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre		
• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 115.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)		
• <b>Schulungskosten</b> ca. € 14.000 (Annahme: 50 Mechaniker)		
• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre		
• Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage	(€ 165.000/20 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung	(€ 115.000/5 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten für Mechanikerschulungen	(€ 14.000/5 Jahre)	
		<b>€ 34.050</b>
	<b>Kosten/Jahr</b>	
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 0,57</b>

### Variable Kosten

#### Annahmen:

- **Treibstoffkosten** durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]
- **Treibstoffkosten** durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]
- **Instandhaltungskosten** für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]
- Zusätzliche **Wartungskosten der Ladeinfrastruktur** von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]
- 50% höhere **Reinigungskosten** bei autom. Betrieb
- **Grundlage:** Minibus in Bösch et al. [2018]

• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>		€ 0,49
• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b>		€ 0,08
• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 29%)</b>		€ 0,14
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>		€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 14%)</b>		€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 4%)</b>		€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 37%)</b>		€ 0,18
	x	
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>		8.500.000
	<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 4.173.500</b>
	<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 2.086.750</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 35,07</b>

### Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Betrieb

• <b>Abschreibung</b>		€ 2.282.000
• <b>Kfz-Versicherung</b>		€ 84.760
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>		€ 1.372.900
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>		€ 139.714
• <b>Werkstattausrüstung</b>		€ 34.050
• <b>Variable Kosten</b>		€ 2.086.750
	<b>Jährliche Ausgaben</b>	<b>€ 6.000.174</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 100,85</b>
	<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 0,71</b>

#### Jahresdifferenz

Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb		€ 26.795.400
Jahresausgaben vollautomatisierter Busbetrieb		€ 6.000.174
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 20.795.226</b>
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>77,6%</b>

**Szenario 5:**

- **Heutiger Stand der Technik (niedrigere durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)**
- **Kauf des NAVYA Arma DL4, Preis: ca. € 200.000/Fahrzeug [LOK Report, 2017]**
- **30% der autonomen Minibusse geparkt für mögliche Ausfälle oder Einsatz in Hauptverkehrszeiten**
- **Mindestbesetzungsgrad von 40%**
- **Fahrplanbetrieb mit fixen, vordefinierten Routen**

**Fixe Kosten**

**Abschreibung**

**Annahmen:**

- **Anschaffungspreis € 200.000** (excl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
- ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
- **Benötigte Fahrzeuganzahl:**
  - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
  - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
  - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
  - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
  - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.))
  - Zus. 30% autom. Minibusse geparkt für Einsätze in Hauptverkehrszeiten oder bei Busausfällen
  - Zus. 50% autom. Minibusse wegen niedrigerer Reisegeschwindigkeit als von konventionellen Bussen
- **Lineare Abschreibung ohne Restwert**

Busgattung	Anzahl	Kaufpreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
Navya Arma DL 4	635	€ 140.000	10	<b>€ 8.890.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 38,36</b>

**Kfz-Versicherungskosten**

**Annahme:**

- **Kasko-Versicherung** eines Kleinbusses ca. € 2000/Jahr in Österreich [Durchblicker, 2018]
- Durch **Flottenversicherung** Einsparungen von bis zu 20% angenommen
- Bis 35% niedrigere **Versicherungskosten** durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]
- 50% niedrigere **Versicherungskosten** durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]

<b>Busanzahl</b>	635
	x
<b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 520
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 330.200</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 1,42</b>

<b>Kfz-Technikergehälter</b>		
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	190	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
		<b>€ 5.217.020</b>
		<b>€ 22,51</b>

<b>Zusätzliche Ladeausrüstung</b>		
<b>Annahmen:</b>		
• <b>Vollladung</b>		
• 0,5 <b>Ladegeräte/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladezeit/Kleinbus 4 Stunden) [Navya, 2018]		
• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al.,2017]		
• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al.,2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al.,2017]		
• Anzahl Ladestationen	318	
	x	
• Jahreskosten pro Ladestation	(€ 20.000/20 Jahre	
	+	
• Jahreskosten pro Anschluss	€ 10.000/14 Jahre)	
		<b>€ 544.286</b>
		<b>€ 2,35</b>

<b>Zusätzliche Werkstattausrüstung</b>		
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>		
• <b>3 Dacharbeitsstände inkl. Krananlage</b> € 495.000		
• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre		
• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 445.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)		
• <b>Schulungskosten</b> ca. € 54.000 (Annahme.: 190 Mechaniker)		
• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre		
• Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage	(€ 495.000/20 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung	(€ 445.000/5 Jahre)	
	+	
• Jahreskosten für Mechanikerschulungen	(€ 54.000/5 Jahre)	
		<b>€ 124.550</b>
		<b>€ 0,54</b>

**Variable Kosten**

<b>Annahmen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Instandhaltungskosten</b> für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei autom. Betrieb</li> <li>• <b>Grundlage:</b> Minibus in Bösch et al. [2018]</li> </ul>	
• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>	€ 0,49
• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b>	€ 0,08
• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 29%)</b>	€ 0,14
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>	€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 14%)</b>	€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 4%)</b>	€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 37%)</b>	€ 0,18
	x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>	35.500.000
<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 17.430.500</b>
<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 8.715.250</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 37,60</b>

**Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Betrieb**

• <b>Abschreibung</b>	€ 8.890.000
• <b>Kfz-Versicherung</b>	€ 330.200
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>	€ 5.217.020
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>	€ 544.286
• <b>Werkstattausrüstung</b>	€ 124.550
• <b>Variable Kosten</b>	€ 8.715.250
<b>Jährliche Ausgaben</b>	<b>€ 23.821.306</b>
<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 102,78</b>
<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 0,67</b>

<b>Jahresdifferenz</b>	
<b>Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb</b>	€ 26.795.400
<b>Jahresausgaben vollautomatisierter Busbetrieb</b>	€ 23.821.306
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 2.974.094</b>
<b>Jahresdifferenz</b>	<b>11,1%</b>

**Szenario 6:**

- **Ausgereifte Technik** (gleiche durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit)
- **Kauf des Navya Arma DL4**, Preis: ca. € 200.000/Fahrzeug [LOK Report, 2017]
- **30% der autonomen Minibusse geparkt** für mögliche Ausfälle oder Einsatz in Hauptverkehrszeiten
- **Mindestbesetzungsgrad von 60%**
- **On Demand-Service wo dieser möglich und sinnvoll ist inkl. Routenoptimierung**

**Fixe Kosten****Abschreibung****Annahmen:**

- **Anschaffungspreis** € 200.000 (excl. Wartungskosten, 24 Stunden-Überwachung und Kfz-Versicherung)
- ca. 30% **Nachlass** bei Bestellung mehrerer Fahrzeuge
- Benötigte **Fahrzeuganzahl**:
  - 14.082 Sitze (alle konv. Busse) \*
  - Annahme: 70% der konv. Busse im Einsatz \*
  - Durch. Belegungsgrad von 15,8% /
  - Belegungsgrad autom. Minibusses aus Szenario \*
  - Zus. 25% autom. Minibusse (zu kleine Batterie für Ganztagsverkehr (Arma DL4 8h Betriebszeit, Betriebszeit HGL: 12h/Bus u. T.)
  - Zus. 30% autom. Minibusse geparkt für Einsätze in Hauptverkehrszeiten oder bei Busausfällen
- **Lineare** Abschreibung ohne **Restwert**

Busgattung	Anzahl	Kaufpreis	Buchhalterische Abschreibung [Jahre]	Jährliche Abschreibung
	a	b	c	(a*b)/c
<b>Navya Arma DL 4</b>	282	€ 140.000	10	<b>€ 3.948.000</b>
			<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 38,36</b>

**Kfz-Versicherungskosten****Annahme:**

- **Kasko-Versicherung** eines Kleinbusses ca. € 2000/Jahr in Österreich [Durchblicker, 2018]
- Durch **Flottenversicherung** Einsparungen von bis zu 20% angenommen
- Bis 35% niedrigere **Versicherungskosten** durch elektrischen Antrieb [Comparis AG, 2016]
- 50% niedrigere **Versicherungskosten** durch sicheres Fahren automatisierter Busse [Stephens et al., 2016]

• <b>Busanzahl</b>	282
	x
• <b>Durchschnittliche jährliche Versicherungskosten/automatisierten Bus</b>	€ 520
	<b>Kosten/Jahr</b>
	<b>€ 146.640</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>
	<b>€ 1,42</b>

Kfz-Technikergehälter		
• Geschätzte Anzahl Werkstattmitarbeiter	85	
	x	
• Jahresbruttogehalt/Kfz-Techniker in Österreich [Lohnanalyse, 2018]	€ 27.458	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 2.333.930</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 22,67</b>

Zusätzliche Ladeausrüstung		
<b>Annahmen:</b>		
• <b>Vollladung</b>		
• 0,5 <b>Ladegeräte/Kleinbus</b> (7,2 kW Anschluss = Ladezeit/Kleinbus 4 Stunden) [Navya, 2018]		
• <b>Ladegerät</b> ca. € 20.000 [Knote et al., 2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Ladegerät 20 Jahre [Knote et al.,2017]		
• <b>Anschlusskosten</b> ca. € 10.000 [Knote et al.,2017]		
• <b>Nutzungsdauer</b> Anschluss 14 Jahre [Knote et al.,2017]		
• <b>Anzahl Ladestationen</b>	141	
	x	
• <b>Jahreskosten pro Ladestation</b>	(€ 20.000/20 Jahre	
	+	
• <b>Jahreskosten pro Anschluss</b>	€ 10.000/14 Jahre)	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 241.714</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 2,35</b>

Zusätzliche Werkstattausrüstung		
<b>Annahmen [Knote et al., 2017]:</b>		
• <b>2 Dacharbeitsstände inkl. Krananlage</b> € 330.000		
• <b>Nutzungsdauer</b> Dacharbeitsstand 20 Jahre		
• <b>Spezialwerkzeug, Schutzausrüstung, Diagnosegeräte</b> ca. € 195.000 (Nutzungsdauer 5 Jahre)		
• <b>Schulungskosten</b> ca. € 23.000 (Ann.: 85 Mechaniker)		
• <b>Wiederholung der Schulung</b> alle 5 Jahre		
• <b>Jahreskosten Dacharbeitsstand u. Krananlage</b>	(€ 330.000/20 Jahre)	
	+	
• <b>Jahreskosten Spezialwerkzeug u. Schutzausrüstung</b>	(€ 195.000/5 Jahre)	
	+	
• <b>Jahreskosten für Mechanikerschulungen</b>	(€ 23.000/5 Jahre)	
	<b>Kosten/Jahr</b>	<b>€ 60.100</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 0,58</b>

<b>Variable Kosten</b>		
<b>Annahmen:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch Elektroantrieb um bis zu 50% niedriger als bei konventionellen Bussen [Bösch et al., 2018]</li> <li>• <b>Treibstoffkosten</b> durch effizientere Fahrt automat. Busse um bis zu 10% niedriger als bei konv. Bussen [Stephens et al., 2016]</li> <li>• <b>Instandhaltungskosten</b> für Elektrobusse um 28 % höher als bei konventionellen Bussen [IFA, 2012]</li> <li>• Zusätzliche <b>Wartungskosten der Ladeinfrastruktur</b> von 2% der Investitionskosten [Knote et al., 2017]</li> <li>• 50% höhere <b>Reinigungskosten</b> bei autom. Betrieb</li> <li>• <b>Grundlage:</b> Minibus in Bösch et al. [2018]</li> </ul>		
• <b>Variablen Kosten/Buskilometer</b>		€ 0,49
• <b>Treibstoff (ca. 16%)</b>		€ 0,08
• <b>Instandhaltung Fahrzeuge (ca. 29%)</b>		€ 0,14
• <b>Instandhaltung Ladeinfra. (&lt;0,01%)</b>		€ 0,001
• <b>Reinigung (ca. 14%)</b>		€ 0,07
• <b>Reifen (ca. 4%)</b>		€ 0,02
• <b>Reparaturen u. Abstellung (ca. 37%)</b>		€ 0,18
		x
• <b>Jährlich gefahrene Buskilometer</b>		15.000.000
	<b>Kosten/Jahr (o. Subv.)</b>	<b>€ 7.365.000</b>
	<b>Ann.: Subv. ca. 50%</b>	<b>€ 3.682.500</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 35,78</b>

<b>Jährliche Ausgaben im vollautomatisierten Betrieb</b>		
• <b>Abschreibung</b>		€ 3.948.000
• <b>Kfz-Versicherung</b>		€ 146.640
• <b>Kfz-Technikergehälter</b>		€ 2.333.930
• <b>Aufbau Ladeinfrastruktur</b>		€ 241.714
• <b>Werkstattausrüstung</b>		€ 60.100
• <b>Variable Kosten</b>		€ 3.682.500
	<b>Jährliche Ausgaben</b>	<b>€ 10.412.884</b>
	<b>Kosten/Bus u. Tag</b>	<b>€ 101,16</b>
	<b>Kosten/Buskilometer</b>	<b>€ 0,69</b>

<b>Jahresdifferenz</b>		
<b>Jahresausgaben konventioneller Busbetrieb</b>		€ 26.795.400
<b>Jahresausgaben vollautomatisierter Busbetrieb</b>		€ 10.412.884
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>€ 16.382.516</b>
	<b>Jahresdifferenz</b>	<b>61,1%</b>

Kosten	Bösch et al. [2018]		Beispiel Graz	
	Konventioneller Betrieb	Automatisierter Betrieb	Konventioneller Betrieb	Autom. Betrieb Szenarien 1-6
€/Buskilometer	k. A.	k. A.	€ 2,83	€ 0,67 - € 1,78
€/Sitzkilometer	€ 0,11	€ 0,05	€ 0,04	€ 0,05 - € 0,12
€/Fahrgastkilometer	€ 0,47	€ 0,21	€ 0,26	€ 0,06 - € 0,28

Friedrich und Hartl [2016]	€ 0,15
Stephens et al. [2016]	€ 0,13
Johnson und Walker [2016]	€ 0,16
Hazan et al. [2016]	€ 0,09

# **Anhang 10**

## **Vergleich Betriebsszenarien 1-6 mit Kosten des konventionellen und vollautomatisierten Busbetriebes**

Kostenpunkt	Konventioneller Busbetrieb		Automatisierter Busbetrieb		Autom. Busbetrieb		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk	Standard	Gelenk						
• Abschreibung	€ 82,19	€ 109,59	€ 246,58	€ 328,77	€ 147,95	€ 197,26	-	-	-	€ 38,36	€ 38,36	€ 38,36
• Mietkosten	-	-	-	-	-	-	€ 218,63	€ 218,63	€ 218,63	-	-	-
• Kfz-Versicherungskosten	€ 8,22	-	€ 2,67	-	€ 2,67	-	-	-	-	€ 1,42	€ 1,42	€ 1,42
• Buslenkergehälter	€ 206,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
• Kfz-Technikergehälter	€ 23,22	-	€ 23,22	-	€ 23,22	-	€ 7,85	€ 7,58	€ 7,74	€ 23,08	€ 22,51	€ 22,67
• Ladeinfrastruktur	-	-	€ 12,06	-	€ 12,06	-	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35	€ 2,35
• Werkstattausrüstung	-	-	€ 0,53	-	€ 0,53	-	€ 0,35	€ 0,28	€ 0,29	€ 0,57	€ 0,54	€ 0,58
• Variable Kosten (gemittelt)	€ 98,94	€ 129,38	€ 96,04	€ 125,72	€ 96,04	€ 125,72	€ 24,89	€ 26,69	€ 25,39	€ 35,07	€ 37,60	€ 35,78
• Treibstoff	€ 33,64	€ 43,99	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06	€ 5,71	€ 6,13	€ 5,83	€ 5,60	€ 6,01	€ 5,71
• Instandhaltung Fahrzeuge	€ 27,70	€ 36,23	€ 35,48	€ 46,45	€ 35,48	€ 46,45	-	-	-	€ 10,15	€ 10,88	€ 10,36
• Instandh. Ladeinfrastruk.	-	-	€ 0,15	-	€ 0,15	-	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07
• Reinigung Fahrzeuge	€ 9,89	€ 12,94	€ 15,32	€ 20,06	€ 15,32	€ 20,06	€ 4,97	€ 5,33	€ 5,07	€ 4,90	€ 5,25	€ 5,00
• Reifen	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 2,97	€ 3,88	€ 1,48	€ 1,59	€ 1,51	€ 1,39	€ 1,50	€ 1,42
• Reparaturen u. Abstellung	€ 24,74	€ 32,35	€ 26,80	€ 35,12	€ 26,80	€ 35,12	€ 12,67	€ 13,58	€ 12,91	€ 12,96	€ 13,89	€ 13,22
<b>Kosten/Bus u. Tag (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 453,17</b>		<b>€ 447,39</b>		<b>€ 329,28</b>		<b>€ 254,07</b>	<b>€ 255,53</b>	<b>€ 254,40</b>	<b>€ 100,85</b>	<b>€ 102,78</b>	<b>€ 101,16</b>
<b>Kosten/Bus-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 2,97</b>		<b>€ 2,94</b>		<b>€ 2,39</b>		<b>€ 1,78</b>	<b>€ 1,67</b>	<b>€ 1,75</b>	<b>€ 0,71</b>	<b>€ 0,67</b>	<b>€ 0,69</b>
<b>Kosten/Sitz-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 0,04</b>		<b>€ 0,04</b>		<b>€ 0,03</b>		<b>€ 0,12</b>	<b>€ 0,11</b>	<b>€ 0,12</b>	<b>€ 0,05</b>	<b>€ 0,05</b>	<b>€ 0,05</b>
<b>Kosten/Fahrgast-km. (Busmix HGL)*</b>	<b>€ 0,26</b>		<b>€ 0,26</b>		<b>€ 0,19</b>		<b>€ 0,15</b>	<b>€ 0,28</b>	<b>€ 0,19</b>	<b>€ 0,06</b>	<b>€ 0,11</b>	<b>€ 0,08</b>

\*Beim konventionellen und automatisierten Betrieb von Standard- und Gelenkbussen. Bezieht sich nicht auf Kosten aus den Szenarien 1-6, da hier ein Betrieb von ausschließlich Kleinbussen gegeben ist.

## **Anhang 11**

**Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert  
nach dem Geschlecht der Umfrageteilnehmer**

**TU Graz - St. Peter  
Schulzentrum**

**Karmeliterplatz -  
Karl-Franzens Univ.**

**Smart City -  
Reininghaus**

**1. Verraten Sie uns bitte Ihr Alter.**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
10 - 19	10,0%	15,6%	15,2%	10,5%	13,9%	12,5%
20 - 35	70,0%	59,4%	48,5%	55,3%	41,7%	40,6%
36 - 50	6,0%	12,5%	21,2%	18,4%	22,2%	21,9%
51 - 65	10,0%	9,4%	12,1%	7,9%	13,9%	18,7%
> 65	4,0%	3,1%	3,0%	7,9%	8,3%	6,2%

**2. Verraten Sie uns bitte Ihre höchste Schulausbildung.**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Pflichtschule	4,0%	6,3%	-	2,6%	5,6%	9,4%
Lehre/Berufsschule	4,0%	9,4%	6,1%	-	2,8%	6,2%
Ber.bildende mittl. Schule	4,0%	3,1%	3,0%	13,2%	13,9%	12,5%
Ber.bildende höhere Schule	28,0%	28,1%	45,5%	42,1%	30,6%	28,1%
Universität/Fachhochschule	60,0%	53,2%	45,5%	42,1%	47,3%	43,7%

**3. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, falls Sie in Graz wohnhaft sind.**

Gesamt	n = 77		n = 66		n = 57	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	45,5%	54,5%	50,9%	49,1%
PLZ 8010	72,3%	73,3%	73,3%	50,0%	10,3%	3,6%
PLZ 8020	14,9%	3,3%	16,7%	27,8%	86,2%	89,3%
PLZ 8036	-	-	-	-	-	-
PLZ 8041	2,1%	10,0%	6,7%	5,6%	-	-
PLZ 8042	2,1%	10,0%	-	11,1%	3,4%	-
PLZ 8043	2,1%	-	-	-	-	3,6%
PLZ 8044	-	-	-	-	-	-
PLZ 8045	-	-	-	-	-	-
PLZ 8046	-	-	-	-	-	-
PLZ 8047	2,1%	3,3%	-	-	-	-
PLZ 8051	-	-	-	-	-	-
PLZ 8052	2,1%	-	3,3%	2,8%	-	-
PLZ 8053	-	-	-	2,8%	-	3,6%
PLZ 8054	-	-	-	-	-	-
PLZ 8055	2,1%	-	-	-	-	-
PLZ 8073	-	-	-	-	-	-
PLZ 8074	-	-	-	-	-	-

TU Graz - St. Peter  
SchulzentrumKarmeliterplatz -  
Karl-Franzens Univ.Smart City -  
Reininghaus

**4. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, wenn sie nicht in Graz wohnhaft sind aber in Graz arbeiten, studieren oder zur Schule gehen.**

Gesamt	n = 5		n = 5		n = 11	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	60,0%	40,0%	60,0%	40,0%	63,6%	36,4%
PLZ 8010	66,7%	100,0%	66,7%	50,0%	71,4%	75,0%
PLZ 8020	33,3%	-	-	-	28,6%	25,0%
PLZ 8036	-	-	-	-	-	-
PLZ 8041	-	-	-	-	-	-
PLZ 8042	-	-	33,3%	50,0%	-	-
PLZ 8043	-	-	-	-	-	-
PLZ 8044	-	-	-	-	-	-
PLZ 8045	-	-	-	-	-	-
PLZ 8046	-	-	-	-	-	-
PLZ 8047	-	-	-	-	-	-
PLZ 8051	-	-	-	-	-	-
PLZ 8052	-	-	-	-	-	-
PLZ 8053	-	-	-	-	-	-
PLZ 8054	-	-	-	-	-	-
PLZ 8055	-	-	-	-	-	-
PLZ 8073	-	-	-	-	-	-
PLZ 8074	-	-	-	-	-	-

**5. Wie oft nutzen Sie den ÖV in Graz?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
mind. 1/Tag	28,0%	25,0%	18,2%	28,9%	19,4%	15,6%
mind. 1/Woche	26,0%	15,6%	36,4%	44,7%	38,9%	50,0%
mind. 1/Monat	26,0%	31,3%	18,2%	13,2%	22,2%	12,5%
weniger1/Monat	20,0%	28,1%	27,3%	13,2%	19,4%	21,9%

**6. Haben Sie schon einmal von automatisierten Fahrzeugen gehört?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Ja	96,0%	87,5%	90,9%	71,1%	94,4%	81,3%
Nein	2,0%	12,5%	6,1%	21,1%	5,6%	18,8%
Bin mir nicht sicher	2,0%	-	3,0%	7,9%	-	-

TU Graz - St. Peter  
SchulzentrumKarmeliterplatz -  
Karl-Franzens Univ.Smart City -  
Reininghaus**7. Haben Sie das gezeigte Video (Video im Umfragebogen) schon einmal gesehen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Ja	8,0%	-	6,1%	2,6%	13,9%	6,3%
Nein	88,0%	100,0%	90,9%	94,7%	86,1%	93,8%
Bin mir nicht sicher	4,0%	0,0%	3,0%	2,6%	-	-

**8. Wie ist Ihre allgemeine Meinung über automatisierte Fahrzeuge?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Positiv	34,0%	12,5%	15,2%	15,8%	30,6%	12,5%
Eher positiv	38,0%	31,3%	54,5%	52,6%	41,7%	65,6%
Neutral	20,0%	28,1%	21,2%	26,3%	27,8%	18,8%
Eher negativ	4,0%	25,0%	6,1%	5,3%	-	3,1%
Negativ	4,0%	3,1%	3,0%	0,0%	-	-

**9. Welchen Preis wären Sie bereit für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus, im Vergleich zu den jetzigen Preisen in Graz, zu zahlen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Mehr	2,0%	-	6,1%	5,3%	13,9%	9,4%
Gleich viel	72,0%	71,9%	63,6%	68,4%	72,2%	65,6%
Weniger	26,0%	28,1%	30,3%	26,3%	13,9%	25,0%

**10. Wie attraktiv ist die gezeigte Strecke für Ihre alltäglichen Beschäftigungen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Attraktiv	28,0%	18,8%	9,1%	23,7%	13,9%	3,1%
Eher attraktiv	40,0%	53,1%	42,4%	57,9%	33,3%	43,8%
Neutral	22,0%	21,9%	42,4%	15,8%	44,4%	50,0%
Eher unattraktiv	8,0%	3,1%	3,0%	2,6%	5,6%	-
Unattraktiv	2,0%	3,1%	3,0%	-	2,8%	3,1%

TU Graz - St. Peter  
SchulzentrumKarmeliterplatz -  
Karl-Franzens Univ.Smart City -  
Reininghaus

**11. Bei welcher maximalen Reisegeschwindigkeit würden Sie sich bei einer Fahrt mit einem automatisierten Bus noch wohl fühlen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Unter 10 km/h	6,0%	6,3%	3,0%	7,9%	5,6%	5,3%
Unter 30 km/h	44,0%	50,0%	63,6%	52,6%	36,1%	55,3%
Unter 50 km/h	46,0%	37,5%	30,3%	31,6%	52,8%	21,1%
Über 50 km/h	4,0%	6,3%	3,0%	7,9%	5,6%	2,6%

**12. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem männlichen Person wohl fühlen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Ja	58,0%	18,8%	78,8%	36,8%	66,7%	34,4%
Nein	6,0%	40,6%	12,1%	34,2%	16,7%	50,0%
Bin mir nicht sicher	36,0%	40,6%	9,1%	28,9%	16,7%	15,6%

**13. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?**

Gesamt	n = 47		n = 31		n = 33	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	44,7%	55,3%	22,6%	77,4%	36,4%	36,4%
Kamera	38,1%	30,8%	28,6%	45,8%	66,7%	38,1%
Panikknopf	-	19,2%	14,3%	8,3%	-	14,3%
Notbremse	4,8%	3,8%	-	4,2%	-	-
Begleitung	19,0%	26,9%	14,3%	12,5%	8,3%	28,6%
Alle Möglich. gleich gut	38,1%	19,2%	42,9%	29,2%	25,0%	19,0%

**14. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem weiblichen Person wohl fühlen?**

Gesamt	n = 82		n = 71		n = 68	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	61,0%	39,0%	46,5%	53,5%	52,9%	47,1%
Ja	74,0%	50,0%	87,9%	63,2%	80,6%	50,0%
Nein	4,0%	18,8%	6,1%	15,8%	11,1%	31,3%
Bin mir nicht sicher	22,0%	31,3%	6,1%	21,1%	8,3%	18,8%

TU Graz - St. Peter  
Schulzentrum

Karmeliterplatz -  
Karl-Franzens Univ.

Smart City -  
Reininghaus

**15. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?**

Gesamt	n = 29		n = 18		n = 23	
	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	Weiblich
100,0%	44,8%	55,2%	22,2%	77,8%	30,4%	69,6%
Kamera	61,5%	37,5%	50,0%	50,0%	42,9%	43,8%
Panikknopf	7,7%	12,5%	-	7,1%	-	12,5%
Notbremse	-	6,3%	-	7,1%	-	-
Begleitung	-	18,8%	25,0%	14,3%	14,3%	18,8%
Alle Möglich. gleich gut	30,8%	25,0%	25,0%	21,4%	42,9%	25,0%

**Anhang 12**  
**Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert**  
**nach dem Alter der Umfrageteilnehmer**

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
<b>1. Verraten Sie uns bitte Ihre höchste Schulausbildung.</b>															
	<b>n = 82</b>														
<b>Gesamt</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>
100,0%	12,2%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
Pflichtschule	40,0%	-	-	-	-	11,1%	-	-	-	-	44,4%	3,6%	-	-	-
Lehre/Berufsschule	30,0%	-	14,3%	12,5%	-	11,1%	-	-	14,3%	-	11,1%	3,6%	-	11,1%	-
Ber.bildende mittl. Schule	10,0%	-	-	25,0%	-	11,1%	2,7%	21,4%	14,3%	-	22,2%	-	6,7%	22,2%	80,0%
Ber.bildende höhere Schule	20,0%	35,2%	-	-	66,7%	66,7%	37,8%	35,7%	28,6%	100,0%	22,2%	32,1%	26,7%	44,4%	20,0%
Universität/Fachhochschule	-	64,8%	85,7%	62,5%	33,3%	-	59,5%	42,9%	42,9%	-	-	60,7%	66,7%	44,4%	-
<b>2. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, falls Sie in Graz wohnhaft sind.</b>															
	<b>n = 77</b>														
<b>Gesamt</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>
100,0%	13,0%	64,9%	9,1%	9,1%	3,9%	12,1%	53,0%	19,7%	9,1%	6,1%	14,0%	38,6%	22,8%	15,8%	8,8%
PLZ 8010	60,0%	76,0%	71,4%	71,4%	66,7%	50,0%	62,9%	61,5%	50,0%	75,0%	-	13,6%	7,7%	-	-
PLZ 8020	-	16,0%	-	-	-	25,0%	28,6%	15,4%	16,7%	-	87,5%	81,8%	92,3%	88,9%	100,0%
PLZ 8036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8041	20,0%	2,0%	14,3%	-	-	-	2,9%	15,4%	16,7%	-	-	-	-	-	-
PLZ 8042	10,0%	-	14,3%	14,3%	33,3%	12,5%	5,7%	-	-	25,0%	12,5%	-	-	-	-
PLZ 8043	-	2,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,1%	-
PLZ 8044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8047	-	2,0%	-	14,3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8052	10,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8053	-	-	-	-	-	12,5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8055	-	2,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
<b>3. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, wenn sie nicht in Graz wohnt sind aber in Graz arbeiten, studieren oder zur Schule gehen.</b>															
	n = 5					n = 5					n = 11				
<b>Gesamt</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>
100,0%	-	80,0%	-	20,0%	-	20,0%	40,0%	20,0%	20,0%	-	9,1%	54,5%	18,2%	18,2%	-
PLZ 8010	-	75,0%	-	100,0%	-	100,0%	50,0%	100,0%	-	-	100,0%	83,3%	-	100,0%	-
PLZ 8020	-	25,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,7%	100,0%	-	-
PLZ 8036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8042	-	-	-	-	-	-	50,0%	-	100,0%	-	-	-	-	-	-
PLZ 8043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>4. Wie oft nutzen Sie den ÖV in Graz?</b>															
	n = 82					n = 71					n = 68				
<b>Gesamt</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>10 - 19</b>	<b>20 - 35</b>	<b>36 - 50</b>	<b>51 - 65</b>	<b>&gt; 65</b>
100,0%	12,2%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
mind. 1/Tag	80,0%	20,4%	28,6%	12,5%	33,3%	55,6%	18,9%	21,4%	-	25,0%	66,7%	14,3%	-	-	40,0%
mind. 1/Woche	10,0%	25,9%	14,3%	25,0%	33,3%	44,4%	40,5%	28,6%	57,1%	75,0%	22,2%	42,9%	40,0%	63,6%	60,0%
mind. 1/Monat	-	29,6%	28,6%	37,5%	33,3%	-	18,9%	21,4%	14,3%	-	-	21,4%	26,7%	18,2%	-
weniger 1/Monat	10,0%	24,1%	28,6%	25,0%	-	-	21,6%	28,6%	28,6%	-	11,1%	21,4%	33,3%	18,2%	-

TU Graz - Schulzentrum St. Peter

Karmeliterplatz - KF Universität

SmartCity - Reininghaus

5. Haben Sie schon einmal von automatisierten Fahrzeugen gehört?

	n = 82					n = 71					n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	100,0%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
<b>Ja</b>	100,0%	90,7%	100,0%	87,5%	100,0%	100,0%	81,1%	78,6%	85,7%	50,0%	88,9%	100,0%	100,0%	63,6%	40,0%
<b>Nein</b>	-	7,4%	-	12,5%	-	-	8,1%	21,4%	14,3%	50,0%	11,1%	-	-	36,4%	60,0%
<b>Bin mir nicht sicher</b>	-	1,9%	-	-	-	-	10,8%	-	-	-	-	-	-	-	-

6. Haben Sie das gezeigte Video (Video im Umfragebogen) schon einmal gesehen?

	n = 82					n = 71					n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	100,0%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
<b>Ja</b>	-	3,7%	14,3%	12,5%	-	-	8,1%	-	-	-	-	17,9%	-	9,1%	-
<b>Nein</b>	100,0%	92,6%	85,7%	87,5%	100,0%	100,0%	86,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	82,1%	100,0%	90,9%	100,0%
<b>Bin mir nicht sicher</b>	-	3,7%	-	-	-	-	5,4%	-	-	-	-	-	-	-	-

7. Wie ist Ihre allgemeine Meinung über automatisierte Fahrzeuge?

	n = 82					n = 71					n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	100,0%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
<b>Positiv</b>	20,0%	29,6%	-	37,5%	-	55,6%	16,2%	-	-	-	22,2%	39,3%	6,7%	9,1%	-
<b>Eher positiv</b>	40,0%	33,3%	42,9%	25,0%	66,7%	33,3%	54,1%	71,4%	57,1%	25,0%	66,7%	50,0%	73,3%	36,4%	20,0%
<b>Neutral</b>	40,0%	20,4%	42,9%	12,5%	-	11,1%	24,3%	28,6%	28,6%	25,0%	11,1%	10,7%	20,0%	45,5%	80,0%
<b>Eher negativ</b>	-	13,0%	14,3%	12,5%	33,3%	-	5,4%	-	-	50,0%	-	-	-	9,1%	-
<b>Negativ</b>	-	3,7%	-	12,5%	-	-	-	-	14,3%	-	-	-	-	-	-

TU Graz - Schulzentrum St. Peter

Karmeliterplatz - KF Universität

SmartCity - Reininghaus

**8. Welchen Preis wären Sie bereit für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus, im Vergleich zu den jetzigen Preisen in Graz, zu zahlen?**

	n = 82				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,2%</b>	<b>65,9%</b>	<b>8,5%</b>	<b>9,8%</b>	<b>3,7%</b>
100,0%					
Mehr	-	1,9%	-	-	-
Gleich viel	90,0%	66,7%	71,4%	87,5%	66,7%
Weniger	10,0%	31,5%	28,6%	12,5%	33,3%

	n = 71				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,7%</b>	<b>52,1%</b>	<b>19,7%</b>	<b>9,9%</b>	<b>5,6%</b>
100,0%					
Mehr	11,1%	8,1%	-	-	-
Gleich viel	66,7%	70,3%	64,3%	57,1%	50,0%
Weniger	22,2%	21,6%	35,7%	42,9%	50,0%

	n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>13,2%</b>	<b>41,2%</b>	<b>22,1%</b>	<b>16,2%</b>	<b>7,4%</b>
100,0%					
Mehr	11,1%	21,4%	6,7%	-	-
Gleich viel	77,8%	67,9%	66,7%	72,7%	60,0%
Weniger	11,1%	10,7%	26,7%	27,3%	40,0%

**9. Wie attraktiv ist die gezeigte Strecke für Ihre alltäglichen Beschäftigungen?**

	n = 82				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,2%</b>	<b>65,9%</b>	<b>8,5%</b>	<b>9,8%</b>	<b>3,7%</b>
100,0%					
Attraktiv	30,0%	24,1%	14,3%	37,5%	-
Eher attraktiv	70,0%	40,7%	42,9%	37,5%	66,7%
Neutral	-	24,1%	42,9%	25,0%	-
Eher unattraktiv	-	7,4%	-	-	33,3%
Unattraktiv	-	3,7%	-	-	-

	n = 71				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,7%</b>	<b>52,1%</b>	<b>19,7%</b>	<b>9,9%</b>	<b>5,6%</b>
100,0%					
Attraktiv	33,3%	18,9%	7,1%	14,3%	-
Eher attraktiv	44,4%	56,8%	50,0%	42,9%	25,0%
Neutral	22,2%	16,2%	42,9%	42,9%	75,0%
Eher unattraktiv	-	5,4%	-	-	-
Unattraktiv	-	2,7%	-	-	-

	n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>13,2%</b>	<b>41,2%</b>	<b>22,1%</b>	<b>16,2%</b>	<b>7,4%</b>
100,0%					
Attraktiv	-	10,7%	13,3%	9,1%	-
Eher attraktiv	22,2%	50,0%	53,3%	18,2%	-
Neutral	77,8%	25,0%	33,3%	72,7%	100,0%
Eher unattraktiv	-	7,1%	-	-	-
Unattraktiv	-	7,1%	-	-	-

**10. Bei welcher maximalen Reisegeschwindigkeit würden Sie sich bei einer Fahrt mit einem automatisierten Bus noch wohl fühlen?**

	n = 82				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,2%</b>	<b>65,9%</b>	<b>8,5%</b>	<b>9,8%</b>	<b>3,7%</b>
100,0%					
Unter 10 km/h	20,0%	5,6%	-	-	-
Unter 30 km/h	60,0%	37,0%	42,9%	75,0%	100,0%
Unter 50 km/h	20,0%	50,0%	57,1%	25,0%	-
Über 50 km/h	-	7,4%	-	-	-

	n = 71				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>12,7%</b>	<b>52,1%</b>	<b>19,7%</b>	<b>9,9%</b>	<b>5,6%</b>
100,0%					
Unter 10 km/h	-	5,4%	7,1%	-	25,0%
Unter 30 km/h	44,4%	51,4%	64,3%	85,7%	75,0%
Unter 50 km/h	44,4%	37,8%	21,4%	14,3%	-
Über 50 km/h	11,1%	5,4%	7,1%	-	-

	n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>	<b>13,2%</b>	<b>41,2%</b>	<b>22,1%</b>	<b>16,2%</b>	<b>7,4%</b>
100,0%					
Unter 10 km/h	-	-	-	9,1%	60,0%
Unter 30 km/h	55,6%	42,9%	53,3%	63,6%	40,0%
Unter 50 km/h	44,4%	50,0%	46,7%	18,2%	-
Über 50 km/h	-	7,1%	-	9,1%	-

TU Graz - Schulzentrum St. Peter

Karmeliterplatz - KF Universität

SmartCity - Reininghaus

11. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem männlichen Person wohl fühlen?

	n = 82					n = 71					n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>															
<b>100,0%</b>	12,2%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
Ja	30,0%	40,7%	57,1%	62,5%	33,3%	55,6%	62,2%	50,0%	71,4%	-	11,1%	67,9%	73,3%	36,4%	20,0%
Nein	40,0%	16,7%	-	25,0%	33,3%	11,1%	18,9%	35,7%	14,3%	75,0%	33,3%	21,4%	13,3%	54,5%	80,0%
Bin mir nicht sicher	30,0%	42,6%	42,9%	12,5%	33,3%	33,3%	18,9%	14,3%	14,3%	25,0%	55,6%	10,7%	13,3%	9,1%	-

12. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?

	n = 47					n = 31					n = 33				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>															
<b>100,0%</b>	14,9%	68,1%	6,4%	6,4%	4,3%	12,9%	45,2%	22,6%	6,5%	12,9%	24,2%	27,3%	12,1%	21,2%	12,1%
Kamera	28,6%	43,8%	-	-	-	50,0%	35,7%	71,4%	-	25,0%	62,5%	11,1%	100,0%	42,9%	50,0%
Panikknopf	14,3%	9,4%	33,3%	-	-	-	14,3%	14,3%	-	-	-	22,2%	-	14,3%	-
Notbremse	-	6,3%	-	-	-	-	7,1%	-	-	-	-	-	-	-	-
Begleitung	14,3%	21,9%	-	66,7%	50,0%	-	7,1%	-	-	50,0%	25,0%	33,3%	-	14,3%	25,0%
Alle Möglich. gleich gut	42,9%	18,8%	66,7%	33,3%	50,0%	50,0%	35,7%	14,3%	100,0%	25,0%	12,5%	33,3%	-	28,6%	25,0%

13. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem weiblichen Person wohl fühlen?

	n = 82					n = 71					n = 68				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>Gesamt</b>															
<b>100,0%</b>	12,2%	65,9%	8,5%	9,8%	3,7%	12,7%	52,1%	19,7%	9,9%	5,6%	13,2%	41,2%	22,1%	16,2%	7,4%
Ja	40,0%	68,5%	71,4%	50,0%	100,0%	77,8%	75,7%	64,3%	100,0%	50,0%	55,6%	71,4%	86,7%	45,5%	40,0%
Nein	40,0%	3,7%	-	25,0%	-	-	8,1%	28,6%	-	25,0%	22,2%	10,7%	13,3%	36,4%	60,0%
Bin mir nicht sicher	20,0%	27,8%	28,6%	25,0%	-	22,2%	16,2%	7,1%	-	25,0%	22,2%	17,9%	-	18,2%	-

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
	n = 29					n = 18					n = 23				
	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65	10 - 19	20 - 35	36 - 50	51 - 65	> 65
<b>14. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?</b>															
<b>Gesamt</b>															
<b>100,0%</b>	20,7%	58,6%	6,9%	13,8%	-	11,1%	50,0%	27,8%	-	11,1%	17,4%	34,8%	8,7%	26,1%	13,0%
<b>Kamera</b>	33,3%	58,8%	-	50,0%	-	100,0%	33,3%	80,0%	-	-	50,0%	37,5%	50,0%	33,3%	66,7%
<b>Panikknopf</b>	16,7%	11,8%	-	-	-	-	11,1%	-	-	-	-	12,5%	-	16,7%	-
<b>Notbremse</b>	-	-	50,0%	-	-	-	11,1%	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Begleitung</b>	-	11,8%	-	25,0%	-	-	11,1%	-	-	100,0%	25,0%	-	50,0%	16,7%	33,3%
<b>Alle Möglich. gleich gut</b>	50,0%	17,6%	50,0%	25,0%	-	-	33,3%	20,0%	-	-	25,0%	50,0%	-	33,3%	-



## **Anhang 13**

**Ergebnisse der Verkehrsbefragung in Graz, sortiert  
nach dem Bildungsstand der Umfrageteilnehmer**

PS...Pflichtschule  
 L/BS...Lehre/Berufsschule  
 BMS...Berufsbildende mittlere Schule (ohne Matura)  
 BHS...Berufsbildende höhere Schule (mit Matura)  
 U/FH...Universität/Fachhochschule

**TU Graz - Schulzentrum St. Peter**

**Karmeliterplatz - KF Universität**

**SmartCity - Reininghaus**

1. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, falls Sie in Graz wohnhaft sind.

	n = 77					
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	
<b>Gesamt</b>						
100,0%	5,2%	6,5%	3,9%	29,9%	54,5%	
PLZ 8010	50,0%	60,0%	66,7%	65,2%	81,0%	
PLZ 8020	-	-	-	26,1%	4,8%	
PLZ 8036	-	-	-	-	-	
PLZ 8041	-	40,0%	-	4,3%	2,4%	
PLZ 8042	25,0%	-	33,3%	-	4,8%	
PLZ 8043	-	-	-	-	2,4%	
PLZ 8044	-	-	-	-	-	
PLZ 8045	-	-	-	-	-	
PLZ 8046	-	-	-	-	-	
PLZ 8047	-	-	-	4,3%	2,4%	
PLZ 8051	-	-	-	-	-	
PLZ 8052	25,0%	-	-	-	-	
PLZ 8053	-	-	-	-	-	
PLZ 8054	-	-	-	-	-	
PLZ 8055	-	-	-	-	2,4%	
PLZ 8073	-	-	-	-	-	
PLZ 8074	-	-	-	-	-	

	n = 66					
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	
<b>Gesamt</b>						
100,0%	1,5%	3,0%	9,1%	42,4%	43,9%	
PLZ 8010	100,0%	50,0%	33,3%	60,7%	65,5%	
PLZ 8020	-	50,0%	33,3%	21,4%	20,7%	
PLZ 8036	-	-	-	-	-	
PLZ 8041	-	-	33,3%	3,6%	3,4%	
PLZ 8042	-	-	-	7,1%	6,9%	
PLZ 8043	-	-	-	-	-	
PLZ 8044	-	-	-	-	-	
PLZ 8045	-	-	-	-	-	
PLZ 8046	-	-	-	-	-	
PLZ 8047	-	-	-	-	-	
PLZ 8051	-	-	-	-	-	
PLZ 8052	-	-	-	3,6%	3,4%	
PLZ 8053	-	-	-	3,6%	-	
PLZ 8054	-	-	-	-	-	
PLZ 8055	-	-	-	-	-	
PLZ 8073	-	-	-	-	-	
PLZ 8074	-	-	-	-	-	

	n = 57					
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	
<b>Gesamt</b>						
100,0%	8,8%	3,5%	15,8%	26,3%	45,6%	
PLZ 8010	-	-	-	6,7%	11,5%	
PLZ 8020	100,0%	100,0%	88,9%	93,3%	80,8%	
PLZ 8036	-	-	-	-	-	
PLZ 8041	-	-	-	-	-	
PLZ 8042	-	-	11,1%	-	-	
PLZ 8043	-	-	-	-	3,8%	
PLZ 8044	-	-	-	-	-	
PLZ 8045	-	-	-	-	-	
PLZ 8046	-	-	-	-	-	
PLZ 8047	-	-	-	-	-	
PLZ 8051	-	-	-	-	-	
PLZ 8052	-	-	-	-	-	
PLZ 8053	-	-	-	-	-	
PLZ 8054	-	-	-	-	3,8%	
PLZ 8055	-	-	-	-	-	
PLZ 8073	-	-	-	-	-	
PLZ 8074	-	-	-	-	-	

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
<b>2. Verraten Sie uns bitte Ihre PLZ, wenn sie nicht in Graz wohnt sind aber in Graz wohnhaft sind aber in Graz arbeiten, studieren oder zur Schule gehen.</b>															
	n = 5					n = 5					n = 11				
<b>Gesamt</b>	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
100,0%	-	-	-	-	100,0%	-	-	-	60,0%	40,0%	-	9,1%	-	45,5%	45,5%
PLZ 8010	-	-	-	-	80,0%	-	-	-	66,7%	50,0%	-	-	-	80,0%	80,0%
PLZ 8020	-	-	-	-	20,0%	-	-	-	-	-	-	100,0%	-	20,0%	20,0%
PLZ 8036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8042	-	-	-	-	-	-	-	-	33,3%	50,0%	-	-	-	-	-
PLZ 8043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLZ 8074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>3. Wie oft nutzen Sie den ÖV in Graz?</b>															
	n = 82					n = 71					n = 68				
<b>Gesamt</b>	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
mind. 1/Tag	100,0%	20,0%	33,3%	34,8%	19,1%	100,0%	50,0%	50,0%	25,8%	12,9%	40,0%	33,3%	33,3%	15,0%	9,7%
mind. 1/Woche	-	20,0%	33,3%	13,0%	27,7%	-	50,0%	33,3%	45,2%	38,7%	40,0%	-	55,6%	50,0%	41,9%
mind. 1/Monat	-	20,0%	-	21,7%	31,9%	-	-	-	16,1%	19,4%	-	33,3%	-	10,0%	29,0%
weniger 1/Monat	-	40,0%	33,3%	30,4%	21,3%	-	-	16,7%	12,9%	29,0%	20,0%	33,3%	11,1%	25,0%	19,4%

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
<b>4. Haben Sie schon einmal von automatisierten Fahrzeugen gehört?</b>															
<b>n = 82</b>															
<b>Gesamt</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
<b>Ja</b>	100,0%	100,0%	66,7%	100,0%	89,4%	100,0%	100,0%	66,7%	67,7%	96,8%	80,0%	66,7%	55,6%	90,0%	100,0%
<b>Nein</b>	-	-	33,3%	-	8,5%	-	-	16,7%	22,6%	3,2%	20,0%	33,3%	44,4%	10,0%	-
<b>Bin mir nicht sicher</b>	-	-	-	-	2,1%	-	-	16,7%	9,7%	-	-	-	-	-	-
<b>5. Haben Sie das gezeigte Video (Video im Umfragebogen) schon einmal gesehen?</b>															
<b>n = 82</b>															
<b>Gesamt</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
<b>Ja</b>	-	-	33,3%	-	6,4%	100,0%	-	-	-	6,5%	-	-	-	10,0%	12,9%
<b>Nein</b>	100,0%	100,0%	66,7%	95,7%	91,5%	-	100,0%	100,0%	100,0%	87,1%	100,0%	100,0%	100,0%	90,0%	87,1%
<b>Bin mir nicht sicher</b>	-	-	-	4,3%	2,1%	-	-	-	-	6,5%	-	-	-	-	-
<b>6. Wie ist Ihre allgemeine Meinung über automatisierte Fahrzeuge?</b>															
<b>n = 82</b>															
<b>Gesamt</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>	<b>PS</b>	<b>L/BS</b>	<b>BMS</b>	<b>BHS</b>	<b>U/FH</b>
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
<b>Positiv</b>	-	20,0%	66,7%	34,8%	21,3%	100,0%	-	-	16,1%	16,1%	40,0%	-	22,2%	10,0%	29,0%
<b>Eher positiv</b>	75,0%	20,0%	33,3%	17,4%	40,4%	-	-	50,0%	51,6%	61,3%	40,0%	33,3%	22,2%	70,0%	54,8%
<b>Neutral</b>	25,0%	40,0%	-	21,7%	25,5%	-	50,0%	50,0%	22,6%	19,4%	20,0%	33,3%	55,6%	20,0%	16,1%
<b>Eher negativ</b>	-	-	-	21,7%	10,6%	-	-	-	9,7%	3,2%	-	-	-	-	-
<b>Negativ</b>	-	20,0%	-	4,3%	2,1%	-	50,0%	-	-	-	-	-	-	-	-

TU Graz - Schulzentrum St. Peter

Karmeliterplatz - KF Universität

SmartCity - Reininghaus

**7. Welchen Preis wären Sie bereit für ein Fahrticket mit einem automatisierten Bus, im Vergleich zu den jetzigen Preisen in Graz, zu zahlen?**

	n = 82				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%
Mehr	-	20,0%	-	4,3%	-
Gleich viel	100,0%	60,0%	100,0%	43,5%	80,9%
Weniger	-	20,0%	-	52,2%	19,1%

	n = 71				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%
Mehr	-	-	16,7%	-	9,7%
Gleich viel	100,0%	-	50,0%	67,7%	71,0%
Weniger	-	100,0%	33,3%	32,3%	19,4%

	n = 68				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
Mehr	20,0%	-	22,2%	-	16,1%
Gleich viel	60,0%	66,7%	55,6%	80,0%	67,7%
Weniger	20,0%	33,3%	22,2%	20,0%	16,1%

**8. Wie attraktiv ist die gezeigte Strecke für Ihre alltäglichen Beschäftigungen?**

	n = 82				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%
Attraktiv	25,0%	40,0%	33,3%	26,1%	21,3%
Eher attraktiv	75,0%	20,0%	66,7%	30,4%	51,1%
Neutral	-	40,0%	-	30,4%	17,0%
Eher unattraktiv	-	-	-	8,7%	6,4%
Unattraktiv	-	-	-	4,3%	4,3%

	n = 71				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%
Attraktiv	-	50,0%	16,7%	12,9%	19,4%
Eher attraktiv	100,0%	-	33,3%	51,6%	54,8%
Neutral	-	50,0%	50,0%	32,3%	19,4%
Eher unattraktiv	-	-	-	3,2%	3,2%
Unattraktiv	-	-	-	0,0%	3,2%

	n = 68				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
Attraktiv	-	-	11,1%	15,0%	6,5%
Eher attraktiv	40,0%	-	-	35,0%	54,8%
Neutral	60,0%	66,7%	88,9%	50,0%	29,0%
Eher unattraktiv	-	-	-	-	6,5%
Unattraktiv	-	33,3%	-	-	3,2%

**9. Bei welcher maximalen Reisegeschwindigkeit würden Sie sich bei einer Fahrt mit einem automatisierten Bus noch wohl fühlen?**

	n = 82				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%
Unter 10 km/h	25,0%	20,0%	-	4,3%	4,3%
Unter 30 km/h	50,0%	40,0%	100,0%	39,1%	44,7%
Unter 50 km/h	25,0%	40,0%	-	47,8%	46,8%
Über 50 km/h	-	-	-	8,7%	4,3%

	n = 71				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%
Unter 10 km/h	-	-	16,7%	9,7%	-
Unter 30 km/h	100,0%	50,0%	50,0%	67,7%	48,4%
Unter 50 km/h	-	50,0%	33,3%	16,1%	45,2%
Über 50 km/h	-	-	-	6,5%	6,5%

	n = 68				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
Gesamt	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
Unter 10 km/h	-	-	33,3%	5,0%	-
Unter 30 km/h	80,0%	33,3%	44,4%	55,0%	45,2%
Unter 50 km/h	20,0%	66,7%	22,2%	40,0%	45,2%
Über 50 km/h	-	-	-	-	9,7%

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter				Karmeliterplatz - KF Universität				SmartCity - Reininghaus						
<b>10. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem männlichen Person wohl fühlen?</b>															
n = 82				n = 71				n = 68							
Gesamt	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
Ja	-	40,0%	66,7%	39,1%	46,8%	-	50,0%	33,3%	51,6%	67,7%	20,0%	33,3%	11,1%	55,0%	67,7%
Nein	75,0%	20,0%	33,3%	17,4%	14,9%	-	-	33,3%	35,5%	12,9%	60,0%	66,7%	55,6%	20,0%	25,8%
Bin mir nicht sicher	25,0%	40,0%	-	43,5%	38,3%	100,0%	50,0%	33,3%	12,9%	19,4%	20,0%	-	33,3%	25,0%	6,5%
<b>11. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?</b>															
n = 47				n = 31				n = 33							
Gesamt	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
100,0%	8,5%	6,4%	2,1%	29,8%	53,2%	3,2%	3,2%	12,9%	48,4%	32,3%	12,1%	6,1%	24,2%	27,3%	30,3%
Kamera	25,0%	-	-	35,7%	40,0%	100,0%	-	50,0%	33,3%	50,0%	25,0%	100,0%	62,5%	22,2%	60,0%
Panikknopf	25,0%	-	-	14,3%	8,0%	-	-	25,0%	6,7%	10,0%	25,0%	-	-	22,2%	-
Notbremse	-	-	-	14,3%	-	-	-	-	6,7%	-	-	-	-	-	-
Begleitung	-	33,3%	100,0%	21,4%	24,0%	-	-	25,0%	20,0%	-	25,0%	-	25,0%	22,2%	20,0%
Alle Möglich. gleich gut	50,0%	66,7%	-	14,3%	28,0%	-	100,0%	-	33,3%	40,0%	25,0%	-	12,5%	33,3%	20,0%
<b>12. Würden Sie sich bei einer abendlichen Fahrt in einem automatisierten Bus, mit einer unbekanntem weiblichen Person wohl fühlen?</b>															
n = 82				n = 71				n = 68							
Gesamt	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
100,0%	4,9%	6,1%	3,7%	28,0%	57,3%	1,4%	2,8%	8,5%	43,7%	43,7%	7,4%	4,4%	13,2%	29,4%	45,6%
Ja	-	20,0%	33,3%	69,6%	74,5%	100,0%	100,0%	33,3%	74,2%	80,6%	40,0%	-	22,2%	80,0%	80,6%
Nein	50,0%	40,0%	66,7%	4,3%	2,1%	-	-	33,3%	16,1%	3,2%	40,0%	100,0%	55,6%	5,0%	12,9%
Bin mir nicht sicher	50,0%	40,0%	-	26,1%	23,4%	-	-	33,3%	9,7%	16,1%	20,0%	-	22,2%	15,0%	6,5%

	TU Graz - Schulzentrum St. Peter					Karmeliterplatz - KF Universität					SmartCity - Reininghaus				
	n = 29					n = 18					n = 23				
	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH	PS	L/BS	BMS	BHS	U/FH
<b>Gesamt</b>	<b>13,8%</b>	<b>10,3%</b>	<b>6,9%</b>	<b>24,1%</b>	<b>41,4%</b>	-	-	<b>22,2%</b>	<b>44,4%</b>	<b>33,3%</b>	<b>13,0%</b>	<b>13,0%</b>	<b>30,4%</b>	<b>17,4%</b>	<b>26,1%</b>
Kamera	25,0%	66,7%	50,0%	42,9%	58,3%	-	-	75,0%	50,0%	33,3%	-	66,7%	42,9%	25,0%	66,7%
Panikknopf	25,0%	-	-	28,6%	-	-	-	-	-	16,7%	33,3%	-	-	25,0%	-
Notbremse	-	-	-	-	8,3%	-	-	-	12,5%	-	-	-	-	-	-
Begleitung	-	-	50,0%	14,3%	8,3%	-	-	25,0%	25,0%	-	33,3%	-	42,9%	-	-
Alle Möglich. gleich gut	50,0%	66,7%	-	14,3%	25,0%	-	-	-	12,5%	50,0%	33,3%	33,3%	14,3%	50,0%	33,3%

13. Was würde Ihr Sicherheitsgefühl in dieser Situation am meisten steigern?



# **Anhang 14**

## **Verbindung zwischen bestimmten Antworten**

SmartCity - Reininghaus

Karmeliterplatz - KF Universität

TU Graz - Schulzentrum St. Peter

Verbindung zwischen Attraktivität der Strecke und dem Fahrpreis, den man für eine Fahrt in einem automatisierten Bus bereit wäre zu bezahlen.

		n = 68				
		attraktiv	eh. attr.	neutral	eh. unattr.	unattr.
Gesamt	100,0%	8,8%	38,2%	47,1%	2,9%	2,9%
weniger		16,7%	19,2%	21,9%	-	-
gleich viel		50,0%	69,2%	68,8%	100,0%	100,0%
mehr		33,3%	11,5%	9,4%	-	-

		n = 71				
		attraktiv	eh. attr.	neutral	eh. unattr.	unattr.
Gesamt	100,0%	16,9%	50,7%	28,2%	2,8%	1,4%
weniger		25,0%	19,4%	50,0%	-	-
gleich viel		50,0%	77,8%	50,0%	100,0%	100,0%
mehr		25,0%	2,8%	-	-	-

		n = 82				
		attraktiv	eh. attr.	neutral	eh. unattr.	unattr.
Gesamt	100,0%	24,4%	45,1%	22,0%	6,1%	2,4%
weniger		30,0%	16,2%	38,9%	60,0%	-
gleich viel		65,0%	83,8%	61,1%	40,0%	100,0%
mehr		5,0%	-	-	-	-

Verbindung zwischen der Meinung über AF und der Reisegeschwindigkeit, bis zu der man sich bei einer Fahrt in einem automatisierten Bus noch sicher fühlen würde.

		n = 68				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	22,1%	52,9%	23,5%	1,5%	-
Unter 10 km/h		-	2,7%	18,8%	-	-
Unter 30 km/h		14,3%	59,5%	56,3%	100,0%	-
Unter 50 km/h		78,6%	32,4%	25,0%	-	-
Über 50 km/h		14,3%	2,7%	-	-	-

		n = 71				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	15,5%	53,5%	23,9%	5,6%	1,4%
Unter 10 km/h		-	-	11,8%	50,0%	-
Unter 30 km/h		18,2%	60,5%	76,5%	50,0%	100,0%
Unter 50 km/h		54,5%	36,8%	11,8%	-	-
Über 50 km/h		27,3%	2,6%	-	-	-

		n = 82				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	25,6%	35,4%	23,2%	12,2%	3,7%
Unter 10 km/h		4,8%	-	21,1%	-	-
Unter 30 km/h		57,1%	58,6%	42,1%	60,0%	66,7%
Unter 50 km/h		28,6%	37,9%	31,6%	40,0%	33,3%
Über 50 km/h		9,5%	3,4%	5,3%	-	-

Verbindung zwischen der Meinung über AF und dem Fahrpreis, den man für eine Fahrt in einem automatisierten Bus bereit wäre zu bezahlen.

		n = 68				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	22,1%	52,9%	23,5%	1,5%	-
weniger		7,1%	10,8%	43,8%	100,0%	-
=		42,9%	86,5%	56,3%	-	-
mehr		57,1%	-	-	-	-

		n = 71				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	15,5%	53,5%	23,9%	5,6%	1,4%
weniger		18,2%	7,9%	70,6%	25,0%	100,0%
=		45,5%	92,1%	29,4%	75,0%	-
mehr		36,4%	-	-	-	-

		n = 82				
		positiv	eh. pos.	neutral	eh. neg.	negativ
Gesamt	100,0%	25,6%	35,4%	23,2%	12,2%	3,7%
weniger		14,3%	10,3%	42,1%	60,0%	66,7%
=		81,0%	89,7%	57,9%	40,0%	33,3%
mehr		4,8%	-	-	-	-