



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Masterarbeit**

B.Eng. Jacek Trzebiatowski

# **Entwicklung eines Bürgerbuskonzepts im Fokus alternativer Antriebsmöglichkeiten**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Automotive and  
Aeronautical Engineering*

**B.Eng. Jacek Trzebiatowski**

**Entwicklung eines Bürgerbuskonzepts  
im Fokus alternativer  
Antriebsmöglichkeiten**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau bzw. Flugzeugbau  
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Berliner Tor 5  
20099 Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dipl.-Ing. J. Friedhoff  
Zweitprüfer/in: Prof. Dipl.-Ing. P. Seyfried

Abgabedatum: 31.09.2015

# Zusammenfassung

## Name des Studierenden

B.Eng. Jacek Trzebiatowski

## Thema der Masterthesis

Entwicklung eines Bürgerbuskonzepts im Fokus alternativer Antriebsmöglichkeiten

## Stichworte

Bürgerbus, Mobilität, Nutzfahrzeug, Fahrzeug, Sprinter, Sonderbauten, Konzepte, Entwicklung, Hybrid, Alternativer Antrieb, Gasanlage, LPG, Autogas

## Kurzzusammenfassung

In dieser Abschlussarbeit werden Bürgerbuskonzepte, unter besonderer Beachtung von alternativen Antrieben, entwickelt. Im Anschluss werden die entwickelten Konzepte gegenübergestellt und bewertet. Dabei setzt sich die Bewertung aus der Erfüllung der technischen Anforderungen zusammen, sowie der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit. Das Konzept mit der höchsten Bewertung wird anschließend dimensioniert.

Während der Entwicklungsphase wird ein besonderer Fokus auf die Fahrgastkabine gelegt. Darüber hinaus wird zu diesem Bürgerbuskonzept Überlegungen angestellt, in wie weit das aktuelle Design zu dem neuen Konzept passt oder es zu modernisieren gilt. Weiter hin soll das Bürgerbuskonzept hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

## Name of Student

B.Eng. Jacek Trzebiatowski

## Title of the paper

Development of a voluntary transport concept with the focus of alternative engine options

## Keywords

Voluntary transport, mobility, utility vehicle, vehicle, sprinter, special constructions, concepts, development, alternative engine, gas system, LPG

## Abstract

This master thesis developed voluntary transport's concepts, with major emphasis in alternative engine. Consequently the concepts were compared and evaluated in a way that informations about technical requirements and profitability were completely relevant. Afterwards the concept with the best evaluation has been dimensioned.

During the development phase of this project, the main focus was on the cabin-construction, and whether or not a new modern design would fit in it. Additionally the profitability of this whole concept was analyzed.

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit repräsentiert für mich den abschließenden Schritt des Flugzeugbaustudiums.

Für die Ermöglichung dieser Masterarbeit und für die großartige Betreuung, geht mein persönlicher Dank an Herrn Prof. Dipl.-Ing. Jan Friedhoff und Prof. Dipl.-Ing. Peter Seyfried.

Für die tatkräftige Unterstützung dieser Arbeit, seitens des Bürgerbusvereins Ostland e.V, bedanke ich mich bei Herrn Peter Wortmann. Zusätzlich bedanke ich mich auch bei allen anderen Bürgerbusvereinen, die mich unterstützt haben.

Ich möchte mich auch recht herzlich bei dem Herrn Georg Bergmann vom Unternehmen FIBE-Bus GmbH bedanken, der mir zu jeder Zeit für Fragen zur Verfügung stand und hilfreiche Tipps gegeben hat.

Desweiteren möchte ich mich für die Unterstützung über das gesamte Studium bei meiner Familie und Freunden bedanken und schließlich gilt mein Dank für die standhafte Geduld und Stütze meiner Freundin Anelise de Souza Chacão.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>III</b>
<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>IV</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>X</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>13</b>
1.1 MOTIVATION .....	13
1.2 AUFGABENSTELLUNG .....	14
<b>2 MARKTANALYSE</b> .....	<b>15</b>
2.1 BENCHMARKANALYSE.....	15
2.2 WETTBEWERBER .....	16
2.2.1 Mercedes Benz Sprinter .....	19
2.2.2 Mercedes Benz Sprinter (e-Fahrzeug PLANTOS).....	20
2.2.3 Volkswagen Crafter .....	21
2.2.4 Volkswagen T5 (Kutsenits City I).....	22
2.2.5 Fiat Ducato.....	23
2.3 AUSWERTUNG .....	24
2.4 KUNDENANFORDERUNGSANALYSE.....	29
<b>3 UMFELDBETRACHTUNG BÜRGERBUS</b> .....	<b>33</b>
3.1 ZIELGRUPPE/BEDARF .....	33
3.2 BÜRGERBUSBETREIBER .....	33
3.2.1 Der Verein .....	34
3.2.2 Die Verkehrsgesellschaft.....	34
3.2.3 Die Gemeinde .....	34
3.3 DIE BÜRGERBUSFAHRERINNEN UND -FAHRER .....	35
3.4 FINANZIERUNG.....	35
3.4.1 Förderungsmittel .....	36
3.4.2 Betriebskosten.....	37
3.5 BÜRGERBUSEINSATZBEISPIEL .....	39
<b>4 LASTENHEFT</b> .....	<b>40</b>
4.1 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN .....	40
4.2 WIRTSCHAFTLICHKEIT .....	42
4.3 LEICHTBAU .....	42
4.4 FAHRZEUGTECHNIK .....	43
4.4.1 Fahrzeugdimension.....	43
4.4.2 Antriebstechnik.....	43
4.4.3 Energieverbrauch .....	44
4.4.4 Sicherheit .....	44
4.4.5 Einstieg und Türen .....	45
4.4.6 Einstiegshilfen .....	45
4.4.7 Türsteuerung.....	46
4.5 INNENRAUM.....	46

4.5.1	Sitze (Kapazität/Ausführung/Anordnung) .....	46
4.5.2	Durchgangsmöglichkeit (Gangbreite/Innenhöhe) .....	47
4.5.3	Barrierefreiheit.....	47
4.5.4	Mehrzweckbereich .....	47
4.5.5	Festhaltungsmöglichkeiten (Haltestangen/-griffe) .....	48
4.5.6	Innenbeleuchtung.....	48
4.5.7	Klimatechnik (Heizung/Lüftung).....	48
4.5.8	Fahrgastinformation (Optisch/Akustisch/Infotainment) .....	49
4.6	AUßENGESTALTUNG .....	49
<b>5</b>	<b>KONZEPTSUCHE UND KONZEPTAUSWAHL.....</b>	<b>51</b>
5.1	KONZEPTENTWICKLUNG.....	51
5.1.1	Funktionsstruktur.....	51
5.1.2	Morphologischer Kasten.....	52
5.1.3	Konzeptbeschreibung.....	56
5.1.3.1	Hybridfahrzeug I (Benzin-Elektro Antrieb) .....	56
5.1.3.2	Hybridfahrzeug II (Benzin-Gas Antrieb) .....	58
5.1.3.3	Elektrofahrzeug.....	60
5.1.3.4	Brennstoffzellenfahrzeug .....	61
5.2	KONZEPTAUSWAHL .....	63
5.2.1	Kostenvergleich.....	63
5.2.2	Nutzwertanalyse.....	67
5.2.3	Auswertung .....	70
<b>6</b>	<b>KONZEPTENTWICKLUNG UND DIMENSIONIERUNG.....</b>	<b>72</b>
6.1	BASISFAHRZEUG .....	72
6.1.1	Maßkonzept.....	73
6.1.2	Antrieb.....	75
6.1.3	Package .....	78
6.2	FAHRGASTKABINE .....	80
6.2.1	Fußbodengestaltung .....	82
6.2.2	Kabinenaufbau .....	86
6.2.3	Klimaanlage.....	92
6.2.4	Sitzauslegung.....	93
6.2.5	Kabinengestaltung.....	96
6.3	DESIGN .....	101
6.4	GEWICHTSABSCHÄTZUNG .....	103
<b>7</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE.....</b>	<b>109</b>
7.1	KOSTENABSCHÄTZUNG MIT TARGET-COSTING-ANSATZ .....	109
7.2	AMORTISATIONSRECHNUNG DER GASANLAGE .....	112
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>114</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>117</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>122</b>
	Anhang A: Bewertungsbogenexemplar .....	122
	Anhang B: Fahrplan.....	123
	Anhang C: E-Mails.....	125
	Anhang D: Selbständigkeitserklärung.....	127
	Anhang E: CD .....	128

# Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: MARKTENTWICKLUNG BÜRGERBUS, [1] .....	16
ABBILDUNG 2: BÜRGERBUSVERTEILUNG IN DEUTSCHLAND, [1] .....	17
ABBILDUNG 3: MARKTÜBERSICHT BÜRGERBUSSE, [1] .....	17
ABBILDUNG 4: MERCEDES BENZ SPRINTER MOBILITY 23, [4] .....	19
ABBILDUNG 5: MERCEDES BENZ SPRINTER, VDL BUS & COACH, [5] .....	20
ABBILDUNG 6: MERCEDES BENZ SPRINTER PLANTOS, [7] .....	21
ABBILDUNG 7: VW CRAFTER 35, [9] .....	22
ABBILDUNG 8: VW KUTSENITS CITY I, [10] .....	23
ABBILDUNG 9: FIAT DUCATO CIVITAS 10, [11] .....	23
ABBILDUNG 10: FIAT DUCATO, TS FAHRZEUGTECHNIK GMBH, [1] .....	24
ABBILDUNG 11: PRIORISIERUNG DER ANFORDERUNGEN VON KUNDEN, [1] .....	30
ABBILDUNG 12: MITNAHME VON ROLLSTUHLFAHRERN, [1] .....	32
ABBILDUNG 13: JAHRESKOSTEN FÜR EINEN BÜRGERBUS, [1] / [21] .....	38
ABBILDUNG 14: STRECKENPLAN BÜRGERBUS, STAND 2014, [1] .....	39
ABBILDUNG 15: MINDESTMAßE, [26] .....	46
ABBILDUNG 16: FUNKTIONSBAUM, [1] .....	52
ABBILDUNG 17: MORPHOLOGISCHER KASTEN, [1] .....	54
ABBILDUNG 18: LÖSUNGSMATRIX, [1] .....	55
ABBILDUNG 19: AUDI Q5 HYBRID QUATTRO, [32] .....	58
ABBILDUNG 20: SYSTEMSKIZZE EINES AUTOGASFahrZEUGES, [34] .....	59
ABBILDUNG 21: VW E-UP, [36] .....	61
ABBILDUNG 22: B-KLASSE F-CELL, [38] .....	62
ABBILDUNG 23: NETZDIAGRAMM ZUM VERGLEICH DER KONZEPTVARIANTEN, [1] .....	71
ABBILDUNG 24: MERCEDES BENZ SPRINTER FAHRGESTELL MIT TIEFRAHMEN, [46] .....	73
ABBILDUNG 25: HAUPTABMESSUNGEN DES SPRINTERS, [1] / [46] / [50] .....	74
ABBILDUNG 26: FAHRZEUG KOORDINATENSYSTEM, [1] / [51] .....	75
ABBILDUNG 27: LPI-SYSTEM-AUFBAU, [55] .....	76
ABBILDUNG 28: GASTANKS, [56] / [57] .....	77
ABBILDUNG 29: PACKAGEKONZEPT - GASKOMPONENTEN, [1] .....	79
ABBILDUNG 30: MORPHOLOGISCHER KASTEN - FAHRGASTKABINE, [1] .....	81
ABBILDUNG 31: FAHRGESTELLKÜRZUNG, [1] .....	83
ABBILDUNG 32: VERBINDUNG AUFBAUBODEN AM TIEFRAHMENFAHRGESTELL, [1] / [48] .....	83
ABBILDUNG 33: MAX. MAßE DES ROLLSTUHLFAHRERS, [60] .....	84
ABBILDUNG 34: FUßBODENVERKLEIDUNG, [1] / [61] / [62] .....	85
ABBILDUNG 35: BÖSCHUNGSWINKEL, [1] .....	86
ABBILDUNG 36: TRAGSTRUKTUR, [1] .....	87
ABBILDUNG 37: MINDESTABSTAND, [48] .....	87
ABBILDUNG 38: ANBINDUNG AUFBAU UND B-SÄULE, [48] .....	88
ABBILDUNG 39: ANBINDUNG FAHRERHAUS, [48] .....	88
ABBILDUNG 40: DACHSPRIEGEL, [48] .....	88
ABBILDUNG 41: ERFORDERLICHE TRÄGHEITSMOMENTE FÜR SPRIEGEL, [48] .....	89
ABBILDUNG 42: DIAGONALANBINDUNG, [1] / [92] .....	89
ABBILDUNG 43: AUßENSCHWINGTÜR, [1] / [78] .....	90
ABBILDUNG 44: SEITENWANDBEFESTIGUNG, [48] .....	90
ABBILDUNG 45: RÜCKLEUCHTEN, [49] .....	91
ABBILDUNG 46: SEITEN- UND DRAUFSICHT-ABMESSUNGEN, [1] .....	92
ABBILDUNG 47: KLIMAAANLAGE SILENT 3800H, [66] .....	92
ABBILDUNG 48: EINBAUEINLEITUNG KLIMAAANLAGE, [1] / [66] .....	93

<b>ABBILDUNG 49: LIGERO-SITZ, [1] / [68].</b>	<b>94</b>
<b>ABBILDUNG 50: SITZAUSLEGUNG, [1].</b>	<b>95</b>
<b>ABBILDUNG 51: KÖRPERMAßE NACH DIN 33402-2, [69].</b>	<b>95</b>
<b>ABBILDUNG 52: KOMFORTUNTERSUCHUNG, [1].</b>	<b>96</b>
<b>ABBILDUNG 53: KABINENGESTALTUNG, [1].</b>	<b>97</b>
<b>ABBILDUNG 54: INFOTAINMENT UND ZIELANZEIGE, [70].</b>	<b>98</b>
<b>ABBILDUNG 55: ROLLSTUHLGURTSYSTEM, [71] / [72].</b>	<b>98</b>
<b>ABBILDUNG 56: FAHRERKABINE - SKIZZE, [1].</b>	<b>100</b>
<b>ABBILDUNG 57: WEGE ZUR IDEENFINDUNG, [1].</b>	<b>101</b>
<b>ABBILDUNG 58: SEITENDESIGN FÜR NRW, [1].</b>	<b>102</b>
<b>ABBILDUNG 59: SEITENDESIGN FÜR NDS, [1].</b>	<b>102</b>
<b>ABBILDUNG 60: HECKDESIGN NDS (LINKS) UND NRW (RECHTS), [1].</b>	<b>103</b>
<b>ABBILDUNG 61: LADEVOLUMENVERGLEICH, [1] / [84].</b>	<b>106</b>
<b>ABBILDUNG 62: KABINEN-GEWICHTSBERECHNUNG, [1] / [76] / [84].</b>	<b>106</b>
<b>ABBILDUNG 63: KLASSISCHE KOSTENPLANUNG IM VERGLEICH MIT TARGET-COSTING, [87].</b>	<b>110</b>
<b>ABBILDUNG 64: KABINEN-KOSTENBERECHNUNG, [1].</b>	<b>111</b>

# Tabellenverzeichnis

<b>TABELLE 1: FAHRGESTELLE - TECHNISCHE DATEN, [1]</b> .....	<b>26</b>
<b>TABELLE 2: BÜRGERBUSSE UND IHRE SERIENFAHRZEUGE - TECHNISCHE DATEN, [1]</b> .....	<b>28</b>
<b>TABELLE 3: ZUSCHÜSSE NORDRHEIN-WESTFALEN, [1]</b> .....	<b>36</b>
<b>TABELLE 4: AUSGABEN, [1] / [20]</b> .....	<b>37</b>
<b>TABELLE 5: EINNAHMEN, [1] / [20]</b> .....	<b>38</b>
<b>TABELLE 6: EINSTIEGHILFEN, [1] / [25]</b> .....	<b>45</b>
<b>TABELLE 7: RANDBEDINGUNGEN: FAHRGASTINFORMATION, [1]</b> .....	<b>49</b>
<b>TABELLE 8: KOSTENANALYSE ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE UND ANTRIEBE, [1] / [41]</b> .....	<b>64</b>
<b>TABELLE 9: VERGLEICH AMORTISATIONSLEISTUNGEN, [41]</b> .....	<b>65</b>
<b>TABELLE 10: ANTRIEBSTECHNOLOGIEN- UND KOSTENPROFILE IM ÜBERBLICK, [1] / [41]</b> .....	<b>66</b>
<b>TABELLE 11: MATERIALEIGENSCHAFTEN (STAND DEZEMBER 2013), [43]</b> .....	<b>67</b>
<b>TABELLE 12: ERMITTLUNG DER GEWICHTUNGSFAKTOREN, [1]</b> .....	<b>69</b>
<b>TABELLE 13: BERECHNUNG DER NUTZWERTE DER KONZEPTVARIANTEN, [1]</b> .....	<b>70</b>
<b>TABELLE 14: SPRINTER 316 - TECHNISCHE DATEN, [46] / [52]</b> .....	<b>75</b>
<b>TABELLE 15: GAS - TANKAUSWAHL, [1] / [56]</b> .....	<b>78</b>
<b>TABELLE 16: KOORDINATEN DER GASANLAGE, [1]</b> .....	<b>80</b>
<b>TABELLE 17: LÖSUNGSPFAD - FAHRGASTKABINE, [1]</b> .....	<b>81</b>
<b>TABELLE 18: HERSTELLERLISTE, [1]</b> .....	<b>97</b>
<b>TABELLE 19: GAS - ZUSATZTANK, [1] / [74]</b> .....	<b>99</b>
<b>TABELLE 20: GEWICHTSAUSWERTUNG, [1]</b> .....	<b>104</b>
<b>TABELLE 21: KÖRPERGEWICHT NACH GESCHLECHT UND ALTERSGRUPPEN, [85]</b> .....	<b>107</b>
<b>TABELLE 22: KOSTEN - KOMPONENTEN, [1]</b> .....	<b>110</b>
<b>TABELLE 23: AMORTISATIONSDAUER, [1]</b> .....	<b>112</b>

# Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
ADAC	Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V
AG	Aktiengesellschaft
bzgl.	Bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Cirka
CAD	Computer Aided Design
CFK	Kohlenstofffaserverstärker Kunststoff
CNG	Compressed Natural Gas
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
d.h.	Das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
E-Antrieb	Elektro-Antrieb
EU	Europäischen Union
evtl.	Eventuell
GFK	Glasfaserverstärker Kunststoff
ggf.	Gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IFA	Institut für Automobilwirtschaft
IRD	Langer Radstand
I <sub>x</sub>	Trägheitsmoment
KFZ	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
KG	Kommanditgesellschaft
km	Kilometer
l	Liter
LNG	Liquified Natural Gas
LNVG	Landesnahverkehrsgesellschaft
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LPI	Liquid Propane Injektion
PKW	Personenkraftwagen
PVC	Permanent Virtual Circuit

max.	Maximal
MB	Mercedes Benz
mRD	Mittlerer Radstand
NDS	Niedersachsen
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr-Gesetz
PBefG	Personenbeförderungsgesetzes
PKW	Personenkraftwagen
sec.	Sekunde
StVO	Straßenverkehrsordnung
u.a.	Unter anderem
usw.	Und so weiter
vergl.	Vergleich
VW	Volkswagen
VWI	Verkehrswissenschaftliche Institut Stuttgart
WLAN	Wireless Local Area Network
x	Koordinaten in x-Richtung
y	Koordinaten in y-Richtung
z	Koordinaten in z-Richtung
z.B.	Zum Beispiel
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht
zul.	Zulässig
ZVBN	ZweckVerband Bremen Niedersachsen

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland ist in den kommenden Jahrzehnten weitgehend vorgezeichnet. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels wird die Zahl älterer Menschen in den nächsten Jahren drastisch zunehmen. Viele von ihnen können das vorhandene Nahverkehrsangebot nicht nutzen oder besitzen nicht oder nicht mehr über ein eigenes Fahrzeug. Besonders im ländlichen Raum, in denen es an öffentlichen Verkehrsanbindungen mangelt, besteht eine starke Nachfrage nach Mobilität. Denn Mobilität ist der Schlüssel für Lebensqualität und Wohlstand. Gerade die Menschen im ländlichen Raum wollen aktiv am gesellschaftlichen Leben teilnehmen.

Hier bieten sich die Bürgerbusse als Bedienungsform an, da sie an die Bedürfnisse der Menschen eine angepasste wirtschaftliche Lösung darstellen. Dabei lebt die Idee des Bürgerbusses vom ehrenamtlichen Engagement. Die Motivation für dieses Engagement ist bei den meisten Menschen der Wunsch, dass der eigene Ort für alle Generationen lebenswert sein soll. Daher macht der Bürgerbus nicht nur die Menschen mobil, sondern bietet Gelegenheit für soziale Kontakte und Zusammenhalt.

Für diesen Bedienungsbereich werden in den meisten Fällen Kleinbusse mit bis zu acht Fahrgastsitzen eingesetzt oder es werden Fahrzeuge auf bestimmte Anforderungen angepasst. Die Bürgerbusse werden nicht nur nach Gesichtspunkten wie Ausstattung, Design oder Fahrzeughersteller beurteilt, sondern die Fahrzeuge sollen heute vor allem sparsam, sicher, zuverlässig und erschwinglich zugleich sein.

Dabei kommen gerade alternative Antriebe und Technologien bzgl. Werkstoffe eine immer größere Bedeutung, da sie die hohen Anforderungen, die an die Fahrzeugbauer und an das Gesamtfahrzeug gestellt werden, erfüllen.

In Hinblick auf Gewicht und Kosten setzen die Fahrzeugbauer auf eine intelligente Kombination von Werkstoffauswahl, Bauweisen und Herstellungsverfahren.

Bei der Gewichtsreduzierung wird auf neuartige Verbundwerkstoffe, insbesondere auf kohlenfaserverstärkten Kunststoffen (CFK), gesetzt. Diese Faserverbundwerkstoffe bieten großes Potenzial um die Anforderungen zu erreichen.

Aber auch die alternativen Antriebe, die die Anforderungen für eine nachhaltigere Zukunft gewährleisten, haben schon heute stark zugenommen. Jedoch um sich vollständig vom fossilen Kraftstoff zu trennen, muss noch viel getan werden. Die

Fahrzeuge müssen auch zu einem angemessenen Preis angeboten werden und eine akzeptable Tankstellendichte muss vorhanden sein.

Die Herausforderung dieser Masterarbeit besteht darin, Ideen zu entwickeln, die gegenüber heutigen Serienlösungen zumindest kostenneutral sind. Diese Idee kommt aus dem kleinsten Sektor der Fahrzeugnutzung, dem Bereich Bürgerbus.

Hierbei können vor allem die alternativen Antriebe und Werkstoffe helfen. In Verbindung mit neuen Konzepten eröffnen sie zukünftig neue Möglichkeiten, um die aktuelle Klimaschutz-Diskussion entgegenzuwirken.

## **1.2 Aufgabenstellung**

Der öffentliche Personennahverkehr ist in dünn besiedelten Gebieten nur schwer wirtschaftlich möglich. Um das Mobilitätsbedürfnis in diesen Bereichen zu lösen, gibt es private und staatlich geförderte Bürgerbusinitiativen, die hier eingreifen und einen Busverkehr organisieren. Für diesen Anwendungsbereich sind Sonderbauten von Bussen sinnvoll, die auf die speziellen Anforderungen abgestimmt sein müssen. Eine Reihe von Konzepten vom einfachen Kleinbus bis zu vollständigen Sonderbauten ist in diesen Bereichen im Einsatz.

Für diesen Anwendungsbereich ist ein Fahrzeugkonzept zu entwickeln, das den Anforderungen gerecht wird, bei maximalem Nutzwert mit PKW-Führerschein fahrbar zu sein, umweltfreundlich angetrieben zu sein und auf die besonderen Nutzungssituationen im Hinblick auf Fahrgäste mit Mobilitätseinschränkungen und Rollstuhlfahrer abgestimmt ist.

Hierfür sind im Rahmen dieser Masterarbeit die entscheidenden Anforderungen zu ermitteln, ein Lastenheft zu erstellen und Lösungsmöglichkeiten bezüglich geeigneter Technologien für den Antrieb und Aufbau zu erfassen und in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, ggf. Umsetzbarkeit sowie funktionale und wirtschaftliche Aspekte zu bewerten. Darauf basierend soll ein Gesamtfahrzeugkonzept entwickelt werden. Zu untersuchen ist dabei, ob ein geeignetes Grundfahrzeug oder ein Neuaufbau sinnvoll ist und das Package, Ergonomie und die Auslegung des Gesamtfahrzeuges soll erarbeitet und für Folgeprozesse der Fahrzeugentwicklung wie Design, Karosserieentwicklung und Bau dokumentiert werden.

## 2 Marktanalyse

Die Marktanalyse ist nur eine punktuelle Darstellung der Marktsituation und soll eine Übersicht über den aktuellen Stand der Technik aufzeigen. Anschließend werden strategische und operative Ziele und Maßnahmen abgeleitet.

Ein wichtiger Baustein der Marktanalyse in dieser Arbeit ist das Benchmarking. Dazu werden relevante Wettbewerber zum Thema Bürgerbusse analysiert. Im Anschluss daran erfolgt eine Kundenbefragung. Auf diese Weise werden die Kundenanforderungen, die erfüllt sein oder werden müssen, damit ein Geschäft zwischen Kunde und Lieferant längerfristig Bestand hat, ermittelt.

### 2.1 Benchmarkanalyse

Das Benchmarking ist ein wichtiger Schritt in der heutigen Fahrzeugentwicklung. Dieses Benchmark bezeichnet eine Vorgehensweise, bei der die eigene Leistung mit der Leistung der Wettbewerber verglichen wird, um seine Position am Markt zu bestimmen. Benchmarkanalysen können auf verschiedenen Ebenen durchgeführt werden. Es lassen sich sowohl ganze Firmenstrukturen mit den Wettbewerbern vergleichen als auch einzelne Produkte oder Prozesse. Die wichtigsten Ziele einer Benchmarkanalyse bei der Produkt- und Prozessentwicklung sind:

- Identifizierung von relevanten Wettbewerbern
- Bestimmung der Marktposition des eigenen Unternehmens bezüglich Werkstoff- und Prozesstechnologien
- Stärkung der Marktposition durch zukünftige Erschließung weiterer Potenziale
- Erkennen von Markttrends und Abgleich mit der eigenen Strategie

Das Ziel der Benchmarkanalyse in der vorliegenden Arbeit besteht darin, weitere Potenziale bezüglich Fahrzeugaufbaus und alternativer Antriebe für Bürgerbuskonzepte zu erschließen, sowie die Wettbewerber zu erfassen. Diese Erkenntnisse der Analyse fließen später in das Lastenheft ein. Da es im Rahmen einer Masterarbeit nicht möglich und auch nicht sinnvoll ist, alle Konkurrenzfahrzeuge detailliert zu analysieren, ist es erforderlich eine repräsentative Auswahl zu treffen. Aus diesem Grund wurden zur Analyse nur Fahrzeuge von Wettbewerbern ausgewählt, aus denen sinnvolle

Erkenntnisse für die eigene Konzeptauslegung gefunden werden konnten. Eine wesentliche Aufgabe des Benchmarking ist also die Identifizierung der relevanten Wettbewerber. Diese Wettbewerber sind im nachfolgenden Kapitel aufgelistet. Dabei dienten die Bürgerbusvereine als Informationsquelle zur Erfassung der Konkurrenten, [2].

## 2.2 Wettbewerber

Die ursprünglich aus Großbritannien stammende Idee des Bürgerbusses (voluntary transport) ist über die Niederlande nach Deutschland gekommen. Im Jahre 1985 hat die Gemeinde Heek/Legden den ersten deutschen Bürgerbus in Betrieb genommen. Seitdem hat der Bürgerbus den deutschen Nahverkehr vielseitiger gemacht. Inzwischen sind in Deutschland über 250 Bürgerbusse unterwegs (Stand April 2014), [3]. Die Abbildung 1 zeigt eine ungefähre Marktentwicklung in Deutschland von 1985 bis 2014.

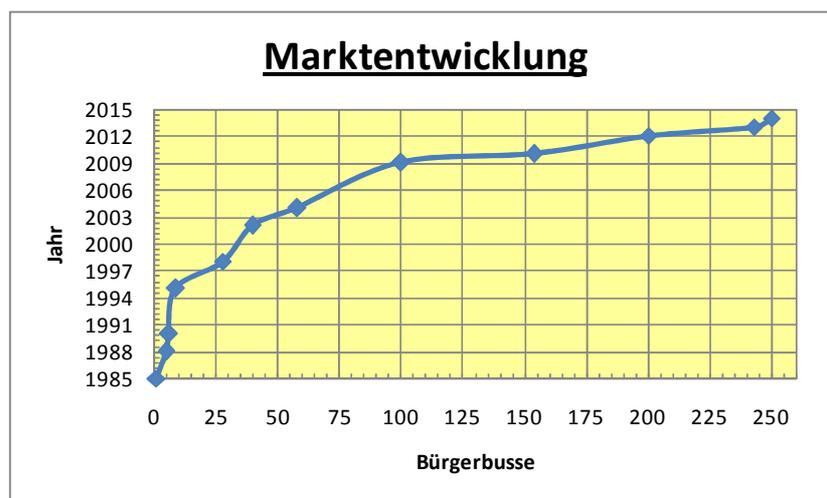


Abbildung 1: Marktentwicklung Bürgerbus, [1]

Das Diagramm veranschaulicht, dass anfänglich eine zögerliche Verbreiterung der Bürgerbusse stattfand. Jedoch in den letzten zehn Jahren die Zahl der Neuinbetriebnahmen deutlich zugenommen haben. Mittlerweile hat der Bürgerbus in zehn der 16 Bundesländer eine mehr oder weniger große Verbreiterung gefunden. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Bürgerbusverteilung in Deutschland.

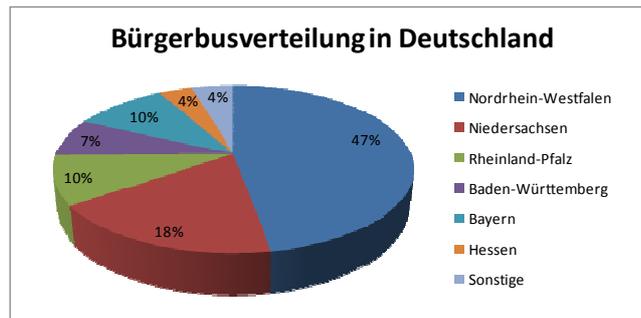


Abbildung 2: Bürgerbusverteilung in Deutschland, [1]

Mit 118 Vereinen in Nordrhein-Westfalen (NRW) befindet sich dort fast die Hälfte aller in Deutschland existierenden Bürgerbusse. Neben NRW kann besonders Niedersachsen (NDS) eine nennenswerte Anzahl von 45 Bürgerbusbetrieben anbieten, [3]. Anschließend folgen Rheinland-Pfalz mit 24, Bayern mit 23 und Baden-Württemberg mit 20 Bürgerbussen. Die restlichen Bundesländer kommen nicht über zehn Bürgerbusse hinaus.

Um die Ergebnisse der Verteilung besser einordnen zu können, werden alle Bürgerbushersteller, die im Jahr 2014 auf dem deutschen Markt verfügbar sind, zusammengefasst. Die Daten basieren auf Angaben der Hersteller und der Vereinen, [2]. Nachfolgende Abbildung 3 gibt eine Marktübersicht über die wichtigsten Hersteller der bereits verfügbaren Bürgerbusse.

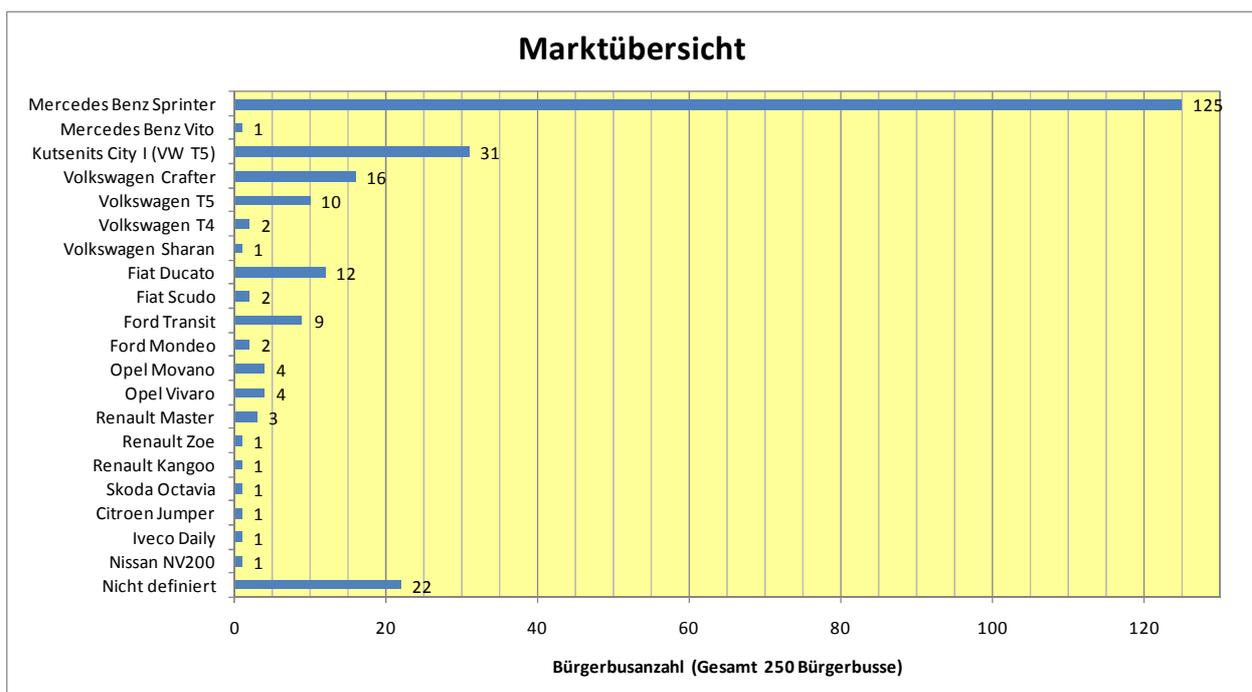


Abbildung 3: Marktübersicht Bürgerbusse, [1]

Der Marktführer in Deutschland ist mit großem Abstand der Sprinter von Mercedes Benz. Insgesamt sind 125 MB Sprinter auf den Straßen unterwegs. Davon sind allein 96 MB Sprinter in Nordrhein-Westfalen vertreten. Der Zweitplatzierte, der umgebaute Vollniederflurbus auf Basis des VW T5 Transporters, ist mit 31 Bürgerbussen in Deutschland vertreten. Neben diesen Bürgerbussen haben sich auch andere zahlreiche Hersteller auf dem Markt etabliert. Darunter der zu Mercedes Benz weitgehend baugleiche VW Crafter mit 16 Bürgerbussen. Aber auch Fiat oder Ford bieten geeignete Basisfahrzeuge an.

Wesentlich teurer sind die Fahrzeuge die von Unternehmen entsprechend umgebaut werden. Zu den Unternehmen, die die Fahrzeuge zu Bürgerbussen umbauen können, gehören beispielsweise die VDL Bus & Coach, Tribus B.V., AFM Bruns GmbH & Co. KG, TS Fahrzeugtechnik GmbH und FIBE-Bus GmbH.

Für den Kleinbusbereich ist das niederländische Unternehmen VDL Bus & Coach in Venlo zuständig. Dort werden teilniederflurige Kleinbusse auf Mercedes Benz Sprinter oder VW Crafter Chassis angeboten.

Ein weiteres niederländisches Unternehmen (Tribus B.V.), das in Utrecht angesiedelt ist, bietet Niederflurbusse auf Fiat Ducato Chassis an.

Das Unternehmen AFM Bruns GmbH & Co. KG ist in Umrüstung von PKWs zu Behindertenfahrzeugen spezialisiert. Sie entwickeln und produzieren individuelle Lösungen auf nahezu allen bekannten Basisfahrzeugen.

TS Fahrzeugtechnik bietet für den Linienbereich Kleinbusse mit Heckniederflurplattform, mittigem Niederflurbereich und Vollniederflurbusse an. Dabei werden die Chassis von Renault, Iveco und Mercedes-Benz verwendet. Die Vollniederflurbusse entstehen aus einem Fiat Ducato.

Aber wohl den erfolgreichsten Umbau für einen achtsitzigen Vollniederflurbus, der auf VW-T5 basiert, bietet das Unternehmen FIBE-Bus GmbH an. Es wurden über 30 Fahrzeuge an die Vereine übergeben.

Den Schlüssel für das Umweltproblem hat das Unternehmen German E-Cars GmbH. Dieses Unternehmen bietet eine Lösung zum alternativen Antriebssystem an. Es wird ein Minibus auf Basis des Mercedes Benz Sprinter, der umweltschonend und Raumangebot vereint, angeboten. In den nachfolgenden Kapiteln werden wichtige Bürgerbusfahrzeuge von Wettbewerbern vorgestellt.

### 2.2.1 Mercedes Benz Sprinter

Der Mercedes Benz Sprinter ist der meistverkaufte Bürgerbus auf dem Markt. Dabei wird er direkt von Mercedes Benz angeboten oder dient als Basisfahrzeug für ein Unternehmen, die eine entsprechende Umrüstung zum Bürgerbus durchführt.

Im Minibuswerk der Daimler AG in Dortmund wurde erstmals der Sprinter zum Mobility 23 (Bürgerbus) ausgebaut. Basis des Mercedes Benz Sprinter Mobility 23 ist der Anfang 2006 eingeführte Sprinter Kastenwagen. Diese Bauart steht für maximale Flexibilität. Er bietet Platz für bis zu acht Fahrgäste. Als besonderes Merkmal stehen neben Haltesystemen ebenso Rollstuhl-Rampen und Lift-Systeme zur Auswahl. Zusätzlich erlaubt das Fußboden-Schienensystem eine flexible Anbringung von Sitzen und Rollstühlen in der Fahrgastkabine. Die folgende Abbildung 4 zeigt ein Mercedes Benz Sprinter Mobility 23.



Abbildung 4: Mercedes Benz Sprinter Mobility 23, [4]

Den passenden Umbau zu dem Serienmodell liefert das Unternehmen VDL Bus & Coach aus den Niederlanden. Der umgebaute Niederflerbus, mit Platz für acht Personen und einen Rollstuhlfahrer, wird für den öffentlichen Nahverkehr angeboten. Durch den Umbau kommen zusätzliche Ausstattungsmerkmale wie Kassentisch, Zusatzbatterie und Vorbereitung für eine Freisprechanlage hinzu. In der nachfolgenden Abbildung 5 ist dieser Bürgerbus dargestellt.



Abbildung 5: Mercedes Benz Sprinter, VDL Bus & Coach, [5]

In der Tabelle 2 sind die Fahrzeugdaten sowie besondere Ausstattungsmöglichkeiten zusammengefasst.

### 2.2.2 Mercedes Benz Sprinter (e-Fahrzeug PLANTOS)

Die German E-Cars GmbH bietet eine Elektrifizierung von leichten Nutzfahrzeugen von 3,5 Tonnen bis hin zu Nutzfahrzeugen der Klasse über 12 Tonnen, [6]. Es werden Transporter, Pritschenwagen und Klein- oder Minibus von German E-Cars angeboten.

Die Klein- oder Minibusvariante kann für eine Verwendung als Bürgerbus optional mit Sitzen und Außenschwingtür ausgestattet werden.

Dabei hat German E-Cars GmbH auch einen Bürgerbus den PLANTOS auf Basis des Mercedes Benz Sprinter Kastenwagen umgebaut.

Mit rein elektrischer Energie aus Lithium-Ionen-Batterien bezwingt der PLANTOS eine Strecke von 100 Kilometern, [6]. Es ist möglich eine Zuladungsleistung von bis zu zwei Tonnen und eignet sich ideal für Transporte oder als Personenbeförderungsfahrzeug im nahen Umland oder innerhalb der Stadt.

Der emissionsfreie PLANTOS bietet auch durch den verminderten Lärmpegel einen angenehmen Komfort. Desweiteren besitzt er eine umweltfreundliche Bioethanol-Heizung, die zur Standardausstattung gehört. In nachfolgender Abbildung 6 ist der PLANTOS dargestellt.



**Abbildung 6: Mercedes Benz Sprinter PLANTOS, [7]**

In der Tabelle 2 sind die Fahrzeugdaten sowie besondere Ausstattungsmöglichkeiten zusammengefasst.

### **2.2.3 Volkswagen Crafter**

Mit dem Crafter 35 „Bus Edition“ ergänzt VW sein Kleinbussortiment um ein komfortorientiertes Sondermodell, das auf dem Crafter Kombi aufgebaut ist, [8]. Dieser ist wie auch sein Vorgänger VW Lasten Transporter (LT - 2. Generation) baugleich mit dem Mercedes Benz Sprinter und wird in den Werken Düsseldorf und Ludwigsfelde produziert.

Der Crafter ist ein Allrounder. Seine schnelle Anpassung des Fahrgastraumes ist seine Stärke. Grundlage dafür sind die klappbaren Sitze, die eine flexible Transportmöglichkeit erlaubt.

Durch das Unternehmen AFM Bruns GmbH & Co. KG wird der Crafter zu einem behindertengerechten Bürgerbus umgebaut. So entsteht zu den acht Sitzen ein zusätzlicher Platz für einen Rollstuhlfahrer. Die folgende Abbildung 7 zeigt eine mögliche Variante, wie ein Bürgerbus aussehen könnte.



Abbildung 7: VW Crafter 35, [9]

In der Tabelle 2 sind die Fahrzeugdaten sowie besondere Ausstattungsmöglichkeiten zusammengefasst.

#### 2.2.4 Volkswagen T5 (Kutsenits City I)

Der VW T5 wird nicht werksseitig direkt als Bürgerbus produziert, aber ein Unternehmen ist bereit gewesen, diese Anpassungen vorzunehmen. Seitdem vertreibt dieses Unternehmen FIBE-Bus GmbH erfolgreich seine umgebauten Vollniederflurbusse auf Basis des VW T5 Transporters. Im Verkehrsverbund Bremen-Niedersachsen sind mehrere City I im Einsatz. Die Bürgerbusse werden nach den Wünschen der Vereine individuell ausgestattet. So besitzen die Bürgerbusse zahlreiche Ausstattungsmöglichkeiten wie z.B.: Manuelle Klapprampe, Rollstuhlplatz mit Anlehnbalken und Sicherungsmöglichkeiten, Acht Fahrgastsitze, Klappsitz / Kindersitz, und Informationsanlagen (Zielanzeigen). Zudem ist der Eingangsbereich als auch der gesamte Wagenboden ebenerdig. Durch die ganzen Möglichkeiten erreicht die Qualität sehr nah den Öffentlichen Nahverkehr. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt den umgebauten Bürgerbus VW Kutsenits City I.



Abbildung 8: VW Kutsenits City I, [10]

In der Tabelle 2 sind die Fahrzeugdaten sowie besondere Ausstattungsmöglichkeiten zusammengefasst.

### 2.2.5 Fiat Ducato

Einen komfortablen Vertreter zum VW Kutsenits City I bietet das niederländische Unternehmen Tribus B.V. an. Der Vertreter ist ein Niederflrbus, basierend auf dem Fiat Ducato, der in Utrecht umgebaut wird. Dort wird er auch als „Civitas 10“ genannt, [11]. Aufgrund seiner kompakten Außenabmessungen, großzügigen Komfort sind ebenfalls mehrere Niederflrbusse im Verkehrsverbund Bremen-Niedersachsen im Einsatz. Dieser Niederflrbus, der in der Lage ist bis zu acht Personen zu transportieren, kann auch zusätzlich für Flughafen-Transfers, Shuttleservice für Unternehmen verwendet werden. Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt den umgebauten Bürgerbus Fiat Ducato Civitas 10.



Abbildung 9: Fiat Ducato Civitas 10, [11]

Einen weiteren Vertreter auf Basis des Ducatos bietet das Unternehmen TS Fahrzeugtechnik GmbH an. Sie produzieren in Thüringen Sonderumbauten aller Art nach ganz speziellen Kundenwünschen. Zugleich kann auch die Innenausstattung individuell gestaltet werden.

Der vorliegende Vertreter des Unternehmens ist kein Niederflerbus, sondern nur ein betriebsgerechter Umbau zum Bürgerbus. Der serienmäßige Ducato Kastenwagen verglast besitzt acht Fahrgastsitze und zusätzlich eine elektrisch ausfahrbare Trittstufe. In der nachfolgenden Abbildung 10 ist dieser Bürgerbus dargestellt.



Abbildung 10: Fiat Ducato, TS Fahrzeugtechnik GmbH, [1]

In der Tabelle 2 sind die Fahrzeugdaten sowie besondere Ausstattungsmöglichkeiten zusammengefasst.

## 2.3 Auswertung

Die richtige Entscheidung für ein passendes Fahrzeugmodell ist heutzutage sehr schwer zu treffen. Bei dieser Entscheidung spielen viele unterschiedliche Faktoren eine Rolle. Dabei werden unter anderem der Kostenaufwand, die Effizienz, die Profitabilität und sogar das Herkunftsland des Fahrzeuges berücksichtigt. Bei der Auswahl steht auf der einen Seite der Fiat Ducato mit seinen italienischen Wurzeln und auf der anderen Seite das deutsche Fabrikat der Mercedes Benz Sprinter bzw. der baugleiche VW

Crafter, der aus einem gemeinsamen Entwicklungsprojekt kommt und technisch eng verwandt ist.

Aber die Zulassungszahlen sprechen eine klare Sprache. In Deutschland steht der Mercedes Sprinter bei den gewerblichen Transportern bis 3,5 Tonnen ganz oben. Der Baugleiche VW Crafter, rangiert dagegen nach dem Fiat Ducato erst auf dem dritten Rang, [12]. Auch bei den Bürgerbussen gibt der Stern klar die Marschrichtung vor. Für den Mercedes Sprinter entscheidet sich die Hälfte der Kunden obwohl die Anschaffungskosten höher sind als bei Fiat. Auch das Sprinter Fahrgestell kostet oft schon so viel, wie ein komplettes Basisfahrzeug von Fiat.

Aber der Ducato steht dem Sprinter in nichts nach. Aufgrund des günstigeren Grundpreises wird der Fiat Ducato als Fundament für Bürgerbusse mit Niederflurtechnik verwendet. Desweiteren nimmt das Basisfahrzeug eine Vorreiterrolle in Reisemobilen ein. In dieser Branche ist der Fiat Ducato mit seinem Fundament bzw. Fahrgestell seinen Mitbewerbern weit voraus.

Sogar der VW T5, der in Sachen Fahrkomfort unschlagbar ist, wird als Fundament für Reisemobile und Bürgerbusse verwendet. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass das Fahrgestell nicht auf 3,5 Tonnen ausgelegt ist. So werden zahlreiche Umbaumaßnahmen erfolgen müssen.

Trotz des hohen Aufwands und den hohen Anschaffungskosten, findet der VW T5 seine Kundschaft. Der Bürgerbus auf Basis T5 wird ebenfalls mit Niederflurtechnik ausgestattet, damit ein barrierefreier Einstieg gewährleistet werden kann.

Weit abgeschlagen bei den Basisfahrzeugen ist der heckangetriebene VW Crafter. Beim Fundament wird meistens der T5, der einen Frontantrieb besitzt, gegenüber dem aus dem gleichen Haus stammenden Crafter Fundament bevorzugt.

Zumal spart ein Frontantrieb auch an Gewicht, da die Hersteller die aufwendige Kardanwelle zur Hinterachse auslassen. Desweiteren ist der Frontantrieb im Winter eindeutig die bessere Wahl. Der schwere Motor belastet die Vorderräder, die dadurch beim Anfahren nicht so schnell durchdrehen wie die heckangetriebenen Räder, [13].

Aber durch die schwere Belastung auf der Vorderachse müssen beim Frontantrieb auch Abstriche bei Handling und Traktion in Kauf genommen werden.

Eine Zusammenfassung der Fundamente bzw. Fahrgestelle sind in der Tabelle 1 dargestellt. Diese sind wesentlich besser für Aus- oder Aufbauten von Basisfahrzeugen geeignet. Dabei bieten unterschiedliche Hersteller die Fahrgestelle mit einer Vielzahl an Konfigurationen an. Wahlweise sind die Fahrgestelle mit Fahrerhaus, mit Doppelkabine

oder mit Flachboden auswählbar. Zudem sind auch hier Fahrgestellversionen mit unterschiedlichen Radständen sowie unterschiedlicher Motorisierung vertreten. So werden die Fahrgestelle problemlos zum Rettungswagen, Verkaufsfahrzeug, Tiefkühltransporter, Kipper oder Bürgerbussen umgebaut.

**Tabelle 1: Fahrgestelle - Technische Daten, [1]**

Technische Daten	Mercedes Benz Sprinter				VW Crafter		VW T5	Fiat Ducato			
	Fahrgestell 310 CDI mRD	Fahrgestell mit Tieffahren 310 CDI mRD	Fahrgestell 313 CDI IRD	Fahrgestell mit Tieffahren 313 CDI IRD	Fahrgestell 35 mRD	Fahrgestell 35 IRD	Fahrgestell IRD	Fahrgestell 35 L2H1	Fahrgestell mit Flachboden 35 L4H1	Fahrgestell 35 L4H1	Fahrgestell mit Flachboden 35 L4H1
<b>Abmessungen</b>											
Länge [mm]	5870	6775	6680	7150	5865	6675	5292	5358	5358	5943	5943
Breite [mm]	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1904	2050	2050	2050	2050
Höhe [mm]	2410	2390	2400	2385	2345	2345	1949	2254	2153	2254	2153
Radstand [mm]	3665	3850	4325	4100	3665	4325	3400	3450	3450	4035	4035
Überhang vorn [mm]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	896	948	948	948	948
Überhang hinten [mm]	1205	1925	1365	2050	1200	1350	996	960	960	960	960
Wendekreis [mm]	13600	14100	15600	14900	13500	15600	13200	12460	12460	14260	14260
Fahrerhauslänge [mm]	2594	2482	2594	2501	2550	2550	2467	2338	2338	2338	2338
Empfohlene Aufbauhöhe [mm]	3363	4293	4173	4649	3670	4425	3264	4130	4130	5045	5045
Höhe Rahmenkante [mm]	600	485	600	485	600	600	619	650	540	650	540
<b>Motor- und Fahrleistung</b>											
Leistung [kW]	70	70	95	95	80	100	103	96	96	96	96
Zylinder/Anordnung	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4	4	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe
Hubraum [cm³]	2143	2143	2143	2143	1968	1968	1968	2287	2287	2287	2287
Getriebe	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell
Antriebsart	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Front	Front	Front	Front	Front
Tankinhalt Dieselkraftstoff [l]	75	72	75	72	75	75	80	90	90	90	90
Zulässiges Gesamtgewicht [kg]	3500	3500	3500	3500	3500	3500	2800	3500	3500	3500	3500
Nutzlast [kg]	1710-1795	1645-1735	1680-1765	1630-1685	1403-2069	1371-2039	1024	1750	1885	1770	1870
Leergewicht mt Fahrer [kg]	1705-1790	1765-1855	1735-1820	1815-1870	1431-2097	1461-2129	1776	1750	1615	1730	1630
Preis (ungefähr)	36000	-	39000	38000	34800	37300	33700	31000	-	31700	-

Nach einer Betrachtung dieser Wettbewerber zeigt sich, dass keines dieser Fahrzeuge mit einer alternativen Technologie für den Aufbau versehen ist. Auch alternative Antriebsformen werden bisher lediglich von einem Unternehmen angeboten. Klassische Anbieter wie Mercedes Benz oder Volkswagen stecken diesbezüglich erst in den Startlöchern. So rüstet das Unternehmen German E-Cars GmbH ein Bürgerbus mit Elektroantrieb aus. Der mit Elektroantrieb ausgestattete Bürgerbus bietet eine ideale Möglichkeit für den Einsatz nachhaltiger Mobilitätskonzepte.

Allerdings bringt die Elektrifizierung von Bürgerbussen auch Nachteile mit sich. Bei einer Zuladung von acht Personen und einen Fahrer beträgt das zulässige Gesamtgewicht 3,88 Tonnen. Zur Lösung des Problems sind zwei Wege möglich. Zum einen kann die Nutzlast reduziert werden. Gleichzeitig bringt das auch eine Reduzierung der Personenzahl (max. 4-5 Fahrgäste). Zum anderen kann der Führerschein um die Klassen BE (7,5 Tonnen) erweitert werden. Bei alten Führerschein (Klasse 3) kann beim Umtausch vor dem 50. Geburtstag beide Klassen B und BE erworben werden.

Dennoch soll ein Forschungsprojekt, das in Baden-Württemberg stattfindet, mit diesem Elektrofahrzeug wichtige Erkenntnisse liefern in wie weit der Einsatz der Elektromobilität der öffentliche Nahverkehr auf dem Land verbessert werden kann. Dabei sind neben

der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg das Verkehrswissenschaftliche Institut Stuttgart (VWI) sowie zahlreiche andere Partner beteiligt. Das Projekt ist am 22 September 2014 gestartet und ist auf zwei Jahre angelegt. Das Projekt soll zeigen ob das Mobilitätskonzept ein tragfähiges Geschäftsmodell ist. Außerdem wird das Projekt auch Daten liefern, welche Besonderheiten in den Anwendungsgebieten einbeziehen werden müssen, [14].

Letztendlich muss den Kunden im Vorfeld klar sein, welche Schwerpunkte das Fahrzeug erfüllen soll. Die Tabelle 2 zeigt Informationen über die Bürgerbusse und ihre Serienfahrzeuge. Dabei ist die folgende Legende zu beachten:

- Serienmäßige Ausstattung
- Sonderausstattung
- Nicht verfügbar

Tabelle 2: Bürgerbusse und ihre Serienfahrzeuge - Technische Daten, [1]

Technische Daten	Mercedes Benz Sprinter				Volkswagen Crafter				Volkswagen T5			Fiat Ducato				
Fahrzeugentwickler	Mercedes Benz	E-Cars GmbH	Mercedes Benz	VDL Bus & Coach	Volkswagen	AFM Bruns GmbH	Volkswagen	TS Fahrzeugtechnik	Volkswagen	FIBE-Bus GmbH	Fiat	TS Fahrzeugtechnik	Fiat	Tribus B.V.		
Fahrzeugtyp	Mobility Z3				Crafter 35 Kombi HD IRD				T5			35 Maxi L2H2				
Bauformen	Serie	Bürgerbus Plantos	Serie	Bürgerbus	Serie	Bürgerbus	Basisfahrzeug	Shuttlebus Follow Me Car	Basisfahrzeug	Bürgerbus Kuitsenis City I	Serie	Basisfahrzeug	Bürgerbus	Basisfahrzeug	Bürgerbus Civitas	
	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Teilniederflur	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Vollniederflur	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Mittelfurbus	Teilniederflur	
<b>Beförderungskapazität</b>																
Sitzplätze	8 / 7 + 1	8 + 1	8	8 + 1	8	8	8	8	6 - 8	8	8	-	8	-	8 + 1	
<b>Abmessungen</b>																
Länge [mm]	5910	5910	5910	5909	6940	6940	6940	5905	5905	5292	6000	5998	5413	5413	6363	6363
Breite [mm]	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1904	2060	2050	2050	2050	2050	2050
Höhe [mm]	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima	2620 / 2850 Klima
Radstand [mm]	3665	3665	3665	3665	4325	4325	4325	3665	3665	3400	4000	4035	3450	3450	4035	4035
Überhang vorn [mm]	1004	1004	1004	1004	1000	1000	1000	1000	1000	896	896	948	948	948	948	948
Überhang hinten [mm]	1240	1240	1240	1240	1615	1615	1615	1240	1240	996	1104	1015	1015	1015	1380	1380
Wendekreis [mm]	13600	13600	13400	13400	16500	16500	16500	13600	13600	13200	14000	12500	12500	12500	14300	14300
Stehhöhe [mm]	1900	1900	1900	1900	1940	1940	1940	1940	1940	1262	2070	1932	1932	1932	1932	1932
Einstieghöhe/Einstiegsstufe [mm]	690 / 460	690 / 460	690 / 460	320	670 / -	670 / -	670 / -	670 / 340	670 / 340	565 / -	280	535	550	550 / -	550	270
Fahrzeugbauweise	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Selbsttragende Konstruktion	Umbau im Gerippebauweise	Selbsttragende Konstruktion	Umbau				
<b>Motor- und Fahrleistung</b>																
Leistung [kW]	80	85	140	140	100	100	80	80	103	103	96	96	96	96	96	96
Zylinder/Anordnung	4/Reihe	-	6/ V 72*	6/ V 72*	4	4	4	4	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe	4/Reihe
Hubraum [cm³]	2148	-	2987	2987	1968	1968	1968	1968	1968	1968	2287	2287	2287	2287	2287	2287
Getriebe	Manuell / Automatik	Manuell	Manuell / Automatik	Automatik	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell / Automatik	Automatik	Manuell / Automatik	Manuell / Automatik	Manuell / Automatik	Manuell / Automatik	Automatik	Automatik
Antriebsart	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Heck	Front	Front	Front	Front	Front	Front	Front	Front
Tankinhalt Dieselmotoren [l]	75	75	110	110	75	75	75	75	80	65	90	90	90	90	90	90
Zulässiges Gesamtgewicht [kg]	3500	3880	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3080	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Nutzlast [kg]	987-1355	680	1170-1295	704	641-1281	641-1281	641-1436	-	527-724	750	1460	1460	-	1365	700	700
Leergewicht [kg]	2145-2513	3200	2205-2330	2796	2219-2859	2219-2859	2064-2859	-	2356-2553	2750	2040	2040	-	2135	2800	2800
Energiespeicher	-	196 Zellen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reichweite [km]	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ladezeit	-	400 V / 32 A ≤ 2,5h 230 V / 16 A ≤ 14h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ausstattungsanfänge</b>																
Anti-Blockier-System (ABS)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Antriebs-Schlupf-Regelung (ASR)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Anfahrassistent/Berganfahrassistent	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Bremsassistent	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tempomat	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Nebelscheinwerfer	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Scheinwerfer-Reinigungsanlage	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Rückfahrkamera	-	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Fahrer-Klimaanlage	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Fahrgast-Klimaanlage	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Fahrgast-Zusatzheizung	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Zusatzwärmetauscher	•	•	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Deckenventilator	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rundumverglasung	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Trittsstufe (Schiebetür)	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Trittsstufe (Heck)	-	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Schiebetür rechts	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Doppeltür (elektrisch)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Haltegriff im Einstiegsbereich	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Haltestange/Haltegriffe	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Klapprampe (Heck)	o	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear-Hublift (Heck)	o	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterflur-Lift (Heck)	o	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klapprampe (Seite)	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ausstiege beleuchtet	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Halteknopfanlage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zielanzeige	-	-	-	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Wagen-hält-Anzeige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bildschirm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	o	o	o	o	o
Kasse und Geldwechsler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	o	o	o	o	o
Sitzheizung für Fahrersitz	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Fahrerairbag	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lenkrad verstellbar	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Multifunktionslenkrad	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Außenspiegel heizbar und elektrisch verstellbar	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Heckscheibe beheizbar	o	o	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Klappsitze	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Bodensystem/Bodenbelag	Aluminium	Aluminium	Kunststoff	-	Kunststoff	Kunststoff	Kunststoff	Rutschhemmender	o	Kunststoff	Holzboden	Holzboden	Aluminium	Holzboden	Aluminium Taraflex	
Dreipunkt-Sicherheitsgurte	•	•	•	•	-	-	-	-	o	-	-	-	•	-	•	
Rollatorenhaltesystem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Rollstuhlsystem	o	o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Preis (ungefähr)	45000	88500	54000	77000	47000	60000	39400	-	64100	89000	44200	35000	44500	37000	80600	

## 2.4 Kundenanforderungsanalyse

Die Anforderungen stellen die Schnittstelle zwischen den Kunden und dem Unternehmen dar. Deshalb beginnt die Klärung von Kundenanforderungen an ein neues Produkt zu Anfang einer Entwicklung mit ihrer Ermittlung, da nur bei Erfüllung dieser Anforderungen Kundenzufriedenheit erreicht werden kann.

Dabei werden unterschiedliche Instrumente der Marktforschung verwendet. Nachfolgend werden die Methoden zur Ermittlung der Kundenanforderungen dargestellt, [15]:

- Sekundärforschung (Zusammenstellung und Auswertung von verfügbaren Datenmaterials wie z.B. Statistiken, Internet)
- Primärforschung
  - Beobachtung (z.B. Feldbeobachtung, Laborbeobachtung)
  - Befragung (telefonisch, persönlich, schriftlich, computergestützt)
  - Experiment (z.B. Labortest, Markttest (Marketing), Warentest, Studiotest)

Die Herangehensweise in dieser Arbeit ist die Befragung von Kunden bzw. Bürgerbusvereinen. Grundsätzlich geht es nicht nur bei der Kundenbefragung darum die Anforderungen besser kennenzulernen, sondern soll auch die Stärken und Schwächen der Anforderungen aufzeigen.

Im Zuge eines Rating-Verfahrens werden die Befragten gebeten, für jede Anforderung separat die Wichtigkeit mittels einer Skala (von 1 bis 10) anzugeben. Unwichtig erscheinende Anforderungen erhalten wenige Punkte, sehr wichtige Aspekte werden durch die Vergabe von überproportional vielen Punkten betont.

Anhand der Wettbewerbsanalyse wurden folgende 17 Anforderungen festgelegt: Kundenservice beim Fahrzeugkauf, Fahrzeugpreis, Finanzierung/Förderung, Qualität, Prestige/Image, Lieferzeit, Design, Motorleistung, Kraftstoffverbrauch, Wartung, Komfort, Ausstattung, Benutzerfreundlichkeit, Mitnahme von Rollstuhlfahrern, Sicherheit, Umweltfreundlich und Markentreue.

Zudem lassen sich mit diesem Verfahren Informationen zu den Abständen zwischen einzelnen Kundenerwartungen liefern und die Anforderungen können auch nach Wichtigkeit geordnet werden.

Zusätzlich werden Fragen gestellt, die die Wettbewerbsanalyse in Ihrer Auswertung bestätigen. Desweiteren soll herausgefunden werden wie oft Rollstuhlfahrer

mitgenommen werden, da es keine Statistiken und Zahlen von Mitnahme von Rollstuhlfahrern existieren.

Im Hinblick auf die Formulierung wird darauf geachtet, dass die Fragen eindeutig sind, aufeinander aufbauen und zielrelevant gestellt werden und möglichst einfach zu beantworten sind. Ein Bewertungsbogenexemplar ist im Anhang A dargestellt.

Die Ergebnisse basieren auf einer online Befragung. Dabei bestand die Gefahr eine geringe Rücklaufquote zu erzielen. In der Regel liegt die Rücklaufquote bei bis zu 20%. Mit Hilfe einer genauen Beschreibung worum es geht, sollte bei dieser Befragung ein persönlicher Bezug zum Kunden hergestellt werden. So vermindert sich die Distanz zwischen Kunden und dem Autor und die Rücklaufquote vergrößert sich.

Der Zeitraum des Rücklaufs wurde so gewählt, dass keine Schulfreien oder bevorzugte Urlaubszeiten für alle Bundesländer vorlagen. Bei 50 verschickten E-Mails betrug die Rücklaufquote 26%.

Aufgrund der Vielzahl von Anforderungen und deren Wechselbeziehungen ist eine Priorisierung erforderlich. Zudem wird die Konzentration auf wesentliche Aspekte gelegt, ohne die anderen Anforderungen aus dem Auge zu verlieren. Die Reihenfolge lässt Schlussfolgerungen auf deren Wichtigkeit zu. In der nachfolgenden Abbildung 11 ist die Priorisierung dargestellt.



Abbildung 11: Priorisierung der Anforderungen von Kunden, [1]

Das Ergebnis zeigt, dass der Kundenservice (88%) eine sehr wichtige Anforderung beim Kauf von Fahrzeug ist. Der Kunde akzeptiert keine langen Wartezeiten am Telefon mehr und ist auch mit einer längeren Wartezeit bei der E-Mail-Bearbeitung nicht mehr zufrieden. Heute erwarten die Kunden vor allem Schnelligkeit, Mobilität, Flexibilität und Individualität. Im Gegenzug für den guten Kundenservice spielen dann die Anforderungen wie Prestige/Image (69%) oder Markentreue (71%) keine übergeordnete Priorität mehr. Auch längere Lieferzeit (72%) wird in Kauf genommen. Dementsprechend ist Kundenservice die wichtigste Basis um erfolgreich Fahrzeuge bzw. Bürgerbusse an den Kunden zu bringen.

An zweiter Stelle wird von 85% aller Befragten die Qualität, die unter anderem die Robustheit und Zuverlässigkeit widerspiegelt, genannt. Darauf folgen die Anforderungen Sicherheit (84%) und Wartung (82%).

Unter Wartung wird die Reinigung, die Pflege, die laufende Instandhaltung verstanden und ist dadurch eine grundlegende Voraussetzung für die Sicherheit. Aufgrund der hohen Wertigkeiten der beiden Anforderungen nimmt die Sicherheit der Fahrzeuginsassen einen besonderen Stellenwert ein. Eine weitere Anforderung, die einen hohen Stellenwert einnimmt, ist die Benutzerfreundlichkeit (81%).

Vorwiegend wird der Bürgerbus von älteren und gehbehinderten Personen genutzt und muss daher einen klaren Aufbau und eine einfache Bedienung wie möglich aufweisen. Dieser Gesichtspunkt nimmt deswegen gegenüber Komfort (73%) und Ausstattung (78%) einen höheren Stellenwert ein. Auch das Design (71%) spielt eher eine untergeordnete Rolle bei den Kunden. Somit sollte bei der Ergonomie ein besonderes Augenmerk auf die Benutzerfreundlichkeit gelegt werden.

Anschließend wird von 80% aller Befragten der Fahrzeugpreis, der sehr stark von der Finanzierung bzw. Förderung (78%) anhängig ist, genannt. Diese Anforderungen liegen fast auf gleicher Ebene, da die Beschaffung des Busses mit der Förderung finanziert wird.

Die weiteren Anforderungen stehen zunächst meist nicht in Beziehung zueinander. Jedoch der Zusammenhang zwischen den Anforderungen ergibt sich oft erst anhand des gemeinsamen Anspruchsobjektes. Beispielsweise besteht ein Konflikt zwischen der Verbesserung der Umweltfreundlichkeit auf der einen Seite und der Erhöhung der Motorleistung auf der anderen Seite. Das Anspruchsobjekt stellt das Kraftstoffverbrauch des Fahrzeuges dar: eine Verbesserung der Umweltfreundlichkeit (78%) ist durch eine

Senkung des Kraftstoffverbrauchs (76%) zu realisieren, eine Erhöhung der Motorleistung (78%) führt jedoch zur Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs. Somit lässt sich die Anforderung mit dem bestehenden Konzept unter Umständen nicht lösen. Ein möglicher Ansatz wäre es hier beispielsweise, eine alternative Antriebstechnologie zu wählen.

Desweiteren halten 52% der Befragten die Mitnahme von Rollstuhlfahrern eher für unwichtig, womit dann diese Anforderung das Schlusslicht in der Befragung bildet. Dabei befördern 38% der Befragten einmal bis zweimal pro Monat einen Rollstuhlfahrer (siehe Abbildung 12), sodass sich die Frage stellt „Inwieweit werden elektrische Lift- oder Hubsysteme benötigt?“.

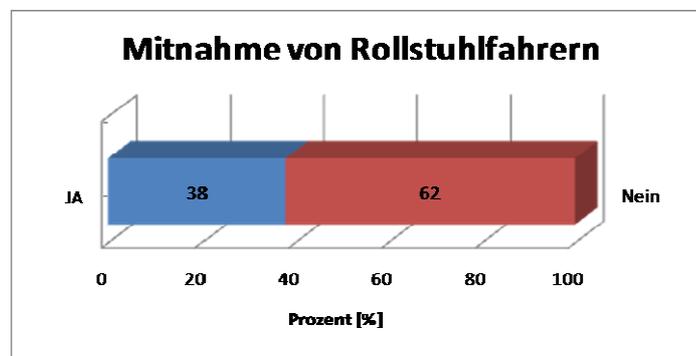


Abbildung 12: Mitnahme von Rollstuhlfahrern, [1]

Das Ergebnis der Kundenbefragung ist besonders für die eigenen strategischen und operativen Ziele relevant. Je besser ein Unternehmen über die Anforderungen der Kunden Bescheid weiß, umso besser kann es mit seinem Produkt reagieren. Allerdings lässt sich bei dieser Befragungsmethode immer wieder beobachten, dass Befragte dazu neigen, allen Anforderungen sehr hohe Bedeutungen zuzuordnen, da in dem Ansatz kein fiktives Punktekonto (z.B. 100 Punkte) gegeben wird. Dabei kann die Begrenzung der verfügbaren Punkte die angesprochene Problematik verhindern, sodass von realistischeren Ergebnissen ausgegangen werden kann.

## 3 Umfeldbetrachtung Bürgerbus

### 3.1 Zielgruppe/Bedarf

In den ländlichen Regionen ist der Linienbusverkehr durch unterschiedliche Struktureigenschaften, wie geringe Einwohnerdichte, vergleichsweise viele PKWs, aber auch durch eine Entvölkerung, beschränkt. In diesen dünn besiedelten Regionen, in denen das herkömmliche Linienangebot unwirtschaftlich ist, erfordern insbesondere neue Lösungen um Mobilität zu gewährleisten. Für die Tauglichkeit einer Alternative zum Linienbusverkehr sind drei Merkmale innerhalb einer Region entscheidend:

- **Mobilitätsnachfrage zwischen ländlichen Gemeinden / Ortsteilen**  
Eine zufriedenstellende Infrastrukturausstattung wie z.B. Versorgungs- oder Einkaufseinrichtungen in den ländlichen Gemeinden ist ein Grund für die Einführung von alternativen Beförderungsfahrzeugen.
- **Benutzergruppen und deren Wegezwecke**  
Zu den Benutzergruppen gehören die Senioren, Jugendliche, Hausfrauen/-männer. Dabei sind die Wegezwecke Freizeit, Versorgung und Einkaufen.
- **Fahrgastpotenzial in der Bedienungsregion**  
Feststellung des Mobilitätsbedürfnisses in den jeweiligen Bedienungsregionen.

Um diese Einrichtungen von den umliegenden Gemeinden erreichen zu können und um Lücken im normalen Bus- und Bahnverkehr zu ergänzen, werden Bürgerbusse als ergänzende Beförderungsfahrzeuge eingeführt.

Der Bürgerbus ist dafür zuständig, dass die Menschen in den umliegenden Gemeinden einen größeren Aktionsradius bekommen. Damit wird auch die Attraktivität in den ländlichen Bedienungsregionen aufrecht erhalten und die dort lebenden Menschen haben keine Mobilitätseinschränkungen.

### 3.2 Bürgerbusbetreiber

Zu einer Betriebseinführung eines Bürgerbusses sind drei beteiligte Akteure erforderlich, die zusammen einen reibungslosen Busbetrieb gewährleisten. Ein Verein, eine Verkehrsgesellschaft und eine Gemeinde sind die drei tragenden Säulen. Im Folgenden werden die drei Säulen kurz vorgestellt.

### **3.2.1 Der Verein**

Ein Bürgerbusverein ist eine freiwillige und auf Dauer angelegte Vereinigung von Bürgerinnen und Bürger einer Stadt oder Gemeinde. Dieser Verein ist der zentrale Aufgabenträger jedes Bürgerbusprojektes und derjenige der die Fahrer einstellt sowie für einen ordnungsgemäßen Betrieb sorgen muss. Zu seinen Aufgaben gehören, [16]:

- Gesamte Organisation des Linienbetriebes
- Öffentlichkeitsarbeiten
- Betreuen aktiver und anwerben neuer Fahrer/innen
- Technische Abwicklungen (Anschaffung des Busses bis zur Fahrzeugpflege)
- Kassenführung

Dabei bilden beispielweise ein Geschäftsführer, ein Vorsitzender und sein Stellvertreter, ein Kassenwart, ein Schriftführer und mehrere Beisitzer die personelle Grundausstattung eines Bürgerbusvereins.

### **3.2.2 Die Verkehrsgesellschaft**

Aufgrund der hohen Anforderungen des deutschen Personenbeförderungsgesetzes (PBefG), das die Beförderung von Personen regelt, sind die Verkehrsgesellschaften die Eigentümer des Fahrzeugs. Desweiteren besitzen sie die Konzession zum Betrieb von Bürgerbuslinien. Somit ist die örtliche Verkehrsgesellschaft eine wichtige Verbindung für den Verein. Sie übernimmt folgende Aufgaben, [16]:

- Schließt notwendige Versicherungen ab
- Ggf. Fahrzeugbeschaffung und Fahrzeugwartung
- Unterstützung des Bürgerbusvereins bei administrativen Aufgaben
- Haltestellen mit dem Verein einrichten
- Fahrpläne überprüfen und koordinieren
- Betreuung der Betriebskostenabrechnung

### **3.2.3 Die Gemeinde**

Die Gemeinde, Stadt oder Landkreis stellt zusätzliche Finanzmittel und schafft damit erst die Voraussetzung für den Fahrzeugkauf. Hinzu kann die Gemeinde weitere

Zuschüsse bei der zuständigen Bezirksregierung beantragen. Somit wird eine finanzielle Sicherheit dem Verein gegeben. Die Aufgabenverteilung zwischen den Partnern wird an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten angepasst.

### **3.3 Die Bürgerbusfahrerinnen und -fahrer**

Das ehrenamtliche Engagement von Fahrern ermöglichen erst die Bürgerbusprojekte. Sie sind das Rückgrat eines jeden Projektes. Nicht nur ältere Bürger stellen sich für den Fahrdienst zur Verfügung. Sondern auch Schüler, Studenten, Hausfrauen, Berufstätige und Erwerbslose.

Damit eine reibungslose Betriebsaufnahme gewährleistet werden kann, benötigt der Bürgerbusverein eine große Anzahl von zugelassenen Fahrern und einen funktionsfähigen Dienstplan. Aber nicht jeder Fahrer, der einen Führerschein besitzt, darf auch einen Bürgerbus steuern. Die Voraussetzungen um eine Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung zu erhalten sind, [16]:

- Ein Mindestalter von 21 Jahre
- Besitz eines Führerscheins der Klasse B oder Klasse III (ggf. muss die Klasse III auf die neuen EU-Klassen umgestellt werden)
- Mindestens zwei Jahre Fahrpraxis
- Ein aktuelles polizeiliches Führungszeugnis
- Besuch eines Erste-Hilfe-Kurses

Zudem müssen die Bürgerbuskandidaten regelmäßig, ab einem Alter von 65 Jahren jährlich, auf die Tauglichkeit von Arbeits- oder Betriebsmediziner untersucht werden. Wenn diese Nachweise vollständig erbracht sind, darf die Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung für maximal fünf Jahre erteilt werden. Anschließend werden die neuen Bürgerbusfahrer durch eine entsprechende Person in den Bürgerbusbetrieb eingewiesen.

### **3.4 Finanzierung**

Die Wirtschaftlichkeit eines Bürgerbusses hängt von den finanziellen Umständen ab. Dabei sind zwei Blöcke zu unterscheiden: Investitionen und Betriebsmittelkosten. Die Beschaffung des Busses macht die größte Investition. Diese werden durch

Förderungen teilweise finanziert. Der zweite Block, die Betriebsmittel, sind laufende Kosten, die jeden Monat immer wieder anfallen. Im Folgenden werden die zwei Blöcke vorgestellt.

### 3.4.1 Förderungsmittel

Jedes Bundesland besitzt unterschiedliche Förderungsmodelle. Deswegen wird zuerst die Förderung des Verkehrsministeriums von NRW dargestellt und anschließend die Förderung von NDS. In den beiden Bundesländern sind die meisten Bürgerbusvereine beheimatet und haben gesetzlich geregelte Zuschüsse. Im Bundesland NRW bestehen 118 Vereine und im Bundesland NDS bestehen über 45 Vereine.

Das Land NRW hat aufgrund der stetig wachsenden Anzahl der Bürgerbusse die Bürgerbusförderung im ÖPNV-Gesetz NRW (Öffentlicher Personennahverkehr-Gesetz) verankert. Damit unterstützt das Land NRW die Bürgerbusvereine und sichert eine Gleichbehandlung der Vereine unter sich.

Die folgende Tabelle 3 bezieht sich auf die Zuschüsse des Landes NRW (Stand 2014), [17]. Dabei ist die Voraussetzung für eine finanzielle Förderung in NRW die Zusage der Gemeinde, die ungedeckten Kosten des laufenden Betriebes zu tragen.

**Tabelle 3: Zuschüsse Nordrhein-Westfalen, [1]**

<b>Busbetrieb</b>	
Erstanschaffung eines Bürgerbusses 40.000€	Für ein behindertengerecht ausgebaute Folgefahzeug 50.000€
Erstanschaffung eines behindertengerecht ausgebauten Bürgerbusses 55.000€	Zusätzlicher Zuschuss bei Bürgerbusfahrzeugs mit Erdgas- oder Hybridantrieb 2.000 €
Folgefahzeug 35.000€	
<b>Organisationszuschuss</b>	
Jährliche Organisationspauschale von 5.000€	

Bei der Anschaffung eines Folgefahzeuges muss das Altfahzeug sieben Jahre gefahren sein oder nach mindestens fünf Jahren einen Kilometerstand von 300.000 Kilometer aufweisen. Die Einnahmen des Altfahzeuges fließen mit in die Finanzierung des neuen Fahrzeuges ein.

Im Gegensatz im Land NDS wird der Bürgerbus zu 75% vom Land finanziert. Die zuwendungsfähigen Ausgaben werden wie folgt begrenzt, [18]:

- Standard- (Hochboden) Bürgerbus mit 70.000€
- Niederflur-Bürgerbus mit 80.000€

Zusätzlich wird zu 75% von maximal zuwendungsfähigen Ausgaben von 6.000€ eine behindertengerechte Einstiegshilfe gefördert. Insgesamt liegt die maximale Grenze von der Landesnahverkehrsgesellschaft (LNVG) bei 64.500€ (75% von 86.000€), [19]. Die Förderung steht ausschließlich für die Fahrzeuganschaffung zur Verfügung und die Restfinanzierung wird in der Regel von der Gemeinde und dem Landkreis übernommen. Die Bürgerbusvereine im Umkreis von Bremen haben eine komfortable Finanzierung durch den Zweckverband Bremen Niedersachsen (ZVBN). In diesem Bereich kann maximal eine Summe von 25.000€ beantragt werden, [19]. Dabei kann die Summe für andere Kostenpositionen des Bürgerbusses verwendet werden.

Eine weitere mögliche Finanzierung besteht durch das Sponsoring. Als Gegenleistung kann beispielsweise Werbung auf den Fahrzeugseiten oder Werbung mittels eines Monitors im Fahrzeug angeboten werden.

### 3.4.2 Betriebskosten

Der Bürgerbus steht zwar für ehrenamtliche Tätigkeiten, jedoch muss der Verein mit finanziellen Mitteln unterstützt werden. Das Ziel jedes Bürgerbusprojektes ist es, dass der Bürgerbus sich selbst finanziell tragen soll.

Im Folgenden werden die Seiten der Ausgaben und Einnahmen vorgestellt. Die Ausgaben werden nochmal in Betriebs- und Organisationskosten unterteilt (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Ausgaben, [1] / [20]**

<b>Betriebskosten</b>	
Fahrzeuganschaffung ggf. Umbau zum liniengerechten Bürgerbus	Instandsetzung und Pflege des Fahrzeuges
Kraftstoff und Schmierstoffe	Einrichtung und Pflege von Haltestellen
Garage	Notfallhandy für den Bus
<b>Organisationskosten</b>	
Gebühren für den Erwerb der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung	Kosten für Druck von Fahrscheinen und Fahrplänen
Ärztliche Untersuchungen der	Büromaterial, Porto, Briefpapier,

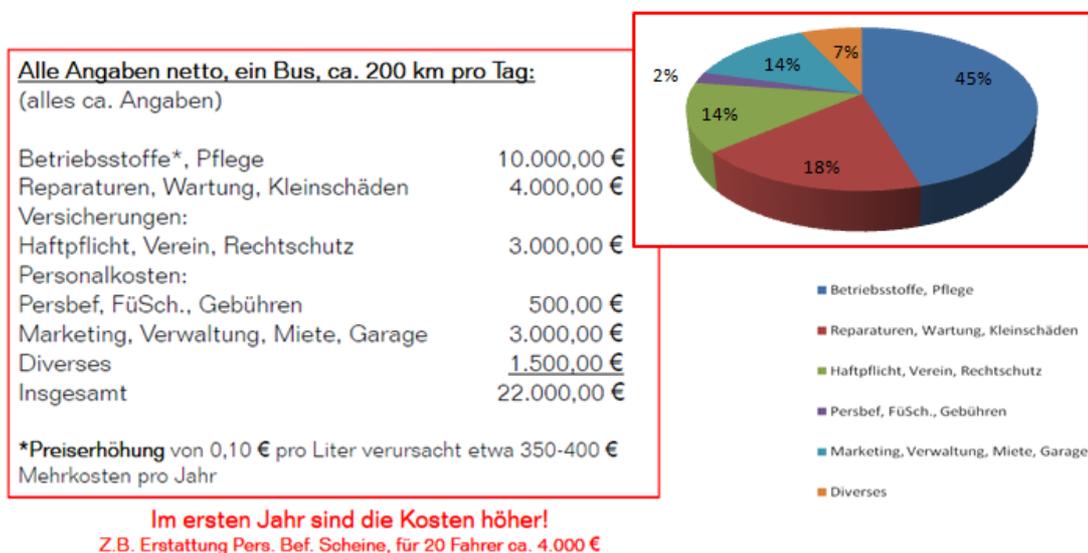
Fahrer/innen	Telefonkosten
Schulungen der Fahrer/innen	Öffentlichkeitsarbeit und Marketing
Fahrerhaftpflichtversicherung	Beiträge zur Berufsgenossenschaft
Fahrzeugversicherung	

Die Einnahmen werden hauptsächlich von den Fahrgastzahlen, aber auch von Werbeerträgen bestimmt. Darüber hinaus sollen die Einnahmen, die in der nachfolgenden Tabelle 5 dargestellt sind, die Betriebskosten decken.

**Tabelle 5: Einnahmen, [1] / [20]**

Einnahmequellen	
Einnahmen aus der Vermietung von Werbeflächen auf den Bussen, Fahrkarten oder Fahrplänen	Ausgleichszahlung des Landes für die kostenlose Beförderung von Schwerbehinderten
Fahrgeldeinnahmen	Erstattung der Ökosteuern
Mitgliedsbeiträgen	Zuschüsse der Gemeinde / des Landes

Aufgrund des Datenschutzes der Vereine, kann eine genaue Aufstellung der Einnahmen- und Ausgabenseite nicht erfolgen. Jedoch kann die Abbildung 13 die Ausgabenseite etwas besser wiedergeben (Stand 2012).



**Abbildung 13: Jahreskosten für einen Bürgerbus, [1] / [21]**

Die Daten stammen von einem Bürgerbusverein aus Nordrhein-Westfalen, [21]. Dieser Verein Pro Bürgerbus NRW hat sich zur Aufgabe gemacht, den Informationsaustausch zwischen den Bürgerbusvereinen zu fördern.

### 3.5 Bürgerbuseinsatzbeispiel

Hier wird kurz vorgestellt, wie ein Fahrplan und ein Streckenplan anhand eines Beispiels aus Niedersachsen, aussehen könnte. Dabei wird auf die Daten des Vereins "BürgerBus Osteland e.V." zugegriffen, [22].

Der Bürgerbus des Vereins fährt dort hin, wo es kein Busverkehr gibt und auch das Anrufsammeltaxi nicht fährt. Er verbindet die Samtgemeinde Oldendorf-Himmelpforten. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Streckenplan der Verbindung.



Abbildung 14: Streckenplan Bürgerbus, Stand 2014, [1]

Die Samtgemeinde Oldendorf-Himmelpforten ist ein Gemeindeverband im Landkreis Stade mit einer Einwohnerzahl von 17.565 Einwohnern (Stand Dezember 2013), [23]. Dabei können die Einwohner auf 23 Haltestellen zugreifen, die mehrmals täglich vom Bürgerbus angefahren werden. Der Fahrplan ist im Anhang B dargestellt. Zum besseren Verständnis und um eine Größenordnung der Fahrleistung zu bekommen, werden ein paar Zahlen genannt.

Eine Strecke hat einen Umfang von ca. 31km. Der Gesamte Umfang bei täglich zehn unterschiedlichen Touren beträgt ca. 325km. Hochgerechnet auf ein Jahr beträgt die Kilometerleistung bei fünf Einsatztagen pro Woche (1625km) ca. 84.500km.

## 4 Lastenheft

Das Lastenheft beschreibt alle Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich des Liefer- und Leistungsumfangs. Dabei wird das Lastenheft, das auch als Ausschreibungs-, Angebots- oder Vertragsgrundlage dient, grundsätzlich vom Auftraggeber oder in dessen Auftrag erstellt, [15]. Die Formulierung der Anforderungen sollte so allgemein wie möglich und so einschränkend wie nötig verfasst werden. Dadurch kann der Auftragnehmer optimale Lösungen erarbeiten ohne durch zu konkrete Anforderungen in seiner Lösungskompetenz eingeschränkt zu sein.

Anschließend wird in der Regel ein Pflichtenheft, das Vorhandensein eines Lastenheftes voraussetzt, erstellt. Doch in dieser Arbeit ist eine Zusammenstellung der Anforderungen in Form eines Lastenhefts ausreichend. Zudem werden die Punkte Lieferumfang und Terminplanung vernachlässigt. Während bei größeren Entwicklungsprojekten ein Lastenheft sowie ein Pflichtenheft Voraussetzungen sind. Das Lastenheft ist in folgende Bereiche gegliedert:

- Allgemeine Grundlagen
- Wirtschaftlichkeit
- Leichtbau
- Fahrzeugtechnik
- Innenraum
- Außengestaltung

Die Vorgaben dieses Lastenhefts stellen Mindestkriterien dar und sie gelten für die Fahrzeug-Ersatzbeschaffung. Desweiteren sollten die Anforderungen wenn möglich durch Zahlenangaben gestützt werden.

### 4.1 Allgemeine Grundlagen

Der Bürgerbus ist durch Rahmenbedingungen, Einsatzumgebung und Anforderungen definiert. Hinzu besitzt auch hier jedes Bundesland unterschiedliche Randbedingungen. Zuerst werden die Randbedingungen von NRW dargestellt und anschließend die von NDS.

In NRW bedarf es einige nötige Um- und Einbauten um ein Serienfahrzeug in ein einsatzgemäßes Personenbeförderungsfahrzeug zu verwandeln. Als Mindestanforderungen für die Förderungsvoraussetzung sind festgeschrieben, [24]:

- Alle betriebs- und typenspezifischen Zusatzeinrichtungen müssen enthalten sein, die jeweils für den Einsatz als Bürgerbus erforderlich sind.
- Mindestens eine fremdkraftbediente Einstiegstür.
- Eine Höhe von mindestens 1,80m im Innenraum.
- Eine tiefergezogene Trittstufe im Einstiegsbereich.
- Zusätzliche Griffstange als Einstiegshilfe.
- Deutliche Kennzeichnung des Fahrzeuges mit dem landeseinheitlichen Logo.
- Mindestens eine Breite der Einstiegstür von 1050mm bei Niederflurfahrzeugen.

Neben diesen Mindestanforderungen muss ein Bürgerbus bestimmte Ausstattungsmerkmale aufweisen, um den Anforderungen als Personenbeförderungsfahrzeug im öffentlichen Nahverkehr zu erfüllen, [24]:

- Kleintransporter für neun Sitze mit Fensterscheiben
- Einzelsitze
- Haltestange vor der ersten Sitzreihe
- Eine vom Fahrersitz schaltbare Beleuchtung des Fahrgastraumes
- Zusätzlicher Spiegel zur Fahrgastraum-Beobachtung
- Feuerlöscher 6kg
- Fahrtzielanzeige
- Kindersitz

In NDS ist die Ausstattung des Bürgerbusses auf die Anforderungskriterien für den Einsatz im ÖPNV auszurichten. Darüber hinaus gehende Ausstattungen sind nicht zuwendungsfähig, [18].

Zusätzlich müssen die Bürgerbusse in den Bundesländern eine jährliche Betriebsleistung von mindestens 20.000 Kilometer erreichen und der Betrieb des Bürgerbusses muss auf ein abgestimmtes Linienweg-, Fahrplan- und Tarifkonzept

durchgeführt werden. Nach einer Untersuchung fallen für ein Fahrzeug täglich ca. 325km an Fahrleistung an (siehe Kapitel 3.5).

Wenn der Bürgerbus wegen Wartungsarbeiten nicht einsatzfähig ist, sollte der Linienbetrieb mit einem Ersatzfahrzeug aufrechterhalten werden. Das Ersatzfahrzeug muss allerdings nicht so wie das geförderte Fahrzeug ausgestattet sein. Jedoch die gesetzlichen Vorgaben nach der Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr erfüllen.

Zu beachten ist auch, dass auch für Bürgerbusse, die im juristischen Sinne PKWs sind, die Vorschriften der Straßenverkehrsordnung (StVO) gelten. Daher dürfen nur acht Fahrgäste inklusiv Rollstuhlfahrer befördert werden. Dabei sind Stehplätze nicht zulässig und Fahrgäste müssen ggf. abgewiesen werden. Aber wenn der Fahrplan es zulässt und einige Fahrgäste ausgestiegen sind, kann möglicherweise zurück gefahren werden, um die abgewiesenen Fahrgäste einzusammeln.

Zudem benötigen alle Fahrer einen Personenbeförderungsschein, einen PKW-Führerschein der Klasse B und das zulässige Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen darf bei der Beförderung nicht überschritten werden.

## **4.2 Wirtschaftlichkeit**

Bei der Wirtschaftlichkeit eines Bürgerbusprojektes richtet sich der Blick unabwendbar auf die Investitionen und auf die Kosten einerseits sowie auf die Einnahmen andererseits. Dabei betrifft die Hauptinvestition das Fahrzeug, weitere Kosten fallen beispielsweise beim Betriebsbeginn für die nötige Haltestelleninfrastruktur an. Die Haupteinnahmequellen dagegen sind zum einen der Verkauf von Fahrkarten und zum anderen die Vermietung von Werbeflächen auf den Bussen.

Die Fahrzeuganschaffung, ggf. die dazugehörigen Umbaumaßnahmen dürfen nicht mehr als 85.000€ betragen. Die Wirtschaftlichkeit eines Bürgerbusses sowie finanzielle Hilfsmittel sind im Kapitel 3.4 erläutert.

## **4.3 Leichtbau**

Die Anforderungen an moderne Nutzfahrzeuge hinsichtlich des Verbrauchs und damit des Gewichts steigen mit jeder neuen zu entwickelnden Fahrzeuggeneration stetig weiter. Dabei spielt die Leichtbauweise die wichtigste Rolle um die Anforderungen zu erreichen. Da die Entwicklung neuer Antriebskonzepte sehr beschränkt und aufwendig

sind, bietet vorwiegend der Leichtbau eine effektive und kostengünstige Möglichkeit, den Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der neuen Fahrzeuggenerationen zu senken. Der Anteil an Faserverbundwerkstoffen und die verbundene Substitution von metallischen Werkstoffen nehmen kontinuierlich zu.

Die Faserverbundwerkstoffe bestehen aus den Komponenten Faser und Matrix und erzielen durch die Kombination dieser verschiedenen Werkstoffe diverse Eigenschaftsverbesserungen, allen voran die hohe erzielbare Festigkeit und Steifigkeit bei geringer Dichte im Verhältnis zu metallischen Werkstoffen. Somit ist bei der Fahrzeugentwicklung die Verwendung von CFK zulässig. Ebenso dürfen andere innovative Materialien eingesetzt werden, um das Leergewicht zu minimieren, insofern dies im preislichen Rahmen bleibt.

## **4.4 Fahrzeugtechnik**

### **4.4.1 Fahrzeugdimension**

Die Dimensionen müssen auf die entsprechende betriebliche Fahrzeugnutzung abgestimmt sein. Dabei dürfen Serienfahrzeuge, Basisfahrzeuge oder sogar Fahrgestelle übernommen werden. Die Vorteile liegen in der Zuverlässigkeit, der ausgereiften Technik und der eingesparten Kosten für eine eigenständige Entwicklung. Aufgrund der Teilnahme am Straßenverkehr, werden zugleich auch die geltenden gesetzlichen Bestimmungen eingehalten. Für das Fahrzeug sind detaillierte Planunterlagen mit folgenden Merkmalen vorzulegen:

- Grundriss mit Maßen
- Seitenansicht mit Maßen
- Mehrzweckbereich
- Angabe der Sitzplätze, Rollstuhl-, und Kinderwagenabstellplätze
- Beschreibung der Sitze (z.B. Maßskizze)

### **4.4.2 Antriebstechnik**

Die Antriebstechnik befasst sich mit technischen Systemen zur Erzeugung von Bewegung mittels Kraftübertragung. Vom Motor wird das Drehmoment über die Kupplung und dem Getriebe zur Antriebsachse übertragen.

Das Fahrzeug kann mit unterschiedlichen Antriebsarten (z.B. Elektromotor, Verbrennungsmotor usw.) versehen werden. Dabei sollte die Motorisierung für einen üblichen innerstädtischen Verkehrsfluss und Überlandfahrten (Geschwindigkeit ca. 50-110km/h) geeignet sein. Zudem ist jede Antriebsanordnung zulässig und auch die Antriebsachse ist frei wählbar. Beachtet werden müssen dabei nur die Emissionswerte und Konflikte mit anderen Anforderungen.

#### **4.4.3 Energieverbrauch**

Es ist ein möglichst niedriger Energieverbrauch des Fahrzeugs anzustreben. Folgende Energiespeicher sind zulässig:

- Mechanische Energie
- Elektrische Energie
- Chemische Energie (Flüssige/Gasförmige Kraftstoffe)
- Thermische Energie

Die dabei verwendete Technik ist detailliert zu beschreiben.

#### **4.4.4 Sicherheit**

Das Fahrzeug darf nicht mehr Personen befördern, als mit Sicherheitssystemen ausgerüstete Sitzplätze vorhanden sind. Bei der Mitnahme eines Rollstuhlfahrers muss das Fahrzeug mit entsprechenden Sicherheitssystemen nachgerüstet werden. Zudem müssen Kinder unter zwölf Jahren in geeigneten Kindersitzen angeschnallt gesichert sein. Desweiteren muss ein Feuerlöscher im Fahrzeug zur Verfügung stehen. Bei der Konzepterstellung muss die vorgesehene Technik dargestellt werden.

Um mehr Sicherheit zu gewährleisten müssen Verhaltensregeln während der Beförderung und aus Rücksichtnahme auf die anderen Fahrgäste beachtet werden. Folgende Hinweise sind sinnvoll:

- Rauchverbot im Fahrzeug
- Alkoholkonsumverbot
- Fahrschein bzw. Fahrgeld bereit halten
- Im Bus nach hinten durchgehen

- Ausstiegswunsch rechtzeitig melden

#### 4.4.5 Einstieg und Türen

Der Einstieg ist der Zugang zum Fahrzeug und hat dem zu Folge einen hohen Stellenwert. Dabei kann Niederflurtechnik, die den Einstieg für gehbehinderte Menschen und Rollstuhlfahrer erleichtert, eingesetzt werden.

Entscheidende Punkte sind hier die Einstiegshöhe und die Türbreite. Die Niederflurtechnik ist durch eine Einstiegshöhe zwischen 280mm und 320mm, einen stufenlosen Fußbodenverlauf, sowie durch eine zusätzliche Einstiegshilfe charakterisiert.

Zusätzlich ist eine Haltestange oder ein Haltegriff im Einstiegsbereich für möglichst viele Körpergrößen der Fahrgäste vorzusehen, sodass unter Umständen ein Rollstuhlfahrer ohne fremde Hilfe ein Einstieg ermöglicht werden kann.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Breite der Einstiegstür. Diese muss eine Mindestbreite von 1050mm bei Niederflurfahrzeugen aufweisen. So wird das Ein- und Aussteigen für alle Fahrgäste schneller und sicherer, was zu kürzeren Fahrgastwechselzeiten beiträgt. Bei der Dimensionierung muss hierzu detaillierte Aussagen über die vorgesehene Umsetzung gemacht werden.

#### 4.4.6 Einstiegshilfen

Es ist zu gewährleisten, dass Rollstuhlfahrer durch gemäße Einstiegshilfen oder durch eine entsprechende bauliche Ausgestaltung des Fahrzeugs (z.B. ein niveaugleicher Fahrgastbereich) gefahrlos ein- oder aussteigen können. Zudem muss die Einstiegshilfe in unmittelbarer Nähe des ausgewiesenen Rollstuhlplatzes im Fahrzeug angeordnet sein. Die Tabelle 6 zeigt die denkbaren Einstiegshilfen und deren Randbedingungen die verbaut werden dürfen. Laut Kundenbefragung wird nur einmal bis zweimal pro Monat ein Rollstuhlfahrer befördert.

Tabelle 6: Einstiegshilfen, [1] / [25]

<b>Überfahrbrücke/Rampe</b>	
Manuell oder automatisch bedienbar	Breite der befahrbaren Fläche $\geq 800\text{mm}$
Rutschhemmende Oberfläche	Tragfähigkeit $\geq 250\text{kg}$
<b>Auffahrschienen</b>	
Stabile Ausführung und einfache Handhabung	Tragfähigkeit $\geq 250\text{kg}$

Montierbar in Heck- und Seitentür	Eigengewicht maximal 13kg
<b>Liftsysteme</b>	
An beiden Fahrzeugseiten einsetzbar	Befahrbare Breite $\geq 800\text{mm}$
Automatisch bedienbar	Befahrbare Länge $\geq 1100\text{mm}$
Rutschfeste Oberfläche der Liftplattform	Tragfähigkeit $\geq 350\text{kg}$
Aufkantung an der linken und rechten Seite der Liftplattform	Eigengewicht der Plattform darf maximal 130kg betragen
Muss alle vorgesehenen Höhen problemlos bewältigen	Handlauf einseitig ist wünschenswert, darf aber nicht in den Bewegungsraum hineinragen

#### 4.4.7 Türsteuerung

Die Türöffnung und -schließung muss eigenständig arbeiten sowie vom bedienten Führerstand aus gesteuert und überwacht werden können. Dabei muss ein zusätzlicher Spiegel zur Fahrgastraum- und Einstiegsraum-Beobachtung angebracht werden.

### 4.5 Innenraum

#### 4.5.1 Sitze (Kapazität/Ausführung/Anordnung)

Die Sitzplatzkapazität (inklusive Behindertenplatz) von acht Fahrgästen darf nicht überschritten werden. Zudem ist der Rollstuhl- sowie Kinderwagenstellplatz anzugeben. Es sind ausschließlich körpergerecht geformte Einzelsitze zulässig. Bei der Anordnung der Sitze sind die Mindestmaße, dargestellt in Abbildung 15, einzuhalten.

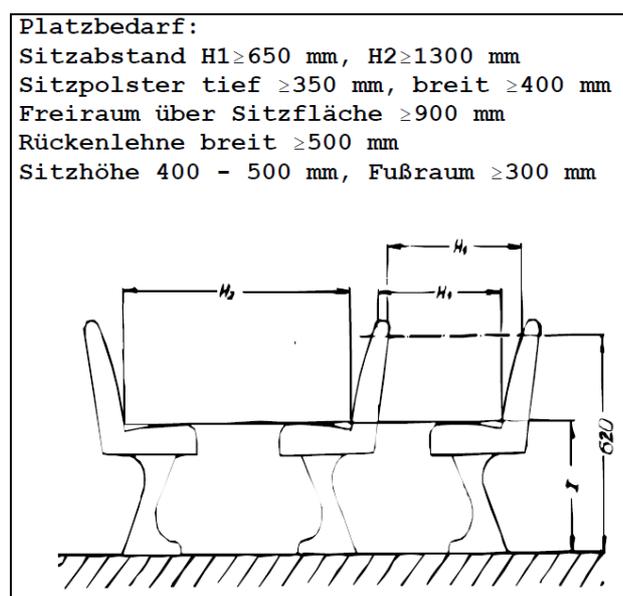


Abbildung 15: Mindestmaße, [26]

Außerdem sind folgende Vorgaben zu beachten:

- Ausführung der Sitze als gepolsterte Einzelsitze.
- Sitzplätze mit klappbarer Sitzfläche werden als Festsitze angerechnet.
- Anordnung, mindestens 75% der Festsitze je Fahrtrichtung.
- Für die klappbaren Sitzflächen gelten die gleichen Mindestmaße hinsichtlich Sitztiefe und Sitzbreite.
- Klappsitz(e) dürfen am Rollstuhlplatz angebracht sein, müssen aber bei einer Rollstuhlmitnahme eingeklappt werden.
- Die Befestigung des Kindersitzes an die Kabinenwand ist zulässig.
- Armlehnen am Gang und Fenster sind zulässig.

#### **4.5.2 Durchgangsmöglichkeit (Gangbreite/Innenhöhe)**

Innerhalb einer Sitzeinheit muss eine Durchgangsmöglichkeit gewährleistet werden. Auch bei abgestellten Kinderwagen oder Rollstuhl muss der Durchgang frei sein. Hinsichtlich der Abmessung der Durchgangsmöglichkeit, muss die Gangbreite im Fußraum mindestens 350mm und im Schulterraum mindestens 550mm aufweisen, [27]. Außerdem muss die Innenhöhe mindestens 1800mm betragen. Bei zusätzlichen Einbauten in der Decke wie z.B. Fahrgastinformationssysteme darf die Begehbarkeit des Fahrgastraumes nicht eingeschränkt werden.

#### **4.5.3 Barrierefreiheit**

Das Prinzip der Barrierefreiheit ist es, dass nicht nur Menschen mit Behinderung in die bauliche Gestaltung einbezogen werden, sondern die Bedürfnisse aller Menschen sollen unter anderem auch ältere Menschen oder Personen mit Kleinkindern berücksichtigt werden. Solche barrierefreie Gestaltung ist sicherzustellen.

#### **4.5.4 Mehrzweckbereich**

Um Mitnahme von Mobilitätshilfen zu gewährleisten ist ein stufenfreier Mehrzweckbereich vorzusehen. Diese nutzbare Fläche muss ausreichend dimensioniert und durch ein Piktogramm gekennzeichnet werden.

Ein Rollator sowie ein Kinderwagen muss mit festgestellter Bremse im Mehrzweckbereich abgestellt werden. Im Gang zwischen den Sitzen ist das Halten von Mobilitätshilfen untersagt, da sonst andere Fahrgäste beim Durchgehen behindert werden könnten. Bei der Mitnahme eines Rollstuhlfahrers muss der Stellplatz eine Länge von 1350mm und eine Breite von mindestens 700mm aufweisen, [25]. Desweiteren muss der Rollstuhlplatz bezüglich der Standfestigkeit in oder entgegen der Fahrtrichtung ausgerichtet sein.

#### **4.5.5 Festhaltungsmöglichkeiten (Haltestangen/-griffe)**

Für alle Fahrgäste muss jederzeit eine Haltemöglichkeit erreichbar sein. Die Anordnung der Festhaltevorrichtungen ist zu beschreiben. Zudem ist eine Haltestange vor der ersten Sitzreihe vorzusehen.

#### **4.5.6 Innenbeleuchtung**

Die Innenbeleuchtung soll eine gleichmäßige Ausleuchtung des Innenraums gewährleisten und vom Fahrerplatz schaltbar sein. Dabei sollen dunkle Ecken vermieden werden, um eine subjektive Sicherheit herzustellen. Die Leuchtmittel sollen blendfrei ausgerichtet werden und dürfen nicht von Fahrgästen entfernt werden können. Zudem sollen die Leuchtmittel eine Farbtemperatur unter 3300 Kelvin besitzen, da dies als gemütlich und behaglich vom Menschen empfunden wird.

#### **4.5.7 Klimatechnik (Heizung/Lüftung)**

Auf die klimatischen Bedingungen wie Temperaturen, Jahreszeiten und Wetterverhältnissen in Deutschland sind zu beachten.

Daher muss das Fahrzeug mit einer Lüftungsanlage zur Erzeugung und Aufrechterhaltung einer angenehmen und nützlichen Raumluft-Qualität ausgestattet sein. Der Fahrgastraum sollte eine vom Fahrzeugführerraum unabhängige Klimaregelung haben. Außerdem muss der Fahrgastraum auch bei niedrigen Außentemperaturen eine angenehme Temperatur aufweisen.

#### 4.5.8 Fahrgastinformation (Optisch/Akustisch/Infotainment)

Fahrgastinformation ist Grundbedürfnis und hat bei den Fahrgästen hohe Priorität. Dabei gibt es zwei Wege um den Informationsaustausch zu gewährleisten. In der Wahl der Möglichkeiten steht auf der einen Seite die optische Wahrnehmung und auf der anderen Seite die akustische Wahrnehmung. Eine weitere Einteilung erfolgt durch eine Informationsübermittlung inner- und außerhalb des Fahrzeuges. Die Tabelle 7 zeigt die Randbedingungen die vorzusehen sind.

**Tabelle 7: Randbedingungen: Fahrgastinformation, [1]**

<b>Außen</b>	
Eindeutige optische Zielbeschilderung an der Fahrzeugfront	Beleuchtbar und gut lesbar
<b>Innen</b>	
Gewährleistung einer gut sicht- und erkennbaren sowie blendfreien optischen Zielanzeige/Haltepunkts	Es sind Standardschriftarten ohne Serifen zu verwenden wie z.B. Futura, Frutiger, Helvetica oder VAG Rundschrift
Optische Informationen vor dem nächsten Haltepunkt: Name des Haltepunktes	Halteanforderung mit optischer und akustischer Rückmeldefunktion
Möglichst von allen Plätzen lesbar sein	Eine akustische Fahrgastinformation muss über Innenlautsprecher möglich sein

Zusätzlich muss während der Fahrt die Möglichkeit bestehen, dem Fahrer einen Haltewunsch zu signalisieren. Es muss sichergestellt werden, dass ausreichend bemessene Anzahl von Halteanforderungstasten vorhanden sind. Auch eine einfache Bedienbarkeit mit minimalem Kraftaufwand ist vorzusehen.

Der Einsatz von Infotainment wie beispielweises Fahrgastfernsehen wird zugelassen. Aber Werbung darf nicht gleichzeitig mit Informationen zusammen auftauchen. Desweiteren dürfen Steckdosen sowie WLAN-Netz verbaut werden.

#### 4.6 Außengestaltung

Die Außengestaltung umfasst die Fahrzeuglackierung und die Anbringung von Werbung. Dabei ist die Anbringung von Werbung nur in Abstimmung mit dem Verein zulässig. Eine Beklebung der Fenster- und Türflächen ist untersagt. Auch eine Farbgestaltung durch Folien bzw. das Aufbringen einer zusätzlichen Lackschicht ist möglich. Ebenso muss eine deutliche Kennzeichnung des Fahrzeuges mit dem landeseinheitlichen Logo versehen sein.

Die Fahrzeuglackierung soll so ausgeführt werden, dass das Waschen in einer maschinellen Waschanlage ohne Probleme stattfinden kann. Die Entfernung von Verunreinigung darf keine bzw. möglichst geringe Auswirkungen auf die Lackqualität nach sich ziehen.

## 5 Konzeptsuche und Konzeptauswahl

Die Konzeptsuche soll gewährleisten, dass alle denkbaren Lösungen in die Betrachtungen mit einfließen. Das Ziel in dieser Arbeit ist es, möglichst neue Wege und konstruktive Lösungen zu suchen und neue Ideen zu entwickeln bzw. technologische Machbarkeiten nachzuweisen. Die folgenden Werkzeuge werden angewendet:

- Funktionsstruktur
- Morphologischer Kasten

Nach der Konzeptsuche werden die unterschiedlichen Konzepte erarbeitet und vorgestellt. Anschließend werden diese Lösungskonzepte mittels einer Nutzwertanalyse analysiert, bewertet und ausgewählt.

### 5.1 Konzeptentwicklung

#### 5.1.1 Funktionsstruktur

Mit der systematischen Aufteilung der Gesamtfunktion eines Systems in Haupt- und Teilfunktionen, welche ein besseres Verständnis des Systems ermöglicht, entsteht eine Funktionsstruktur. Dabei ist eine Verallgemeinerung der Fragestellung in den jeweiligen Funktionen zweckmäßig um möglichst viele Lösungen zu finden.

Durch die Abstraktion sowie die systematische veranschaulichte Vorgehensweise werden dem Ingenieur oftmals Aspekte bewusst, die auf den ersten Blick nicht erkennbar sind. Diese Funktionsstruktur dient außerdem als Leitfaden für den weiteren Konstruktionsprozess, indem sie über die abstrahierten Teilfunktionen als Ideenspender für die folgende Lösungssuche fungiert.

In der vorliegenden Analyse wird eine Verallgemeinerung des Systems zur Ermittlung der Haupt- und Teilfunktionen hergestellt. Nach ihren Hierarchien in Haupt- und Teilfunktionen sind die Ergebnisse in darauffolgender Abbildung 16 dargestellt.

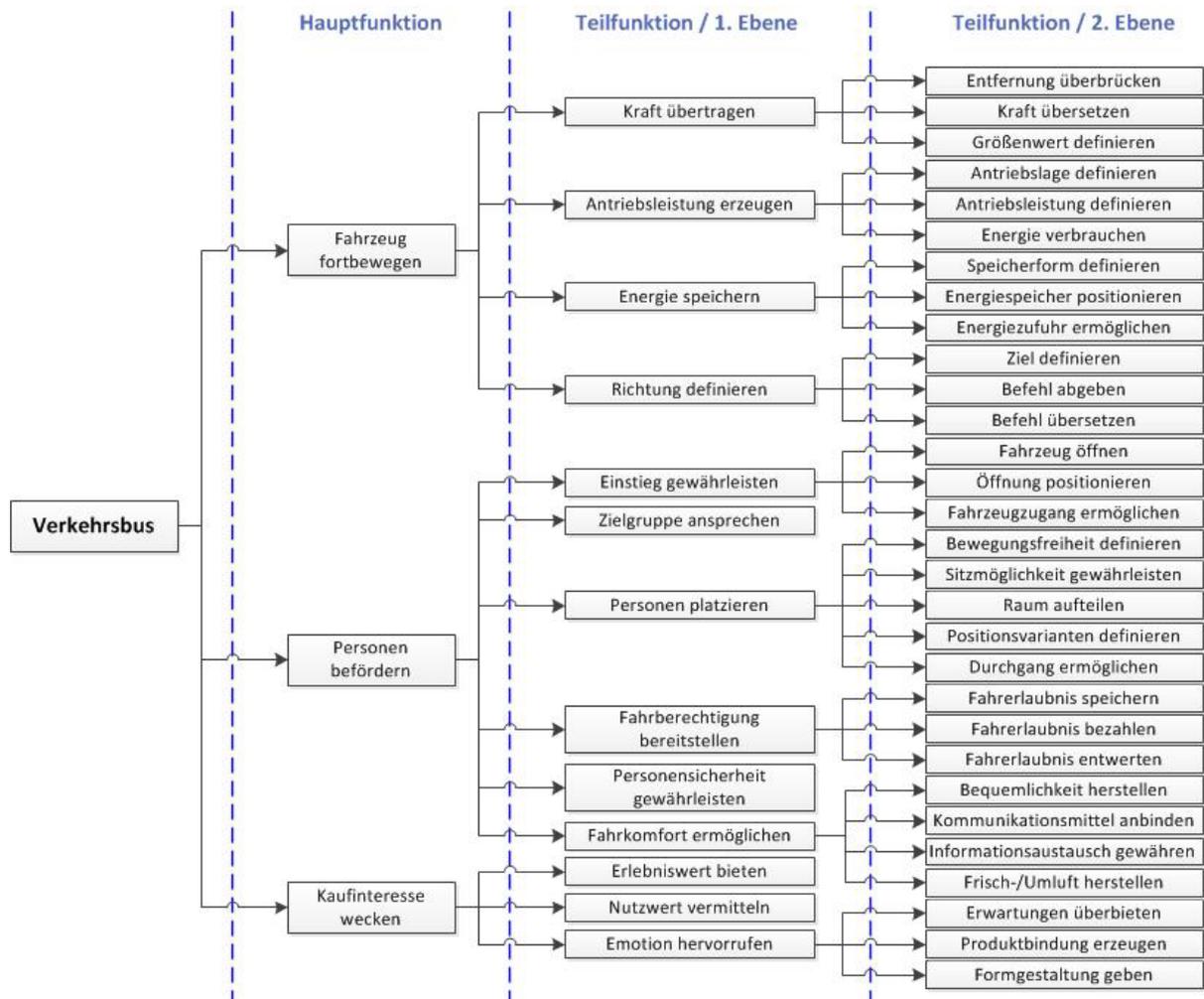


Abbildung 16: Funktionsbaum, [1]

Dieser Funktionsbaum ist in drei Teilabschnitten gegliedert. So werden die Teilfunktionen übersichtlich und der Leser kann sich hier in die Ordnung des Baumes einfinden und erhält dadurch ein besseres Verständnis. Dabei dient die Hauptfunktion unmittelbar dem Zweck des Objektes. Die anderen Teilfunktionen dienen der Erfüllung der Hauptfunktionen und haben bereits konkrete Teilfunktionen in der zweiten Ebene. Bei Berufseinsteigern, denen die nötige Erfahrung fehlt, ist die Generierung der verschiedenartigen Teilfunktionen eine sehr schwierige und manchmal fast unmögliche Aufgabe. Die festgefahrene Denk- und Arbeitsstrukturen müssen mittels Kreativitätstechniken aufgebrochen werden.

### 5.1.2 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten ist eine der wichtigsten Kreativitätsmethoden, um komplexe Problembereiche ganz zu erfassen und dabei das gesamte Spektrum an denkbaren

Lösungen abzudecken. Bei der Erstellung des morphologischen Kastens wird das Problem in seine Komponenten zerlegt. Die Hauptfunktion wird in Teilfunktionen untergliedert, damit möglichst viele Lösungskomponenten gefunden werden. Die Schritte der Morphologischen Analyse sind, [28]:

- Bestimmung des Problems und evtl. eine Verallgemeinerung.
- Zerlegung des Problems: Hierbei ist darauf zu achten, dass die Parameter voneinander unabhängig sind (z.B. Farbe, Material, Form, usw.). Diese werden links untereinander in die Tabelle eingetragen.
- Rechts daneben werden alle möglichen Varianten des jeweiligen Merkmals notiert.
- Die Lösungen werden analysiert. Dazu wird darauf geachtet, dass die Teillösungen untereinander verträglich sind.
- Der Bearbeitende wählt aus jeder Zeile eine Ausprägung. Der daraus entstehende Linienzug wird dann ganzheitlich als alternative Lösung betrachtet. Anschließend wird dieser Prozess mehrmals wiederholt. Mit den entstandenen Kombinationen werden Ideen entwickelt.

Die durch die zuvor durchgeführte Marktanalyse entstandenen Erkenntnisse sind in den Morphologischen Kasten eingebracht. Außerdem sind aus dem Lastenheft sowie die aus dem Funktionsbaum hervorgegangenen Feststellungen an den Bürgerbus in den Morphologischen Kasten eingeflossen. Um den Morphologischen Kasten noch effektiver zu gestalten, werden die einzelnen Lösungsvorschläge durch Bilder veranschaulicht.

Vorteile des Morphologischen Kastens sind vor allem die Systematisierung des Problemlösungsprozesses und die Anregung zu neuen Lösungsansätzen oder Lösungskombinationen. Die Nachteile liegen dagegen bei der langen zeitlichen Auswertung der besten „Idee“, fundiertes Wissen über den betreffenden Problembereich ist erforderlich und bei komplexen Problemen kann eine Ansammlung von Parametern und Varianten zu Unübersichtlichkeit führen. In Abbildung 17 ist der Morphologische Kasten und deren Lösungssammlungen dargestellt.

Parameter		Lösungen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
Fahrzeugform festlegen	1	Fahrzeugform festlegen								
	2	Bauweise festlegen								
	3	Leichtbauweise ermöglichen								
	4	Antriebsleistung erzeugen								
	5	Antriebslage definieren								
	6	Kraft übertragen								
	7	Richtung definieren								
	8	Speicherform definieren								
	9	Energiespeicher positionieren								
	10	Energie speichern								
Energiezufuhr ermöglichen	11	Energiezufuhr ermöglichen								
	12	Fahrzeug öffnen								
	13	Öffnung positionieren								
	14	Türsteuerung ermöglichen								
	15	Fußbodenverlauf definieren								
	16	Bodenbelag festlegen								
	17	Fahrzeugzugang ermöglichen								
	18	Einstiegsilfe definieren								
	19	Raum aufteilen								
	Personen befördern	20	Durchgang ermöglichen							
21		Positionsvarianten definieren								
22		Sitzmöglichkeit gewährleisten								
23		Personensicherheit gewährleisten								
24		Beleuchtung gewährleisten								
25		Fahrgastinformation gewährleisten								
26		Wärme gewährleisten								
27		Frisch-/Umluft herstellen								

Abbildung 17: Morphologischer Kasten, [1]

Aufgrund der sehr komplexen Problemen und der zahlreichen Lösungsmöglichkeiten bei der Fahrgastkabine ist es im Rahmen der vorliegenden Arbeit daher zweckmäßig, für den Konzeptfindungsprozess zuerst die Basisfahrzeuge zu entwickeln. Dabei liegt das Augenmerk besonders auf die Aufbautechnologie und die Antriebstechnik. Der zweite Abschnitt des morphologischen Kasten wird erst in der Konzeptentwicklung und Dimensionierung diskutiert, (siehe Kapitel 6).

Der Morphologische Kasten, dargestellt in Abbildung 17, ist in unterschiedliche Abschnitte unter anderem in „Fahrzeugkarosserie definieren“, „Fahrzeug fortbewegen“ und „Energiespeicher festlegen“ unterteilt. Die verschiedenen Konzeptvarianten werden aus diesem Abschnitt entwickelt. Jedoch muss bei der Konzeptfindung beachtet werden, dass auch zwischen der Vielzahl der Varianten auch sinnlose Kombinationen zu finden sind. Zuerst müssen diese Kombinationen ausgeschlossen werden, um die Vielzahl der sinnvollen Kombinationen zu erhalten. Dies ist eine schwere Aufgabe, denn es gibt keine Methode, um die Wirksamkeit der verschiedenen Kombinationen zu bewerten. Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Lösungsmatrix. Durch die zeilenweise Verknüpfung der Feldinhalte (Lösungsansätze) zu Lösungspfaden ergeben sich die unterschiedlichen Konzeptvarianten.

Parameter	Lösungen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
1	Fahrzeugform festlegen								
2	Bauweise festlegen								
3	Leichtbauweise ermöglichen								
4	Antriebsleistung erzeugen								
5	Antriebslage definieren								
6	Kraft übertragen								
7	Richtung definieren								
8	Speicherform definieren								
9	Energiespeicher positionieren								
10	Energie speichern								
11	Energiezufuhr ermöglichen								

Abbildung 18: Lösungsmatrix, [1]

Aus der Lösungsmatrix sind für diese Konzeptsuche vier unterschiedliche Basisfahrzeugkonzepte, in denen alternative Antriebe verbaut werden, hervorgegangen.

Zusätzlich basieren die Ideen zu diesen Konzepten auch auf Grundlagen von Gesprächen und Diskussionen von unterschiedlichen Akteuren, die aus verschiedenen Bereichen kommen. Die beteiligten Akteure sind:

- Bürgerbusverein „BürgerBus Osteland e.V.“
- Fahrzeugbauer „FIBE-Bus GmbH“
- Kompetenzzentrum „CFK-Valley“

Anhand der Gespräche entstand auch diese Masterarbeit. Wichtig war hierbei die Schwerpunkte der Akteure wie alternative Antriebe (z.B. Gas- oder Elektro-Antrieb) oder CFK-Fahrgastzelle in die Konzepte mit einfließen zu lassen.

### **5.1.3 Konzeptbeschreibung**

Dieser Abschnitt befasst sich mit den vier unterschiedlichen Basisfahrzeugkonzepten, die aus der Lösungsmatrix entstanden sind. Dazu werden zunächst die Basisfahrzeuge beschrieben. Im Anschluss folgt daran die Konzeptauswahl.

Bei der Konzeptbeschreibung handelt es sich um Grobkonzepte. Für das allgemeine Verständnis werden die grundlegenden Funktionen und Begrifflichkeiten erläutert, welche für die Bewertung der Konzepte mittels der Nutzwertanalyse benötigt werden.

#### **5.1.3.1 Hybridfahrzeug I (Benzin-Elektro Antrieb)**

Die Kombination verschiedener Antriebsprinzipien oder Energiequellen gilt als Hybridantrieb. Er ermöglicht - je nach Bedarf oder Verfügbarkeit - die Auswahl des Antriebsprinzips. Gebräuchlich sind Hybride mit Benzin- und Gas-Antrieb (Erdgas oder Autogas) sowie mit Benzin/Diesel- und Elektro-Antrieb. Dabei erzielen diese Hybridfahrzeuge einen höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu Verbrennungsmotoren.

Die Dieselmotoren wandeln im Idealfall 40% der eingesetzten Energie in Antriebskraft um und erzielen so einen höheren Wirkungsgrad als ein Benziner, der nur auf maximal 35% kommt, [29]. Aber dafür ist der Motor auf Grund seiner Konstruktion rund gut 80kg schwerer und das Getriebe muss stärker ausgelegt werden, [30]. Desweiteren sind die

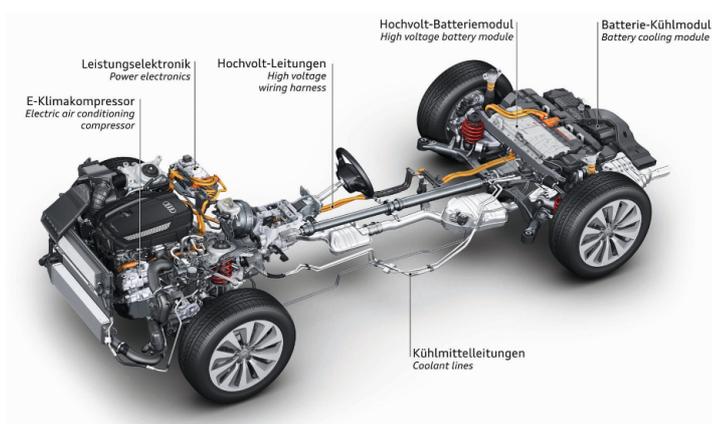
technischen Anforderungen äußerst komplex und in den kommenden Jahren verschärfen die Abgasvorschriften den Dieselmotor zusätzlich. Ende 2011 ist das erste serienmäßige Diesel-Elektro-Fahrzeug der Welt auch relativ spät auf dem Markt erschienen.

Dagegen, neben den günstigeren Herstellungskosten, überzeugt das Benzin-Elektro-Fahrzeug in vielen weiteren Punkten unter anderem bei der Start-Stopp-Automatik, der einfacheren Abgasreinigung und durch die Zündkerzen ist die initiierte Verbrennung weicher als die Selbstzündung. Dies ermöglicht ein sensibles Einklinken in den Kraftfluss des E-Motors und ohne Einbußen beim Fahrkomfort.

Somit ist der Grundgedanke bei diesem Benzin-Elektro-Hybridfahrzeug, kurze Strecken rein elektrisch fahren zu können während der Verbrennungsmotor ohne Komforteinbußen abgestellt werden kann. Zudem wird beim Bremsen frei werdende kinetische Energie in der Batterie gespeichert und für den Vortrieb genutzt (Rekuperation).

Lässt die Batterieleistung nach, arbeitet der Elektromotor automatisch als Generator und lädt die Batterie während der Fahrt wieder auf. Weitere Grundfunktionen wie Start-Stopp-Funktion, bei der der Motor in der Leerlaufphase und unterhalb einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit abgeschaltet wird, und Boost-Funktion, indem der Elektromotor den Verbrennungsmotor während einer starken Beschleunigung unterstützt, kennzeichnen die Hybridtechnik.

Um diese Vorteile der beiden Antriebe optimal zu nutzen und die Nachteile zu kompensieren, wird permanent der optimale Betriebsmodus automatisch ausgewählt, wodurch zusätzlich Kraftstoff eingespart werden kann, [31]. Dazu kommt noch das Automatikgetriebe, welches deutlich wirkungsvoller beim Hybridantrieb arbeitet als ein Handschaltgetriebe. Das Automatikgetriebe legt in jeder Fahrsituation den richtigen Gang ein und somit wird die Motoreffizienz der beiden Antriebe ideal genutzt. In Abbildung 19 ist der grundsätzliche Aufbau eines Hybridantriebs dargestellt.



**Abbildung 19: Audi Q5 Hybrid Quattro, [32]**

Der Hybridantrieb sollte auch gegenüber einem normalen Verbrennungsmotors auf lange Sicht einiges an Wartungs- und Ersatzteilkosten sparen. Da der Elektromotor die Aufgaben des Anlassers und der Lichtmaschine übernimmt. Außerdem fehlen alle Antriebsriemen für Nebenaggregate und aufgrund des Automatikgetriebes auch die Kupplung. Diese reparaturanfälligen Komponenten fehlen beim Hybridfahrzeug.

Zudem wird auf dem Metall-Fahrgestell ein Aufbau aus Aluminium in Gerippenbauweise aufgebaut und mit einer Außenhaut aus Faserverbundwerkstoff versehen.

Ein fachwerkartiges Stabsystem aus Halbzeug Profilen bildet bei dieser Bauweise die primär tragende Funktion der Karosserie. Dabei werden stranggepresste Aluminiumprofile als Träger benutzt. Sie werden nach Möglichkeit in gerader Form verbaut, können aber auch geeignet gebogen werden. Diese werden in der Regel über gegossene Knoten aus Aluminium miteinander verbunden. Außerdem hat diese Bauweise vor allem bei kleinen Stückzahlen Kostenvorteile. Die geringeren Einmalkosten für die Bereitstellung von Werkzeugen und anderen Produktionseinrichtungen überwiegen den größeren Handling-Aufwand. Dies gilt noch verstärkt, wenn auf weitere Komponenten auf Bauweisen mit geringem Einmalaufwand zurückgegriffen werden kann. Daher bietet sich eine Kombination von Gerippenstruktur mit Faserverbundaußenhaut grundsätzlich an.

### **5.1.3.2 Hybridfahrzeug II (Benzin-Gas Antrieb)**

Aufgrund dessen, dass der Dieselmotor anders verbrennt, ist die Idee des zweiten Hybridfahrzeugs die Kombination zwischen Benzin- und Gas-Antrieb. Anstelle eines Zündfunken, der das Gemisch zur Explosion bringt, arbeiten Dieselmotoren mit einer hohen Verdichtung mit Selbstzündung. Also kann ein Gas in einem Dieselmotor nicht

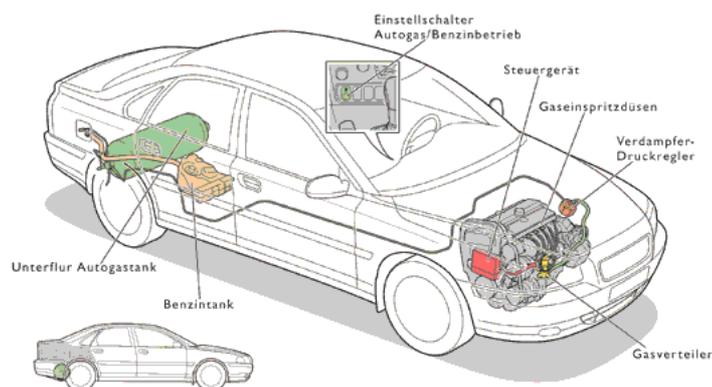
einfach Diesel als Kraftstoff ersetzen, sondern kann nur den Diesel ergänzen. Bei den Erdgasen sind zwei Formen üblich, komprimiertes Erdgas (CNG - Compressed Natural Gas), das weitgehend den Zustand in dem es gefördert wird behält und flüssiges Erdgas (LNG - Liquefied Natural Gas), das sich bei einer Temperatur von minus 164 Grad Celsius verflüssigt. Diese Gase zählen heute als Verfügbare alternative Kraftstoffe zu den herkömmlichen Kraftstoffen wie Benzin und Diesel. Am gebräuchlichsten ist jedoch CNG, da der Umgang mit Druckgas in der Praxis derzeit noch einfacher ist als der mit einer sehr kalten Flüssigkeit.

Darüber hinaus gibt es Autogas (LPG - Liquefied Petroleum Gas), das aus einem Gemisch aus Propan und Butan besteht. Es ist chemisch und physikalisch ein völlig anderes Produkt als Erdgas. Mit einem Autogasfahrzeug kann kein Erdgas getankt werden. Der hohe Druck einer Erdgastankstelle bringt den Autogastank zum Platzen.

Besonders weit verbreitet ist Autogas als Treibstoff in Deutschland und in Europa. Deswegen erhält dieses Konzept einen Benzin- und LPG-Gas-Antrieb.

Die mit Autogas betriebenen Fahrzeuge erzeugen etwa nur ein Fünftel der Stickoxide, wie sie bei einer normalen Benzinverbrennung entstehen. Die CO<sub>2</sub>-Emission sinkt auch durch Autogas- statt Benzin-Betrieb um bis zu 15 Prozent, [33].

Grundsätzlich wird nur ein zusätzlicher Autogastank, der normalerweise aus einem Stahlbehälter besteht, benötigt. Diese Tanks, die mit entsprechenden Absperr- und Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet sind, werden innerhalb des Fahrzeuges als Unterflurtanks montiert. Das Autogas wird mit Überdruck in separaten Leitungen direkt bis vor die Einlassventile der einzelnen Zylinder geleitet. Per Knopfdruck kann während der Fahrt von Autogas- auf Benzinbetrieb gewechselt werden. Dies ermöglicht schon mit den gängigen Tankgrößen deutlich größere Reichweiten. Die Abbildung 20 zeigt eine Systemskizze eines Autogasfahrzeuges an.



**Abbildung 20: Systemskizze eines Autogasfahrzeuges, [34]**

Diese Autogasfahrzeuge können mit einem Handschaltgetriebe sowie Automatikgetriebe versehen werden. In diesem Fall bekommt das Konzept ein Automatikgetriebe, da heutzutage die Technik so weit ausgereift ist, dass der Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu einem Handschaltgetriebe kaum messbar ist. Außerdem kommt beim Automatikgetriebe nicht wie beim Schaltgetriebe eine Kupplung zum Einsatz, sondern ein Drehmomentwandler.

In diesem Konzept werden alle Bauteile direkt zu einer Karosserie in Schalenbauweise zusammengefügt und ermöglichen so eine selbstragende Karosserie. Die Steifigkeit wird durch die kompakte Blechhaut und hohle Blechquerschnitte mit möglichst großem Querschnitt (z.B. Schweller) und somit Widerstandsmoment erreicht. Zahlreiche Sicken erhöhen die Steifigkeit und vermeiden zusätzlich die Eigenschwingungsfrequenzen.

Die Karosserie ist größtenteils ein verschweißtes Teil mit integrierten Befestigungspunkten für die Einzelteile, wie Türen und Seitenwände. Die Schalenbauweise lässt sich mit anderen Werkstoffen wie z.B. in diesem Konzept mit Aluminium realisieren.

### **5.1.3.3 Elektrofahrzeug**

Ein Elektrofahrzeug, das als emissionsfreies Fahrzeug eingestuft ist, wird von einem Elektromotor angetrieben. Dieser befindet sich meistens in der Nähe der Drehachsen, damit die Räder per Getriebe oder in diesem Fall per Direktantrieb über die Achse angetrieben werden kann. Der Elektromotor bezieht seine Energie aus Batterien. Dabei sorgt ein Batteriemangement dafür, dass alle Batterien die nötige Leistung liefern und zugleich wird mit dem Managementsystem die Lebenszeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Batterien erhöht.

Mit dem aktuellen Ladezustand kann angezeigt werden, wie weit mit der restlichen Energie noch gefahren werden kann und über den Ladeanschluss, der als Schnittstelle zwischen dem öffentlichen Stromnetz und dem Akku von Elektroautos dient, können wieder die Batterien aufgeladen werden.

Desweiteren erreichen die Elektromotoren einen Wirkungsgrad von über 90% im Vergleich zum Verbrennungsmotor, die einen Wirkungsgrad von maximal 40%, oft nur 15-30% haben, [35]. Sie sind auch geräuschärmer, weisen keine lokalen Emissionen auf und im Verbrauch kostengünstige Alternative zu ihrem bisherigen Benziner oder Diesel. Nur der Erfolg der Elektromobilität steht und fällt mit der Batterie. Da sie

ausschlaggebend für die Reichweite (max. 200km) und Ladedauer ist. Neben dem hohen Preis, ist zugleich das hohe Gewicht das Problem der Elektro-Batterie. Auch müssen die Batterien in Massen produzierbar und über viele Tausend Lade- und Entladezyklen haltbar sein. In Abbildung 21 ist der Aufbau eines Elektrofahrzeugs beispielhaft dargestellt.

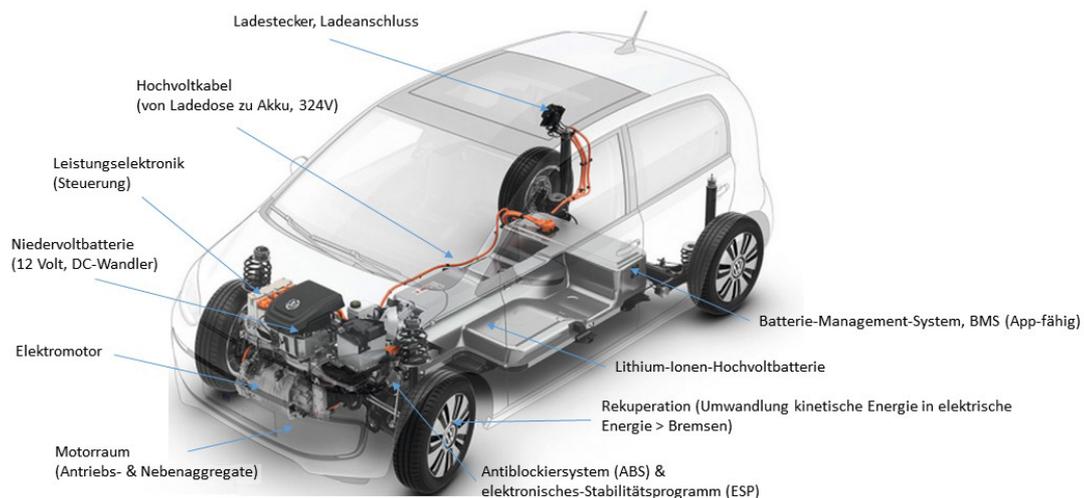


Abbildung 21: VW e-Up, [36]

Darüber hinaus wird das Metall-Fahrgestell auf Grund des hohen Gewichts, das infolge der Elektromobilität entstanden ist, durch ein Monocoque-Fahrgestell aus Faserverbundwerkstoff substituiert. Es handelt sich um eine selbsttragende, hochsteife und sichere Bauweise. Zudem bieten sich bei der Karosserie besonders die großflächigen Außenhautteile wie das Dach und die Seitenwände an mit Faserverbundwerkstoffen zu versehen. Gegen den Einsatz sprechen nur die aufwendige Fertigung, die hohen Werkstoff- und Fertigungskosten. Dabei können die Fertigungskosten bis zu dreimal so hoch sein und daher ist dieser Werkstoff nicht für Großserie geeignet.

#### 5.1.3.4 Brennstoffzellenfahrzeug

Bei einem Brennstoffzellenfahrzeug wird eine neue Antriebstechnologie und ein neuer Kraftstoff eingesetzt. Statt eines Verbrennungsmotors benötigen sie einen Elektroantrieb - meist ohne Getriebe - der Strom von der Brennstoffzelle umwandelt. Dieser elektrische Strom wird zeitweise in einer Traktionsbatterie zwischen gespeichert oder direkt in Bewegung umgewandelt. Dazu ermöglicht der zusätzliche elektrische

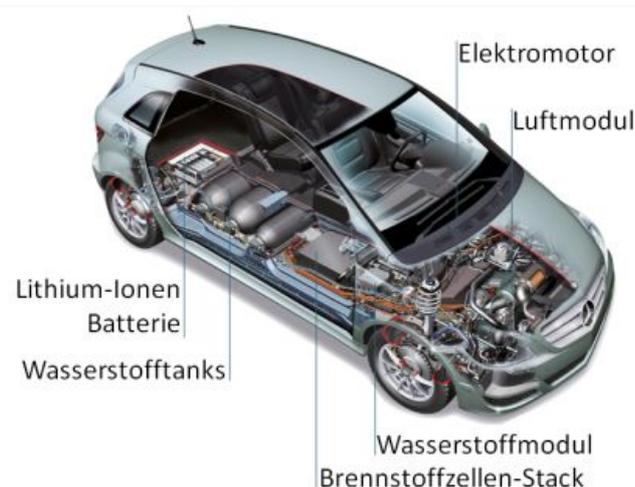
Speicher zum einen die Rekuperation und zum anderen entlastet er die Brennstoffzelle von Lastwechseln.

Die Brennstoffzelle erzeugt elektrischen Strom durch die Umkehrung der Elektrolyse. Dabei reagieren Wasserstoff und Luftsauerstoff zu Wasser bzw. Wasserdampf unter Abgabe von elektrischer Energie und Wärme. In diesem elektrochemischen Prozess wird chemische Bindungsenergie in elektrische Energie umgewandelt, die einen Elektromotor antreibt.

Aufgrund der hohen Speicherdichte von Wasserstoff sind Reichweiten von rund 500 Kilometern problemlos möglich, [37]. Neben der Speichertechnik können je nach Brennstoffzellentyp hohe elektrische Wirkungsgrade von 38-60% erreicht werden, [37].

Eine Brennstoffzelle setzt sich aus vielen Einzelzellen zusammen. Diese sind im Fahrzeug in Reihe zu einem Block geschaltet und generieren somit genügend Leistung für den Antrieb eines Elektromotors. Zugleich sind die Brennstoffzellenfahrzeuge emissionsfrei und leise.

Außerdem ersetzt die Brennstoffzelle die Lichtmaschine im Fahrzeug. Sie liefert Strom für die laufend zunehmende Steuerungselektronik im Fahrzeug, aber auch für die Standheizung oder die Klimaanlage. In Abbildung 22 ist der grundlegende Aufbau eines Brennstoffzellenfahrzeugs dargestellt.



**Abbildung 22: B-Klasse F-CELL, [38]**

Bei diesem hochmodernen Brennstoffzellenfahrzeug dient ein Rahmen als Basis für die Karosserie, die selber keine tragende Funktion haben muss. Der Rahmen dient als Tragstruktur für Antrieb, Fahrwerk und Aufbau. Die Vorteile der Rahmenbauweise sind die hohe Flexibilität der Varianten, die einfache Realisierbarkeit eines Baukastens mit

großem Gestaltungsspielraum, die gute Eignung für spezialisierte Aufbauten und die hohe Belastbarkeit.

Funktionale Anforderungen der Rahmenbauweise und vor allem die wirtschaftlichen Aspekte haben bei diesem Brennstoffzellenfahrzeug zur Entwicklung der selbsttragenden Karosserie aus Stahlblech geführt. Die Rahmenbauweise hat sich im Bereich der PKW und der Transporter nahezu vollständig durchgesetzt. Bei der Bauweise bildet das Tragwerk zur Aufnahme von Antrieb und Fahrwerk eine Einheit mit der Karosserie.

## **5.2 Konzeptauswahl**

Zuerst werden die jeweiligen Technologien der Basisfahrzeugkonzepte auf Kosten und Entwicklungsstand untersucht um bei der anschließenden Nutzwertanalyse die Bewertung besser einschätzen zu können.

### **5.2.1 Kostenvergleich**

Die Fahrzeuge heutzutage werden zu 99% von einem Verbrennungsmotor angetrieben, [39]. Immer mehr Dieselfahrzeuge nehmen an Bedeutung zu. Im Vergleich zu Benzin ermöglicht Diesel einen geringeren Kraftstoffverbrauch und sorgt damit zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission bei. Auch die Elektro-Hybridfahrzeuge sind generell CO<sub>2</sub>-ärmer als die konventionellen benzinangetriebenen Fahrzeuge. Die CO<sub>2</sub>-Emission liegt bei gleichem Fahrzeughersteller- und Modell bis zu 50% niedriger.

Zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren gehören auch Fahrzeuge mit Gasantrieb. Erdgas und Autogas verbrennen umweltschonender als Benzin oder Diesel. Unter Autogas versteht man im Gegensatz zum Erdgas den Betrieb von Kraftfahrzeugen mit Flüssiggas. Besonders die laufenden Kosten im Vergleich zu Benziner sind geringer.

Um einen mittelfristigen Klimaeffekt zu erzielen, spielt die Elektrizität in der Antriebstechnologie eine zentrale Rolle. Hierdurch lassen sich erhebliche Emissionseinsparungen realisieren. Dabei ist die Herstellung von Hybridfahrzeugen zurzeit noch mit hohen Kosten verbunden und das hohe Gewicht der Batterien heben die Energiesparvorteile zum Teil wieder auf. Bei Elektrofahrzeugen bei dem der Anteil der erzeugten Erneuerbaren Energie etwa 25% betragen, sind diese Fahrzeuge nicht unbedingt klimafreundlicher als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, [40].

Aber aller Wahrscheinlichkeit werden Brennstoffzellenfahrzeuge in den nächsten Jahren eine der wichtigsten Energietechnologien. Bei der Verwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen entstehen keine umweltrelevanten Abgase, nur Wasser.

Im Folgenden wird der Kraftstoffverbrauch alternativer Kraftstoffe und Antriebstechnologien verglichen, [41]. Dies dient zum einen als Basis für die Nutzwertanalyse und zum anderen soll es eine bessere Übersicht über die Verbrauchskosten verschaffen. Die Übersicht ist in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8: Kostenanalyse alternativer Kraftstoffe und Antriebe, [1] / [41]**

Antriebe und alternative Kraftstoffe	Jahr / Prognose	Verbrauch (l/100km)	Kraftstoff- / Strompreis (€/l)	Kraftstoff- / Stromkosten (€/100km)	Quelle
Verbrennungsmotor (Benziner)	2010	6,9	1,45	10,01	IFA
	2015	5,9	2,17	12,80	IFA
	2014	5,9	1,53	9,03	IFA und Eigene
Verbrennungsmotor (Diesel)	2010	6,3	1,25	7,88	IFA
	2015	5,4	1,88	10,15	IFA
	2014	5,4	1,35	7,29	IFA und Eigene
LPG (Autogas)	2010	8,3	0,65	5,40	IFA
	2015	7	0,97	6,79	IFA
	2014	7	0,72	5,02	IFA und Eigene
Voll-Hybrid (Benzinaggregat)	2010	4	1,45	5,80	IFA
	2015	3,4	2,17	7,38	IFA
	2014	3,4	1,53	5,20	IFA und Eigene
Elektroauto *	2010	15	0,25	3,75	IFA
	2015	15	0,26	3,90	IFA
	2014	15	0,29	4,35	IFA und Eigene
Brennstoffzelle (Wasserstoff) **	2010	0,87	9,99	8,69	IFA
	2015	0,85	8,99	7,64	IFA
	2014	0,85	9,50	8,08	IFA und Eigene

\* Mengenangabe in kwh  
\*\* Mengenangabe in kg  
IFA - Institut für Automobilwirtschaft

Bei diesem Vergleich muss beachtet werden, dass die jeweiligen Technologien unterschiedliche Reifegrade besitzen. Während beispielsweise für Autogas oder Benzin relativ sichere Aussagen getroffen werden kann, ist der Unsicherheitsgrad für batteriebetriebene Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge sehr hoch. Zudem wird laut IFA ausgegangen, dass sich die Benzin- und Dieselpreise ausgehend vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2015 um 50% erhöht werden, [41]. Während bei den spezifischen Kraftstoffverbräuchen mit einem weiteren Rückgang gerechnet wird.

Ein vollständiger Kostenvergleich ist schwer durchführbar. Zahlreiche Parameter der jeweiligen Antriebe müssen einbezogen werden. Nur die Verbrauchskosten sind im Wesentlichen technisch festgelegt. Schwierig zu berücksichtigen sind die Anschaffungs-, Wartungs- und Reparaturkosten, da die hier gewählten

Antriebstechnologien derzeit nur schwer miteinander verglichen und abgeschätzt werden können. Außerdem ist es noch schwerer vorherzusagen, wie sich der voraussichtliche Werteverlust sowohl für konventionelle Antriebe, als auch für alternative Antriebe entwickelt. Auch die jeweiligen Kosten für die Kraftfahrzeugversicherung müssen einbezogen werden.

Zudem hängen die Kosten davon ab, in wie weit die Batteriekosten gesenkt werden können und andererseits in welche Richtung werden sich der Öl- und damit die Kraftstoffpreise entwickeln. Eine Amortisationsrechnung des Instituts für Automobilwirtschaft ist in der Tabelle 9 dargestellt, [41]. Die Referenz bildet dabei jeweils der Antrieb mit konventionellem Benzin- oder Dieselmotor.

**Tabelle 9: Vergleich Amortisationslaufleistungen, [41]**

Vergleich	2010	2015	2020
<b>Autogas (LPG)</b>			
gegenüber Benziner (in km)	47.722	0	0
gegenüber Diesel (in km)	88.710	11.898	0
<b>Voll-Hybrid</b>			
gegenüber Benziner (in km)	13.912	12.442	9.522
gegenüber Diesel (in km)	28.193	38.753	9.098
<b>Elektroauto</b>			
gegenüber Benziner (in km)	178.750	76.800	38.065
gegenüber Diesel (in km)	272.500	116.400	48.645
<b>Brennstoffzelle</b>			
gegenüber Benziner (in km)	-	-	129.502
gegenüber Diesel (in km)	-	-	199.687

Diese Tabelle zeigt die Amortisationslaufleistung, die ein Fahrzeug mit alternativem Antrieb betrieben werden muss, bis sich die Anschaffungs- und Verbrauchskosten gegenüber einem Fahrzeug mit konventionellem Antrieb ausgleichen. Nach der Berechnung könnte sich beispielsweise die Amortisationsdauer für Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 deutlich reduzieren, d.h. gegenüber einem Benzinfahrzeug wird sich die Amortisationsdauer von knapp 80.000km heute auf rund 38.000km im Jahr 2020 reduzieren. Bei einem Dieselfahrzeug errechnet sich für das Jahr 2020 eine Amortisationslaufleistung von 48.645km. Jedoch muss wieder beachtet werden, dass die Amortisationsdauer von den jeweiligen Einsatzzwecken der Fahrzeuge und den sich daraus ergebenden Fahrzyklen abhängig sind. Um es an einem einfachen Beispiel deutlich zu machen: So liegt die Amortisationsdauer im Jahr 2020 vom Elektrofahrzeug gegenüber einem Benziner bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 12.000km bei drei Jahren. Aber bei einer jährlichen Fahrleistung von 7.000km bei ca.

fünf Jahren. Eine Übersicht über den jeweiligen Einsatzzweck ist in der Tabelle 10 dargestellt. Dazu dient die Tabelle 10 auch als Orientierungshilfe auf Basis einer ganzheitlichen Bewertung der verschiedenen Antriebsalternativen hinsichtlich der Fahrzeuganschaffung, [41].

**Tabelle 10: Antriebstechnologien- und Kostenprofile im Überblick, [1] / [41]**

Antrieb	Einsatzzweck	Alltagstauglichkeit	Ökologie	Kosten
<b>Verbrennungsmotor</b>	Langstreckenverkehr	Sehr hoch	Hoch	Relativ niedrige Anschaffungskosten, hohe Kraftstoffkosten
<b>Autogas</b>	Langstreckenverkehr	Sehr hoch	Besser als konventioneller Verbrennungsmotor	Anschaffungskosten höher, Kraftstoffkosten niedriger als konventioneller Verbrennungsmotor
<b>Voll-Hybrid</b>	Kurzstrecke mit häufigem Stop-and-go	Sehr hoch	Sehr hoch, abhängig von Fahrzyklen	Anschaffungskosten höher als Verbrennungsmotor, Kraftstoffkosten niedriger als konventioneller
<b>Elektroauto</b>	Kurzstrecke	Eingeschränkt (Reichweite)	Abhängig vom Strom-Mix	Anschaffungskosten deutlich höher als Verbrennungsmotor, Verbrauchskosten erheblich niedriger (Strom)
<b>Brennstoffzelle</b>	Kurz- und Mittelstreckenverkehr	Abhängig von Ausbau Wasserstoff-Infrastruktur	Abhängig von Wasserstoffherzeugung	Anschaffungskosten extrem hoch im Vergleich zum Verbrennungsmotor, hohe Kraftstoffkosten (Wasserstoff)

Hinzu kommt noch die Leichtbauweise, die eine wesentliche Rolle bei den Kosten spielt. Neue Materialien machen die Fahrzeuge leichter und zugleich sinkt der Treibstoffverbrauch sowie die Emission, jedoch sind die neuen Materialien in der Herstellung teurer und umweltbelastender als bisher gängige Werkstoffe. Dabei stehen verschiedene Werkstoffe für den Rohbau und die Anbauteile wie Türen, Klappen oder Deckel zur Verfügung. Mit höchstfestem Stahl kann 10%, mit Aluminium und GFK 30% und mit CFK 44% Gewicht gegenüber einer Basis-Stahlkarosserie, die 300kg wiegt, eingespart werden, [42]. Die Kosten betragen beim Rohbau etwa 3€ für ein Kilogramm fertig verarbeiteter Stahl, 10€ beim Aluminium und bei CFK etwa 50€ (Stand 2014), [42]. Somit ergeben sich die Kosten von ca. 1000€ für etwa eine 300kg schwere Stahlkarosserie, bei Aluminium durch das geringe Gewicht von ca. 210kg Kosten von 2100€ und bei CFK mit einem Gewicht von 170kg Kosten von 8500€. Damit ist die CFK-Karosserie etwa 6000€ teurer als eine Karosserie aus Aluminium. Dennoch wird die Leichtbauweise auf Grund der nötigen Gewichtsreduktion bei der Elektromobilität oder bei schweren Antrieben eingesetzt. Eine weitere Übersicht über die Kosten und die Eigenschaften der Leichtbauwerkstoffe, die einen sehr zielgerichteten Einsatz verlangen, ist in der nachfolgenden Tabelle 11 dargestellt, [43].

**Tabelle 11: Materialeigenschaften (Stand Dezember 2013), [43]**

	Stahl	Aluminium	FVK
Material-eigenschaften	 <p>Dichte 7,8 g/cm<sup>3</sup> Kosten ca. 1 €/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Energieaufnahme durch lokales Beulversagen</li> <li>Gleichzeitig Strukturintegrität vorhanden</li> </ul>	 <p>Dichte 2,7 g/cm<sup>3</sup> Kosten ca. 3 €/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Energieaufnahme durch lokales Beulversagen</li> <li>Gleichzeitig Strukturintegrität vorhanden</li> </ul>	 <p>Dichte 1,5 g/cm<sup>3</sup> Kosten ca. 25 €/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Energieaufnahme durch progressives crushing</li> <li>Entweder Energieaufnahme oder Strukturintegrität</li> </ul>
Spezifische Energieaufnahme	33 KJ/kg	50 KJ/kg	strukturinteger < 5 KJ/kg crushing bis 250 KJ/kg
Schlagzähigkeit	50 J/cm <sup>2</sup>	20 J/cm <sup>2</sup>	4 J/cm <sup>2</sup>
Festigkeit	350-1650 MPa	200-500 MPa	500*-1700** MPa

Die hier aufgeführten Kosten sind jeweils stark vom Markt und vom Bedarf des jeweiligen Materials abhängig. Zahlreiche Studien rechnen für die kommenden Jahre für den Carbonfaser-Markt mit einer starken Wachstumsrate. Treiber des Marktes neben der Luftfahrt und Windenergie ist vor allem die Industrie, besonders der Fahrzeugbau. Demensprechend ändert sich auch der generelle Preis je kg.

Eine Schwierigkeit beim Einsatz eines leichten Werkstoffs wie z.B. CFK ist, dass kein den metallischen Werkstoffen vergleichbares Recycling möglich ist. Nur wenn das Material vollständig recycelbar ist, kann eine ganzheitliche Kostenbetrachtung, bei der alle Stufen des Produktlebensweges von den Rohstoffen bis zum fertigen Bauteil sowie das Recycling berücksichtigt wird, gegeben werden. Dagegen sind bei der Primärerzeugung einer Tonne Stahl, die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich geringer als bei Aluminium oder CFK. Das Recycling von Stahl ist oft und ohne Qualitätsverlust erreichbar. Dazu schreibt die EU-Richtlinie über die Altkarrosentsorgung vor, dass 85% des Fahrzeuges recycelt werden müssen, [44].

Es muss nochmals betont werden, dass der hier vorgenommene Kostenvergleich nur eine Orientierung über die relativen Kosten alternativer Kraftstoffe bzw. Antriebe und Werkstoffe abbildet.

## 5.2.2 Nutzwertanalyse

Um alle Konzepte bewerten zu können wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Diese Analyse ist ein Bewertungsverfahren, mit dem die Konzepte nach mehreren

verschiedenen Kriterien bewertet und verglichen werden. Mit der Nutzwertanalyse lässt sich also der Nutzen bestimmter Maßnahmen für eine Konstruktion bewerten. Dabei ist das Ergebnis der Nutzwertanalyse ein Punktwert. Je höher dabei der Punktwert ausfällt, desto „besser“ ist die Variante zu bewerten.

Diese Methode ist besonders dann geeignet, wenn durch nicht in Geldwert oder Zahlen darstellbare Kriterien, eine Entscheidung zwischen Alternativen getroffen werden muss. Als nachteilig sind der hohe Zeitaufwand zu benennen, die Subjektivität bei der Ermittlung der Bewertungskriterien und der Gewichtungsfaktor, zu nennen. Die Vorgehensweise gliedert sich in nachfolgende Schritte, [45]:

- Festlegung geeigneter Bewertungskriterien
- Gewichtungsfaktoren bestimmen
- Skala der Zielerfüllungsfaktoren festlegen
- Ermittlung des Nutzwertes durch Gewichtung der Punktwerte je Kriterium
- Aufsummierung der gewichteten Punktwerte über alle Kriterien
- Bestimmung der besten Konzeptvariante

Mit dem Ziel, das Beste der in Kapitel 5 entwickelten Basisfahrzeugkonzepte zu finden, wird nachfolgend eine Nutzwertanalyse nach dem obigen Schema durchgeführt. Die Bewertungskriterien ergeben sich dabei u.a. aus dem Kostenvergleich sowie aus den in Kapitel 4 und 5 entstandenen Erkenntnissen an den Bürgerbus und lauten wie folgt:

- Kosten
- Kraftstoffverbrauch
- CO<sub>2</sub>-Emission
- Reifegrad
- Wirkungsgrad
- Reichweite
- Tankstellendichte
- Recycling

Der Gewichtungsfaktor zeigt die Wichtigkeit eines Bewertungskriteriums an. Um diesen zu bestimmen, werden die Kriterien zueinander in Kontext gesetzt. Als Methode wird hier der Paarvergleich nach dem Matrixverfahren herangezogen. Dadurch ist es

möglich, eine Rangfolge der Einzelkriterien zu bilden. Dazu werden jeweils in die erste Zeile A und in die erste Spalte B der Matrix die Bewertungskriterien in derselben Reihenfolge eingetragen. Anschließend sind die Felder der Matrixdiagonalen zu durchkreuzen. Mit der Fragestellung „Ist A wichtiger als B?“ werden die Bewertungskriterien nun paarweise miteinander verglichen und mit Zahlenwerten von null bis zwei gewichtet. Ist ein Kriterium wichtiger als das Andere, bekommt es den Punktwert 2, andernfalls den Punktwert 0. Sind beide Kriterien gleich gewichtig, erhalten beide Kriterien gleiche Punktezahl 1. Auf diese Weise werden alle Matrixfelder rechts der Diagonalen mit den Punktwerten gefüllt. Anschließend werden die Felder unterhalb der Diagonalen mit den gegenseitigen Punktwerten ergänzt (2→0; 0→2; 1→1). Im nächsten Schritt werden nun die Punktwerte zeilenweise addiert und durch die Gesamtpunktzahl dividiert. Somit erhält jedes Kriterium den entsprechenden Gewichtungsfaktor  $g_i$ . Das entscheidende Bewertungskriterium kann am größten Gewichtungsfaktor erkannt werden. Um eine höhere Sachlichkeit zu erzielen, werden diese Bewertungen von mehreren Personen vorgenommen. Dabei bewertet jeder die Kriterien für sich. Im Anschluss wird eine einheitliche Gesamtgewichtung, indem die Gewichtungen je Bewertungskriterium addiert und durch die Anzahl der Personen dividiert wird, gebildet. Zudem werden die Zahlen auf die nächstmögliche Zahl aufgerundet bzw. abgerundet. Tabelle 12 zeigt die ermittelten Gesamtgewichtungsfaktoren der einzelnen Bewertungskriterien.

**Tabelle 12: Ermittlung der Gewichtungsfaktoren, [1]**

	Anschaffungs-kosten	Leichtbau-kosten	Kraftstoffver-brauch (Betriebs-kosten)	CO2-Emission	Reifegrad	Wirkungsgrad	Reichweite	Tankstellendichte	Recycling	Summe horizontal	Gewichtungs-faktor $g_i$
Anschaffungskosten		2	1	1	2	2	2	2	2	14	0,19
Leichtbaukosten	0		1	1	2	2	2	2	1	11	0,15
Kraftstoffverbrauch (Betriebskosten)	1	1		1	1	2	1	1	2	10	0,14
CO2-Emission	1	1	1		1	1	2	2	1	10	0,14
Reifegrad	0	0	1	1		1	1	1	2	7	0,10
Wirkungsgrad	0	0	0	1	1		1	1	2	6	0,08
Reichweite	0	0	1	0	1	1		1	2	6	0,08
Tankstellendichte	0	0	1	0	1	1	1		2	6	0,08
Recycling	0	1	0	1	0	0	0	0		2	0,03
<b>Summe</b>										<b>72</b>	<b>1,00</b>

Die wichtigsten Bewertungskriterien sind demnach die unterschiedlichen Kostenaspekte und die CO<sub>2</sub>-Emission des Fahrzeugs. Diese Kriterien beeinflussen mit 62 Prozent die Entscheidung.

Die Zielerfüllungsfaktoren  $e_i$  bewerten, wie gut die einzelnen Kriterien von den Konzeptvarianten jeweils erfüllt werden. Dazu wird eine Bewertungsskala mit Punktwerten von 1 (unbefriedigend) bis 5 (sehr gut) festgelegt und verwendet.

Zu jedem Bewertungskriterium lässt sich der Nutzwert durch das Produkt aus dem Gewichtungsfaktor  $g_i$  und dem Erfüllungsfaktor  $e_i$  berechnen. Aus der Summe der einzelnen Nutzwerte, errechnet sich der Gesamtnutzwert des jeweiligen Konzepts. Die Tabelle 13 zeigt die Berechnung der Nutzwerte für die vier Konzeptvarianten.

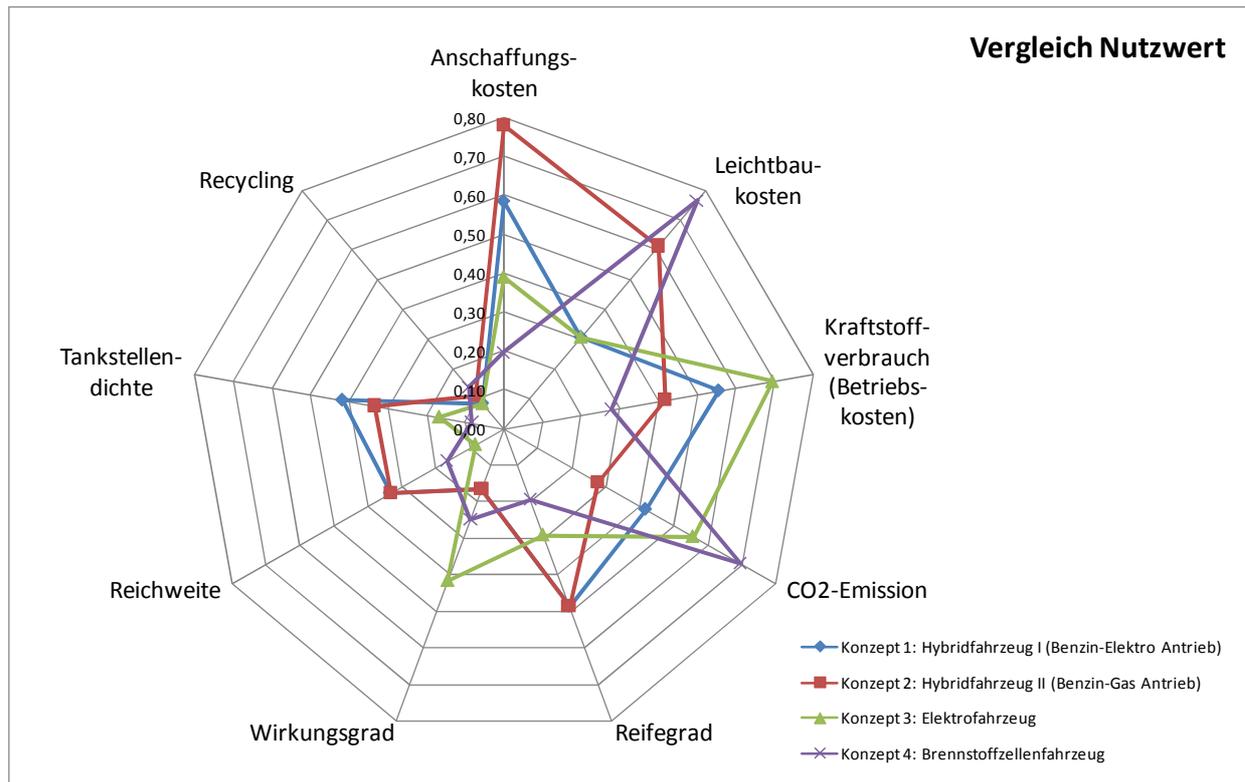
**Tabelle 13: Berechnung der Nutzwerte der Konzeptvarianten, [1]**

Bewertung			Konzept 1: Hybridfahrzeug I (Benzin-Elektro Antrieb)		Konzept 2: Hybridfahrzeug II (Benzin-Gas Antrieb)		Konzept 3: Elektrofahrzeug		Konzept 4: Brennstoffzellenfahrzeug	
No.	Kriterien	Gewichtungs- faktor $g_i$	Erfüllungs- faktor $e_i$	Produkt $g_i \times e_i$	Erfüllungs- faktor $e_i$	Produkt $g_i \times e_i$	Erfüllungs- faktor $e_i$	Produkt $g_i \times e_i$	Erfüllungs- faktor $e_i$	Produkt $g_i \times e_i$
1	Anschaffungskosten	0,19	3	0,58	4	0,78	2	0,39	1	0,19
2	Leichtbaukosten	0,15	2	0,31	4	0,61	2	0,31	5	0,76
3	Kraftstoffverbrauch (Betriebskosten)	0,14	4	0,56	3	0,42	5	0,69	2	0,28
4	CO <sub>2</sub> -Emission	0,14	3	0,42	2	0,28	4	0,56	5	0,69
5	Reifegrad	0,10	5	0,49	5	0,49	3	0,29	2	0,19
6	Wirkungsgrad	0,08	2	0,17	2	0,17	5	0,42	3	0,25
7	Reichweite	0,08	4	0,33	4	0,33	1	0,08	2	0,17
8	Tankstellendichte	0,08	5	0,42	4	0,33	2	0,17	1	0,08
9	Recycling	0,03	3	0,08	4	0,11	3	0,08	5	0,14
<b>Summe / Nutzwert</b>		<b>1,00</b>	<b>31</b>	<b>3,35</b>	<b>32</b>	<b>3,51</b>	<b>27</b>	<b>2,99</b>	<b>26</b>	<b>2,76</b>

Bewertung: 1 = unbefriedigend; 2 = gerade noch tragbar; 3 = ausreichend; 4 = gut; 5 = sehr gut (ideal)

### 5.2.3 Auswertung

Zur Visualisierung der Ergebnisse lässt sich die Erfüllung der einzelnen Bewertungskriterien, für jede Variante überschaubar, in einem Netzdiagramm darstellen. Je weiter außen der Punkt auf der Achse liegt, desto besser ist die Erfüllung des entsprechenden Kriteriums. Die Konzeptvariante mit dem größten Flächeninhalt unter dem Graphen erhält den größten Nutzwert. Die Abbildung 23 zeigt die Visualisierung der Ergebnisse aus Tabelle 13.



**Abbildung 23: Netzdiagramm zum Vergleich der Konzeptvarianten, [1]**

Aus Abbildung 23 ist ersichtlich, dass das Konzept 2 den größten Nutzwert aufweist. Größter Vorteil dieses Konzepts ist, dass die Anschaffungskosten vergleichsweise gering sind und hinzu ist der hohe Reifegrad ausschlaggebend für das gute Abschneiden bei der Nutzwertanalyse.

Das Konzept 1, das bis zur bestimmten Streckenweiten mit Elektrizität fährt und darüber hinaus auf einen gewöhnlichen Benzinmotor zugreifen kann, ist in der Anschaffung teurer, da die Entwicklung den Unternehmen deutlich mehr Kosten verursacht.

Ähnlich sieht es mit Konzept 3 aus. Sicher kann beim Tanken Geld gespart werden, jedoch ist das Netz für Elektrotankstellen noch lange nicht flächendeckend ausgebaut.

Den mit Abstand geringsten Nutzwert weist das Konzept 4 auf. Gründe dafür sind vor allem das schlechte Ergebnis hinsichtlich der Anschaffungskosten und des Reifegrads, welches schon bei der Konzeptauswahl begründet wurde. Zusätzlich muss für dieses Konzept Tankstellen aufgebaut werden. Dies wirkt sich zusätzlich negativ in der Entscheidungsfindung aus. Dennoch gilt der Elektroantrieb gemeinsam mit der Wasserstoff-Brennstoffzelle als der Antrieb der Zukunft. Dabei vertrauen die Menschen auf die umweltschonenden Antriebskonzepte. Nur allerdings müssen alle auffälligen Nachteile der alternativen Antriebe beseitigt werden.

## 6 Konzeptentwicklung und Dimensionierung

In den nachfolgenden Abschnitten soll nun das in Kapitel 5 ermittelte Konzept weiter entwickelt und dimensioniert werden. Generell wird in dieser Phase der Entwicklung vom Groben ins Detail fortschreitend gearbeitet. Deshalb wird zu Beginn ein Basisfahrzeug, das die besten Anforderungen erfüllt, ausgewählt und anschließend werden die Proportionen mittels Maßkonzept und Package bestimmt. Darauf folgen die Entwicklung der Fahrgastkabine und die ersten Designentwürfe.

### 6.1 Basisfahrzeug

Am Anfang der Konzeptphase müssen strategische Entscheidungen getroffen werden. Dazu wird ein Basisfahrzeug, welches hinsichtlich funktionaler, geometrischer und betriebswirtschaftlicher Kriterien den Anforderungen am weitgehendsten entspricht, aus der Markanalyse ausgewählt. Darüber hinaus wird damit eine erfolgreiche Positionierung am Markt mit maximalem Nutzen für den Kunden bzw. Käufer sichergestellt.

Bei der Auswahl gibt es große Unterschiede. Jedes Basisfahrzeug weist je nach Einsatzzweck unterschiedliche Bauweisen auf. Es gibt Basisfahrzeuge, bei denen schon bereits Aus- oder Aufbauten vorhanden sind und es gibt Basisfahrzeuge, die nur aus einem Leiterraum bestehen.

Als Leiterraum wird das klassische Fahrgestell mit Längsträgern und Querholmen bezeichnet. Diese Fahrgestelle eignen sich für Basisfahrzeuge wesentlich besser, da spezielle Fahrgastkabinen für die Bürgerbusindustrie entwickelt werden können.

Folglich kommen nur zwei Fahrgestelle aus der Markanalyse in Frage. Zur Auswahl steht auf der einen Seite der MB Sprinter, der der Markführer unter den Bürgerbussen ist, und auf der anderen Seite der VW T5, der bei Fahrkomfort überlegen ist.

Aufgrund dessen, dass der VW T5 in Gegensatz zum Sprinter (3,5 Tonnen) nur auf 2,8 Tonnen ausgelegt ist, führen die zwei Fahrzeuge in der Entwicklung zu unterschiedlichen technischen Lösungen.

Dabei ist für die Entwicklung eine Umwandlung eines bestehenden Fahrzeugs kosten- und zeitintensiver. Gleichzeitig bleiben auch die wesentlichen Abmessungen des Fahrzeugs nicht erhalten und die Robustheit des Leiterraums ist nicht für die Fahrgastkabine ausreichend dimensioniert. Deshalb wird dem Sprinter, der mit einem

Verbrennungsmotor ausgestattet ist, zusätzlich ein Gas-Antrieb integriert. Auch die Antriebskomponenten wie Lenkung, Fahrwerk und Getriebe werden vom Basisfahrzeug übernommen. Da diese Komponenten aufeinander abgestimmt sind, müssen die Verbindungspunkte zwischen den Komponenten nicht passend gemacht werden und der zusätzliche Arbeitsaufwand bei der Mischung verschiedener Komponenten und deren Abstimmung wird so eingespart. In der nachfolgenden Abbildung 24 ist das ausgewählte Basisfahrzeug dargestellt.



**Abbildung 24: Mercedes Benz Sprinter Fahrgestell mit Tiefrahmen, [46]**

Bei dem ausgewählten MB Sprinter handelt es sich um ein Fahrgestell mit Tiefrahmen. In Kooperation mit der Firma AL-KO entwickelt, ist die Rahmenoberkante trotz des Heckantriebs durchgängig um 205 Millimeter niedriger als beim Serienfahrgestell, [47]. Zusätzlich verbessert der tiefere Schwerpunkt des Fahrzeuges deutlich die Straßenlage sowie das Kurvenverhalten und durch die niedrige Rahmenhöhe kann ein höherer Aufbau ermöglicht werden. Damit das Fahrgestell seine Eigenschaften trotz Kabinenaufbau beibehält, sowie die Vorschriften des Fahrgestellherstellers eingehalten werden und die Sicherheit nicht leidet, wird hierzu erforderliche Aufbaurichtlinie berücksichtigt.

Die Aufbaurichtlinie stellt der Fahrzeughersteller zur Verfügung und diese basiert auf der Entwicklung des Fahrzeugs Transporter Sprinter BM 906 (Model 2013) - vorrangig nur für den europäischen Markt, [48].

### **6.1.1 Maßkonzept**

Das Maßkonzept definiert wesentliche Ausprägungen eines Fahrzeugs im Interieur und Exterieur. Darin werden Parameter wie Längen, Breiten und Höhen definiert. Die hier

benutzten Parameter sind aus Katalogen und Aufbauzeichnungen von der Internetpräsenz des Herstellers, [49]. Die zur Verfügung stehenden Abmessungen sind unvollständig und zugleich verweigert auch der Hersteller die Herausgabe bestimmter geschützter Daten. Deswegen werden fehlende Parameter durch ein Bildbearbeitungsprogramm entnommen, um qualitative exakte Abmessungen des gesamten Fahrzeuges zu erhalten. Die in Abbildung 25 dargestellten Hauptabmessungen dienen als Grundlage für die spätere Packageuntersuchung sowie für die Fahrgastkabine.

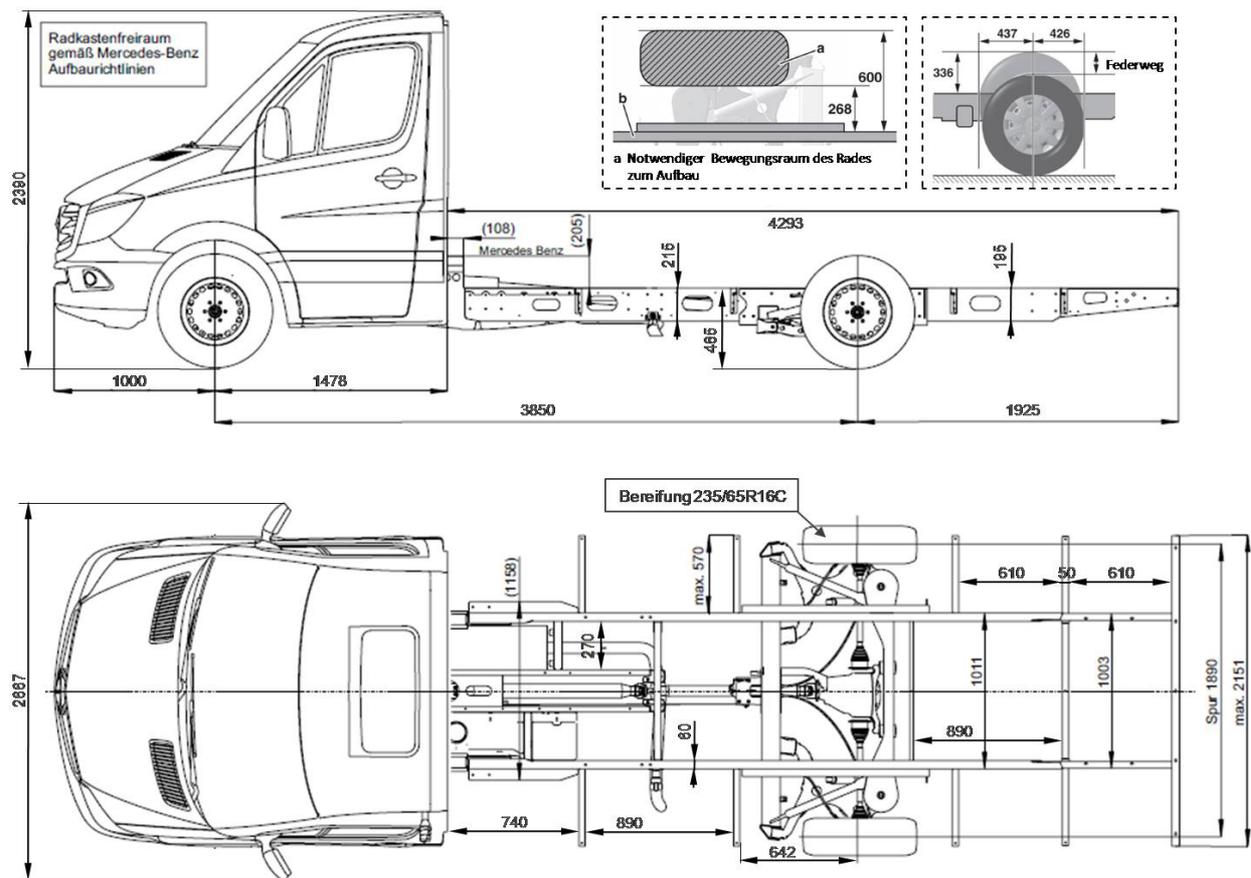


Abbildung 25: Hauptabmessungen des Sprinters, [1] / [46] / [50]

Ein weiterer wichtiger Punkt, der vor Beginn der Packageuntersuchung zu klären ist, bezieht sich auf das zu verwendende Koordinatensystem. Damit haben einerseits die anderen Nutzer einen festen Bezugspunkt im Fahrzeug und andererseits können die Bauteile auf die definierte Lage im 3D-CAD-Modell direkt eingesetzt werden. Wie in Abbildung 26 dargestellt, befindet sich der Ursprung auf der Fahrzeuglängsachse direkt hinter der Fahrerkabine. Dabei zeigt die X-Achse gegen die Fahrtrichtung. Die Y-Achse zeigt auf der Fahrzeugquerachse nach rechts und die Z-Achse nach oben.



Abbildung 26: Fahrzeug Koordinatensystem, [1] / [51]

### 6.1.2 Antrieb

Die technischen Daten des Verbrennungsmotors des ausgewählten Sprinters ist in der nachfolgenden Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Sprinter 316 - Technische Daten, [46] / [52]

Motor und Fahrleistung		
Motor	M 271 E 18 ML	
Antrieb	Hinterradantrieb	
Zylinderanzahl / Anordnung	4 / in Reihe	
Anzahl der Ventile pro Zylinder	4	
Hubraum [cm <sup>3</sup> ]	1.796	
Nennleistung [KW]	115	
bei Drehzahl [1/min]	5.000	
Nenndrehmoment [Nm]	240	
bei Drehzahl [1/min]	3.000 – 4.000	
5-Gang-Automatikgetriebe NAG W5A 380	Sonderausstattung	
Kraftstoffart	Superbenzin	
Tankinhalt [l]	ca. 100	
Kraftstoffaufbereitung	Elektronisch gesteuerte Einspritzung	
bivalent	Kraftstoffverbrauch bei Flüssiggasbetrieb [l/100km] <sup>12</sup>	Innerorts 22.3-23.3 Außerorts 13.2-14.2 Kombiniert 16.7-17.7
	Kraftstoffverbrauch bei Benzinbetrieb [l/100km] <sup>12</sup>	Innerorts 17.7-18.2 Außerorts 10.7-11.2 Kombiniert 13.3-13.8
CO <sub>2</sub> -Emissionswerte kombiniert Flüssiggasbetrieb [g/km] <sup>12</sup>	272-288	
CO <sub>2</sub> -Emissionswerte kombiniert Benzinbetrieb [g/km] <sup>12</sup>	317-329	
Abgasnorm	PKW Euro6 Gr.I/Nfz Euro6 Gr.III	
Batterie [V/Ah]	12/74	

Generator [V/A]	14/150
<sup>1</sup> Die Angaben beziehen sich nicht auf ein einzelnes Fahrzeug, sondern dienen allein Vergleichszwecken zwischen den verschiedenen Fahrzeugtypen. Verbrauchs- und Emissionswerte sind gültig für Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse bis 3,5t zul. Gesamtgewicht. Die Werte sind abhängig vom Fahrzeug-Leergewicht (inkl. Fahrer 75 kg), der Hinterachsübersetzung und der Getriebevariante, [52]. <sup>2</sup> Werte gültig für alle Leergewichtsklassen und aus Sprinter LGT, Kastenwagen mit Flüssiggas-/Benzinmotor, [52].	

In den letzten Jahrzehnten stand der Verbrennungsmotor als Antrieb im Fokus. Allerdings wird derzeit mehr auf alternative Antriebsmöglichkeiten gesetzt. Dazu wird hier eine LPG-Gasanlage nachträglich in das Fahrzeug eingebaut.

Vor allem bei Gasanlagen ist ein fachgerechter Einbau extrem wichtig und sollten daher keine Kompromisse beim Einbau eingegangen werden. Da ein nicht sachgemäßer Einbau zu verheerenden Unfällen führen kann. Entsprechend wird ein qualifizierter Fachbetrieb, der bei einem ADAC Test (Stand April 2015) als Anlagen-Lieferant aufgelistet ist, ausgewählt, [53]. Dieser Fachbetrieb Vialle Center ist zudem deutschlandweit Vertreten und verfügt auf dem Gebiet über reichlich Erfahrungen, [54]. Als Autogasanlage wird laut Fachbetrieb die Systemvariante Vialle LPI-System (Liquid Propane Injektion) empfohlen. Dabei handelt es sich um eine sequenzielle Autogasanlage, die das Autogas in der Flüssigphase einspritzt.

Heutzutage gilt die Einspritztechnik gegenüber der Verdampfertechnik als das modernste Verfahren und kommt dem der Benzineinspritztechnik am nächsten. Der LPI-Aufbau ist in Abbildung 27 dargestellt.

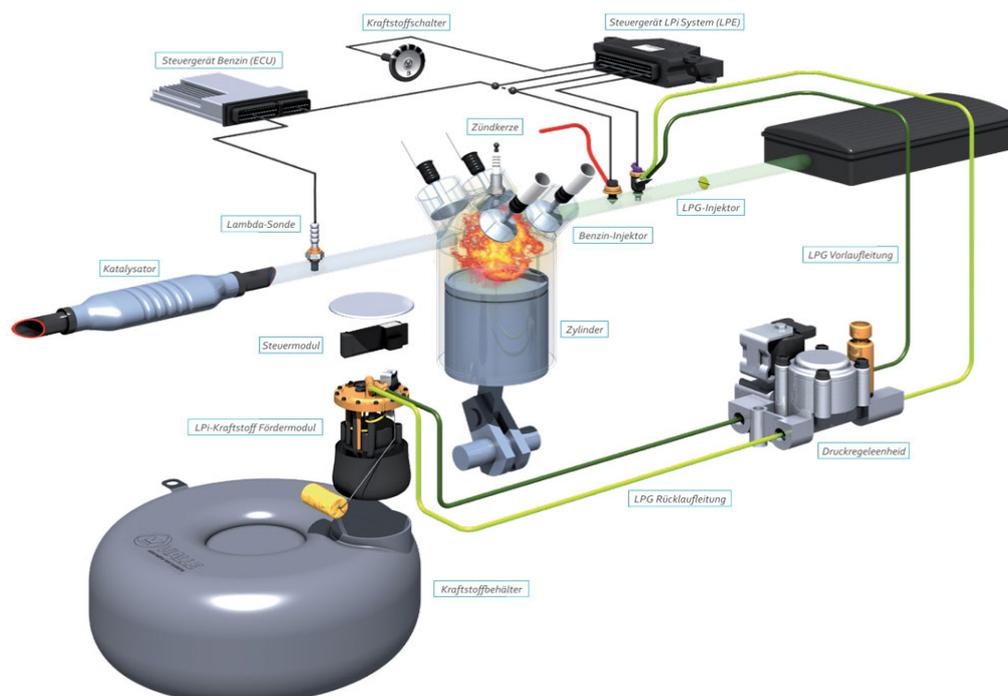


Abbildung 27: LPI-System-Aufbau, [55]

Bei dieser Umrüstung wird eine komplette Autogaseinrichtung mit Tank und Verbindung zum Verbrennungsmotor eingebaut. Das flüssige Autogas wird durch eine Pumpe, die sich im Gastank befindet und stets den benötigten Einspritzdruck regelt, zum Ansaugtrakt des Verbrennungsmotors geleitet. Dort sind die Injektoren für jeden einzelnen Zylinder angebracht. Außerdem wird das überflüssige Autogas durch die Rücklaufleitung zurück in den Gastank befördert. Das ganze System ist mit einem Sicherheitssystem ausgestattet, durch den der Gasstrom bei einem Druckabfall gestoppt werden kann, [55].

Ein weiterer Vorteil ist, dass auch das Motormanagement unberührt bleibt. Es werden nur die Kennfelder vom Benzinsteuergerät adaptiert und dementsprechend für die Autogaseinspritzung aufbereitet. So bleiben die ursprünglichen Einstellungen erhalten.

Mit der Technologie wird der Verbrennungsvorgang erheblich verbessert und gleichzeitig wird eine höhere Motorleistung ermöglicht. Der Gesamteinbau kostet ungefähr 2500€, [54]. Dabei wird auf den Radmuldentank verzichtet und ein Unterflurtank installiert, siehe Abbildung 28.



Abbildung 28: Gastanks, [56] / [57]

Der Unterflurtank, der ein Fassungsvermögen zwischen 34 und 105 Litern hat, ist fast Baugleich mit dem Radmuldentank und ist nach diesem der meist verbaute Gastank in Kraftfahrzeugen. Ebenso der Zylindertank, der im Gegensatz zu Unterflurtank ein größeres Fassungsvermögen besitzt, wird aufgrund der unzulässigen Abmessungen nicht weiter verfolgt, siehe Abbildung 28. Demzufolge wird der Unterflurtank unter dem Fahrzeug montiert und die gesamte Ladefläche bleibt erhalten. Dazu werden in der nachfolgende Tabelle 15 drei unterschiedliche Tankgrößen untersucht und die Reichweiten bestimmt. Bei der Berechnung der Reichweite wird berücksichtigt, dass der

Autogastank nur bis max. 80% befüllt werden darf, [58]. Damit wird die Ausdehnung des flüssigen Autogases bei Temperaturschwankungen ermöglicht.

Tabelle 15: Gas - Tankauswahl, [1] / [56]

Tankdurchmesser [mm]	Tankhöhe [mm]	Tankvolumen [l]	Gewicht [kg]	Preis [€]
720	250	85	37,5	184,99
720	270	93	40,5	184,99
<b>720</b>	<b>300</b>	<b>105</b>	<b>43,5</b>	<b>209,99</b>
Fahrleistung [km] <sup>1</sup> , Gasverbrauch [l] <sup>2</sup> , Erforderlicher Tankvolumen [l] <sup>3</sup>				
1 Tag	325	56	70	
...	395	68	85	
	443	74,4	93	
	<b>488</b>	<b>84</b>	<b>105</b>	
2 Tage	650	112	140	
3 Tage	975	168	-	
4 Tage	1300	223,6	-	
5 Tage	1625	279,5	-	
<sup>1</sup> Bürgerbuseinsatzbeispiel, siehe Kapitel 3.5.				
<sup>2</sup> Kraftstoffverbrauch (kombinierter Mittelwert) 17,2l/100km, siehe Tabelle 14.				
<sup>3</sup> 80% Befüllung berücksichtigt.				

Es ist auch zu beachten, dass grundsätzlich im Benzin-Motor gestartet wird und erst nach ca. 30-40sec. schaltet die Steuerung auf Gas um. Laut ADAC beträgt der Benzinverbrauch in diesem Startvorgang ca. 0,35 Liter/100km, [53]. Zudem wird bei niedrigen Außentemperaturen durch häufige Kaltstarts die Benzinbetriebs-Phase geringfügig verlängert.

Aufgrund der Reichweite wird ein Unterflurtank mit 105l Tankvolumen ausgewählt (in der Tabelle 15 rot markiert). Das Leergewicht der Flüssiggasanlage beträgt etwa 43,5 Kilogramm. Der Benzintank bleibt beim Umbau erhalten, so dass automatisch zwischen Benzin und Autogas umgeschaltet werden kann.

### 6.1.3 Package

Eine enorme Herausforderung der geometrischen Fahrzeuggestaltung mit alternativem Antrieb ist im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugkonzept die Integration von zusätzlichen Systemen. Die Erarbeitung eines harmonischen Bauraumkonzepts erfolgt unter Beachtung der Wechselwirkungen im Gesamtfahrzeug. Dies wird als Package bezeichnet und entspricht einem Automobilbasisplan.

In diesem Kapitel wird besonders die Positionierung der Gasanlage beschrieben. Das Package kann man sich wie einen Längsschnitt in der Fahrzeugmitte vorstellen, indem anschließend diverse Komponenten positioniert werden. Zudem wird immer eine seitliche Perspektive gewählt. Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt das entstandene Packagekonzept.

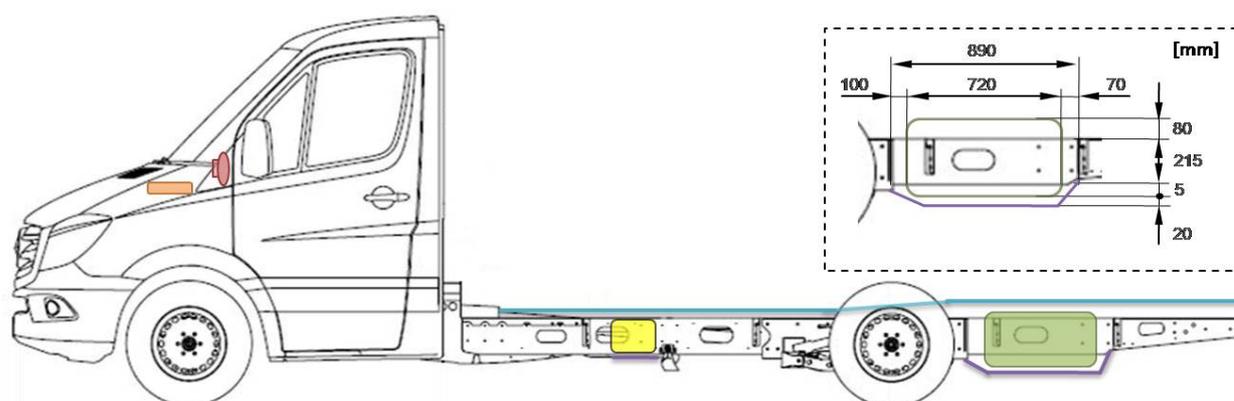


Abbildung 29: Packagekonzept - Gaskomponenten, [1]

Das Fahrgestell bietet von Beginn eine sehr gute Integration der Gaskomponenten an. Hier können die Komponenten ohne aufwändige Vorbereitung des Fahrgestells montiert werden.

Der Unterflurtank (grün) wird direkt hinter der Hinterachse angebracht und die Montage des Multiventils erfolgt in einem Einbauwinkel von 0 Grad, [56]. Zusätzlich wird der Unterflurtank durch ein Schutzblech (lila) aus Stahl gegen Hitze und Steinschlag geschützt. Die aufwirbelnden Steine hätten nach kurzer Zeit den Tank beschädigt und Spuren hinterlassen. Dort würde sich dann das Wasser sammeln und die Bildung von Rostnester fördern.

Zur Vermeidung von Korrosionsschäden wird eine Schutzbeschichtung auf das Schutzblech aufgetragen, welche die Geschwindigkeit des korrosiven Angriffs verringert und die Lebensdauer des Bleches vergrößert.

Auch die Druckregleinheit (gelb), die sich hinter dem Benzintank befindet, wird durch ein extra Blech (lila) geschützt.

Der Vorteil bei der Verwendung des Unterflurtanks liegt darin, dass er außerhalb der Fahrgastkabine befindet und somit eine ebene Ladefläche (blau) ermöglicht. Nur in der Nähe des Tanks muss aufgrund der Tankabmessungen die Ladefläche mit einer leichten Erhebung konstruiert werden.

Das Steuergerät (orange) sowie die Einspritzdüsen werden in den Motorraum eingebaut. Dabei errechnet das Steuergerät die Autogasmenge, die in die Einspritzdüsen weitergeleitet werden. Außerdem schaltet das Steuergerät zwischen Autogas- und Benzinbetrieb automatisch.

Der Schalter (rot) wird in die Mittelkonsole oder griffbereit in der Nähe des Fahrers montiert. Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt die Koordinatenwerte der Komponenten an. Diese Koordinaten sind bezogen auf den Mittelpunkt der jeweiligen Komponente.

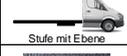
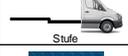
Tabelle 16: Koordinaten der Gasanlage, [1]

Komponente	x-Achse [mm]	y-Achse [mm]	z-Achse [mm]
Unterflurtank	3157	0	-275
Druckregleinheit	990	-200	-312
Steuergerät <sup>1</sup>	-	-	-
Schalter <sup>1</sup>	-	-	-

<sup>1</sup> Wird gemäß Platzangebot befestigt, da keine Abmessungen vom Basisfahrzeug vorhanden sind.

## 6.2 Fahrgastkabine

Wie schon bei der Konzeptsuche sollen zuerst die wesentlichen Lösungen an die Fahrgastkabine mittels morphologischem Kasten ausgewählt werden. Durch die Fortführung der Kreativitätsmethode wird das Betrachtungsfeld schrittweise eingengt. Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt den zweiten Abschnitt des morphologischen Kastens. Unter die Fahrgastkabine fallen dabei neben den technischen Aspekten auch die Anzahl der Sitze, sowie deren Anordnung und Anzahl.

Parameter	Lösungen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
12	Fahrzeug öffnen	 Kippenster	 Schiebefenster	 Klapptür	 Schiebetür	 Doppelschiebetür	 Rolltor		
	Öffnung positionieren	 Seite/Front	 Seite/Mitte	 Seite/Heck	 Heck/Seite I	 Heck/Mitte	 Heck/Seite II		
14	Türsteuerung ermöglichen	 Schlüssel	 Knopf	 Handy	 Karte	 Muskelfraft	 Fingerabdruck	 Impulsgeber	 Scanner
	Fußbodenverlauf definieren	 Eben	 Stufe mit Ebene	 Stufen mit Ebene	 Stufe	 Stufen	 Beidseitig Stufen	 Heckstufe	 Heckstufen
16	Bodenbelag festlegen	 Aluminium	 Kunststoff	 Holz	 Gummi	 PVC	 Teppich	 Vinyl	 Harz
	Fahrzeugzugang ermöglichen	 Muskelfraft	 Überfahr-Brücke	 Rampe	 Liftsysteme	 Hubsysteme	 Auffahrtschienen		
18	Einstiegshilfe definieren	 Haltegriff	 Haltestange	 Griffschleufe					

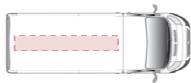
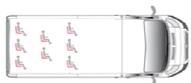
19	Raum aufteilen								
	Durchgang ermöglichen								
20	Positionen definieren								
		Sitzmöglichkeit gewährleisten							
21	Personen befördern								
		Personensicherheit gewährleisten							
22	Beleuchtung gewährleisten								
		Fahrgastinformation gewährleisten							
23	Wärme gewährleisten								
		Frisch-/Umluft herstellen							

Abbildung 30: Morphologischer Kasten - Fahrgastkabine, [1]

Auf Grundlage dieser Varianten wird ein Lösungspfad, der sich durch die zeilenweise Verknüpfung der Feldinhalte ergibt, entwickelt und anhand der Tabelle 17 bewertet. Dabei fließen die Anforderungen an die Fahrgastkabine aus dem Lastenheft sowie aus der Kundenbefragung in die Bewertung mit ein.

Tabelle 17: Lösungspfad - Fahrgastkabine, [1]

Nr.	Parameter	Lösung	Auswahlkriterium
12	Fahrzeug öffnen		Doppel-Schiebetür - Lastenheft: Mindestbreite 1050mm - Rollstuhlbreite: 806mm
13	Öffnung positionieren		Seite/Front - Rechtsverkehr - Direkte Fahrgastbetreuung bzw. -kontrolle
14	Türsteuerung ermöglichen		Knopf - Lastenheft: Vom Führerstand bedienbar - Einfache Bedienung
15	Fußbodenverlauf definieren		Eben - Barrierefreie Gestaltung - Niederflurmöglichkeit durch stufenlosen Fußbodenverlauf
16	Bodenbelag festlegen		PVC - Rutschfeste Oberfläche - Kein spiegelnder und unebener Bodenbelag
17	Fahrzeugzugang ermöglichen		Rampe - Kundenbefragung: Rollstuhlmithnahme 1 bis 2 pro Monat (38% der Befragten)
18	Einstiegshilfe definieren		Haltestange - Für viele Körpergrößen geeignet - Gute Haltemöglichkeit

19	Raum aufteilen		Personen/ Rollstuhl- fahrer I	- Rollstuhlplatz unmittelbar in der Nähe des Einstiegs und Fahrerhaus
20	Durchgang ermöglichen		Mitte	- Effizienter Durchgang zum Sitzplatz sowie bequeme Bewegungsfreiheit
21	Positionsvarianten definieren		Variante VIII	- Reibungslose Sitzplatzierung - Keine Gedränge
22	Sitzmöglichkeit gewährleisten		Bussitz mit Stoffbezug	- Lastenheft: Einzelsitze - Angenehmes Komfort - Ergonomisch
23	Personen-Sicherheit gewährleisten		Sicherheitsgurt	- Im Sitz integriert - Zusätzlich Rollstuhlbefestigungssystem
24	Beleuchtung gewährleisten		LED	- Lastenheft: Leuchtmittel blendfrei und 3300 Kelvin - Lastenheft: Nicht entfernbar
25	Fahrgastinformation gewährleisten		Bildschirm	- Darstellung aller notwendigen Informationen
26 27	Wärme gewährleisten ; Frisch-/Umluft herstellen		Klimaanlage	- Kalt und Warmluft - Ein Bauteil - Unabhängige Klimaregelung

Nachdem der Gesamtentwurf der Fahrgastkabine bestimmt ist, die Komponenten ermittelt und die Funktionsumfänge fixiert sind, kann nun mit der Umsetzung der Erkenntnisse im nächsten Abschnitt begonnen werden.

### 6.2.1 Fußbodengestaltung

Das Fahrgestell mit Tiefrahmen (vergl. Abbildung 29) dient hier als Grundlage für die Fußbodengestaltung. Das Ziel ist die Entwicklung eines ebenen Fußbodenverlaufs und die Einordnung in dasselbe Fahrzeugsegment wie die Referenzfahrzeuge aus der Markanalyse. Um dieses Ziel zu erreichen, wird das Basisfahrzeug im Heckbereich gekürzt. Dadurch wird auch eine bessere statistische Vergleichbarkeit der Bürgerbusfahrzeuge erzielt, wodurch die Platzierung am Markt gestärkt wird. Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt den abzutrennenden Bereich.

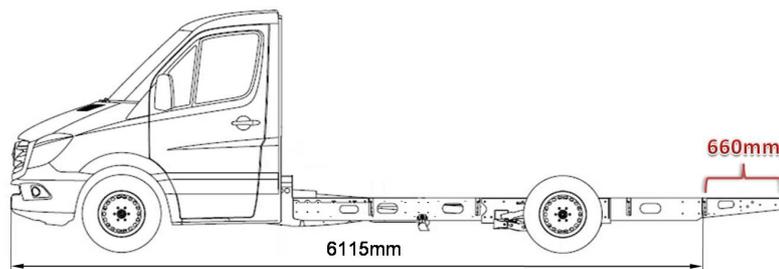


Abbildung 31: Fahrgestellkürzung, [1]

Die hier vorgenommene Änderung sowie Fahrgestellverkleidung wird gemäß MB Aufbaurichtlinie durchgeführt, [48]. Bei der neuen Verbindung zwischen Rahmenlänge und Querträger empfiehlt MB die Verwendung von Schrauben (siehe Abbildung 32, Bereich B). Anschließend wird das Fahrgestell bis auf den Fahrgasteinstieg verkleidet und mit einem hochverschleißfesten und langlebigen PVC-Bodenbelag versehen.

Die Kraftübertragung zwischen Aufbau und Fahrgestell erfolgt mit einem biegesteifen Aufbausandwichboden mit einer Dicken von 36mm und einer Breite von 2151mm, [48]. Dabei wird der Aufbauboden bis auf die Erhebung mit der ganzen Länge des Längsträgers mittels einem elastischem Kleber (z.B. Sikaflex) verbunden. Zusätzlich werden Verschraubungen zwischen Aufbauboden und Rahmenlängsträger mit Ausnahme des markierten Bereichs (A), der in der Abbildung 32 visualisiert ist, angebracht.

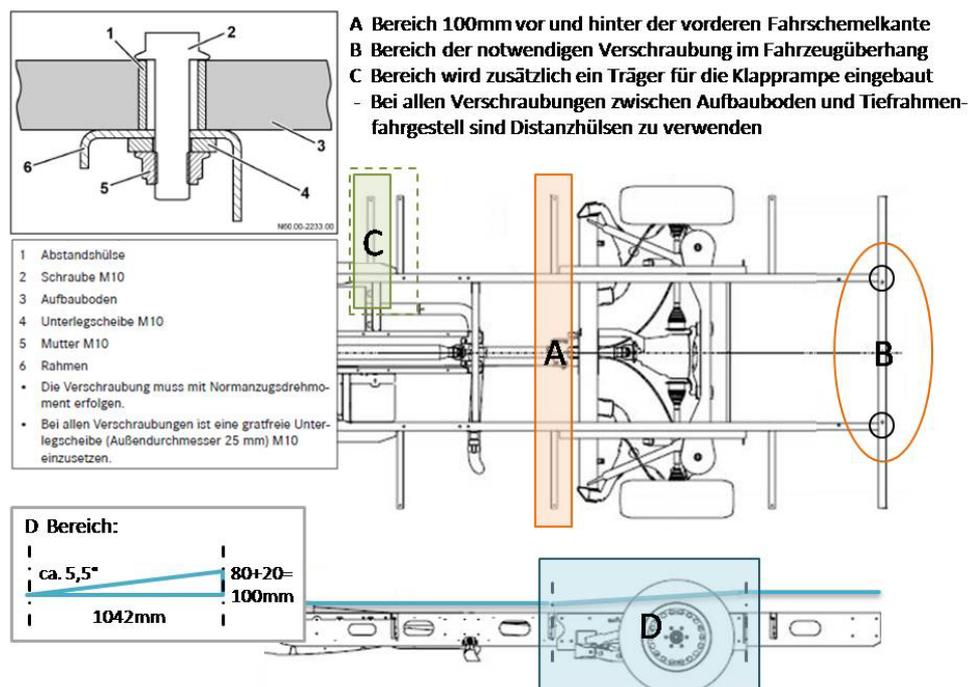
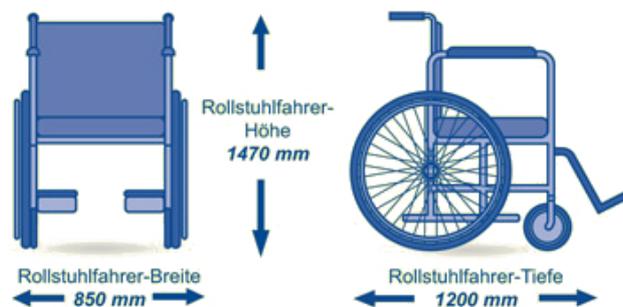


Abbildung 32: Verbindung Aufbauboden am Tiefrahmenfahrgestell, [1] / [48]

Bei der Verkleidung sind auch auf die Abstände zwischen Aufbauboden und Gas- sowie Kraftstoffbehälter zu achten. Ein Mindestabstand von 20mm ist einzuhalten (siehe Abbildung 32, Bereich D). Andersfalls kann es durch die Reibung zu Sachschäden oder Unfällen kommen.

Beim Fahrgasteinstieg wird auf den seitlichen Trägern eine Klapprampe für einen Rollstuhlfahrer eingebaut (siehe Abbildung 32, grüne Umrahmung). Der seitliche Träger (C), der ebenfalls in der Abbildung 32 dargestellt ist, wird zusätzlich in einem Abstand von 100mm befestigt um die Kraft besser in den Rahmenlängsträger einzuleiten.

Für ein barrierefreies und behindertengerechtes Fahrzeug ist eine Rollstuhlrampe ein leicht zu installierendes und schnell einsetzbares Hilfsmittel. Bei der Montage sowie bei der Rampenauswahl, müssen aber zuerst die Abmessungen des Rollstuhls bekannt sein. Dazu wird ein Standardrollstuhl ausgewählt, der etwa zwischen 13 und 17 Kilogramm wiegt, [59]. Die Abmessungen zu diesem Rollstuhl sind in der Abbildung 33 dargestellt.



**Abbildung 33: Max. Maße des Rollstuhlfahrers, [60]**

Daraufhin wird eine manuelle Klapprampe vom Unternehmen Changzhou Xinder-Tech Electronics Co., Ltd., das weltweit Rampen vertreibt, ausgewählt. Diese ist bis max. 350kg belastbar und besteht aus Aluminium, [61]. Zudem sorgt die rutschhemmende Beschichtung auf der Rampe für einen sicheren Halt der Räder und die Tür wird von außen mit einem Rollstuhlpiktogramm gekennzeichnet.

Die Rampe kann von Hand vom Fahrpersonal ausgeklappt werden bzw. lässt sich leicht von Fahrgästen bedienen. Gleichzeitig kann beim Einsteigen über die Klapprampe die Ausstiegshaltestelle mitgeteilt werden. Die nachfolgende Abbildung 34 zeigt die Rampe, die eingebaut wird, und die Fußbodenverkleidung.

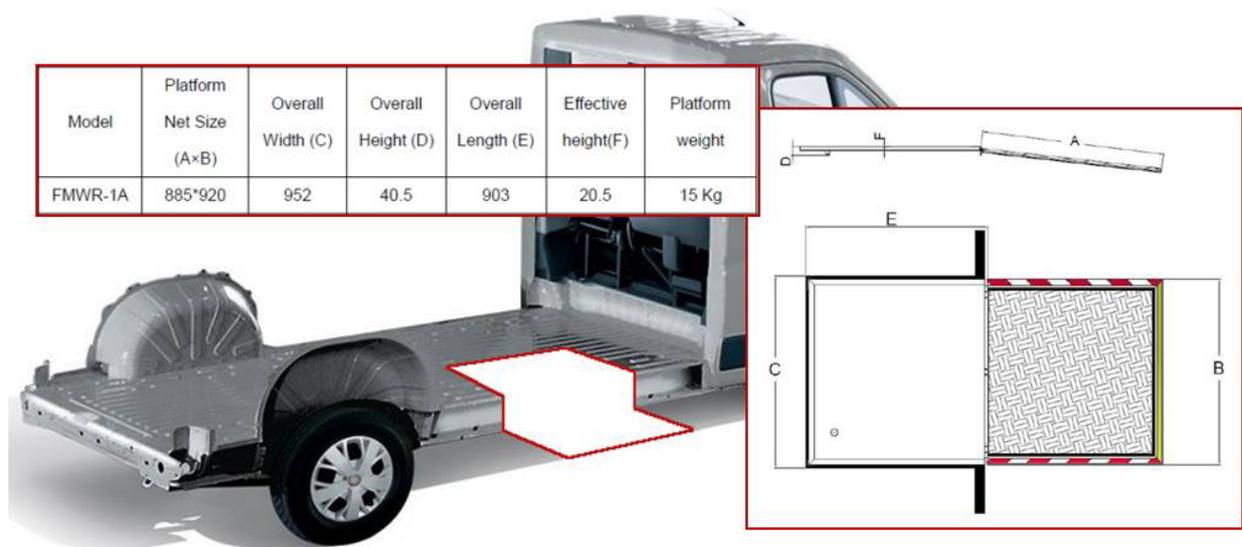


Abbildung 34: Fußbodenverkleidung, [1] / [61] / [62]

Mit der Klapprampe wird der Spalt zwischen Fahrzeug und Haltestelle überbrückt. Dabei ist die Bordsteinhöhe unterschiedlich angelegt und liegt im Bereich von 12 bis 20 Zentimeter, [63]. An vielen Bushaltestellen beträgt in der Regel die Bordsteinhöhe 18 Zentimeter, [64]. Somit bleibt ein Höhenunterschied von ca. 33 Zentimeter zu überwinden. Bei der ausgeklappten langen Rampe ist deren Neigung also flach und kann mit dem Rollstuhl gut bewältigt werden. Bei Haltestellen, die noch herkömmliche Bordsteine besitzen, sollte die Gemeinde für einen Neu- oder Umbaut der Bordsteine bestrebt sein.

Abschließend wird im hinteren Bereich der neue Böschungswinkel sowie die neue Bodenfreiheit aus den vorhandenen Abmessungen erfasst.

Mit dem Böschungswinkel wird der Übergangswinkel von einer horizontalen Ebene in die Steigung bezeichnet und spielt im Straßenverkehr eine entscheidende Rolle. Gerade im Alltagsverkehr bei Bergauf- oder Bergabfahrten ist ein ausreichender Böschungswinkel von Nöten, um die Karosserie beim aufsetzen nicht zu beschädigen. Die Böschungswinkel und die Bodenfreiheit sind in der Abbildung 35 dargestellt, wobei sich der Böschungswinkel vorne im Original Zustand befindet, [65].

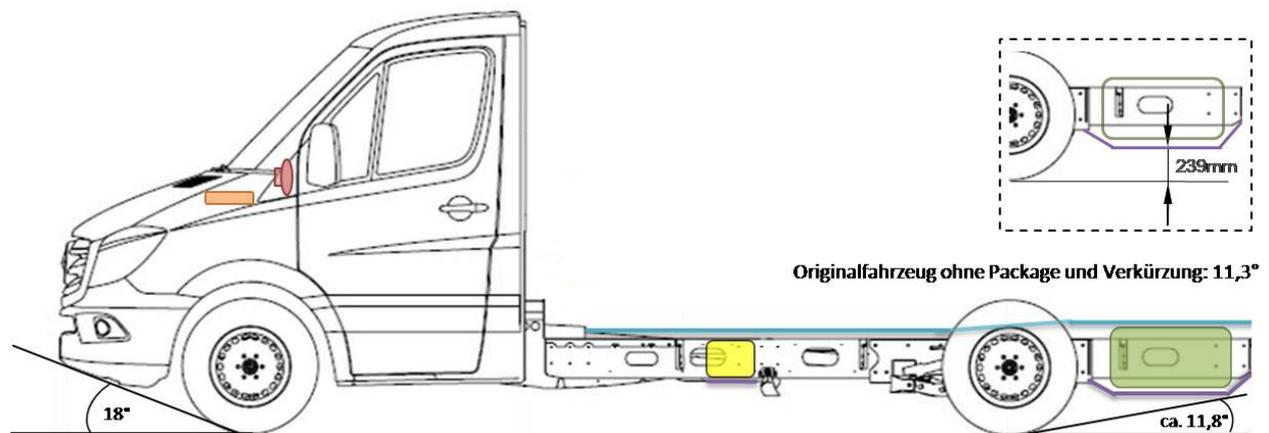


Abbildung 35: Böschungswinkel, [1]

Bei dieser Ausarbeitung ist eine zu starke Fokussierung auf die Fußbodengestaltung gelegt, deswegen müsste um eine technische Betrachtung erweitert werden. Es sollte eine Achs- sowie Reifeneinfederung beim vollauskonstruiertem Fahrzeug untersucht werden.

Beispielsweise ist die Einfederung grundsätzlich abhängig von der Last des Aufbaus und eine stärkere Einfederung bedeutet demzufolge auch eine geringere Einstieghöhe. Zusätzlich kann eine Luftfederung, die als Sonderausstattung in Verbindung mit Tiefrahmenfahrzeug zur Verfügung steht, in Betracht genommen werden. Diese technischen Betrachtungen würden den Rahmen der Masterarbeit überschreiten, sollten aber bei einer möglichen Folgemasterarbeit weiter verfolgt werden.

## 6.2.2 Kabinenaufbau

Es wird ein geschlossener Aufbau in Form eines biege- und torsionssteifen Gitterrahmens gewählt. Anschließend wird der Aufbau in Schalenbauweise zusammengesetzt und ermöglicht so eine selbsttragende Karosserie. Diese Bauweise stellt eine spezielle Form des Fahrzeugleichtbaus dar und durch das Zusammenspiel von Blechhaut und Tragstruktur, die jeweils an die auftretenden Belastungen angepasst ist, werden die notwendigen Steifigkeiten erreicht.

Bei der Auswahl des Werkstoffes ist besonders auf deren Anforderungen zu achten. Dabei wird der biege- und torsionssteife Rahmen aus Stahl (S235JRG2 gemäß [48]) gefertigt, um die Fahrgastsicherheit zu gewährleisten. Diese verformungssteife Fahrgastzelle, die die Aufprallenergie abbaut, ist neben Gurt- und Airbagsystemen das wichtigste Sicherheitsmerkmal heutiger Fahrzeuge. Im Gegensatz zum Rahmen wird

die Blechhaut aus Aluminium gefertigt, welches sich durch sein geringes Gewicht hervorragend für den Leichtbau eignet. Desweiteren lässt sich Aluminium gut verarbeiten und ist durch die dünne Oxidschicht korrosionsbeständig.

Im Vergleich zu Stahl weist Aluminium einen geringeren Elastizitätsmodul auf, welches sich aber durch geschickte Versteifungen ausgleichen lässt. Dazu werden Sicken, die als die häufigsten verwendeten Versteifungen gelten, eingesetzt.

Durch die Anbringung einzelner bzw. mehrerer Versteifungselemente können Spannungen innerhalb einer Oberflächenstruktur reduziert und Steifigkeitserhöhungen zielgerichtet durchgeführt werden. Wenn möglich, soll die Versteifung ohne zusätzlichen Materialaufwand entstehen, so dass das Gewicht nicht ansteigt. Außerdem sollte die Versteifung im gleichen Arbeitsgang bei der Fertigung wie das Bauteil hergestellt werden. Die nachfolgende Abbildung 36 zeigt die Tragstruktur.

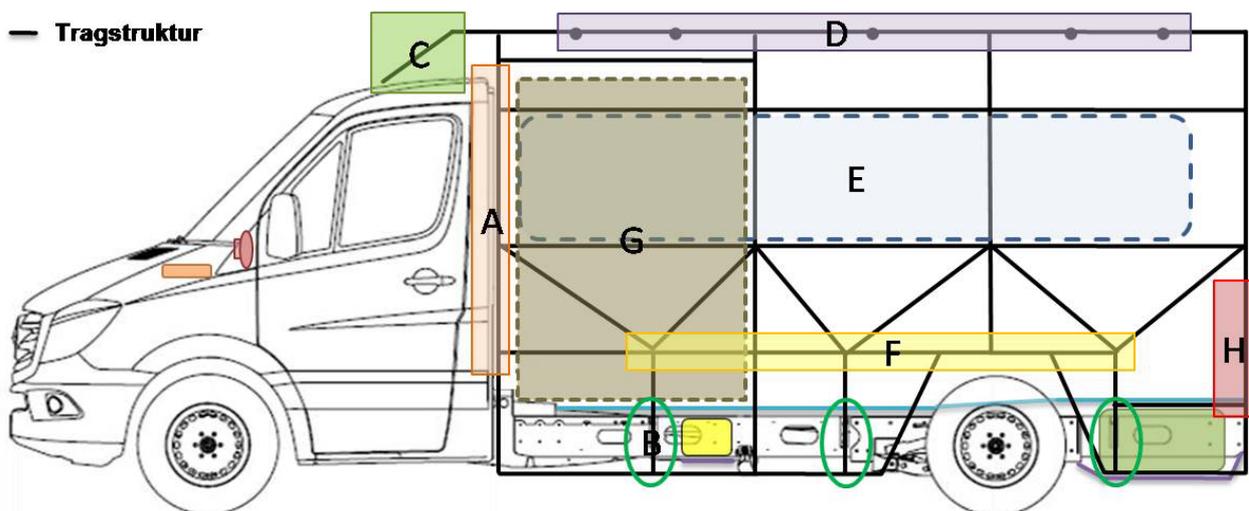


Abbildung 36: Tragstruktur, [1]

Ein wesentlicher Bestandteil der Aufbaufertigung ist die Befestigung an das Basisfahrzeug. Im Folgenden werden Verbindungspunkte und Vorschriften gemäß Aufbaurichtlinie erläutert, [48]:

**Bereich A:** Ein Mindestabstand zwischen Türhinterkante und integriertem Aufbau muss  $> 20\text{mm}$  sein (siehe Abbildung 37). Andernfalls kann im Extremfall beim Unfall zum Blockieren der Tür kommen. Ebenso darf an der B-Säule nicht gebohrt oder geschweißt werden.

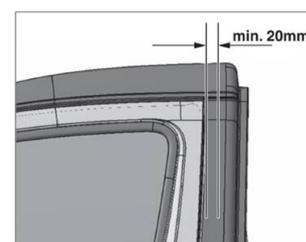


Abbildung 37: Mindestabstand, [48]

**Bereich A:** Eine kraftschlüssige Verbindung ist zwischen Fahrerhaus und Aufbau notwendig. Hinzu muss eine Kraftübertragung zwischen Aufbauseitenwand und B-Säule gewährleistet sein. Dies erfolgt an den Schweißflansch der B-Säule (z-Achse) mittels Winkel (siehe Abbildung 38).

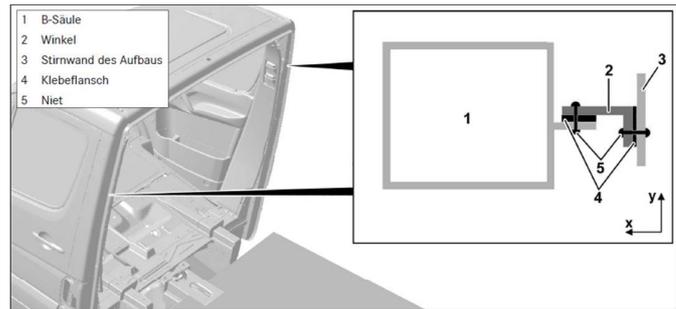


Abbildung 38: Anbindung Aufbau und B-Säule, [48]

**Bereich B:** Die Profile werden zusätzlich an den seitlichen Trägern (siehe Abbildung 32) befestigt, um die Kräfte in die Längsträger zu leiten.

**Bereich C:** Das Fahrerhausdach wird mit einem Schließblech verstärkt, um das spätere Gewicht z.B. durch eine Fahrtzielanzeige zu tragen. Ebenso wird der Aufbau an diesem Schließblech verbunden.

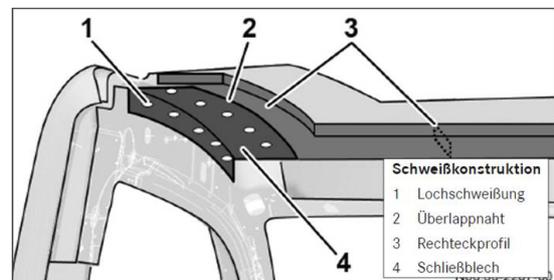


Abbildung 39: Anbindung Fahrerhaus, [48]

**Bereich D:** Die Dachstruktur wird mit Spriegeln verstärkt. Die notwendige Anzahl an Spriegeln ist abhängig vom Radstand. In diesem Fall werden fünf Spriegeln biegesteif an die Seitenwände befestigt (siehe Abbildung 40). Dabei ist das mindeste erforderliche Trägheitsmoment  $I_x$  je Dachspriegel von  $40000\text{mm}^4$  sicherzustellen (siehe Abbildung 41), [48].

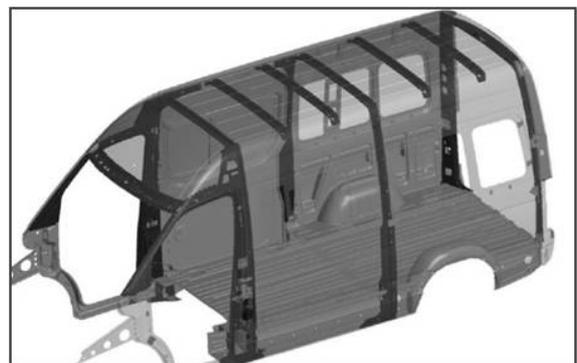


Abbildung 40: Dachspriegel, [48]

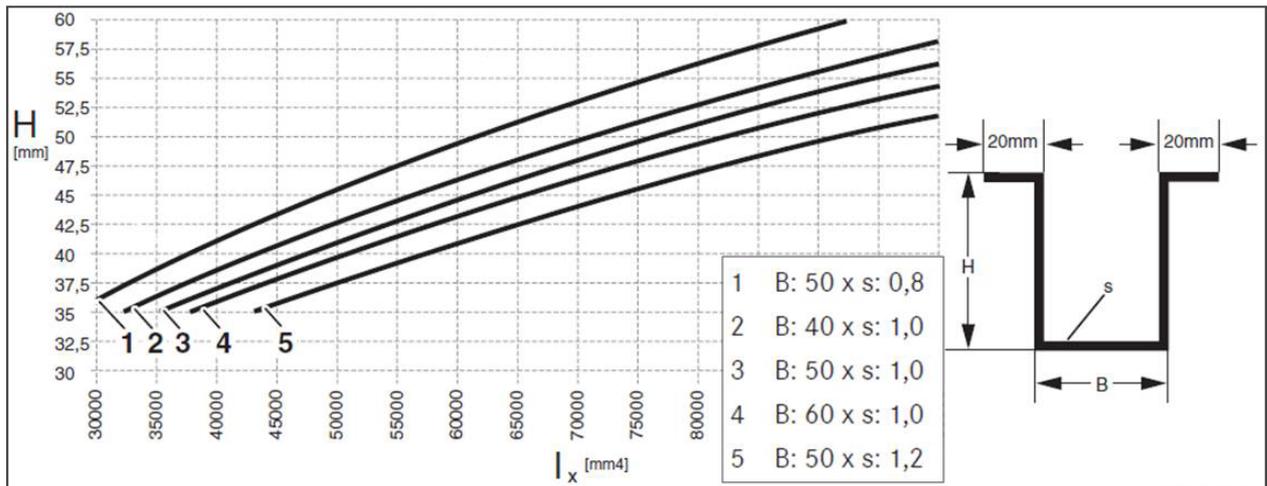


Abbildung 41: Erforderliche Trägheitsmomente für Spiegel, [48]

**Bereich E:** Zuerst sollen alle Fensterflächen, sitzenden Personen, sowie Rollstuhlfahrer, eine freie Sicht nach außen gewähren und zusätzlich muss die Verglasung eine passive und aktive Sicherheitsfunktion übernehmen.

Unter passiver Sicherheit wird der Schutz vor Verletzungen durch die Verglasung selbst verstanden (z.B. verletzungshemmend durch Krümelbildung). Bei der Aktiven Sicherheit soll die Verglasung gegen äußere Angriffe beispielsweise Einbruch oder Durchwurf schützen. Aus diesen Gründen und gemäß Aufbauanleitung, die eine Vorschrift einer Scheibendicken von 3mm umfasst, wird ein Sicherheitsglas mit einer Dicke von 4mm eingebaut.

Die Scheiben werden mit einem stabilen Rahmen eingefasst und sind mit anderen Karosserieelementen kraftschlüssig zu verbinden. Hinzu erhöhen diese Fensterscheiben die Verwindungssteifigkeit, wodurch dünnere Dachspiegeln möglich sind.

**Bereich F:** Die Diagonalstreben werden zwischen zwei Winkel mit Schrauben befestigt (siehe Abbildung 42, grün umrandet). Zusätzlich werden die Streben jeweils an den Knotenpunkten mit Dreiecksblechen verstärkt.

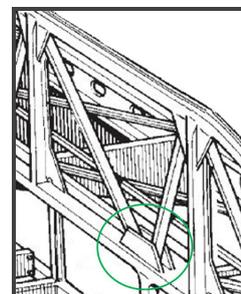


Abbildung 42: Diagonalanbindung, [1] / [92]

**Bereich G:** Als Türsystemlieferant wird das Unternehmen Bode GmbH & Co. KG, das maßgeschneiderte Türsysteme anbietet, ausgewählt. Mit diesen Türsystemen verringert sich durch die modulare Bauweise der Aufwand für Installation und Einstellung. Zudem wird eine Außenschwingtür mit einer Türöffnungsbreite von 1200mm und einer Türöffnungshöhe von 1800mm ausgewählt (siehe Abbildung 43).

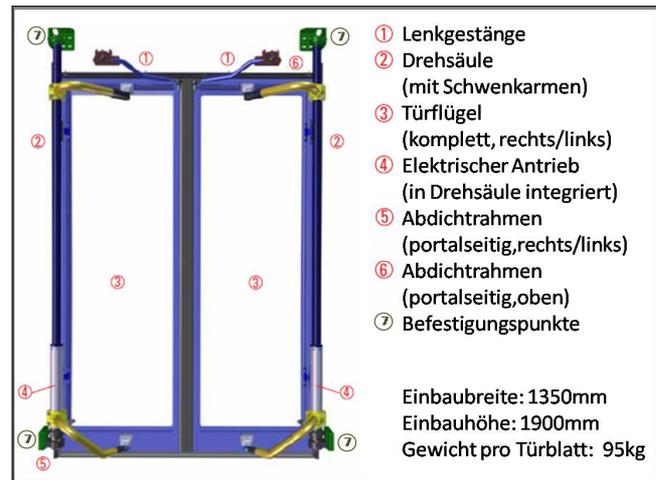


Abbildung 43: Außenschwingtür, [1] / [78]

Um ein einwandfreies Öffnen und Schließen der Türen auch bei maximaler Verwindung des Aufbaus zu gewährleisten, wird eine sehr steife Tragstruktur im Türbereich verwendet. Für die Montage besitzt die Außenschwingtür schon Befestigungsknoten (siehe Abbildung 43, Punkt 7).

**Bereich Seitenwände:** Die Seitenwände werden schubsteif gefertigt um die Kraftübertragung zwischen Aufbau und Fahrgestell zu übertragen. Dabei werden die Seitenwände mit der Tragstruktur mit Winkelverbindungen vernietet (siehe Abbildung 44) und verklebt.

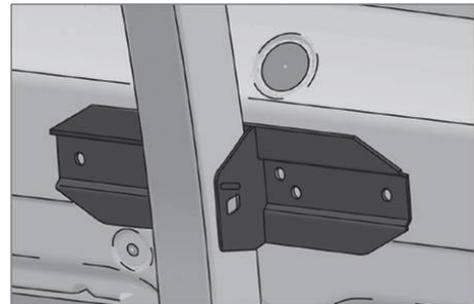


Abbildung 44: Seitenwandbefestigung, [48]

Es sind punktuelle Kräfteinleitungen in die Seitenwand zu unterlassen. Andernfalls kann es zu Beschädigungen der Seitenwand und des Dachs kommen. Zusätzlich müssen zur Isolation wirkungsvolle Dämmstoffe mit folgenden Eigenschaften verwendet werden, [48]:

- nicht-hygroskopisch
- nicht-wasserspeichernd
- nicht-wasseraufnehmend
- nicht-wasseraufsaugend
- wasserabweisend

**Bereich H:** Es werden Original Zweikammer-Rückleuchten in die Struktur eingesetzt. Dadurch wird von hinten die Wiedererkennung des neuen Sprinters garantiert (Abbildung 45).

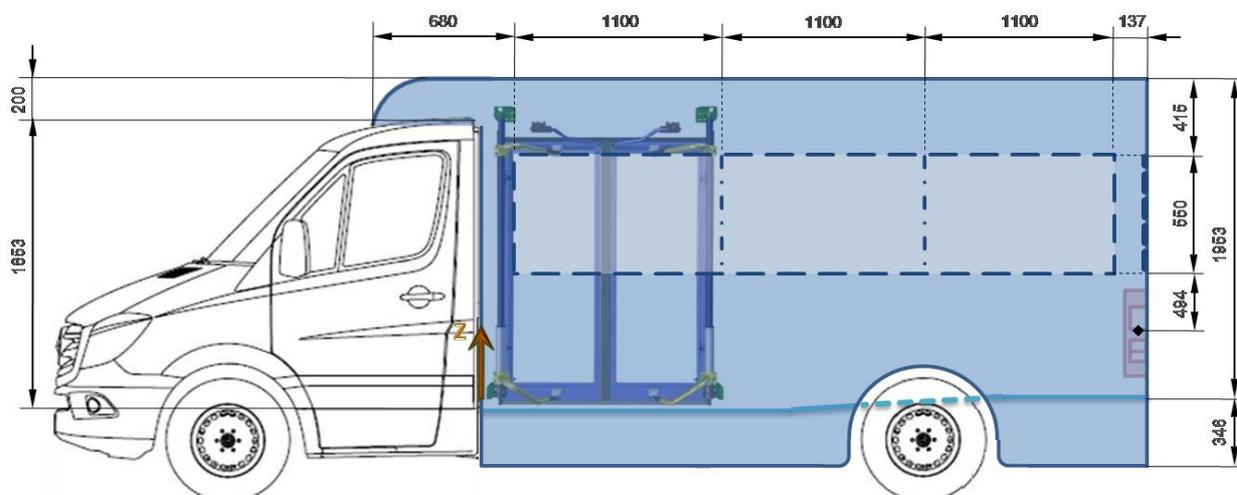


Abbildung 45: Rückleuchten, [49]

Zusätzlich sollten bei der Montage gemäß Aufbaurichtlinie diese Hinweise beachtet werden, [48]:

- Die Verwendung von Flanschschrauben und Flanschmutter.
- Das Setzverhalten von Schraubverbindungen ist zu beachten.
- Vermeidung von mehr als drei Schweißnähten in einem Punkt.
- Mehrere kurze Schweißraupen statt einer langen.
- Vermeidung von Schweißungen in kaltverfestigten Bereichen.
- Nicht geschweißt werden darf: A- und B-Säule; Ober- und Untergurt des Rahmens; Biegeradien.
- Durch den Einsatz von elektrischen Isolierungen wie Unterlegscheiben, Muffen oder Hülsen kann Kontaktkorrosion vermieden werden.

In der Abbildung 46 werden alle Abmessungen des Aufbaus dargestellt. Anhand der Maße und Koordinaten können dann exakte 3D-CAD-Modelle erstellt werden. Dies ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und deswegen wird im Rahmen der Masterarbeit nur der Bauraum dimensioniert.



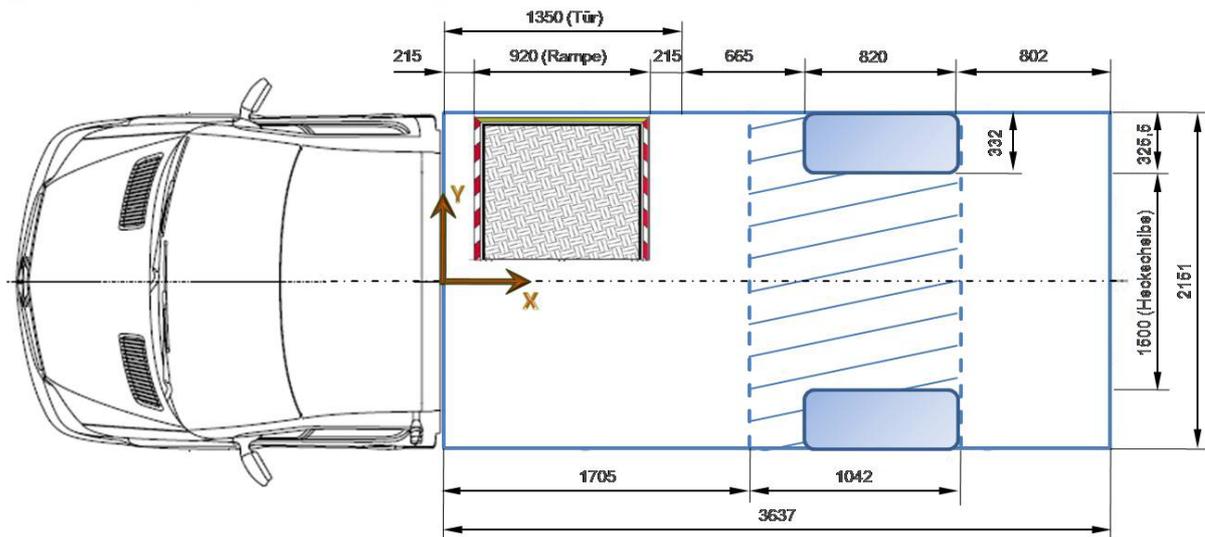


Abbildung 46: Seiten- und Draufsicht-Abmessungen, [1]

### 6.2.3 Klimaanlage

Für die Erzeugung und Aufrechterhaltung einer angenehmen Raumluft-Qualität bei unterschiedlichen Temperaturen wird eine Dachklimaanlage mit Wärmepumpe ausgewählt. Der Grund für diese Entscheidung ist die Möglichkeit diese nachträglich einzubauen und zudem besitzt die platzsparende Dachklimaanlage eine Kühl- und Heizfunktion. Oft werden Klimaanlage nur für Raumluftkühlung verwendet, jedoch die Klimaanlage (Silent 3800H) vom Unternehmen Telair SRI kann die Luft eines Raums in einen bestimmten Temperaturzustand bringen (siehe Abbildung 47), [66]. Außerdem ist die Dachklimaanlage speziell für Standard-Dachluken (400x400mm) konzipiert.



Abbildung 47: Klimaanlage Silent 3800H, [66]

Der Einbau, der in Abbildung 48 dargestellt ist, erfolgt in drei wesentlichen Schritten:

1. Der Bezugspunkt für die Anlage ist zwischen dritten Spriegel und Querverbindung des Aufbaus (Koordinaten (2125/0/2023). Normerweise ersetzt die Dachklimaanlage einfach die bestehende Dachluke. Nur in diesem Fall wird ein Loch mit Hilfe einer Schablone (wenn vorhanden) sorgfältig mit einer Stichsäge ausgeschnitten.
2. Der Ausschnitt wird zusätzlich mit zwei seitlichen Streben verstärkt (siehe Abbildung 48, blau). Die Streben werden jeweils an den Enden mit der Querverbindung bzw. mit dem Spriegel verschraubt.
3. Die Dachklimaanlage wird in die vorhandene Montageöffnung positioniert. Dabei die wird die Fahrtrichtung beachtet.

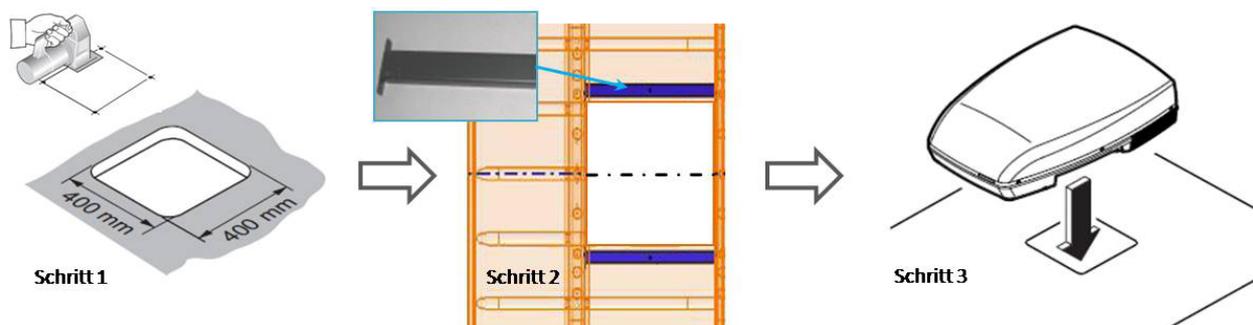


Abbildung 48: Einbaueinleitung Klimaanlage, [1] / [66]

Der Einbau erfolgt bei einem Fachbetrieb und beträgt je nach Fahrzeug und Ausführung zwischen ca. 800 und 1200€, [67]. Ebenfalls übernimmt der Fachbetrieb die Kabelverlegung und die anschließende Anschließung an den Stromkreis.

## 6.2.4 Sitzauslegung

Das Unternehmen Franz Kiel GmbH ist in Europa führender Hersteller von Sitzsystemen für Nutzfahrzeuge und öffentliche Personenverkehrsmittel. Aus der Produktpalette wird ein Sitzmodell, das sich durch Leichtbaukonstruktion und Ergonomie auszeichnet, ausgewählt. Die nachfolgende Abbildung 49 zeigt das ausgewählte Sitzmodell LIGERO 3000.

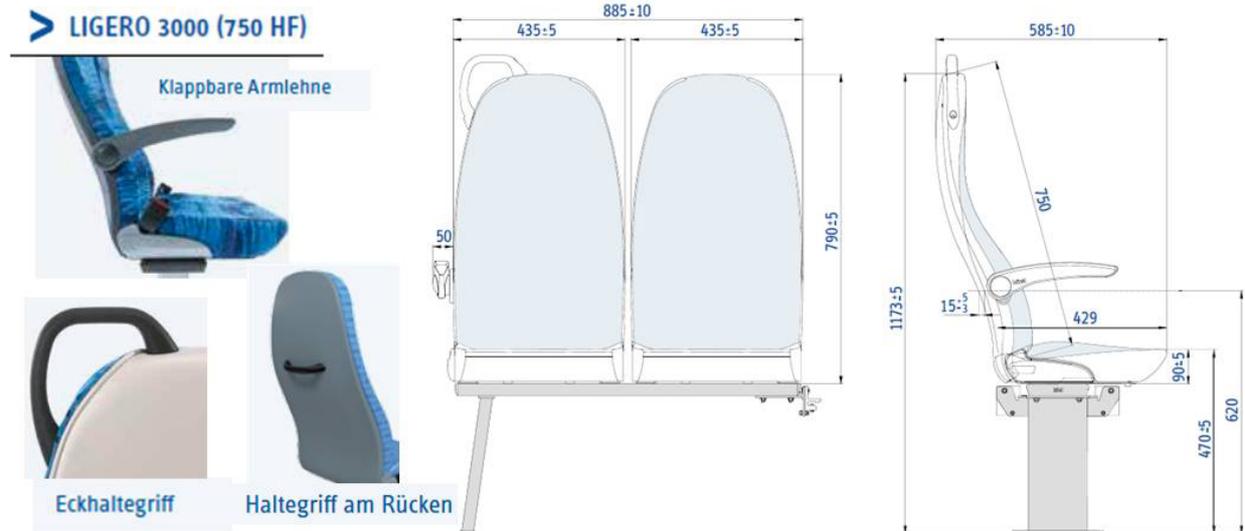
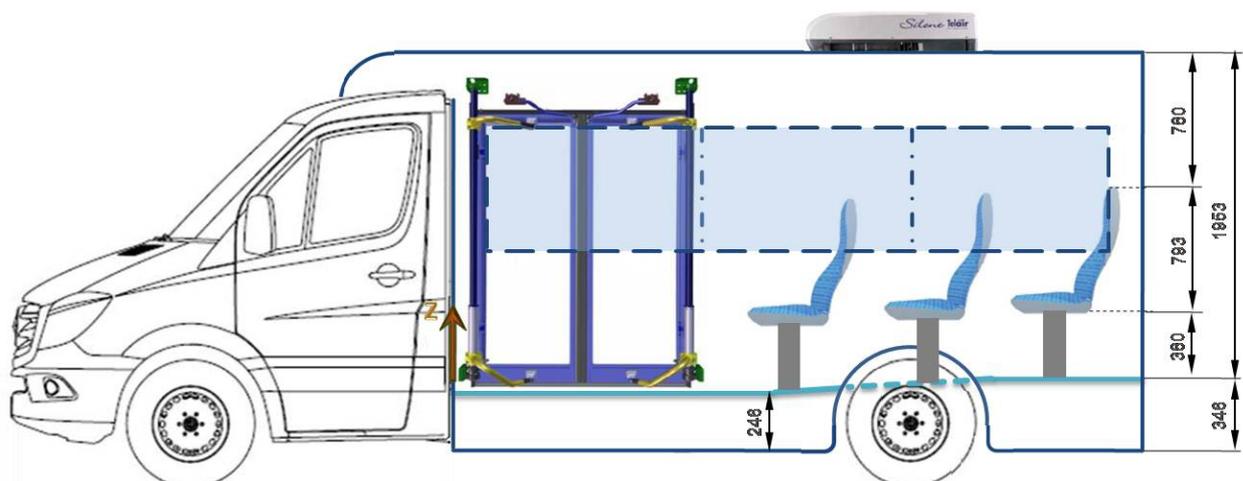


Abbildung 49: LIGERO-Sitz, [1] / [68]

Das Sitzsystem ermöglicht eine Anpassung an nahezu jeden Einsatzzweck und durch den Modularen Aufbau eine schnelle Austauschbarkeit aller Hauptkomponenten sowie Sitz- und Rückenpolster, [68]. Zudem besitzt jeder Sitz ein 2-Punkt-Gurt System.

Anschließend ist mit diesen Sitzabmessungen eine einfache und schnelle Auslegung möglich. Dabei wird im Rahmen des Package-Prozesses die räumliche Sitzanordnung unter Beachtung des Lastenhefts erarbeitet.

Es wird ein Längsquerschnitt durch die Fahrgastkabine erzeugt, um die Positionen der Sitze festzulegen. Auch eine Draufsicht der Fahrgastkabine wird erstellt, um die entsprechenden Maße zu bestimmen. Die nachfolgende Abbildung 50 zeigt die Sitzauslegung in zwei Ansichten. Hinzu wird durch den Mittelgang jeder Sitz bequem erreicht, ohne dass andere Fahrgäste aufstehen müssen.



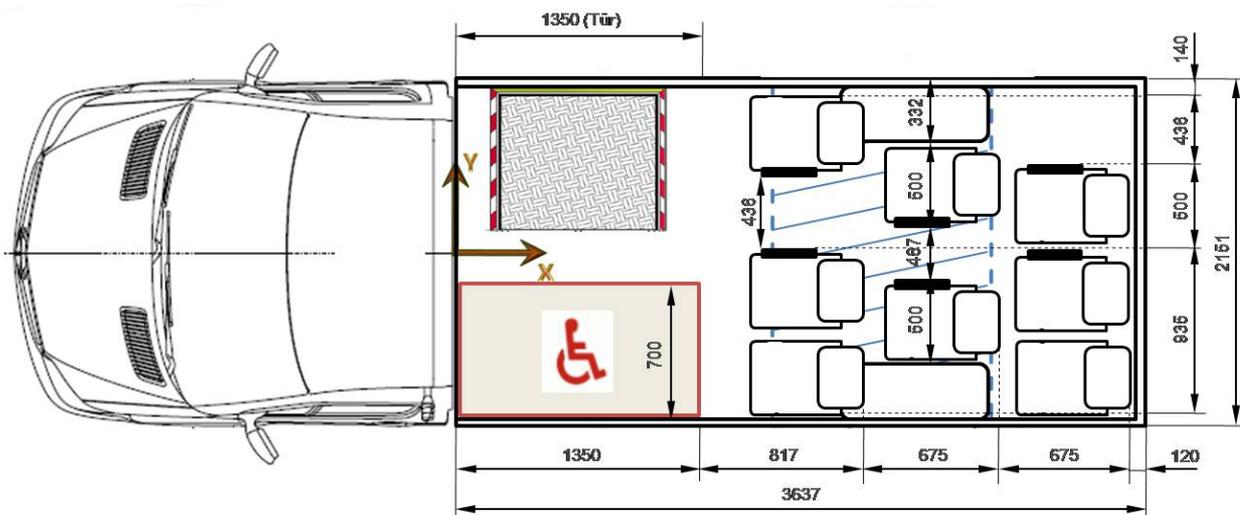


Abbildung 50: Sitzauslegung, [1]

Die Sitzauslegung der Fahrgastkabine ist ein Kompromiss zwischen Komfort und der optimalen Ausnutzung des Freiraumes. Es bedarf genauesten anthropometrischen Wissens um eine Kabine ergonomisch ideal zu gestalten. Dazu werden oft Datenblätter mit Körpermaßen in Perzentile P5, P50 und P95 jeweils für beide Geschlechter und einer Altersgruppe zwischen 18- bis 60 jährigen Menschen angefertigt. Die nachfolgende Abbildung 51 stellt die relevante Körpermaße nach DIN-Normen dar.

Körpermaße nach DIN 33 402		Perzentile					
(unbekleidete Personen, 18 –65 Jahre)		männlich			weiblich		
	Abmessungen (in cm)	5.	50.	95.	5.	50.	95.
1,0	Reichweite nach vorn	68,5	74,0	81,5	62,5	69,0	75,0
2,0	Körpertiefe	26,0	28,5	38,0	24,5	29,0	34,5
3,0	Reichweite nach oben (beidarmig)	197,5	207,5	220,5	184,0	194,5	202,5
4,0	Körperhöhe	165,0	175,0	185,5	153,5	162,5	172,0
5,0	Augenhöhe	153,0	163,0	173,5	143,5	151,5	160,5
6,0	Schulterhöhe	134,5	145,0	155,0	126,0	134,5	142,5
7,0	Ellbogenhöhe über der Standfläche	102,5	110,0	117,5	96,0	102,0	108,0
8,0	Höhe der Hand über der Standfläche	73,0	76,5	82,5	67,0	71,5	76,0
11,0	Körpersitzhöhe (Stammlänge)	85,5	91,0	96,5	81,0	86,0	91,0
12,0	Augenhöhe im Sitzen	74,0	79,5	85,5	70,5	75,5	80,5
13,0	Ellbogenhöhe über der Sitzfläche	21,0	24,0	28,5	18,5	23,0	27,5
14,0	Länge d. Untersch. m. Fuß	41,0	45,0	49,0	37,5	41,5	45,0
15,0	Ellbogen-Griffachsen-Abstand	32,5	35,0	39,0	29,5	31,5	35,0
16,0	Sitztiefe	45,0	49,5	54,0	43,5	48,5	53,0
17,0	Gesäß-Knie-Länge	56,5	61,0	65,5	54,5	59,0	64,0
18,0	Gesäß-Bein-Länge	96,5	104,5	114,0	92,5	99,0	105,5
19,0	Oberschenkelhöhe	13,0	15,0	18,0	12,5	14,5	17,5

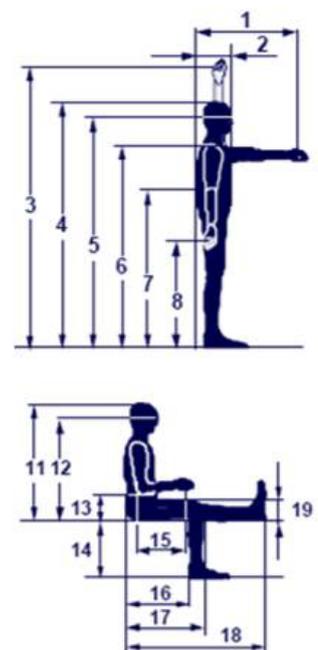


Abbildung 51: Körpermaße nach DIN 33402-2, [69]

Anschließend wird die Sitzauslegung auf Komfort untersucht. Dabei sind die Körpergrößen für die Untersuchung sehr wichtig um den Komfort, bei einer effizienten Nutzung, möglichst hoch zu gestalten. Die Abbildung 52 zeigt, dass die aktuelle Auslegung für alle Körpergrößen einen optimalen Komfort bietet.

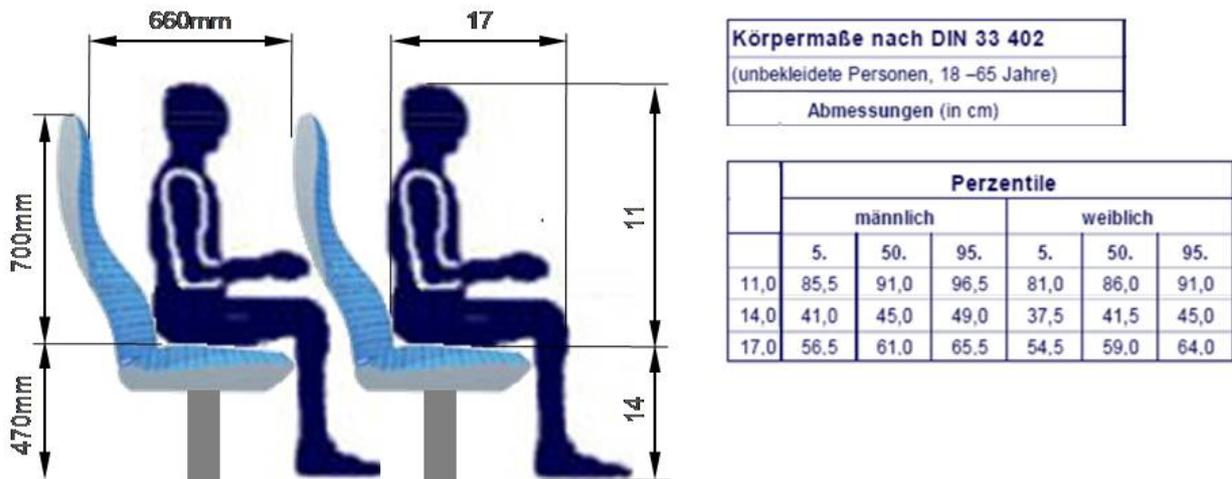


Abbildung 52: Komfortuntersuchung, [1]

## 6.2.5 Kabinengestaltung

Nachdem nun die ganzen Rahmenbedingungen der Fahrgastkabine geklärt sind, wird in diesem Kapitel die Kabine gestaltet. Dabei kann die Kabine individuell vom Verein zu Verein anders charakterisiert werden, jedoch wird ein Entwurf in dieser Masterarbeit präsentiert.

Die Gestaltung erfolgt in zwei Abschnitten, mit jeweils konzipierten Entwürfen. Zuerst wird die Fahrgastkabine dargestellt und im Anschluss die Fahrerkabine. Während der Fahrgastkabinengestaltung werden Formen und Positionen der einzelnen Komponenten festgelegt, sowie geeignete Unternehmen bzw. Hersteller der Komponenten gewählt. Bei der Fahrerkabine wird nur eine Skizze angefertigt, indem die Zusatzeinrichtungen wie z.B. das Bezahlssystem visualisiert werden. Hier ist eine Abstimmung mit dem Verein notwendig. Die nachfolgende Abbildung 53 zeigt die Kabinengestaltung und die anschließende Tabelle 18 die jeweiligen Hersteller.

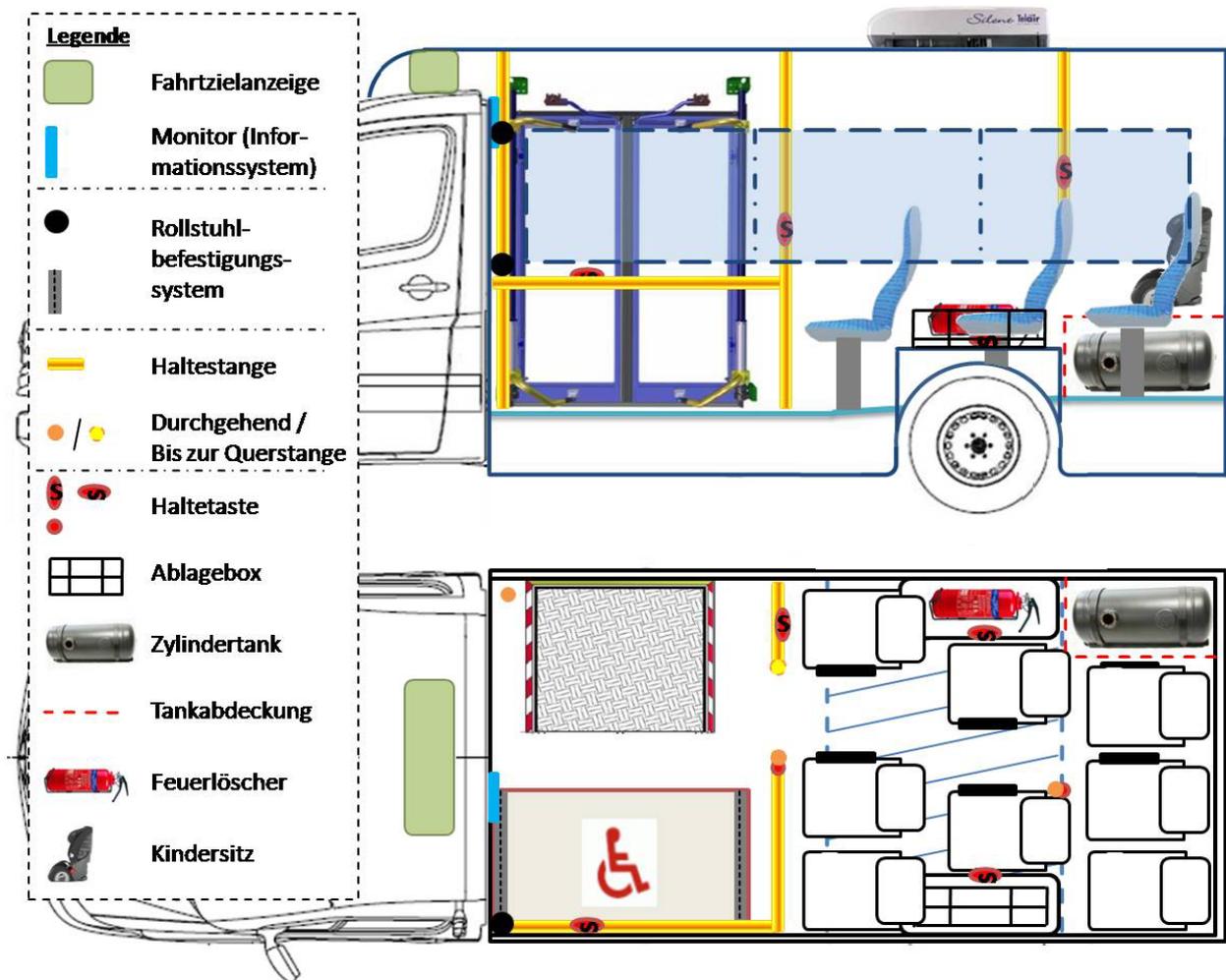


Abbildung 53: Kabinengestaltung, [1]

Tabelle 18: Herstellerliste, [1]

Komponente	Hersteller / Unternehmen
Fahrzielanzeige	LAWO Informationssysteme GmbH
Monitor (Informationssystem)	LAWO Informationssysteme GmbH
Rollstuhlbefestigungssystem	AFM Bruns GmbH & Co. KG
Haltestangen	HAPPICH GmbH
Haltetasten bzw. Stopptaste	Bus Shop GmbH
Zylindertank	Autogas-Profit GmbH
Tankabdeckung / Ablagebox	Wird vom Fachbetrieb angefertigt bzw. fertig gekauft
Feuerlöscher / Kindersitz	In jedem Autofachmarkt vorhanden

Im Folgenden werden die Komponenten der Fahrgastkabine sowie die Fahrerkabine vorgestellt:

### Fahrzielanzeige / Monitor

Das Fahrgastinformationssystem ist ein wichtiges Element für Fahrgäste und eine wesentliche Voraussetzung um einen Informationsaustausch zwischen Fahrer und Fahrgast und anderen Fahrgästen zu gewährleisten.

Im Wesentlichen lassen sich die Informationsbedürfnisse des Fahrgastes in zwei Bereiche einteilen: Routenverlauf und Information über den nächsten Haltewunsch. Diese Bedürfnisse werden mit einem vollgrafischen Infotainmentsystem erfüllt. Zudem bietet das System auch Werbe-Präsentationen an.

Im Hinblick auf wartende Fahrgäste an Haltestellen ist ein einfacher Informationsaustausch zu ermöglichen. Als Fahrtzielinformationsquelle dient ein 16x112 Pixel Display (BENEFIT -F). Die Abbildung 54 zeigt die verbauten Komponenten.



Abbildung 54: Infotainment und Zielanzeige, [70]

### Rollstuhlbefestigungssystem

Die sicherste Beförderungsmöglichkeit ist der Fahrzeugsitz mit Zwei- oder Dreipunktgurt. Doch der Rollstuhlfahrer kann nicht umgesetzt werden. In diesem Fall dient ein Rollstuhlrückhaltesystem für die Sicherheit der Person, die im Rollstuhl sitzend im Fahrzeug befördert wird. Dabei wird ein Vier-Punkt-Gurtsystem zur Befestigung des Rollstuhls eingesetzt. Dieses herkömmliche System bietet nur einen begrenzten Schutz, da hierbei der Rollstuhlfahrer nur mit einem Beckengurt gesichert ist. Deswegen wird zusätzlich ein Schultersträggurt eingesetzt, um den Rollstuhlfahrer vor schweren Verletzungen zu schützen. Die nachfolgende Abbildung 55 zeigt die einzelnen Gurte.



Abbildung 55: Rollstuhlgurtsystem, [71] / [72]

Das Rollstuhlbefestigungssystem besteht aus vier Retraktor-Spanngurten mit Haken zur Befestigung des Rollstuhls. Die vorderen zwei, sowie die hinteren zwei, werden in die Bodenschiene geklickt. Der Beckengurt wird zwischen Armlehne und Rückenlehne geführt und über den Beckenknochen mit dem Spanngurt verbunden.

Mit einem Schulterschräggurt wird der Körper sicher fixiert, indem der Gurt straf mittig über den Schlüsselbein geführt und mit dem Spanngurt verbunden wird. Eine ausführliche Anleitung wird auf der Webseite des Herstellers mittels eines Videos gezeigt, [73].

### Haltestangen / -tasten

Hauptsächlich ist bei der Ausstattung auf die ausreichende Anzahl an Haltetasten bzw. Stopp-Tasten und auf eine gute Erreichbarkeit der Sitzplätze zu achten. Haltestangen im Bereich des Ein- und Ausstiegs sowie Haltegriffe an Sitzen sind angebracht. Zudem sind die Halteeinrichtungen so beschaffen und angeordnet, dass auch Schüler aller Altersklassen diese benutzen können.

Die Stopp-Tasten sind im Bus regelmäßig verteilt, so dass von jeder Position die Tasten gut erreichbar sind. Zusätzlich befindet sich ein Taster im Rollstuhlbereich. Zum Aussteigen werden einfach die Stopp-Tasten gedrückt.

### Zylindertank

Der Einbau eines Zusatztanks erhöht die Reichweite des Fahrzeuges und dem entsprechend wird auch der nächste Tankstopp um einige Kilometer verzögert, (vergl. Abbildung 28). Je nach Kundenwunsch kann ein Zusatztank in unterschiedlichen Größen eingebaut werden. Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt die möglichen Größen, die verbaut werden können.

**Tabelle 19: Gas - Zusatztank, [1] / [74]**

<b>Tankdurchmesser [mm]</b>	<b>Tanklänge [mm]</b>	<b>Tankvolumen [l]</b>	<b>Gewicht [kg]</b>	<b>Reichweite [km]<sup>1 2</sup></b>
244	600	25	10	116
270	605	30	11,8	139
300	647	40	14,4	186
315	658	45	17,1	209
<b>360</b>	<b>578</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>232</b>

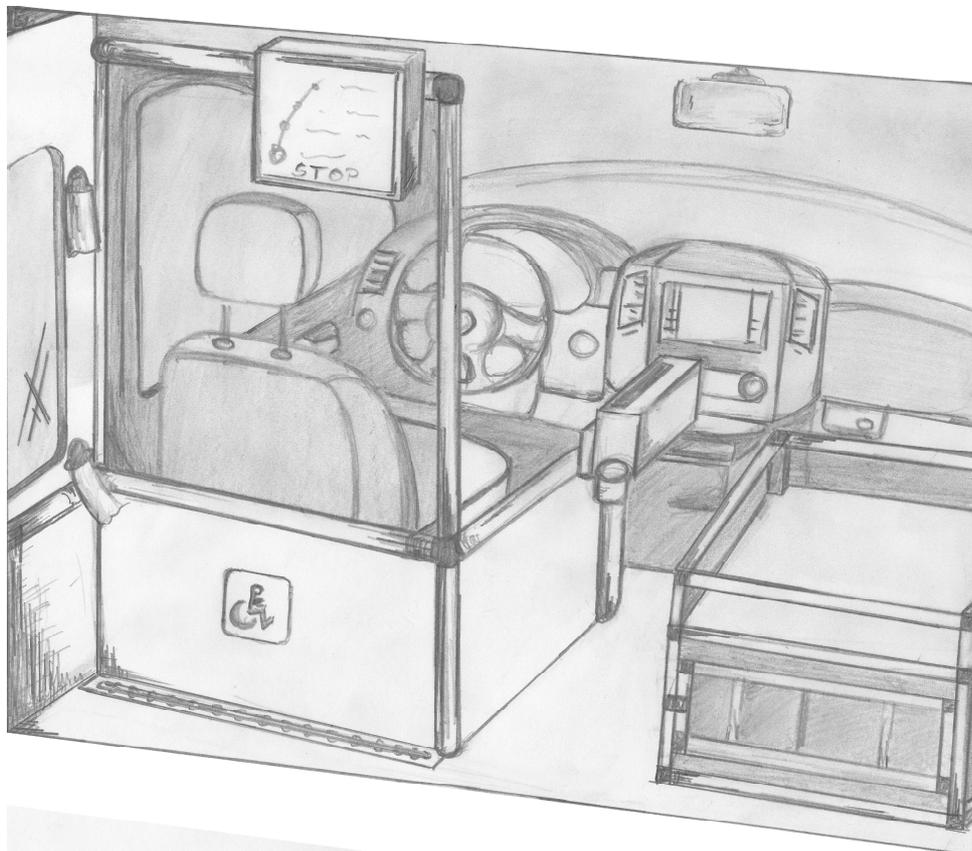
<sup>1</sup> Kraftstoffverbrauch (kombinierter Mittelwert) 17,2l/100km, siehe Tabelle 14.  
<sup>2</sup> 80% Befüllung berücksichtigt.

In diesem Fall wird ein Zylindertank mit 50l Tankvolumen eingebaut (in der Tabelle 19 rot markiert). Damit steigt die Reichweite im Gasbetrieb auf 720 Kilometer (488km + 232km) und dies entspricht einer Fahrleistung von zwei Tagen (vergl. Tabelle 15).

### Fahrerkabine

Die mögliche Anordnung der Serviceeinrichtung, sowie weiteren Komponenten werden durch den Raumbedarf der Fahrerkabine wesentlich beeinflusst. Auf Anfrage bekommt der Verein eine individuell ausgestattete Fahrerkabine. Die in Abbildung 56 dargestellte Fahrerkabine ist auch mit der Fahrgastkabine abgestimmt. Dazu wird der Beifahrersitz demontiert und eine Transportbox vom Unternehmen Schmidt-Fahrzeugbau GmbH installiert, [75]. In dieser Transportbox können Gegenstände oder Einkaufstaschen sicher transportiert werden. Zusätzlich wird noch auf der Box eine Ablagefläche eingerichtet, in der z.B. Koffer abgelegt werden können. Anschließend werden die Koffer mit Spannseilen gesichert.

Die Serviceeinrichtung ist ein Standard Zahlstisch mit Geldwechselsystem und einer Rückgabeschale. Zudem sind alle Bedienelemente des Zahlstisches von jeder Sitzposition sofort und einfach erreichbar.



**Abbildung 56: Fahrerkabine - Skizze, [1]**

## 6.3 Design

Jedes Design hat ihren Ursprung auf einem weißen Blatt Papier. Heutzutage ist dies in den meisten Fällen eher ein weißer Bildschirm, aber am Anfang der Ideenfindung bis zur Umsetzung in die Realität, landen die ersten Konzepte häufig im Müll oder verschwinden in einem Aktenordner. Gerade bei kreativer Arbeit ist es oft schwer direkt am Anfang gute Ideen oder Lösungsmöglichkeiten zu finden. Meist wird eine Kombination aus Kreativität und harter Arbeit benötigt, um ein modernes Design innerhalb eines begrenzten Zeitraums umzusetzen.

Prinzipiell lassen sich die Wege zu neuen Ideen fürs Design oder einzelne Merkmale von Produkten in zwei Behandlungsweisen einteilen. Die nachfolgende Abbildung 57 zeigt die zwei Wege.

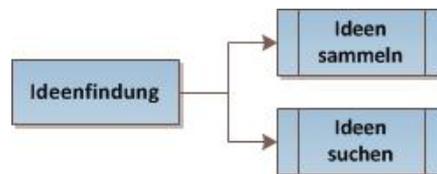


Abbildung 57: Wege zur Ideenfindung, [1]

Das Ziel bei Ideen sammeln ist es sich Anregungen für die Weiter- oder Neuentwicklung eines Produktes im Unternehmen oder extern zu holen.

Das Externe-Sammeln kann durch eine systematische Analyse von Produkten der Wettbewerber oder durch eine Analyse von Produkten anderer Branchen geschehen.

Bei der Ideensuche werden dagegen Kreativitätstechniken zur Suche von neuen Lösungen angewendet. Dabei gibt es heutzutage eine Vielzahl von Techniken (z.B. Brainstorming, Galeriemethode, Konstruktionskataloge...), welche die Ideensuche unterstützen.

Aufgrund des Basisfahrzeuges, das bereits über eine definierte Formgestaltung verfügt, sind Formänderungen nicht möglich. Sogar die Fahrgastkabine ist bei der Formgestaltung beschränkt. Deswegen werden in dieser Ausarbeitung Überlegungen angestellt, das Design vom Bürgerbus zu modernisieren, mit dem Hintergrund die inhaltliche Auslegung des alternativen Antriebskonzepts zu unterstützen. Die Ideen werden auf einem weißen Blatt Papier festgehalten, da die weiße Oberfläche ein perfekter, neutraler Hintergrund ohne eigene Aussage ist.

Folglich sind zwei Designs jeweils ein für NDS und ein für NRW entstanden. Die nachfolgende Abbildung 58 und Abbildung 59 zeigen die zwei unterschiedlichen skizzierten Designs in der seitlichen Perspektive.

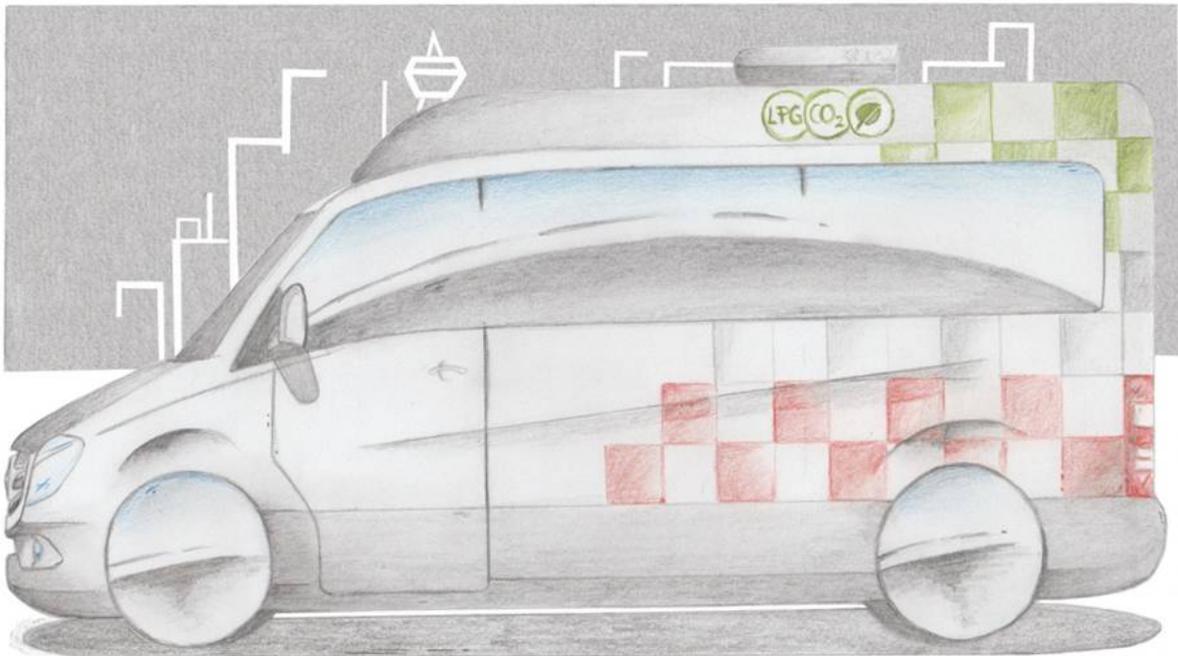


Abbildung 58: Seitendesign für NRW, [1]

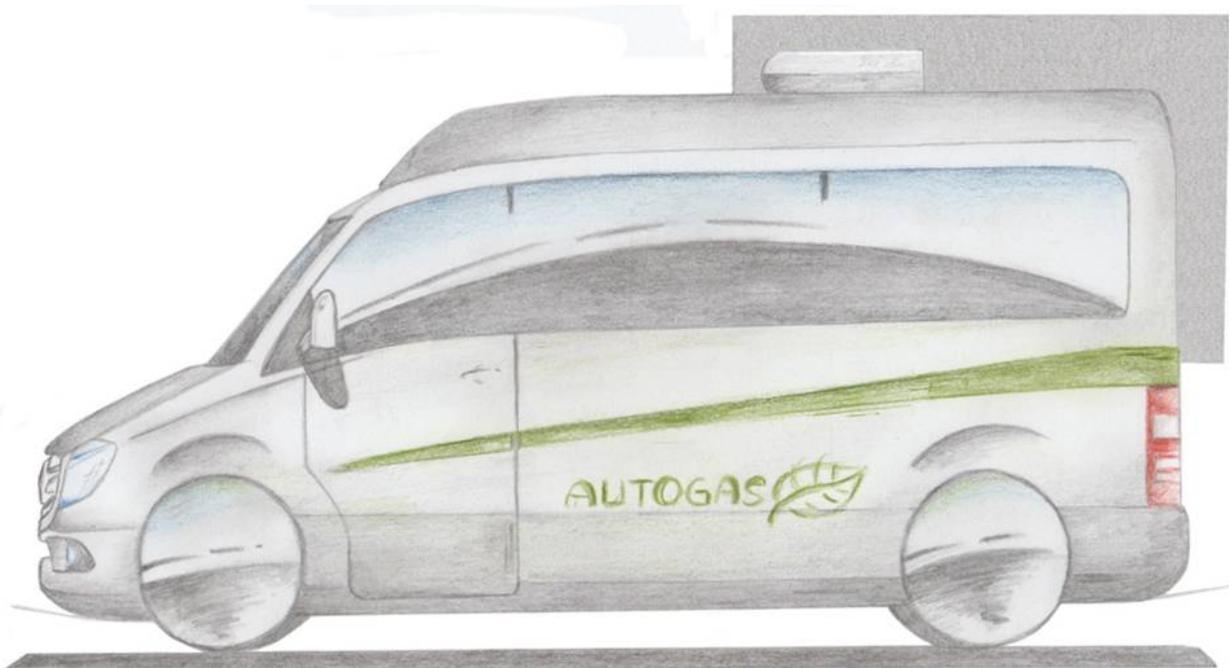


Abbildung 59: Seitendesign für NDS, [1]

Diese Designs sollen durch die entsprechende Farbauswahl Umweltfreundlichkeit ausstrahlen und die Diskussion um die alternativen Antriebsarten bestärken. Parallel sollten die Fahrzeuge nicht dazu neigen statisch und langweilig zu wirken, deshalb wurde dem Design eine gewisse Dynamik gegeben.

Der charakterstarke Frontbereich ist vorgesehen für Werbung und bleibt im Originalzustand erhalten. Für die hinter dem Bürgerbus fahrenden Fahrzeuge soll der Heckbereich eine gewisse Wiedererkennung erzielen und hierzu wird die seitliche Linienführung fortgesetzt. Somit gehen durch diese Maßnahme die besondere Dynamik des Bürgerbusses nicht verloren.

Wie die Abbildung 60 zeigt, unterschieden sich die Konturen zwischen Heck- und Seitenperspektive kaum.



Abbildung 60: Heckdesign NDS (links) und NRW (rechts), [1]

## 6.4 Gewichtsabschätzung

Das Fahrzeuggewicht ist bei der Auslegung von Fahrzeugkonzepten eine der wichtigsten Zielgrößen. Das Bürgerbusgewicht wird hauptsächlich durch die folgenden Parameter beeinflusst:

- Fahrzeugklasse und Hauptabmessungen
- Antriebskonzept

- Kabinenaufbau
- Werkstoffkonzept

Während die ersten beiden Parameter durch das Basisfahrzeug sowie durch die Gasanlage weitgehend vorgegeben sind, beeinflussen die anderen das Fahrzeuggewicht sehr stark. Bei dem Basisfahrzeug handelt es sich um ein MB Sprinter Tiefrahmenfahrzeug mit einem Leergewicht von 1,855 Tonnen und die Fahrzeugklasse liegt bei 3,5 Tonnen Gesamtgewicht, [76]. Bei der Gasanlage beträgt das Gewicht etwa 44 Kilogramm, jedoch ohne Zusatzsysteme und ohne dementsprechende Verbindungselemente, die mehr Gewicht bringen.

Folglich bleibt ein Zuladungsgewicht von 1,601 Tonnen - ohne Berücksichtigung der Fahrgäste - für die anderen Parameter übrig.

Die Gewichtsauswertung erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden alle Komponenten in die Tabelle 20 eingetragen und anschließend das Gewicht der Komponenten durch Angaben der Hersteller belegt oder abgeschätzt. Im zweiten Schritt wird ein Vergleich gemacht, um das Gewicht des Kabinenaufbaus zu bestimmen. Im Anschluss werden alle Gewichtswerte addiert.

**Tabelle 20: Gewichtsauswertung, [1]**

Komponente	Gewicht [kg]	Quelle
Fahrzeugleergewicht <sup>1</sup>	+1855	[76]
Fahrzeugverkürzung <sup>2</sup>	-30	-
Gasanlage LPI-System + Verbindungselemente <sup>2</sup>	+10	-
Unterflurtank 105l	+43,5	[56]
80% LPG-Befüllung (Dichte 0,540 kg/l)	+45,36	[77]
Gastank-Schutzblech <sup>2</sup>	+10	-
Rampe	+15	[61]
Außenschwingtür	+190 (95)	[78]
Klimaanlage	+34	[66]
Acht Sitze	+168 (21)	[68]
Fahrtzielanzeige	+15,5	[70]
Monitor (Informationssystem) <sup>3</sup>	+7	[79]
Rollstuhlbefestigungssystem	+7,3	[71]
Haltestangen (∅30; ca.10m Lang bei einer Wanddicke von 2mm; 480g/m) + Verbindungselemente <sup>2</sup>	+10	[80]
Haltetasten bzw. Stopptaste x6 <sup>2</sup>	+3 (0,5)	-
Zylindertank 50l	+20	[74]
80% LPG-Befüllung (Dichte 0,540 kg/l)	+21,6	[77]
Tankabdeckung / Ablagebox <sup>2</sup>	+10	-

Feuerlöscher	+6	Lastenheft
Kindersitz	+9,2	[81]
Demontage Beifahrersitz <sup>4</sup>	-25,2	[68]
Transportbox <sup>3</sup>	+7,5	[82]
Serviceeinrichtung	+7,5	[83]
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>2440,26</b>	
<sup>1</sup> Angaben nach Richtlinie 92/21/EG in der bei Drucklegung gültigen Fassung (Masse in fahrbereitem Zustand inkl. Werkzeug/Ersatzrad, sofern vom Hersteller so ausgeliefert, Kraftstoffbehälter zu 90 % gefüllt, mit Fahrer 68 kg und Gepäck 7 kg) für Fahrzeuge in serienmäßiger Ausstattung. Sonderausstattungen und Zubehör erhöhen i. d. R. diesen Wert, wodurch sich die Zuladung entsprechend verringert. Hinweis: Nach ISO-M06 1176 reduzieren sich die Leergewichtsangaben um bis zu 75kg. <sup>2</sup> Gewichtsannahme <sup>3</sup> Vergl. Modell vom anderen Hersteller <sup>4</sup> Vergl. Fahrgastsitz LIGERO 3000 mit 3-Punkt-Gurt		

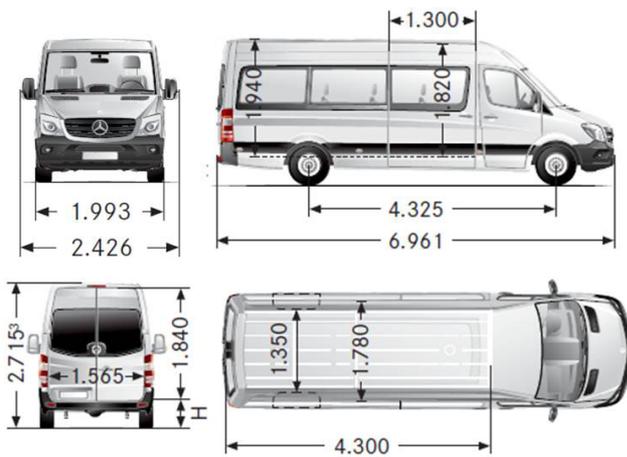
### Kabinenaufbau

Auf Grundlage eines Fahrzeugvergleichs wird im Rahmen der Abschätzung das Gewicht der Fahrgastkabine erarbeitet. Folgende Komponenten werden mit dieser Gewichtsabschätzung abgedeckt:

- Fahrzeugverkürzung
- Fußbodenverkleidung
- Tragstruktur
- Blechhaut
- Rückleuchten
- Fensterscheiben
- Befestigungselemente
- Hochdach

Angesichts der unterschiedlichen Abmessungen der Fahrzeuge ist ein Vergleich mit den Maßen schwer zu realisieren. Deswegen kann ein Ladevolumenvergleich mit einem geeigneten MB Fahrzeug erstellt werden, da das zulässige Gesamtgewicht der Fahrzeuge bei 3,5 Tonnen liegt und die Abmessungen der Fahrerinnen deckungsgleich sind. Darauf erfolgt die Gewichtsrechnung der Fahrgastkabine. In der nachfolgenden Abbildung 61 wird der Ladevolumenvergleich dargestellt. Dazu wurde ein MB Sprinter Kombi 316 ausgewählt.

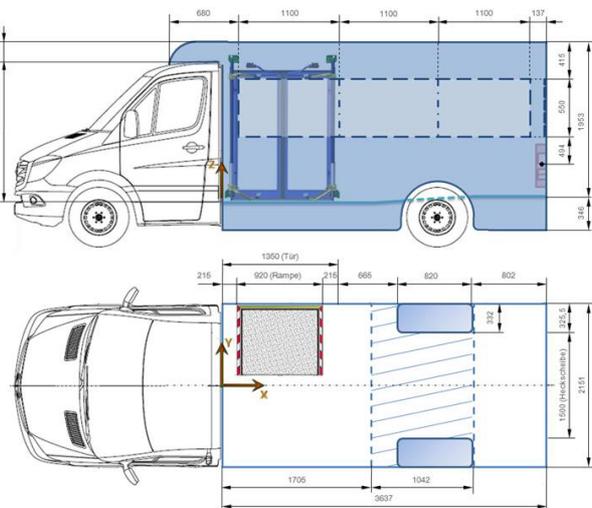
**Referenzfahrzeug mit 4325mm Radstand**



H bis ca. 583/675<sup>2</sup>

- Laut MB beträgt das Ladevolumen 14 Kubikmeter.
- Ladevolumenberechnung ohne Kotflügelfläche:  
 $Länge * Breite * Höhe = 4.3m * 1.78m * 1.84m = 14.08m^3$

**Bürgerbus mit 3850mm Radstand**



- Zuerst wird die Wanddicke bestimmt (Referenzfahrzeug):  
 $MB\_Breite - Ladeflächebreite = 1.993m - 1.78m = 0.213m$
- Ladevolumenberechnung ohne Kotflügelfläche:  
 $Länge * Breite - Wanddicke * Höhe = 3.637m * (2.151m - 0.213m) * 1.953m = 13.77m^3$

→ Abweichung:  $\Delta Ladevolumen = 14.08m^3 - 13.77m^3 = 0.31m^3$  (2.2%)

Abbildung 61: Ladevolumenvergleich, [1] / [84]

Der durchgeführte Ladevolumenvergleich hat ergeben, dass die Fahrgastkabinen gleich schwer sein müssen. Aufgrund der geringen Abweichung von 2,2% wird das Gewicht der Kabine vom Referenzfahrzeug für den Bürgerbus übernommen. Zusätzlich wird der Bereich der Rampe sowie die Schiebetür abgeschätzt und vom Kabinengewicht subtrahiert. Die nachfolgende Abbildung 62 zeigt die Gewichts Berechnung.

**Referenzfahrzeug**



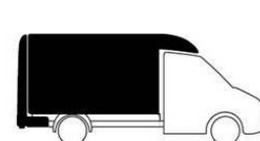
Leergewicht: 2380kg  
Zuladung: 1120kg

**MB Sprinter Fahrgestell**



Leergewicht: 1795kg  
Zuladung: 1705kg

**MB Kabinenaufbau**



Kabinengewicht: 2380kg - 1795kg = 585kg

Rampenbereich: ca.5kg  
Schiebetür: ca.120kg  
Hecktürmechanismus: ca.15kg

} 585kg - 5kg - 120kg - 15kg = 445kg

Abbildung 62: Kabinen-Gewichtsberechnung, [1] / [76] / [84]

Das Gesamtleergewicht und die Nutzlast betragen:

Gesamtleergewicht:  $2440,26\text{kg} + 445\text{kg} = 2885,26\text{kg}$

Nutzlast:  $3500\text{kg} - 2885,26\text{kg} = 614,74\text{kg}$

Das Körpergewicht der Fahrgäste nimmt den größten Teil der zur Verfügung stehenden Nutzlast ein. Unter Berücksichtigung des Körpergewichts ergibt sich folgende Aufstellung pro Fahrgast:

Körpergewicht pro Fahrgast:  $614,74\text{kg} / 8 = 76,84\text{kg}$

Demgemäß beträgt das zulässige Körpergewicht pro Fahrgast 76,84 Kilogramm. Anschließend wird das wirkliche, durchschnittliche Körpergewicht des Fahrgastes erfasst, um ein Vergleich zu erhalten. Dabei variiert das Körpergewicht in erster Linie zwischen Mann, Frau und Kind. Nachfolgend sind in der Tabelle 21 die Ergebnisse einer medizinischen Studie zum Körpergewicht der Bevölkerung Deutschlands, des Mikrozensus 2009 [85], dargestellt. Der Mikrozensus ist eine statistische Erhebung, bei der im Gegensatz zur Volkszählung nur nach bestimmten Zufallskriterien ausgewählte Haushalte beteiligt sind, [85].

**Tabelle 21: Körpergewicht nach Geschlecht und Altersgruppen, [85]**

<b>Alter von ... bis unter ... Jahren</b>	<b>Durchschnittliches Körpergewicht – Männlich [kg]</b>	<b>Durchschnittliches Körpergewicht - Weiblich [kg]</b>	<b>Durchschnittliches Körpergewicht - Insgesamt [kg]</b>
18 - 20	75,5	61,1	68,8
20 - 25	78	62,6	70,7
25 - 30	80,7	64,4	72,9
30 - 35	83,4	65,8	74,9
35 - 40	84,8	67,1	76,2
40 - 45	85,1	67,7	76,8
45 - 50	85,7	68,5	77,3
50 - 55	85,8	69,4	77,7
55 - 60	85,9	70,7	78,3
60 - 65	85,2	71	78,1
65 - 70	84,4	71,2	77,6
70 - 75	83,3	71,3	77
75 und mehr	79	67,4	72
<b>Insgesamt</b>	<b>83,4</b>	<b>68,1</b>	<b>75,6</b>

Durch diese Untersuchung ergibt sich ein durchschnittliches Körpergewicht von 75,6 Kilogramm und dabei wird das zulässige Körpergewicht von 76,84 Kilogramm nicht überschritten.

Zusammenfassend lässt sich das Gewicht von Komponenten und von Fahrzeugen insbesondere bei Neubauten nur mit großem Aufwand abschätzen. Kleine Veränderungen an Komponenten oder Eigenschaften haben häufig Auswirkungen auf andere Komponente und zugleich erfordert dies eine Anpassung und Neuauslegung, sodass das Gewicht eine sich ständig ändernde Größe im Auslegungsprozess ist. Dennoch konnte in dieser Gewichtsabschätzung gezeigt werden, dass das Fahrzeug mit Fahrgästen die Grenze von 3,5 Tonnen nicht überschreitet. Allerdings wurden auch elektronische Extras, sowie etliche Verkabelung nicht berücksichtigt, die weiteres Gewicht bringen.

Um das Fahrzeuggewicht einfach und qualitativ ermitteln zu können, werden heutzutage 3D-CAD-Modell eingesetzt. Dabei werden Baugruppen wie etwa Unterboden, Fahrwerk, Kabine und alle notwendigen Komponenten erstellt. Dies ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und deswegen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht darauf eingegangen.

## 7 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Konkurrenzkampf zwischen den Bürgerbusherstellern wird die Kaufentscheidung des Kunden bzw. des Vereins für ein Fahrzeug, neben Faktoren wie Qualität, Benutzerfreundlichkeit oder Sicherheit, in steigendem Maße vom Preis beeinflusst.

Die technische Innovation einerseits und das Festsetzen des Produktpreises andererseits sind strategische Entscheidungen, die eine große Bedeutung für das Erreichen der angestrebten Marktanteile haben. Für die Hersteller bedeutet dies, ein technisch und qualitativ hochwertiges Produkt zu einem Preis anbieten zu müssen, der möglichst unter dem Preis vergleichbarer Konkurrenzmodelle liegt. Aus diesem Grund wird der Bürgerbus auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden hierzu eine Kostenabschätzung und eine Amortisationsrechnung durchgeführt.

### 7.1 Kostenabschätzung mit Target-Costing-Ansatz

Target Costing ist ein Ansatz zur Zielkostenbestimmung bei der Neueinführung von Produkten. Unter dem Target Costing wird ein ergebnisorientiertes Zielkostenmanagement verstanden. Bei den klassischen Kostenrechnungsinstrumenten werden alle entstehenden Kosten aufaddiert und ergeben mit der Gewinnspanne den gewünschten Marktpreis (siehe Abbildung 63). Diese Vorgehensweise vernachlässigt aber die Gegebenheiten und Anforderungen des Marktes an das jeweilige Produkt.

Der Target Costing Ansatz geht umgekehrt vor und fragt, mit welchem Preis das Produkt am Markt abgesetzt werden kann. Dann wird „rückwärts“ geplant, d.h. festgelegt, was die einzelnen Schritte der Produktentstehung kosten dürfen, [86].

Somit orientiert sich die gesamte Entwicklung an einem vor Beginn der Entwicklung festgelegten Marktpreis. In diesem Fall wurde im Lastenheft festgelegt, wie viel maximal das Produkt kosten darf.

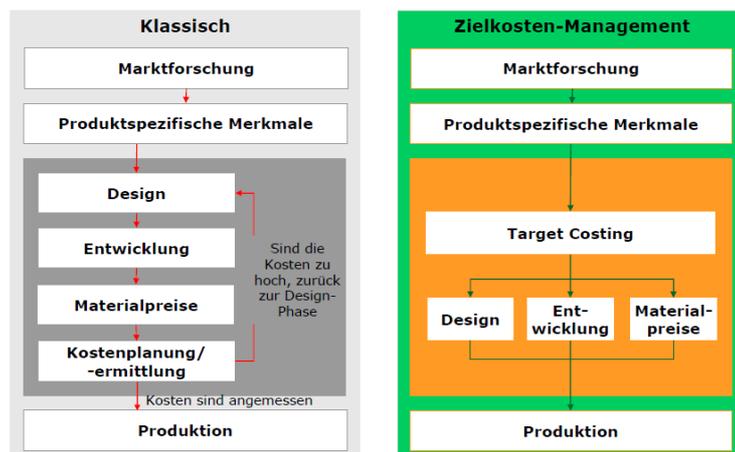


Abbildung 63: Klassische Kostenplanung im Vergleich mit Target-Costing, [87]

Die Kostenbewertung erfolgt wie schon bei der Gewichtsauswertung auch in zwei Schritten. Zuerst werden alle relevanten Komponenten in die Tabelle 22 eingetragen und anschließend die Kosten der Komponenten durch Angaben der Hersteller belegt oder abgeschätzt. Im zweiten Schritt wird ein Vergleich gemacht, um die Kosten der Kabinenhaut zu bestimmen. Im Anschluss werden alle Kosten zusammengefasst. Die Kosten des Basisfahrzeugs betragen ca. 38794€, [88].

Tabelle 22: Kosten - Komponenten, [1]

Komponente	Kosten [€]	Quelle
Gasanlage LPI-System + Einbau	2500	[53]
Unterflurtank 105l	209,99	[56]
Gastank-Schutzblech <sup>2</sup>	150	-
Rampe <sup>3</sup>	850	Anhang C
Außenschwingtür <sup>4</sup>	4500	[78]
Klimaanlage	1239	[67]
Klimaanlageeinbau <sup>1</sup>	1000	[67]
Acht Sitze	3600 (450)	Anhang C
Fahrtzielanzeige	900	Anhang C
Monitor (Informationssystem)	1500	Anhang C
Rollstuhlbefestigungssystem	356,25	[71]
Haltestangen (∅30; ca.10m Lang bei einer Wanddicke von 2mm; 480g/m) + Verbindungselemente <sup>2</sup>	1500	-
Haltetasten bzw. Stopptaste x6	66 (11)	Anhang C
Zylindertank 50l	109,06	[89]
Tankabdeckung / Ablagebox <sup>2</sup>	250	-
Feuerlöscher	19,99	[90]
Kindersitz	109,99	[81]
Transportbox <sup>3</sup>	63,99	[82]
Serviceeinrichtung	450	Anhang C
<b>Gesamtkosten</b>	<b>19374,27</b>	

- <sup>1</sup> Mittelwert  
<sup>2</sup> Kostenannahme  
<sup>3</sup> Vergl. Modell vom anderen Hersteller  
<sup>4</sup> Telefonisch nachgefragt

Basierend auf Recherchen, Gesprächen mit den Bürgerbusherstellern sind die Kosten für die Herstellung der Kabinenhaut schwer zu ermitteln. Da die Daten bei allen Herstellern sehr sensibel sind und die sich auch nicht in die Karten schauen lassen wollen. Aufgrund dessen werden im Rahmen der Abschätzung die Kosten mittels eines Fahrzeugvergleichs erarbeitet. Folgende Komponenten werden mit dieser Kostenabschätzung abgedeckt:

- Fußbodenverkleidung
- Tragstruktur
- Blechhaut
- Rückleuchten
- Fensterscheiben
- Befestigungselemente
- Hochdach

In der nachfolgenden Abbildung 64 werden die Kosten der Kabine dargestellt. Dabei werden zwei Fahrzeuge miteinander verglichen, die einen vollständigen Umbau hatten. Die Kosten stammen aus der Wettbewerbs- und Benchmarkanalyse.

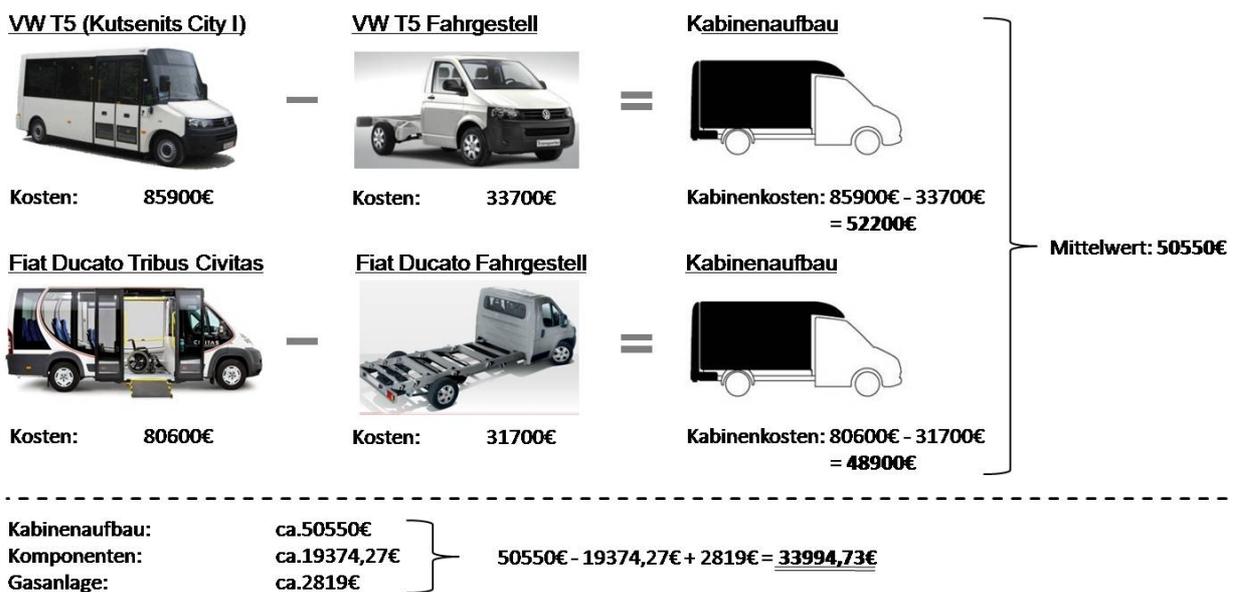


Abbildung 64: Kabinen-Kostenberechnung, [1]

Die Kabinenkosten beinhalten zudem Montagekosten und Gewinnspanne. Aufgrund der schwer zu ermittelten Kosten lassen sich diese auch nicht abziehen. Somit betragen die Gesamtkosten des Bürgerbusses:

Basisfahrzeug:	38.794€
Kabinenkosten:	33.994,73€
Inneneinrichtung und Gasanlage:	<u>19.374,27€</u>
	92.163€

Bei der Betrachtung muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich um eine grobe Kostenabschätzung handelt. Da die Entwicklung zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur theoretisch ist, sollten diese Ergebnisse nicht als endgültige Werte, sondern eher als grundsätzliche Tendenzen interpretiert werden. Die Kosten, welche der Kalkulation zugrunde liegen, basieren teilweise auf Abschätzungen und können sich daher durch Verhandlungen mit Lieferanten noch verändern.

## 7.2 Amortisationsrechnung der Gasanlage

Die Amortisation bezeichnet den Zeitpunkt, an dem ein Investitionsprojekt seine Anschaffungsausgaben refinanziert hat, [91]. Hier geht es also um die Frage, wann sich die Kosten für die Gasanlage bezahlt machen. Die Dauer, die dies in Anspruch nimmt, wird als Amortisationszeit bezeichnet.

Die Berechnung der Amortisationsdauer der Gasanlage wird anhand der Tabelle 23 verdeutlicht. Dabei betragen die Kosten für eine Gasanlage ca. 2900€ (siehe Tabelle 22).

**Tabelle 23: Amortisationsdauer, [1]**

Vergleich	Verbrauch [l/100km]	Kraftstoffpreis [€/l] <sup>3</sup>	Kraftstoffkosten [€/100km]	Anschaffungskosten [€]	Laufleistungskosten [€/15000km]	Laufleistungskosten [€/25000km]	Laufleistungskosten [€/35000km]
<b>Autogas (LPG)</b>	17,2 <sup>1</sup>	0,52	8,94	2900	1342	2236	3130
<b>Benziner</b>	12,2 <sup>2</sup>	1,43	17,45	-	2617	4362	6106
<b>Diesel</b>	7,05 <sup>2</sup>	1,14	8,04	2000 <sup>4</sup>	1205	2009	-
<b>Amortisationslaufleistung: Autogas (LPG) gegenüber Benziner</b>					1275€	2125€	2975€
<small>1 Kraftstoffverbrauch (kombinierter Mittelwert) 17,2l/100km, siehe Tabelle 14.                  2 [84] Kraftstoffverbrauch (kombinierter Mittelwert)                  3 [93] Stand 21.07.2015                  4 [94] Mindestens 2000 Euro Aufpreis</small>							

Bei dieser Untersuchung ist zu berücksichtigen, dass die Kraftstoffkosten konstant über die Laufleistung sind. Andererseits müsste mehr oder weniger eine Prognose erstellt werden, die die Analyse aufwendiger macht.

Unter der Amortisationslaufleistung wird die insgesamt zu fahrende Kilometerlaufleistung eines Bürgerbusses mit einem Gasantrieb, bei der sich die Anschaffungskosten des Antriebs mit einem vergleichbaren Fahrzeug mit konventionellem Antrieb ausgleichen, angegeben.

Auf Basis der Berechnung der Fahrleistung, ergibt sich eine Amortisationslaufleistung des Autogasfahrzeugs gegenüber einem Benziner von 35.000km. D.h. bei einer jährlichen Fahrleistung von 84.500km (siehe Kapitel 3.5) werden die gesamten Anschaffungskosten innerhalb eines halben Jahres amortisiert.

Der Vergleich mit einem Dieselfahrzeug besagt, dass aufgrund des sparsamen Verbrauchs sich die gesamten Anschaffungskosten gegenüber einem benzinangetriebenen Fahrzeug schon bei einer Fahrleistung von 25.000km amortisieren lassen. Allerdings sind die laufenden Kosten bei einem Dieselfahrzeug viel höher. Laut ADAC (Stand Juli 2015) müssen folgende Kostenelemente bei der Dieselanschaffung beachtet werden, [95]:

- Neuwagenpreis liegt meist höher
- KFZ-Steuer ist höher
- Versicherungsprämien sind häufig teurer
- Intervalle für Inspektion/Ölwechsel sind unter Umständen kürzer

Zusammenfassend hängen die Kraftstoff- und Anschaffungskosten wesentlich von der Fahrstrecke, die der Bürgerbus jährlich leistet, ab. Deswegen ist es sinnvoll, ein Antrieb zu wählen, dass zu der Fahrstrecke sowie zum entsprechenden Tankstellennetz passt.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Wie schon in der Motivation dargestellt, stellt sich die Frage, wie die Mobilität der Bevölkerung in dünn besiedelten Gebieten nachhaltig gesichert werden kann. Viele von ihnen können das vorhandene Nahverkehrsangebot nicht nutzen oder besitzen nicht über ein eigenes Fahrzeug. Hinzu erschweren wirtschaftliche Aspekte den Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs in diesen Gebieten.

Um das Mobilitätsbedürfnis zu lösen, greift das Modell der „Bürgerbus“ ein. Unter dem Leitprinzip „Bürger fahren für Bürger“ leisten ehrenamtlich engagierte Bürger Fahrdienste für die Bevölkerung, [96].

Zudem gibt es diese Bürgerbusse nicht von der Stange und es werden Sonderbauten von Kleintransportern, die auf spezielle Anforderungen wie beispielsweise Fahrgäste mit Mobilitätseinschränkungen abgestimmt sind, für den Busbetrieb eingesetzt. Dabei bedarf es einige wesentliche Um- und Einbauten, um einen serienmäßigen Kleintransporter in einen einsatzgemäßen Personen-Beförderer zu verwandeln.

Auch im Hinblick auf diese Masterarbeit wurde ein Basisfahrzeug zum Kleinbus bzw. Bürgerbus verwandelt. Zusätzlich war es das Ziel der Masterarbeit, einen Bürgerbus für die ländlichen Regionen zu entwickeln, der sich umweltfreundlich fortbewegt.

Zuerst wurden eine Marktanalyse und eine Kundenbefragung durchgeführt um eine aktuelle Bestandsaufnahmen zu erhalten. Es wurden Wettbewerber miteinander verglichen um seine eigene Position am Markt zu bestimmen und es wurden Informationen über die Anforderungen der Kunden gesammelt, aufbereitet und ausgewertet. Gerade in dieser Anfangsphase der Arbeit wurde deutlicher, wie wenig bzw. kaum Bürgerbusse mit alternativem Antrieb auf der Straße sich fortbewegen. Daher wurde der Fokus innerhalb der Arbeit vermehrt auf den alternativen Antrieb gesetzt, unter der Bedingung, dass die entsprechende Tankstelle auch in einer definierten Umgebung vorhanden sein muss.

Im Anschluss wurde ein Überblick über das ganze System Bürgerbus gegeben sowie ein Lastenheft, das alle Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich des Liefer- und Leistungsumfanges beschreibt, erstellt.

Auf Basis dieser Grundlagen wurden mithilfe eines systematischen Entwicklungspfad es grobe Bürgerbuskonzepte entwickelt und vorgestellt. Hierzu wurden gängige Instrumente des methodischen Konstruierens, wie die Funktionsanalyse und der

morphologische Kasten verwendet. Außerdem wurden den Konzepten unterschiedliche Antriebe versehen:

- Hybridantrieb (Benzin-Elektro)
- Hybridantrieb (Benzin-Gas)
- Elektroantrieb
- Brennstoffzellenantrieb

Das zukünftige Ziel der Automobilindustrie ist auch die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, insbesondere Rohöl, nachhaltig zu reduzieren. Deswegen gewinnen Hybrid- und Elektroantrieb weiter stark an Bedeutung. Auch um die Umwelt zu schonen. Diese Fahrzeuge sind nur dann umweltfreundlich, wenn sie mit sauberer Energie fahren. Ein Fahrzeug mit Elektromotor der über einen Akku versorgt wird, stößt genauso viel Treibhausgas CO<sub>2</sub> aus wie ein sparsamer Diesel, da die Abgase bei der Stromgewinnung in den Kraftwerken entstehen, [97]. Zuerst muss der Strom umweltschonender erzeugt werden, bevor von sauberer Energie gesprochen werden darf. Vor allem bieten Windkraftanlagen und Solaranlagen eine gute Alternative.

Ein weiteres Problem bei diesen Antrieben ist die Tankstelleninfrastruktur, die nicht schnell genug ausgebreitet wird. Dabei sei ein ausreichendes Netz von Elektro- und Wasserstoff-Tankstellen die Voraussetzung, um das „emissionsfreie“ Fahren voranzubringen. Die mangelhafte Verbreitung von Ladesäulen ist aber nur ein Problem. Dazu kommt für den Alltagsnutzen der E-Mobilität, die Stecker-Vielfalt, die endgültig noch nicht festgelegt sind.

Diese und weitere Kriterien wurden bei der anschließenden Nutzwertanalyse berücksichtigt. Mit der Durchführung der Analyse wurde ein Konzept, welches die Anforderungen am besten erfüllt, ausgewählt und anschließend dimensioniert. Das ausgewählte Konzept besteht aus einem Basisfahrzeug mit zusätzlicher LPG-Gasanlage.

Derzeit werden Flüssiggasanlagen (LPG) als auch Erdgasanlagen (CNG) ins Fahrzeug integriert. Aber nur die Flüssiggasspeicherung erlaubt höhere Reichweiten mit einer Tankfüllung Autogas im Vergleich zu CNG. Zudem ist die LPG-Tankstelleninfrastruktur besser ausgebaut.

Insgesamt erfordert die Dimensionierung eines Fahrzeugs hohen Aufwand. Aber da der Gasantrieb von vornherein einfach verbaut werden kann, zeichnet sich dieses

Basisfahrzeug mit Fahrgestell durch eine sehr gute Integration der Gaskomponenten aus. Speziell der für den Tank vorgesehene Bauraum in diesem Fahrzeugkonzept wird optimal abgestimmt, woraus sich ein hoher Nutzungsgrad des Bauraumes für den Aufbau ergibt.

Anschließend wurde der Aufbau vom Groben ins Detail mit dem Ziel, einer harmonischen Kabinengestaltung zum Gesamtfahrzeugkonzept zu entwickeln, gestaltet.

Insgesamt kann das Ergebnis der Kabinenauslegung positiv gewertet werden, da die geforderte Gewichtseinhaltung erreicht wurde. Zu beachten ist hierbei auch, dass das entwickelte Konzept bisher nur eine Grobauslegung darstellt, die nicht vollständig auskonstruiert ist. Außerdem basiert die ganze Konzeptentwicklung nur auf einer hypothetischen Darstellung. Eine endgültige Konzeptauslegung kann nur über eine 3D-Umgebung gemacht werden. Dabei werden heutzutage Werkzeuge wie Catia V5 oder Pro/E genutzt. Diese Hilfsmittel erleichtert die Arbeit des Ingenieurs, beginnend bei der Konstruktion, über die Berechnung bis hin zu der Fertigung, erheblich und damit können auch präzise Ergebnisse geliefert werden. Allerdings ist der Zeitaufwand bei der Erstellung des Fahrzeugkonzepts enorm.

In der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden Anschaffungskosten des Bürgerbusses sowie eine Amortisationsrechnung der Gasanlage aus Käufersicht untersucht. Anhand der durchgeführten Kostenrechnung lässt sich erkennen, dass der Bürgerbus gegenüber Wettbewerber bei der Anschaffung zu teuer ist. Wobei wie schon bei der Kabinenauslegung zu beachten war, basieren die Kosten auch hier nur auf einer groben Abschätzung. Um eine reibungslose Abschätzung der Kosten zu erhalten, muss vom Startbeginn ein enger Kontakt mit einem Hersteller und mit den Lieferanten eingehalten werden. Ein weiterer Punkt, welcher einer Kostenoptimierung unterzogen werden kann, ist ein Basisfahrzeug zu wählen, das schon ein Aufbau wie z.B. Kombiaufbau verfügt. Dadurch wird kein Kabinenbau erfordert und gleichzeitig werden die Kosten gesenkt.

Abschließend hoffe ich, dass es mir gelungen ist, einen guten Überblick über das Thema „Entwicklung eines Bürgerbuskonzepts im Fokus alternativer Antriebsmöglichkeiten“ zu geben und erste richtungsweisende Aussagen zu treffen. Nach meiner persönlichen Meinung, sollten alternative Antriebskonzepte weiterverfolgt und in Forschungsarbeiten der alternativen Antriebe investiert werden. Damit wäre auch die Klimadiskussion weitgehend beendet.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Trzebiatowski, Jacek: Eigene Darstellung, Stand 2015
- [2] [www.buergerbusse-in-deutschland.de/](http://www.buergerbusse-in-deutschland.de/)
- [3] [de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrgerbus](http://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrgerbus)
- [4] [www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc\\_germany\\_website/de/home\\_mpc/bus/home/new\\_buses/models/minibuses/Sprinter\\_Mobility\\_e6\\_.flash.html](http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/bus/home/new_buses/models/minibuses/Sprinter_Mobility_e6_.flash.html)
- [5] [www.buergerbus-herdecke.de/ihr-bus](http://www.buergerbus-herdecke.de/ihr-bus)
- [6] [www.german-e-cars.de/uploads/media/Leichte\\_Nutzfahrzeuge.pdf](http://www.german-e-cars.de/uploads/media/Leichte_Nutzfahrzeuge.pdf)
- [7] [www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2014/061\\_e\\_bus\\_.html](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2014/061_e_bus_.html)
- [8] [www.automotive.co.at/personenverkehr/vw-sondermodell-fuer-busunternehmer-11967](http://www.automotive.co.at/personenverkehr/vw-sondermodell-fuer-busunternehmer-11967)
- [9] [buergerbus.visselhoevede.de/fahrbetrieb/start\\_betrieb\\_bus.htm](http://buergerbus.visselhoevede.de/fahrbetrieb/start_betrieb_bus.htm)
- [10] [www.fibebus.de/fahrzeugangebot/bürgerbus-kutsenits](http://www.fibebus.de/fahrzeugangebot/bürgerbus-kutsenits)
- [11] [www.tribus.nl/civitas-10/#google\\_translate\\_element](http://www.tribus.nl/civitas-10/#google_translate_element)
- [12] [www.n-tv.de/auto/Mehr-Nutzlast-weniger-Verbrauch-article3470716.html](http://www.n-tv.de/auto/Mehr-Nutzlast-weniger-Verbrauch-article3470716.html)
- [13] [www.tippscout.de/heckantrieb-auto\\_tipp\\_5013.html](http://www.tippscout.de/heckantrieb-auto_tipp_5013.html)
- [14] [www.livinglab-bwe.de/projekt/e-buergerbus-und-wiki/](http://www.livinglab-bwe.de/projekt/e-buergerbus-und-wiki/)
- [15] Engeln, W.: Methoden der Produktentwicklung - Vorlesungsskript; Pforzheim University of Applied Sciences, 2004-2
- [16] [www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Landesbroschuere\\_2000.pdf](http://www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user_upload/pdf/Landesbroschuere_2000.pdf)
- [17] [www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Leitfaden\\_5-2014.pdf](http://www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user_upload/pdf/Leitfaden_5-2014.pdf)
- [18] [www.pro-buergerbus-nds.de/app/download/9673354299/2011\\_Bestimmungen\\_Buegerbus-Foederung\\_Januar+2011.pdf?t=1429092173](http://www.pro-buergerbus-nds.de/app/download/9673354299/2011_Bestimmungen_Buegerbus-Foederung_Januar+2011.pdf?t=1429092173)
- [19] [www.pro-buergerbus-nds.de/finanzierung/](http://www.pro-buergerbus-nds.de/finanzierung/)
- [20] [www.stadtteilagenten.de/finanzierung-und-forderung-des-buergerbusses/](http://www.stadtteilagenten.de/finanzierung-und-forderung-des-buergerbusses/)
- [21] [www.gesundheit-nds.de/CMS/images/stories/PDFs/Forum%201\\_Schmidt.pdf](http://www.gesundheit-nds.de/CMS/images/stories/PDFs/Forum%201_Schmidt.pdf)
- [22] [www.buergerbus-osteland.de/](http://www.buergerbus-osteland.de/)
- [23] [de.wikipedia.org/wiki/Samtgemeinde\\_Oldendorf-Himmelpforten](http://de.wikipedia.org/wiki/Samtgemeinde_Oldendorf-Himmelpforten)
- [24] [www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Ausstattungstabelle\\_Buegerbus.pdf](http://www.pro-buergerbus-nrw.de/fileadmin/user_upload/pdf/Ausstattungstabelle_Buegerbus.pdf)
- [25] [www.thueringen.de/mam/th9/oepnv/leitfaden\\_strassenbahnen.pdf](http://www.thueringen.de/mam/th9/oepnv/leitfaden_strassenbahnen.pdf)

- [26] Burger, Hans-Jürgen: Nutzfahrzeugkonstruktion 1 - Vorlesungsskript; HAW Hamburg, 2008
- [27] [www.3-loewen-takt.de/fileadmin/Downloads/PDF2014/Lastenheft\\_Fahrzeuge\\_Muster.pdf](http://www.3-loewen-takt.de/fileadmin/Downloads/PDF2014/Lastenheft_Fahrzeuge_Muster.pdf)
- [28] [www.alles-k.de/doc/Krea-80.htm](http://www.alles-k.de/doc/Krea-80.htm)
- [29] [www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Wirkungsgrad.htm](http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Wirkungsgrad.htm)
- [30] [www.motor-talk.de/forum/wohnwagen-ziehen-mit-opel-meriva-t1540608.html?page=2](http://www.motor-talk.de/forum/wohnwagen-ziehen-mit-opel-meriva-t1540608.html?page=2)
- [31] [www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/alternative-kraftstoffe/hybridantrieb/](http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/alternative-kraftstoffe/hybridantrieb/)
- [32] [www.quattroworld.com/audi-q5/audi-q5-hybrid-quattro](http://www.quattroworld.com/audi-q5/audi-q5-hybrid-quattro)
- [33] [www.ingenhorst.de/Autogas/CO2%20Emission.htm](http://www.ingenhorst.de/Autogas/CO2%20Emission.htm)
- [34] [www.ostsee-gas.de/autogas.html](http://www.ostsee-gas.de/autogas.html)
- [35] [www.pa.msu.edu/~bauer/Energie/PDFs/Auto.pdf](http://www.pa.msu.edu/~bauer/Energie/PDFs/Auto.pdf)
- [36] [ecomento.tv/modelle/vw-e-up](http://ecomento.tv/modelle/vw-e-up)
- [37] [de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzellenfahrzeug](http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzellenfahrzeug)
- [38] [www.greengear.de/mercedes-benz-b-klasse-f-cell](http://www.greengear.de/mercedes-benz-b-klasse-f-cell)
- [39] [www.bft.de/files/4114/2235/9562/150127\\_Scope\\_Tankstellenstudie\\_2014\\_final.pdf](http://www.bft.de/files/4114/2235/9562/150127_Scope_Tankstellenstudie_2014_final.pdf)
- [40] [www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html)
- [41] [www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/sihk24/innovation/downloads/1106012/.4./data/Studie\\_Otto\\_Diesel\\_Elektromotor\\_wer\\_macht\\_das\\_Rennen-data.pdf](http://www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/sihk24/innovation/downloads/1106012/.4./data/Studie_Otto_Diesel_Elektromotor_wer_macht_das_Rennen-data.pdf)
- [42] Lienkamp, Markus: Status Elektromobilität 2014; Mai 2014
- [43] [www.i2b.de/fileadmin/Media/Veranstaltung/pdf/2013-12-03\\_Leichtbau/Vortrag\\_Leichtbauentwicklung\\_von\\_Dr.-Ing.\\_Eberhard\\_Karbe\\_03.12.2013.pdf](http://www.i2b.de/fileadmin/Media/Veranstaltung/pdf/2013-12-03_Leichtbau/Vortrag_Leichtbauentwicklung_von_Dr.-Ing._Eberhard_Karbe_03.12.2013.pdf)
- [44] [www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=207](http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=207)
- [45] [www.manager-wiki.com/methodik/57-nutzwertanalyse](http://www.manager-wiki.com/methodik/57-nutzwertanalyse)
- [46] [www.sug.de/ppdf/ppdfnfz/sprinter%20reisemobil%20fahrgestelle](http://www.sug.de/ppdf/ppdfnfz/sprinter%20reisemobil%20fahrgestelle)
- [47] [blog.mercedes-benz-passion.com/2008/04/al-ko-bietet-neues-chassis-fur-den-mercedes-benz-sprinter/](http://blog.mercedes-benz-passion.com/2008/04/al-ko-bietet-neues-chassis-fur-den-mercedes-benz-sprinter/)
- [48] [bb-portal.mercedes-benz.com/techdaten/mbasdata/prd/aa\\_kat/DE/de/ABR\\_Neuer\\_Sprinter\\_20141114\\_de\\_20141114.pdf](http://bb-portal.mercedes-benz.com/techdaten/mbasdata/prd/aa_kat/DE/de/ABR_Neuer_Sprinter_20141114_de_20141114.pdf)

- [49] [www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc\\_germany\\_website/de/home\\_mpc/van.flash.html](http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van.flash.html)
- [50] [www.al-ko.de/download/MB-SPRINTER\\_2014\\_gekuerzt-2\(1\).pdf](http://www.al-ko.de/download/MB-SPRINTER_2014_gekuerzt-2(1).pdf)
- [51] [www.mercedes-seite.de/wp-content/uploads/2010/05/Multimed\\_Wallpap\\_04\\_1280x1024\\_de\\_04-2009.jpg](http://www.mercedes-seite.de/wp-content/uploads/2010/05/Multimed_Wallpap_04_1280x1024_de_04-2009.jpg)
- [52] [www.mercedes-benz.de/content/media\\_library/germany/mpc\\_germany/de/mercedes-benz\\_deutschland/transporter\\_ng/neue\\_transporter/sprinter/transporter\\_sprinter1.object-Single-EDIA.download.tmp/Sprinter\\_Kastenwagen\\_230212.pdf](http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/germany/mpc_germany/de/mercedes-benz_deutschland/transporter_ng/neue_transporter/sprinter/transporter_sprinter1.object-Single-EDIA.download.tmp/Sprinter_Kastenwagen_230212.pdf)
- [53] [www.adac.de/\\_mmm/pdf/ADAC%20Kostenvergleich%20Umr%C3%BCstung%20Gasfahrzeuge\\_47083.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/ADAC%20Kostenvergleich%20Umr%C3%BCstung%20Gasfahrzeuge_47083.pdf)
- [54] [www.vialle-in-deutschland.de](http://www.vialle-in-deutschland.de)
- [55] [www.vialle-in-deutschland.de/lpi/](http://www.vialle-in-deutschland.de/lpi/)
- [56] [www.lpgshop-24.de/Autogas-Tanks-Radmuldentanks-Unterflurtanks-Autogasanlage/0-Unterflurtanks/Unterflurtanks-720/](http://www.lpgshop-24.de/Autogas-Tanks-Radmuldentanks-Unterflurtanks-Autogasanlage/0-Unterflurtanks/Unterflurtanks-720/)
- [57] [www.zylindertanks.de/](http://www.zylindertanks.de/)
- [58] [www.projekt-s1000plus.de/autogas-irrtumer/](http://www.projekt-s1000plus.de/autogas-irrtumer/)
- [59] [de.wikipedia.org/wiki/Rollstuhl](http://de.wikipedia.org/wiki/Rollstuhl)
- [60] [www.alliedvehicles.com/de/vehicles/berlingo-impulse/wheelchair-user-dimensions](http://www.alliedvehicles.com/de/vehicles/berlingo-impulse/wheelchair-user-dimensions)
- [61] [de.made-in-china.com/co\\_czxinder/product\\_Manual-Wheelchair-Ramp-for-City-Bus-FMWR-1A-\\_hnoigreeg.html](http://de.made-in-china.com/co_czxinder/product_Manual-Wheelchair-Ramp-for-City-Bus-FMWR-1A-_hnoigreeg.html)
- [62] [www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/PublishingImages/imagesUpload/Modelli/Ducato\\_Trasformazione/Panoramica/Gamma/cabinato\\_pianale\\_Zoom.jpg](http://www.fiatprofessional.de/de/CMSDE/PublishingImages/imagesUpload/Modelli/Ducato_Trasformazione/Panoramica/Gamma/cabinato_pianale_Zoom.jpg)
- [63] [de.wikipedia.org/wiki/Bordstein](http://de.wikipedia.org/wiki/Bordstein)
- [64] [www.railbeton.de/resdb/download/1/de/113/114/haltestellenborde\\_833.pdf](http://www.railbeton.de/resdb/download/1/de/113/114/haltestellenborde_833.pdf)
- [65] [media.daimler.com/dcmedia/0-921-656624-49-1385289-1-0-0-0-0-0-11702-0-0-1-0-0-0-0-0.html](http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-656624-49-1385289-1-0-0-0-0-0-11702-0-0-1-0-0-0-0-0.html)
- [66] [www.support-telecogroup.com/telecogroup/telair/pdf/catalogo.pdf](http://www.support-telecogroup.com/telecogroup/telair/pdf/catalogo.pdf)
- [67] [www.reimo.net.pl/katalog/chlodzenie\\_klimatyzacja\\_ogrzewanie/Klimatyzacje.pdf](http://www.reimo.net.pl/katalog/chlodzenie_klimatyzacja_ogrzewanie/Klimatyzacje.pdf)
- [68] [www.kiel-sitze.de/index.php/de/content/download/1274/4593/file/Ligero%20Seating%20System.pdf](http://www.kiel-sitze.de/index.php/de/content/download/1274/4593/file/Ligero%20Seating%20System.pdf)
- [69] Friedhoff, Jan: Package und Ergonomie - Vorlesungsskript; HAW Hamburg, 2013

- [70] [ftp://ftp.lawo.info/download/produkte/Data%20sheets/LAWO%20Produktkatalog%20D\\_09\\_03\\_03%20%20\(2\).pdf](ftp://ftp.lawo.info/download/produkte/Data%20sheets/LAWO%20Produktkatalog%20D_09_03_03%20%20(2).pdf)
- [71] [www.kraftknotenadapter.com/rotektor-shop/black-series/](http://www.kraftknotenadapter.com/rotektor-shop/black-series/)
- [72] [www.mobilcentergmbh.ch/.cm4all/iproc.php/D\\_Passivfahrer/D3\\_Befestigungssysteme/gurte65.jpg/downsize\\_1280\\_0/gurte65.jpg](http://www.mobilcentergmbh.ch/.cm4all/iproc.php/D_Passivfahrer/D3_Befestigungssysteme/gurte65.jpg/downsize_1280_0/gurte65.jpg)
- [73] [www.amf-bruns-behindertenfahrzeuge.de/produkte/rotektor-personen-und-rollstuhlrückhaltesystem/](http://www.amf-bruns-behindertenfahrzeuge.de/produkte/rotektor-personen-und-rollstuhlrückhaltesystem/)
- [74] [www.abartautogas.de/Tanks/Zylindertank](http://www.abartautogas.de/Tanks/Zylindertank)
- [75] [www.hundeboxen.de/index.cfm?rubrik=115](http://www.hundeboxen.de/index.cfm?rubrik=115)
- [76] [www.mercedes-benz.de/content/media\\_library/hq/hq\\_mpc\\_reference\\_site/van\\_ng/vans\\_world/entertainment\\_downloads/brochures/sprinter/sprinter\\_pickup\\_chassis\\_brochure\\_01\\_14090\\_de\\_COM\\_09-2009\\_pdf.object-Single-MEDIA.tmp/Sprinter\\_Chassis\\_Pritsche\\_Broschuere\\_de\\_COM\\_09-2009.pdf](http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/hq/hq_mpc_reference_site/van_ng/vans_world/entertainment_downloads/brochures/sprinter/sprinter_pickup_chassis_brochure_01_14090_de_COM_09-2009_pdf.object-Single-MEDIA.tmp/Sprinter_Chassis_Pritsche_Broschuere_de_COM_09-2009.pdf)
- [77] [de.wikipedia.org/wiki/Autogas](http://de.wikipedia.org/wiki/Autogas)
- [78] [bode-kassel.com/wp-content/uploads/2013/10/AST-CADS.pdf](http://bode-kassel.com/wp-content/uploads/2013/10/AST-CADS.pdf)
- [79] [www.mobitec.eu/index.php?action=download&file=./mediafactory/Leaflets/MobiS\\_CREEN\\_03145\\_R2\\_DE.pdf](http://www.mobitec.eu/index.php?action=download&file=./mediafactory/Leaflets/MobiS_CREEN_03145_R2_DE.pdf)
- [80] [www.happich.de/\\_media/\\_kat/de/HAPPICH\\_Handrail\\_Systems\\_Fittings\\_Hinges\\_DE\\_EN.pdf](http://www.happich.de/_media/_kat/de/HAPPICH_Handrail_Systems_Fittings_Hinges_DE_EN.pdf)
- [81] [www.mytoys.de/Maxi-Cosi-Auto-Kindersitz-Priori-SPS-Stone-2015/Auto-Kindersitze\\_-9-bis-18-kg/Auto-Kindersitze/KID/de-mt.ba.ca02.01.10/2415528](http://www.mytoys.de/Maxi-Cosi-Auto-Kindersitz-Priori-SPS-Stone-2015/Auto-Kindersitze_-9-bis-18-kg/Auto-Kindersitze/KID/de-mt.ba.ca02.01.10/2415528)
- [82] [www.amazon.de/TecTake%C2%AE-Alu-Hundetransportbox-small-single/dp/B007EQZHQU/ref=pd\\_sim\\_199\\_3?ie=UTF8&refRID=19W9HQABT0543M4FJ4FC](http://www.amazon.de/TecTake%C2%AE-Alu-Hundetransportbox-small-single/dp/B007EQZHQU/ref=pd_sim_199_3?ie=UTF8&refRID=19W9HQABT0543M4FJ4FC)
- [83] [www.zahltsche.de/zahltsch\\_corean.pdf](http://www.zahltsche.de/zahltsch_corean.pdf)
- [84] [www.mercedes-benz.de/content/media\\_library/germany/mpc\\_germany/de/mercedes-benz\\_deutschland/transporter\\_ng/neue\\_transporter/sprinter/transporter\\_sprinter23.object-Single-MEDIA.download.tmp/Broschuere\\_Der-neue-Sprinter\\_Kombi\\_11-2013.pdf](http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/germany/mpc_germany/de/mercedes-benz_deutschland/transporter_ng/neue_transporter/sprinter/transporter_sprinter23.object-Single-MEDIA.download.tmp/Broschuere_Der-neue-Sprinter_Kombi_11-2013.pdf)
- [85] [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Gesundheitszustand/Koerpermasse5239003099004.pdf;jsessionid=453CE64B9A7DD867D2DD75B0616B9869.cae4?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Gesundheitszustand/Koerpermasse5239003099004.pdf;jsessionid=453CE64B9A7DD867D2DD75B0616B9869.cae4?__blob=publicationFile)
- [86] Baumgärtner, Armin: Erstellung eines Konzeptes zur Einführung eines Qualitätsmanagements für eine Steuerberatungsgesellschaft nach dem EFQM-Modell für Excellence; Hamburg, Igel Verlag RWS 2014

- [87] [www.4managers.de/fileadmin/4managers/fohlen/targetcosting.pdf](http://www.4managers.de/fileadmin/4managers/fohlen/targetcosting.pdf)
- [88] [www.mercedes-benz.de/content/media\\_library/germany/mpc\\_germany/de/mercedes-benz\\_deutschland/transporter\\_ng/neue\\_transporter/sprinter/transporter\\_neuer.object-Single-MEDIA.download.tmp/MB\\_Preisliste\\_Sprinter\\_02\\_150401.pdf](http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/germany/mpc_germany/de/mercedes-benz_deutschland/transporter_ng/neue_transporter/sprinter/transporter_neuer.object-Single-MEDIA.download.tmp/MB_Preisliste_Sprinter_02_150401.pdf)
- [89] [www.ebay.de/itm/like/181717645730?ipid=106&chn=ps](http://www.ebay.de/itm/like/181717645730?ipid=106&chn=ps)
- [90] [www.bueromarkt-ag.de/feuerloescher\\_protex\\_pd\\_6\\_ga\\_6\\_kg,p-22011831.html](http://www.bueromarkt-ag.de/feuerloescher_protex_pd_6_ga_6_kg,p-22011831.html)
- [91] [www.rechnungswesen-verstehen.de/investition-finanzierung/amortisation\\_srechnung.php](http://www.rechnungswesen-verstehen.de/investition-finanzierung/amortisation_srechnung.php)
- [92] [www.christiani.de/pdf/70312\\_probe.pdf](http://www.christiani.de/pdf/70312_probe.pdf)
- [93] [www.clever-tanken.de/tankstelle\\_details/17592](http://www.clever-tanken.de/tankstelle_details/17592)
- [94] [www.spiegel.de/auto/fahrkultur/dieselmotor-die-vorteile-des-selbstzuenderschwinden-a-883170.html](http://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/dieselmotor-die-vorteile-des-selbstzuenderschwinden-a-883170.html)
- [95] [www.adac.de/\\_mmm/pdf/b-d-vgl\\_47090.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/b-d-vgl_47090.pdf)
- [96] [www.demografie.sachsen.de/download/Bericht\\_Demografischer\\_Wandel\\_und\\_soziale\\_Infrastruktur.pdf](http://www.demografie.sachsen.de/download/Bericht_Demografischer_Wandel_und_soziale_Infrastruktur.pdf)
- [97] [edoc.sub.uni-hamburg.de/haw/volltexte/2010/1020/pdf/Dipl\\_Arbeit\\_250209.pdf](http://edoc.sub.uni-hamburg.de/haw/volltexte/2010/1020/pdf/Dipl_Arbeit_250209.pdf)

# 10 Anhang

## Anhang A: Bewertungsbogenexemplar

Kundenbefragung										
Bürgerbus	+ (Hoch / Sehr Gut)						(Niedrig / Schwach) -			
BEISPIEL 1	x									
BEISPIEL 2							x			
1 Kundenservice beim Fahrzeugkauf										
2 Fahrzeugpreis										
3 Finanzierung/Förderung										
4 Qualität										
5 Prestige/Image										
6 Lieferzeit										
7 Design										
8 Motorleistung										
9 Kraftstoffverbrauch										
10 Wartung										
11 Komfort										
12 Ausstattung										
13 Benutzerfreundlichkeit										
14 Mitnahme von Rollstuhlfahrern										
15 Sicherheit										
16 Umweltfreundlich										
17 Markentreue										
<b>Weitere Faktoren</b>										
(Bitte zwei nennen)										
(...)										
Punkte	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Welches Fahrzeugmodell fahren Sie?
Wurde das Fahrzeug umgebaut? (Wenn Ja! Unternehmen?)
Würden Sie das gleiche Fahrzeug nochmal kaufen? (Wenn Nein! Wieso?)
Wie oft werden Rollstuhlfahrer mitgenommen?

## Anhang B: Fahrplan

2927 

## BürgerBus Osteland

gültig ab: 1. Juli 2015		Montag - Freitag												
Fahrnummer		1001	1003	1005	1007	1009	1011	1013	1015	1017	1019	1021	1023	1025
Verkehrsbeschränkung														
Nr	Haltestelle													
	 aus Richtung Hamburg		8.07		9.07	10.07	11.07		14.07	15.07	16.07	17.07		18.07
2	Himmelpforten, Bahnhof		8.21		9.41	10.41	11.41		14.12	15.12	16.12	17.12		18.12
3	-, Stubbenkamp		8.23		9.43	10.43	11.43		14.14	15.14	16.14	17.14		18.14
4	-, Neu Kuhla		8.24		9.44	10.44	11.44		14.15	15.15	16.15			18.15
5	Oldendorf (STD), Schulstraße		8.27		9.47	10.47	11.47		14.18	15.18	16.18			18.18
6	-, Lämmerhof	7.29	8.28	8.48	9.48	10.48	11.48		14.19	15.19	16.19			18.19
7	-, Fasanenweg								14.20	15.20	16.20			18.20
8	Estorf, Wietstruck 11								14.23	15.23	16.23			18.23
9	-, Schule								14.24	15.24	16.24			18.24
10	-, Alte Post / Landstraße								14.25	15.25	16.25			18.25
11	Gräpel, Denkmal								14.27	15.27	16.27			18.27
12	-, Dorfstraße								14.28	15.28	16.28			18.28
13	-, Am Friedhof								14.28	15.28	16.28			18.28
14	Brobergen, Berg								14.30	15.30	16.30			18.30
15	-, Neern in Dölp								14.31	15.31	16.31			18.31
16	Kranenburg, Dorfpark								14.34	15.34	16.34			18.34
17	Blumenthal, Ostestraße 49								14.36	15.36	16.36			18.36
18	-, Achtern Barg								14.37	15.37	16.37			18.37
19	-, Abzweig Bossel								14.38	15.38	16.38			18.38
20	Burweg, Blaue Straße								14.40	15.40	16.40			18.40
21	Bossel, Denkmal	7.32		8.52	9.52	10.52			14.42	15.42	16.42			18.42
22	Burweg, Blaue Straße	7.34		8.54	9.54	10.54						17.17		
23	Blumenthal, Abzweig Bossel	7.36		8.56	9.56	10.56						17.19		
24	-, Achtern Barg	7.37		8.57	9.57	10.57						17.20		
25	-, Ostestraße 49	7.38		8.58	9.58	10.58						17.21		
26	Kranenburg, Dorfpark	7.40		9.00	10.00	11.00						17.23		
27	Brobergen, Neern in Dölp	7.43		9.03	10.03	11.03						17.26		
28	-, Berg	7.44		9.04	10.04	11.04								
29	Gräpel, Am Friedhof	7.46		9.06	10.06	11.06								
30	-, Dorfstraße	7.46		9.06	10.06	11.06								
31	-, Denkmal	7.47		9.07	10.07	11.07								
32	Estorf, Ole Dölpstroot	7.49		9.09	10.09	11.09								
33	-, Schule	7.50		9.10	10.10	11.10								
34	-, Wietstruck 11	7.51		9.11	10.11	11.11								
35	Oldendorf (STD), Fasanenweg	7.54		9.14	10.14	11.14								
36	-, Lämmerhof	an 7.55		9.15	10.15	11.15			14.45	15.45	16.45	17.30		18.45
37	-, Lämmerhof	ab 8.05		9.25	10.25	11.25		13.55	14.55	15.55	16.55		17.55	
38	-, Schulstraße	8.06		9.26	10.26	11.26		13.56	14.56	15.56	16.56		17.56	
39	Himmelpforten, Neu Kuhla	8.09		9.29	10.29	11.29		13.59	14.59	15.59	16.59		17.59	
40	-, Stubbenkamp	8.10		9.30	10.30	11.30		14.00	15.00	16.00	17.00		18.00	
41	-, Steinkamp	8.12		9.32	10.32	11.32		14.02	15.02	16.02	17.02		18.02	
42	-, Brink 28	8.13		9.33	10.33	11.33		14.03	15.03	16.03	17.03		18.03	
43	-, Klosterkrug	8.15		9.35	10.35	11.35		14.05	15.05	16.05	17.05		18.05	
44	-, Feldstraße	8.16		9.36	10.36	11.36		14.06	15.06	16.06	17.06		18.06	
45	-, DRK	8.17		9.37	10.37	11.37		14.07	15.07	16.07	17.07		18.07	
46	-, Bahnhof	8.20		9.40	10.40	11.40		14.10	15.10	16.10	17.10		18.10	
	 in Richtung Hamburg	8.31		9.50	10.50	11.50		14.50	15.50	16.50	17.50		18.50	

		Samstag												
Fahrtnummer		6001	6003	6005	6007	6009	6011	6013	6015	6017	6019	6021	6023	6025
Verkehrsbeschränkung		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nr	Haltestelle													
	 aus Richtung Hamburg		8.07		9.07	10.07	11.07		14.07	15.07	16.07	17.07		18.07
2	Himmelpforten, Bahnhof		8.21		9.41	10.41	11.41		14.12	15.12	16.12	17.12		18.12
3	- Stubbenkamp		8.23		9.43	10.43	11.43		14.14	15.14	16.14	17.14		18.14
4	- Neu Kuhla		8.24		9.44	10.44	11.44		14.15	15.15	16.15			18.15
5	Oldendorf (STD), Schulstraße		8.27		9.47	10.47	11.47		14.18	15.18	16.18			18.18
6	- Lämmerhof	7.29	8.28	8.48	9.48	10.48	11.48		14.19	15.19	16.19			18.19
7	- Fasanenweg								14.20	15.20	16.20			18.20
8	Estorf, Wietstruck 11								14.23	15.23	16.23			18.23
9	- Schule								14.24	15.24	16.24			18.24
10	- Alte Post / Landstraße								14.25	15.25	16.25			18.25
11	Gräpel, Denkmal								14.27	15.27	16.27			18.27
12	- Dorfstraße								14.28	15.28	16.28			18.28
13	- Am Friedhof								14.28	15.28	16.28			18.28
14	Brobergen, Berg								14.30	15.30	16.30			18.30
15	- Neern in Dörp								14.31	15.31	16.31			18.31
16	Kranenburg, Dorfpark								14.34	15.34	16.34			18.34
17	Blumenthal, Ostestraße 49								14.36	15.36	16.36			18.36
18	- Achtern Barg								14.37	15.37	16.37			18.37
19	- Abzweig Bossel								14.38	15.38	16.38			18.38
20	Burweg, Blaue Straße								14.40	15.40	16.40			18.40
21	Bossel, Denkmal	7.32		8.52	9.52	10.52			14.42	15.42	16.42			18.42
22	Burweg, Blaue Straße	7.34		8.54	9.54	10.54						17.17		
23	Blumenthal, Abzweig Bossel	7.36		8.56	9.56	10.56						17.19		
24	- Achtern Barg	7.37		8.57	9.57	10.57						17.20		
25	- Ostestraße 49	7.38		8.58	9.58	10.58						17.21		
26	Kranenburg, Dorfpark	7.40		9.00	10.00	11.00						17.23		
27	Brobergen, Neern in Dörp	7.43		9.03	10.03	11.03						17.26		
28	- Berg	7.44		9.04	10.04	11.04								
29	Gräpel, Am Friedhof	7.46		9.06	10.06	11.06								
30	- Dorfstraße	7.46		9.06	10.06	11.06								
31	- Denkmal	7.47		9.07	10.07	11.07								
32	Estorf, Ole Dörpstroot	7.49		9.09	10.09	11.09								
33	- Schule	7.50		9.10	10.10	11.10								
34	- Wietstruck 11	7.51		9.11	10.11	11.11								
35	Oldendorf (STD), Fasanenweg	7.54		9.14	10.14	11.14								
36	- Lämmerhof	an 7.55		9.15	10.15	11.15			14.45	15.45	16.45	17.30		18.45
37	- Lämmerhof	ab 8.05		9.25	10.25	11.25		13.55	14.55	15.55	16.55		17.55	
38	- Schulstraße	8.06		9.26	10.26	11.26		13.56	14.56	15.56	16.56		17.56	
39	Himmelpforten, Neu Kuhla	8.09		9.29	10.29	11.29		13.59	14.59	15.59	16.59		17.59	
40	- Stubbenkamp	8.10		9.30	10.30	11.30		14.00	15.00	16.00	17.00		18.00	
41	- Steinkamp	8.12		9.32	10.32	11.32		14.02	15.02	16.02	17.02		18.02	
42	- Brink 28	8.13		9.33	10.33	11.33		14.03	15.03	16.03	17.03		18.03	
43	- Klosterkrug	8.15		9.35	10.35	11.35		14.05	15.05	16.05	17.05		18.05	
44	- Feldstraße	8.16		9.36	10.36	11.36		14.06	15.06	16.06	17.06		18.06	
45	- DRK	8.17		9.37	10.37	11.37		14.07	15.07	16.07	17.07		18.07	
46	- Bahnhof	8.20		9.40	10.40	11.40		14.10	15.10	16.10	17.10		18.10	
	 in Richtung Hamburg	8.50		9.50	10.50	11.50		14.50	15.50	16.50	17.50		18.50	

A = nicht am 24. und 31.12.

Fahrten haben einen besonderen Tarif.

Keine Fahrten an gesetzlichen Feiertagen

## ***Anhang C: E-Mails***

### Rampe

Sehr geehrter Herr Trzebiatowski,

vielen Dank für Ihre Email.

Gehen Sie bitte bei der HK modular in der Standardausführung von ca. 850.- EUR aus.

Mit freundlichen Grüßen / Kind regards

HÜBNER Transportation GmbH

-----

Vertrieb / Sales

Antonius-Raab-Straße 5

34123 Kassel

Telefon +49 561 998-2074

Telefax +49 561 998-2080

[www.hubner-germany.com](http://www.hubner-germany.com)

### Sitze

Hallo,

Pro Sitzplatz ca. 400 bis zum 500 Euro

Met vriendelijke groet

Mit freundlichen Grüßen

Kind regards

-----

Franz Kiel BV

Markiezenbaan 2

5121 DS Rijen

Nederland

Tel. : +31 161-229000

Fax. : +31 161-229099

Mail : [spareparts@kiel-sitze.nl](mailto:spareparts@kiel-sitze.nl)

### Fahrtzielanzeige / Monitor (Informationssystem)

Sehr geehrter Herr Trzebiatowski,

es gibt hier sehr große Bandbreiten – je nach Anforderung des Kunden und elektronische Ausstattung. Unten haben wir Ihnen mal Richtpreise angegeben.

- Infotainment 18.5" 1.366 x 768 (WXGA) ca. 1.500 EUR

- LED-Anzeige BENEFIT (-F) ca. 900 EUR

Wir hoffen, dies hilft Ihnen weiter.

Mit freundlichen Grüßen

LAWO Informationssysteme GmbH

-----

Teamleiterin Vertriebs-Innendienst/

Back Office Team Manager  
Stockfeldstrasse 1, D-76437 Rastatt  
Tel: +49 7222 1001 – 170  
Fax: +49 7222 1001 – 134  
Internet: <http://www.lawo.info>

### Haltetasten / Stopptasten

Guten Tag Herr Trzebiatowski,

vielen Dank für Ihre Anfrage, hier in der Schweiz verkaufen wir diese zu 11.50 chf.à stk.

Mit freundlichen Grüssen

-----  
Bus Shop GmbH  
Moosacherstrasse 21  
8804 Au (ZH)  
tel.: +41 41 511 50 91  
fax.: +41 43 844 41 42  
[www.busshop.ch](http://www.busshop.ch)  
[welcome@busshop.ch](mailto:welcome@busshop.ch)

### Serviceeinrichtung

Hallo Herr Trzebiatowski,

Der angefragte Zahltisch wird nicht mehr gebaut  
Die baugleiche alternative kostet ca 1000 € + passender Geldwechsler ca 148 €  
Alternativ ist eine günstige Lösung EXEP Zahltisch kpl. Für. Ca 450 € zu erhalten.

Grüße aus dem Schwarzwald

-----  
Zahltsche & Zubehör  
Eichenweg 10  
78662 Bösinggen

## Anhang D: Selbständigkeitserklärung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

#### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Trzebiatowski

Vorname: Jacek

dass ich die vorliegende Masterarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung eines Bürgerbuskonzepts im Fokus alternativer Antriebsmöglichkeiten

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

30.09.2015

*Jacek Trzebiatowski*

Ort

Datum

Unterschrift im Original

***Anhang E: CD***