Kenntnisnahme	Vorlagen-Nr.: **VO/6427/2018** Status: öffentlich Datum: 03.09.2018
Dezernat: Fachdienst: Sachbearbeiter/in:	I 10 - Personal-, Organisations- u. Beteiligungsmanagement Heilmann, Marco, Rau, Christoph

Beratungsfolge:

Gremium	**Zuständigkeit**	**Sitzung ist**
Magistrat	Kenntnisnahme	Nichtöffentlich
Ausschuss für Umwelt, Energie und Verkehr	Kenntnisnahme	Öffentlich
Haupt- und Finanzausschuss	Kenntnisnahme	Öffentlich
Stadtverordnetenversammlung	Kenntnisnahme	Öffentlich

Zukünftige Beschaffung von Fahrzeugen für den ÖPNV, Nutzfahrzeugen und Ladeinfrastruktur bei der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg

Beschlussvorschlag:
Der Magistrat und die Stadtverordnetenversammlung werden gebeten,

> den beigefügten Abschlussbericht der Arbeitsgruppe Mobilität 2020 der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg zur Kenntnis zu nehmen.

Sachverhalt:
Die Universitätsstadt Marburg war in 2016 eine der Städte in Deutschland, in der die Grenzwerte für die Belastung mit Stickoxiden (NOx) überschritten wurden. Ein wesentlicher Grund für diese Überschreitung ist die Belastung durch die Emissionen des Verkehrs in der Innenstadt, insbes. durch Dieselfahrzeuge, die die vorgeschriebenen Grenzwerte nicht einhalten.

Der öffentliche Personennahverkehr ist dabei Teil der Lösung und nicht Teil des Problems. Die Konzern-Geschäftsführung der Stadtwerke Marburg GmbH hat daher das Thema „sauberer Verkehr“ bereits vor dem sogenannten „Dieselgipfel“ im Sommer 2017 aufgegriffen und eine Arbeitsgruppe innerhalb der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg beauftragt, die Grundlagen und eine Handlungsempfehlung für die zukünftige Beschaffung von sauberen Großfahrzeugen zu erarbeiten. Im vorliegenden Abschlussbericht werden die relevanten Fördermöglichkeiten und der Ausbau der Ladeinfrastruktur im Bedienungsgebiet der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg beleuchtet.

Der Bericht weist den Weg in die Modernisierung und Teilelektrifizierung der öffentlichen Verkehrsmittel in der Universitätsstadt Marburg auf.

Dr. Thomas Spies
Oberbürgermeister

Finanzielle Auswirkungen:
Keine.

Anlagen:
- Abschlussbericht der Arbeitsgruppe Mobilität 2020 der Unternehmensgruppe Stadtwerke

AG Mobilität 2020

Zukünftige Beschaffung von Fahrzeugen für den ÖPNV, Nutzfahrzeugen und Ladeinfrastruktur

Unternehmensgruppe Stadtwerke

Dipl.-Kfm. M.Sc. Fabian Kauffmann (Stadtwerke Marburg GmbH)

Dipl.-Geogr. Wolfgang Otto (Marburger Verkehrsgesellschaft mbH)

Dipl.-Geogr. Christoph Rau (Stadtwerke Marburg Consult GmbH)

M.-Eng. Johanna Stäsch (Stadtwerke Marburg GmbH)

Dipl.-Kfm. Jürgen Wiegand (Marburger Entsorgungs- GmbH / Marburger Verkehrsgesellschaft mbH)

Vorbemerkung

Zu den Aufgaben der Stadtwerke Marburg gehört die Bereitstellung eines saubereren und leistungsfähigen Nahverkehrs. Das hohe Engagement der Stadtwerke für eine rasche und effiziente Umsetzung hat in der jüngsten Vergangenheit bereits in der kommunalen Öffentlichkeit im führenden Fachblatt „Zeitung für die kommunale Wirtschaft ZfK“, Ausgabe Juli 2018, im Artikel „Die Verkehrswende auf die Straße bringen“ eine Anerkennung gefunden.

Zitat:

… Sehr interessant erscheint derzeit auch eine Machbarkeitsstudie zum Thema Oberleitungsbusse, an der die Stadtwerke Marburg und Trier arbeiten. … die „Oberhessische Presse“ vermeldete bereits, dass die Stadtwerke Marburg das Konzept eines Oberleitungsbussystems für Marburg umsetzen möchten. Im Prinzip wird ein Elektro-Hybrid genutzt. In der Innenstadt werde aus Denkmalschutzgründen keine Oberleitung gebaut, dafür aber in den Randbezirken. Eine Batterie werde dann den Bus versorgen, wenn keine Oberleitung vorhanden ist. Im Prinzip gehe es nicht mehr um das „ob“ bei den Stadtwerken Marburg, nur noch um das „wie“, hieß es in der Zeitung. … (Leßner, 2018)

Das Zitat greift jedoch nur einen Teilaspekt der in diesem Bericht erarbeiteten Strategie der Stadtwerke Marburg auf. Die Stadtwerke Marburg werden sich der Herausforderung der gewünschte Verkehrswende in Marburg stellen und diese mit einer sicheren und verfügbaren Technik im Zeitraum bis 2030 umsetzen.

Marburg, August 2018

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung 2
Inhaltsverzeichnis 3
1. Arbeitsauftrag der Konzern-Geschäftsführung der Stadtwerke Marburg GmbH 6
2. Busse und Nutzfahrzeuge der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg 7
2.1. Aktuell eingesetzte Fahrzeuge im ÖPNV der Universitätsstadt Marburg 7
2.2. Aktuell eingesetzte Nutzfahrzeuge und PKWs der Stadtwerke Marburg 8
2.3. Schadstoffausstoß der bis 2019 voraussichtlich eingesetzten Busse 9
2.4. Die aktuellen Antriebstechniken für Omnibusse 10
2.4.1. Diesel 10
2.4.2. Erdgas / Biogas / Flüssiggas 12
2.4.3. Antrieb mit Bio-Ethanol 12
2.4.4. Wasserstoff 13
2.4.5. Hybridantrieb 13
2.4.6. Elektrischer Antrieb 16
2.4.7. Elektrische Antrieb mit Brennstoffzellen 16
2.4.8. Oberleitungsbusse 17
2.4.9. Batterietechniken 18
2.4.10. Ladesysteme und Reichweiten 22
2.4.11. Bewertung der Ladeinfrastruktur und der Ladetechnik 24
2.4.12. Machbarkeitsstudie von HO-Busverkehr am Beispiel von Marburg 25
2.5. Überblick der aktuellen Antriebstechniken für Nutzfahrzeuge 29
3. Ladeinfrastruktur 34
3.1. Grundlagen 34
3.1.1. Laden mit Wechselstrom 34
3.1.2. Laden mit Gleichstrom 35
3.2. Öffentliche Ladeinfrastruktur 36
3.2.1. Ladeinfrastruktur im Parkhaus Oberstadt am Pilgrimstein 37
3.3. Ladeinfrastruktur in Privathäusern 40
3.4. Ladeinfrastruktur für Pedelecs, Elektrofahrräder und Elektroroller 41
3.5. Ausblick 2020 41
4. Exkurs: Straßenbahnverbindung von der Innenstadt zu den Lahnbergen 43
5. Umsetzungsempfehlungen 44
5.1. Vorgaben zur Umsetzung 44
5.2. Antriebstechniken nach Einsatzmöglichkeiten im Stadtverkehr Marburg 45

5.3. Smart Grid und Elektromobilität 45
6. Förderprogramme für den Verkehrsbereich 47
6.1. EU 47
6.1.1. Europäischer Energieeffizienzfonds (EEEF) 47
6.1.2. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 47
6.2. Bund 48
6.2.1. Förderrichtlinie zur Förderinitiative FuE Elektromobilität v. 08.12.17, BMWi/BMUB 48
6.2.2. Förderrichtlinie Erneuerbar Mobil v. 08.12.17, BMUB / BMWi 48
6.2.3. Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland v. 13.02.17 . 49
6.2.4. Förderrichtlinie Elektromobilität v. 09.06.15, BMVI 49
6.2.5. Nationale Klimaschutzinitiative: Förderaufruf Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte 50
6.2.6. Nationale Klimaschutzinitiative: Kommunalrichtlinie, BMUB 50
6.2.7. Bundeswettbewerb Klimaschutz durch Radverkehr 51
6.2.8. Finanzhilfen für Radschnellwege, BMVI 51
6.2.9. Förderung von Lastenrädern, BMUB 51
6.2.10. Nationaler Radverkehrsplan 2020 52
6.2.11. Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV, BMUB 52
6.2.12. Förderrichtlinie Automatisiertes und vernetztes Fahren, BMVI 52
6.2.13. Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme v. 31.01.18, BMVI 53
6.2.14. Förderung für intelligente Verkehrssteuerung, BMUB 53
6.2.15. Förderrichtlinie für die Nachrüstung von Diesel-Bussen im ÖPNV, BMVI 54
6.2.16. Förderrichtlinie Modernitätsfonds (mFUND), BMVI 54
6.2.17. KfW-Programm 148 Investitionskredit Kommunale und Soziale Unternehmen 54
6.2.18. KfW-Programm 037 KFW-Unternehmerkredit 55
6.2.19. KfW-Programm 219 IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren 55
6.2.20. KfW-Programm 433 Energieeffizient Bauen u. Sanieren Zuschuss Brennstoffzelle 55
6.2.21. KfW-Programm 240 KfW-Umweltprogramm 56
6.2.22. KfW-Programm 230 BMUB-Umweltinnovationsprogramm 56
6.2.23. KfW-Programm 234 IKU – Barrierearme Stadt 56
6.2.24. BAFA Elektromobilität (Umweltbonus) 57
6.3. Hessen 57
6.3.1. Förderung der Nahmobilität v. 21.08.17, HMWEVL über AGNH 57
6.3.2. Innovationsrichtlinie des Landes Hessen v. 26.12.16, HMWEVL 58
6.3.3. Innovationsförderung – Elektrobusse, Richtlinien v. 08.12.16, HMWEVL 58
6.3.4. Richtlinie kommunale Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekte v. 01.01.16, HMUKLV 58

6.3.5. Verkehrsinfrastrukturförderung (VIF) für Straße und Schienen, Hessen Mobil 59
6.3.6. Zusammenfassung aller Förderprogramme und Bewertung 59
7. Handlungsempfehlungen 61
7.1. Nachrüstung von Dieselbussen mit neuer Abgastechnik.....61
7.2. Einsatz von Batteriebussen in Marburg, Linie 3 62
7.3. Neubeschaffung von Fahrzeugen im ÖPNV 63
7.4. Vorschlag zur Erneuerung der Omnibus-Flotte von 2020 bis 2030.....63
7.5. Neubeschaffung von Nutzfahrzeugen 66
7.6. Ausbau der Ladeinfrastruktur im Bedienungsgebiet der Stadtwerke Unternehmensgruppe 68
8. Fazit 68
9. Abkürzungen 70
Literaturverzeichnis 71
Verzeichnis Quellen Förderprogramme 77
Tabellenverzeichnis.....79
Abbildungsverzeichnis.....80

1. Arbeitsauftrag der Konzern-Geschäftsführung der Stadtwerke Marburg GmbH

Seit der Veröffentlichung des Skandals um die Einhaltung von Schadstoffvorgaben bei Dieselfahrzeugen ist diese Antriebstechnik, die bislang aufgrund ihres spezifisch geringeren CO_2-Ausstoßes als klimaschonend galt, in die Kritik geraten. Im PKW-Bereich werden bei Tests während der Fahrt die erlaubten Grenzwerte hinsichtlich der NO_X-Werte erheblich überschritten. Die Messstationen in vielen Städten, u. a. auch die in der Marburger Innenstadt, weisen Überschreitungen der Grenzwerte aus. Aus diesem Grund hat die Universitätsstadt Marburg 2016 eine Umweltzone eingerichtet.

Die Beschaffung von Neufahrzeugen für den ÖPNV und Nutzfahrzeugen im Bereich der Ver- und Entsorgung innerhalb der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg stellt für die nahe Zukunft eine wichtige Aufgabe dar. Dazu gehört der Aufbau von Ladeinfrastruktursystemen für PKW und Elektrofahrräder innerhalb des Bedienungsbereiches der Unternehmensgruppe.

Die Arbeitsgruppe Mobilität 2020 ist beauftragt worden, eine Konzeption für die Fahrzeugbeschaffung in den Jahren bis 2030 zu erarbeiten. Im Vordergrund des Arbeitsauftrages steht die Verminderung oder Vermeidung von gesundheits- und klimaschädlichen Abgasen, die durch die aktuell angewandte Technologie in den Motoren entstehen. Dabei wird auch die Nutzung von fossilen und erneuerbaren Energien berücksichtigt.

Die Beschaffungsstrategie soll dabei kurzfristig – auch mit Hilfe von Brückentechnologien – das Ziel haben, die Stickoxid-Belastungen der Marburger Innenstadt zu senken. Die Zusammensetzung und die Beschaffungsstrategie einer neuen Omnibus- und Nutzfahrzeugflotte für die Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg ist unter ökologischen Gesichtspunkten zu erarbeiten. Einhergehend mit den ökologischen, müssen auch die ökonomischen Rahmenbedingungen sowie weitere Effekte für die Infrastruktur berücksichtigt werden. Dabei sollen alle verfügbaren Fördermaßnahmen der EU, des Bundes und des Landes Hessen abgefragt werden.

In der zu erarbeitenden Handlungsempfehlung werden die Erkenntnisse aus dem Entwurf der Studie zu den Einsatzmöglichkeiten eines HO-Busses in Marburg, die Machbarkeitsstudie für die UniTram in Marburg, die Nutzen-Kosten-Untersuchung zu dieser Machbarkeitsstudie und, soweit mit Abschluss des Berichtes bereits vorhanden, auch die Studie zum Vergleich von HO-Bus, Wasserstoffbus und Elektrobus berücksichtigt.

Der Bericht nutzt ausschließlich den Verfassern zugängliche Quellen und Literatur, bzw. eigene Erkenntnisse aus dem Betriebsgeschehen und den Betriebsdokumenten der Stadtwerke Marburg. Zur Erweiterung der eigenen Wissensbasis werden mit ausgewählten Experten von Verkehrsbetrieben, Herstellern und Wissenschaftlern Gespräche geführt.

2. Busse und Nutzfahrzeuge der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg

2.1. Aktuell eingesetzte Fahrzeuge im ÖPNV der Universitätsstadt Marburg

Im Geschäftsjahr 2018 werden durch die Stadtwerke Marburg für die Personenbeförderung im Linienverkehr die folgenden Fahrzeuggattungen eingesetzt:

- Kleinbus: Einsatz im Bedarfsverkehr des Anruf-Sammeltaxis und bei Personalwechseln
- Midibus: Einsatz im Linienverkehr auf Straßen mit Tonnage- und Querschnittseinschränkungen
- Solobus: Einsatz im Linienverkehr mit normaler Verkehrsnachfrage
- Gelenkbus: Einsatz im Linienverkehr mit hoher Verkehrsnachfrage
- Anhängerzug*): Einsatz im Linienverkehr mit sehr hoher Verkehrsnachfrage und im Schülerverkehr

*)Solobus mit Anhänger

Fahrzeuggattung:	Anzahl
Kleinbus	8
Midibus	5
Solobus*)	32
Gelenkbus	37
Anhängerzug	2
*)inklusive Fahrradbus	

Tabelle 1: Fahrzeuggattungen des Verkehrsbetriebs der SWMR

Quelle: Eigene Daten, Stand 07.07.2018

Aktuell werden ausschließlich Fahrzeuge mit Diesel- oder Erdgasantrieb eingesetzt. Der Versuch, Kleinbusse mit Bio-Ethanol zu betreiben, ist aufgrund der Anfälligkeit der Technik des Fahrzeuges gescheitert. Der Betrieb mit Biodiesel (Rapsöl) ist aufgrund der Geruchsbelastung und der Gesamt-Klimawirkung von Biodiesel nicht in Erwägung weiter gezogen worden.

Fahrzeuggattung	Antriebsart	Schadstoffklasse	Anzahl
Solobus	Diesel	Euro III	3
Gelenkbus	Diesel	Euro III	8
Kleinbus	Diesel	Euro IV	2
Solobus	Diesel	Euro IV	2
Gelenkbus	Diesel	Euro IV	2
Kleinbus	Diesel	Euro V	5
Solobus	Diesel	Euro V	1
Gelenkbus	Diesel	Euro V	4
Kleinbus	Diesel	Euro VI	1
Midibus	Diesel	Euro VI	1
Solobus	Diesel	Euro VI	1
Gelenkbus	Diesel	Euro VI	8
Anhängerzug:	Diesel	Euro VI	2
Midibus	CNG	Euro V	4
Solobus	CNG	Euro V	13
Gelenkbus	CNG	Euro V	15
Solobus	CNG	Euro VI	12

Tabelle 2: Fahrzeuge nach Schadstoffklassen

Quelle: eigene Daten, Stand: 07.07.2018

2.2. Aktuell eingesetzte Nutzfahrzeuge und PKWs der Stadtwerke Marburg

In der Unternehmensgruppe Stadtwerke Marburg wird aufgrund der verschiedenen Aufgaben innerhalb der Sparten und der Unternehmenstöchter eine Vielzahl von unterschiedlichen Fahrzeugen eingesetzt.

In der folgenden Tabelle sind nach dem Stand der aktuellen Fahrzeugliste der Stadtwerke Marburg alle Fahrzeuge aufgenommen, die innerhalb der Unternehmensgruppe zum Einsatz kommen. Ausgenommen sind Arbeitsmaschinen, wie z.B. Radlader, die im normalen Straßenverkehr nur selten oder nicht zum Einsatz kommen sowie Anhänger aller Art.

Fahrzeugart	Antriebsart	Euro Norm	Anzahl
Klein-LKW, 2,8 t	Benzin/CNG	4	7
Klein-LKW, 2,8 t	Benzin/CNG	5	5
Klein-LKW, 2,8 t	Diesel	2	5
Klein-LKW, 2,8 t	Diesel	3	2
Klein-LKW, 2,8 t	Diesel	4	3
Klein-LKW, 2,8 t	Diesel	5	9
Klein-LKW, 2,8 t	Diesel	6	6
Klein-LKW, 3,5 t	Diesel	III	1
LKW, 7,5 t	Diesel	I	1
LKW, 7,5 t	Diesel	EEV1	1
LKW, 7,5 t	Diesel	VI	1
LKW, über 7,5 t	Diesel	I	2
LKW, über 7,5 t	Diesel	II	1

Fahrzeugart	Antriebsart	Euro Norm	Anzahl
LKW, über 7,5 t	Diesel	III	4
LKW, über 7,5 t	Diesel	IV	2
LKW, über 7,5 t	Diesel	V	12
LKW, über 7,5 t	Diesel	VI	9
LKW, über 7,5 t	Diesel	EEV 1	3
PKW	Benzin	3	2
PKW	Benzin	6	1
PKW	Benzin/CNG	3	1
PKW	Benzin/CNG	4	5
PKW	Benzin/CNG	5	10
PKW	Diesel	5	7
PKW	Diesel	6	5
PKW	Strom		7

Tabelle 3: Nutzfahrzeuge und PKW nach Schadstoffklassen

Quelle: eigene Daten, Stand: 07.07.2018

In der Tabelle fällt insbesondere auf, dass im Bereich der Nutzfahrzeuge eine hohe Anzahl von Fahrzeugen vorhanden ist, die lediglich der Euro Norm 4 oder sogar geringer entsprechen.

2.3. Schadstoffausstoß der bis 2019 voraussichtlich eingesetzten Busse

Die eingesetzten Fahrzeuge emittieren je nach vorhandener Schadstoffklasse unterschiedliche Mengen von Schadstoffen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird der in der Literatur (Umweltbundesamt, 2015) genannte, durchschnittlichen Ausstoß von Schadstoffen auf die Laborwerte normiert, obwohl die tatsächlichen Werte höher sind. Diese Werte werden allerdings erst ab der Schadstoffklasse Euro IV im Betrieb („in-motion“) gemessen.

Antriebsart	Schadstoffklasse	NO_X/g/kWh
Diesel	Euro III	5
Diesel	Euro IV	3,5
Diesel	Euro V	2
Diesel	Euro VI	0,46
Diesel	EEV	2
CNG	Euro III	2
CNG	Euro IV	2
CNG	Euro V	2
CNG	Euro VI	0,46
CNG	EEV	0,46

Tabelle 4: Vergleichender Schadstoffausstoß Diesel und CNG

Aus der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, der Schadstoffklasse und dem Energieverbrauch der einzelnen Fahrzeuge in kWh ergibt sich der theoretische Ausstoß von NO_X in kg pro Jahr.

Fahrzeuggattung	Antriebsart	Schadstoffklasse	Anzahl	NO_X-Ausstoß in kg/a
Solobus	Diesel	EURO III	3	3.620
Gelenkbus	Diesel	EURO III	8	10.100
Kleinbus	Diesel	EURO 4	2	10
Solobus	Diesel	EURO IV	2	1.870
Gelenkbus	Diesel	EURO IV	2	1.920
Kleinbus	Diesel	EURO 5	5	7
Solobus	Diesel	EURO V	1	410
Gelenkbus	Diesel	EURO V	4	2.430
Kleinbus	Diesel	EURO 6	1	3
Midibus	Diesel	EURO VI	1	20
Solobus	Diesel	EURO VI	1	110
Gelenkbus	Diesel	EURO VI	8	1.240
Anhängerzug	Diesel	EURO VI	2	230
Midibus	CNG	EURO V	4	1.650
Solobus	CNG	EURO V	13	8.150
Gelenkbus	CNG	EURO V	15	11.580
Solobus	CNG	EURO VI	12	1.510
		Summe:		**44.860**

Tabelle 5: Theoretischer Schadstoffausstoß ÖPNV-Flotte SWMR, Stand 25.07.2018

2.4. Die aktuellen Antriebstechniken für Omnibusse

2.4.1. Diesel

Omnibusse mit Dieselantrieb werden schon sehr lange eingesetzt und haben eine hohe Reichweite, verbunden mit einer sehr hohen Verfügbarkeit, erreicht. Das Problem des Dieselmotors ist, dass aufgrund des eingesetzten Kraftstoffs und des hohen Luftüberschusses beim Verbrennungsvorgang erhebliche Mengen an NO_X entstehen, die im Abgasstrang oder mittels Motormanagement reduziert werden müssen.

Die neuen Dieselbusse der Euro VI-Norm (seit dem 23.01.2012) unterliegen dem bislang umfangreichsten Regelwerk (EU 64/2012) der EU zur Reduzierung von Schadstoffemissionen im Nutzfahrzeugbereich.

Mit den dabei eingesetzten technischen Komponenten, angefangen mit der Common Rail Technologie und der Abgasrückführung (AGR) und dem sich anschließenden **C**ontinuous-**R**egenerating-**T**rap-System (CRT) mit Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter (DPF) bis hin zur selektiven katalytischen Reduktion (kurz SCR mit AdBlue®) werden die Abgasemissionen von Dieselbussen auf die derzeit maximal geforderte Reduzierung von Luftschadstoffen gebracht (Esch, 2016).

Die Stickoxid- und Partikelemissionen liegen gegenüber der vorangegangen Euro V-Norm 80 % bzw. 66 % niedriger. Im realen Testbetrieb bei den Gießener Verkehrsbetrieben wurde im Vergleich zum Euro V sogar eine NO_X-Reduzierung von über 90% festgestellt (Pütz, 2016).

Mit der neuen Euro VI-Norm Stufe „C“ verschärft sich die **O**n-**B**oard-**D**iagnose (OBD-C) seit dem 01.09.2017 (MAN Truck & Bus, 2016). Diese verfügt gegenüber der davor verpflichtend geltenden Abgasemissionsstufe Euro VI OBD-A über erhöhte Anforderungen und neue, niedrigere Typprüfwerte. Die für schwere Nutzfahrzeuge geltende Abgasemissionsstufe Euro VI unterscheidet sich von der Stufe Euro 6 für PKW hinsichtlich der einzuhaltenden Grenzwerte und der Messmethodik deutlich und wird über eine separate Vorschrift geregelt (Europäische Union, 2012).

Der Fachpresse ist zu entnehmen, dass der Gesetzgeber mit der ab 2018 erforderlichen CO_2-Deklaration weiter Druck auf die Hersteller ausübt; im Herbst 2019 soll die Euro VI d-Norm kommen und soll einer weiteren Reduktion von Schadstoffen führen.

Ziel ist u. a., den abnehmenden Wirkungsgrad alternder SCR-Systeme durch mehr Kontrollen der ausgelesenen Daten auszuschließen. Mit OBD-C werden Grenzwerte in einem neuen Fahrzyklus im Realbetrieb gemessen, die beim Hersteller MAN nachweislich zu weiteren Stickstoffoxidreduzierungen führen (Hildebrand, 2016). Die geforderte Stickoxidreduzierung eines Dieselbusses der Euro VI c Norm entspricht in etwa der Größenordnung aller fünf vorangegangenen Schritte zusammen. Während die PKW-Branche allein über Softwarelösungen nachdenkt, um Schadstoffemissionen zu reduzieren, übernimmt der Nutzfahrzeugsektor eine Vorreiterrolle bei funktionierenden Abgasbehandlungssystemen. Das Institut Belicon der Hochschule Landshut belegt, dass die Partikel- und Stickstoffreduzierungen der Euro VI-Linienbusse einem Quantensprung im Vergleich zur Vorgängerstufe Euro V / EEV entsprechen (Pütz, 2016).

Der Dieselbus der Euro VI c Norm erfüllt die gesetzlich einzuhaltenden Grenzwerte bei den Schadstoffemissionen im Realbetrieb. Er ist variabel einsetzbar, technisch ausgereift und wird nach Ansicht von Fachleuten aus der Nutzwagenbranche noch über Jahre hin als Interimslösung betrachtet.

Ältere Fahrzeuge mit Dieselantrieb der Schadstoffklassen Euro Norm III, IV, V und EEV bieten teilweise die Möglichkeit, durch Einbau von Abgas-Nachrüstsystemen die Euro Norm VI zu erfüllen.

Mit dem Diesel-Oxidationskatalysator (DOC) am Beginn der Abgasbehandlung wird das giftige Stickstoffmonoxid teilweise zu Stickstoffdioxid oxidiert, dadurch wird die Reaktionsgeschwindigkeit im übernächsten Schritt mit Hilfe der selektiven katalytischen Reduktion (SCR) beschleunigt. Mit dem Stickstoffdioxid werden zunächst im Dieselpartikelfilter (DPF) die Rußpartikel in Kohlendioxid umgewandelt.

2.4.2. Erdgas / Biogas / Flüssiggas

Aktuell werden mehr als 50 % der im Stadtbusverkehr in Marburg eingesetzten Fahrzeuge mit **Erdgas** aus fossilen Quellen betrieben. Für diese Antriebsart ist sowohl in der Werkstatt als auch in Form einer leistungsfähigen Tankstelle die erforderliche Infrastruktur vorhanden. Die bisher ca. 10-jährigen Erfahrungen mit dem Erdgasantrieb zeigen, dass es sich dabei um eine erprobte, leistungsfähige und umweltfreundliche Alternative zum konventionellen Dieselantrieb handelt.

Zurzeit werden die Fahrzeuge der Stadtwerke Marburg mit dem sogenannten L-Gas versorgt, das einen geringeren Methan-Gehalt, als das andernorts verfügbare H-Gas hat. Eine Umstellung ist vonseiten der Stadtwerke in 2019 beabsichtigt und würde hinsichtlich der Reichweite und des Gewichts der Fahrzeuge Vorteile bringen.

Die vorhandenen Erfahrungen und die Infrastruktur können auch bei der Umstellung der Flotte auf erneuerbares Biogas genutzt werden. Diese neue Treibstoffquelle erfordert den Aufbau einer Biogas-Anlage mit Aufbereitung für einen hohen Methan-Anteil. Die Berliner Stadtreinigung hat eine solche Anlage als Zwischenlösung aufgebaut. Von EvoBus ist ein Fahrzeug zu Erprobungszwecken geliefert worden und fährt bereits erfolgreich. Weitere Fahrzeuge von unterschiedlichen Lieferanten sollen folgen. Die Fahrzeuge werden im Linienbetrieb im Vergleich zu Euro VI-Norm Dieselfahrzeugen eingesetzt, mit dem Ergebnis, dass der Schadstoffausstoß der Biogas-Fahrzeuge gegenüber den Dieselfahrzeugen günstiger ist. Die Zusatzkosten für diese Fahrzeuge belaufen sich auf ca. 30.000 €. Das Biogas soll CO_2-neutral aus Klärschlamm hergestellt werden (Kurpjuweit, 2017).

Im PKW-Sektor wird aktuell **Flüssiggas** (LPG) durchaus erfolgreich eingesetzt. LPG ist ein Abfallprodukt bei der Raffinierung von Erdöl. Eine Anwendung in großen Nutzfahrzeugen wie Omnibussen ist in Deutschland nicht bekannt und wird daher nicht weiterverfolgt.

2.4.3. Antrieb mit Bio-Ethanol

Die Stadtwerke Marburg haben bis 2015 eine Bio-Ethanol-Tankstelle betrieben. Für Testzwecke wurde ein Kleinbus beschafft, der bivalent mit Benzin oder Bio-Ethanol betrieben werden konnte. Der Versuch wurde 2015 eingestellt, die Antriebstechnologie wird von Seiten der Stadtwerke nicht weiter verfolgt.

Nennenswerte Einsätze von Ethanol-Fahrzeugen für den ÖPNV sind aus Schweden und Brasilien bekannt. Die ökologische Problematik dieses Antriebssystems ist ähnlich einzuordnen wie die des Einsatzes von Bio-Rapsöl. In Deutschland sind keine Versuche mit Ethanol betriebenen Omnibussen bekannt.

2.4.4. Wasserstoff

Wasserstoff (H_2) gilt als Kraftstoff der Zukunft; nicht nur wegen der mittelfristig versiegenden Ölquellen. In den Umweltzonen der Städte wäre der schadstoffarme Antrieb eine Alternative zum herkömmlichen Diesel. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht lediglich Wasserdampf: die Stickstoffdioxid- und Partikelemissionen liegen weit unter den EU-Normen. Das klimaschädliche CO_2 entsteht nicht.

Wasserstoff kann durch Verbrennung in einem Otto-Motor in mechanische Energie umgewandelt werden. Dieses System ist vergleichbar mit den in Marburg eingesetzten Erdgasbussen. Der Wasserstoff wird wie beim Erdgasbus in Hockdruckflaschen gespeichert. (Sousa, 2018)

Der Omnibushersteller MAN führte 2007 in Berlin einen Feldversuch mit 14 Bussen durch. Dieser verlief jedoch nicht problemlos, da die Fahrzeuge noch nicht sehr zuverlässig waren. Daher wurde das vom BMVI mitfinanzierte Projekt, das auch den Bau von Wasserstofftankstellen beinhaltete, 2009 eingestellt. Die Stadtwerke Marburg haben nach einem werksseitigen Umbau auf Erdgas 10 der 14 Fahrzeuge erworben.

Nach dem Scheitern des Projekts und der darauf folgenden Orientierung auf Elektro- und Brennstoffzellentechnologie beschäftigt sich seit 2015 das Start-up-Unternehmen Keyou in München wieder intensiver mit dem Wasserstoffverbrennungsmotor (Köhler, 2017). Das wissenschaftlich ausgerichtete Unternehmen will konventionelle Dieselmotoren ohne großen Änderungsaufwand am Basismotor insbesondere im Bus- und LKW-Bereich zu emissionsfreien H_2-Motoren umrüsten. Aufwand und Kosten für die Umrüstung sollen mit denen für Erdgasfahrzeuge vergleichbar sein. Das Prinzip beruht auf effizienter Einblasung, Abgasrückführung, Turboaufladung und einer patentierten H_2-SCR-Katalysator-Technik. Aus der Abgasanlage des Motors strömt nur unschädlicher Wasserdampf. Keyou veranschlagt für einen wasserstoffbetriebenen Bus 20 % Mehrkosten für ein Neufahrzeug gegenüber einem dieselbetriebenen Bus. 2018 sollen die ersten Omnibusse erprobt werden.

2.4.5. Hybridantrieb

Zwischen dem Antrieb mit Verbrennungsmotoren und dem vollelektrischen Antrieb steht der Hybridantrieb für Omnibusse. Dabei gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Techniken, die die elektrische Energie für den Antrieb bereitstellen. Der Hybrid-Oberleitungsbus (HO-Bus) wird im Kapitel 2.4.12 beschrieben.

Omnibusse mit **seriellem** Hybridantrieb sind elektrifizierte Fahrzeuge, bei denen ein Diesel-, ein CNG-Motor oder eine Brennstoffzelle den Fahrstrom für den elektrischen Antrieb bereitstellen. Der Strom treibt bei Bussen meist Radnabenmotoren an, die in Portalachsen integriert sind. Für den Antrieb oder Hilfsaggregate nicht benötigte Energie wird in Batterien (hier sind leistungsfähige Stromspeicher gemeint) oder anderen Zwischenspeichern, wie z.B. leistungsstarken Kondensatoren (Ultracaps oder Supercaps), gespeichert. Darauf greift das Antriebssystem zurück, wenn der Energieaufwand am größten ist, insbesondere bei den Beschleunigungsvorgängen beim Anfahren an Haltestellen.

Der Bushersteller VanHool bietet als einer der wenigen Unternehmen einen seriellen Hybridantrieb an. Die in den Fahrzeugen eingebauten Ultracaps decken den kurzzeitigen Leistungsbedarf in den Spitzen ab und können beim Bremsen elektrische Energie, ähnlich der bewährten Straßenbahntechnik, zwischenspeichern (Rekuperation).

Die Hamburger Hochbahn AG testete zwischen 2011 bis 2013 fünf 18-Meter Hybridbusse von EvoBus (Hochbahn, 2018). Nach deren Angaben konnten die Busse bis zu 13 Kilometer rein elektrisch fahren; der Dieselverbrauch dieser ersten Generation von Hybridbussen lag um 13 % unter dem von konventionellen Dieselbussen. Diese Fahrzeuge fuhren pro Jahr ca. 48 Tsd. Kilometer (BMVI, 2018), dies entspricht der durchschnittlichen Jahresverkehrsleistung eines Busses in Marburg. Dabei konnte eine 70 %-ige Verfügbarkeit erreicht werden.

Bei **parallelen** Hybridantrieben werden die Fahrzeuge von einem Verbrennungsmotor angetrieben, der, wenn viel Leistung erforderlich ist, wie z.B. beim Anfahren oder Beschleunigen, durch einen Elektromotor unterstützt wird.

Der Hersteller Volvo baut in seinen 12 meter-Bus 7900EH einen 5-Liter-Euro VI-Motor ein, der gemeinsam mit dem Elektromotor als Parallelantrieb eingesetzt wird. Die auch als Plug-In-Hybridbusse bezeichneten Fahrzeuge sind darüber hinaus mit zwei Batterieladevorrichtungen ausgestattet:

- Gelegenheitsladung (Opportunity Charging) und
- automatische Schnellladung mittels Pantographen.

Hierbei erfolgt der Ladevorgang über Vorrichtungen auf dem Dach des Busses. Streckenabschnitte von bis zu 7 Kilometer können damit rein elektrisch bewältigt werden.

Volvo gibt eine Energieersparnis von bis zu 60 % gegenüber vergleichbaren Dieselbussen an. Ausschlaggebend dafür sind im Wesentlichen kleindimensionierte Motoren (Volvo Busse Deutschland GmbH, 2017).

Die zweite Generation der auf den Markt kommenden Hybridbusse weist einen seriellen Antrieb mit stärkeren Elektromotoren und größeren Batteriespeichersystemen

auf, um die ambitionierten Umweltweltstandards des BMUB zu erfüllen. Hybridbusse sollen eine Verbesserung beim Kraftstoffverbrauch um 20 % und Plug-In-Hybridbusse um 35 % gegenüber vergleichbaren konventionellen Dieselbussen erreichen und anspruchsvolle Standards bei Luftschadstoff- und Lärmemissionen einhalten.

Evobus wird 2018 ein neu entwickeltes Hybridbus-Stadtbusmodell auf den Markt bringen. Als Hauptantriebsaggregate sind Diesel- oder Erdgasmotoren vorgesehen. Zwischen Getriebe und Verbrennungsmotor wird ein Elektromotor als Generator zwischengeschaltet. Die bei jeder Bremsung gewonnene elektrische Energie wird in Kondensatoren (Supercaps) zwischengespeichert und steht beim Anfahren dem Fahrzeug zusätzlich zur Verfügung (NaNa, 2017). Diese Technik führt zu Kraftstoffeinsparungen von bis 8,5 % (Nahverkehrsnachrichten, 2018) gegenüber vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen. Die überschaubare und kostengünstige Technik (plus 10 Tsd. €) amortisiert sich bereits nach vier Jahren.

Die Wirkungsgrade der Verbrennungsmotoren sind bei seriellen und parallelen Hybridantrieben im Vergleich zu konventionellen Dieselantrieben wesentlich größer, da bei beiden durch Schub- und Bremsenergierückgewinnung (Rekuperation) Strom erzeugt wird.

Der Verkehrsbetrieb in Göttingen wird im Frühjahr 2018 auf zwei seiner Linien Plug-In-Hybridbusse einsetzen. Die drei neuen Busse sollen dabei 7 km auf den Linien durch die historische Altstadt rein elektrisch fahren, das entspricht ca. 70 % der Linienlänge. Der Fahrstrom wird bei der Fahrt mit einen kleinen Dieselmotor (Euro VI), der an einen Generator angeschlossen ist, erzeugt und in einer Batterie gespeichert. Bei rein elektrischem Betrieb wird die Batterie zunächst mit einer Übernachtladung auf dem Betriebshof und zwei Zwischenladungen mittels Pantographen an den jeweiligen Linienenden geladen (Göttinger Tageblatt, Riese, M., 2017). Die Göttinger Verkehrsbetriebe haben sich für den Plug-In-Bus entschieden, da diese Technik als ausgereift, zuverlässig und verfügbar betrachtet wird.

Die Mehrkosten des Plug-In-Hybridbusses gegenüber einem konventionellen Dieselbus liegen für einen 12 meter- bzw. 18-Meter-Bus bei ca. 150 Tsd. €.

Ein Brennstoffzellen-Hybridbus als Standardlinienbus (12 m) kostet rund 650 Tsd. € und ist damit dreimal so teuer wie ein konventioneller Dieselbus (Wirtz, 2018).

2.4.6. Elektrischer Antrieb

In Deutschland verkehren ca. 35.000 Linienbusse (VDV, 2017). 2017 waren bei deutschen Verkehrsunternehmen ca. 170 rein elektrisch fahrende Busse (im Weiteren genannt: E-Busse) im Einsatz (Arnold, H., 2018), davon werden 73 Oberleitungsbusse in Eberswalde, Solingen und Esslingen eingesetzt.

Aktuell werden in 45 deutschen Städten Omnibusse mit elektrischen Antrieben eingesetzt (Burmeister, 2017). Die meisten E-Busse verkehren derzeit in Hamburg (15) und Köln (10). In den übrigen Städten wird demnach überwiegend nur jeweils *ein* E-Bus eingesetzt.

Die zurzeit ehrgeizigsten Pläne verfolgt Wiesbaden; dort sollen in den kommenden Jahren 225 reine E-Busse beschafft werden. Es folgt Nürnberg mit 161 und Darmstadt mit 82 E-Bussen. Köln liegt in der Beschaffung mit 80 Fahrzeugen beinahe gleichauf, gefolgt von Hamburg (70) und Berlin (49). Die meisten alternativ angetriebenen Busse verkehren derzeit in Hamburg (60 Hybride und 15 reine E-Busse) und in Hannover (62 Hybride) (Arnold, H., 2018).

Hamburg und Berlin haben gemeinsam ein Lastenheft für E-Busse entwickelt und zuletzt mehr als 45 E-Busse europaweit ausgeschrieben. Die Ausschreibefrist musste verlängert werden, da nur ein potentieller Bushersteller ein Angebot abgegeben hat.

Die in der Fachpresse geübte Kritik an den beiden großen Busherstellern MAN und EvoBus, den E-Bus-Markt gänzlich verschlafen zu haben, relativiert sich, denn die zahlreichen E-Bushersteller aus den europäischen Nachbarländern können den Markt auch nicht im geforderten Maße bedienen. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Reichweite von batteriebetriebenen Fahrzeugen zu legen; Probleme mit den E-Bussen lassen sich in erster Linie an der nicht ausreichenden Reichweite festmachen.

2.4.7. Elektrische Antrieb mit Brennstoffzellen

In der Brennstoffzelle werden Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) chemisch kontrolliert zusammengeführt; dadurch entstehen Wärme, Wasserdampf und elektrischer Strom für Traktion und Nebenaggregate. Die Vorteile des Brennstoffzellenantriebes sind, dass keine lokalen Emissionen erzeugt werden und elektrisch betriebene Fahrzeuge sehr leise sind.

Für den Betrieb wird eine spezielle Wasserstofftankstelle benötigt, die in der Regel durch Tanklastwagen versorgt wird. Transport und Herstellung des Wasserstoffs belasten die CO_2-Bilanz des Systems.

Der Regionalverkehr Köln GmbH hat sich in einem Konsortium entschieden, 30 Brennstoffzellen-Hybridbusse inklusive der benötigten Wasserstofftankstelle in 2018 zu beschaffen (Wirtz, 2018). Bei einem angenommenen Preis der Tankstelle von circa 3 Mio. € belaufen sich dort die Kosten für Fahrzeuge und Infrastruktur auf mehr als 22 Mio. €.

Die aktuell am Markt befindlichen und die vorhandenen Brennstoffzellenbusse sind als Prototypen zu bezeichnen. Der hohe Instandhaltungsaufwand und die noch nicht befriedigende Verfügbarkeit dieser Fahrzeuge sind ein Beleg dafür. Künftig werden Kostensenkungspotentiale bei Brennstoffzellenfahrzeugen, vor allem durch die Reduktion der Produktionskosten für die Brennstoffzellen, erwartet. Voraussetzung für einen nennenswerten Marktanteil ist, dass die Brennstoffzellen eine höhere Lebensdauer erreichen (Pütz, et al., 2015). Eine signifikante Marktdurchdringung des Brennstoffzellenantriebs ist vom Preis, der Verfügbarkeit und Lebensdauer des Systems abhängig.

2.4.8. Oberleitungsbusse

Der Oberleitungsbus (O-Bus) ist die älteste elektrische Antriebsform bei Bussen. Als einer der ersten Omnibusbetriebe wurde die „gleislose Bahn“ in Bieletal in Sachsen 1891 eingerichtet (Krämer, 2017). Die Verknappung des Treibstoffs bereits vor dem zweiten Weltkrieg, führte dazu, dass sich der alternative Stromantrieb mittels Oberleitung in mehr als 70 deutschen Städten entwickelte. Der O-Bus hat bereits ab Ende der 1960er Jahre zu Gunsten des flexibler einzusetzenden Dieselbusses an Bedeutung verloren, was dazu führte, dass weltweit mehr als die Hälfte aller bis dahin eingeführten O-Bus-Systeme eingestellt wurden. In Marburg wurde der O-Bus 1968 eingestellt. Als letzte Verkehrsbetriebe in Deutschland haben Eberswalde, Solingen und Esslingen den O-Bus erhalten und weiterentwickelt.

Der klassische O-Bus oder Trolleybus wurde bereits vor ca. 130 Jahren entwickelt und stellt heute die ausgereifteste und stabilste Form des elektrischen Busantriebs dar.

Der Strom für Traktion und Nebenantriebe wird von einer Oberleitung mit zwei Stromabnehmerstangen auf dem Dach des Busses während der Fahrt eingespeist. Die Oberleitung ist an Masten befestigt und wird entweder einseitig, wenn der Platz für die Aufstellung von Masten nicht gegeben ist, mittels Ausleger oder zweiseitig

über der Fahrbahn gespannt**.** In dicht bebauten Gebieten können statt Masten aber auch Wandverankerungen an Gebäudefassaden genutzt werden.

Die zweipoligen Oberleitungen werden durch Gleichrichterunterwerke versorgt, die Gleichstrom mit einer Spannung zwischen 600 V und 750 V einspeisen. Die Unterwerke werden meist über das 10-kV-Mittelspannungsnetz versorgt.

Der O-Bus ist vergleichbar einer Straßenbahn, ohne jedoch vorgegebenen Gleisen folgen zu müssen. Bedingt durch die externe Ladeinfrastruktur ist der O-Bus an die mit einer Oberleitung ausgestatteten Linienwege gebunden. Demzufolge wurde in der Vergangenheit das Oberleitungsnetz, so wie es sich in Esslingen oder Solingen darstellt, mit den Betriebshöfen der Verkehrsbetriebe verknüpft. Nachteilig wirken sich Defekte oder umleitungsbedingte Fahrten ohne Oberleitung aus, mit der Folge, dass O-Busse abgeschleppt oder nicht mehr eingesetzt werden können.

Aufgrund der bis vor einigen Jahren noch nicht entwickelten Zwischenspeichersysteme haben sich die Verkehrsbetriebe mit kleineren, dieselbetriebenen Zusatzmotoren beholfen, um kurze und langsame Umsetzfahrten durchführen zu können (Stephan, et al., 2017).

2.4.9. Batterietechniken

Der überwiegende Teil der aktuell weltweit eingesetzten elektrischen Busse werden durch Batterien mit Strom für Traktion und Nebenaggregate betrieben. Sie sind der wichtigste Teil der Elektromobilität - im weiteren Text werden die Begriffe „Akkumulator“ und „Batterie“ synonym genutzt. Die eingesetzte Batteriechemie ist für deren Nutzungsbereich und für die Anforderungen, die an den Energiespeicher gestellt werden, wesentlich und muss daher detailliert erläutert werden.

Nach derzeitigem Stand der Entwicklung werden in elektrisch betriebenen Omnibussen überwiegend Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Diese sind leichter als die bis dahin überwiegend eingesetzten Nickelmetallhydrid- oder Bleiakkumulatoren.

Die Bezeichnung Lithium-Ionen-Batterie stellt lediglich den Oberbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Zellchemien dar (Sauer, 2017). Sowohl für die Anode als auch für die Kathode dieser Batterie stehen diverse Materialkombinationen (Abbildung 1) zur Auswahl.

Die wesentlichen Anforderungen an die Energiespeicher sind in Zukunft:

- höhere Energiedichten,
- höhere Reichweiten,

- geringere Batteriekosten,
- Verbesserung der Schnellladefähigkeit.

Lithium-Ionen-Batterien zeichnen sich mit einer hohen Energiedichte und einem relativ geringen Gewicht aus.

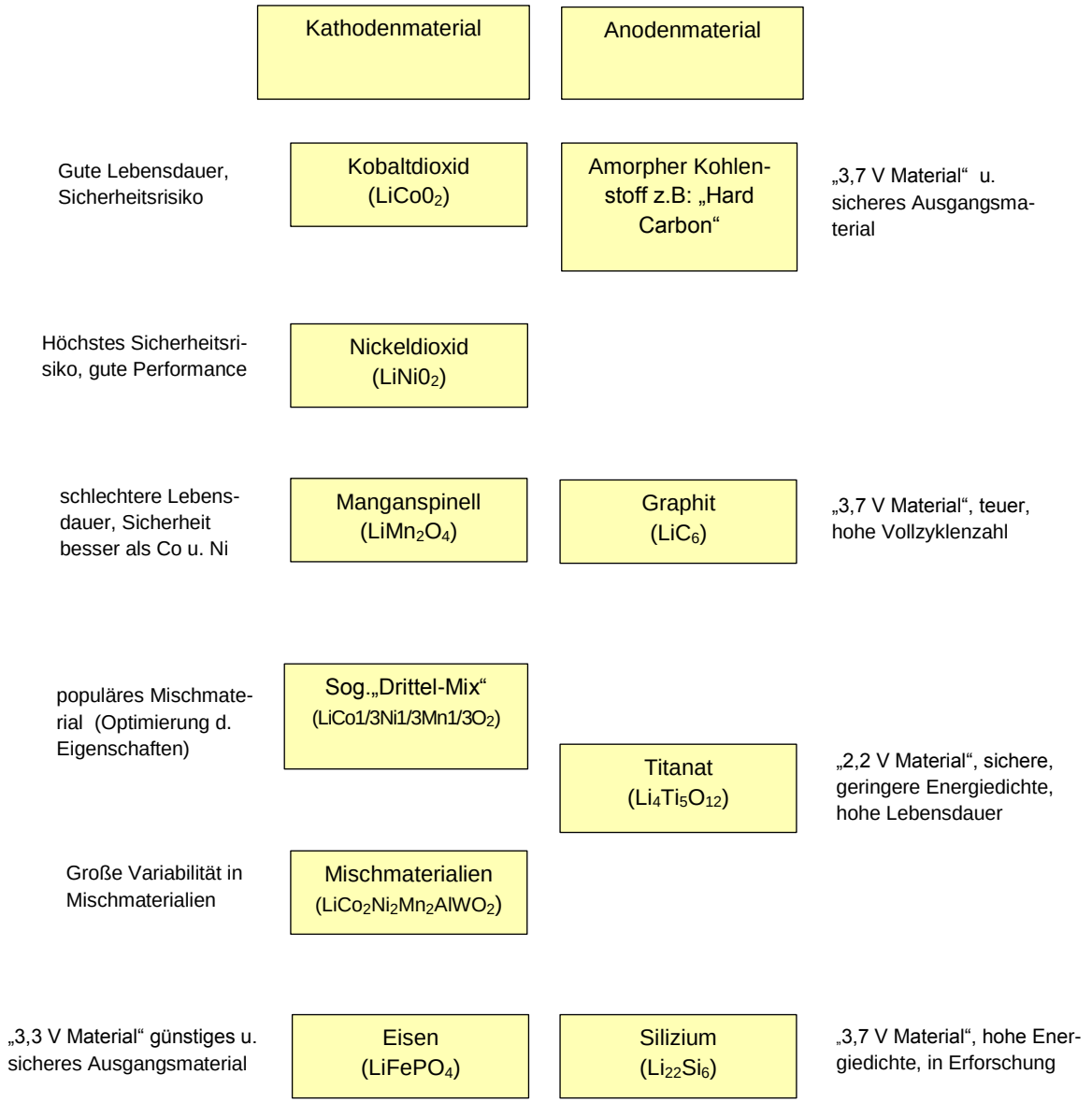


Abbildung 1: Auswahl von Materialkombinationen für Lithium-Ionen-Batterien

Die chemischen Verbindungen in den beiden Halbzellen einer Lithium-Ionen-Batterie werden durch Separatoren begrenzt, durch die sich die Lithium-Kationen während des Auf- und Entladens hin- und herbewegen. Die Leistungsfähigkeit einer Lithium-Ionen-Batterie wird durch die chemische Zusammensetzung der Elektroden und der nichtwässrigen Elektrolyten bestimmt. Die zumeist aus einer Lithium-Metalloxid-Verbindung bestehende Kathode fungiert während der Ladephase anodenseitig als Kationenspender.

Lithium-Ionen-Batterien oder lithiumbasierende Batterien finden in der automotiven Industrie mehr und mehr Verwendung. Metallisches Lithium ist ein sehr starkes Reduktionsmittel, es reduziert viele Stoffe, die mit anderen Reduktionsmitteln nicht reagieren. Nicht zu verwechseln sind die nicht wieder aufladbaren Lithium-Batterien mit den wieder aufladbaren Lithium-Ionen-Akkumulatoren, bei denen Lithiummetalloxide wie z.B. Lithium-Cobalt-Oxid als Kathodenmaterial und Graphit als Anodenmaterial dienen. Bei Hochleistungsbatterien wie der Lithium-Titanat-Batterie wird anstelle des Graphits Titanat anodenseitig verwendet, um kurzfristig größere Leistungen zu erreichen. Dieser Batterietyp weist eine geringere Energiedichte auf und findet deshalb derzeit überwiegend bei In-Motion-Charging-Systemen wie dem Hybrid-Oberleitungsbus Verwendung; er wird auch in der Machbarkeitsstudie für das HO-Bussystem für Marburg favorisiert.

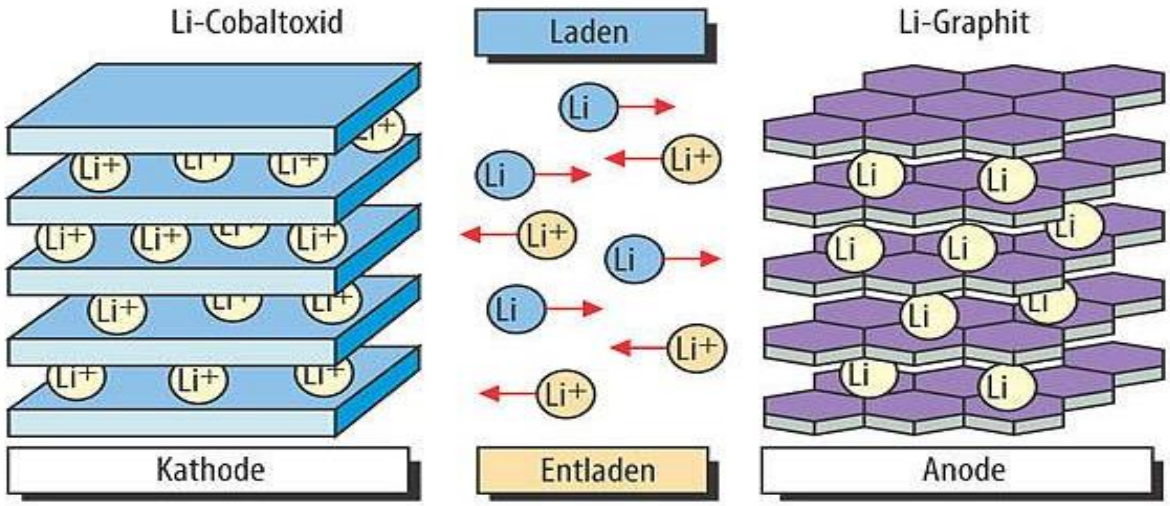


Abbildung 2: Funktionsschema Lithium-Ionen-Akkumulator

Die Funktionsweise einer Lithium-Ionen-Akkumulator (Abbildung 2) erfolgt über den Ladungsaustausch von Lithium-Ionen. Beim Entladen geben die Lithium-Ionen an der Anode ein Elektron ab, das über den externen Stromkreis zur Kathode fließt. Gleichzeitig wandern gleich viele Lithium-Ionen durch den Elektrolyten zur Kathode. Dabei treten die Elektronen hier nicht mit den Lithium-Ionen in Verbindung, sondern mit den Übergangsmetallverbindungen. Beim Laden kehrt sich der Vorgang um. Für das Laden von Lithium-Ionen-Batterien wird das IU-Verfahren (CCCV) genutzt. Geladen wird anfangs mit Konstant-Strom, danach bis zur Ladeschlussspannung nur noch mit einer Konstant-Spannung.

An die Lebensdauer der Batterien werden hohe Erwartungen gestellt. Dies stellt im privaten Elektrofahrzeugbereich wegen der verwendeten Hochleistungsbatterien mit geringeren Energiedichten kein Problem dar; bei E-Bussen wird dies jedoch als kritisch bewertet (Lunz, 2009).

Für den Einsatz in Nutzfahrzeugen ist die Zyklenlebensdauer wesentlich, deren Länge von der Beanspruchung der Leistungsfähigkeit durch Laden und Entladen bestimmt wird. Die Lebenserwartung des Energiespeichers wird neben der kalendarischen Alterung von einer kontinuierlichen Zunahme des Innenwiderstands nach mehreren Tausend Vollladezyklen und der sogenannten C-Rate bestimmt, die unabhängig vom fließenden Strom angibt, in welcher Zeit die Batterie entladen ist. 1C bedeutet, dass die Batterie in einer 1 Stunde komplett entladen werden kann.

Die Entladetiefe (DoD) in Prozent gibt die maximale Zahl an Vollzyklen an. Bei einer großen Entladetiefe sind weniger Vollzyklen realisierbar als bei einer geringeren. Die aufgenommene bzw. wieder abgegebene Energie wird nicht auf wenige Vollade- und Entladehübe sondern auf ein Vielfaches an Teillade- und Teilentladezyklen verteilt. So schafft die Batterie beispielsweise bei einer Ladetiefe von 20% drei Mal mehr Zyklen als bei 80 %. Kleine Ladehübe verlängern nicht die Batterielebensdauer, aber bei kleineren Hüben entsteht im Vergleich zu höheren Hüben eine geringere Erwärmung der Zellen. Je wärmer eine Batterie wird, desto schneller wachsen die Widerstände in ihren Zellen an (Plötz, 2018).

Die Energiespeicher sind für den Betrieb eines E-Busses nicht mehr einsetzbar, wenn sie über weniger als 80 Prozent der nominalen Kapazität des neuen Speichers verfügen oder der Innenwiderstand mehr als 200 Prozent von neuen Speichern aufweist (Bäker, 2018). Eine wesentliche Rolle für eine lange Leistungsfähigkeit von Batterien spielen intelligente Batteriemanagementsysteme, welche u. a. zu jeder Zeit die Spannungen der Einzelzellen in den Energiespeichern oder die Einhaltung der Betriebstemperaturen überwachen (Stephan, 2017).

Die Kosten für Energiespeicher variieren aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzungen zwischen ca. 600 € und ca. 2.000 € pro kWh. Tendenziell wird bis 2030 mit einer Halbierung der Preise gerechnet (Plötz, 2018).

Die gestellten Anforderungen an den Elektroantrieb sind im Vergleich mit dem Dieselantrieb heute noch nicht 1:1 umsetzbar. Die gute tägliche Verfügbarkeit, der flexible Einsatz, die vorhandene Betankungsinfrastruktur, die hohe Nutzungsdauer von mehr als 12 Jahren und die täglichen Reichweiten eines Dieselbusses stellen den Maßstab für den Einsatz von Elektrobussen sowohl an die Hersteller als auch an die Verkehrsbetriebe dar.

Bei einem Technologiewechsel zum E-Bus-Betrieb sind der Energiespeicher und die Art der Nachladeinfrastruktur wesentliche Eckpunkte, die die Einsatzfähigkeit des Systems bestimmen. Nicht außer Acht lassen sollte man dabei die Lebenszykluskosten (Life Cycle Cost – LCC) der Batterien. Ob sich die Kosten für die Batterien wirklich reduzieren oder ob in der Zukunft Kostensteigerungen zu erwarten sind, kann aus heutiger Sicht nicht beantwortet werden. Die zu erwartenden Quantensprünge

bei der Entwicklung der Batterietechnolgie in Bezug auf Energie- und Ladungsdichte scheinen in absehbarer Zeit nicht realisierbar.

Eine vergleichbar hohe Verfügbarkeit wie die eines Dieselbusses zeigt heute der Hybridoberleitungsbus. Insbesondere der direkte Antrieb der Traktionsachsen durch die Stromzuführung über die Abnehmerstangen an den Oberleitungen bei gleichzeitiger Aufladung der Traktionsbatterien ist gegenüber der Gelegenheitsladung oder der Übernachtladung im Vorteil.

2.4.10. Ladesysteme und Reichweiten

Folgende Ladetechniken kommen beim batteriebetriebenen E-Bus zur Anwendung:

- **Depot/Nachtladung (Overnight-Charging):** Dies ist die einfachste und günstigste Lösung. Die Fahrzeuge werden mit einem Ladekabel im Betriebshof für den folgenden Tag geladen.
- **Gelegenheitsladung (Opportunity-Charging):** Im Betrieb, zumeist an den Endhaltestellen, wird die Nachladung über einen Pantografen realisiert, der sich entweder als Ladebügel auf das Dach des Busses senkt oder ein Bügel hebt sich fahrzeugseitig in die Ladestation.
- **Induktivladung:** Die Induktivladung erfolgt kontaktlos über in die Straßendecke eingelassene Induktionsschleifen an den Haltestellen.

Exemplarisch wird der maximale Stromverbrauch pro Kilometer für einen 12 m – Bus berechnet:

Verbraucher:	Stromverbrauch
Fahrstrom	1,0 kWh/km
Kneeling/ Kompressor/ Türen etc	0,5 kWh/km
Klimaanlage/ Heizung	0,7 kWh/km
Gesamt (12m-Bus):	2,2 kWh/km

Tabelle 6: Maximaler Stromverbrauch/km 12 m-Bus

Diese Angaben stellen den maximalen Stromverbrauch dar und dienen der Abschätzung der Kapazität der einzubauenden Batterie und der Reichweite des Fahrzeuges. Unter optimalen Bedingungen werden Verbräuche von ca. 1,2 kWh/km für Solobusse angegeben (EMCEL, Corneille, M., 2018).

Verkehrsbetriebe tendieren zur kostengünstigen Variante **Depot-/Nachtladung**. Das Verkehrsunternehmen Rhön Energie Fulda hat zu Testzwecken einen Gelenkbus der Firma Sileo mit einer 600 kWh Batterie bestellt. Der Bushersteller geht auf seiner Homepage von einem Verbrauch pro Kilometer von lediglich 1,1 kWh bis 1,3 kWh aus. Demzufolge soll das Fahrzeug unter realen Bedingungen eine Reichweite von

bis zu 400 km erreichen (Sileo GmbH, 2018). Bei einem Gelenkbus ist nach Einschätzung von Gutachtern im realen Betrieb eher vom dreifachen Verbrauch (3 kWh/km) auszugehen. Die verfügbare Leistung liegt bei 450 kWh; d.h. bei einem realistischen Verbrauch für einen 18 m-Bus von 3 kW/km erzielt der Bus ohne Zwischenladung eine Reichweite von max. 150 km pro Tag.

Bei der **Gelegenheitsladung** werden die Fahrzeuge unterwegs, d.h. an Haltestellen oder auch an den Wendepunkten der Linien nachgeladen. Dies bedeutet, dass gegenüber der Depot-/ Nachtladung erheblich kleinere und leichtere Batterien eingebaut werden können. Bei Gelegenheitsladern sind auf der Strecke Nachladepunkte – in der Regel an den Endhaltestellen – vorzusehen. Außerdem ist im Depot für jedes Fahrzeug eine Ladestation vorzuhalten.

Abbildung 3: Gelenkbus als Gelegenheitslader bei den Verkehrsbetrieben Hamburg-Holstein

(Hinkelmann, 2018)

Die **Induktivladesysteme** von Primove, wie sie in Berlin und Braunschweig eingesetzt wurden, haben sich nach Presseberichten als wartungsintensiv, sehr anfällig und häufig defekt erwiesen (Kurpjuweit, 2017). Die von der BVG seit 2015 eingesetzten vier E-Busse (Solaris) auf der Linie 202 wurden mittlerweile stillgelegt, weil auch sie regelmäßig von diversen Defekten betroffen waren. Derzeit verkehrt nur ein E-Bus, der nachts auf dem Betriebshof geladen wird, im größten Verkehrsunternehmen Deutschlands. Auch der neu eingeschlagene Weg der Mannheimer Verkehrsbetriebe mit den zum Ende des Jahres ausgelieferten E-Bussen von Mercedes Benz / Evobus lässt vermuten, dass die Zusammenarbeit mit Bombardier / Primove beendet werden soll und damit der Versuch des induktiven Ladens in Mannheim auslaufen wird. Nach Einschätzung der Arbeitsgruppe sollte dieser Ansatz für die weiteren Überlegungen für Marburg nicht verfolgt werden.

2.4.11. Bewertung der Ladeinfrastruktur und der Ladetechnik

Die Reichweite eines Solo-E-Busses ist sowohl von der Batteriekapazität als auch von der Ladeinfrastruktur abhängig. Wird der Bus ausschließlich per Depot-/Nachtladung auf dem Betriebshof geladen und tagsüber im Linienbetrieb eingesetzt, sind für Reichweiten zwischen 120 km und max. 180 km Batteriekapazitäten von bis zu 320 kWh zu wählen. Technisch sind am Batterieausgang tatsächlich lediglich 245 kWh verfügbar. Die Batteriekapazität muss daher bei der Depot-/Nachtladung um ein Vielfaches größer gewählt werden, als bei der Gelegenheitsladung. Aufgrund des hohen Gewichts der Batterien ist deren Größe für E-Solobusse auf maximal ca. 320 kWh beschränkt. Größere Batterien schränken die Fahrgastzahl ein. Ziel eines Verkehrsbetriebes sollte jedoch nicht der Transport von möglichst großen Batterien, sondern die Beförderung von Fahrgästen sein. Am Beispiel eines Gelenkbusses wird deutlich, dass die Fahrzeuge aufgrund des genutzten Antriebskonzeptes erhebliche Unterschiede in der Beförderungskapazität aufweisen, die sich auch aufgrund der bisher absehbaren Entwicklung in der Batterietechnologie kaum ändern werden.

Antriebskonzept	**2018**	**2025**
HO-Bus	140	140
Gelegenheitsladung	126	136
Depotladung	77	101
Brennstoffzelle	k. A.	k. A.
Diesel/ Erdgas	140	140

Tabelle 7: Beförderungskapazität Gelenkbus (18 m) nach Antriebskonzepten

Quelle: (Pütz, et al., 2015)

Der in 2016 zum Test in Marburg eingesetzte E-Bus (Bombardier, Primove) aus Mannheim verfügte nur über eine 60 kWh Batterie und wurde für Gelegenheitsladungen konfiguriert. Bei einer nur 30 % verfügbaren Batteriekapazität wurden Reichweiten zwischen den Ladezyklen von bis zu 10 km erreicht.

Schnellladefähige Batterien von Bussen werden sehr häufig geladen. Da die Anzahl der Vollladezyklen, mit denen Batterien betrieben werden, begrenzt ist, und damit die Batterielebenszeit vorgibt, werden in der Praxis zur Schonung der Batterien kurze Ladezyklen mit kleineren Ladehüben bevorzugt.

Entscheidend für die Wahl der Ladeinfrastruktur für den reinen E-Bus-Betrieb ist, ob nachfrageschwache Linien, bei denen die Bedienfrequenz ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt bedient werden, oder nachfragestarke Linien, bei denen die hohe Beförderungskapazität (Passagiere je Stunde und Richtung) wesentlich ist. Bei letzteren ist neben dem gefahrenen Takt die Beförderungskapazität je Bus ausschlaggebend. Das Gewicht der Batterien beeinflusst erheblich die maximale Beför-

derungskapazität von Batteriebussen gegenüber erdgas- bzw. dieselbetriebenen Fahrzeugen.

Bei der Depot-/Nachtladung ist ein Mehrbedarf von Fahrzeugen dort zu erwarten, wo schon heute bereits die maximal möglichen Beförderungskapazitäten erreicht werden.

2.4.12. Machbarkeitsstudie von HO-Busverkehr am Beispiel von Marburg

Der ausschließlich elektrisch betriebene Hybrid-Oberleitungsbus (HO-Bus) besitzt ein Energiespeichersystem oder nutzt eine Brennstoffzelle als Range Extender (Sarmov, K. et. al., 2018). 2010 sammelte die Barnimer Verkehrsgesellschaft in Eberswalde die ersten Erfahrungen mit einem zusätzlichen Energiespeicher (Barnimer Busgesellschaft, 2010). Verkehrsunternehmen, die bereits eine bestehende Oberleitungsinfrastruktur nutzen, können ein HO-Bussystem relativ leicht implementieren.

Die Übertragung der Energie mit einer Oberleitung stellt die effizienteste Nutzung der elektrischen Energie dar. Die Übertragungsverluste sind dabei deutlich geringer als die Verluste, die bei der chemischen Umwandlung, wie z.B. bei der Speicherung in einer Batterie oder der Herstellung von Gasen durch Elektrolyse, anfallen (Schmitz, 2018).

Der Neuaufbau der Infrastruktur ist aufwändig, aber nicht unmöglich. Die südschwedische Stadt Landskrona führte 2003 nach 40-jähriger Unterbrechung den O-Bus wieder ein. Nach einer lediglich 6-monatigen Aufbauphase der ca. 3 Kilometer langen Oberleitungsstrecke konnte der Betrieb mit Oberleitungsbussen aufgenommen werden. Seit 2013 werden dort HO-Busse eingesetzt (Stadtverkehr Landskrona, o.j.). Auf die Frage, wie sich die Bevölkerung zu Beginn mit der Absicht zur Neueinführung eines Oberleitungsbusses verhalten haben, antwortet der technische Leiter von Tivector Traffic AB, P. Andersson (Andersson, 2017): „Die anfängliche Skepsis und zum Teil auch ablehnende Haltung gegenüber der Oberleitungsinfrastruktur hat sich nach Umsetzung umkehrt und viele stehen heute dem O-Bus positiv gegenüber“.

Mit der Fortentwicklung der Batterietechnologie erhält der O-Bus eine größere Flexibilität, baustellenbedingte Umleitungsverkehre lassen sich ebenso wie Ein- und Aussetzfahrten mittels Fahrstrom aus einer ausreichend dimensionierten Batterie emissionsfrei bewältigen. Je nach Auslegung der Batteriekapazität können HO-Busse zwischen 10 und 20 Kilometer ohne Fahrleitung fahren.

Die Solinger Verkehrsbetriebe ersetzen nach und nach die bis heute eingesetzten Diesel-Hybrid-Oberleitungsbusse gegen Batterie-Oberleitungsbusse, kurz „BOB“ genannt. Ziel ist es, den Busverkehr der Solinger Verkehrsbetriebe in Zukunft vollkom-

men auf elektrischen Anrieb umzustellen. Das Streckennetz in Solingen wird derzeit zu 50 % mit Oberleitung überspannt, künftig sollen die oberleitungsfreien Abschnitte ausschließlich von BOB bewältigt werden (Ben Zid, 2018).

Auch die Verkehrsbetriebe Biel in der Schweiz haben 10 HO-Busse gekauft. Die Fahrzeuge weisen statt der bisher in Bieler Trolleybussen eingebauten Hilfsdiesel eine Batterie zur Umfahrung von Baustellen auf. Das O-Busnetz in Biel umfasst zwei Linien, auf denen 20 Fahrzeuge zum Einsatz kommen (NaNa, 2018).

Während der Fahrt unter der Oberleitung werden sowohl die Radnabenmotoren angetrieben als auch die Batterie aufgeladen. Zusätzlich wird die Batterie auf der gesamten Strecke durch Rückspeisung der Bremsenergie (Rekuperation) geladen. Bis zu 24 % der aufgewendeten Bremsenergie können damit zurückgewonnen werden (Pandion, 2015). Ein weiterer Vorteil des HO-Busses ist, dass der Fahrdraht nicht überall aufgespannt sein muss. Die Fahrten durch städtebaulich sensible Straßenabschnitte können somit oberleitungsfrei bleiben. Gleichwohl ist zu beachten, dass hohe Anforderungen an die Beförderungskapazität den Spielraum für Größe und Gewicht der mitgeführten Batterien reduzieren.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat im November 2016 das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe beauftragt, eine Machbarkeitsstudie hinsichtlich der Einführung eines HO-Bus-Systems für Marburg und Trier zu erstellen. Ziele der Studie sind, die Machbarkeit eines HO-Bus-Systems generell zu analysieren und ein Bewertungsschema für technische Ausgestaltungsoptionen von HO-Bussen zu entwickeln und im Praxisfall anzuwenden.

Das Bewertungsschema soll hinreichend konkret sein, um zwei Fallstudien für Marburg und Trier zu bewerten und ausreichend abstrakt, um allgemeine Aussagen für die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) abzuleiten. Die Studie wird zu 100 % vom BMVI finanziert.

Die Linien 2 und 7 werden im Rahmen der Studie als geeignete Routen für Marburg betrachtet.

- Linie 2: Cappeler Gleiche - Südbahnhof – Wilhelmsplatz – Rudolphsplatz – Hauptbahnhof – Universitätsklinikum – Klinik Sonnenblick
- Linie 7: Hauptbahnhof – Rudolphsplatz – Wilhelmsplatz – Südbahnhof – Universitätsklinikum

Weitere, teilweise parallel verlaufende Linien könnten die Infrastruktur des HO-Bus-Projektes ebenfalls nutzen. In Marburg bilden Schwanallee, Universitätsstraße, Biegenstraße und Deutschhausstraße das Rückgrat und die Hauptachse des Liniennetzes für die überwiegende Zahl der Stadtbuslinien.

Im Hinblick auf eine spätere Ausdehnung eines HO-Busbetriebs ist dieser Strecke eine große Bedeutung beizumessen, um die Wirtschaftlichkeit des Systems zu erhöhen. Wirtschaftlich sinnvoll ist ein HO-Busbetrieb auf hochausgelasteten Linien mit engen Takten.

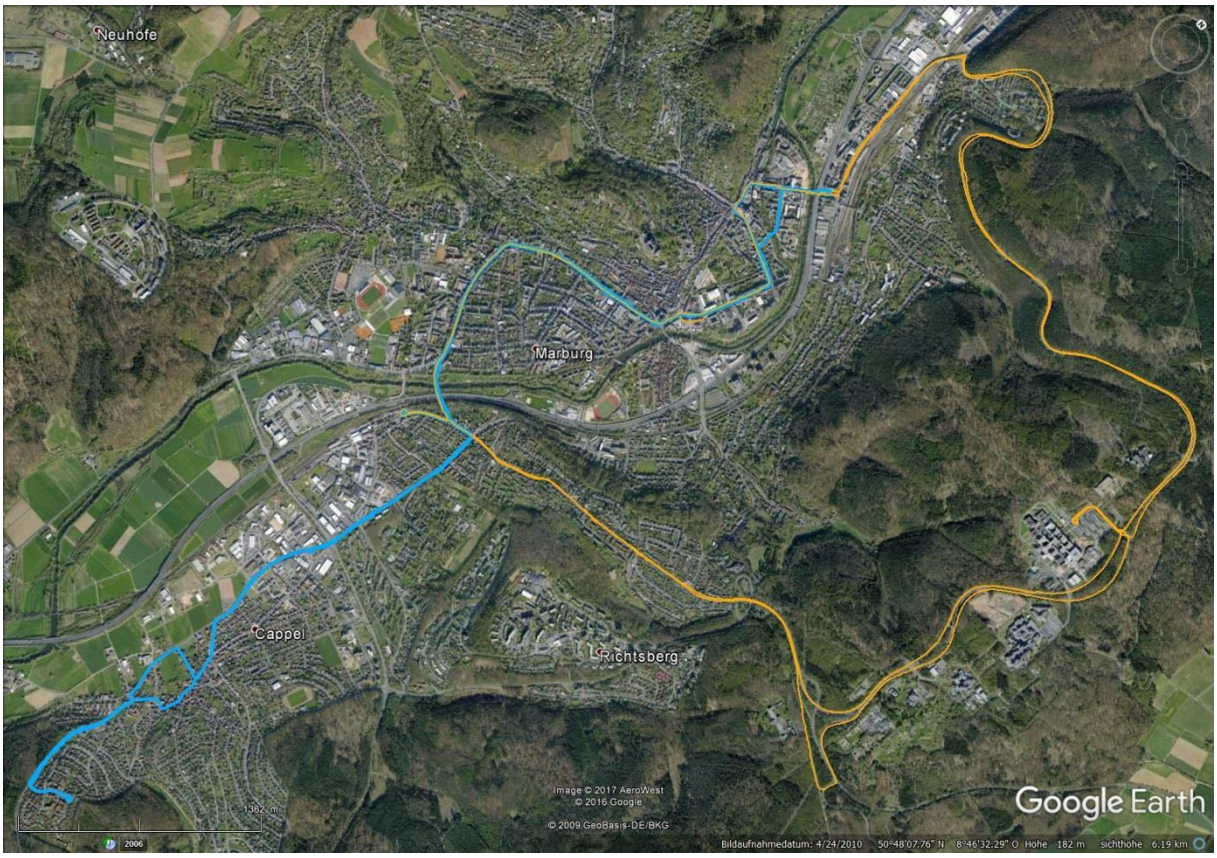


Abbildung 4: Streckenverlauf der Linien 2 und 7 (FPL 2017) **(Plötz, 2018)**

Für den Betrieb des Systems sind auf den Strecken der Linien 2 und 7 unterschiedlich lange Oberleitungsabschnitte vorgesehen. Auf der Südanfahrt sind drei Teilstrecken erforderlich, die als Ladeinfrastruktur für die Fahrzeuge dient, der größte Teil wird zweispurig überspannt.

Von	Nach	Länge	Charakter	Topografie	Ladeleistung
Ginseldorfer Weg	Klinikum (Abzw.)	4.256 m	einspurig	Bergstrecke	50 kW
Südbahnhof	Kantstraße	1.326 m	zweispurig	Bergstrecke	70 kW
Hölderlinstraße	Botanischer Garten	1.596 m	einspurig	Bergstrecke	50 kW
Hauptbahnhof	Ginseldorfer Weg	1.298 m	zweispurig	Innenstadt	79 kW
Gutenbergstraße	Südbahnhof	2.122 m	zweispurig	Innenstadt	79 kW
Oberleitungsstrecke gesamt:		**10.598 m**			

Tabelle 8: Vorgesehene Oberleitungsabschnitte in Marburg **(Plötz, 2018)**

Auf der Nordanfahrt ist geplant, die Strecke zwischen den Haltestellen „Hauptbahnhof“ und „Universitätsklinikum“ mit einer Oberleitung zu überspannen. In der Bergstrecke ist die Oberleitung nur einspurig für die Bergfahrt vorgesehen, um bei der

Talfahrt die Rekuperation nutzen zu können. In den anderen Streckenabschnitten ist die Oberleitung für beide Fahrtrichtungen vorgesehen.

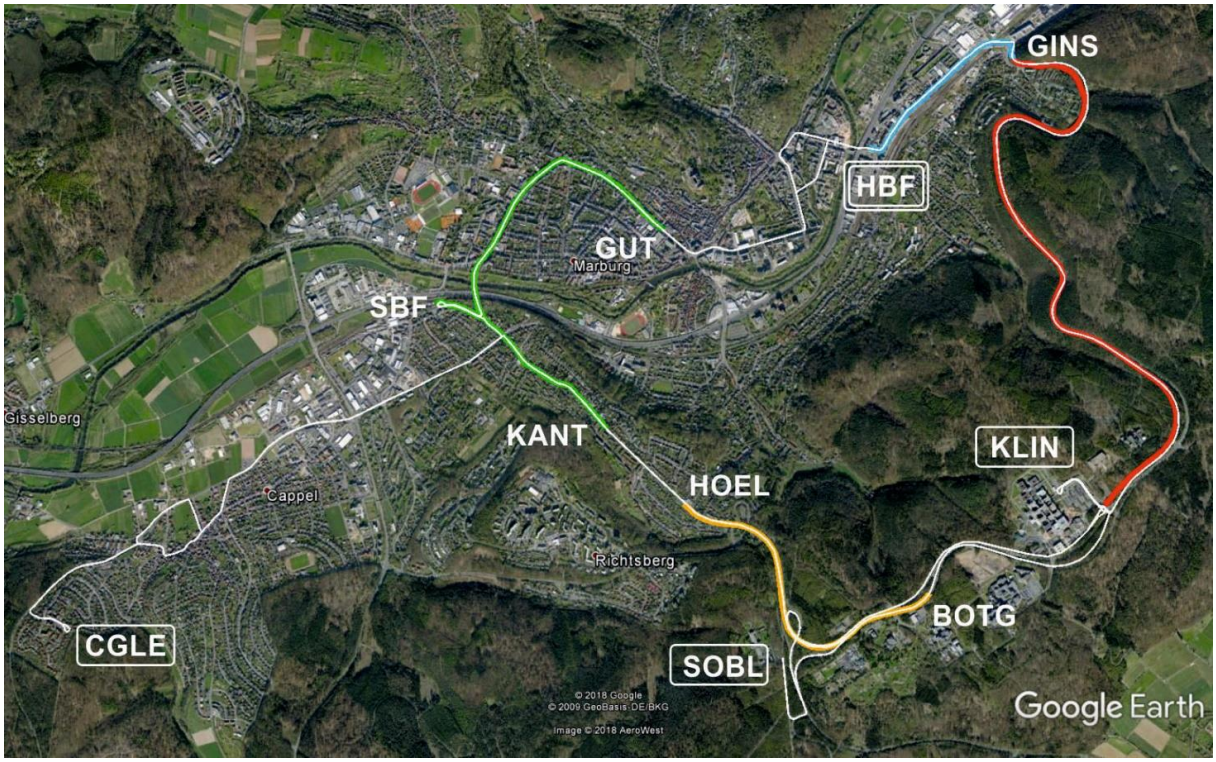


Abbildung 5: Geplante Oberleitungsstrecken (Plötz, 2018)

Abbildung 6: Fotomontage HO-Bus in der Marburger Schwanallee

Zum Zeitpunkt der Texterstellung im August 2018 liegt die Studie noch nicht vor.

Die in der Studie aufgezeigten Simulationen unterstellen den Betrieb des HO-Busses unter Worst-Case-Bedingungen, d.h. alle Verbraucher wie Antrieb, Heizung oder Klimaanlage usw. werden mit maximalem Energieverbrauch betrieben.

Die finanzielle Förderung zur Einführung eines HO-Busbetriebs wird von Seiten des BMVI befürwortet. Ausschlagegebend für die Höhe der Förderquote sind die Forschungs- und Entwicklungsanteile (FE-Anteile) für Streckeninfrastruktur und Fahrzeugtechnik. Für das Planfeststellungsverfahren hat das BMVI eine hundertprozentige Kostenübernahme mündlich zugesagt.

Die Machbarkeitsstudie wird zu 100 % vom BMVI finanziert und soll voraussichtlich bis Ende Oktober 2018 vorliegen (Hugo, J.; BMVI, 2018).

2.5. Überblick der aktuellen Antriebstechniken für Nutzfahrzeuge

Die zum Einsatz kommenden Antriebstechniken bei Nutzfahrzeugen (LKW) unterscheiden sich hinsichtlich der Vielfalt von denen bei den Omnibussen. Nach wie vor wird im Nutzfahrzeugbereich noch auf den Dieselmotor gesetzt, da er hinsichtlich Reichweite, Verbrauch, Zuverlässigkeit und Anschaffungskosten immer noch zeitgemäß ist.

Mit der Einführung der neuen EURO-Norm VI C für Diesel-LKWs wird darüber hinaus eine weitere deutliche Reduzierung der CO2- und NOX-Emissionen erreicht.

Gemäß einer Studie von Deloitte waren im Jahr 2016 in Deutschland ca. 32.500 LKWs mit alternativen Antrieben zugelassen, d.h. nur ca. 1% der Nutzfahrzeuge. Davon werden 15.500 mit Erdgas, 12.500 mit Flüssiggas und 4.500 vollelektrisch angetriebenen. Der Anteil der benzinbetriebenen Fahrzeuge betrug 4%. Diese Werte unterstreichen die oben getroffene Aussage, da immer noch 95% der LKWs über einen Dieselantrieb verfügen.

Deloitte ist auf Basis der Marktentwicklung bei den alternativen Antrieben zu der Einschätzung gelangt, dass sich bis 2026 der Anteil von LKWs mit alternativen Antrieben auf 20% erhöhen kann. Dabei stehen die Plug-In-Hybrid-Antriebe mit 14% an erster Stelle. Für den reinen Batterieantrieb wird ein Marktanteil von 5% und für Erdgasantriebe von nur 1% angenommen. Das bedeutet aber auch, dass Deloitte in seiner Studie für 2026 von einem 80%-igen Marktanteil für die Verbrennungsmotoren ausgeht (Deloitte, 2016).

Trotz dieser im Hinblick auf die Entwicklung der Marktanteile von alternativen, ökologisch günstigeren Antriebstechniken nur wenig hoffnungsvollen Prognose, ist der Einsatz der oben für die Omnibusse beschriebenen Antriebstechniken grundsätzlich

auch für Nutzfahrzeuge vorstellbar. Daher ist es auch sinnvoll, die aktuellen Entwicklungen bei den unterschiedlichen Antrieben für LKWs zu beschreiben.

Bei den Nutzfahrzeugen muss zur Bewertung der Techniken zwischen Lieferfahrzeugen/Pritschenwagen bis 3,5 t, mittleren LKW bis 7,5 t und schweren LKW über 7,5 t unterschieden werden, da sich bei deren Einsatz unterschiedliche Prämissen an die Antriebstechnik ergeben. Entscheidende Faktoren für den Einsatz sind im Wesentlichen die Transportkapazität, die Reichweite, die Infrastruktur (z.B. Ladestationen bei Elektroantrieben) und natürlich die Anschaffungskosten.

Im Folgenden werden die aktuellen uns bekannten Entwicklungen der unterschiedlichen Antriebstechniken ohne Anspruch auf Vollständigkeit beschrieben.

Im Segment der elektrisch betriebenen Lieferfahrzeuge und Pritschenwagen ist die Deutsche Post AG derzeit Vorreiter, da sie eine eigene Fahrzeugproduktion aufgebaut hat, um ihren Bedarf an leichten, elektrisch angetriebenen Lieferfahrzeugen zu decken und darüber hinaus auch eine Fremdnachfrage nach solchen Fahrzeugen zu befriedigen. Die aktuell eingesetzten Fahrzeuge sind mit einer konventionellen Li-Ionen-Batterie mit 20 kWh Batteriekapazität ausgestattet. Die seitens der Post bestätigte Reichweite im Echteinsatz liegt bei 80 km. Darüber hinaus wird zurzeit die Produktpalette um Fahrzeuge mit 30 und 40 kWh Batteriekapazität erweitert, um die Reichweite zu steigern.

Damit sind diese Fahrzeuge für den lokalen Einsatz gut geeignet. Allerdings liegen die Anschaffungskosten dafür aktuell um fast 100% höher als für ein vergleichbar konventionell angetriebenes Fahrzeug.

Neben der Post AG gibt es auf dem Markt der Pritschen- und Lieferfahrzeuge mit geringen Nutzlastanforderungen (bis ca. 1 t) noch eine größere Anzahl an Herstellern, die entsprechende Modelle anbieten, wie z.B. Iveco oder VW.

Darüber hinaus bieten viele Hersteller neben elektrischen Antrieben beispielsweise auch gasbetriebene Fahrzeuge an, so dass für die Pritschen- und Lieferfahrzeuge, nahezu ähnlich wie bei den PKWs, bereits ein ausreichend großes Angebot an technisch weitgehend ausgereiften Fahrzeugen mit alternativen Antrieben auf dem Markt verfügbar ist.

Daher soll in der weiteren Darstellung der Fokus auf die mittleren und schweren LKWs gelegt werden. Dabei werden im Folgenden die aktuell im Test bzw. der Entwicklung befindlichen alternativen Antriebe insbesondere für die Müllsammelfahrzeuge beschrieben. Damit werden auch die generellen Trends bei mittleren und schweren LKWs beschrieben, da die Entsorgungsfahrzeuge grundsätzlich auf Basis von Trägerfahrzeugen aufgebaut werden, die auch im sonstigen konventionellen LKW-Betrieb genutzt werden. Darüber hinaus stellen die Müllsammelfahrzeuge mit insgesamt 32 LKWs, davon 19 Hecklader, 4 Frontladerfahrzeuge und 8 Absetz- und Abroll-LKWs einen, neben den Omnibussen, signifikanten Anteil der Fahrzeugflotte der Stadtwerke-Unternehmensgruppe dar.

Generell gilt, dass an elektrischen Antrieben für mittlere und schwere LKW bereits seit Jahren gearbeitet wird und diese bereits seit einiger Zeit, bisher noch primär als Prototypen, im Einsatz getestet werden.

So ist beispielsweise der Mercedes-Benz „eTruck“ mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 26 t seit 2018 testweise im Einsatz. Er ist mit einem Batteriepaket ausgestattet, das eine Reichweite von bis zu 200 km ermöglichen soll. Die Serienproduktion ist aber erst für 2021 vorgesehen. Daneben bietet Mercedes seit Ende 2017 den im mittleren LKW-Segment angesiedelten „Fuso Canter“ auch als vollelektrisches Fahrzeug an. Dessen Batterieausstattung soll eine Reichweite von täglich 100 km ermöglichen; also im Nahbereich einsetzbar. Unter anderem DHL, DB Schenker und Rhenus haben dieses Fahrzeug im Einsatz. Der Fuso Canter dient beispielsweise auch in der MKG als Trägerfahrzeug für ein kleineres Müllsammelfahrzeug.

Speziell auf die regionale Logistik ausgerichtet, bietet MAN ebenfalls einen eTruck auf Basis der TGM-Baureihe als Prototypen an; dieser wird u.a. bei Rewe und Metro zu Testzwecken eingesetzt. Hier ist noch kein Datum für die Serienproduktion bekannt, da die durch die Tests gewonnenen Erfahrungen in die Entwicklung eines serienreifen, elektrisch angetriebenen LKWs einfließen sollen (Gaul, 2018).

Im Mai 2018 hat die Firma Volvo auf der Messe IFAT in München ein batteriebetriebenes Müllsammelfahrzeug vorgestellt. Volvo bietet zwei E-Antriebs-Varianten; mit einer Leistung von 185 kW für das mittlere LKW-Segment und 370 kW für die schweren Nutzfahrzeuge. Für die schweren LKWs stellt Volvo an dem Einsatzzweck und den Kundenwünschen orientierte Batteriepakete zur Verfügung. Die Reichweite des Fahrzeugs wird je nach Batterieausstattung mit 80 bis 250 km angegeben. Die Serienproduktion soll Mitte 2019 beginnen.

Die Ladung der Batterien kann alternativ über Wechselstrom (Over-Night-charging) oder über die schnellere Gleichstrombetankung erfolgen. Bei 150 kW Leistung wird eine Ladezeit von 1,5 Stunden angegeben (Leßner, 2018).

Die Stadtreiniger Hamburg (SRH) haben sich für ein derartiges Sammelfahrzeug von Volvo entschieden und werden es im nächsten Jahr im Einsatz testen. Danach soll entschieden werden, ob alle 200 Müllsammelfahrzeuge der SRH auf Elektroantrieb umgestellt werden (NDR, 2018).

Die Elektromobilität soll für LKWs, die im Güterverkehr im Streckenbetrieb eingesetzt sind, auf zwei begrenzten Streckenabschnitten auf der Autobahn A 5 zwischen Frankfurt und Darmstadt sowie auf der A 1 in Schleswig-Holstein getestet werden. Die Teststrecken werden mit dem System „eHighway“ der Firma Siemens ausgestattet. Hierbei wird die rechte LKW-Fahrspur mit einer zweipoligen Oberleitung überspannt.

Dieses System soll von Hybrid-LKWs genutzt werden, die ähnlich wie Oberleitungsbusse an das Oberleitungssystem andocken und darüber die Batterieeinheiten aufla-

den. Wenn die Batterieenergie verbraucht ist, schalten die LKWs dann bis zur nächsten Ladestrecke auf ihre Dieselmotoren um (bizz energy, 19.12.2017).

Die Frankfurter Entsorgungs- und Service GmbH (FES), eine Private-Public-Partnership der Stadt Frankfurt/M und dem größten deutschen Entsorgungsunternehmen Remondis, hat dieses Jahr ein Erdgas-Hybrid-Müllfahrzeug mit der Bezeichnung „Silent Green“ angeschafft, um es im Echteinsatz zu testen. Dieses Fahrzeug basiert auf einem Mercedes Fahrgestell vom Typ „Economic“ mit 26 t zulässigem Gesamtgewicht. Das dem Fahrzeug zugrundeliegende Konzept sieht vor, dass es mit dem Gasantrieb in das Sammelgebiet und wieder zurückfährt. Beim Leeren im Stop-and-Go-Betrieb wird der Elektroantrieb zugeschaltet. Beim Bremsen wird zudem das Rekuperationsprinzip genutzt und dadurch Energie zurückgewonnen. Zusätzlich liefert ein erdgasbetriebener Generator den für die Schüttung und das Presswerk benötigten Strom. Die Anschaffungskosten für dieses Fahrzeug liegen bei 500.000€ und sind damit doppelt so hoch, wie die eines dieselbetriebenen Müllsammelfahrzeuges gleicher Spezifikation.

Begleitet wird die Einführung von der Frankfurter University of Applied Science (UAS). Diese führte bereits Emissionsmessungen bei den konventionell angetriebenen Fahrzeugen im realen Einsatz durch, um eine eigene Datenbasis zu haben. Jetzt werden bei dem Erdgas-Hybrid-Fahrzeug ebenfalls auf den gleichen Sammeltouren die Emissionen des „Silent Green“ ermittelt. Damit sollen die erzielten Echteinsatz-Emissionen ermittelt werden. Die Ergebnisse können bestimmt interessante Erkenntnisse bringen (Frankfurter Neue Presse, 24.05.2018).

Remondis setzt aber auch in anderen Unternehmensbereichen auf CNG-Antriebe. In den Städten Pulheim und Erftstadt hat Remondis 6 Müllsammelfahrzeuge mit Erdgasantrieb vom Typ „Stralis NP“ bei der Firma Iveco bestellt. Diese sollen mit Biomethan betrieben werden. Gemeinsam mit dem Versorger, der Gasversorgungsgesellschaft mbH Rhein-Erft (GVG), wird nun in Hürth eine entsprechende Tanksäule zur Betankung der Fahrzeuge errichtet. Nach eigenen Angaben kann sich Remondis vorstellen, ein Viertel seiner 8.000 Fahrzeuge mit Erdgas zu betreiben (Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK), 16.05.2018 und 09.07.2018).

Ein alternatives Antriebs-Modell hat das zur weltweit agierenden Kirchhoff-Gruppe gehörende Unternehmen Faun entwickelt. Faun ist international einer der führenden Anbieter von Müllfahrzeugen und Kehrmaschinen. Es handelt sich bei dem Fahrzeug um ein Hybrid-Müllfahrzeug basierend auf einem Mercedes-Benz-Fahrwerk mit einem 85 kWh starkem Batteriepack und einer 30 kWh starke Brennstoffzelle als Range Extender.

Faun betont, dass das Antriebs-Konzept flexibel an die jeweiligen Rahmenbedingungen der Entsorgungsgebiete anpassbar ist. Entweder erhält das Fahrzeug mehr Batteriespeicherkapazität oder wird mit einer zweiten oder dritten Brennstoffzelle konfektioniert. Das Fahrzeug ist mit einem entsprechenden Aufbau bestückt, der ebenfalls vollelektrisch betrieben wird.

Faun begründet die Entscheidung für diese Technologie damit, dass eine mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle gegenüber Bio- oder Designerkraftstoffen aufgrund des dafür benötigten Flächenbedarfs und die für die Batterieproduktion benötigten Rohstoffe am besten abschneidet (Leßner, 2018), (Gaul, 2018).

Validierte Informationen über den Preis und den Start der Serienproduktion liegen auch hier noch nicht vor.

Die Brennstoffzellentechnik wird aktuell auch im Rahmen eines EU-Projektes in Italien, den Niederlanden und Belgien erprobt. Der Einsatz der 15 Müllfahrzeuge erfolgt unter anderem in Amsterdam, Antwerpen, Bozen und Meran. An der Entwicklung sind der Fahrzeughersteller E-Trucks Europe sowie die Brennstoffzellen-Lieferanten Swiss Hydrogen und Symbio F-Cell beteiligt.

Da immer mehr Städte auf „Null-Emissionsziele“ setzen, soll zum einen mit diesem Projekt die Kommerzialisierung von umweltfreundlichen Müll-LKW vorangetrieben und zum anderen die Eignung der Brennstoffzellen-Technologie für alle Arten von Nutzfahrzeugen, nicht zuletzt Omnibussen, erprobt werden (bizz energy, 2018).

Auch das amerikanische Start-Up-Unternehmen „Nikola Motors“ setzt auf die Brennstoffzelle. Erklärtes Ziel des Unternehmens ist es, bis 2021 zwei Elektro-Schwerlaster-Modelle mit Wasserstoffantrieb und einer Leistung von über 1.000 PS auf den Markt zu bringen. Gelingen soll dies durch die Entwicklungs-Partnerschaft mit der Firma Bosch (Gaul, 2018).

Zusammenfassend zeigt sich, dass, ähnlich dem Omnibus-Sektor, auch im Nutzfahrzeugbereich viele unterschiedliche Ansätze für den Einsatz von alternativen Antrieben entwickelt und mittlerweile auch im Einsatz erprobt werden. Bei den Pritschen- und Lieferfahrzeugen stellt der Markt bereits einsatzreife Lösungen mit alternativen Antrieben zur Verfügung.

Betrachtet man jedoch die einzelnen Antriebs-Konzepte bei den mittleren und schweren LKW zeigt sich, dass noch nicht eindeutig erkennbar ist, welche Antriebstechniken sich auf dem Markt in naher Zukunft etablieren und zur Serienreife geführt werden.

3. Ladeinfrastruktur

3.1. Grundlagen

Zunächst werden die Grundlagen der Ladetechnik erklärt, bevor die öffentliche und private Ladeinfrastruktur erläutert wird.

3.1.1. Laden mit Wechselstrom

Bei den meisten Ladepunkten handelt es sich um Wechselstrom-Ladepunkte. Diese können weiter in einphasige und dreiphasige Wechselstromladung eingeteilt werden. Beim Laden an der normalen Schuko-Steckdose mit 230 V Spannung spricht man von einphasigem Wechselstromladen. Ohne ein spezielles Kabel mit Steuer- und Schutzfunktion sollte dies nur als Not-Lademöglichkeit genutzt werden. Durch die geringe Leistung von 3,7 kW ist hier die Ladedauer am längsten. Leistungsfähiger ist das dreiphasige Laden mit Drehstrom bei einer Spannung von 400 V. Hier sind Leistungen von 11 kW bis 43 kW möglich (Tabelle 9). Bei Leistungen über 22 kW handelt es sich um einen AC-Schnellladepunkt, bei 22 kW oder niedrigeren Leistungen handelt es sich um Normalladung. Viele Elektrofahrzeuge können die Ladeleistungen über 3,7 kW im Wechselstrom allerdings nicht nutzen, da für die Ladung des Akkus der Wechselstrom durch einen im Auto eingebauten Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt werden muss. Da diese Stromrichter teuer und schwer sind, wird oft nur ein kleinerer günstigerer Gleichrichter eingebaut, der ermöglicht, mit 3,7 kW Wechselstrom zu laden.

	Spannung	
Stromstärke	**230 V**	**400 V**
16 A	3,7 kW	11 kW
32 A		22 kW
63 A		43 kW

Tabelle 9: AC-Ladeleistung

Abbildung 7: Typ 2 Stecker (Quelle Mennekes)

Standard für das Wechselstromladen ist der Typ 2 Stecker oder auch Mennekes Stecker, da die Firma Mennekes an seiner Entwicklung beteiligt war. Dieser ist im Gegensatz zum Standard CEE-Stecker (Drehstromstecker) mit weiteren Signalpins ausgestattet, über die die Ladesäule und das Elektrofahrzeug kommunizieren können. So steht der Typ 2 Stecker im Gegensatz zum CEE-Stecker nur bei Benutzung unter

Spannung und kann am Auto verriegelt werden, was der Sicherheit dient. In der EU werden ab 2017 alle Elektrofahrzeuge nur noch mit Typ 2 Steckern ausgerüstet.

An einigen alten Elektrofahrzeugen sind noch Typ 1 Stecker zu finden. Dieser Steckertyp wird vor allem von japanischen und amerikanischen Herstellern verwendet, da er nur das einphasige Laden unterstützt und in diesen Ländern Hausinstallationen nur einphasig sind (Karle, 2017) (Gehrlein, et al., 2017).

3.1.2. Laden mit Gleichstrom

Der Akku eines Elektrofahrzeugs muss mit Gleichstrom geladen werden. Wird das Fahrzeug direkt an Gleichstrom angeschlossen, kann auf eine Umwandlung im Auto selbst verzichtet werden. Gleichstrom- oder DC-Ladestationen basieren auf diesem Prinzip und ermöglichen so eine hohe Ladeleistung. Sie werden als Schnellladestationen bezeichnet, da sie meist Leistungen von 50 kW aufwärts bereitstellen.

Die DC-Ladestationen haben den Gleichrichter direkt in der Ladestation verbaut, somit kann dieser größer dimensioniert werden als in den Elektrofahrzeugen. Die Ladestation selbst ist an das normale Wechselstromnetz angeschlossen, hier ist allerdings teilweise ein Anschluss an das Mittelspannungsnetz notwendig, um die hohen Leistungen bieten zu können. Der in der Station sitzende Gleichrichter wandelt den Wechselstrom in den für das Elektrofahrzeug besser nutzbaren Gleichstrom.

Abbildung 8: CHAdeMO-Stecker (links) und CCS-Stecker (rechts) im Vergleich (Quelle: Fotolia)

Durch die hohen Leistungen bei DC-Ladestationen liegen die Ladezeiten im Regelfall bei ca. 30 Minuten und darunter. Das macht Gleichstrom-Ladestationen vor allem für Fernstrecken als Lademöglichkeit an Autobahn-Raststätten interessant. So hat Tesla auf Autobahn-Raststätten ein Schnellladenetz seiner sogenannten Supercharger errichtet.

Auch der Raststätten-Betreiber Tank und Rast bietet auf vielen seiner Raststätten Schnellladestationen für Elektrofahrzeuge. Trotz dieser Vorteile sind DC-Schnelllader weniger verbreitet als AC-Ladestationen. Ein Grund hierfür sind die wesentlich höheren Kosten für die Errichtung und den Betrieb der DC-Ladestationen.

DC-Ladestationen können das drei- bis vierfache einer AC-Ladestation kosten, da der Installationsaufwand größer ist, teilweise eine leistungsfähigere Zuleitung nötig ist und ggf. der Anschluss an das Mittelspannungsnetz erfolgen muss. Ein weiterer Nachteil ist, dass die DC-Ladestationen als Triple-Lader aufgebaut sein müssen, um für alle Fahrzeuge nutzbar zu sein. Triple-Lader verfügen über beide beim Gleichstromladen vor-

kommende Steckersysteme und einen Schnellladepunkt für Wechselstromladen mit Typ 2 Stecker.

Beim Gleichstromladen gibt es zwei konkurrierende Steckersysteme, das Combined Charging System (CCS) und CHAdeMO. CCS ist ein von deutschen Herstellern eingeführtes Steckersystem, das seit 2014 Europaweit bindend ist. Es ist für AC- und DC-Laden ausgelegt. Der zweite, weit verbreitete CHAdeMO-Stecker, ist eine japanische Entwicklung und wird von den Herstellern Nissan, Mitsubishi und Toyota verwendet.

Der Name kommt aus dem Japanischen und bedeutet „auf eine Tasse Tee“ und verweist darauf, dass ein Elektrofahrzeug in wenigen Minuten geladen werden kann. Durch die EU-Vorgaben wird in Zukunft aber ein Rückgang der CHAdeMO-Stecker im Europäischen Raum erwartet (Karle, 2017); (Gehrlein, et al., 2017); (Reinke, 2014).

3.2. Öffentliche Ladeinfrastruktur

Die öffentliche Ladeinfrastruktur wird in der „Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile“ kurz Ladesäulenverordnung (LSV) geregelt.

Abbildung 9: Ladesäule der Firma Mennekes

Nach der Definition der LSV befindet sich ein öffentlich zugänglicher Ladepunkt im öffentlichen Straßenraum oder auf einem privaten Grundstück, das von einem unbestimmten Personenkreis befahren werden kann. Hierzu zählen somit auch Kundenparkplätze von Einkaufszentren oder Supermärkten und privat betriebene Parkhäuser. Da hier auch mit Vandalismus zu rechnen ist, werden oft stabile Ladesäulen errichtet (Abbildung 9: Ladesäule der Firma Mennekes).

Die AC-Ladesäulen verfügen meist über zwei Ladepunkte mit einem Typ 2 Anschluss. Zusätzlich sind an einigen Ladesäulen auch noch Schuko-Dosen vorhanden. An überwachten Orten, wie z.B. in Parkhäusern, können auch günstigere Wandladestationen gewählt werden, diese haben dann nur einen Ladepunkt. Für Gleichstromladung müssen DC-Ladestationen nach der LSV über mindestens einen CCS-Stecker verfügen. Der Zugang zum Ladepunkt erfolgt derzeit meist über RFID-Karten.

Viele Ladesäulenbetreiber haben sich regionsübergreifenden Ladenetzen angeschlossen, um ihren Kunden eine Ladung über die regionalen Grenzen hinaus mit nur einer Zugangskarte zu ermöglichen. Deutschlandweite Ladeverbände sind

Plugsurfing, The New Motion oder Ladenetz. Neu aufgebaute Ladepunkte müssen nach der LSV auch das punktuelle Aufladen ermöglichen. Punktuelles Aufladen bedeutet, dass es nicht zu einem Dauerschuldverhältnis zwischen Nutzer und Betreiber des Ladepunktes kommt. Um das zu ermöglichen, muss Barzahlung oder bargeldlose Zahlung über ein gängiges karten- oder webbasiertes Zahlungssystem möglich sein. Die Abrechnungsmodelle des Ladevorgangs sind unterschiedlich:

- Abrechnung nach Kilowattstunden,
- Tankdauer,
- Grundbetrag für die Ladung,
- Mischformen der vorangegangenen Abrechnungsmodelle vor.

(Gehrlein, et al., 2017); (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016); (PlugSurfing GmbH , 2018); (The New Motion Deutschland GmbH); (smartlab Innovationsgesellschaft mbH).

3.2.1. Ladeinfrastruktur im Parkhaus Oberstadt am Pilgrimstein

Das Parkhaus Oberstadt am Pilgrimstein gehört zu den beliebtesten Parkhäusern in Marburg und wird rege genutzt. Unter den Nutzern befinden sich auch viele Dauerparker. Diese nutzen ca. 45% der Parkflächen, wie in der Oberhessischen Presse berichtet (Conrad, 2016) (Siepmann, 2012).

Die Bundesregierung gab 2009 den nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität heraus, in dem das Ziel formuliert ist, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen (Bundesregierung, 2009). Durch verschiedene Maßnahmen wie den Umweltbonus oder die Befreiung von der KFZ-Steuer für Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) wird die Erreichung dieses Ziels gefördert (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016). Damit ist in Zukunft mit einem Anstieg des Anteils der Elektrofahrzeuge am Gesamtfahrzeugaufkommen und mit einer erhöhten Nachfrage nach Lademöglichkeiten in Parkräumen zu rechnen. Eine Lademöglichkeit ist aktuell im Parkhaus Oberstadt verfügbar und wird von Park + Charge e.V. betrieben. Die Ladesäule ist mit einem Schlüssel zugänglich und in der Nähe der Einfahrtsschranke zu finden (Park + Charge).

Um den Bedürfnissen der Elektrofahrzeugnutzer gerecht zu werden und die Zukunftsfähigkeit der Stadt Marburg zu fördern, sollten beim Ausbau des Parkhauses Oberstadt weitere Lademöglichkeiten für Elektroautos berücksichtigt werden. Vorgaben hierfür sind in der Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen (Garagenverordnung – GaV) Hessen zu finden:

> *„Garagen müssen eine ausreichende Anzahl von Einstellplätzen haben, die über einen Anschluss an Ladestationen für Elektrofahrzeuge verfügen. Der Anteil dieser Einstellplätze bezogen auf die Gesamtzahl der Einstellplätze muss mindestens 5 Prozent betragen. Satz 1 findet keine Anwendung auf*

Einstellplätze von Wohnungen, die über eine Stromversorgung verfügen, die für die Installation von Kraftfahrzeugladestationen geeignet ist.“

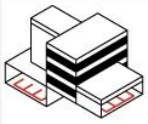
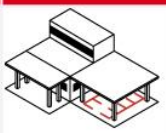
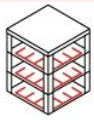
Anteile der Ladevorgänge	Privater Aufstellort: aktuell 85 %			Öffentlich zugänglicher Aufstellort: aktuell 15 %		
Typische Standorte für Ladeinfrastruktur	Einzel- / Doppelgarage bzw. Stellplatz beim Eigenheim	Parkplätze bzw. Tiefgarage von Wohnanlagen, Mehrfamilienhäusern, Wohnblocks	 Firmenparkplätze auf eigenem Gelände	 Autohof, Autobahn-Raststätte	 Einkaufszentren, Parkhäuser, Kundenparkplätze	Straßenrand / öffentliche Parkplätze
Vorgaben zur Ladetechnologie	Combined Charging System vorschreiben			Combined Charging System als Mindeststandard in Ladesäulenverordnung vorgeschrieben		
Ladedauer für 20 kWh (Verbrauch für 100 km)	**6 Stunden** (AC 3,7 kW)	**6 Stunden** (AC 3,7 kW) **1-2 Stunden** (AC/DC 11-22 kW)	**6 Stunden** (AC 3,7 kW)	**30 Minuten** (DC 50 kW) **10 Minuten** (DC 150 kW)	**6 Stunden** (AC 3,7 kW)	**1-2 Stunden** (AC/DC 11-22 kW)
Ladedauer perspektivisch				**wenige Minuten** (DC 350 kW)		
Stromversorgung	Über vorhandenen Hausanschluss	Über vorhandenen Anschluss der Anlage oder separaten Anschluss an das Niederspannungs- bzw. Mittelspannungsnetz				Über vorhandene Infrastruktur (z.B. Straßenbeleuchtung) oder neuen Anschluss an das Niederspannungs- bzw. Mittelspannungsnetz
Abrechnung	Abrechnung möglich je nach gewünschtem Geschäftsmodell, z.B.: - kostenlos - pauschal - nach Ladeleistung - nach bezogener Energiemenge					

Abbildung 10: Übersicht über den Anteil öffentlicher und privater Ladevorgänge mit Leistungsbedarf. Quelle: Nationale Plattform Elektromobilität

§ 2 GaV – Allgemeine Anforderungen Satz 3

Während in der GaV noch fünf Prozent der Parkplätze mit Lademöglichkeit gefordert sind, wird sich diese Anzahl in Zukunft erhöhen (Land Hessen, 2015). Die EU arbeitet an der Änderung der Richtlinie „2010/31/EU Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, in der eine größere Zahl von Lademöglichkeiten auf Parkflächen vorgesehen ist. Für Artikel 8 der Richtlinie 2010/31/EU ist im Änderungsvorschlag künftig folgende Aktualisierung geplant:

„Infrastruktur für Elektromobilität, in neuen Nichtwohngebäuden mit mehr als zehn Parkplätzen und Nichtwohngebäuden mit mehr als zehn Parkplätzen, die einer umfangreichen Renovierung unterzogen werden, muss jeder zehnte Parkplatz für die Nutzung im Rahmen der Elektromobilität ausgerüstet sein. Dies gilt ab 2025 für alle Nichtwohngebäude mit mehr als zehn

Parkplätzen, einschließlich Gebäude, in denen die Installation von Ladepunkten im Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe vorgesehen ist. …“

Demnach sind im Moment bezogen auf die Gesamtparkplatzzahl fünf Prozent und in Zukunft zehn Prozent der Parkplätze mit Lademöglichkeiten auszustatten/zu versehen (Europäische Kommission, 2016). Die zu installierende Leistung der Lademöglichkeiten zur Befriedigung der Ladebedürfnisse der Elektroautonutzer hängt dabei stark von der Parkdauer ab. Die Nationale Plattform Elektromobilität hat hierzu Abbildung 10 veröffentlicht.

Da das Parkhaus Pilgrimstein hauptsächlich von Dauerparkern und von Besuchern der Einkaufsmöglichkeiten der Oberstadt genutzt wird, ist mit längeren Ladedauern von mehr als 4 Stunden zu rechnen. Für diese Ladezeiten ist bei den aktuell auf dem Markt befindlichen Elektrofahrzeugen ein Anschluss von 3,7 kW ausreichend, zumal viele Automodelle höhere Leistungen im Wechselstrom nicht nutzen können (vgl. Tabelle 10). Für zukünftige Modelle mit höherer Batteriekapazität und neuerer Ladetechnik sollte die Möglichkeit der höheren Ladeleistungen aber im Auge behalten werden.

Fahrzeug	Batteriekapazität [kWh]	Stecker-typ AC	Reichweite NEFZ [km]	Verbrauch NEFZ [kWh/100 km]	Ladedauer Wechselstrom [h]		
					3,7 kW (16 A)	11 kW (16 A)	22 kW (32 A)
BMW i3	27,2	Typ 2	300	13,1	7,5	2,45	
Hyundai Ioniq Elektro	28	Typ 2	280	11,5	8		
Nissan Leaf	30	Typ 1	250	15	9,5		
Nissan Leaf 2018	40	Typ 2	378	17	12		
Renault Zoe Q90	41	Typ 2	370	14,6	15,5	4,5	2,65
Renault Zoe R90	41	Typ 2	403	13,3	15	4,5	2,65
Volkswagen e-Golf	35,8	Typ 2	300	12,7	10,8		
Volkswagen e-Up	18,7	Typ 2	160	11,7	6		
Citreon C-Zero	16	Typ 1	150	13,5	6		
Mitsubishi i-Miev	16	Typ 1	160	13,5	6		
Smart fortwo electric	17,6	Typ 2	145	15,1	6	2	1
Tesla Model S	75	Typ 2	490	18	25	7	5
Tesla Model X	75	Typ 2	417	20	25	7	5

Tabelle 10: Überblick über Elektrofahrzeuge und Ladeleistungen Stand Januar 2018

Im Elektromobilitätsforum von goingelectric.de wird von Elektrofahrzeugnutzern die Planung von Ladeinfrastruktur und die Anforderungen der Nutzer an diese für Parkhäuser diskutiert. Hier wird unter anderem eine bauliche Abtrennung der Parkplätze mit Ladefunktion von normalen Parkplätzen gewünscht, um zu vermeiden, dass Autos mit Verbrennungsmotor diese Parkplätze belegen. Es wird vorgeschlagen, die Abtrennung durch eine zweite Schranke zu verwirklichen und so auch die Möglichkeit zu schaffen, eine extra Preisstufe für Elektrofahrzeuge einzuführen, um den höherwertigen Parkplatz mit Ladesäule über das Parkticket abzurechnen (ab 2015). Die Meinungen der Nutzergruppe sollten in die Planung miteinbezogen werden, um eine große Nutzung der Ladeinfrastruktur zu gewährleisten.

3.3. Ladeinfrastruktur in Privathäusern

Von privater Ladeinfrastruktur wird gesprochen, wenn das Laden in der eigenen Garage, am eigenen Carport oder an der Hauswand des Eigenheims möglich ist. Die Abstellmöglichkeit des Elektrofahrzeugs in der eigenen Garage oder am Haus ist vor allem im ländlichen Raum gegeben. Je größer der Wohnort ist, desto geringer ist die Anzahl der Fahrzeugbesitzer mit einer eigenen Garage oder Abstellmöglichkeiten direkt am Haus (Abbildung 11). Unter den Personen, die in größeren Wohnorten Abstellmöglichkeiten am Haus haben, befinden sich auch viele Mieter; hier ist der Bau einer eigenen Lademöglichkeit nicht immer gestattet (Wagner, 2016).

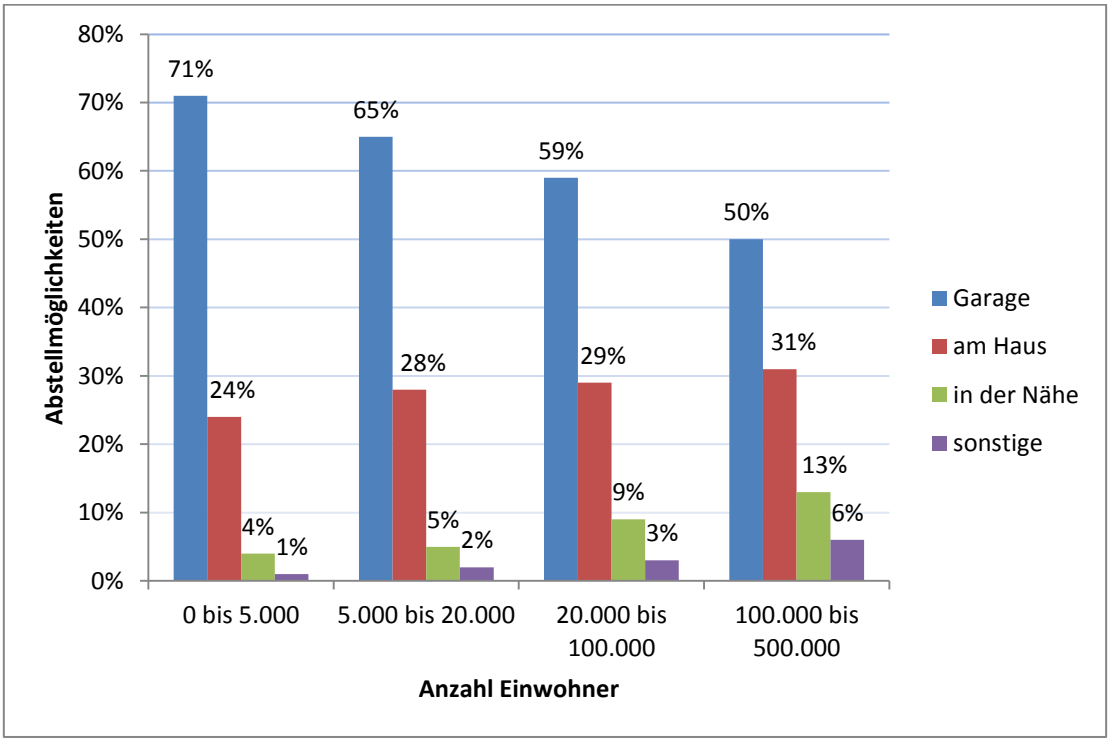


Abbildung 11: Abstellmöglichkeiten für Fahrzeuge nach Größe des Wohnorts (Daten: **(Wagner, 2016)**)

Ist eine eigene Garage oder ein Stellplatz neben dem Eigenheim vorhanden, kommen für Privatpersonen vor allem Wandladestationen (engl. Wallbox) in Frage, die es in verschiedenen Ausführungen und Ladeleistungen gibt. Zu empfehlen sind für den Hausanschluss Leistungen von 3,7 bis 11 kW. Nach den „Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz“ sind Geräte mit einer Nennleistung über 12 kW dem Netzbetreiber anzumelden. Dies trifft auf eine 22 kW Wandladestation zu. Vor der Anschaffung einer Wandladestation sollte der Besitzer des Elektrofahrzeugs prüfen, welche Ladeleistung im Wechselstrom von seinem Fahrzeug genutzt werden kann. Die weiteren Ausstattungsmerkmale der Wandladestationen sind vielfältig:

- Fest angeschlagenes Kabel (Abbildung 12),
- optionale Zugangsbeschränkung (Kartenleser oder Schloss),
- optional zusätzlicher Schuko-Stecker,

- mit Display,
- mit Kommunikationsmodul,
- mit integriertem Zähler,
- mit App-Steuerung.

Abbildung 12: Wandladestation mit angeschlagenem Kabel (Quelle: Mennekes)

Die Preise der Wandladestationen variieren je nach Ausstattungsmerkmalen und Leistung zwischen 500 € und 2.000 €. Zusätzlich kommen noch Kosten für die Installation durch einen Elektroinstallateur hinzu. Die Wandladestationen können bei zahlreichen Herstellern im In- und Ausland, sowie bei einigen Energieversorgern erworben werden. Letztere bieten oft auch zusätzlich eigene Elektromobilitätstarife an. Die Stadtwerke Marburg GmbH z.B. bietet ihren Kunden zwei Wandladestationen zum vergünstigten Preis an. Bei einer der Wandladestation kann ein eigener Elektromobilitätstarif dazu gewählt werden (Gehrlein, et al., 2017); (Wagner, 2016); (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2007); (Stadtwerke Marburg GmbH).

3.4. Ladeinfrastruktur für Pedelecs, Elektrofahrräder und Elektroroller

Die Akkus von Elektrofahrrädern, Pedelecs und Elektrorollern können an normalen Schuko-Steckdosen geladen werden. Die Ladezeit beträgt je nach Akkukapazität zwischen drei und sechs Stunden. Viele Ausflugsziele bieten ihren Besuchern E-Bike-Ladestationen an. Hierbei handelt es sich meist um Schließfächer mit eingebauter Steckdose. Der abnehmbare Akku kann dann sicher verschlossen werden während er geladen wird (Karle, 2017).

3.5. Ausblick 2020

Zum Jahresbeginn 2018 waren in Deutschland 53.900 rein elektrische Fahrzeuge und 44.500 Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge gemeldet. Damit sind die Zahlen weit unter dem 2008 von der damaligen Bundesregierung formulierten Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen im Jahr 2020. Als ein Grund für den geringen Erfolg von Elektrofahrzeugen wird die fehlende Ladeinfrastruktur gesehen.

Doch welche Ladeinfrastruktur ist notwendig, um die damals als Ziel der Bundesregierung gesetzten eine Million Elektrofahrzeuge in 2020 laden zu können? Mit dieser Frage hat sich eine Studie des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt e.V. und

des Karlsruher Instituts für Technologie beschäftigt. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass 33.000 öffentliche und halböffentliche Ladepunkte benötigt werden und zudem ca. 2.600 Schnellladepunkte an Autobahnen und Bundestraßen notwendig sind. Die Studie geht von der Annahme aus, dass die 1 Million Elektrofahrzeuge zu 1/3 rein elektrische Fahrzeuge und 2/3 Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge sind. Dabei ist vor allem Ladeinfrastruktur an Orten mit langen Parkzeiten notwendig, wie z.B. an der Arbeitsstelle und bei Einkaufsmöglichkeiten.

Der BDEW geht von einem noch größeren Bedarf an Ladepunkten für eine Million Elektrofahrzeuge aus, hier wird ein Bedarf von 70.000 Normalladepunkten und 7.000 Schnellladepunkten gesehen. Im September 2017 gab es deutschlandweit 10.700 Ladepunkte. Es ist somit ein weiterer Ausbau der Ladeinfrastruktur notwendig (Kraftfahrt-Bundesamt, 2018); (Kwasniewski, et al., 2017); (bdew, 2017); (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., et al., 2016).

4. Exkurs: Straßenbahnverbindung von der Innenstadt zu den Lahnbergen

Zur Verbesserung der Verkehrssituation von der Marburger Innenstadt zum Universitäts- und Klinikstandort Lahnberge wurden von Seiten der Stadtwerke Marburg Überlegungen angestellt, zwischen dem Marburger Südbahnhof und dem Universitätsklinikum eine Straßenbahnverbindung herzustellen.

Die Straßenbahnverbindung sollte der folgenden Route folgen:

Südbahnhof (Konrad-Adenauer-Brücke) – Großseelheimer Straße – Auf den Lahnbergen – Universitätsklinikum Marburg

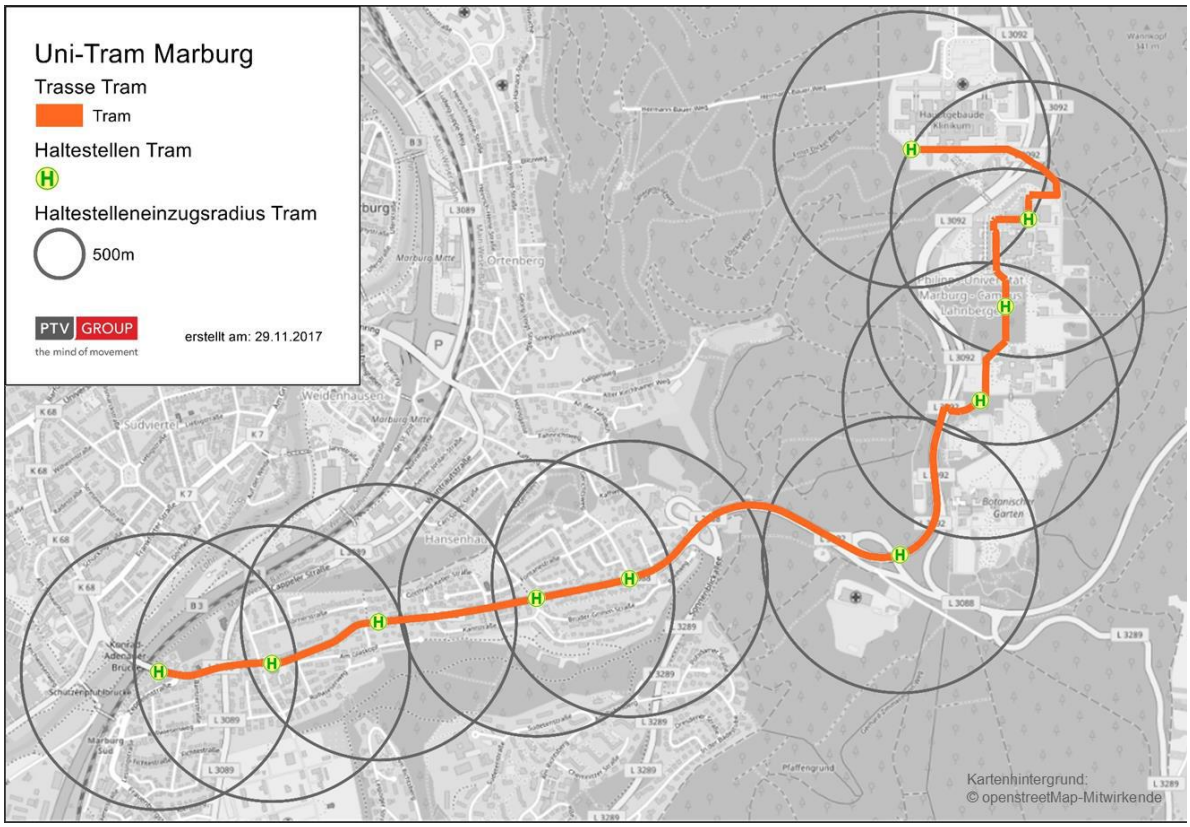


Abbildung 13: Geplante Trasse Uni-Tram Marburg

Quelle: (PTV, Schäuble, H., 2018)

Diese Überlegungen wurden 2015 dem Fachbüro IGDB aus Dreieich vorgelegt, das die Aufgabe übernahm, die technische Realisierbarkeit zu prüfen und eine Machbarkeitsstudie vorzulegen. Die Machbarkeitsstudie (IGDB, 2015) wurde nach Fertigstellung im Frühjahr 2015 zunächst der Konzernleitung der Stadtwerke Marburg GmbH und im nächsten Schritt den zuständigen Gremien der Universitätsstadt Marburg vorgelegt.

In der Studie wird zunächst von einer weitgehend einspurigen Straßenbahnverbindung ausgegangen, die nur an den Haltestellen die Möglichkeit einer Begegnung von zwei Bahnen bietet. Die Trasse soll zunächst ab der Haltestelle „Konrad-Adenauer-Brücke“ als eingleisige Schienenstrecke im Planum der Großseelheimer Straße ver-

laufen und ab der Haltestelle „Hölderlinstraße“ weitestgehend auf einem eigenen Fahrweg verkehren. Im Bereich des neuen Universitätscampus sollen die Haltestellen innerhalb der neuen Umweltstraße so angelegt werden, dass die Wege zu den Instituten möglichst kurz sind. Die Endhaltestelle der Straßenbahn ist in der Conradistraße, also südlich des Klinikums, im Bereich der heutigen Notaufnahme vorgesehen.

Mit der Einführung einer Trambahn zu den Lahnbergen könnte das aktuelle Kapazitätsproblem des ÖPNV in Stoßzeiten zwischen dem Lahntal und den Lahnbergen durch den Einsatz großer Fahrzeuge mit hoher Kapazität gelöst werden.

Die Machbarkeitsstudie der IGDB (IGDB, 2015) zeigt, dass eine Trambahn zu den Lahnbergen technisch möglich ist. Jedoch ist die Realisierung eines solchen Projekts von erheblichen Fördermitteln abhängig.

Zur Festigung der Erkenntnisse aus der technischen Machbarkeitsstudie beauftragte die Universitätsstadt Marburg daher 2017 die PTV Karlsruhe mit einer Kosten-Nutzen-Untersuchung des Projekts, um die Chancen einer technisch-wirtschaftlichen Realisierung unter der Prämisse einer Förderfähigkeit zu prüfen.

Die Kosten-Nutzen-Untersuchung ist ein standardisiertes Verfahren, das genutzt wird, um die Förderfähigkeit von Infrastrukturprojekten zu untersuchen.

In der Bewertung der Untersuchungsergebnisse stellt PTV heraus, dass „das Nutzen-Kosten-Verhältnis der untersuchten Uni-Tram … deutlich unter der Grenze von 1,0 …“ liegt. „Das Nutzendefizit beläuft sich auf 1,8 Mio. €/a (in der Sensitivitätsbetrachtung 2,2 Mio. €/a).“ Damit ist eine Förderung des Projektes weder durch das Land Hessen noch durch den Bund zu erwarten.

5. Umsetzungsempfehlungen

5.1. Vorgaben zur Umsetzung

Voraussetzung für den Einsatz der verschiedenen Antriebstechniken ist, dass für den jeweiligen Umlauf das richtige Fahrzeug eingesetzt werden kann. Es ist nicht davon auszugehen, dass nur eine Antriebstechnik zum Einsatz kommen wird. Der Einsatz der jeweiligen Technik hat sich an den ökonomischen und ökologischen Notwendigkeiten zu orientieren und dient dem Ziel, weiterhin eine vollständige Bedienung der Stadt zu ermöglichen. Vorhandene Fördermöglichkeiten sind in jedem Fall zu nutzen, wobei abzuwägen ist, ob die Förderquote bei Berücksichtigung des ökologischen Ansatzes der Erneuerung der Fahrzeugflotte den investiven Mehraufwand zu einem angemessenen Teil auffangen kann.

5.2. Antriebstechniken nach Einsatzmöglichkeiten im Stadtverkehr Marburg

In der folgenden Tabelle werden die Umläufe des Marburger Stadtverkehrs aufgelistet und nach prinzipiell geeignet (J) bzw. prinzipiell nicht geeignet (N) der jeweiligen Antriebstechnik zugeordnet.

Fahrzeug	km	Anzahl Umläufe:	Diesel	Erdgas	H_2	Brennstoff-zelle	Oberlei-tung *)	Depotla-dung	Gelegenheits-ladung
SOLO	bis 50	7	J	J	J	J	J	J	J
SOLO	51 - 100	10	J	J	J	J	J	J	J
SOLO	101 - 150	3	J	J	J	J	J	N	J
SOLO	151 - 200	7	J	J	J	J	J	N	J
SOLO	201 - 250	6	J	J	J	J	J	N	J
SOLO	250 - 300	2	J	J	J	J	J	N	J
SOLO	>300	4	J	J	J	J	J	N	J
GELENK	bis 50	25	J	J	J	N	J	J	J
GELENK	51 - 100	6	J	J	J	N	J	J	J
GELENK	101 - 150	4	J	J	J	N	J	N	J
GELENK	151 - 200	8	J	J	J	N	J	N	J
GELENK	201 - 250	6	J	J	J	N	J	N	J
GELENK	250 - 300	1	J	J	J	N	J	N	J
B ZUG/24m	bis 50	2	J	N	N	N	J	N	N
B ZUG/24m	51 - 200	2	J	N	N	N	J	N	N
Midi	bis 100	1	J	J	J	J	N	J	J
Midi	101 - 150	1	J	J	J	J	N	N	J
Midi	>300	1	J	J	J	J	N	N	J
Kleinbus	bis 50	2	J	N	J	J	N	J	N

*) abhängig von der Nutzungsmöglichkeit einer Oberleitung

Tabelle 11: Fahrzeugumläufe und Fahrbarkeit mit verschiedenen Antriebstechniken

Quelle: eigene Daten 2018, Stand: 13.04.2018

5.3. Smart Grid und Elektromobilität

Ein intelligentes Stromnetz oder in der englischen Bezeichnung ein „smart grid“ zeichnet sich durch die Kommunikation und Steuerung von Stromerzeugern, elektrischen Verbrauchern und Speichern in Elektrizitätsnetzen aus. Durch die Zunahme von volatilen und schwer steuerbaren Erzeugern wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen wird in Zukunft die Steuerbarkeit und der Ausgleich von Leistungsschwankungen zur Netzstabilisation wichtiger werden (Umweltbundesamt , 2013).

Elektrofahrzeuge können durch ihre Stromspeicher einen Beitrag zur Netzstabilisierung leisten. Ein Vorteil der Elektrofahrzeuge ist, dass sie ohnehin vorhanden sind und die Anzahl reiner Stromspeicher geringer ausfallen kann. Bei einem Überangebot von Energie könnten dann Elektrofahrzeuge geladen werden und bei erhöhter Nachfrage wieder die Energie ans Netz abgeben. Als elektrochemische Speicher zählen sie zu den Kurzzeitspeichern und können damit zur Abmilderung kurzfristiger Lastspitzen verwendet werden. Die Nutzung als Zwischenspeicher führt bei den Akkumulatoren der Elektrofahrzeuge allerdings zu mehr Ladezyklen. Hierdurch wird die Lebensdauer deutlich reduziert. Vor einer Nutzung im smart grid muss diese unzulässige Verminderung der Lebensdauer behoben werden. Auch eine ausreichende Ladeinfrastruktur, geeignete Geschäftsmodelle und Managementsysteme zur Ladung und Entladung sind für eine Kombination von smart grid und Elektromobilität nötig.

Ein anderer Ansatz ist die weitere Nutzung der Fahrzeugakkus, nachdem sie für den Fahrzeugbetrieb nicht mehr geeignet sind. Während der Nutzung verliert der Akkumulator im Elektroauto nach und nach an Kapazität. Wird eine bestimmte Kapazitätsgrenze unterschritten, wird er ausgetauscht. Generell liegt die Kapazitätsgrenze bei 60 bis 80 Prozent der Ursprungskapazität. Ein Fahrzeugakku mit einer früheren Kapazität von 20 kWh hätte dann noch eine Restkapazität von 12 kWh und wäre damit z.B. als Stromspeicher für Solaranlagen verwendbar. An einer solchen Verwendung arbeiten derzeit Vattenfall und die BMW Group im gemeinsamen Projekt „Second Life Batteries“ (Dietsche, et al., 2015) (Karle, 2017).

Einen ersten Schritt in Richtung Netzentlastung gehen die Stadtwerke Marburg, indem sie eine Vielzahl ihrer Tarife an die Abschaltbarkeit durch das Netz gebunden haben. Damit können bei einem Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch diese Verbraucher aus dem Netz genommen werden. Dies trägt zur Netzstabilisierung bei. Einer dieser speziellen Tarife wird für Wandladeboxen angeboten. Wenn mehr Strom benötigt wird als im Moment ins Netz eingespeist wird, kann die Ladung der Elektrofahrzeuge an diesen Wandladeboxen unterbrochen werden. Dadurch verringert sich der Verbrauch und eine Stabilisierung wird erreicht. Zu einem späteren Zeitpunkt können die Wandladeboxen dann wieder zugeschaltet werden.

6. Förderprogramme für den Verkehrsbereich

(Stand: 02.07.2018)

6.1. EU

6.1.1. Europäischer Energieeffizienzfonds (EEEF)

- Förderberechtigte: Unternehmen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen
- Förderbereiche: Projekte zur Energieeinsparung, zu erneuerbaren Energien und zum öffentlichen Verkehr
- Ziel der Förderrichtlinie: Unterstützung der EU-Mitgliedstaaten bei der Umsetzung ihres Ziels, bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 20 % zu senken, die Nutzung erneuerbarer Energien um 20 % zu erhöhen und den Energieverbrauch durch Energieeffizienzmaßnahmen um 20 % zu verringern
- Förderschwerpunkte: Fokus liegt auf kommunaler und regionaler Ebene
- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: bis zu 15 Jahre
- Finanzierung: in Form von Darlehen, Nachrangdarlehen, Garantien, Beteiligungen und anderen Finanzinstrumenten - direkte Investitionen des Fonds zwischen 5 Mio. € und 25 Mio. €

6.1.2. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

- Förderberechtigte: Unternehmen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen, Verbände/Vereinigungen
- Förderbereiche: Innovation und Forschung, digitale Agenda, Förderung kleiner und mittlerer Unternehmen, CO_2-arme Wirtschaft sowie nachhaltige Stadtentwicklung
- Ziel der Förderrichtlinie: Beseitigung von Ungleichheiten zwischen den verschiedenen Regionen
- Förderschwerpunkte: u. a. Förderung von Nachhaltigkeit im Verkehr und Beseitigung von Engpässen in wichtigen Netzinfrastrukturen
- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: 2014 – 2020
- Finanzierung: Kofinanzierung nationaler und regionaler Programme, Förderquoten zwischen 50 % und 85%, abhängig vom Entwicklungsgrad der betroffenen Region

6.2. Bund

6.2.1. Förderrichtlinie zur Förderinitiative FuE Elektromobilität v. 08.12.17, BMWi/BMUB

Volltitel: Förderrichtlinie zu einer gemeinsamen Förderinitiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität
Förderaufruf „Errichtung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im engen Zusammenhang mit dem Abbau bestehender Netzhemmnisse sowie dem Aufbau von Low Cost-Infrastruktur und Mobile Metering-Ladepunkten“ im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft 2017 bis 2020“ zuletzt v. 28.12.17, BMWi

- Förderberechtigte: betroffene Kommunen, Unternehmen, Forschungseinrichtungen
- Förderbereiche: Demonstrationsräume (Reallabore) zur Erprobung des Abbaus von Netzausbauhemmnissen, Low Cost-Ladeinfrastruktur, Ladeinfrastrukturlösungen mit intelligentem Management in nicht öffentlich-zugänglichen Räumen (Betriebshöfe, Arbeitgeberparkplätze etc.), Errichtung von intelligenten Ladesystemen für das privat motivierte Parken und Laden (Parkhaus in Mehrfamilienhäusern, öffentlich zugängliche Parkhäuser)
- Ziel der Förderrichtlinie: Verringerung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen in Städten und Ballungsräumen, kurzfristige und nachhaltige Verbesserung der Luftqualität
- Förderschwerpunkte: schneller Aufbau von Ladeinfrastruktur unter wissenschaftlicher Begleitung durch eine Forschungseinrichtung
- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: Zweistufiges Verfahren, Einreichung von Projektskizzen nach Förderaufrufen
- Finanzierung: bis zu 100 % der zuwendungsfähigen Ausgaben

6.2.2. Förderrichtlinie Erneuerbar Mobil v. 08.12.17, BMUB / BMWi

- Förderberechtigte: Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft
- Förderbereiche: Elektrifizierung des urbanen Wirtschaftsverkehrs (leichte Nutzfahrzeuge), Elektrifizierung von Taxis, Mietwagen und Carsharing
- Ziel der Förderrichtlinie: Erhöhung der Lebensqualität und nachhaltige Stadtentwicklung
- Förderschwerpunkte: Beschaffung von Neufahrzeugen mit Elektroantrieb & für den Betrieb der Fahrzeuge notwendige Ladeinfrastruktur
- Aktueller Status: veröffentlicht, laufend Aufrufe i.R.d. Sofortprogramms Saubere Luft

- Laufzeit: 08.12.17 – 31.12.20
- Finanzierung: Nicht rückzahlbarer Investitionszuschuss i.H.v. 40 % (Großunternehmen) bis 60 % (Kleine Unternehmen)

6.2.3. Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland v. 13.02.17

FRL überarbeitet am 28.06.17, BMVI (über BAV)

- Förderberechtigte: Betroffene Kommunen, Forschungseinrichtungen (mind. eine erforderlich), Unternehmen
- Förderbereiche: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im engen Zusammenhang mit dem Abbau bestehender Netzhemmnisse, Aufbau von Low Cost-Infrastruktur, Mobile Metering-Ladepunkte
- Ziel der Förderrichtlinie: Lademöglichkeiten für Fahrzeugbesitzer ohne private Lademöglichkeit, betriebliche Anwendungsfälle , wissenschaftliche Themenfelder (Versorgungssichere Netzintegration, Geschäftsmodelle, Nutzerpräferenzen)
- Förderschwerpunkte: Aufbau von intelligenter/netzdienlicher Ladeinfrastruktur, Demonstrationsräume (Reallabore), Low Cost-Ladeinfrastruktur
- Aktueller Status: Unter Förderaufruf v. 14.09.17 wurden 280 von 1.591 Anträgen bewilligt, darunter der Antrag der SWMR für vier E-Ladesäulen
- Laufzeit: max. 3 Jahre, Fokus liegt auf schnellem Aufbau und Bearbeitung von Forschungsfragen
- Finanzierung: Unternehmen 40 % bis max. 50 %

6.2.4. Förderrichtlinie Elektromobilität v. 09.06.15, BMVI

FRL überarbeitet am 05.12.17

- Förderberechtigte: Kommunen, Kommunale Unternehmen (u. a.)
- Förderbereiche: Beschaffung von (je Antrag mind. fünf) Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur, kommunale E-Mobilitätskonzepte, FuE-Vorhaben
- Ziel der Förderrichtlinie: Erhöhung der E-Fahrzeugzahlen (kommunale Flotten & Ladeinfrastruktur), Ausbau erneuerbarer Energien für den Verkehrssektor
- Förderschwerpunkte: E-Fahrzeuge (Pkw / Busse / Nutzfahrzeuge / Leichtfahrzeuge): reine E-Fahrzeuge und PlugIn-Hybride, für den Betrieb notwendige Ladeinfrastruktur, Einsatzkontexte: Behördliche Flotten, ÖPNV, Carsharing (u. a.)
- Aktueller Status: 1. Förderaufruf mit Frist 31.08.18, weitere Aufrufe im Sofortprogramm geplant, regionale Förderaufrufe für E-Fahrzeuge/Ladeinfrastruktur im 1. Halbjahr 2018

- Laufzeit: 30.06.15 – 31.12.20
- Finanzierung: ca. 30 Mio. € / Jahr sowie über Sofortprogramm Saubere Luft 2017 – 2020: zusätzlich 175 Mio. €

6.2.5. Nationale Klimaschutzinitiative: Förderaufruf Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte

Förderaufruf insb. in den Bereichen Abfall-, Abwasserbeseitigung, Energie- und Ressourceneffizienz und Grün in der Stadt. Im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft darf mit Maßnahmen vor Antragstellung begonnen werden.

- Förderberechtigte: Kommunen (auch Zusammenschlüsse) & Betriebe, Unternehmen und sonstige Einrichtungen (mind. 50,1% kommunal)
- Ziel der Förderrichtlinie: deutliche Treibhausgasminderung, bundesweite Ausstrahlung zur weiteren Nachahmung
- Förderschwerpunkte: Investive Projekte mit Modellcharakter in den Bereichen Abfallentsorgung, Abwasserbeseitigung, Energie- und Ressourceneffizienz sowie Grün in der Stadt. Darüber hinaus im Rahmen des Sofortprogramms: Projekte in den Bereichen Verkehr und Mobilität
- Aktueller Status: Zuletzt Förderaufruf vom 01.12.16 mit Antragsfrist 15.04.18
- Laufzeit: mind. 12 Monate, max. 36 Monate
- Finanzierung: Förderquote bis zu 80 % (finanzschwache Kommunen bis zu 90 %), mind. 200 T€, max. 5 Mio. €

6.2.6. Nationale Klimaschutzinitiative: Kommunalrichtlinie, BMUB

Diverse kleinere investive Klimaschutzmaßnahmen

- Förderberechtigte: Kommunen & Betriebe, Unternehmen und Organisationen (mind. 50,1% kommunal)
- Förderbereiche: Bezug Sofortprogramm: Klimaschutz und nachhaltige Mobilität
- Ziel der Förderrichtlinie: Reduzierung von Treibhausgasemissionen, Klimaschutz auf kommunaler Ebene, Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung
- Förderschwerpunkte: Ergänzung vorhandener Radwegenetze, LED-Beleuchtung neu errichteter Radwege, Errichtung verkehrsmittelübergreifender Mobilitätsstationen, Errichtung von Radwegweisungssystemen, Errichtung von Radabstellanlagen, Erarbeitung von Mobilitätskonzepten & Umsetzung durch Klimaschutzmanagement
- Aktueller Status: Programmlaufzeit bis 31.12.19, Antragsfenster 01.07.18 – 30.09.18
- Laufzeit: i.d.R. 2 Jahre, maximal 3 Jahre

- Finanzierung: Förderquote bis zu 50 % (finanzschwache Kommunen bis zu 62%), mind. 10 T€, max. 350 T€

6.2.7. Bundeswettbewerb Klimaschutz durch Radverkehr

- Förderberechtigte: Kommunen (auch Zusammenschlüsse) & Betriebe, Unternehmen und sonstige Einrichtungen (mind. 50,1% kommunal)
- Ziel der Förderrichtlinie: Beitrag zum Klimaschutz, Verbesserung der Radverkehrssituation
- Förderschwerpunkte: Investive Projekte mit Modellcharakter
- Aktueller Status: letzter Förderaufruf vom 01.02.2017 mit Antragsfrist 15.05.18
- Laufzeit: bis zu 3 Jahre
- Finanzierung: Förderquote bis zu 70 % (finanzschwache Kommunen bis zu 90 %), mind. 200 T€

6.2.8. Finanzhilfen für Radschnellwege, BMVI

- Förderberechtigte: Länder und Kommunen
- Ziel der Förderrichtlinie: Reduzierung von Lärmbelastung und Schadstoffemissionen, Beitrag zum Klimaschutz
- Förderschwerpunkte: Radschnellwege insbesondere für urbane Räume und Metropolregionen
- Aktueller Status: Gesetz in Kraft, Verwaltungsvereinbarung wird mit Ländern abgestimmt
- Laufzeit: offen
- Finanzierung: 25 Mio. € p.a. als Finanzhilfen für Länder und Kommunen

6.2.9. Förderung von Lastenrädern, BMUB

- Förderberechtigte: u. a. kommunale Unternehmen und Kommunen
- Ziel der Förderrichtlinie: Förderung der Anschaffung von E-Lastenrädern
- Förderschwerpunkte: neue Lastenräder oder -anhänger
- Aktueller Status: Veröffentlichung Förderaufruf im März 2018
- Laufzeit: offen
- Finanzierung: 30 % oder max. 2.500 € pro Lastenfahrrad

6.2.10. Nationaler Radverkehrsplan 2020

- Förderberechtigte: Städte und Gemeinden
- Ziel der Förderrichtlinie: Den Radverkehr attraktiver und sicherer zu machen sowie den sog. Umweltverbund aus ÖPNV, Fuß- und Radverkehr insgesamt zu stärken
- Förderschwerpunkte: nicht investive Modellprojekte, die in besonderem Maße innovativ und auf andere Städte und Regionen übertragbar sind (jährlich zwei Förderschwerpunkte)
- Aktueller Status: veröffentlicht, nächster Förderaufruf zur Einreichung von Projektideen für das Förderjahr 2019 erfolgt im Frühjahr 2018
- Laufzeit: 01.08.18 (für Förderjahr 2019)
- Finanzierung: insgesamt 3,2 Mio. € jährlich

6.2.11. Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV, BMUB

- Förderberechtigte: Verkehrsbetriebe der gewerblichen Wirtschaft oder der öffentlichen Hand
- Förderbereiche: Elektrifizierung der Busse im ÖPNV, schwerpunktmäßig Umstellung von Flotten in Städten mit Überschreitung der Schadstoffgrenzwerte
- Ziel der Förderrichtlinie: Unterstützung der Markteinführung von Elektro- und Plug-In-Hybridbussen, Senkung der Treibhausgasemissionen, Luftreinhaltung, Lärmschutz
- Förderschwerpunkte: Beschaffung (Kauf oder Leasing) von (mind. sechs) Elektrobussen. Konkret gefördert werden Plug-In-Hybridbusse, Batteriebusse, Ladeinfrastruktur, Kosten für Schulungen und Werkstatteinrichtungen.
- Laufzeit: Richtlinie v. 05.03.18. Erster Skizzenaufruf im Frühjahr 2018, dann jährlich, ggf. zusätzlicher Aufruf im Herbst 2018, Laufzeit: bis 31.12.21
- Finanzierung: Nicht rückzahlbarer Investitionszuschuss bis zu 80 % der Mehrkosten für Batteriebusse (Referenz: EURO VI Diesel-Bus) bzw. bis zu 40 % der Mehrkosten für Plug-In-Hybridbusse, Ladeinfrastruktur und weiterer Kosten, Notifizierung durch EU am 26.02.18 erfolgt

6.2.12. Förderrichtlinie Automatisiertes und vernetztes Fahren, BMVI

- Förderberechtigte: Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Gebietskörperschaften und Forschungseinrichtungen
- Förderbereiche: Vorhaben, die Fragestellungen in Zusammenhang mit höheren, über die Teilautomatisierung hinausgehenden Fahrfunktionen sowie Vernetzung

und Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur betrachten
- Ziel der Förderrichtlinie: Unterstützung der Einführung automatisierter Fahrfunktionen und vernetzter Verkehrssysteme in Deutschland
- Förderschwerpunkte: Zusammenwirken von Fahrer und Fahrzeug, Organisation des Straßenverkehrs, Kooperation und Vernetzung, gesellschaftliche Aspekte
- Aktueller Status: veröffentlicht, Zweistufiges Antragsverfahren
- Laufzeit: Richtlinie v. 30.08.17, Laufzeit bis 30.06.20
- Finanzierung: nicht rückzahlbarer Zuschuss in Form einer Anteilsfinanzierung

6.2.13. Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme v. 31.01.18, BMVI

- Förderberechtigte: Städte und Gemeinden, die von einer Grenzwertüberschreitung betroffen sind sowie kommunale Unternehmen einer betroffenen Stadt und Landkreise, in denen eine betroffene Stadt/Gemeinde liegt oder an diese angrenzt
- Förderbereiche: Digitalisierung, intelligente Verkehrssysteme, Verkehrsdaten
- Ziel der Förderrichtlinie: Umsetzung von Vorhaben im Bereich der Digitalisierung des Verkehrssystems, die kurz bis mittelfristig zur Emissionsreduzierung der Luftschadstoffe beitragen – u. a. Angebote zur Stärkung des ÖPNV, Einsatz von automatisierten Fahrzeugen, Vernetzung und Verfügbarmachung von Daten
- Förderschwerpunkte: Erhebung, Bereitstellung u. Nutzung von Daten, Verkehrsplanung/-management, Automation/Vernetzung
- Aktueller Status: Inkrafttreten Januar 2018, Förderaufrufe Januar, April und Juni 2018
- Laufzeit: bis 31.12.20
- Finanzierung: grundsätzlich 50 %, bei Gebiet mit geringer Wirtschaftskraft bis max. 70 %

6.2.14. Förderung für intelligente Verkehrssteuerung, BMUB

- Geplante Förderung einer klimafreundlichen, intelligenten Verkehrssteuerung im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kommunalrichtlinie), noch keine Details bekannt

6.2.15. Förderrichtlinie für die Nachrüstung von Diesel-Bussen im ÖPNV, BMVI

- Förderberechtigte: Gebietskörperschaften, Verkehrsverbünde sowie öffentliche und private Verkehrsunternehmen
- Förderbereiche: Nachrüstung von Diesel-Bussen der Schadstoffklassen A, B1, B2 und C (Euro III, IV, V und EEV)
- Ziel der Förderrichtlinie: Verbesserung der Luftqualität in Städten
- Förderschwerpunkte: System- und externe Einbaukosten der Nachrüstung von Abgasnachbehandlungssystemen
- Aktueller Status: Richtlinie v. 21.02.18, geändert am 18.05.18
- Laufzeit: Februar 2018 bis Dezember 2020
- Finanzierung: Insgesamt 107 Mio. €, Höchstbetrag pro Fahrzeug 15 T€ und 40 % der Umrüstungskosten (bei großen Unternehmen)

6.2.16. Förderrichtlinie Modernitätsfonds (mFUND), BMVI

- Förderberechtigte: Unternehmen
- Förderbereiche: FuE-Vorhaben, die auf Mobilitäts-, Geo- und Wetterdaten basieren
- Ziel des Programms: Förderlinie 1: Machbarkeitsstudien, Förderlinie 2: Umsetzung
- Förderschwerpunkte: Navigationsdienste, Sharing-Plattformen
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich für Förderlinie 1, für Förderlinie 2 nach Förderaufruf (derzeit kein offenes Förderfenster)
- Laufzeit: bis 31.10.17, gem. Koalitionsvertrag Fortschreibung beabsichtigt
- Finanzierung: Förderlinie 1: üblicherweise 50 % Zuschuss max. 100 T€, Förderlinie 2: max. 3 Mio. €

6.2.17. KfW-Programm 148 Investitionskredit Kommunale und Soziale Unternehmen

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen mit mind. 50 % kommunalem Gesellschafteranteil
- Förderbereiche: u. a. Breitbandausbau, Ver- und Entsorgung, Verkehrsinfrastruktur, Beteiligungen
- Ziel des Programms: Förderung kommunale Infrastruktur
- Förderschwerpunkte: s.o.
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich

- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Kredit bis max. 50 Mio. €, Konditionen abhängig von Bonität und Sicherung, derzeit 1,5 % bei 10 Jahren Laufzeit und Zinsbindung

6.2.18. KfW-Programm 037 KFW-Unternehmerkredit

- Förderberechtigte: Unternehmen
- Förderbereiche: Investitionen in alle unternehmerisch erforderlichen Gegenstände, z.B. Anlagen, Grundstücke, Gebäude, Fahrzeuge, Lizenzen, Breitbandausbau
- Ziel des Programms: Förderung der Wirtschaft
- Förderschwerpunkte: s.o.
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Kredit bis zu 25 Mio. €, ggf. Übernahme 50 % Haftung/Kreditausfallrisiko durch die KfW

6.2.19. KfW-Programm 219 IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen mit mehrheitlich kommunalem Gesellschafteranteil
- Förderbereiche: Neubau und Sanierung von Nichtwohngebäuden
- Ziel des Programms: Verbesserung der energetischen Gebäudeeffizienz zu KfW-Effizienzhaus oder Einzelmaßnahmen
- Förderschwerpunkte: Dämmung und Gebäudetechnik
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Kredit bis zu 25 Mio. €, Konditionen abhängig von Bonität und Sicherung, derzeit 1,0 % bei 10 Jahren Laufzeit und Zinsbindung, Tilgungszuschuss von 5 %-17,5 %

6.2.20. KfW-Programm 433 Energieeffizient Bauen u. Sanieren Zuschuss Brennstoffzelle

- Förderberechtigte: u. a. (kommunale) Unternehmen, Contracting-Geber
- Förderbereiche: Einbau stationäre Brennstoffzellen in Gebäude
- Ziel des Programms: Förderung Brennstoffzellen
- Förderschwerpunkte: Einbau, Vollwartungskosten, Kosten Energieeffizienzexperte

- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Zuschuss zwischen 7 T€-28 T€, abhängig von der Leistungsklasse, Kombination mit BAFA-Förderung nach dem KWK-Gesetz möglich

6.2.21. KfW-Programm 240 KfW-Umweltprogramm

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen, Contracting-Geber
- Förderbereiche: Investitionen in Umweltschutz und Nachhaltigkeit
- Ziel des Programms: Umweltschutz
- Förderschwerpunkte: Ressourceneinsparung, Abfallvermeidung, Wasser und Abwasser, Altlastensanierung, Elektro-/Hybridfahrzeuge, Ladestationen für E-Fahrzeuge, Wasserstofftankstellen
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Kredit bis zu 10 Mio. €, Konditionen abhängig von Bonität und Sicherung, derzeit 1,2 % bei 10 Jahren Laufzeit und Zinsbindung

6.2.22. KfW-Programm 230 BMUB-Umweltinnovationsprogramm

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen mit kommunaler Beteiligung
- Förderbereiche: Großtechnische, nicht marktreife Pilotvorhaben
- Ziel des Programms:
- Förderschwerpunkte: Wasser/Abwasser, Abfall, Luftreinhaltung, Klimaschutz
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich (Projektskizze, dann Antrag)
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: 30 %-Zuschuss oder Kredit bis zu 70 % der Kosten fünf Jahre lang durch das BMUB vergünstigt, derzeit 1,95 % für bis zu 30 Jahre Laufzeit

6.2.23. KfW-Programm 234 IKU – Barrierearme Stadt

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen mit mind. 50 % kommunalem Gesellschafteranteil
- Förderbereiche: Öffentliche Gebäude, Verkehr, öffentlicher Raum
- Ziel des Programms: Barrierearme Infrastruktur

- Förderschwerpunkte: Erschließung Straßenbahnstationen, Haltestellen, Informationssysteme, Absenkung Bürgersteige, Stellplätze, Grünanlagen, Spielplätze
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: Kredit bis zu 50 Mio. €, Konditionen abhängig von Bonität und Sicherung, derzeit 1,0 % bei 10 Jahren Laufzeit und Zinsbindung

6.2.24. BAFA Elektromobilität (Umweltbonus)

- Förderberechtigte: u. a. Unternehmen
- Förderbereiche: Elektro-/Hybrid-/Brennstoffzellenfahrzeuge und Fahrzeuge (Antriebsart unerheblich) mit weniger als 50 g CO_2-Emission der Fahrerlaubnisklasse B, soweit auf der BAFA-Liste der zulässigen Fahrzeuge und günstiger als 60 T€ netto
- Ziel des Programms: Lokal emissionsarme Fahrzeuge
- Förderschwerpunkte: s.o.
- Aktueller Status: Förderanträge jederzeit möglich (erst Bereitstellung, Bestellung, hinterher Verwendungsnachweis)
- Laufzeit: unbegrenzt
- Finanzierung: 2 T€ für E- und Brennstoffzellenfahrzeuge, 1,5 T€ für Hybrid und solche mit weniger als 50 g CO_2-Emission

6.3. Hessen

6.3.1. Förderung der Nahmobilität v. 21.08.17, HMWEVL über AGNH

- Förderberechtigte: Gemeinden, Gemeindeverbände und Zweckverbände, ab 2018 auch Verkehrs- und Verkehrsinfrastrukturunternehmen
- Förderbereiche: investive Maßnahmen zur Erhöhung der Attraktivität und Verkehrssicherheit des Fuß- und Radverkehrs, Planungen und Konzepte, Öffentlichkeitsarbeit
- Ziel der Förderrichtlinie: Stärkung der Nahmobilität zu Fuß und mit dem Rad
- Aktueller Status: rückwirkend zum 1. Januar 2017 in Kraft getreten
- Laufzeit: Antragstellung kann jederzeit erfolgen
- Finanzierung: grundsätzlich Zuschuss bis zu 70 %, bei Vorhaben von besonderem Landesinteresse auch bis zu 80 % der zuwendungsfähigen Ausgaben

6.3.2. Innovationsrichtlinie des Landes Hessen v. 26.12.16, HMWEVL

- Förderberechtigte: Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen
- Förderbereiche: Teilbereiche Elektromobilität und Elektrobusse
- Ziel der Förderrichtlinie: Entwicklung marktfähiger Produkte, Verfahren und Dienstleistungen
- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: Zweistufiges Verfahren, Einreichung von Projektskizzen in 2018 mit 4-wöchiger Frist vor nächster Gremiensitzung möglich, spätestens am 11.10.18
- Finanzierung: E-Mobilität: 50 % Zuschuss, E-Busse: 40 % der Mehrausgaben, 40 % Zuschuss für Ladeinfrastruktur

6.3.3. Innovationsförderung – Elektrobusse, Richtlinien v. 08.12.16, HMWEVL

- Förderberechtigte: Unternehmen, Kommunen, Öffentliche Einrichtungen
- Förderbereiche: Beschaffung von neuen Omnibussen mit elektrischem Antrieb sowie Aufbau der für den Betrieb erforderlichen Infrastruktur
- Aktueller Status: Veröffentlicht, Überarbeitung am 16.01.2018
- Laufzeit: Jahr 2018 (begrenzt auf insgesamt 5 Mio. €), Anträge jederzeit möglich
- Finanzierung: Elektrobusse bis zu 40 % der Investitionsmehrausgaben zu einem herkömmlichen Bus, für Infrastruktur bis zu 40 % der Investitionsausgaben (max. pro Ladepunkt 400 € pro kW installierter Ladeleistung und 100 T€ für den Netzanschluss pro Standort)

6.3.4. Richtlinie kommunale Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekte v. 01.01.16, HMUKLV

Volltitel: Richtlinie zur Förderung von kommunalen Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten sowie kommunalen Informationsinitiativen

- Förderberechtigte: hessische Gemeinden, Städte und Landkreise, deren Zusammenschlüsse und Zweckverbände sowie kommunale Unternehmen
- Förderbereiche: Klimaschutzmaßnahmen: Maßnahmen sowie Pilot- und Demonstrationsvorhaben zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen sowie zur Begrenzung der negativen Auswirkungen des Klimawandels (auch in Nähe zu Windenergieanlagen), Informationsinitiativen, Beteiligung an Wettbewerben der EU oder des Bundes,
- Ziel der Förderrichtlinie: Initiierung und Verbreitung von kommunalen Maßnahmen zur dauerhaften Reduzierung der Treibhausgasemissionen

- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: 01. Januar 2016 bis 31. Dezember 2020
- Finanzierung: Anteilfinanzierung als nicht rückzahlbarer Zuschuss von i.d.R. 50 % der zuwendungsfähigen Ausgaben (max. 70 %), mind. 6 T€, max. 250 T€, Beträge können abh. vom Fördergegenstand variieren

6.3.5. Verkehrsinfrastrukturförderung (VIF) für Straße und Schienen, Hessen Mobil

- Förderberechtigte: Kommunen, Kreise, Verkehrsunternehmen
- Förderbereiche: Neu- und Ausbau von Kreisstraßen, verkehrswichtige Straßen, Gehwege, Radverkehrsanlagen, Radwegweisung, Verkehrsleitsysteme, Güterverkehrszentren. Im ÖPNV: Straßenbahnen, Stadtbahnen, zentrale Omnibusbahnhöfe, Haltestellenanlagen und -ausstattung, Beschleunigungsmaßnahmen, Bahnhofsmodernisierungen usw.
- Ziel der Förderrichtlinie: Sicherstellung und Verbesserung der Mobilität durch die Aufwertung und Funktionsverbesserung von Verkehrsanlagen
- Förderschwerpunkte: Optimierung der Verkehrsverhältnisse von Gemeinden
- Aktueller Status: veröffentlicht
- Laufzeit: Antragstellung bei Hessen Mobil bis zum 31. März des Vorjahres des vom Antragsteller geplanten Baubeginns
- Finanzierung: Bei Bauvorhaben nach dem GVFG-Bundesprogramm bis zu 60 % der zuwendungsfähigen Kosten, im ÖPNV Obergrenze derzeit bei 70 % - Komplementärfinanzierung aus Landesprogramm im Einzelfall möglich, Bagatellgrenze 100 T€

6.3.6. Zusammenfassung aller Förderprogramme und Bewertung

Nr.	Programm	Art	Bemerkung	SWMR-relevant
1	EU – EEEF	Kredit	Nicht vergünstigt	Eher nein
2	EU – EFRE	Zuschuss	national- / regionalspezifisch	Eher nein
3	FRL FuE BMWi/BMUB	Zuschuss	z.T. redundant zu Nr. 4	Eher nein
4	FRL Erneuerbar mobil	Zuschuss	z.T. redundant zu Nr. 3	Eher nein
5	FRL Ladeinfrastruktur BMVI	Zuschuss		Ja
6	FRL E-Mobilität BMVI	Zuschuss	z.T. redundant zu Nr. 26	Ja
7	Nat. Klimaschutzinitiat. Modellpr.	Zuschuss		Eher nein
8	Nat. Klimaschutzin. KommunalRL	Zuschuss		evtl.
9	Klimaschutz durch. Radverkehr	Zuschuss		Eher nein

Nr.	Programm	Art	Bemerkung	SWMR-relevant
10	Finanzhilfen Radschnellwege	Zuschuss	in Vorbereitung	Nein
11	Förderung Lastenräder	Offen	in Planung	Eher nein
12	Nationaler Radverkehrsplan	Zuschuss		Eher nein
13	Anschaffung von Elektrobussen	Zuschuss		evtl.
14	FRL Automat.+vern. Fahren	Zuschuss		Eher nein
15	FRL Digital. komm. Verk.sys BMVI	Zuschuss		evtl.
16	Intelligente Verk.steuerung	Offen	in Planung	evtl.
17	FRL Nachrüst. Diesel-Busse	Zuschuss	40 %, 15 T€ pro Fzg.	Ja
18	Modernitätsfonds mFUND	Zuschuss	beendet, ggf. Neuauflage	Nein
19	KfW-Programm 148	Kredit	kaum vergünstigt	evtl.
20	KfW-Programm 037	Kredit	evtl. 50 % Haftung KfW	evtl.
21	KfW-Programm 219	Kredit/Zusch.	Tilgungszuschuss	evtl.
22	KfW-Programm 433	Zuschuss	Höhe abh. von Leistung	Nein
23	KfW-Programm 240	Kredit	Sicherheitenstellung nötig	evtl.
24	KfW-Programm 230	Kredit/Zusch.	Pilotvorhaben	Nein
25	KfW-Programm 234	Kredit	Sicherheitenstellung nötig	evtl.
26	BAFA Umweltbonus	Zuschuss	z.T. redundant zu Nr. 6	Ja
27	Förd. Nahmobilität Hessen	Zuschuss		Eher nein
28	Inno.RL Hessen	Zuschuss	E-Busse: s. Nr. 29	Nein
29	Innoförd. E-Busse Hessen	Zuschuss	höhere Förd.: Bund Nr. 13	Ja, nach Bund
30	RL Förd. Klimaschutzanp. Hessen	Zuschuss		evtl.
31	Verk.infra.förd. Hessen Mobil	Zuschuss		evtl.

Tabelle 12: Zusammenfassung und Bewertung der Fördermaßnahmen

7. Handlungsempfehlungen

7.1. Nachrüstung von Dieselbussen mit neuer Abgastechnik

Die Prüfung, welche Fahrzeuge aus der Dieselflotte durch eine Aufrüstung der Abgasbehandlung auf den Standard Euro VI oder besser gebracht werden können, hatte zum Ergebnis, dass aus Kosten- und Effizienzgründen nur Fahrzeuge der Schadstoffklasse Euro V zur Umrüstung vorgeschlagen werden. Ansonsten würden die Kosten den Restwert des Fahrzeuges bei weitem übersteigen. Eine Wirtschaftlichkeit wäre auch aufgrund der verbleibenden restlichen Nutzungszeit im Unternehmen – auch im Hinblick auf die erwartete Direktvergabe nicht gegeben.

				NO_X-Ausstoß in kg/Jahr		
Fahrzeug-gattung	**Antriebsart**	**Schadstoff-klasse**	**Anzahl**	**Vor Umbau**	**Nach Umbau**	**Reduktion**
Gelenkbus	Diesel	EURO V	4	2.430	560	1.870
Solobus	Diesel	EURO V	1	410	90	320
Summe:						**2.190**

Tabelle 13: NO_X-Reduzierung durch Einbau von neuen Abgasnachbehandlungssystemen

Die in Tabelle 13 gegenübergestellten NO_X-Emissionen stellen lediglich Annäherungswerte dar und berücksichtigen die vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte. Die Werte sind theoretisch auf Basis der verbrauchten Energie in kWh berechnet worden - der tatsächliche Ausstoß kann demgegenüber nach oben oder unten abweichen. Die Reduzierung der NO_X-Emissionen der ausgewählten Fahrzeuge läge demnach bei 84 %. Für Umbauten mit nachträglichen SCRT-Filtersystemen auf Euro VI kommen derzeit insgesamt 5 Fahrzeuge in Frage.

Das BMVI stellt für einen Umbau 107 Mio. Euro bereit, um die Dieselbusse der Schadstoffklassen Euro III, IV, V und EEV im ÖPNV nachzurüsten. Die Förderrichtlinie ist seit dem 29.3.2018 in Kraft. Voraussetzung für den Erhalt einer Förderung ist, dass die Busse in überwiegend in von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Kommunen eingesetzt sind. Gefördert werden System- und externe Einbaukosten der Nachrüstung von genehmigten Abgasnachbehandlungssystemen zur Reduzierung der Stickstoffdioxidemissionen. Der Fördersatze betragen je nach Unternehmensgröße 40 bis 60 Prozent (Bülles, M., 2018).

Das Verkehrsunternehmen Padersprinter in Paderborn hat dagegen den Stickstoffausstoß eines Euro V/EEV-Dieselgelenkbus des Herstellers MAN, Erstzulassung Februar 2009, einmal in OEM-Ausführung mit Hochdruck-Abgasrückführung (AGR) und einmal nach dem CRT-Prinzip mit regenerierten Sintermetall-Partikelfilter von

HJS und zum anderen mit dem Nachrüstsystem NO_X Buster® des finnischen Herstellers Proventia untersucht.

Die Messungen des Landshuter Instituts Belicon ergeben, dass das System von Proventia im Realbetrieb den Schadstoffausstoß von NO_X um fast 99% reduziert. Die Emissionen befinden sich nahe der versuchstechnischen Nachweisgrenze (Pütz, et al., 2017). Nach Information des Herstellers liegt aktuell (Stand 23.07.2018) die Zulassung bzw. ABE für die Umbausysteme der Abgasanlagen für die relevanten Fahrzeuge vor.

Die Verkehrsbetriebe Mainz haben 2018 mit der Nachrüstung von Abgasnachbehandlungssystemen für insgesamt 98 Dieselbusse der Schadstoffklasse Euro IV und V. begonnen (DVV Media Group, 2018).

Der Umbau der Fahrzeuge wird mit 40 % im Rahmen der Förderrichtlinie für die Nachrüstung von Diesel-Bussen im ÖPNV (S. 54) gefördert.

Fahrzeug-gattung	An-triebsart	Schad-stoffklasse	An-zahl	Umbau-kosten	Förderung	Verbleibende Kosten
Gelenkbus	Diesel	EURO V	4	60.000,00 €	24.000,00 €	36.000,00 €
Solobus	Diesel	EURO V	1	15.000,00 €	6.000,00 €	9.000,00 €
Summe:			**5**	**75.000,00 €**	**30.000,00 €**	45.000,00 €

Tabelle 14: Kosten und Fördermittel für den Einbau von neuen Abgasnachbehandlungssystemen

7.2. Einsatz von Batteriebussen in Marburg, Linie 3

Zunächst wird empfohlen, auf der Linie 3 einen Testbetrieb mit batterieelektrischen Fahrzeugen einzurichten. Die erforderliche Infrastruktur (Ladestationen im Betriebshof und auf der Strecke) ist bereits in Verlauf des Jahres 2019 zu beschaffen, die Fahrzeuge sollten zu Beginn des Jahres 2020 verfügbar sein.

Übertragen auf die Linie 3 in Marburg zwischen den Haltestellen „Moischter Straße“ und „St. Martin-Straße“ ergeben sich für das Konzept „Ladung nach jedem Umlauf“ mit 9 Umläufen pro Werktag bzw. 3.285 Umläufen pro Jahr und einer angenommenen Batterielebensdauer von sechs Jahren, rund 20.000 Ladezyklen. Diese sind nur in der gewünschten Betriebszeit erreichbar, wenn die Batterie mit einem Ladehub von rund 30 Prozent betrieben wird. Ein Umlauf der Linie 3 zwischen den beiden Endhaltestellen und zurück beträgt ca. 20 km, der Energiebedarf zur Bewältigung dieser Strecke zwischen den Ladevorgängen würde bei ca. 44 kWh, also 2,2 kWh/km liegen. Nach Berechnungen der Arbeitsgruppe wäre für die Bewältigung der Strecke eine Batterie mit einer Kapazität von 160 kWh erforderlich. Die Gelegenheitsaufladung der Batterien mittels Pantografen könnte dann an einer der beiden Endhaltestellen erfolgen.

7.3. Neubeschaffung von Fahrzeugen im ÖPNV

Eine Neubeschaffung von Fahrzeugen muss sowohl den ökologischen Bedürfnissen der Universitätsstadt Marburg als auch den ökonomischen Bedürfnissen der Stadtwerke Marburg Unternehmensgruppe entsprechen.

Der Austausch der Fahrzeuge muss den Anforderungen des öffentlichen Dienstleistungsauftrags entsprechen, den die Stadt erteilt.

Der Einsatz der Fahrzeuge soll nach dem folgenden Schema erfolgen:
- Regelverkehr bis 8 Jahre,
- Verstärkerverkehr bis 14 Jahre
- Fahrzeugreserve bis 16 Jahre
- Fahrzeuge, die älter als 16 Jahre sind, müssen zwingend ersetzt werden.

7.4. Vorschlag zur Erneuerung der Omnibus-Flotte von 2020 bis 2030

Aufgrund der Altersstruktur und der Vorgabe des ab 2020 geltenden Öffentlichen Dienstleistungsauftrages, ist die Fahrzeugflotte des Nahverkehrsbetriebes der Stadtwerke Marburg planmäßig zu erneuern. Die Betrachtung der Kleinbusse entfällt, da der Bedarf im Verkehrsbetrieb wegen der Umstellung der AST-Verkehre auf Busverkehre sinkt. Daher wird vorgeschlagen, für Personal- und Ablösefahrten, Kleinfahrzeuge mit elektrischem Antrieb zu beschaffen.

Nach Einschätzung der Arbeitsgruppe ist im Bereich der elektrischen Antriebe zunächst der Aufbau eines HO-Bussystems nur bei einer entsprechenden Förderung Erfolg versprechend. Der Aufbau einer neuen Flotte mit elektrisch angetriebenen Gelenkbussen (HO-Bussystem) würde sich für die Beschaffung ab 2022 anbieten. Die aktuell angebotenen reinen Batteriebusse leiden entweder unter dem Problem einer mangelhaften Reichweite, um wirtschaftlich vertretbar eingesetzt zu werden oder die eingebauten Batterien machen das Fahrzeug so schwer, dass ein verkehrswirtschaftlich sinnvoller Einsatz derzeit nicht denkbar ist, da zum einen die Reichweite leidet und zum anderen das Platzangebot im Fahrzeug mangelhaft ist.

Einsatzstrecken sind nur dann Erfolg versprechend, wenn die Möglichkeit der Unterwegs-Ladung gegeben ist, d.h. die Fahrpläne müssen entsprechende Wendezeiten oder Aufenthaltszeiten an den Haltestellen bieten.

Zum Testen elektrisch betriebener Busse sollte die Beschaffung von Solobussen der Jahre 2019 – 2021 in 2020 zusammengefasst werden – hier könnten für den Einsatz auf der Linie 3 zwischen Cappel-Moischter Straße und Waldtal – St. Martin-Straße 3 Busse mit einem Gelegenheitslade-System zusammen mit der erforderlichen Ladeinfrastruktur an den beiden Endhaltestellen und im Depot beschafft werden.

Da die batteriebetriebenen Fahrzeuge aktuell und absehbar nicht die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Reichweite eines Diesel oder CNG-Fahrzeuges erreichen, könnte ein zu hoher Einsatz von Batteriebussen zu einem Mehrbedarf an Fahrzeugen führen. Daher sollte bei der Ersatzbeschaffung für die ÖPNV-Flotte weiterhin der Verbrennungsmotor mit Erdgas berücksichtigt werden. Mit einer Ausschöpfung der Ressourcen ist noch nicht zu rechnen. Hinsichtlich der Gesamt-Emissionen hat der CNG-Antrieb weiterhin eine erhebliche Bedeutung. Hier sollte der Focus auf einen Austausch der Flotte gelegt werden, um letztendlich die Dieselfahrzeuge weitgehend durch CNG-Fahrzeuge und auf stark frequentierten Strecken durch HO-Busse abzulösen. Sollte die Studie des BMVI ergeben, dass das HO-Bus-System nicht die wirtschaftlich beste Lösung für die Bedürfnisse der Universitätsstadt Marburg ist, sondern der Gelegenheitslader, so kann an Stelle der HO-Busse der Gelegenheitslader zum Zuge kommen.

In 2020 schlägt die AG Mobilität vor, 3 Solobusse als Gelegenheitslader zu beschaffen. Für 2021 wird die Beschaffung von 1 Gelenkwagen mit CNG-Technik vorgeschlagen.

Für 2022 wird mit der Beschaffung von 10 Gelenkwagen der Einstieg in die HO-Bus-Technik vorgeschlagen. Außerdem sollen 3 weitere Gelenkwagen in CNG-Technik beschafft werden, die die Streckenteile ohne Oberleitung bedienen sollen.

Eine differenzierte Betrachtung der Beschaffung der Fahrzeuge ist für die Jahre 2023 bis 2030 nicht möglich. Die vorgeschlagenen Beschaffungen nach Gattung und Antriebsart für den gesamten Betrachtungszeitraum 2019 – 2030 wird in Tabelle 15 dargestellt. Ab 2023 sind die Fahrzeuge entsprechend der geplanten Fahrzeugabgänge zu ersetzen (Tabelle 16).

	2019 - 2030				
	D	**CNG**	**GL**	**HO**	
Solobus	0	4	15	0	19
Gelenkbus	1	13	0	16	30
Anhängerzug	1	0	0	0	1
Midi-Bus	0	0	4	0	4
Gesamt:	2	17	19	16	54

Tabelle 15: Fahrzeugbeschaffung nach Gattung und Antriebsart 2019 – 2030

D: Dieselantrieb; CNG: Erdgasantrieb
GL: Gelegenheitslader, HO: Hybrid-Oberleitungsbus

Nach Abschluss des Beschaffungszeitraums 2019 – 2030 werden – falls dem Vorschlag der Arbeitsgruppe gefolgt wird - insgesamt 54 Fahrzeuge ausgetauscht, davon werden insgesamt 35 Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb ausgestattet sein.

Fahrzeugabgänge 2019 - 2030				
	GKOM	**SOLO*)**	**MIDI**	**Reduzierung NO_x in kg/a**
2019	1			1.263
2020	2	3		6.145
2021	1			1.263
2022	13			9.898
2023	1		2	1.597
2024	2	7		6.549
2025	3	7		6.704
2026			2	825
2027		2		1.037
2028	3			1.823
2029	1			772
2030	3	1		2.431
∑	30	20	4	**40.307**

*)einschließlich Zugmaschine Buszug

Tabelle 16: NO_X-Reduzierung durch Fahrzeugabgänge 2019 – 2030

Die Ausmusterung von älteren Fahrzeugen mit einer nicht mehr zeitgemäßen Abgasreinigung und deren Ersatz wird in den Jahren 2019 bis 2030 zur einer Verbesserung der Luftqualität in der Marburger Innenstadt führen.

Tabelle 16 zeigt das Reduzierungspotential für NO_X, wenn ausschließlich elektrisch angetriebene Fahrzeuge beschafft würden. Innerhalb des Beschaffungszeitraums ist jedoch auch der Ersatz von Fahrzeugen mit Diesel- oder CNG-Antrieben vorgesehen.

	Reduzierung NO_X durch Neubeschaffung / Nachrüstung i. kg	**NO_X-Ausstoß ÖPNV i. kg**
2018	0	44.840
2019	-3.313	41.527
2020	-5.945	35.582
2021	-1.263	34.319
2022	-9.598	24.721
2023	-1.497	23.224
2024	-6.109	17.115
2025	-6.604	10.511
2026	-825	9.686
2027	-957	8.729
2028	-1.723	7.006
2029	-672	6.334
2030	-2.221	4.113

Tabelle 17: Reduzierung der NO_X-Belastung durch die Erneuerung der ÖPNV-Flotte in Marburg

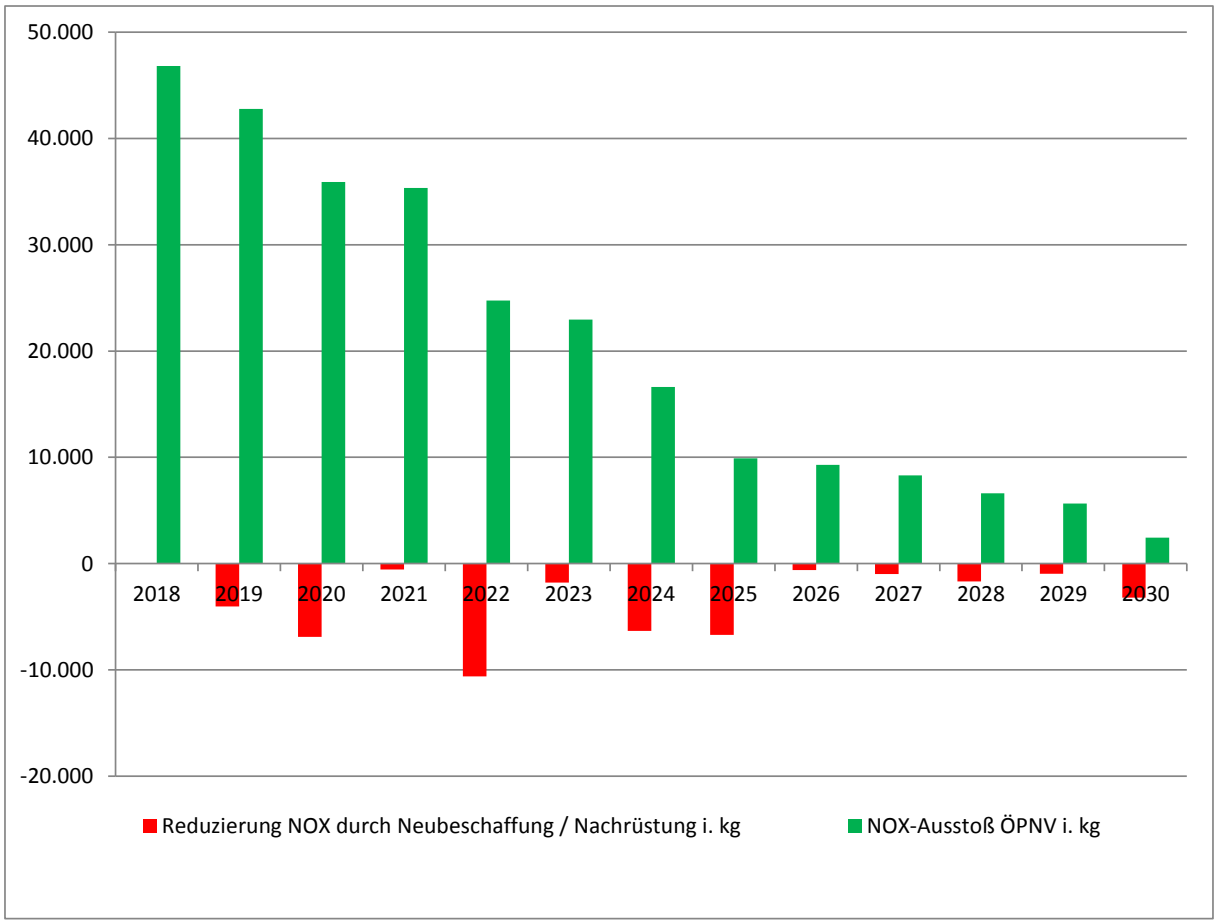


Abbildung 14: Reduzierung der NO_x-Belastung von 2018 bis 2030 durch ÖPNV-Fahrzeuge

Die NO_X-Belastung durch den ÖPNV verringert sich mit der vorgeschlagene Erneuerung der ÖPNV-Flotte bis 2030 auf ca. 9 % des aktuellen Wertes. Diese Reduzierung geht auf den Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, der Ausrüstung von EURO V-Fahrzeugen mit modernster Abgastechnik und auf den Einsatz von modernen und sauberen CNG- und Dieselbussen zurück.

7.5. Neubeschaffung von Nutzfahrzeugen

Im Hinblick auf Neubeschaffungen von Nutzfahrzeugen sollte aus ökologischer Sicht zunächst der Schwerpunkt darauf liegen, den im Fuhrpark vorhandenen hohen Anteil an Fahrzeugen mit EURO-Norm IV und niedriger durch umweltfreundlichere Fahrzeuge zu ersetzen.

Darüber hinaus bietet sich die Umrüstung von EURO V Fahrzeugen auf die EURO VI an. Bei den mittleren und schweren LKWs fallen hierbei Umrüstungskosten zwischen 15.000 bis 20.000 € an. Dafür gibt es bisher für Nutzfahrzeuge - trotz gegenteiliger politischer Ankündigungen - anders als bei Omnibussen keine Förderprogramme. Dementsprechend ist bei der Ersatzbeschaffung neben den ökologischen Aspekten auch die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit für jedes Fahrzeug zu prüfen.

Im Segment der Pritschen- und kleinen Transportfahrzeuge bieten die Hersteller, wie in Kapitel 2.5 bei der Beschreibung der Antriebstechniken für Nutzfahrzeuge dargelegt, unterschiedliche Modelle mit verschiedenen Antrieben an.

Erdgasbetriebene Fahrzeuge sind wegen der vorhandenen Tankstelle für die Stadtwerke Marburg gut geeignet, da keine zusätzlichen Infrastrukturkosten anfallen. Elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge erfordern bei Etablierung dieser Technologie in den Fuhrpark perspektivisch Investitionen in die Ladeinfrastruktur.

Daher ist es unter Abwägung ökonomischer und ökologischer Kriterien eine unternehmerische Entscheidung, welche der verfügbaren Antriebstechniken zum Einsatz kommen soll.

Wie erläutert, werden von verschiedenen Herstellern unterschiedliche alternative Antriebskonzepte für die mittleren und schweren LKWs erprobt. Bisher erfolgte noch keine serienreife Markteinführung. Daher sollten die Ergebnisse der verschiedenen Testprojekte abgewartet werden, bevor hier Investitionsentscheidungen getroffen werden.

Außerdem kämen aufgrund der bisher bekannten Preisforderungen von in der Regel mindestens 100% über den Anschaffungskosten eines konventionell betriebenen LKWs hohe monetäre Belastungen auf die Stadtwerke-Unternehmensgruppe zu.

Am Beispiel der Müllsammelfahrzeuge wird dies schnell deutlich. Ein konventionell angetriebener Hecklader kostet in der Anschaffung 200.000 € bis 230.000 €. Alternativ betriebene Fahrzeuge würden in der Anschaffung nach vorliegenden Erkenntnissen also das Doppelte kosten. Bei durchschnittlich 3 anzuschaffenden Sammelfahrzeugen pro Jahr würde dies für die MEG und die MKG eine zusätzliche finanzielle Belastung in Höhe von 600.000 € bis 690.000 € p.a. bedeuten. Dies ist nicht darstellbar und würde außerdem vor allem im gewerblichen Bereich die Konkurrenzfähigkeit auf dem Markt gefährden.

Daher sollte bis zur Verfügbarkeit von serienreifen LKWs mit Alternativantrieb weiterhin der Schwerpunkt auf dem Diesel-Antrieb liegen. Durch die Einführung der neuen EURO VI-Norm werden hierdurch bereits positive ökologische Effekte gegenüber dem vorhandenen Fuhrpark erreicht.

Davon unberührt sollten die Marktentwicklungen bei alternativen Antrieben für Nutzfahrzeuge weiter beobachtet und ggf. einzelne Fahrzeuge in der Unternehmensgruppe im Echteinsatz getestet werden.

7.6. Ausbau der Ladeinfrastruktur im Bedienungsgebiet der Stadtwerke Unternehmensgruppe

Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge wird vor allem dort benötigt, wo Fahrzeuge länger als eine halbe Stunde parken. Es empfiehlt sich daher in Parkhäusern und auf Stellflächen in der Nähe von Einkaufsmöglichkeiten, großen Arbeitgebern oder Ausflugszielen die Lademöglichkeiten auszubauen. In Marburg bietet sich hier z.B. das Parkhaus Oberstadt am Pilgrimstein an. Arbeitgeber sollten bei dem Aufbau von Ladeinfrastruktur für ihre Mitarbeiter unterstützt werden. Derzeit bieten die Stadtwerke Marburg für Gewerbekunden und Kommunen, die eine eigene Ladesäule auf Ihrem Grundstück bereitstellen möchten, ein Mietmodell inklusive Wartung und Instandsetzung an.

Für Privatpersonen sollte ein attraktives Angebot für Ladeinfrastruktur geschaffen werden, denn ein Elektrofahrzeug wird im Haushalt vor allem nachts geladen. Dies wurde bereits im neuen Förderprogramm „Erdgas- und Elektromobilität 2018/19“ der Stadtwerke Marburg GmbH berücksichtigt. Hier werden zwei Wandladestationen zu vergünstigten Preisen für Kunden angeboten. Zudem wurde ein Tarif speziell für das Laden von Elektrofahrzeugen entwickelt. Um in Zukunft die Aktualität und Attraktivität des Angebots zu gewährleisten, sollten die Kundenbedürfnisse und Entwicklungen in der Elektromobilität überwacht und das Angebot an diese angepasst werden.

8. Fazit

Die Verkehrsunternehmen sind vorsichtig und entscheiden sich aktuell bei der Beschaffung vorwiegend für nur *einen* E-Bus mit der gleichzeitig kostengünstigsten Ladevariante und zwar der Depot-/Nachtladung.

Die in Fachkreisen aktuell diskutierte tatsächliche Verfügbarkeit von E-Bussen von 85 % gegenüber dem Dieselbus ist noch zu gering. Im Umkehrschluss bedeutet dies eine Aufstockung der Fahrzeugreserve, um ein unverändertes Leistungsangebot dem Kunden gegenüber zu gewährleisten.

Die aktuell noch hohen Standzeiten der bei weitem noch nicht serienreifen E-Busse, bedingt durch die häufig defekten elektronischen Bauteile, werden von vielen Verkehrsunternehmen derzeit noch als ein zu hohes Risiko für den Einstieg in die Elektromobilität bewertet.

Insofern wird der Einstieg in den elektrifizierten Busbetrieb für die Stadtwerke Marburg ab 2020 mit 3 Solo-Bussen für die Linie 3 als Gelegenheitslader empfohlen. Dies ermöglicht, erste Erfahrungen mit der Technik der Fahrzeuge und der erforderlichen Infrastruktur auf der Strecke bzw. im Depot zu sammeln, bevor ein nächster großer Schritt hin zur Elektrifizierung des Verkehrs mit dem HO-Bussystem in 2022

mit dem Aufbau der Infrastruktur und der Beschaffung der Fahrzeuge erfolgt. Sollten bis dahin neue Erkenntnisse hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Gelegenheitsladern, Depotladern und dem HO-Bussystem vorliegen, muss die Beschaffung erneut überdacht werden. Gegebenenfalls muss die Beschaffung geschoben werden, um die Planungen weiter zu konkretisieren.

Die Dieseltechnik der neuesten Generation ist sehr sauber und hat nur noch einen geringen Ausstoß an NO_X und Feinstäuben.

Die Batterien und die Ladetechniken werden weiterhin im Mittelpunkt der Betrachtung bzw. der technischen Entwicklungen stehen müssen, damit standardisierte serienreife E-Busse zur Verfügung stehen. Sie bestimmen den Preis, die Reichweite und die Fahrgastkapazität.

Es wird daher empfohlen, sichere und erprobte Technik zu beschaffen, um für die Zukunft keine „Investitionsruinen“ zu schaffen. Daher sollte die Beschaffung von Hybrid-Oberleitungsbussen für die Linien 2 und 7 und in der Zukunft auch für die Linien 1 und 4 vorangetrieben werden. Die beiden letztgenannten Linien könnten von der Ladeinfrastruktur der Linien 2 und 7 teilweise profitieren und bei einer Verbesserung der Batterietechnik in der Zukunft könnte der Ausbau der Oberleitung entfallen.

Voraussichtlich werden auch aufgrund der aktuellen Zusammensetzung der Fahrzeugflotte hinsichtlich des Antriebes und der Schadstoffklasse noch bis 2030 weiterhin Fahrzeuge mit Diesel- und Erdgasantrieb im Bestand sein. Empfohlen ist daher ein Mix der Antriebssysteme Diesel, Erdgas, Batterietechnik und HO-Bus.

9. Abkürzungen

ABE	Allgemeine Betriebserlaubnis
AC	alternating current (Wechselspannung)
AGR	Abgasrückführung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BVG	Berliner Verkehrsgesellschaft
CCCV	constant current constant voltage (Ladeverfahren für Batterien)
CEE	Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment (Internationale Kommission für die Regelung der Zulassung elektrischer Ausrüstungen)
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CNG	Compressed Natural Gas (Komprimiertes Erdgas)
DC	direct current (Gleichspannung)
DOC	Diesel Oxidation Catalytic converter (Dieseloxidationskatalysator)
DoD	Depth of Discharge (Entladetiefe)
DPF	Diesel-Partikelfilter
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle (Europäischer Umweltstandard für Nutzfahrtzeuge, entspricht EURO V)
HO-Bus	Hybrid-Oberleitungsbus
IFAT	Internationale Fachmesse für Abwassertechnik, heute internationale Messe für Wasser-, Abwasser, Abfall und Rohstoffwirtschaft
LCC	Life-cycle-cost
LPG	Liquid-Petrol-Gas (Flüssiggas)
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NO_X	Stickstoff-Oxid (Sammelbegriff)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Erstausrüster)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RFID	radio-frequency identification, (Sender-Empfänger-System zum automatischen und berührungslosen Identifizieren und Lokalisieren)
SRH	Stadtreiniger Hamburg
SCR	Selective Catalytic Reduction (selektive katalytische Reduktion)

Literaturverzeichnis

MAN Truck & Bus On board diagnose [Journal]. - k.A. : k.A., 2016.

Andersson P. [Konferenz] // Trolley-Symposium. - Köln : [s.n.], 2017.

Arnold, H. https://www.pwc.de/de/offentliche-unternehmen/e-bus-radar.html [Online]. - PricewaterhouseCoopers, 23. 01 2018. - 11. 04 2018.

Bäker et. al Was Batterien schneller altern lässt; Untersuchung von Alterungseffekten an Lithium-Eisen-Phosphat-Zellen unter Elektrobus-typischen Rahmenbedingungen [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : Alba Fachverlag GmbH & Co. KG, 2018.

Barnimer Busgesellschaft http://www.bbg-eberswalde.de:80/impressum.php (Barnimer Busgesellschaft, 2010) [Online]. - 2010.

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz (TAB 2007) [Online]. - Juli 2007. - 25. April 2018. - http://stadtwerke-marburg.de/uploads/media/04_TAB_2007_Ausgabe_2011.pdf.

bdew Schon 10.700 Ladepunkte in Deutschland [Online] // bdew.de. - 18. September 2017. - 26. April 2018. - https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/schon-10700-ladepunkte-deutschland/.

Ben Zid H. Betriebsbesichtigung SWMR in Solingen [Konferenz]. - 2018.

bizz energy [Online]. - 19. 02 2018.

bizz energy [Online]. - 19.12.2017.

BMVI http://www.starterset-elektromobilität.de [Online]. - 2018.

Bülles, M. Neue Richtlinie, BMVI fördert Dieselbus-Nachrüstung [Artikel] // NaNa Newsletter. - Hamburg : DVV Media Group GmbH, 2018.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Ladesäulenverordnung (LSV) // Verordnung über technische Mindestanforrderungen an den sicheren und interiparblen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile. - Berlin : [s.n.], 2016.

Bundesregierung Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität [Online]. - August 2009. - 09. Februar 2018. - https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet.pdf?__blob=publicationFile.

Burmeister J. Viele Ansätze - aber noch kein Durchbruch [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : DVV Media Group, 2017. - 10/2017.

Bus und Bahn https://www.busundbahn.de/nachrichten/politik-recht/single-view/news/dieselbusse-bund-foerdert-nachruestung [Online]. - DVV Media Group GmbH, 04. 04 2018. - 11. 04 2018.

Conrad T. Jeden zweiten Tag im Jahr einmal voll [Online] // OP-Marburg. - 03. August 2016. - 09. Februar 2018. - http://www.op-marburg.de/Lokales/Marburg/Jeden-zweiten-Tag-im-Jahr-einmal-voll.

Deloitte Global Truck Study [Journal]. - 2016.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. und Karlsruher Institut für Technologie LADEN 2020: Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von heute bis 2020 [Online] // Institut für Verkehrsforschung. - 15. Dezember 2016. - 26. April 2018. - http://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabid-958/4508_read-43746/.

Dietsche C. [et al.] Nutzerintegration für Smart-Grid-Innovationen [PDF-Dokument] = InnoSmart Arbeitsbericht 03. - Berlin : Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2015.

DVV Media Group Nachrüstung Abgasnachbehandlung [Artikel] // NaNa-Nahverkehrsnachrichten: Nachrichten aus dem gesamten öffentlichen Nahverkehr. - Düsseldorf : DVV Media-Group, 2018. - 15.

EMCEL, Corneille, M. . - 2018.

Esch T. und Dahlhaus, U. Nutzfahrzeugtechnik, Grundlagen, Systeme, Komponenten, 8. Auflage [Buch]. - [s.l.] : Springer Vieweg Verlag, 2016.

Europäische Kommission Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. - Brüssel : [s.n.], 2016. - http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:52016PC0765.

Europäische Union https://www.jurion.de/gesetze/eu/32012r0064/ [Online]. - 23. 01 2012.

Forum goingelectric.de [Online]. - ab 2015. - 09. Februar 2018. - https://www.goingelectric.de/forum/oeffentliche-ladeinfrastruktur/ladeirarstruktur-in-parkhaus-eure-meinung-t27216.html.

Frankfurter Neue Presse [Artikel] // Frankfurter Neue Presse. - 24.05.2018.

Fraunhofer ISI MKS-HO-Bus, Entwurf Endbericht, nicht veröffentlicht [Konferenz]. - 2018.

Gaul M. firmenautos.de [Online]. - 11. März 2018.

Gehrlein Thorsten und Schultes Bernhard Ladesäulen-Infrastruktur [Buch]. - Königswinter : Thorsten Gehrlein, 2017.

Göttinger Tageblatt, Riese, M. Drei Elektrobusse ab Frühjahr 2018 [Journal]. - Göttingen : Göttinger Tageblatt, 2017. - 11.09.2017.

Hildebrand G. Vortrag EURO 6-Motoren von MAN [Konferenz] // k.A.. - k.A. : k.A., 2016.

Hinkelmann C. Nahverkehr Hamburg, Der tägliche Nachrichtendienst für die Metropolregion [Online]. - 20. 03 2018.

Hochbahn Hamburger https://dialog.hochbahn.de/bus-in-zukunft/brennstoffzellenhybridbus-in-hamburg/ [Online]. - 2018.

Hugo, J.; BMVI Workshop Machbarkeit HO-Bussystem in Trier und Marburg [Konferenz]. - Berlin : [s.n.], 2018.

IGDB UniTram Marburg - Konzeptstudie [Bericht]. - 2015.

Karle A. Elektromobilität Grundlagen und Praxis [Buch]. - München : Carl Hanser Verlag, 2017. - ISBN 978-3-446-45099-8.

Köhler C. https://www.springerprofessional.de/betriebsstoffe/nutzfahrzeuge/erlebt-der-wasserstoff-verbrennungsmotor-eine-renaissance-/14234768 [Online]. - Springer Professional, 23. 08 2017. - 10. 04 2018.

Kraftfahrt-Bundesamt Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018 [Online] // www.kba.de. - 1. Januar 2018. - 26. April 2018. - https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html;jsessionid=6CB7C536C6A17CF45C1A2924C370B833.live21303?nn=644526.

Krämer K. Einer für alles - Hess Swisstrolley Plus [Artikel] // Omnibusspiegel. - Bonn : Dieter Hanke Verlag, 2017. - 2017 : Bd. 1.

Kurpjuweit K. Die BVG kommt bei E-Mobilität nicht voran [Journal]. - Berlin : Tagesspiegel, 2017. - 07.08.2017.

Kurpjuweit K. Nahverkehr in Berlin, BVG will emissionsfrei werden [Journal]. - Berlin : Der Tagesspiegel, 2017. - 11.03.2017.

Kwasniewski Nicolai und van Hove Anna Eine Million Elektroautos bis 2020 - schaffen wir das? [Online] // Spiegel Online. - 29. August 2017. - 26. April 2018. - http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/eine-million-elektroautos-bis-2020-schaffen-wir-das-a-1158948.html.

Land Hessen Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellpläten (Garagenverordnung - GaV) [Norm]. - Hessen : [s.n.], 2015.

Leßner A. Die Verkehrswende auf die Straße bringen [Journal] // Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK). - München : [s.n.], 09. Juli 2018. - Juli 2018. - S. 4.

Lunz B. et. al. Potentiale von Energiespeichern zur Elektrifizierung des Nahverkehrs [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : Alba Fachverlag GmbH & Co. KG, 2009. - 7-8 2009.

NaNa [Artikel] // Nahverkehrsnachrichten. - Düsseldorf : DVV Media Group, 2018. - 24.04.2018.

NaNa Busworld Europe 2017, Alternative Antriebe im Fokus [Artikel] // Nahverkehrsnachrichten. - 2017. - 41.

Nationale Plattform Elektromobilität Wegweiser Elektromobilität [Online] // nationale-plattform-elektromobilität. - Juni 2016. - 09. Februar 2018. - http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Wegweiser_Elektromobilitaet_2016_web_bf.pdf.

NDR Sendung vom 08.05.2018 [Bericht]. - 2018.

Pandion M. Beschaffungskonzept - Solingen, Batterie, Oberleitungsbus [Buch]. - [s.l.] : Pandion Traffic Consult, 2015.

Park + Charge Standorte [Online] // park-charge. - 09. Februar 2018. - http://www.park-charge.de/index.php/standorte.html.

Plötz P. Hybrid Oberleitungsbusse [Bericht]. - Karlsruhe : Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung (ISI), 2018.

PlugSurfing GmbH plugsurfing.com/de [Online]. - 2018. - 24. April 2018. - https://www.plugsurfing.com/de/impressum.html.

PTV, Schäuble, H. Nutzen-Kosten-Untersuchung Uni-Tram Marburg [Bericht]. - Karlsruhe : [s.n.], 2018.

Pütz R. On-Road-Emissionsmessung (Pems von EURO-VI-Gelenkomnibussen in Giesen) [Bericht]. - Landshut : Inst. für angewandte Nutzfahrzeugforschung und Abgasanalytik (Belicon), 2016.

Pütz R. und al et Analyse der Lebenszykluskosten von Hybrid-Oberleitungsbussen - Fokuspapier Kostenrechnung Hybrid-Oberleitungsbus [Bericht]. - Landhut : IFEU, belicon LBST, 2015.

Pütz R. und Bronnenberg P Nachrüstung älterer Dieselbusse auf EURO-VI-Niveau [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : DVV Media Group GmbH, 2017. - 10.

Reinke Dipl.-Ing. Justus Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge [Online] // Deutsche Nationale Bibliothek. - 16. Mai 2014. - 24. April 2018. - https://d-nb.info/1066163405/34.

Sarmov, K. et. al. [Artikel] // Solaris Kundenmagazin. - Owinska / Polen : Solaris Bus & Coach, 2018. - 01/2018.

Sauer D. Auf die Batterien kommt es an; Batterie- und Energiespeichertechnologie für Elektrobuss - Trends und Perspektiven [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : DVV Media Group, 2017. - Sonderheft Elektrobusse.

Schmitz M. Entwicklung des E-Bus-Betriebs in Deutschland: Stand und Perspektiven [Artikel] // Der Nahverkehr. - Hamburg : [s.n.], 2018. - 3/2017.

Siepmann D. Der große Parkhaus-Test [Online] // OP-Marburg. - 23. Oktober 2012. - 09. Februar 2018. - http://www.op-marburg.de/Lokales/Marburg/Der-grosse-Parkhaus-Test.

Siepmann Dennis Der große Parkhaus-Test [Online] // OP-Marburg. - 23. Oktober 2012. - 09. Februar 2018. - http://www.op-marburg.de/Lokales/Marburg/Der-grosse-Parkhaus-Test.

Sileo GmbH http://www.sileo-ebus.com/e-busse/e-bus-s18/ [Online]. - Sileo GmbH, 11. 04 2018. - 11. 04 2018.

smartlab Innovationsgesellschaft mbH ladenetz.de [Online]. - 24. April 2018. - https://www.ladenetz.de/impressum.

Sousa A. und Läpple, R. Technik und Umwelt; Eine weitere Alternative zum Dieselmotor [Artikel] // Der Nahverkehr. - Februar 2018. - S. S. 53 ff..

Stadtverkehr Landskrona http://ymtram.mashke.org/sweden/landskrona/landskrona_etb_presentation.pdf [Online]. - o.j..

Stadtwerke Marburg GmbH Elektromobilität [Online] // stadtwerke-marburg.de. - 25. April 2018. - http://stadtwerke-marburg.de/elektromobilitaet.html.

Stephan A. [et al.] Stand und Entwicklungstendenzen bei elektrisch betriebenen Linienbussen, Systemstudie [Bericht]. - Koppl, Östereich : tolley:motion, Verein zur Förderung moderner Trolleybussysteme, 2017.

Stephan A. Stand und Entwicklungstendenzen bei elektrisch betriebenen Linienbussen - Systemstudie [Artikel]. - Salzburg : Koppl, tolley:motion, Verein zur Förderung moderner Trolleybussysteme, 2017.

The New Motion Deutschland GmbH newmotion.com [Online]. - 24. April 2018. - https://newmotion.com/de_DE/impressum.

Umweltbundesamt https://www.umweltbundesamt.de [Online]. - 3. August 2013. - 19. April 2018. - https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid.

Umweltbundesamt https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/420/bilder/dateien/5_tab_grenzwerte-lkw.pdf [Online]. - 01. 04 2015. - 07. 07 2018.

VDV https://www.vdv.de/statistik-personenverkehr.aspx [Online]. - Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V., 2017.

Volvo Busse Deutschland GmbH http://www.volvobuses.de [Online]. - 2017. - 2017.

Wagner Markus Elektromobilität als Baustein der Energiewende - Chancen und Potentiale der zukünftigen Individualmobilität in ausgesuchten Raum- und Siedlungsstrukturen [Online]. - 12. April 2016. - 25. April 2018. - https://mediatum.ub.tum.de/1278582.

Wirtz U. Anlauf zu klimafreundlichem ÖPNV [Artikel] // Zeitung für Kommunale Wirtschaft, ZfK. - München : [s.n.], 2018. - 1.

Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK) [Artikel] // Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK). - 16.05.2018 und 09.07.2018.

Verzeichnis Quellen Förderprogramme

Nr.	Programm	Quelle
1	EU – EEEF	https://www.eeef.eu/home.html
2	EU – EFRE	http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/strukturfonds.html
3	FRL FuE BMWi/BMUB	http://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2017-12/F%C3%B6rderbekanntmachung%20Bundesanzeiger.pdf
4	FRL Erneuerbar mobil	http://www.erneuerbar-mobil.de/
5	FRL Ladeinfrastruk-tur BMVI	https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/konsolidierte-foerderrichtlinie-lis-29-06-2017.pdf?__blob=publicationFile
6	FRL E-Mobilität BMVI	http://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Elektromobilitaet-kompakt/elektromobilitaet-kompakt.html
7	Nat. Klimaschutzini-tiat. Modellprojekte	https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative/modellprojekte
8	Nat. Klimaschutzini-tiat. Kommunalricht-linie	https://www.klimaschutz.de/kommunalrichtlinie
9	Klimaschutz durch Radverkehr	https://www.klimaschutz.de/radverkehr
10	Finanzhilfen Rad-schnellwege	http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/radschnellwege.html?nn=12830
11	Förderung Lasten-räder	http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kleinserien_Klimaschutzprodukte/Schwerlastenfahrraeder/schwerlastenfahrraeder_node.html
12	Nationaler Radver-kehrsplan	https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/bund/nationaler-radverkehrsplan-nrvp-2020
13	Anschaffung von Elektrobussen	http://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/bmub-foerderprogramm/foerderung-von-elektrobussen/
14	FRL Automat.+vern. Fahren	https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/foerderrichtlinie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
15	FRL Digitalisierung komm. Verk.sys. BMVI	https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/digialisierung-kommunaler-verkehrssysteme.html?nn=12830
16	Intelligente Verk.steuerung	https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Saubere-Luft/3-digitalisierung-verkehr-foerderung-bmub.html
17	FRL Nachrüst. Die-sel-Busse	http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/nachruestung-von-dieselbussen-im-oepnv.html
18	Modernitätsfonds mFUND	https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-foerderung.html?nn=337780
19	KfW-Programm 148	www.kfw.de/148
20	KfW-Programm 037	www.kfw.de/037

Nr.	Programm	Quelle
21	KfW-Programm 219	www.kfw.de/219
22	KfW-Programm 433	www.kfw.de/433
23	KfW-Programm 240	www.kfw.de/240
24	KfW-Programm 230	www.kfw.de/230
25	KfW-Programm 234	www.kfw.de/234
26	BAFA Umweltbonus	http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet_node.html
27	Förd. Nahmobilität Hessen	https://www.mobileshessen2020.de/foerderung
28	Inno.RL Hessen	https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/startseite
29	Innoförd. E-Busse Hessen	https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/elektrobusse
30	RL Förd. Klima-schutzanpassung Hessen	https://umwelt.hessen.de/klima-stadt/hessische-klimaschutzpolitik/foerderung-von-kommunalen-klimaschutz-und
31	Verk.infra.förd. Hes-sen Mobil	https://mobil.hessen.de/verkehr/verkehrsinfrastrukturf%C3%B6rderung-vif-f%C3%BCr-stra%C3%9Fe-und-schienen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fahrzeuggattungen des Verkehrsbetriebs der SWMR 7
Tabelle 2: Fahrzeuge nach Schadstoffklassen 8
Tabelle 3: Nutzfahrzeuge und PKW nach Schadstoffklassen 9
Tabelle 4: Vergleichender Schadstoffausstoß Diesel und CNG 9
Tabelle 5: Theoretischer Schadstoffausstoß ÖPNV-Flotte SWMR, Stand 25.07.2018.....10
Tabelle 6: Maximaler Stromverbrauch/km 12 m-Bus 22
Tabelle 7: Beförderungskapazität Gelenkbus (18 m) nach Antriebskonzepten 24
Tabelle 8: Vorgesehene Oberleitungsabschnitte in Marburg (Plötz, 2018) 27
Tabelle 9: AC-Ladeleistung 34
Tabelle 10: Überblick über Elektrofahrzeuge und Ladeleistungen Stand Januar 2018 39
Tabelle 11: Fahrzeugumläufe und Fahrbarkeit mit verschiedenen Antriebstechniken.....45
Tabelle 12: Zusammenfassung und Bewertung der Fördermaßnahmen 60
Tabelle 13: NO_X-Reduzierung durch Einbau von neuen Abgasnachbehandlungssystemen .61
Tabelle 14: Kosten und Fördermittel für den Einbau von neuen Abgasnachbehandlungssystemen.....62
Tabelle 15: Fahrzeugbeschaffung nach Gattung und Antriebsart 2019 – 2030.....64
Tabelle 16: NO_X-Reduzierung durch Fahrzeugabgänge 2019 – 2030 65
Tabelle 17: Reduzierung der NO_X-Belastung durch den ÖPNV in Marburg 65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auswahl von Materialkombinationen für Lithium-Ionen-Batterien 19
Abbildung 2: Funktionsschema Lithium-Ionen-Akkumulator 20
Abbildung 3: Gelenkbus als Gelegenheitslader bei den Verkehrsbetrieben Hamburg-Holstein 23
Abbildung 4: Streckenverlauf der Linien 2 und 7 (FPL 2017) (Plötz, 2018) 27
Abbildung 5: Geplante Oberleitungsstrecken (Plötz, 2018).....28
Abbildung 6: Fotomontage HO-Bus in der Marburger Schwanallee 28
Abbildung 7: Typ 2 Stecker (Quelle Mennekes).....34
Abbildung 8: CHAdeMO-Stecker (links) und CCS-Stecker (rechts) im Vergleich (Quelle: Fotolia) 35
Abbildung 9: Ladesäule der Firma Mennekes.....36
Abbildung 10: Übersicht über den Anteil öffentlicher und privater Ladevorgänge mit Leistungsbedarf. Quelle: Nationale Plattform Elektromobilität.....38
Abbildung 11: Abstellmöglichkeiten für Fahrzeuge nach Größe des Wohnorts (Daten: (Wagner, 2016)) 40
Abbildung 12: Wandladestation mit angeschlagenem Kabel (Quelle: Mennekes).....41
Abbildung 13: Geplante Trasse Uni-Tram Marburg 43
Abbildung 14: Reduzierung der NO_x-Belastung von 2018 bis 2030 durch ÖPNV-Fahrzeuge 66