ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Seeliger, Andreas et al.

Working Paper

Elektrobusse im ÖPNV - Eine technisch/wirtschaftliche Analyse unter Berücksichtigung praktischer Anwendungsbeispiele

Diskussionsbeiträge des Fachbereichs WIrtschaftsingenieurwesen der Hochschule Niederrhein, No. 9

Suggested Citation: Seeliger, Andreas et al. (2016) : Elektrobusse im ÖPNV - Eine technisch/wirtschaftliche Analyse unter Berücksichtigung praktischer Anwendungsbeispiele, Diskussionsbeiträge des Fachbereichs WIrtschaftsingenieurwesen der Hochschule Niederrhein, No. 9, Hochschule Niederrhein, Krefeld

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/162175

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Elektrobusse im ÖPNV

Eine technisch/wirtschaftliche Analyse unter Berücksichtigung praktischer Umsetzungsbeispiele

Andreas Seeliger | Stefan Jeschull | Bernd Krönauer
Stefan Limberg | Christina Schreiner
Mariana Albuquerque C. de Souza
Melanie Verza

Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen der
Hochschule Niederrhein

Band 9

Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences
Wirtschaftsingenieurwesen
Faculty of Industrial Engineering

Diskussionsbeiträge des Fachbereichs Wirtschaftsingenieurwesen
der Hochschule Niederrhein
ISNN 2367-0347

Nr. 9

Elektrobusse im ÖPNV:

Eine technisch/wirtschaftliche Analyse unter Berücksichtigung praktischer Umsetzungsbeispiele

Andreas Seeliger
Stefan Jeschull
Bernd Krönauer
Stefan Limberg
Christina Schreiner
Mariana Albuquerque C. de Souza
Melanie Verza

© Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences
Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen
Reinarzstraße 49
D-47805 Krefeld
Telefon: +49 (0)2151 822-0
Telefax: +49 (0)2151 822-3998

Mai 2016

Department of Industrial Engineering – Discussion Papers
University of Applied Sciences Niederrhein – Krefeld

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abbildungsverzeichnis III

Tabellenverzeichnis IV

Abkürzungsverzeichnis V

1 Einleitung 7

1.1 Hintergrund 7

1.2 Aufbau der Arbeit 7

2 Der Verkehrssektor in Deutschland 9

2.1 Energieverbrauch und Verkehrsleistung 9

2.2 Umweltwirkungen des Verkehrssektors 12

2.3 Bedeutung von Bussen 13

3 Technische Grundlagen zu Linienbussen 14

3.1 Klassifizierung von Linienbus-Fahrzeugtechniken 14

3.2 Ladetechnologien von Linienbussen 18

4 Vergleich ausgewählter Linienbusantriebstechniken unter ökologischen Gesichtspunkten 20

4.1 Methoden zur Energieverbrauchs- und Schadstoffemissionsermittlung 20

4.2 Vergleichende Darstellung 22

5 Wirtschaftlichkeit verschiedener Linienbussysteme 24

5.1 Methodik zur wirtschaftlichen Bewertung (Investitionsrechnung) 24

5.2 Klassifizierung der verschiedenen Kostenarten 25

5.2.1 Fixkosten 25

5.2.2 Variable Kosten 26

5.3 Überblick über die relevanten Kosten der verschiedenen Antriebsarten 27

5.3.1 Diesel 27

5.3.2 Erdgas 28

5.3.3 Wasserstoff 28

5.3.4 Elektrobus/Trolleybus 29

5.3.5 Full-Hybrid 31

5.4 Vergleichende Darstellung 32

6 ÖPNV zwischen Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit 36

6.1 Klimaschutz und ÖPNV auf Ebene der Europäischen Union 36

6.2 Klimaschutz und ÖPNV in Deutschland auf Bundesebene 37

6.3 Klimaschutz und ÖPNV in Nordrhein-Westfalen 39
6.4 Klimaschutz und ÖPNV in Kommunen in Nordrhein-Westfalen 41
6.5 Übersicht über Fördermöglichkeiten von ÖPNV-Projekten 42
7 Fallstudien zum Einsatz von Elektrobussen im ÖPNV 46
7.1 Fallstudien national 46
7.1.1 Düsseldorf/Mönchengladbach (1974) 46
7.1.2 Dresden (2013) 47
7.1.3 Markkleeberg (2013) 48
7.1.4 Braunschweig (2014) 49
7.1.5 Zwischenfazit nationale Fallstudien 49
7.2 Fallstudien international 50
7.2.1 Chattanooga, USA (1992) 50
7.2.2 Turin, Italien (2002) 51
7.2.3 Zhengzhou, China (2011) 53
7.2.4 Baia Mare, Rumänien (2012) 54
8 Fazit und Ausblick 56
Literaturverzeichnis 59
Vita der Autoren 66

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors ... 9

Abb. 2: Entwicklung der Verkehrsleistung in Deutschland ... 10

Abb. 3: Modal Split in Deutschland 2010 und 2030 ... 11

Abb. 4: Schadstoffemissionen des Verkehrssektors ... 12

Abb. 5: Überblick über den Analyserahmen ... 20

Abb. 6: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen verschiedener Linienbus-Antriebstechniken ... 22

Abb. 7: Ladeinfrastrukturkosten in Abhängigkeit der Busanzahl ... 31

Abb. 8: Gesamtkosten pro Jahr für Solobusse ... 32

Abb. 9: Gesamtkosten pro Jahr für Gelenkbusse ... 33

Abb. 10: Kilometerkosten der einzelnen Bus- und Antriebstypen ... 34

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Energieverbrauch und Batteriekosten 30

Tab. 2: Gesamtkosten pro Jahr für Solobusse 32

Tab. 3: Gesamtkosten pro Jahr für Gelenkbussebusse 33

Tab. 4: Abgasgrenzwerte für LKW und Busse nach Verordnung (EG) Nr. 595/2009 37

Tab. 5: Steuervergünstigungen für Elektrofahrzeuge nach §3d Kraftfahrsteuergesetz 42

Tab. 6: Richtlinie zur Förderung der Anschaffung von Diesel-elektrischen Hybridbussen im öffentlichen Nachverkehr 43

Tab. 7: KfW-Umweltprogramme 240 und 241 43

Tab. 8: Förderrichtlinie des BMVI vom 09.06.2015 44

Tab. 9: NRW.BANK.Elektromobilität 44

Abkürzungsverzeichnis

AGR	Abgasrückführung
AC	Alternating Current (Gleichstrom)
AVS	Advanced Vehicle Systems
BeSystO	Bewertungsverfahren für Systeminnovation im ÖPNV
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BRT	Bus Rapid Transit
CARTA	Chattanooga Area Regional Transportation Authority
CCS	Combined Charging System
CDM	Clean Development Mechanism
CNG	Compressed Natural Gas
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CRT	Continuous Regenerating Trap
CtL	Coal-to-Liquids
DARPA	Department of Defense Advanced Research Agency
DC	Direct Current (Wechselstrom)
DOD	Depth of Discharge
EG	Europäische Gemeinschaft
EIEA	Energy Improvement and Extension Act
EU	Europäische Union
EPA	Environmental Protection Agency
EVV	Enhanced Environmental Friendly Vehicle
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
GH2	Gaseous Hydrogen
GtL	Gas-to-Liquids
GTT	Gruppo Torinese Trasporti
HPC	High Power Charging

IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IPT	Inductive Power Transfer
LH2	Liquid Hydrogen
LNG	Liquified Natural Gas
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NO_X	Stickoxide
NRW	Nordrhein-Westfalen
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖPNV	Öffentliche Personennahverkehr
ÖPNV-G NRW	Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Nordrhein-Westfalen
ÖSPV	Öffentliche Straßenpersonenverkehr
PEMS	Portable Measurement System
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
PM	Partikelmasse Feinstaub
PUT	Piano Urbano del Traffico
SCR	Selective Catalytic Reduction
SOC	State of Charge
SORT	Standardized On-road Test Cycles
SVM	Specialty Vehicle Manufacturing
UITP	International Association of Public Transport
VCD	Verkehrsclub Deutschland
VCDB	VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.
WHTC	World Hamonised Transient Cycle
WTT	Well-To-Tank

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Der Mobilitätssektor ist zwar grundsätzlich ein wichtiger Baustein der „Energiewende“, allerdings sind bisher kaum Fortschritte in Richtung Zielerreichung realisiert worden. Diese eher schleppende Umsetzung steht im deutlichen Kontrast zu den Erfolgen im Stromsektor. *[BMWi 2015, S. 42ff]*

Ein wesentlicher Baustein der geplanten Maßnahmen im Verkehrssektor bezieht sich auf eine deutliche Ausweitung der Elektromobilität. Die Politik und auch die öffentliche Wahrnehmung fokussieren dabei aber zumeist auf den PKW-Bereich, dessen Ziele besonders öffentlichkeitswirksam verbreitet wurden („1 Mio. Elektroautos bis 2020“). Weniger häufig werden hingegen Konzepte zur Elektromobilität für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) diskutiert. Dabei könnte in Zukunft eine Umstellung der bisher fast vollständig durch Diesel betriebenen Busflotte auf verschiedenen Elektrobustechnologien von besonderer Bedeutung sein.

Im Rahmen des Master-Studiengangs Energiewirtschaftsingenieurwesen an der Hochschule Niederrhein beschäftigte sich ein studentisches Projekt mit den ökonomischen, ökologischen und rechtlichen Rahmenbedingungen des Elektrobuseinsatzes im ÖPNV. Die wesentlichen Erkenntnisse dieses Projekts sind in der vorliegenden Arbeit zusammengefasst.

1.2 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden der Energieverbrauch und die Emissionen des Verkehrs beleuchtet. Speziell wird dort auf den öffentlichen Personennahverkehr, als Teilsegment des gesamten Verkehrssektors, eingegangen. Kapitel 3 stellt einige alternative Antriebstechnologien für Busse vor und charakterisiert diese anhand der technischen Eigenschaften und den Anforderungen an die Tank- bzw. Ladeinfrastruktur.

Aufbauend auf diesen Grundlagen wird ein ökologischer und ökonomischer Vergleich der Antriebstechnologien durchgeführt. In Kapitel 4 werden diese zunächst unter Emissions- und Energieverbrauchsgesichtspunkten verglichen. Kapitel 5 beinhaltet anschließend die ökonomischen Aspekte aus betriebswirtschaftlicher Sicht, d.h. aus der Perspektive eines Verkehrsbetriebes, der vor einer Investitionsentscheidung steht. Die Betrachtung wird mithilfe einer Kostenvergleichsrechnung durchgeführt, bei der die Anschaffungskosten der Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur sowie die laufenden Kosten für Instandhaltung und die Kosten für Kraftstoffe berücksichtigt werden.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Fokus stärker auf die Elektromobilität im ÖPNV gelegt. In Kapitel 6 wird auf die rechtlichen Rahmenbedingungen eingegangen, von denen Unternehmen des öffentlichen Nahverkehrs betroffen sind. Es wird eine Auswahl relevanter Richtlinien, Gesetze und Verordnungen vorgestellt, die einerseits Umweltschutzthemen und andererseits Fragen der Finanzierung oder Förderung von ÖPNV-Dienstleistungen allgemein sowie speziell von Elektrobusprojekten behandeln. Dabei werden

exemplarisch Rechtsnormen der europäischen, der bundes-, landes- und kommunalpolitischen Ebene vorgestellt.

In Kapitel 7 werden nationale und internationale Projekte über den Einsatz von Elektromobilität im ÖPNV untersucht, um einen Überblick über den aktuellen Stand der Durchdringung zu geben. Die Projekte werden nach einer Reihe von Kriterien untersucht, bspw. technische Spezifikationen, politische Zielsetzung, Rahmenbedingungen der jeweiligen Kommunen oder Finanzierungs- bzw. Fördermechanismen.

Die Arbeit endet mit einem Ausblick über die mögliche Weiterentwicklung der Elektromobilität im öffentlichen Personennahverkehr.

2 Der Verkehrssektor in Deutschland

2.1 Energieverbrauch und Verkehrsleistung

Der Verkehrssektor nimmt mit 24 % des gesamten Primärenergieverbrauchs eine wichtige Rolle in der deutschen Energiebilanz ein. In 2013 betrug der Verbrauch des gesamten Verkehrssektors 3.293 Petajoule (PJ), wovon 70 % auf den Personenverkehr (2.309 PJ) entfielen. In den letzten beiden Jahrzehnten wurden überwiegend positive Verbrauchszuwächse verzeichnet, lediglich unterbrochen von einem größeren Einbruch im Zuge der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise in 2008/2009. Kumuliert betrug der Zuwachs seit 1995 rund 300 PJ bzw. ca. 10 %. *[UBA 2015a]; [UBA 2015b]*

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors ist seit 2005 etwa konstant auf dem Niveau von 2.500 Petajoule pro Jahr (PJ/a) geblieben und betrug im Jahr 2014 fast ein Drittel des Endenergieverbrauchs Deutschlands (8.648 PJ). Die Bundesregierung hat für die Energieeinsparung im Verkehrssektor das Ziel formuliert, im Jahr 2020 10 % weniger Energie zu verbrauchen als 2005. Eine Interpolation des Ausgangs-zustands in 2005 mit dem Ziel in 2020 zeigt jedoch, dass die aktuelle Entwicklung hinter den politischen Zielvorgaben zurückbleibt (Abb. 1). Vor diesem Hintergrund sind aktuelle Diskussionen über Alternativen im Verkehrssektor nicht unangebracht, falls die Zielerreichung nicht aufgegeben werden soll. Angesichts des geringen Anteils des öffentlichen Verkehrswesens sind Maßnahmen in diesem Segment bei einer isolierten Betrachtung für die Zielerreichung kaum relevant. Daher haben die meisten verkehrspolitischen Ansätze den Anspruch, zu einer Verlagerung zum öffentlichen Transport zu führen – bei Betrachtung von Abb. 1 bisher mit mäßigem Erfolg. *[BMVI 2015a, S. 303]; [UBA 2015c]; [UBA 2012, S. 20]; [UBA 2015d]*

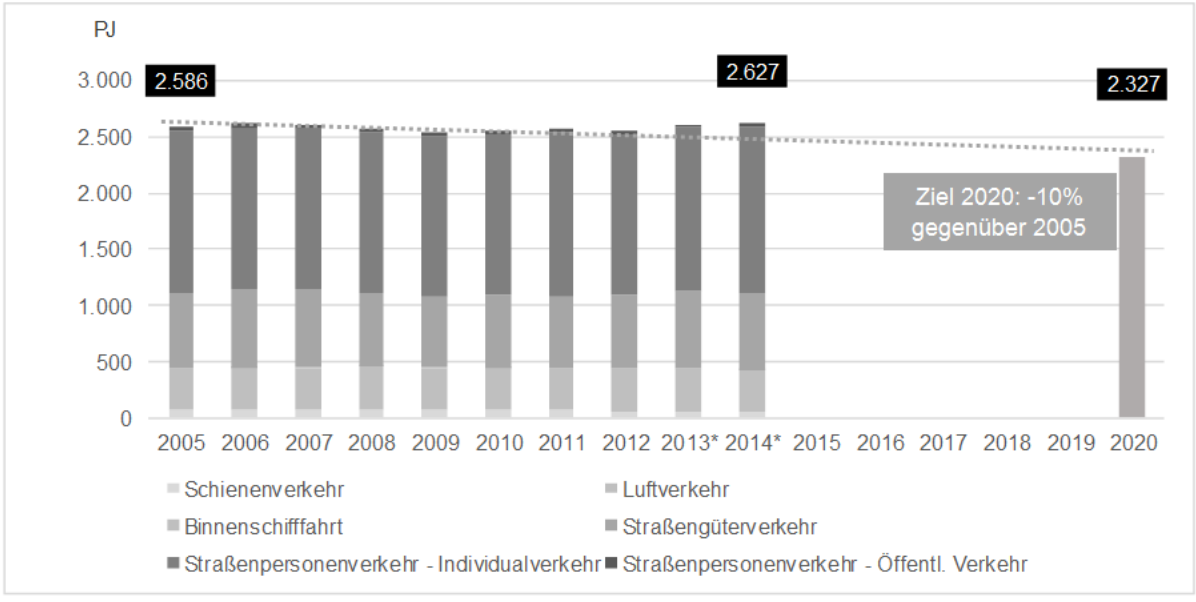

Abb. 1: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors[1]

[1] Eigene Darstellung nach *[UBA 2015e]* und *[BMVI 2015a, S. 303]*.

Mit Hinblick auf die tatsächliche Verkehrsleistung lässt sich zwischen 1995 und 2010 ein Anstieg um 11,6% von 1.011 Mrd. Personenkilometer (Pkm) auf 1.128 Mrd. Pkm beobachten. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bliebt im selben Zeitraum konstant auf niedrigem Niveau (78 Mrd. Pkm), wodurch der Anteil in den letzten Jahren sogar leicht geschrumpft ist (auf rund 7 %). Den größten Anteil an der Verkehrsleistung nimmt der motorisierte individuelle Verkehr (MIV) ein (79,8%). [BMVI 2015a, S. 346]

An diesen Relationen wird sich Prognosen des Bundesverkehrsministeriums zufolge in den kommenden Jahrzehnten wenig ändern. Zwar werden für den ÖPNV bis 2030 Zuwächse auf 83 Mrd. Pkm erwartet (Abb. **2**), da aber v.a. der MIV und der Luftverkehr noch stärker wachsen werden, wird der Prognose zufolge der Anteil des ÖPNV sogar zurückgehen (Abb. 3).

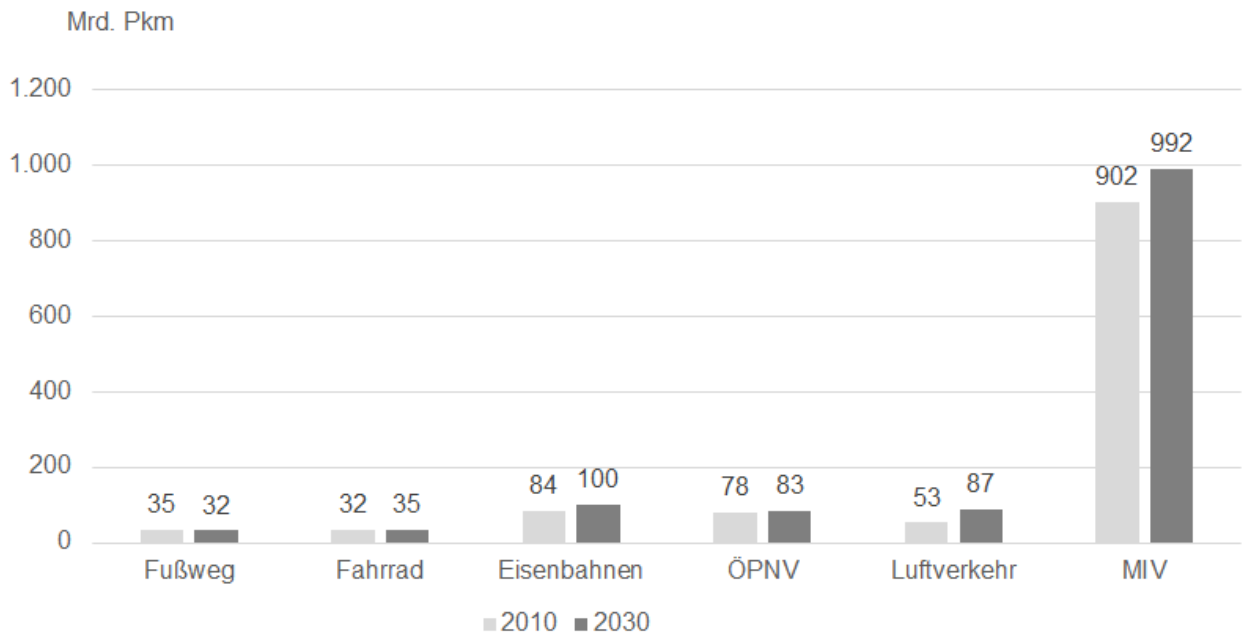

Abb. 2: Entwicklung der Verkehrsleistung in Deutschland[2]

[2] Eigene Darstellung nach *[BMVI 2015a, S. 346]*.

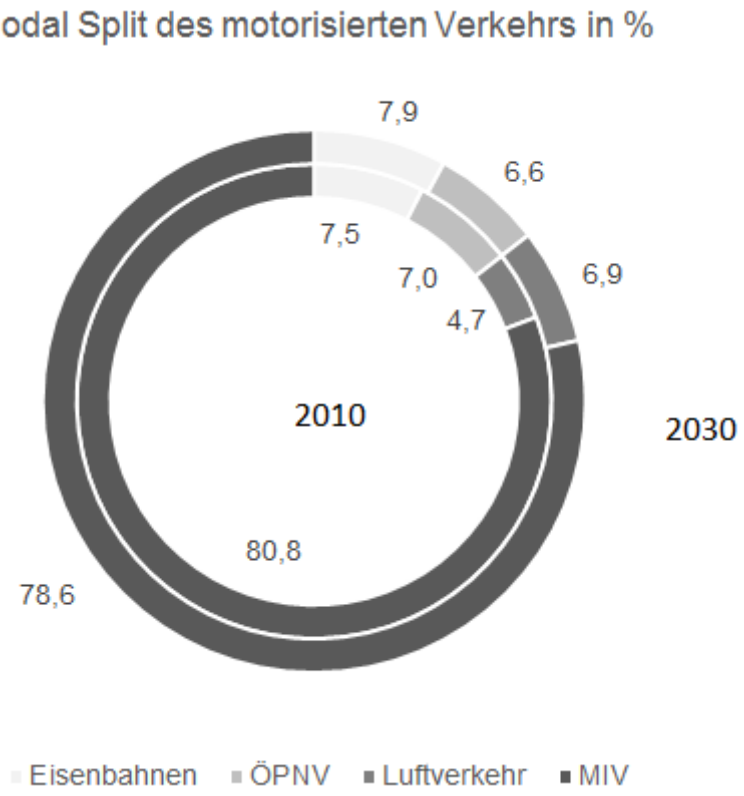

Abb. 3: Modal Split in Deutschland 2010 und 2030[3]

Der Modal Split der meisten anderen Industriestaaten weltweit ist ähnlich wie in Deutschland durch den MIV dominiert. *[IEA 2009, S. 203f]; [IEA 2015, S. 44f]*

Dies gilt auch für die Europäische Union. In allen Mitgliedsstaaten zusammen wurden 2010 ca. 6.400 Mrd. Pkm zurückgelegt, was die wichtige Stellung des deutschen Verkehrssektors herausstellt, der hier rund 17 % ausmacht. Der MIV nimmt eine ähnlich große Rolle ein wie in Deutschland (76,1 %), die Anteile des ÖPNV (9,4 %) und des Luftverkehrs (8,2 %) sind etwas stärker ausgeprägt, dem Schienenverkehr kommt in der gesamteuropäischen Betrachtung eine geringere Bedeutung zu als in der Bundesrepublik (6,3 %). *[UBA 2012, S. 22]*

Bei einer Aufteilung des Verkehrs nach Fahrzweck wird deutlich, dass öffentliche Verkehrsmittel selten für Alltagsaktivitäten verwendet werden. Daten des Umweltbundesamtes zeigen, dass nur 6 % der Verkehrsleistung für Beruf, Einkauf und Freizeit mit ÖSPV[4] eingesetzt wird. Mit dem MIV entsteht in diesen Kategorien hingegen mehr als 75 % der Verkehrsleistung. Eine YouGov-Befragung im Jahr 2015 über Mobilität in Deutschland hat ermittelt, dass 55 % der befragten Personen Privat-Pkws im Alltag bevorzugen.

[3] Unter Modal Split wird in der Verkehrsstatistik die Verteilung des Verkehrsaufkommen auf die verschiedenen Verkehrsmittel verstanden. Eigene Darstellung nach *[BMVI 2015a, S. 346]*.

[4] Das Umweltbundesamt unterteilt den Personenverkehr in folgende Kategorien: motorisierter Individualverkehr (MIV), öffentlicher Straßenpersonenverkehr mit Straßenbahnen und Bussen (ÖSPV), Schienenverkehr mit Fernzügen, Regional- und S-Bahnen sowie Luftverkehr. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hingegen unterteilt die öffentlichen Verkehrsmittel in öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und Eisenbahnen. Hier umfasst der öffentliche Personennahverkehr Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr im Nahbereich und die Eisenbahnen den Zugfernverkehr.

Der öffentliche Nahverkehr wird lediglich von 18 % der Befragten favorisiert. Primär sind hier die Faktoren Kosten, Geschwindigkeit und Komfort (hinsichtlich Häufigkeit und Zuverlässigkeit) entscheidend für die Auswahl des Verkehrsmittels. Mittel- und Niedrigverdiener sind generell die Hauptnutzer von öffentlichen Verkehrsmitteln, da die Investitions- und Wartungskosten für Autos hoch sind und diese Gruppen häufig subventionierte Tickets erhalten. Gutverdiener nutzen öffentliche Verkehrsmittel vor allem in Großstädten, wo das breitere Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln und die Stadtstruktur deren Nutzung begünstigen. *[UBA 2012, S. 28]; [Statista 2015a]; [Bertaud et al. 2011, S. 99]*

2.2 Umweltwirkungen des Verkehrssektors

Entsprechend dem Endenergieverbrauch sind die globalen Schadstoffemissionen (Kohlendioxid (CO_2)) des Verkehrssektors seit 2005 konstant geblieben. Andererseits haben sich die lokalen Schadstoffemissionen (Stickoxide (NO_x) und Feinstaub) in dieser Periode deutlich reduziert. Diese Reduktion ist das Ergebnis von Verschärfungen der Emissionsgrenzwertstufe für Verkehrsmittel und die Einführung von Umweltzonen in mehreren deutschen Städten. Insbesondere die Stickoxidemissionen sind durch diese Maßnahmen stark gesunken (Abb. 4).

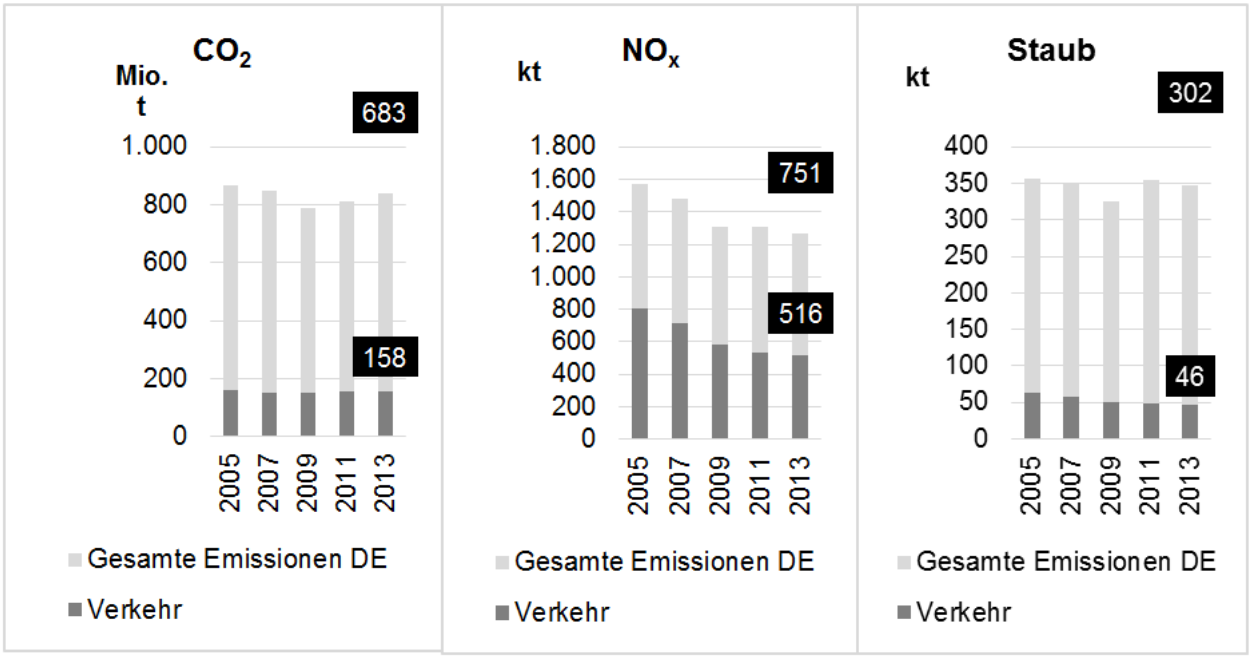

Abb. 4: Schadstoffemissionen des Verkehrssektors[5]

Neben den lokalen und globalen Schadstoffemissionen ist der Straßenverkehr mit zahlreichen weiteren Beeinträchtigungen von Umwelt und Gesundheit verbunden. Neben den Gesundheitsschäden durch Unfälle sind dies v.a. Lärmemissionen, die ebenfalls zu Gesundheitsfolgekosten führen können, sowie die Versiegelung von Naturflächen durch Verkehrsinfrastruktur. Werden diese externen Effekte quantifiziert, ergeben sich volkswirtschaftliche Kosten von ca. 77 Mrd. €. Damit übersteigen diese Kosten die öffentlichen

[5] Eigene Darstellung nach *[BMVI 2015a, S. 311f]*.

Einnahmen aus verkehrsbezogenen Abgaben (v.a. Energiesteuer und Maut) um rund 30 Mrd. €. *[UBA 2012, S. 62]*

2.3 Bedeutung von Bussen

Busse hatten im Nahverkehr im Jahr 2014 eine Beförderungsleistung von 35,2 Mrd. Pkm, zusammen mit Bahnen wurden etwa 147 Millionen Fahrgäste befördert. Der Bestand von Kraftomnibussen ist zwischen 2010 und 2015 lediglich von 76.433 auf 77.501 Fahrzeuge gestiegen. Aufgrund der Wirtschaftlichkeit, der Robustheit und des hohen Wirkungsgrades ist der Dieselmotor das meist verwendete Linienbusantriebskonzept in Deutschland. Im Jahr 2013 waren etwa 94 % der bundesweit eingesetzten Busse Dieselbusse. Der Bestand an Erdgasbussen betrug 4,1 %, während andere Antriebstechniken lediglich 1,9 % der deutschen Busflotte ausmachten. *[Statista 2015b]; [Statista 2015c]; [Statista 2015d]; [Pütz 2012, S. 3 und 142]*

Die meisten europäischen Staaten weisen eine ähnliche Dominanz des Dieselantriebs bei Bussen auf. Lediglich in einigen Staaten haben sich regionale Besonderheiten herausgebildet, sodass hier alternative Antriebe gewisse Anteile einnehmen konnten (bspw. ca. 20 % Erdgas in Griechenland oder ca. 25 % Bio-Diesel in Luxemburg). Die einzige Ausnahme stellt Österreich dar, da hier nicht Diesel, sondern Autogas (LPG) die am häufigsten eingesetzte Antriebstechnik ist (> 50 %). *[IEA 2009, S. 224]*

3 Technische Grundlagen zu Linienbussen

Linienbusse sind Systemfahrzeuge und gehören zur Angebotspalette des ÖPNV. Das Europäische Parlament gibt Anforderungen an eine europaweite Typengenehmigung von Linienbussen vor. Diese Anforderungen werden in den EU-Busrichtlinien 2001/85/EG – „Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz“ – in Verbindung mit 96/53/EG – „Festlegung der höchstzulässigen Abmessung für bestimmte Straßenfahrzeuge...“ – festgelegt. Der typische Stadt- und Überland-Linienbus deutscher Prägung wird nach der Definition im Anhang II der Richtlinie 70/156/EWG als Fahrzeug der Klasse M3 – „Fahrzeuge mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und über 5 t zulässigem Gesamtgewicht“ – eingestuft. *[Pütz 2010, S. 30]; [Pütz 2012, S. 12]*

Im Rahmen dieser Arbeit werden nur Fahrzeugkonzepte betrachtet, die der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) in seinen Rahmenempfehlungen empfiehlt. Für die ökonomische Ausarbeitung in dieser Arbeit werden aus den verfügbaren Modellen lediglich Standard- (12m Länge) und Gelenkbusse (18m Länge) betrachtet. Deren Anteil am gesamten Stadtbusbestand der deutschen Linienbusflotten liegt in Summe bei 94 %. *[Pütz 2010, S. 30f]; [VDV 2014, S. 37]*

3.1 Klassifizierung von Linienbus-Fahrzeugtechniken

Dieselantrieb

Der Dieselmotor ist die Verbrennungskraftmaschine mit dem höchsten Wirkungsgrad und unter den konventionellen fossilen Kraftstoffen das Antriebsaggregat mit der geringsten CO_2-Emission. Aus wirtschaftlichen Beweggründen ergibt sich ein Dieselanteil von ca. 95 % an der VDV-Linienbusflotte. *[Pütz 2010, S. 40]*

In Dieselmotoren können verschiedene Dieselkraftstoffe verwendet werden. Eine Unterscheidung wird hier nach fossilen oder regenerativen Dieselkraftstoffen getroffen. Im Segment des fossilen Dieselkraftstoffes werden noch zwei weitere Unterscheidungen vorgenommen: Synthetischer Dieselkraftstoff aus Erdgas (Gas-to-Liquids) und aus Kohle (Coal-to-Liquids). Im Bereich der regenerativen Dieselkraftstoffe werden hauptsächlich zwei Produkte unterschieden: Biokraftstoff der 1. Generation – Pflanzenölmethylester/Biodiesel – und der 2. Generation – synthetischer Dieselkraftstoff aus Biomasse (Biomass-to-Liquids). *[Pütz 2010, S. 81ff]*

Erdgasantrieb

Erdgasmotoren sind Ottomotoren, die in monovalenter und bivalenter Ausführung angeboten werden. Ein bivalenter Motor wird mit zwei Kraftstoffarten betankt – Benzin und Erdgas –, während ein monovalenter Motor nur auf einen Kraftstoff abgestimmt ist und im Vergleich zur bivalenten Ausführung besser auf diesen eingestellt werden kann. Dies ermöglicht beim monovalenten Antrieb einen geringeren Kraftstoffverbrauch

und geringere Schadstoffemissionen. Schwere Nutzfahrzeuge wie ein Linienbus werden fast ausschließlich in monovalenter Ausführung angeboten. *[Pütz 2010, S. 45]*

Wasserstoff-Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellenantrieb

Der Funktionsmechanismus des Wasserstoff-Verbrennungsmotors ist ähnlich wie der eines konventionellen Verbrennungsmotors, der durch ausschließlichen oder bivalenten Betrieb mit Wasserstoff oder mit wasserstoffreichen Gasen als Kraftstoff betrieben werden kann. Wasserstoff-Verbrennungsmotoren ohne Brennstoffzelle können momentan kostengünstiger hergestellt werden als solche mit Brennstoffzelle. Letztere wandeln den Energieträger Wasserstoff durch eine Brennstoffzelle – elektrochemischer Energiewandler – in elektrische Energie um. Verbunden mit einem elektrischen Fahrantrieb besitzen Brennstoffzellenfahrzeuge den höchsten Wirkungsgrad aller Antriebsarten. *[Eichlseder et al. 2012, S. 151 u. 219]; [Pütz 2010, S. 46f]*

Die regionale Gebundenheit der ÖPNV-Unternehmen ist ein bestimmender Vorteil für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Wasserstoff und seine regenerative Erzeugung. Sowohl Wasserstoff-Verbrennungsmotoren als auch Wasserstoff-Verbrennungsmotoren mit Brennstoffzelle bieten Ausblick auf verfügbare Nullemissions-Antriebe. *[Pütz 2010, S. 47]*

Hybridantrieb

Derzeit wird die Hybridtechnik als ein Schritt in Richtung umweltfreundlicher Fahrzeugtechnik bewertet, wobei die öffentliche Wahrnehmung hauptsächlich auf den PKW-Bereich fokussiert. Hybridbusse sind jedoch ebenso gut in der Lage die für kommunale, gewerbliche und industrielle Einsatzbereiche vorgegebenen Anforderungsprofile zu erfüllen. Entscheidende Parameter der Auslegung, wie Eigenschaften und Länge der Strecke, bestimmen den Grad der Hybridisierung, die von Micro- über Mild- bis Full-Hybrid reicht oder aber auch als Plug-In-Hybrid dargestellt wird. Zusätzlich zum Grad der Hybridisierung werden verschiedene technische Ausführungen angeboten: paralleler, serieller und leistungsverzweigter Hybridantrieb. Durch die vollständige mechanische Entkopplung zwischen Elektroantrieb und Verbrennungsmaschine ermöglichen serielle Hybridantriebe ein ausgeprägtes Downsizing-Konzept. Vorteilhaft ist hier die deutliche Reduzierung des Motorgewichts sowie, aufgrund des elektrischen Antriebs, das Entfallen eines herkömmlichen komplexen Automatikgetriebes. Diese Gewichtsreduzierungen gleichen einen wesentlichen Teil des Zusatzgewichts durch die zusätzlichen Energiespeichersysteme aus. Wie die Ausführung des Hybridantriebes gewählt wird, ist stark von den Eigenschaften der Arbeitszyklen des Linienbusses abhängig. *[Hofmann 2014, S. 495ff]*

Ein großer Kostentreiber der Anschaffungskosten für Hybridbusse ist der Energiespeicher. Bei Investitionen in Hybridbusse wird die Energiespeichergröße systematisch in Abhängigkeit des Einsatzprofiles gewählt. Theoretische Ausarbeitungen und praktische Anwendungen zeigen, dass die Ausführung als Full-Hybrid für Stadtlinienbusse ein hohes finanzielles Einsparpotenzial bezüglich des Kraftstoffes verspricht. Dementsprechend sind auf dem Linienbus-Markt die Varianten Micro- und Mild-Hybrid kaum vertreten. *[Hofmann 2014, S. 495]*

Unabhängig von dem Modell der Hauptantriebsquelle und des Kraftstoffsystems bietet sich eine strikte Hybridisierung des Antriebsstranges als Hoffnungsträger für Luftreinhaltung, Klimaschutz und Ressourcenschonung an. Eine Hürde stellt die Forderung von mindestens 20 % Kraftstoffeinsparung gegenüber einem vergleichbaren Bus ohne Hybridtechnologie über die gesamte Laufzeit dar. Durch Rekuperation – Rückgewinnung der Bremsenergie – eigenen sich gerade Linienbusse, wegen ihres häufigen Bremsens und Anfahrens, für die Hybridtechnologie. Ca. 35 Bremsungen, aus einer Geschwindigkeit von 50 km/h bei einer mittleren Fahrgast-Besetzung, ermöglichen die Rückgewinnung des Äquivalents von einem Liter Dieselkraftstoff. Aus einer Geschwindigkeit von 80 km/h würden bereits 13 Bremsungen ausreichen, um einen Liter Dieselkraftstoff zu rekuperieren. Stadtbusse sind aufgrund der regelmäßigen Stopps (2-3 Halte/km), des häufigen Teillastbetriebs und der immensen Betriebsdauer (ca. 16h/Tag) im emissionssensiblen Stadtbereich ideal für Full-Hybridstränge. *[Hofmann 2014, S. 498]; [Müller-Hellmann et al. 2008, S. 8ff]; [Pütz et al. 2009, S. 311ff]; [Pütz 2010, S. 47]*

Elektroantrieb

Batteriebusse oder auch Elektrobusse sind reine Elektrofahrzeuge, die mit einem Elektromotor ausgestattet sind, der ausschließlich von einer Batterie gespeist wird. Elektrofahrzeuge kämpfen momentan noch mit der Problematik einer zu geringen Reichweite. Durch eine größere Auslegung der Batteriekapazität kann die Reichweite gesteigert werden, jedoch steigen dadurch auch Kosten, Gewicht und Größe der Batterie. Eine Methode zur Verringerung des Verbrauches ist die Rekuperation der Bremsenergie. Dies geschieht, indem der Elektromotor beim Bremsen als Generator eingesetzt wird und mit der entstehenden Bremsenergie die Fahrzeugbatterie aufgeladen wird. *[BMUB 2015b]*

Mit dem Begriff der elektrischen Batterie wird eine Zusammenschaltung mehrerer gleichartiger galvanischer Zellen bezeichnet, welche zunächst als nicht wiederaufladbare Primärzellen zur Verfügung standen. Mit der Entwicklung wirtschaftlich einsetzbarer wiederaufladbarer Akkumulatoren – auch Sekundärzellen genannt – wurde die Benutzung des Begriffs Batterie auch als Oberbegriff für die Zusammenschaltung mehrerer solcher Zellen erweitert. Die Begriffe Batterie und Akkumulator werden in den folgenden Ausführungen synonym verwendet. Außerdem wird bei Batterien, die in einem Elektrofahrzeug verbaut sind, ausschließlich von Sekundärzellen, also wiederaufladbaren Batterien, ausgegangen. *[Beermann et al. 2010, S. 25]*

Elektrobusse sind standardmäßig mit einem Asynchronmotor ausgestattet. Die Leistung des Motors liegt bei einem Solobus des Herstellers Solaris bei ca. 160 kW und bei einem Solaris Gelenkbus bei etwa 240 kW. Die heutigen Elektrobusse sind mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet, welche nach Kampker als die vielversprechendste Batterietechnologie für Elektrofahrzeuge der Zukunft gelten. Vorteil dieser Technologie ist eine um das Fünffache höhere Energiedichte als bei Blei-Batterien. Heutzutage ist unter Laborbedingungen eine Zyklen-Lebensdauer von 10.000 Zyklen realistisch. Dieser Batterietyp zeichnet sich durch eine niedrige Selbstentladung aus. Selbstentladung bezeichnet den Verlust von Energie, d. h., dass die Energie einer Batterie im geladenen Zustand ohne gezielten Verbrauch verloren geht. Bemerkenswert sind die extrem schnellen Ladezeiten der Lithium-Ionen-Batterie. Innerhalb von 10 Minuten können 90 % der Ladekapazität erreicht

werden. Nachteil der Technologie sind aktuell noch hohe Investitionskosten in Materialien und Sicherheitselektronik. Jedoch kann ein Trend sinkender Marktpreise beobachtet werden. Batterieauslegung und Ladesystem der Bus-Modelle sind stark von Ausstattung und Einsatz des Busses abhängig, welcher auf bis zu 24 h/Tag ausgelegt werden kann. Die theoretische Batteriekapazität sagt nichts über die Entladetiefe (depth of discharge = DOD) der Batterie aus. Die DOD ist die nutzbare Kapazität der Batterie. Kapazitätsverluste treten im Laufe von wiederholten Lade- und Entladezyklen auf. Dadurch reduziert sich auch der DOD der Batterie, infolge dessen die Reichweite des Elektrofahrzeuges sinkt. Nach der DIN 43539/Teil 4 gilt eine Batterie als funktionsunfähig, wenn die Speicherfähigkeit auf unter 80 % der Nennkapazität sinkt. *[Beermann et al. 2010, S. 27f]; [Böcker 2010, S. 41ff]; [Bünger 2009, S. 79ff]; [Kampker 2014, S. 50]; [Plötz et al. 2013, S. 144f]; [Solaris 2016]; [Steger 2012, S. 55]; [Wallentowitz 2013, S. 138]*

Die Anbieter von Elektrobussen setzen verschiedene integrierte Ladetechnologien zum Beladen der Batterie ein. Abhängig vom betrieblichen Einsatz kann die Batterie zurzeit mit dem Ladesystem Plug-In, Pantograph und/oder induktiv beladen werden (siehe auch Kapitel 3.2). Die Ladetechnologie von Batteriebussen wird momentan individuell auf die zu befahrende Strecke und Art der Aufladung aufgerüstet. *[Solaris 2016]*

Eine Alternative der Speicherung elektrischer Ladung stellt die Entwicklung der Doppelschichtkondensatoren (Supercap, Ultracap) dar. Diese Kondensatoren speichern elektrostatisch Energie in einer elektrolytischen Lösung. Im Vergleich zu Batterien besteht hier, durch geringe Innenwiderstände, eine hohe Leistungsdichte (Hochstromfähigkeit). Ultracaps werden zurzeit schon in Hybridfahrzeugen eingesetzt, jedoch werden bei heutigen Elektrobussen immer noch fast ausschließlich Batterien verwendet. Laut Hersteller ist eine Lebensdauer von zehn Jahren und einer Million Zyklen realistisch. Nach Hofmann könnten Doppelschichtkondensatoren zu einer idealen Ergänzung von Lithium-Ionen-Batterien werden. *[Hofmann 2014, S. 242]*

Trolleybus

Der Trolleybus, ein Oberleitungsbus, ist eine Kreuzung aus Bus und Straßenbahn, mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen beider Verkehrsmittel. Heute werden die Motoren, meist Drehstrom-Asynchronmotoren, mittels Stromabnehmerstange über die Oberleitungen der Straßenbahn mit Strom versorgt. Ursprünglich wurde der Oberleitungsbus manuell von Hand von der Oberleitung getrennt. Projekte wie das „Bewertungsverfahren für Systeminnovation im ÖPNV“ (BeSystO) von der VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH (VCDB) lassen jedoch eine zukünftige Entwicklung zum dynamischen Abkoppeln zu. Ein Teil der Oberleitungsbusse besitzt zusätzlich zum Elektroantrieb einen Hilfsantrieb (Dieselmotor), welcher Strom für den Elektromotor erzeugt, falls die Streckenführung die Nutzung der Oberleitung nicht zulässt. Vorteil dieser Technologie, im Vergleich zu der Dieseltechnik, ist eine stärkere Beschleunigung wie auch die Emissionsfreiheit am Einsatzort. *[Kühne et al. 2007, S. 9]; [Reinhardt 2015, S. 602]; [VCDB 2015]*

3.2 Ladetechnologien von Linienbussen

Für Benzin und Diesel existiert bereits ein flächendeckendes Tankstellennetz, über das zunehmend auch Erdgas getankt werden kann. Für die alternativen Antriebstechnologien Wasserstoff und Elektromobilität hingegen befindet sich die Ladeinfrastruktur erst im Aufbau.

Ladeinfrastruktur Wasserstoff

Die weltweit erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle wurde von einem Konsortium (BMW, BP, MAN, Linde u.a.) 1999 errichtet. Im Jahr 2012 beschloss der damalige Bundesverkehrsminister Peter Ramsauer mit Vertretern der Industrie (Daimler, Linde, Air Products, Air Liquide und Total), bis 2015 ein bundesweites Netz von 50 Wasserstoff-Tankstellen zu schaffen (wobei das Ziel mit aktuell 19 Tankstellen deutlich verfehlt wurde). *[BMVI 2012]; [Linde 2004, S. 20]*

Die Betankung von Fahrzeugen wird an Wasserstoff-Tankstellen in flüssiger Form, „Liquid Hydrogen“ (LH2), und in gasförmiger Form, „Gaseous Hydrogen“ (GH2), angeboten. Die meisten Tankstellen sind für LH2 und GH2 ausgelegt. Bei der Betankung mit LH2 wird der tiefkalte flüssige Wasserstoff (-253°C), ähnlich wie bei der Befüllung eines Fahrzeuges mit konventionellen Kraftstoffen, in den Tank eingefüllt. GH2 wird direkt an der Tankstelle aus LH2 hergestellt, gereinigt und gespeichert. Um die Betankungszeit zu verkürzen und die Reichweite zu erhöhen, werden in der Automobilindustrie Drücke von ca. 700 bar zur Betankung verwendet. Für Busse hat sich ein Ladedruck von 350 bar etabliert. *[Lehmann et al. 2014, S. 117]; [Linde 2004, S. 20ff]*

Ladeinfrastruktur elektrisch: Ladesäule

Heutzutage existieren unterschiedliche Ansätze den Energiespeicher eines Elektrofahrzeuges aufzuladen. Grundsätzlich werden vier Arten von Ladetechniken unterschieden: Die kabelgebundene und die induktive Ladetechnik, sowie der Elektrolyt- (zurzeit noch im Laborbetrieb) bzw. Batteriewechsel. Die verbreitetste Methode ist das Laden über eine Ladesäule. Das kabelgebundene Beladen des Fahrzeuges ist jedoch durch das An- und Abkoppeln sehr zeitintensiv und eignet sich daher vorrangig zum Beladen im Betriebshof. Während der Hochlaufphase der Elektromobilität bilden sich parallele Technologien, die das Laden der Elektrobusse während der Fahrt oder an den Haltstellen vereinfacht. *[BMVI 2014, S. 10ff]*

Übliche öffentliche oder halböffentliche, kabelgebundene Ladestationen werden als Wechselstrom (alternating current, AC) oder als Gleichstrom (direct current, DC) ausgeführt. Die DC-Ladestationen sind aufgrund ihres größeren Hardware-Aufwandes kostenintensiver und dementsprechend in geringerer Stückzahl am Markt vertreten. DC-Ladestationen werden auch als Schnellladestation bezeichnet, da sie für die Übertragung von höheren Leistungen konzipiert werden. *[Wenge 2013, S. 22]*

In Deutschland wird das Ziel verfolgt, einen einheitlichen Standard an Steckvorrichtungen durchzusetzen. Dazu wurde eine Ladesteckvorrichtung entwickelt, die es ermöglicht, AC und DC zu laden. Das Combined Charging System (CCS) ermöglicht bei der Ladebetriebsart 3 (AC) mit einem Typ-2-Stecker sowie bei der Ladebetriebsart 4 (DC) mit einem Combo-2-Stecker Elektrofahrzeuge zu beladen. Der Typ-2-Stecker ist für

eine Leistung von 3,7 kW bis 43 kW und einer Stromstärke bis zu 70 A zugelassen. Aufgrund des hierfür benötigten Kabelquerschnitts werden jedoch in der Praxis AC-Kabel nur für Stromstärken von 32 A ausgelegt. Die DC-Ladung kann in der Zukunft Werte von bis zu 350 kW Schnellladung ermöglichen. Die technischen Eigenschaften des Typ-2-Steckers sind in der IEC 62196-2 definiert. Das CCS-System ermöglicht über den Typ-2-Stecker ein einphasiges wie auch dreiphasiges Aufladen. *[BMVI 2014, S. 19]; [NPE 2014a, S. 22]; [NPE 2014b, S. 25]; [Wenge 2013, S. 30]*

Ladeinfrastruktur elektrisch: Induktive Stromübertragung

Projekte wie OLEV (On-Line Elektric Vehicle) im Forschungsinstitut KAIST in Süd-Korea erforschen die induktive Stromübertragung. Die Technik ist unauffällig. Kabel in der Fahrbahn induzieren dem Fahrzeug Strom im Stillstand und während der Fahrt. Nach den Angaben des Forschungsinstituts sind pro Kilometer Straße eine Kabellänge von 200 m erforderlich, um die nachfolgenden 800 m induktionsfrei fahren zu können. Dies bedeutet jedoch, dass im Abstand von einem Kilometer eine externe Stromeinspeisungsstelle erforderlich ist. *[Wallentowitz et al. 2011, S. 117]*

Als übertragbare Leistung gibt KAIST eine Leistung von 200 kW an. Damit wird sowohl der Bus angetrieben als auch die Batterie während der Fahrt geladen. Der Abstand zwischen den fahrzeugeigenen Aufnahmespulen und der Fahrbahn wird mit bis zu 17 cm angegeben. Als Wirkungsgrad werden Werte über 72 % als machbar angegeben. *[Wallentowitz et al. 2011, S. 118]*

Ladeinfrastruktur elektrisch: Batterie-Wechselstationen

Der Hintergrund der Batterie-Wechseltechnik ist, dass die Busse eine Wechselstation anfahren, in der die Batterien gelagert werden und dort geladene Batterien aufnehmen. In der Wechselstation nehmen Roboter die entladenen Batterien aus dem Fahrzeug und setzen im Gegenzug geladene Batterien ein. Vorteilhaft ist, dass der Wechsel der Batterie innerhalb weniger Minuten abläuft. Der Nachteil von Batteriewechselstationen sind die hohen Kapitalkosten der zusätzlichen Ersatzbatterien. *[Wallentowitz et al. 2011, S. 118f]*

Ladeinfrastruktur elektrisch: Pantograph

Die Siemens AG und das Fraunhofer-Institut forschen zurzeit an unterschiedlichen technischen Varianten von Pantographen, die bereits in Pilotprojekten realisiert sind: dem High Power Charging (HPC) mit einem Off-board top-down Pantographen und dem Fast Charging an zweipoliger Oberleitung mit einem On-board bottom-up Pantographen. Bei der HPC fährt der Pantograph (Ladekontakt), sobald der Bus an der richtigen Position steht, automatisch an die Ladekontakte des Busses und belädt diesen. Die HPC bietet eine Ladeleistung von bis zu 450 kW und ermöglicht dadurch ein Beladen innerhalb kurzer Ladezeit. Bei der Beladung des Busses an der Straßenbahn-Oberleitung durch den On-board bottom-up Pantographen fährt der Pantograph im Stillstand des Busses an die Oberleitung und wird mit einer Ladeleistung von 60 kW beladen. *[Fraunhofer 2015, S. 8f]; [Siemens 2015, S. 9ff]*

4 Vergleich ausgewählter Linienbusantriebstechniken unter ökologischen Gesichtspunkten

4.1 Methoden zur Energieverbrauchs- und Schadstoffemissionsermittlung

Die Ermittlung der Energieverbräuche sowie der Emissionsauswirkungen von Linienbusflotten in diesem Kapitel orientiert sich an den Ausführungen von Pütz *[Pütz 2010]*. Für die Bewertung werden Energieverbrauch sowie CO_2-, NO_X- und Feinstaub-Emissionen unter Berücksichtigung der Lebenszyklusphasen der Linienbusse betrachtet. Die Analyse umfasst dabei die folgenden Subsysteme: „Fahrbetrieb“, „Instandhaltung“, „Fahrzeugproduktion“, „Kraftstoffbereitstellung/ Energieerzeugung“ sowie „Ersatzteil- und Betriebsstoffproduktion“. Jedes Subsystem hat als Funktionsinput Energie, Material sowie Personal. Als Funktionsoutput entstehen der Produktionszweck des Subsystems (z. B. Bereitstellung von Personenkilometer für den Fahrbetrieb), Emissionen und Abfälle. Einen Überblick über den Analyserahmen gibt Abb. 5. *[Pütz 2010, S. 57f]*

	Kraftstoff	Fahrzeug	Instandhaltung
Exploration und Gewinnung der Ressourcen	Ressourcen-Vorkette der Kraftstoffbereitstellung	Ressourcen-Vorkette des Linienbusses	Ressourcen-Vorkette der Linienbus-Instandhaltung
Herstellung	Anlagen-Herstellung für die Kraftstoffbereitstellung	Linienbusherstellung	Betriebsstoff- und Instandhaltungsanlagen-Herstellung
Nutzung	Kraftstoffbereitstellung	Linienbusfahrbetrieb	Linienbusinstandhaltung
Entsorgung	Anlagenentsorgung	Linienbusentsorgung	Betriebshof- und Instandhaltungsanlagenentsorgung

Abb. 5: Überblick über den Analyserahmen[6]

Die Summe der Verbräuche und der Emissionen aller Linienbusse bei Fahrbetrieb, Instandhaltung, Herstellung und Entsorgung sowie die Verbräuche und Emissionen der Kraftstoffbereitstellung ergeben den gesamten Energieverbrauch und die gesamten Emissionen der Linienbusflotte. *[Pütz 2010, S. 61f]*

Linienbusfahrbetrieb

Grundlage für die Ermittlung des Energieverbrauchs und der Emissionen während des Fahrbetriebs ist der Energiebedarf der Busse, um von Punkt A zum Punkt B zu fahren. Dieser Energiebedarf hängt von der Fahrzeugbeladung, der Topographie der Linie, der Verkehrsdichte, der Anzahl der Stopps usw. ab. Diese können dann in Fahrzyklen zusammengefasst werden. Eine Zusammenarbeit der International Association of Public Transport (UITP) mit dem VDV und europäischen Fahrzeug- und Getriebeherstellern hat eine Methode mit Standardized On-Road Test Cycles (SORT-Zyklen) entwickelt, die repräsentative Straßentestzyklen für

[6] Eigene Darstellung nach *[Pütz 2010, S. 58]*.

Linienbusse beinhaltet. Dabei zeigen Durchschnittsgeschwindigkeiten das Fahrverhalten an. Dieses beeinflusst den Energieverbrauch des Fahrzeugs. Die folgenden SORT-Zyklen stellen das Fahrprofil eines Stadtlinienbusses dar:

- SORT-1-Zyklus: schwerer Innenstadtbetrieb (Zyklusgeschwindigkeit: 12 km/h);
- SORT-2-Zyklus: leichter Innenstadtbetrieb (Zyklusgeschwindigkeit: 18 km/h);
- SORT-3-Zyklus: Vorortbetrieb (Zyklusgeschwindigkeit: 27 km/h).

In Deutschland weisen die meisten Linienbusse das SORT-2-Zyklus Fahrverhalten auf. Allerdings ermittelt die SORT-Methode einen höheren Kraftstoffverbrauch als die deutschen Linienbusse tatsächlich verbrauchen, da in der Zyklusberechnung ein höherer Besetzungsgrad angenommen wird (in der SORT-Methode 50 %, in Deutschland durchschnittlich 20 %). Mit der Berücksichtigung eines Mehrverbrauchs von 4 % je Tonne Zuladung können allerdings die ermittelten Ergebnisse angepasst werden. *[Pütz 2012, S. 128ff]*

Der Energieverbrauch in Liter pro 100 Kilometer, der spezifische Energieverbrauch in Joule pro Kilometer, der CO_2-Emissionsfaktor in Kilogramm pro Kilometer sowie die NO_X- und Feinstaub-Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer sind abhängig von der Fahrzyklusgeschwindigkeit, von dem Fahrzeugtyp, von der Antriebstechnik, von der EURO-Fahrzeuggrenzwertstufe, vom Kraftstoff und vom Gesamtgewicht des Fahrzeuges (Fahrzeugleergewicht plus Ladung). Der CO_2-Emissionsfaktor leitet sich direkt aus dem Energieverbrauch ab. Für die Berechnung der gesamten Feinstaubemissionen werden zusätzlich die Emissionen aus Bremsen-, Reifen- und Straßenabrieb berücksichtigt. *[Pütz 2010, S. 59]*

Kraftstoffbereitstellung

Zur Ermittlung der Verbrauchs- und Emissionsfaktoren für die Kraftstoffbereitstellung wird die Well-to-Tank-Vorkette (WTT) zugrunde gelegt. Der spezifische Energieverbrauch in Joule pro Liter Kraftstoff sowie der CO_2-Emissionsfaktor und die lokalen Emissionsfaktoren in Kilogramm pro Liter Kraftstoff hängen direkt vom Energieverbrauch eines Linienbusses ab. Da die Produktionskette für Kraftstoffe sehr komplex ist, müssen unterschiedliche Annahmen für jede Antriebstechnik getroffen werden. *[Pütz 2010, S. 60, 90f und 98]*

Linienbusherstellung, -entsorgung und -instandhaltung

Der jährliche spezifische Energieverbrauch in Joule pro Bus und Jahr sowie die jährlichen Schadstoff-Emissionsfaktoren in Kilogramm pro Bus und Jahr der Linienbusherstellung, -entsorgung und -instandhaltung sind abhängig vom Fahrzeugtyp, von den geltenden Grenzwerten für Emissionen entsprechend der EURO-Abgasnorm, von der Antriebstechnik, vom Kraftstoff und von der Nutzungsdauer. Für die Linienbusherstellung und -entsorgung muss das Leergewicht des Linienbusses berücksichtigt werden. In der Linienbusinstandhaltung wird sowohl der Aufwand für Wartungen und Reparaturen (inklusive Ersatzteile und Betriebsstoffe) als auch der durchschnittliche Energieaufwand aus den Verwaltungs-, Betriebshof- und Werkstattbereichen berücksichtigt. *[Pütz 2010, S. 59f und 100ff]*

4.2 Vergleichende Darstellung

Die folgende Abbildung stellt auf jährlicher Basis den Energieverbrauch, die globalen und lokalen PM-und NO_X-Emissionen der in der vorliegenden Arbeit präsentierten Linienbusse-Antriebstechniken dar. Die Verbrauchs- und Emissionswerte werden hier mit der Dieseltechnik verglichen, da der Großteil der deutschen Busflotte Dieseltechnik verwendet (Abb. 6). Die Berechnungen basieren auf einem Linienbus mit SORT-1-Zyklus (schwerer Innenstadtbetrieb) mit einer jährlichen Fahrleistung von 60.000 km und mit einer Einsatzdauer von 12 Jahren. Dieselbusse mit der Emissionsgrenzwertstufe EVV und fossilem Dieselkraftstoff als Energiequelle haben die folgenden Referenzwerte:[7]

- Energieverbrauch: 1675,29 GJ/a;
- CO_2 Emissionen: 111,40 t/a;
- NO_X Emissionen: 567,42 kg/a;
- PM Emissionen: 4,05 kg/a.

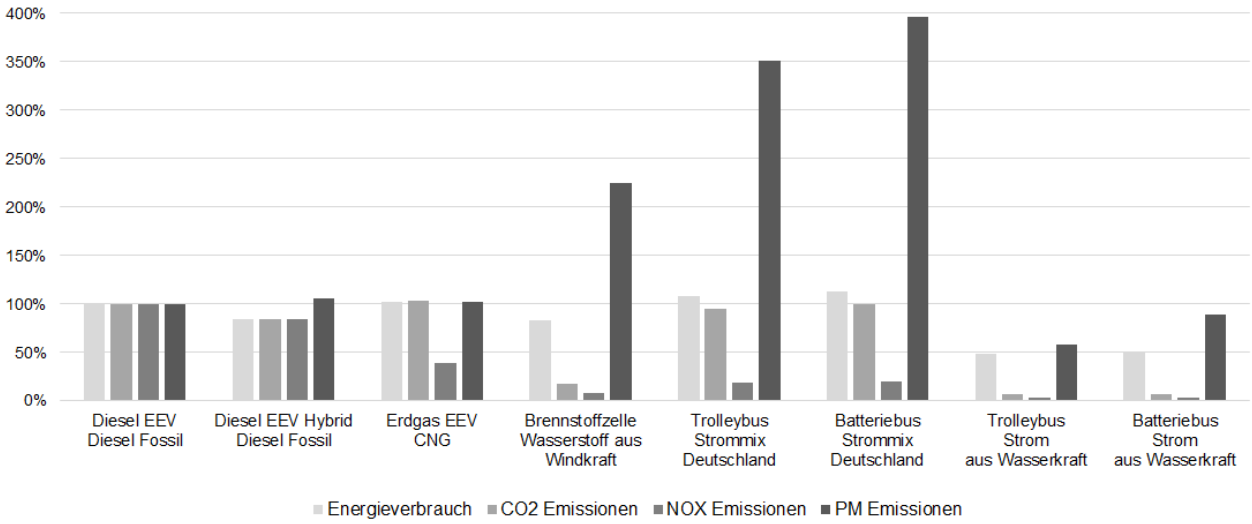

Abb. 6: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen verschiedener Linienbus-Antriebstechniken[8]

Linienbusse mit Hybridtechnik verbrauchen etwa 10 % weniger Energie und entsprechend reduzieren sich die globalen und lokalen Emissionen. Linienbusse mit Erdgastechnik sind nur hinsichtlich der NO_X-Emissionen vorteilhaft. Busse mit Wasserstofftechnik und Elektrobusse haben eine große Reduktion der CO_2-Emissionen, solange die Elektrizität für den Antrieb aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird. Die NO_X-Emissionen werden auch im Vergleich zu Dieselbussen deutlich geringer. Da die Herstellung von Batterien signifikante PM-Emissionen erzeugt, haben Busse mit diesen Techniken je nach Energiequelle sogar höhere PM-

[7] Die EEV-Emissionsgrenzwertstufe wurde hier verwendet, weil diese mit Bezug auf die meisten bestehenden Busflotten die relevante Bezugsgröße ist. Dieselfahrzeuge mit der aktuellen EURO-VI-Emissionsgrenzwertstufe werden geringere Emissionswerte vorweisen (siehe Kapitel 6).
[8] Eigene Berechnungen und Darstellung nach *[Pütz 2010, S. 54ff]*.

Emissionswerte als Diesel-Busse. Mit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien können die PM-Emissionswerte von Elektrobussen allerdings deutlich reduziert werden.

5 Wirtschaftlichkeit verschiedener Linienbussysteme

5.1 Methodik zur wirtschaftlichen Bewertung (Investitionsrechnung)

Ziel der Investitionsrechnung ist es, das Potenzial von unterschiedlichen Linienbus-Fahrzeugtechniken sichtbar zu machen. Mit Hilfe des Kostenvergleichsverfahrens kann die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeugtechniken und der Ladeinfrastruktur für verschiedene Bustypen ermittelt werden.

In der Investitionsrechnung werden im Allgemeinen statische und dynamische Verfahren unterschieden *[Carstensen 2008, S. 31]; [Götze 2008, S. 50ff]*:

- Bei der statischen Investitionsrechnung wird ausschließlich ein Zeitraum berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um einen Zeitabschnitt oder um eine Durchschnittsperiode der Nutzungsdauer, die repräsentativ für den ganzen Nutzungszeitraum ist. Dabei werden Schwankungen der Rückflüsse nicht berücksichtigt, was zu ungenauen Ergebnissen führt. Jedoch ist bei Ersatzinvestitionen ein Kostenvergleich, bei identischen Erlösen eine Unterlassungsalternative erforderlich. Zu der statischen Investitionsrechnung zählen die Kostenvergleichsrechnung, die Gewinnvergleichsrechnung, die Rentabilitätsvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung.
- Zu der dynamischen Investitionsrechnung gehören die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode, die dynamische Amortisation und die interne Zinsfußmethode. Die dynamische Investitionsrechnung berücksichtigt mehrere Perioden im Nutzungszeitraum und zeichnet sich durch eine höhere Genauigkeit aus, weil die Werte der unterschiedlichen Ein- und Auszahlungen im Zeitverlauf nicht wie bei der statischen Investitionsrechnung gemittelt, sondern durch finanzmathematische Transformation der Nutzungsdauer zugeordnet werden.

Bei der Methode der Kostenvergleichsrechnung werden keine Erträge berücksichtigt, da sie für alle Varianten der Linienbus-Fahrzeugtechnik gleich sind. Aufgrund der langfristigen Wirkungen von Investitionen besitzen auch die ermittelten Kosten langfristigen Charakter. *[Carstensen 2008, S. 130]; [Götze 2008, S. 51]*

Für jede Investitionsalternative wird die Höhe der Kosten als Durchschnittsgröße ermittelt und auf den Planungszeitraum bezogen. Einige Kostenarten sind zum Teil variabel und deswegen stark von der Menge der einzelnen Kostenarten abhängig. Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Addition aller Kostenkomponenten einer jeden Alternative. Der Kostenvergleich der unterschiedlichen Linienbus-Fahrzeugtechniken wird anhand der Unterlassungsalternative schlüssig. Es gilt dabei, dass eine Investitionsmöglichkeit absolut vorteilhaft ist, wenn die Kosten geringer sind als die der Unterlassungsalternative. *[Götze 2008, S. 51]; [Kern 1974, S. 122]*

Die relative Vorteilhaftigkeit lässt sich – unter der oben aufgeführten Aussage – anhand eines Kostenvergleichs in jeder Entscheidungssituation ermitteln. So ist ein Investitionsobjekt relativ vorteilhaft, falls seine Kosten geringer sind als die jeder anderen zu Wahl stehenden Option. *[Götze 2008, S. 51]*; *[Kern 1974, S. 123]*

5.2 Klassifizierung der verschiedenen Kostenarten

Zur Etablierung einer Fahrzeugflotte in einem Unternehmen müssen diverse ökonomische Faktoren ermittelt und berechnet werden. Zur Wahrung finanzieller und betriebswirtschaftlicher Interessen muss eine Analyse der Investition vorgenommen werden. Die Vorgehensweise der Analyse wurde im vorherigen Kapitel bereits behandelt. Es wird nun auf die Arten der Kosten eingegangen, die zur Analyse herangezogen werden. Die Kostenfunktion gliedert sich in einen Fixkostenblock und einen variablen Teil in Abhängigkeit von der Menge. *[Carstensen 2008, S. 131]*

5.2.1 Fixkosten

Fixkosten sind Kosten, die unabhängig vom Verbrauch sind. Es handelt sich hierbei meistens um Gebäude, Infrastruktur oder um Anschaffungen, die langfristig genutzt werden. Die Kosten dafür fallen einmalig an, doch der Nutzen verteilt sich auf einen längeren Zeitraum. Im Controlling und der Kostenrechnung werden die einmaligen Ausgaben über mehrere Jahre verteilt angesetzt, die sogenannten Abschreibungen. Für ein Unternehmen, das im Bereich des ÖPNV arbeitet, ergeben sich daraus folgende Fixkosten: Erbauung und Unterhaltung der Betriebshöfe, Etablierung der Ladeinfrastruktur und Anschaffungskosten für Busse. Nebst aufgezählten Kosten kann es noch weitere Fixkosten geben, diese sind aber im Rahmen dieser Untersuchung nicht von Relevanz.

Ladeinfrastruktur

Die Kosten für die Ladeinfrastruktur können je nach verwendetem Kraftstoff stark variieren. Aufgrund der Vorherrschaft von dieselbetriebenen Busflotten sind in nahezu jedem Betriebshof eine oder mehrere konventionelle Tankstellen für Dieselkraftstoff vorhanden. Auch Erdgastankstellen sind bei kommunalen Betrieben bzw. Stadtwerken weit verbreitet. Ganz anderes sieht es bei Elektro- oder gar Wasserstoffbussen aus. Wasserstofftankstellen gibt es nur 19 öffentlich zugängliche in ganz Deutschland. Durch die angestrebte Energiewende, den Aktionsplan "H2Mobility" und durch stetige Entwicklungen im technischen Bereich könnten wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zukünftig eine größere Rolle spielen. Teilweise gibt es schon PKW für den privaten Gebrauch, hauptsächlich werden aber Pilotprojekte betrieben, um die Technologie zu prüfen.

Zur Wiederaufladung der Batterie von Elektrobussen gibt es verschiedene Möglichkeiten, die zu stark variierenden Kosten führen können. Zwei Beispiele: Es kann an der Start- und Endhaltestelle Ladestationen geben, die in kurzer Zeit genügend Energie übertragen, damit der Bus ohne Probleme die Strecke auch bei schwieriger Verkehrslage überwinden kann. Dadurch werden nur zwei Stationen (pro Linie) benötigt, welche allerdings leistungsstark sein müssten. Eine andere Möglichkeit ist die Installation von mehreren kleinen Ladestationen über die Strecke verteilt. Es gilt herauszufinden, welche Variante im Einzelfall das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis bietet. *[NOW 2015a]; [H2 Mobility 2016]*

Wasserstoffbetriebene oder gasbetriebene Busflotten wiederum haben ganz eigene Anforderungen an die Ladeinfrastruktur. Es werden Speicher benötigt, in denen der Kraftstoff zwischengelagert werden kann, bzw.

ein kontinuierlicher Zustrom an Kraftstoff sowie Pumpen, Leitungen und die Abfüllapparatur selbst gegeben sind. Der Aufbau gleicht der Dieseltechnologie, dennoch gibt es Unterschiede in der jeweiligen Technologien.

Betriebshöfe

Jedes Unternehmen besitzt mindestens einen Betriebshof. Dieser ist auf seine gegenwärtige Flotte ausgelegt. Hauptsächlich handelt es sich um Parkplätze, Werkstätten, Tank- und Ladestationen sowie evtl. Verwaltungsgebäude. Die Verwaltung ist relativ unabhängig von der Betriebsart einer Busflotte, weshalb dieser Punkt nicht weiter betrachtet wird.

Bei den anderen Punkten ist eine Spezifizierung auf die Betriebsart und Ausführung der Flotte notwendig. Je nach Länge der Busse ist eine Umstrukturierung der vorgesehenen Parkfläche erforderlich. Ebenso muss die Werkstatt, sofern dies intern und nicht über einen Dienstleister erfolgt, über die notwendigen Werkzeuge, Materialien und Kenntnisse verfügen, um Reparaturen und Wartungen an der Busflotte vornehmen zu können. Hierzu muss gegebenenfalls neues Personal eingestellt, Werkzeug eingekauft und/oder Schulungen absolviert werden.

Die Tank- und Ladestationen unterliegen ähnlichen Schwankungen, wie sie bereits im vorherigen Unterkapitel aufgeführt worden sind. Die Kosten sind abhängig vom verwendeten Kraftstoff. Prinzipiell kann jede Busflotte nach Betriebsschluss am Abend betankt werden, um am nächsten Tag vollgetankt genutzt zu werden. Problematisch wird es, wenn mehrere Busse gleichzeitig am Betriebshof ankommen und es zu Wartezeiten an der Tankstelle kommt. Hier ist wieder die Überlegung, wie viele Tank- und Ladestationen wirklich benötigt werden und welche Verzögerungen verkraftbar sind. Im Rahmen dieser Arbeit wird mit einem Standard-Betriebshof gerechnet, wobei in der Praxis aufgrund der Vielzahl von kostenbeeinflussenden Parametern eine individuelle Bewertung vorgenommen werden muss, die zum Teil zu größeren Abweichungen vom Standard führen kann.

Anschaffungskosten Flotte

Ca. 95 % der in Deutschland fahrenden Busse werden mit Diesel betrieben. Das hat einerseits den Grund, dass der Dieselmotor technisch sehr weit ausgereift ist, andererseits sorgt die Serienproduktion für niedrige Kosten, weshalb alternative Antriebskonzepte mit deutlich höheren Anschaffungskosten verbunden sind. Dieselbusse entsprechen somit dem Standard und jegliche Abweichungen sind mit zusätzlichen Kosten verbunden. *[Pütz 2010, S. 40]*

5.2.2 Variable Kosten

Variable Kosten sind abhängig vom Nutzen, d. h. je mehr von einem Gut genutzt oder verbraucht wird, desto höher sind die dadurch entstehenden Kosten. Das klassische Beispiel für variable Kosten sind die Kraftstoffkosten: Je weiter eine Strecke ist bzw. je schneller gefahren wird, desto mehr Kraftstoff wird benötigt und desto höher sind die anfallenden Kosten. Im folgenden Kapitel wird auf die jeweiligen variablen Kosten eines Unternehmens im ÖPNV-Bereich eingegangen und die Zusammensetzung dieser erläutert.

Personalkosten

Die Personalkosten umfassen im Wesentlichen die Lohnzahlungen für das Personal, das während der Nutzungsdauer für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb sorgt. Hierzu zählen das Wartungs- und Instandhaltungspersonal, sowie alle anderen Personen, die geringfügig helfen (z. B. Tankwart). Teile dieser Kosten wurden in den Bereich der Instandhaltung integriert. Eine weitere und genauere Zuordnung dieser Kosten wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht vorgenommen, da diese aufgrund der relativen Ähnlichkeit für die einzelnen Antriebstechnologien ohne Auswirkung auf das Ergebnis bleiben.

Instandhaltungskosten

Die Instandhaltungskosten umfassen jegliche Wartungskosten, die im Lebenszyklus eines Busses anfallen. Hierzu zählen sowohl die Personalkosten für das Instandhaltungspersonal als auch die von diesem benötigten Materialien und mögliche zusätzliche Kosten (Fremddienstleistungen).

Insbesondere ist hier ein möglicher Batteriewechsel bei hybridbetriebenen oder reinen Elektrobussen zu berücksichtigen. Durch die starke Nutzung der Batterie und die mögliche starke Entladung kann die Lebensdauer eingeschränkt werden. So kann es nach einigen Jahren passieren, dass die Kapazität nicht mehr ausreicht, um die vorher geplanten Strecken zu befahren. In diesem Fall muss eine Ersatzbatterie angeschafft werden. Für die Kostenvergleichsrechnungen wird aus Gründen der Vereinfachung davon ausgegangen, dass die Kapazität im Laufe der Nutzungsdauer nicht oder nur sehr geringfügig sinkt.

Reparaturkosten

Im Falle eines Unfalls oder Defekts müssen die Schäden, sofern wirtschaftlich vertretbar, repariert werden. Die dabei anfallenden Kosten werden in diesem Bereich erfasst. Da eine Reparatur zufällig bzw. ungeplant auftreten kann, werden hier statistische Werte angenommen.

Kraftstoffkosten

Die Kosten für den Kraftstoff variieren je nach Art des Kraftstoffs.

5.3 Überblick über die relevanten Kosten der verschiedenen Antriebsarten

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Antriebstechnologien hinsichtlich der Anschaffungs-, Instandhaltungs- und Kraftstoffkosten charakterisiert.

5.3.1 Diesel

Mit fortschreitender technischer Durchdringung stiegen auch die Anforderungen an Dieselbusse. Es sollte mehr Leistung bei gleichbleibendem oder niedrigerem Verbrauch bereitgestellt werden sowie geringere Emissionen und verbesserte Raumnutzung ermöglicht werden. Es ist deswegen nicht verwunderlich, dass die Kosten von Dieselbussen mit den steigenden Anforderungen mitwuchsen. Dennoch sind Dieselbusse im Vergleich zu vielen anderen Antriebskonzepten günstiger. Durch die Serienproduktion konnten die

Herstellungskosten verringert und durch Zusatzstoffe die Emissionswerte verbessert werden. *[Pütz 2010, S. 110]*

Der Preis des Kraftstoffs unterlag in den letzten Jahren starken Schwankungen, was die Ergebnisse der Kostenrechnung ebenfalls gewissen Schwankungen unterwirft. Aktuell sind die Dieselpreise mit rund 1 €/l verglichen mit den Werten der letzten Jahre sehr niedrig. Neben Diesel wird teilweise noch Harnstoff, sogenanntes "AdBlue", benötigt. Es dient zur Verringerung von Emissionen und muss regelmäßig nachgefüllt werden. Abgesehen von der Preisentwicklung von Diesel sind die potenziellen Kosten im Lebenszyklus eines Dieselbusses weitestgehend bekannt. Zur besseren Vergleichbarkeit wird bei den Wartungs- und Instandhaltungskosten auf die gleichen Literaturquellen zurückgegriffen wie bei allen anderen folgenden Beispielen. Die Kosten für die Ladeinfrastruktur sind absolut gesehen die geringsten aller Antriebstechnologien. *[MWV 2016]*

5.3.2 Erdgas

Der Einsatz von Erdgas als Kraftstoff kann grundsätzlich durch mehrere Varianten geschehen. Aufgrund der Datenlage wird in diesem Beispiel nur mit CNG-betriebenen Bussen gerechnet. Alternativ gibt es Flüssigerdgas LNG.[9] Langfristig kann hier auch Biogas und in geringen Mengen Wasserstoff beigemischt werden.

Die Anschaffungskosten für einen CNG-Bus liegen etwas über den Kosten für einen vergleichbaren Dieselbus. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten sind vergleichbar, da diverse Teile nach einer bestimmten Laufzeit bzw. einer festgelegten Fahrleistung untersucht und ausgetauscht werden müssen. Im Gegenzug sind die Kosten für den Kraftstoff geringer als bei vergleichbaren Dieselbussen, die Erdgaspreise bewegen sich aber aufgrund der engen Verbindung zum Rohölpreis analog (wenn auch auf etwas niedrigerem Niveau in Bezug auf die Kosten in Relation zum Energiegehalt). Daneben sind die Kosten für Erdgastankstellen etwas höher als für den Dieselbtrieb. *[Pütz 2010]; [Seeliger 2013]*

5.3.3 Wasserstoff

Busse, die mit Wasserstoff betrieben werden, gehören derzeit zu den teuersten Alternativen. Generell gibt es die Unterscheidung von Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen (BZ), die mit Wasserstoff betrieben werden. Der Fokus wird in dieser Arbeit auf brennstoffzellenbetriebene Busse gelegt. Die Anschaffungskosten für BZ-Busse entsprechen einem Vielfachen von konventionellen Dieselbussen. Die Spanne ist sehr groß und auch stark abhängig von der Abnahmemenge. Bei Abnahmemengen von nur einem Bus überwiegt die Handarbeit, sodass keine Effizienzsteigerung erreicht werden kann. Die Serienproduktion von BZ-Bussen

[9] LNG bzw. Flüssigerdgas ist dabei nicht zu verwechseln mit Flüssiggas, also LPG (Autogas). Letzteres weist zwar einige günstigere Umwelteigenschaften als Diesel auf und wird aktuell noch relativ gering besteuert. Im Rahmen dieser Arbeit wird LPG jedoch nicht weiter verfolgt, da die Zukunftsperspektiven des ebenfalls fossilen LPG ähnlich wie die des Diesels sind und ein kostenintensiver Umstieg eines Verkehrsbetriebs von einem fossilen Energieträger auf einen anderen angesichts der politischen Rahmenbedingungen (siehe auch Kapitel 0) wenig wahrscheinlich erscheint.

kann ein erhebliches Potenzial zur Kostensenkung sein. Hierfür muss die Technologie weiter entwickelt werden, da für manche Brennstoffzellen sogenannte "Seltene Erden" benötigt werden, welche in der Anschaffung sehr teuer sind.

Neben dem Antrieb als solches ist der Kraftstoff der zweite, wichtige Kostenfaktor. Er besitzt zwar eine hohe gravimetrische Energiedichte von etwa 33,33 kWh/kg, jedoch eine geringe volumetrische Energiedichte. Zur Aufbewahrung wird meist ein zylindrisches Gefäß benutzt, in dem das Gas unter hohem Druck steht. Der Druck beträgt meistens 350 bzw. 700 bar. Um diese Drücke zu erzeugen, wird viel Energie benötigt, woraus entsprechende (Energie-)Kosten resultieren. Die Herstellung von Wasserstoff ist hingegen relativ unkompliziert. In der Chemieindustrie fällt es teilweise als Nebenprodukt an, welches nicht weiter benötigt wird. Andererseits kann es durch verschiedene Verfahren gezielt hergestellt werden und zwar sowohl mit umweltfreundlichen Verfahren als auch durch den Einsatz von fossilen Kraftstoffen. Aktuell sind die aus den hohen Kosten resultierenden Preise aber noch nicht marktkonform, da es zu wenig Abnehmer und zu geringe Abnahmemengen gibt. Die Preise für 100 g Wasserstoff belaufen sich aktuell an CleanEnergyPartnership-Tankstellen (CEP) auf 0,95 €, was mit Bezug auf den Energiegehalt deutlich teurer ist als alle anderen Alternativkraftstoffe. Die Herstellungskosten können bei entsprechender Umstrukturierung des Verkehrssektors reduziert werden, da es einen hohen, kontinuierlichen Absatzmarkt geben würde. Unklar ist, ob in Zukunft Steuer und Gebühren auf die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff anfallen. Für die Vergleichsrechnung wird davon ausgegangen, dass in den nächsten 12 Jahren keine Steuern oder Gebühren auf Wasserstoff erhoben werden. *[Giesel 2010]; [NOW 2015b]*

Als dritten Punkt werden die Wartungs- und Instandhaltungskosten analysiert. Da die Technologie teilweise noch in der Entwicklungsphase ist, sind Aussagen über Reparatur-, Instandhaltungs- und Wartungskosten rar. Zur Vergleichbarkeit muss deshalb auf Schätzwerte aus der Literatur zurückgegriffen werden. Der vierte Kostentreiber ist die Ladeinfrastruktur. Die Tankstellen für Wasserstoff sind hierbei technisch aufwändiger und deutlich teurer als konventionelle Tankstellen. *[Pütz 2010, S. 117]*

5.3.4 Elektrobus/Trolleybus

Die Ergebnisse des wirtschaftlichen Vergleichs von Elektrobussen mit anderen Antriebstechnologien sind sehr stark von der zu befahrenen Strecke abhängig. Ausschlaggebend sind der Energieverbrauch sowie das Ladeverhalten der Elektrobusse. Der Energieverbrauch setzt sich aus dem Beschleunigungs- und Steigungsanteil der zu befahrenden Strecke sowie der Heizung bzw. Kühlung und Lüftung, abhängig vom jahreszeitlichen Außentemperaturverlauf, zusammen. Bei entsprechend kalten Außentemperaturen kann der Energiebedarf der Heizung den Fahrenergiebedarf übersteigen. Dementsprechend sind Werte in der Literatur sehr unterschiedlich und nur näherungsweise zu verwenden. *[BMVI 2015b, S. 47]*

Um die verschiedenen Antriebstechnologien miteinander vergleichen zu können, wird in dieser Arbeit von einer Jahreslaufleistung von 60.000 km/a ausgegangen. Die Tageslaufleistung beträgt damit 165 km/d. Diese angenommene Laufleistung entspricht nach dem Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme

ca. der mittleren täglichen Fahrweite eines Linienbusses. Das Fraunhofer-Institut geht von einer Reichweite einer Batterieladung von 150-200 km als dauerhaft machbar aus. *[Fraunhofer 2015, S. 4]; [VCDB 2015, S. 11ff]*

Momentan sind die Batteriekosten der größte Kostentreiber beim Kauf eines Elektrobusses. Die Batteriekosten steigen nahezu proportional zur Batteriekapazität. Um einen Vergleich der verschiedenen Antriebstechnologien darstellen zu können, werden in dieser Arbeit die exemplarischen Ausarbeitungen von Pütz verwendet. Hierzu werden Daten der Energieverbräuche auf die Tagesfahrleistung dieser Arbeit übertragen. *[Pütz 2010,S. 58f]; [VCDB 2015, S. 15]*

Eine differenzierte Verwendung von Elektrobussen findet zusätzlich im Bereich der Ladezeitpunkte sowie Ladestellen statt. Dazu werden zwei Beladungs-Typen unterschieden (Tab. 1):

- Vollladung mit Ladestationen ausschließlich im Betriebshof, mit anfänglich geringen Ladeinfrastrukturkosten aber hohen Batteriekosten;
- Nachladung mit Pantographen an den Endhaltestellen der Buslinie und Ladestationen im Betriebshof, mit anfänglich höheren Ladeinfrastrukturkosten aber geringeren Batteriekosten aufgrund der niedrigeren nötigen Batteriekapazität, die zusätzlich zum Beladen an der Ladesäule im Betriebshof das Beladen an den Endpunkten mit Pantographen ermöglicht.

Beladungsart	**E-Bus Solo.**	**E-Bus Solo.**	**E-Bus Gelenk.**	**E-Bus Gelenk.**	**Trolley Solo.**	**Trolley Gelenk.**
Einheit	l/d	l/S*	l/d	l/S*	l/S*	l/S*
Energieverbrauch in Liter	34	3,7	45,9	5	3,5	4,8
Energieverbrauch in kWh	340 kWh	37,1 kWh	459,1 kWh	50,1 kWh	35,5 kWh	47,9 kWh
Brutto-Batteriekapazität	425 kWh	46,4 kWh	573,9 kWh	62,6 kWh	44,4 kWh	59,9 kWh
Batteriekosten	637.500 €	69.563 €	860.850 €	93.900 €	66.563 €	89.813 €
Volladung						
Nachladung						
l/S* - Einfache Strecke 16,5 km						
l/d - Tagesfahrleistung 165 km						
1l = 10kWh						

Tab. 1: Energieverbrauch und Batteriekosten[10]

Wegen unterschiedlicher Durchschnittsgeschwindigkeiten schwankt der Stromverbrauch. In dieser Arbeit werden die Berechnungen auf die standardisierten Straßentestzyklen von Linienbussen 2 (SORT-2) bezogen, (siehe Kapitel 4.1). In SORT-2 wird eine durchschnittliche Geschwindigkeit von ca. 18 km/h angenommen. Die Streckenlänge wird mit 16,5 km definiert.

Die Versorgung der Busse mit Elektrizität hängt von der gewählten Ladestation ab. Es gibt erfahrungsgemäß zwei Komponenten bei der Kostenermittlung, einen Leistungs- und einen Arbeitspreis. Der Leistungspreis ist abhängig von der maximal zu einem Zeitpunkt anfallenden Last, gemessen in Kilowatt (kW). Der Arbeitspreis wird pro Kilowattstunde (kWh) angegeben. Sollte eine Ladeinfrastruktur mit Schnellladesystem gewählt worden sein, so ergeben sich hohe Lastspitzen, da die Batterien in kurzer Zeit aufgeladen werden. Sind normale Ladestationen angeschafft worden, so ergeben sich deutlich geringere Leistungskosten.

[10] Eigene Berechnungen und Darstellung nach *[Pütz 2010, S. 58f]* und *[VCDB 2015a, S. 15]*.

Zur Kostenermittlung des Kraftstoffverbrauches wird der durchschnittliche Großhandelspreis (Baseload) von Februar 2016 am EPEX-Spotmarkt (22,73 €/MWh) verwendet. Wie auch beim Dieselkraftstoff unterliegt der Strompreis starken Schwankungen, die auch das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung beeinflussen. Wie der Dieselpreis bewegt sich der Strompreis aktuell auf sehr niedrigem Niveau. Weiterhin werden die nicht beeinflussbaren Fremdkostenblöcke von Strom im öffentlichen Nahverkehr verwendet. Diese sind Netznutzungsentgelte sowie sämtliche Steuern und Abgaben, die auch ein Haushaltskunde zu zahlen hat (mit Ausnahme der Mehrwertsteuer). Lediglich bei der Stromsteuer erhalten zumindest Trolleybusse einen Steuervorteil (1,142 statt 2,05 ct/kWh). *[Next Kraftwerke 2016]; [VDV 2015, S. 14]*

Die folgende Abb. 7 spiegelt die Ladeinfrastrukturkosten in Abhängigkeit der Busanzahl wieder. Eine Ladesäule wird hier mit 40.000 € und einer Leistung von 50 kW definiert und der Pantograph mit ca. 467.000 € und einer Leistung von 450 kW. Durch die unterschiedlichen Batterie-Kapazitäten für Voll- und Nachladung (ca. 500 kWh und ca. 50 kWh) werden für die nächtliche Beladung im Betriebshof eine Ladesäule pro Elektrobus bei den Vollladern und eine Ladesäule für zehn Elektrobusse bei den Nachladern angenommen. In dieser Arbeit wird von einer Busflotte von 50 Linienbussen ausgegangen, dementsprechend ist auch die Ladeinfrastruktur ausgelegt. *[KVB 2015, S. 30]; [Plötz et al. 2013, S. 153]; [VCDB 2015, S. 15]*

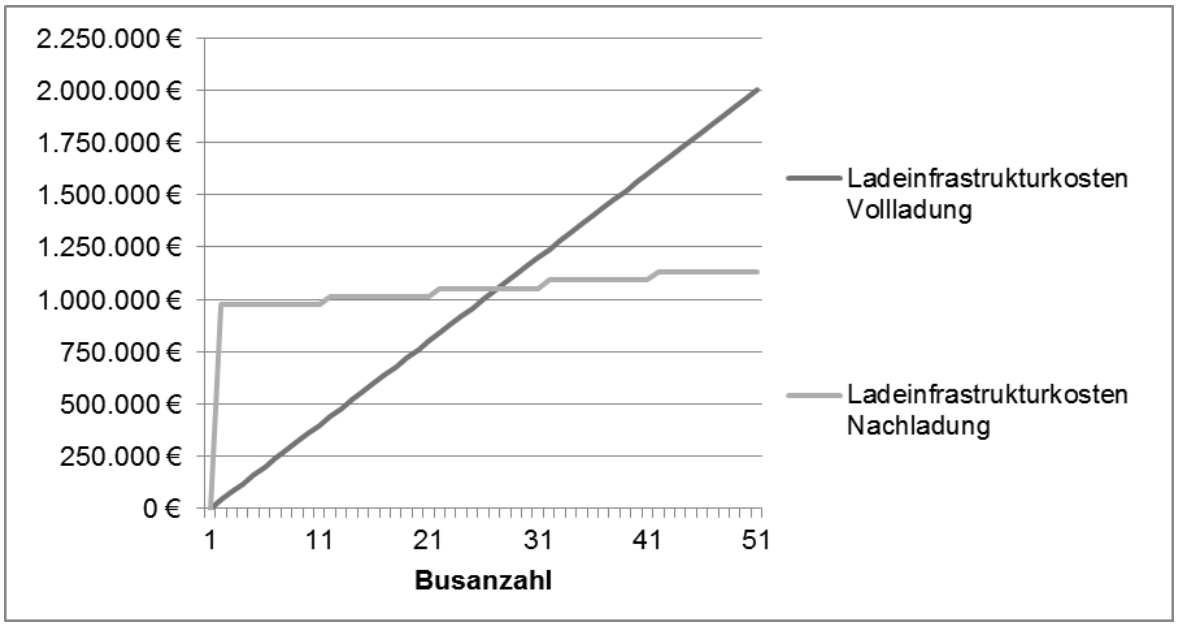

Abb. 7: Ladeinfrastrukturkosten in Abhängigkeit der Busanzahl[11]

5.3.5 Full-Hybrid

Hybridbusse kommen in verschiedenen technischen Ausfertigungen vor. Aufgrund des erhöhten Einsatzes von Diesel als Kraftstoff wird in diesem Beispiel von einem Diesel-Full-Hybrid ausgegangen. Der Verbrauch wird ähnlich wie der eines Dieselmotors beziffert. Jedoch wird durch Rekuperation und Start/Stoppautomatik

[11] Eigene Berechnungen und Darstellung nach *[Plötz et al. 2013, S. 153]* und *[KVB 2015, S. 30]*.

Energie eingespart. Die Höhe der Energieeinsparung ist von der mittleren Zyklusgeschwindigkeit abhängig. In SORT-2 wird von einer Energieeinsparung von ca. 22 % ausgegangen. *[Pütz 2010, S. 89]*

5.4 Vergleichende Darstellung

In Abb. 8 und Abb. 9 werden die Gesamtkosten pro Bus dargestellt, die genauen Kostenangaben sind aus Tab. 2 und Tab. 3 ersichtlich. Werden diese Gesamtkosten in Relation zur angenommenen jährlichen Fahrleistung gesetzt, ergeben sich die durchschnittlichen Kilometerkosten, die in Abb. 10 dargestellt sind.

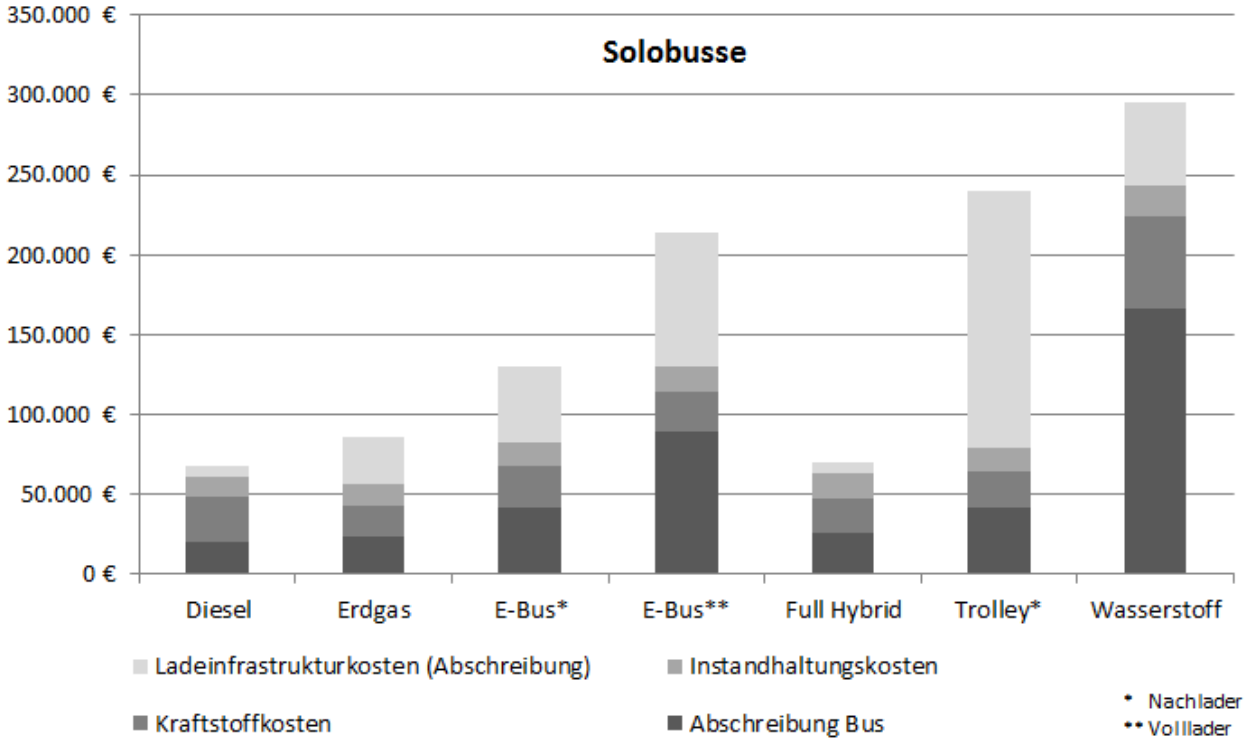

Abb. 8: Gesamtkosten pro Jahr für Solobusse[12]

Gesamtkosten	Diesel	Erdgas	E-Bus*	E-Bus**	Full Hybrid	Trolley*	Wasserstoff
Kostenart	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a
Abschreibung Bus	20.000,00	23.333,33	41.630,25	88.958,33	26.250,00	41.380,25	166.666,67
Kraftstoffkosten	27.919,68	19.378,80	25.560,52	25.560,52	21.297,00	23.349,21	57.000,00
Instandhaltungskosten	13.360,00	14.120,00	15.700,00	15.700,00	15.700,00	14.700,00	19.140,00
Ladeinfrastrukturkosten (Abschreibung)	6.250,00	29.166,67	47.222,25	83.333,33	6.250,00	159.922,67	52.083,33
Summe	**67.529,68**	**85.998,80**	**130.113,02**	**213.552,19**	**69.497,00**	**239.352,12**	**294.890,00**
Kilometerkosten	**1,13 €**	**1,43 €**	**2,17 €**	**3,56 €**	**1,16 €**	**3,99 €**	**4,91 €**

* Nachlader
** Volllader

Tab. 2: Gesamtkosten pro Jahr für Solobusse[13]

[12] Eigene Berechnungen und Darstellung.
[13] Eigene Berechnungen und Darstellung.

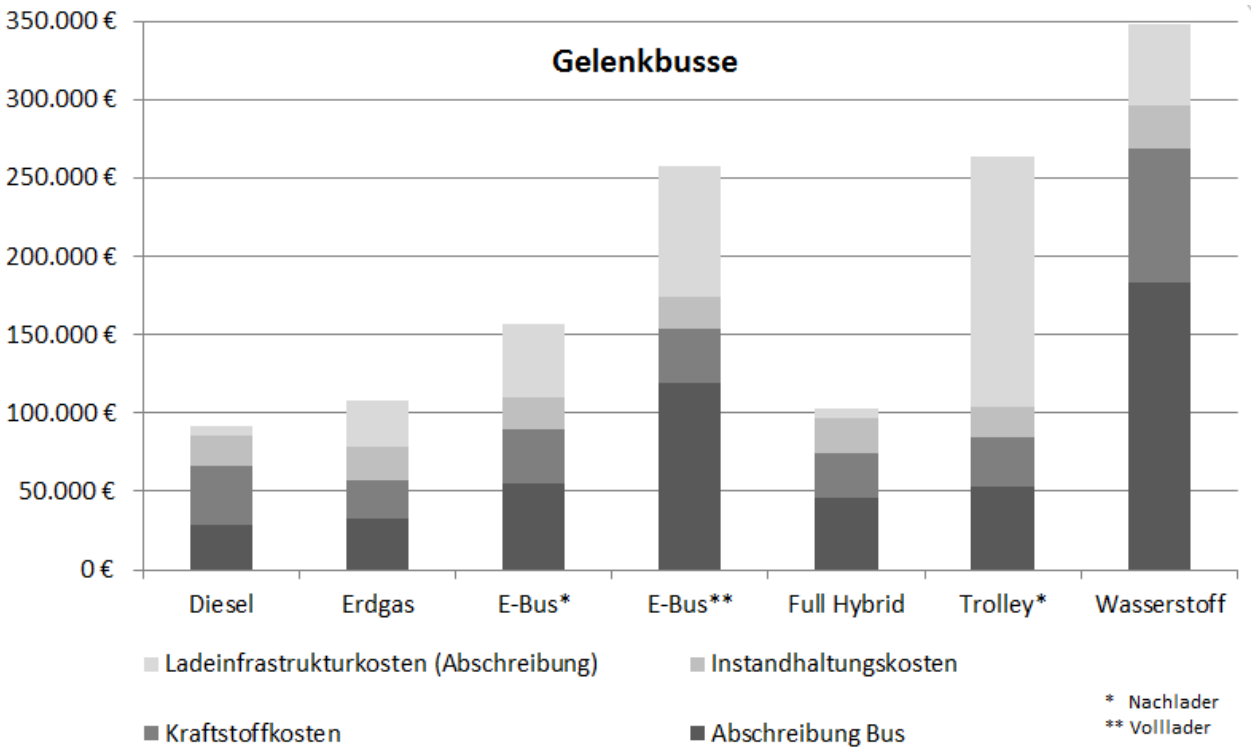

Abb. 9: Gesamtkosten pro Jahr für Gelenkbusse[14]

Gesamtkosten	Diesel	Erdgas	E-Bus*	E-Bus**	Full Hybrid	Trolley*	Wasserstoff
Kostenart	€/Bus*a	€/Bus/*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a	€/Bus*a
Abschreibung Bus	28.333,33	32.500,00	55.325,00	119.237,50	46.158,33	53.317,75	183.333,33
Kraftstoffkosten	37.691,57	24.454,20	34.506,70	34.506,70	28.750,95	31.521,43	85.500,00
Instandhaltungskosten	19.340,00	21.800,00	20.180,00	20.180,00	22.180,00	19.180,00	27.620,00
Ladeinfrastrukturkosten (Abschreibung)	6.250,00	29.166,67	47.222,25	83.333,33	6.250,00	159.922,67	52.083,33
Summe	**91.614,90**	**107.920,87**	**157.233,95**	**257.257,54**	**103.339,28**	**263.941,85**	**348.536,67**
Kilometerkosten	**1,53 €**	**1,80 €**	**2,62 €**	**4,29 €**	**1,72 €**	**4,40 €**	**5,81 €**

* Nachlader
** Volllader

Tab. 3: Gesamtkosten pro Jahr für Gelenkbusse[15]

[14] Eigene Berechnungen und Darstellung.
[15] Eigene Berechnungen und Darstellung.

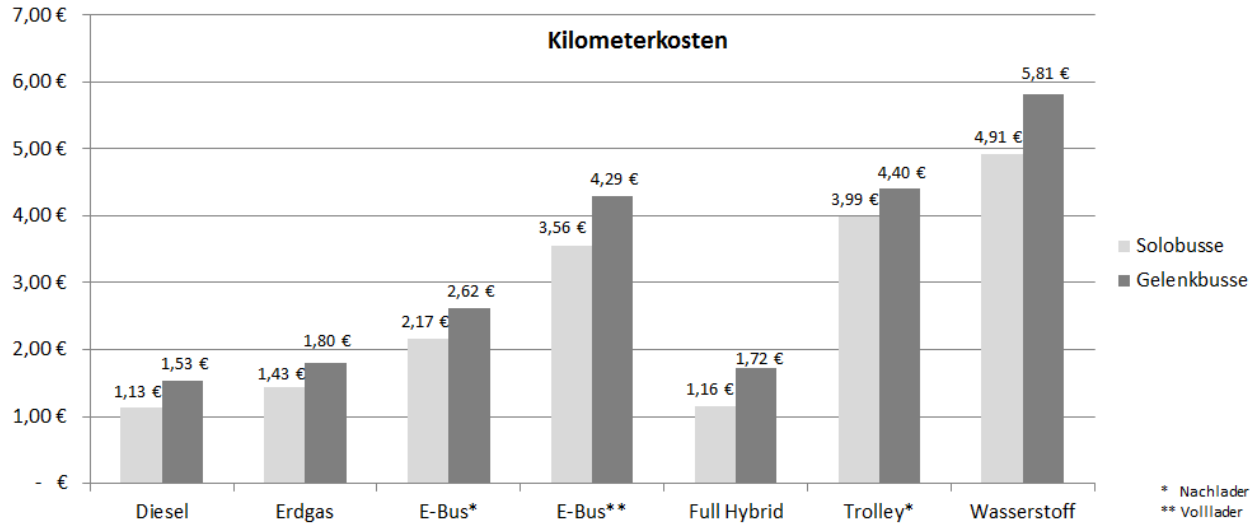

Abb. 10: Kilometerkosten der einzelnen Bus- und Antriebstypen[16]

Aus Abb. 10 ist ersichtlich, dass Dieselbusse aktuell die ökonomisch sinnvollste Lösung sind. Dieselbusse weisen die geringsten Kosten auf, sind technisch ausgereift und universell einsetzbar. Jedoch haben Dieselbusse vergleichsweise schlechte Emissionswerte. Dieses Emissionsproblem wird teilweise vom zweitgünstigsten Bus wettgemacht: dem Full-Hybrid. Er baut auf dem Dieselbus auf, hat aber zusätzlich einen Elektroantrieb zur Verringerung des Kraftstoffverbrauchs. Anschließend folgt der mit Erdgas betriebene Bus, gefolgt von den Elektrobussen. Das Schlusslicht bildet der wasserstoffbasierte Brennstoffzellenbus.

Maßgeblich für diese Rangfolge sind die hohen Anschaffungskosten für die Batterien und die Antriebstechnologie des Brennstoffzellenbusses. In Zukunft wird davon ausgegangen, dass die Kosten in diesen beiden Bereichen sinken werden. Derzeit ist aber noch nicht ersichtlich, wann und in welchem Umfang die Kosten reduziert werden können.

Die hier dargestellten Kosten sind nur indikative Werte, die je nach individueller Situation des Verkehrsbetriebs, der Entwicklung der Brennstoffkosten und weiterer Parameteränderungen variieren können. Bei Betrachtung der aktuellen betriebswirtschaftlichen Entscheidungssituation der allermeisten Verkehrsbetriebe verschiebt sich die Bewertungsskala jedoch noch weiter hin zum Diesel. Hier konkurriert eine bestehende und bewährte Technologie mit ausgebauter Infrastruktur auf den Betriebshöfen mit zum Teil noch nicht im Massenbetrieb behaupteten Technologien, für die größere Anschaffungskosten notwendig sind. Würden in der obigen Kostenrechnung folglich die Anschaffungskosten beim Diesel wieder herausgerechnet (weil Stand heute jeder deutsche Verkehrsbetrieb eine solche Infrastruktur bereits hat), lägen die Kilometerkosten lediglich bei rund 1 €.[17] Zwar liegen die Dieselpreise aktuell auf niedrigem Niveau, dieselbe Argumentation lässt sich jedoch auch für Erdgas- und Strompreise anführen. Wieder steigende Dieselpreise dürften in der Regel auch mit steigenden Erdgaspreisen einhergehen, da zwischen den Preisen der beiden

[16] Eigene Berechnungen und Darstellung.
[17] Selbst wenn bei den anderen Antriebstechniken die Ladeinfrastrukturkosten ebenfalls herausgerechnet würden, bliebe Diesel günstiger als Elektro- und Wasserstoffalternativen. Lediglich Erdgasbusse wären hier etwas günstiger (0,95 € pro Kilometer).

Energieträger eine hohe Korrelation besteht (bzw. von beiden zum Rohölpreis). Die Beziehung zum Strompreis ist zwar nicht ganz so deutlich ausgeprägt, aber ein Energiepreisszenario in dem die Öl- und Gaspreise sehr stark steigen und langfristig auf hohem Niveau bleiben während die Strompreise gleichzeitig auf historisch niedrigem Stand verharren, erscheint eher unwahrscheinlich.

6 ÖPNV zwischen Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit

In den letzten Jahren haben sich die Bedingungen für den erfolgreichen Betrieb eines ÖPNV-Unternehmens grundlegend verändert. Hauptgrund dafür ist, dass das Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit größer geworden ist. Ziel dieses Kapitels ist daher, dieses Spannungsfeld darzustellen, einleitend auf Ebene der Europäischen Union und anschließend vertiefend auf Ebene der Bundesrepublik Deutschland und besonders des Landes Nordrhein-Westfalen.

6.1 Klimaschutz und ÖPNV auf Ebene der Europäischen Union

Die Europäische Union hat verschiedene Beschlüsse und Verordnungen für den Klimaschutz erlassen. Die Verordnung (EU) Nr. 1293/2013 des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2013 zur Aufstellung des Programms für die Umwelt und Klimapolitik (LIFE) dient im Sinne von Grund 1 der weiteren Förderung des bisher erfolgreichen Programmpaketes der EU zum Schutz von Umwelt und Klima. Zu den in Artikel 3 erklärten Zielen gehört eine Wirtschaft, welche die vorhandenen Ressourcen effizienter einsetzt, möglichst wenig CO_2 emittiert und gegen ein extremer werdendes Klima widerstandsfähiger wird. Für das Teilprogramm der Klimapolitik erhalten die Mitgliedsstaaten in Summe von 2014 bis 2020 eine jährliche Finanzausstattung von rund 864 Millionen €. Die Klimapolitik gliedert sich gemäß Grund 19 in Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel sowie Verwaltung und Information auf. Zu den Schwerpunkten des Klimaschutzes im Speziellen gehören die Überwachung und Berichterstattung über den Ausstoß von Treibhausgasen, die Bewahrung naturgegebener Senken für Kohlenstoff sowie der Ozonschicht, die Organisation des Emissionshandels, Reduktion von Treibhausgasemissionen, der verstärkte Einsatz von Erneuerbaren Energien, der effiziente Energieeinsatz sowie Verkehr und Kraftstoffe.

In der Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa ist geregelt, wie Messungen der Luftqualität durchzuführen sind. Außerdem werden Grenzwerte für Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), Feinstaubartikel (PM_{10} und $PM_{2,5}$), Benzol, Blei und Kohlenmonoxid vorgeschrieben.

Einen direkten Einfluss auf die Tätigkeit von öffentlichen und privaten ÖPNV-Dienstleistern hat die Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 vom 23. Oktober 2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Straße. Mit dieser Verordnung sollen allgemein sichere, effiziente und hochwertige Personenverkehrsdienste gewährleistet werden. Die Umsetzung erfolgt durch regulierten Wettbewerb, um Transparenz und Leistungsfähigkeit von ÖPNV zu garantieren. Gleichzeitig sollen laut Grund 4 soziale, umweltpolitische und raumplanerische Faktoren berücksichtigt werden. Der Hauptgrund der Verordnung sind die in Artikel 1 konstituierten Bedingungen, unter welchen die zuständige Behörde finanzielle Unterstützung gewähren darf. Außerdem werden die Pflichten der Behörden und ÖPNV-Dienstleister zu den notwendigen Inhalten öffentlicher Dienstleistungsaufträge, die Verfahren zur Vergabe solcher und die Bekanntmachungen

festgelegt. Insgesamt verschärfen sich durch diese Verordnung die Transparenzpflichten im Zuge von Finanzierungen im ÖPNV. *[Bagdahn 2009]*

Die Abgasgrenzwerte, welche die EU für Fahrzeuge festsetzt (Tab. 4), sind ebenfalls von direkter Bedeutung für ÖPNV-Dienstleister. Die EU hat für die Typ- und Serienprüfungen von schweren Nutzfahrzeuge mit einer Bezugsmasse, die 2.610 kg überschreitet, die Verordnung (EG) 595/2009 vom 18. Juni 2009 über die Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (…) erlassen. Darin wird die Abgasnorm EURO-VI als verpflichtender Grenzwert ab dem 31. Dezember 2012 bei der Typenprüfung und ab dem 31. Dezember 2013 bei der Serienprüfung vorgeschrieben.

Fahrzeug	CO2 [g/kWh]	THC [g/kWh]	NO_x [g/kWh]	CH_4 [g/kWh]	NMCH [g/kWh]	NH_3 [ppm]	Partikelmasse [g/kWh]	Partikelzahl [Anzahl/kWh]
Diesel	1,5	0,13	0,4	-	-	10	0,01	$8,0 * 10^{11}$
Otto	4	-	-	0,46	0,5	0,16	0,01	-

Tab. 4: Abgasgrenzwerte für LKW und Busse nach Verordnung (EG) Nr. 595/2009

Dies bedeutet eine Verringerung der Grenzwerte von Partikeln um ungefähr zwei Drittel und von Stickstoffoxiden um 80 % im Vergleich zur Vorgängernorm. Alle Neufahrzeuge müssen diese Abgasgrenzwerte einhalten. *[BMUB 2015a]*

6.2 Klimaschutz und ÖPNV in Deutschland auf Bundesebene

Wie Menschen, Tiere, Pflanzen und die Umwelt vor schadhafter Einwirkung durch Emissionen geschützt werden sollen, regelt die Bundesregierung in § 1 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) in der Fassung vom 31. August 2015. Zum Schutz verpflichtet sind laut § 22, Absatz 1 BImSchG Betreiber von Anlagen, die Emissionen verursachen, zum Beispiel ÖPNV-Unternehmen (Verpflichtete). Die Busflotte eines ÖPNV-Unternehmens gehört zu den nicht-genehmigungspflichtigen Anlagen.

Seit 2015 ist die Vorgabe als Reduktion der Treibhausgasemissionen in § 37a BImSchG formuliert. Verpflichtete haben sicherzustellen, dass die Treibhausgasemissionen aus Diesel-, Otto- und Biokraftstoff innerhalb vorgegebener Fristen reduziert werden. Die Reduktion erfolgt gegenüber einem Referenzwert, der für jeden Verpflichteten individuell berechnet wird. Entsprechend § 17 a, Absatz 4 BImSchG b 2015 müssen Treibhausgase bis 2016 um 3,5 %, ab 2017 um 4,0 % und ab 2020 um 6,0 % gegenüber dem Referenzwert reduziert werden. Der Referenzwert berechnet sich als Multiplikation aus einem Basiswert, für den 83,8 kg CO_2 je Gigajoule angesetzt werden, und der aufsummierten energetischen Menge an Diesel-, Otto- und Biokraftstoffen. Um zu bewerten, welche Minderung erreicht wurde, ist die Berechnung der tatsächlichen Treibhausgasemissionen notwendig. Dieser errechnet sich als Produkt des Basiswerts mit der energetischen Menge an Diesel- und Ottokraftstoff, welches aufsummiert wird mit dem Produkt der energetischen Menge an Biokraftstoffen und einem Faktor für Treibhausgasemissionen. Der Basiswert entspricht dem obigen Wert und

der Faktor Treibhausgasemissionen von Biokraftstoffen ist § 14 der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 30. September 2009 zu entnehmen. Dabei muss der Verpflichtete auch prüfen, ob der verwendete Biokraftstoff gemäß § 37a, Absatz 1 als fossiler Diesel- oder Ottokraftstoff behandelt wird.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die aufgeführten Verpflichtungen zu erfüllen. So können in Erdgas, Diesel- oder Ottokraftstoffe Biokraftstoffe beigemischt oder reine Biokraftstoffe verwendet werden. Ebenso ist es möglich elektrischen Strom einzusetzen. Voraussetzung dafür ist, dass die Bundesregierung regelt, wie die Umweltbilanz von elektrischem Strom berechnet wird. Von besonderer Bedeutung ist dabei, welches Verfahren zur Berechnung von Treibhausgasemissionen für die Stromerzeugung angewendet und wie der entsprechende Nachweis erbracht wird. Die letzte Möglichkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen besteht darin, die Verpflichtung einem Dritten zu übertragen.

Falls die Grenz- und Mindestwerte für Biokraftstoffe oder Treibhausgasemissionen in einem Verpflichtungsjahr nicht eingehalten wurden, wird laut § 37 a, Absatz 8 BImSchG der Fehlbetrag in das nächste Verpflichtungsjahr übertragen. Auch hierbei gelten gesonderte Regelungen für Biokraftstoffe. Verpflichtete müssen gemäß § 37 c BImSchG ihre Emissionen bis zum 15. April des Folgejahres schriftlich melden. Dabei erfolgt eine elektronische Registrierung eines jeden Verpflichteten. Falls ein Verpflichteter seine Grenz- und Mindestwerte nicht einhält, wird die zuständige Stelle außerdem Strafzahlungen festsetzen. Die Strafzahlung erfolgt für die Fehlmenge an Biokraftstoff beziehungsweise für die überschrittene Menge an Treibhausgasemissionen. Die Zahlungen betragen bspw. 19 € pro Gigajoule Dieselkraftstoff, 43 € pro Gigajoule Ottokraftstoff sowie 0,47 € pro kg CO_2-Äquivalent. Sollte ein Verpflichteter seiner Pflicht zur Meldung nicht nachkommen und auch eine Nachholung versäumen, schätzt die zuständige Stelle den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen. Die Schätzung ist die verbindliche Grundlage für die Folgejahre. Der Verpflichtete, der gleichzeitig die Steuern für die Kraftstoffe zahlt, meldet dem zuständigen Hauptzollamt seine Verbräuche von Diesel-, Otto- und Biokraftstoffen gemeinsam mit der monatlichen Anmeldung der Energiesteuer.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit hat in Ergänzung zu den geltenden Gesetzen den Umweltforschungsplan „Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen“ entwickelt. Es wurde bewertet, welche Energieeinsparung und Treibhausgasminderung mit schweren Nutzfahrzeugen erreicht werden können, wenn noch nicht standardmäßig verwendete Effizienzmaßnahmen eingesetzt werden. Ergänzt wird dies um eine Bewertung der Kosteneffizienz. Den Abschluss der Studie bildet eine Untersuchung, welche Umstände die Einführung von sinnvollen Strategien erschweren und welche Maßnahmen die Einführung erleichtern. Ein Ergebnis der Studie ist, dass Entwickler, Hersteller, Zulieferer und Nutzer von schweren Nutzfahrzeugen für eine langfristige Unternehmensführung auf eindeutige und zuverlässige Aussagen über die Zukunft angewiesen sind. Darum fordern die Autoren der Studie einen klareren politischen Rahmen bei Maut, Steuern, Emissionshandel, Bezug von Kraftstoff und verbindliche Ziele zur Verminderung von Treibhausgasen. *[BMUB et al. 2015, S. 5 u. S. 132]*

Das Einsparpotenzial soll einheitlich und transparent dargestellt werden können, um die Amortisation einer Investition richtig bestimmen zu können. Deswegen sind Informationsmaßnahmen, wie ein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung des CO_2-Ausstoßes, die verpflichtende Kennzeichnung der CO_2-Emissionen bei neuen Fahrzeugen und Beratung über die Effizienz von Nutzfahrzeugen notwendig. Zu den Fördermaßnahmen gehören: der Start von Programmen zur finanziellen Unterstützung, die Förderung von Forschung und Entwicklung sowie Unterstützung von Werkstätten, die mit alternativen Antrieben arbeiten, aber auch die Erweiterung des Tankstellennetzes für LNG, CNG und Strom. Ebenso sollen Kommunen finanzielle Zuwendung erhalten, um den eigenen Fuhrpark auf alternative Antriebe umzurüsten. Für die Einhaltung juristischer Vorgaben wird ein Paket an Regulierungsmaßnahmen vorgeschlagen. Damit sollen einerseits Anreize für Einsparungen gegeben werden, andererseits verbindliche Vorgaben gemacht werden, mit denen Effizienzklassen für einzelne Technologien vorgegeben werden. Falls die Ziele zu Energieeinsparung und Treibhausgasminderung nicht erreicht werden können, werden verschärfte Gesetze für die CO_2-Emissionen von Neufahrzeugen gefordert. *[BMUB et al. 2015, S. 133ff]*

6.3 Klimaschutz und ÖPNV in Nordrhein-Westfalen

Das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) verfolgt seit 2010 eine neue Klimaschutzpolitik und hat am 23. Januar 2013 das bundesweit erste Klimaschutzgesetz auf Landesebene verabschiedet, das sogenannte Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen (Klimaschutzgesetz NRW). Laut § 1 dieses Gesetzes soll im Rahmen von nationalen und internationalen rechtlichen Vorgaben und Zielen der Klimaschutz in NRW dauerhaft verbessert werden. Deswegen hat die Landesregierung im Klimaschutzgesetz entsprechende Ziele formuliert. Außerdem hat sie juristische Anordnungen getroffen, um Klimaschutzmaßnahmen zu entwickeln, umzusetzen, zu überprüfen, darüber Bericht zu erstatten und einen neuen Maßnahmenzyklus zu entwickeln. *[MKULNV 2015a]*

Die Paragraphen, auf die in diesem Abschnitt verwiesen wird, sind dem Klimaschutzgesetz NRW entnommen. Im Vergleich zum Referenzjahr 1990 sollen die Emissionen von Treibhausgasen bis 2020 um wenigstens 25 %, bis 2050 um wenigstens 80 % reduziert werden (§ 3). Zu den nicht quantifizierten Zielen gehören eine höhere Bedeutung für Schutz und effiziente Nutzung von Ressourcen, effizienterer und sparsamerer Energieeinsatz und ein verstärkter Einsatz von Erneuerbaren Energieträgern (§3). Das Gesetz verpflichtet öffentliche Stellen in NRW, zu denen unter anderem die Landesregierung, Behörden, Einrichtungen, Gemeinden, Gemeindeverbände und juristische Personen unter Landesaufsicht gehören (§ 2). Dabei ist die Landesregierung unmittelbar zur Umsetzung verpflichtet und erstellt in regelmäßigem Turnus einen Klimaschutzplan (§ 4). Öffentliche Stellen hatten zwei Jahre nach Inkrafttreten des Gesetzes zum ersten Mal ein Konzept zum Klimaschutz zu erstellen (§5). Das gesamte Vorhaben wird von einem wissenschaftlich abgesicherten Monitoring begleitet (§8).

Die Landesregierung sollte 2013 einen Klimaschutzplan beschließen. Tatsächlich geschah dies am 17. Dezember 2015. Er enthält konkrete Maßnahmen, mit denen die im Gesetz formulierten Ziele erreicht werden

sollen. Dabei werden die Strategien und Maßnahmen sowohl allgemein als auch sektorbezogen formuliert. Darüber hinaus gibt es einen übergreifenden Ansatz zur Betrachtung von Wechselwirkungen zwischen Aktivitäten in NRW zu denen des Bundes und der EU sowie den Auswirkungen von Produktionsverlagerungen auf die Treibhausgasemissionen in NRW.

Der verabschiedete Klimaschutzplan enthält insgesamt 154 Maßnahmen. Da zwei Drittel der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors dem Personenverkehr entspringen, ist Klimaschutz in diesem Bereich von besonderer Bedeutung. Im Abschnitt 6 „Klimafreundlich mobil sein: Verkehrswende in NRW erfolgreich gestalten“ wird das Ziel festgesetzt, das ÖPNV-Angebot zu vergrößern. Die Landesregierung fordert von der Bundesregierung unter anderem, dauerhaft die notwendigen Regionalisierungsmittel für den ÖPNV-Betrieb zur Verfügung zu stellen. Zu den weiteren Strategien gehören die Verbesserung des Klimaschutzes durch ÖPNV auf wenig genutzten Strecken, die weitere Entwicklung des Masterplans Elektromobilität, der breite Einsatz von Bussen mit Wasserstoffantrieb sowie eine Studie zum Steuersystem und klimafreundlicher Mobilität. Als Referenzprojekte dienen die „Studie zu Modellversuch emissionsfreie Innenstadt“ und die „Verknüpfung von Car Sharing, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr“. *[MKULNV 2015b]*

Mit dem „Gesetz zum Schutz vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und ähnlichen Umwelteinwirkungen (Landes-Immissionsschutzgesetz - LImschG -)“ erlässt die Landesregierung weitere Vorgaben für den Klimaschutz. Es gilt für den Bau und Betrieb von Anlagen sowie für das Verhalten von Personen, die schadhafte Umwelteinwirkungen auslösen können und bezieht sich damit auf § 1 BImSchG. Schadhafte Umwelteinwirkungen müssen gemäß § 3 LImschG grundsätzlich vermieden und der aktuelle Stand der Technik eingesetzt werden, es sei denn, der Einsatz verursache unverhältnismäßigen Aufwand. Wenn in bestimmten Gemeindegebieten besondere Anforderungen an den Emissionsschutz gestellt werden, können die zuständigen Gemeinden ortsspezifische Vorschriften erlassen. In § 5 LImschG ist vorgesehen, dass der Betrieb von genau bezeichneten Anlagen, der Einsatz von genau bezeichneten Brennstoffen sowie bestimmte Tätigkeiten nur eingeschränkt oder gar nicht erlaubt werden, wenn sie besonders schädlich für die Umwelt sind. Motoren, die Lärm und Abgase verursachen, dürfen nicht unnötig betrieben werden (§ 11 a LImschG). Der Emissionsschutz wird von Behörden durch verschiedene Instanzen überwacht. Die unterste Instanz bilden die Kreise und kreisfreie Städte, die obere Immissionsschutzbehörde ist die jeweilige Bezirksregierung und das Ministerium für Umwelt und Naturschutz. Landwirtschaft und Verbraucherschutz bilden die oberste Immissionsschutzbehörde (§ 14 LImschG). Wer gegen das Gesetz verstößt, kann entsprechend den Vorgaben von § 17f. LImschG mit Geldbußen von bis zu 5.000 € oder einer Freiheitsstrafe von bis zu zwei Jahren bestraft werden.

Die Landesregierung regelt den ÖPNV selbst im Gesetz über den öffentlichen Personennahverkehr in Nordrhein-Westfalen (ÖPNV-G NRW). Ziel des Gesetzes ist es, den Kommunen mehr Freiheit bei der Verwendung der Fördermittel zu geben und den Einfluss des Landes zu reduzieren. In der geltenden Fassung vom 9. Januar 2016 ist in § 3, Absatz 15 festgesetzt, dass Kreise, mittlere und große kreisangehörige sowie kreisfreie Städte mit eigenem ÖPNV-Unternehmen oder maßgeblicher Beteiligung daran verpflichtet sind,

ÖPNV bereitzustellen. Dies ist Teil der Daseinsvorsorge der Aufgabenträger. In NRW gibt es dazu gemäß § 5 ÖPNVG NRW drei Zweckverbände, welche die Pflicht haben, den Verkehr zu gestalten, einen gemeinschaftlichen Tarif zu bilden und bestimmte Qualitätsstandards zu gewährleisten. Bei den Zweckverbänden handelt es sich namentlich um den Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR), den Zweckverband Nahverkehr Rheinland (NVR) und den Zweckverband Nahverkehr Westfalen-Lippe (NWL). *[MBWSV 2015]*

Im § 7 ÖPNVG NRW ist vorgesehen, dass das Ministerium für Verkehrswesen mit dem Verkehrsausschuss des Landtages zusammen einen Bedarfsplan für den ÖPNV erstellt. Inhalt eines Bedarfsplans ist die Planung des Aus- und Neubaus von Schienennetzen und anderen Investitionsmaßnahmen, die zuwendungsfähig sind. Dafür müssen die Investitionskosten mindestens 3 Millionen € betragen. Auf Grundlage eines Bedarfsplans wird ein Infrastrukturfinanzierungsplan erstellt. Dieser enthält nur die Maßnahmen, die tatsächlich gefördert werden sollen. Der letzte ÖPNV-Bedarfsplan wurde 2005 erstellt, was eine Überarbeitung nötig macht. Dazu wird 2010 als Referenzjahr herangezogen und eine Prognose bis 2030 erarbeitet. Das Ministerium für Verkehr in NRW bot bis zum 30. November 2015 Bürgern und Unternehmen die Möglichkeit, Maßnahmen anzumelden, die in den Bedarfsplan aufgenommen werden sollten. Die Veröffentlichung des nächsten ÖPNV-Bedarfsplans steht nun aus. *[MBWSV 2015]*

6.4 Klimaschutz und ÖPNV in Kommunen in Nordrhein-Westfalen

Kommunen sind unter anderem aufgrund der vorgestellten Richtlinie 2008/50/EG sowie der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) zum Schutz der Luftqualität verpflichtet. Auf dieser Grundlage bestimmen die zuständige Bezirksregierung und das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen die Standorte für Messstationen für Luftimmissionen und erstellen Luftreinhaltepläne. Ein direkter Hinweis, die Luft auch durch den Einsatz von Hybrid- oder Elektrobussen rein zu halten, konnte nicht gefunden werden. *[Stadt Bergisch Gladbach 2015]*

Zum Klimaschutz sind Kommunen unter anderem durch die Verordnung (EU) Nr. 1293/2013 verpflichtet. Kommunen veröffentlichen ihre Klimaschutzvorhaben unterschiedlich konkret und formulieren sie zum Teil allgemein und ohne Quantifizierung. Dem entgegen steht das Beispiel der Stadt Bielefeld, welche sich als Ziel gesetzt hat, bis zum Jahr 2020 nicht weniger als 20 % des Stroms aus regenerativen Quellen zu beziehen sowie CO_2-Emissionen um 40 % zu reduzieren. Münster hat seine Ziele und Maßnahmen in einem Klimaschutzkonzept festgehalten. Die Verfasser des Konzeptes legen Wert darauf, die Nutzung des ÖPNV insgesamt zu steigern. Elektrobusse werden nicht berücksichtigt, Hybridbusse werden als Maßnahme von geringerer Priorität genannt. *[Stadt Bielefeld 2015]; [Stadt Münster et al. 2009]*

Hinweise auf den Einsatz von Hybrid- oder Elektrobussen in Klimaschutzkonzepten finden sich eher bei den örtlichen Verkehrsbetrieben, beispielsweise bei der Kölner Verkehrs-Betriebe AG. Diese möchte laut ihrer KVB-Klimakampagne von 2013 CO_2-Emissionen reduzieren, indem sie neue, leichtere Busse einsetzt. Außerdem wird seit Beginn 2016 der Einsatz einiger Elektrobusse erprobt. Die seit 2012 getesteten Hybridbusse hätten nur eine geringe Kraftstoff- und CO_2-Einsparung erbracht. *[KVB 2013]*

6.5 Übersicht über Fördermöglichkeiten von ÖPNV-Projekten

In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Fördermechanismen für ÖPNV-Projekte. An den Gang der vorangegangenen Untersuchungen angelehnt, wird in diesem Kapitel eine Auswahl relevanter Richtlinien von Bundes- und Landesebene (hier: NRW) vorgestellt. Eine Darstellung individueller Fördermechanismen von Kommunen erfordert eine weit detailliertere Darstellung und würde den Umfang dieser Arbeit übersteigen. Darum werden keine kommunalen Förderwege vorgestellt. Den im Folgenden vorgestellten Fördermechanismen (Tab. 5 bis Tab. 9) ist gemein, dass sich ihr Fördervolumen nach der aktuellen Haushaltslage richtet und dass es für keinen Antragsteller einen Rechtsanspruch auf eine Förderung gibt. Außerdem gilt bei der Beantragung mehrerer Förderprogramme im Allgemeinen ein Maximalbetrag.

Förderer	Bundeszollverwaltung
Gegenstand der Förderung	Anschaffung von Elektrofahrzeugen aller Klassen
Antragsteller	Halter von Elektrofahrzeugen
Voraussetzungen	Rein elektrischer Antrieb
Art der Förderung und Fördervolumen	Vergünstigung der Kraftfahrzeugsteuer; für vergleichbare Modelle der betrachteten Busse, die mehr als 15 Tonnen wiegen, fallen je nach Schadstoffklasse Steuersätze von 556, 914, 1.425 oder 1.681 € pro Jahr an (KraftStG § 9 Absatz 1 Nummer 4)
Zeitraum	Seit 1. Januar 2016: 5 Jahre steuerbefreit ab Erstzulassung, danach 50 % der Kraftfahrzeugsteuer weiterhin zu zahlen (KraftStgG § 3d)

Tab. 5: Steuervergünstigungen für Elektrofahrzeuge nach §3d Kraftfahrsteuergesetz

Förderer	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Gegenstand der Förderung	Anschaffung von Linienbussen mit Diesel-elektrischem Antrieb (Hybrid und Plug-In-Hybrid); förderfähige Komponenten: Bus, Zusatzkomponenten, Batterie, Batterieleasing, Schulungen für Fahrer und Werkstätten und andere
Antragsteller	Verkehrsbetriebe
Voraussetzungen	Neufahrzeuge, Einsatz im ÖPNV, ab drei Fahrzeugen, Abgasnorm Euro-VI, geschlossenes Partikelfiltersystem, CO_2-Reduktion gegenüber vergleichbaren Bussen (bei Hybridbussen -20 %, bei Plug-In-Hybridbussen -35 % oder mehr); bei externem Strombezug nur Strom aus regenerativen Quellen zulässig
Art der Förderung und Fördervolumen	Höhe je nach Investitionskosten (Investitionszuschuss); bis zu 35 % der förderfähigen Investitionskosten, bei mittleren und kleineren Unternehmen mehr
Zeitraum	12. Dezember 2014 bis 31. Dezember 2017

Tab. 6: Richtlinie zur Förderung der Anschaffung von Diesel-elektrischen Hybridbussen im öffentlichen Nahverkehr

Förderer	KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
Gegenstand der Förderung	Umweltschutzmaßnahmen, z. B.: Anschaffung von Fahrzeugen, die mit Biomethan, Erdgas oder als Hybrid betrieben werden oder emissionsarm sind; Errichtung von Ladeinfrastruktur für Elektro- oder Wasserstofffahrzeuge
Antragsteller	Mittlere / große (Programm 240) sowie kleine Unternehmen (Programm 241)
Voraussetzungen	Im Finanzierungswesen übliche Sicherheiten
Art der Förderung und Fördervolumen	Vergabe zinsgünstiger Kredite; bis zu 10 Millionen € pro Vorhaben, Kredit für bis zu 10 % der Investitionssumme; günstige Tilgungskonditionen
Zeitraum	Keine Angabe

Tab. 7: KfW-Umweltprogramme 240 und 241

Förderer	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur		
Gegenstand der Förderung	Anschaffung von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur	Erarbeitung kommunaler Elektromobilitätskonzepte	verschiedene Bereiche zur Förderung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen
Antragsteller	Städte, Gemeinden, Landkreise, Zweckverbände, Landesbehörden, kommunale und Landesunternehmen und andere		Gewerbliche Wirtschaft, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und andere
Voraussetzungen	Darstellung ökologischer Vorteile; wirtschaftliche Analyse; hauptsächlich regenerativ erzeugter Strom	Zuwendungsgeber hat Zugang zu Forschungsergebnissen; darf sie für eigene Öffentlichkeitsarbeit nutzen	Organisation dieses Forschungsprojektes in einem Kooperationsvertrag zwischen beteiligten Partnern
Art der Förderung und Fördervolumen	Anteilfinanzierung, maximal 40 %; nicht rückzahlbar	Anteilfinanzierung, maximal 50-80 %; nicht rückzahlbar	Anteilfinanzierung, maximal 25-90 %; nicht rückzahlbar
Zeitraum	09. Juli 2015 bis 31. Dezember 2019		

Tab. 8: Förderrichtlinie des BMVI vom 09.06.2015

Förderer	NRW-Bank (Refinanzierung durch KfW)
Gegenstand der Förderung	Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Innovation, Infrastruktur, Markteinführung neuer Produkte und Dienstleistungen
Antragsteller	Existenzgründer, mittelständische oder kommunale Unternehmen, Freiberufler
Voraussetzungen	Investition in NRW; wirtschaftlicher Erfolg muss absehbar und Solvenz gegeben sein; Dauer des Vorhabens maximal drei Jahre
Art der Förderung und Fördervolumen	Zinsgünstiges Ratendarlehen; Kreditvolumen zwischen 25.000 und 5.000.000 €
Zeitraum	Keine Angabe

Tab. 9: NRW.BANK.Elektromobilität

Im Gesetz über Finanzhilfen des Bundes zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz) ist geregelt, wie zum Beispiel der Bau von Betriebshöfen oder gesonderten Fahrspuren für Busse gefördert werden. Übersteigt der zuwendungsfähige Betrag 50 Mio. €, muss gemäß § 3 ein Nachweis über die Vorteilhaftigkeit für die Volkswirtschaft erbracht werden. Das erfolgt mittels der standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs, einer Untersuchung von anfallenden Kosten und erwartetem Nutzen.

Die Landesregierung regelt im ÖPNVG NRW auch die Finanzierung des ÖPNV und führt Voraussetzungen auf, die eine Förderung rechtfertigen. Mittels § 10 ÖPNVG NRW ist festgelegt, dass die Höhe der Fördermittel in Abhängigkeit vom geltenden Haushaltsplan schwanken kann. Eine allgemeine ÖPNV-Pauschale wird kraft § 11 ÖPNVG NRW monatlich sowohl an die Zweckverbände als auch an die Aufgabenträger verteilt, wobei die Zweckverbände insgesamt mindestens 858 Mio. €, die Aufgabenträger insgesamt mindestens 110 Mio. € erhalten. Wer Fördermittel empfängt und diese nicht in demselben Kalenderjahr investiert, hat anschließend sechs Monate Zeit, sie zu verwenden. Danach müssen sie zurückgezahlt werden. Zur Förderung von Investitionen in die Infrastruktur, der pauschalisierten Investitionsförderung, stehen den Zweckverbänden gemäß § 12 ÖPNVG NRW jährlich insgesamt 120 Mio. € zu. Für die Bewilligung der ÖPNV-Pauschale und der pauschalisierten Investitionsförderung sind die Bezirksregierungen zuständig. Zu den Investitionen in besonderem Landesinteresse gehören unter anderem Änderungen an der Infrastruktur gemäß dem Bundesprogramm des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes und Maßnahmen zum Test neuer Technologien im ÖPNV. Mögliche Empfänger dieser Fördermittel sind Aufgabenträger, private oder öffentliche Verkehrsunternehmen und andere (§ 13 ÖPNVG NRW). Es ist auch möglich, dass das Ministerium für Verkehr in NRW diese beiden Zuständigkeiten auf die NRW.BANK überträgt (§ 15 ÖPNVG NRW).

In NRW können sich darüber hinaus Energieversorgungsunternehmen an der Förderung von Elektromobilität beteiligen. Gefördert werden Inhaber von Elektrofahrzeugen mit Zuschüssen für die Investition in ein Fahrzeug oder eine Ladestation oder auch die Möglichkeit, kostenfrei Strom aus regenerativer Energieerzeugung zu beziehen. Für Erdgasfahrzeuge gibt es Zuschüsse für die Anschaffung oder Tankguthaben. *[ElektroMobilität NRW 2015]; [EnergieAgentur.NRW 2015a]; [EnergieAgentur.NRW 2015b]*

7 Fallstudien zum Einsatz von Elektrobussen im ÖPNV

Nachdem in den vorherigen Kapiteln eine Übersicht über die Zielsetzung nebst politischen Rahmenbedingungen gegeben und eine Rechnung zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Antriebs- und Ladetechnologien vorgestellt worden ist, soll in diesem Kapitel eine Übersicht gegeben werden über konkrete Projekte, die die Zielsetzung haben, den Einsatz batterieelektrischer Busse im ÖPNV zu erproben. Obwohl auch eine breite Anzahl an Projekten die Kombination verschiedener Transportsysteme mit dem Ziel eines umfassenden Mobilitätskonzeptes untersucht, wurde die Auswahl der folgenden Projekte einzig unter dem Kriterium des eigenständigen Einsatzes von batterieelektrischen Bussen getroffen. Die Auswahl wurde zudem auf solche Projekte verengt, bei denen tatsächlich Elektrobusse in den normalen Linienbetrieb integriert wurden.

7.1 Fallstudien national

Im Bereich Fallstudien national werden Projekte in deutschen Modellregionen vorgestellt, die als Vorbereitung zur flächendeckenden Einführung von Elektromobilität im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs durchgeführt werden. Um eine vergleichbare Basis zu schaffen, wird jedes Projekt nach den folgenden Kriterien untersucht:

- Ziele des Projektes
- Rahmendaten der Projektregion
- Eingesetzte Technik (Fahrzeug- und Ladetechnologie)
- Fördersumme/Fördermechanismus (EU-, Bundes- oder Landesförderung)
- Verfolgte politische Ziele

7.1.1 Düsseldorf/Mönchengladbach (1974)

Das Projekt in Düsseldorf und Mönchengladbach[18] war Teil eines Modellversuchs der Bundesanstalt für Straßenwesen. Der Modellversuch wurde im Oktober 1974 begonnen und umfasste die Umstellung von drei Nahverkehrslinien auf rein elektrischen Betrieb. Zwei der Nahverkehrslinien befanden sich in Düsseldorf und eine in Mönchengladbach. Aufgabe des Modellversuchs war es, Erfahrungen über den Betrieb von Nahverkehrslinien mit Elektrobussen zu generieren. Insgesamt wurden bis zum Ende des Projekts 1988 20 Busse eingesetzt, die mit zwei unterschiedlichen Antriebsvarianten ausgestattet wurden.

Als Antriebsvarianten wurden ein Reihen- und ein Nebenschlussmotor verbaut. Der Reihenschlussmotor wies eine höhere Dauerleistung und ein höheres maximales Drehmoment auf, während der Nebenschlussmotor im

[18] Düsseldorf hatte 1974 ca. 670.000 Einwohner, was bei einer Fläche von 217 km² eine Bevölkerungsdichte von fast 3.100 Einwohner/km² entsprach. Mönchengladbach hatte damals 260.000 Einwohner und eine Fläche von 260 km² (Bevölkerungsdichte ca. 1.500 Einwohner/km²). [*Landesdatenbank NRW 1977]; [Landesdatenbank NRW 1970]*

Gegensatz zum Reihenschlussmotor sein maximales Drehmoment auch in einem höheren Drehzahlbereich noch zur Verfügung stellen konnte. Als Energiespeicher mit ausreichender Kapazität wurden Bleiakkumulatoren verwendet. Ein Akkumulator hatte eine Nennkapazität von 455 Ah, bei einer Nennspannung von 360 V (also 160 kWh). Untergebracht war die Batterie auf einem Anhänger, um die Beförderungskapazität der Busse nicht einzuschränken und verschiedene Batterien flexibel testen zu können. Während der Fahrt wurde durch den Einsatz eines Nutzbremssystems Energie zur Ladung der Batterie gewonnen, was jedoch einen höheren Verschleiß an der Bremsachse nach sich zog.

Um einen konstanten Linienbetrieb sicherzustellen, mussten die Batterien nach der Entladung getauscht werden. Zum Wechsel der Akkumulatoren wurden automatisierte Batteriewechselstationen eingesetzt. Ein Wechselvorgang dauerte zwischen drei und fünf Minuten. Bei der Strecke in Mönchengladbach, welche 88 Haltestellen umfasste, entsprach die Kapazität der eingesetzten Akkumulatoren zwei Runden der Strecke, also etwa 80 km. Bei dieser Strecke gab es je einen Teil Stadtverkehr, einen Teil Vorortverkehr und einen Teil Überlandfahrt. In Düsseldorf wurden zwei Strecken umgestellt. Eine Strecke diente als Verbindung zu den Transportdienstleistungen der S-Bahn und führte primär durch Wohngebiete. Die zweite Strecke war eine Verbindungsstrecke zwischen den Ortschaften Monheim und Düsseldorf-Benrath und führte ebenfalls hauptsächlich durch Wohngebiete. Die erste Strecke umfasste 11 km und 26 Haltepunkte, die zweite Strecke 28 km und 48 Haltestellen. Fördermechanismus für das Elektrobusprojekt war das Nordrhein-Westfalen-Programm, welches von Bund und vom Land getragen wurde. *[Müller 1976]*

7.1.2 Dresden (2013)

In Dresden (530.000 Einwohner bei 330 km² Fläche, entsprechend ca. 1.600 Einwohner/km²) werden aktuell zwei Elektrobus-Projekte durchgeführt. Das erste Projekt läuft unter dem Namen „Elektrobus-Linie 79“. In diesem Projekt steht die Entwicklung eines konduktiven Ladesystems im Vordergrund. Das konduktive Ladesystem soll durch das Stromnetz der Straßenbahn in Dresden gespeist werden. Die Fahrleistung der Linie 79 beträgt täglich etwa 300 km. Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit werden batterieelektrische Busse der Firma Solaris eingesetzt. Die Kapazität der eingesetzten 12 m-Busse beläuft sich auf 45 Fahrgäste. Die Energieversorgung der eingesetzten Busse soll über eine 200 kWh Batterie sichergestellt werden. Die Batterie liefert bei diesem Konzept die Energie für den 160 kW-Antrieb, sowie alle Peripheriegeräte wie Klimaanlage, Türsteuerung oder Ähnlichem. Zur Ladung der Batterie ist einerseits ein Plug-In-Anschluss verbaut, der die Ladung des Fahrzeugs an Haltestellen erlaubt, andererseits ein Dachladesystem zur Abnahme von Strom an den Oberleitungen der Straßenbahn. *[SAENA 2014]*

Als besondere Problematik in diesem Projekt wird die Homogenisierung der Ladespannung beschrieben. Dieses Problem entsteht durch die Einspeisung von Energie durch Rekuperationssysteme, die von der Straßenbahn eingesetzt werden. Somit schwankt die Spannung im System. Es wurde entschieden in den Bussen selbst eine Einrichtung zur Spannungsregelung einzusetzen. Im Projekt soll außerdem eine Musterhaltestelle entwickelt werden, welche die Möglichkeit zur konduktiven Ladung der Busse bietet. Für umfassende

Aussagen zur Praxistauglichkeit soll eine Life-Cycle-Cost-Analyse sowohl der Busse als auch der Ladeinfrastruktur durchgeführt werden. Gefördert wird das Projekt „Elektrobus-Linie 79“ über einen Bundesförderungsmechanismus durch das Bundesverkehrsministerium. Die Fördersumme beträgt etwa 1,15 Millionen €. Zu den politischen Zielen wird nicht explizit Stellung bezogen. Allerdings kann angenommen werden, dass mit diesem Projekt die Klimaschutzziele der EU und der Bundesregierung unterstützt werden. *[SAENA 2014]*

Das zweite Projekt in Dresden läuft unter dem Namen „Pilotlinie 64 – effiziente Elektromobilität in Dresden“. Dieses Projekt soll Schwachstellen an der Technik der Fahrzeuge identifizieren und verbessern. Als Testumgebung wurde die Linie 64 ausgewählt, welche die Stadtteile Radeberger Vorstadt und Kaditz verbindet. Als Technologieträger wurde ein Hybridbus ausgewählt, welcher in einem vorherigen Projekt entwickelt wurde. Speziell sollen die Technikbereiche Fahrzeuggewicht, Beheizung und Klimatisierung sowie deren prädiktive Regelungstechnik untersucht werden. Das umfasst die Entwicklung eines effizienten Beheizungs- und Klimatisierungskonzeptes mit Wärmepumpeneinsatz. Zudem soll im Bereich des Fahrzeuggewichts der Einsatz von Leichtbaumaterialien evaluiert werden. Die Ergebnisse dieses Projekts sollen auch mit denen des Projekts „Elektrobuslinie 79“ aggregiert werden, um ein Modell für die strategische Entwicklung im Bereich der Bustechnik zu entwickeln. Gefördert wird das Projekt durch den Freistaat Sachsen im Rahmen der Schaufensterinitiative[19] der Bundesregierung, die Fördersumme beträgt etwa 4,2 Millionen €. *[TU Dresden 2013]*

Zu den politischen Zielen finden sich auch beim zweiten Dresdner Projekt keine expliziten Stellungnahmen. Allerdings kann ebenfalls angenommen werden, dass mit diesem Projekt die Klimaschutzziele der EU und der Bundesregierung unterstützt werden sollen, da das Projekt im Rahmen der Schaufensterinitiative durchgeführt wird.

7.1.3 Markkleeberg (2013)

Das Projekt in Markkleeberg[20] wird unter dem Namen „eBus Batterfly“ geführt. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines batteriegespeisten Elektrobuskonzeptes zur Marktreife und dauerhaften Einsatztauglichkeit. Außerdem soll durch passenden Einsatz von Medien der Öffentlichkeit die Technologie der Elektromobilität nähergebracht werden. Dazu sollen zwei Elektrobusse testweise in den Linienverkehr eingebracht werden. Nach Erreichen der Praxistauglichkeit soll der bestehende Linienplan auf Elektrobusse umgestellt und um neue Linien erweitert werden. Die Öffentlichkeitsarbeit wird mithilfe eines Technologieschaufensters durchgeführt. Die eingesetzten Busse sollen Nachlader sein, also Busse, die an den Haltestellen zwischengeladen werden. Hierzu muss in Markkleeberg die entsprechende Infrastruktur noch

[19] „Schaufenster Elektromobilität“ ist eine 2012 gestartete Initiative der Bundesregierung, um in verschiedenen Modellregionen Projekte aus allen Bereichen der Elektromobilität zu fördern. *[Schaufenster Elektromobilität 2014]*

[20] Im Vergleich zu den anderen in diesem Kapitel vorgestellten Projektregionen ist Markkleeberg eine relativ kleine Ortschaft mit unter 25.000 Einwohnern auf einer Fläche von ungefähr 31 km³ (Bevölkerungsdichte unter 800 Einwohnern/km²).

entwickelt werden. Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit einem Fördervolumen von rund 1,1 Millionen €. *[LVB 2013]*

Im Projekt „eBus Batterfly“ wird explizit auf die Klimaschutzziele eingegangen, so soll das Projekt die lokalen Emissionen vermeiden und durch Einsatz von regenerativen Energiequellen einen umweltfreundlichen Nahverkehr ermöglichen. Dies geschieht vor allem vor dem Hintergrund der örtlichen Erholungsangebote. Man verspricht sich hier, durch den Einsatz von leisen Elektrobussen die Attraktivität des Gebietes zu steigern.

7.1.4 Braunschweig (2014)

Das Braunschweiger[21] Projekt läuft unter dem Namen „emil“ (Elektromobilität mittels induktiver Ladung). Einerseits soll ein System zur induktiven Ladung in das öffentliche Verkehrsnetz integriert werden. Eingesetzt wird das von Bombardier entwickelte Ladesystem „Primove“, ein Hochleistungsinduktionsladesystem, welches mit einer Leistung von 200 kW die eingesetzten Busse innerhalb von Sekunden laden soll. Andererseits soll ein entsprechender Elektrobus als Gelenkbus entwickelt werden, um auf der Linie M19 testweise eingesetzt zu werden. Aktuell wird bereits ein 12 m-Solobus des Typs Solaris Urbino 12 electric eingesetzt. Die Tests mit diesem Bus sind durchweg erfolgreich. Er befährt die Strecke der Linie M19 seit März 2014 ohne Zwischenfälle. Im Projektverlauf sollen alle Fahrzeuge der Linie M19 auf einen elektrischen Betrieb umgestellt werden. Ziel ist es hier, Busse des neu entwickelten Gelenkbustyps einzusetzen.

Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Das Projekt ist Teil des Schaufensters Elektromobilität und dient somit der Generierung von Erfahrungen im Bereich der Elektromobilität und als Beitrag zur den Klimaschutzzielen der Bundesregierung. *[Deutsches Dialog Institut GmbH 2012]*

7.1.5 Zwischenfazit nationale Fallstudien

Die Analyse der nationalen Projekte zeigt noch intensiven Entwicklungsbedarf im Bereich der batteriegespeisten Elektrobusse. Eine große Problematik ist die streckenspezifische Entwicklung der Busse. Während Dieselbusse universell eingesetzt werden können und in ihren befahrenen Strecken nicht eingeschränkt sind, müssen Elektrobusse aktuell noch streckenspezifisch ausgelegt werden. Im Falle eines Defekts muss auf den Bus verzichtet werden oder es müssen Reservebusse vorgehalten werden. Baumaßnahmen, die es gegebenenfalls erforderlich machen Strecken zeitweise zu verlegen, sind ebenfalls problematisch, da hier der unterbrechungsfreie Betrieb nicht unbedingt gewährleistet werden kann. Die Streckenspezifischkeit begrenzt zudem eine Übertragung der Erkenntnisse aus den Pilotprojekten auf andere Städte.

[21] Die Region Braunschweig hat über 250.000 Einwohner auf einer Fläche von 192 km², das ergibt eine Bevölkerungsdichte von etwa 1.300 Einwohner/km².

7.2 Fallstudien international

Das Thema Elektromobilität ist auch international ein Thema mit steigender Bedeutung. Durch den Klimawandel und die damit verbunden internationalen Zielvereinbarungen zur Dekarbonisierung, die steigende Urbanisierung und stetig wachsende Weltbevölkerung erfordern ein Umdenken in Bezug auf Mobilität und alternative Antriebstechnologien. Im Folgenden werden Städte außerhalb Deutschlands dargestellt, in denen die Umsetzung von Elektrobussen im ÖPNV erfolgreich war. *[Nationale Plattform Elektromobilität 2016]*

7.2.1 Chattanooga, USA (1992)

Chattanooga liegt in Tennessee und hat rund 168.000 Einwohner. Da sich die Stadtfläche auf rund 370 km² verteilt, hat Chattanooga eine vergleichsweise geringe Bevölkerungsdichte von unter 500 Einwohnern/km². *[USCB 2016]; [City Data 2016]*

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Im "Energy Improvement and Extension Act" aus dem Jahr 2008 werden unter anderem Regelungen für den Transportsektor in den USA gesetzlich festgelegt. Für den Kauf neuer Kraftfahrzeuge mit Plug-In-Elektroantrieb wird eine Steuergutschrift festgelegt. Demnach muss ein Kraftfahrzeug mit Plug-In-Elektroantrieb den Antrieb von einer Batterie mit mindestens 4 kWh Kapazität beziehen, durch eine Off-Board-Energiequelle den Akku aufladen und, in Abhängigkeit des zulässigen Gesamtgewichts, die Bestimmungen der US Environmental Protection Agency (EPA) für Fahrzeuge oder einer gleichwertigen schadstoffarmen Abgasnormen für Fahrzeuge Kaliforniens erfüllen. Die Steuerersparnis für den Kauf eines Plug-In-Hybrid electric vehicle (PHEV) beträgt 2.500 US-Dollar und 417 US-Dollar pro kWh Batteriekapazität, die über den erforderlichen 4 kWh der Batterie liegt. Die maximale Steuerersparnis beträgt 7.500 US-Dollar für einen Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 10.000 Pfund oder weniger. Die Steuerbegünstigung steigt etappenweise bis auf 12.500 US-Dollar für Fahrzeuge über 26.000 Pfund. Die Steuerersparnis ist für einen bestimmten Zeitraum begrenzt. *[EIA 2009, S. 11]*

Infrastruktur und Umsetzung

Aufgrund der steigenden Luftverschmutzung in der Stadt startete die Chattanooga Area Regional Transportation Authority (CARTA), das öffentliche Nahverkehrsunternehmen der Stadt Chattanooga, bereits in den 1990er Jahren Anstrengungen den bestehenden ÖPNV weiterzuentwickeln. Im Jahre 1991 entschied CARTA auf Busse umzusteigen, die keine Schadstoffe ausstoßen. Im Jahre 1992 wurden zunächst zwei Elektrobusse der Firma Specialty Vehicle Manufacturing (SVM) eingesetzt. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Advanced Vehicle Systems (AVS) wurden die Busse der Firma SVM weiterentwickelt und auf die Gegebenheiten in Chattanooga angepasst. Seit 1993 werden insgesamt 18 Elektrobusse verwendet. *[ANL 1997]*

Die Elektrobusse werden ausschließlich als Shuttlebusse in der Innenstadt über zwei Routen eingesetzt. Die Umsetzung funktioniert nach dem Park and Ride Prinzip. Dafür sind zwei große Parkplätze im Norden und Süden der Innenstadt errichtet worden, um Autofahrern die Möglichkeit zu bieten ihre Autos am Stadtrand abzustellen und in der Innenstadt die umweltfreundlichen Elektrobusse kostenfrei zu nutzen. Es werden insgesamt 18 Elektrobusse mit 6,7 und 9,4 m Länge eingesetzt und sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselstrom betrieben. In den kleineren Bussen sind die Blei-Batterien im Boden des Busses verbaut, in den größeren Bussen befinden sie sich am Ende des Busses. Innerhalb von 15 Minuten können die 1.000 kg schweren Batterien in den Bussen mit Gleichstrom-Antrieb ausgetauscht werden. Im Vergleich dazu werden die 3.000 kg schweren Batterien mit Wechselstrom-Antrieb im Bus geladen. *[Klühspies 1998]; [River City Company 2016]*

Die Busse decken eine Strecke von ca. 3 und 5,6 km ab. Ein vollgeladener Bus verfügt über eine Reichweite von 70 - 100 km. Je nach Jahreszeit sind 3-8 Elektrobusse gleichzeitig im Einsatz. *[ANL 1997]; [Pare 2012]*

Förderung und Kosten

Mit finanziellen Mitteln der Federal Transit Administration (15,7 Mio. US-Dollar), der Tennessee Valley Authority (2 Mio. US-Dollar) und des Tennessee Department of Transportation (2 Mio. US-Dollar) konnten die ersten Elektro-Busse und Parkmöglichkeiten realisiert werden. Zudem erhielt die Stadt Fördermittel von der U.S. Department of Defense Advanced Research Agency (DARPA) für zwei Elektrobusse der Firma AVS. Die Betriebskosten werden über Parkgebühren und durch Vermietung von Werbeflächen auf den Parkplätzen finanziert. *[ANL 1997, S. 2 u. 5]*

Die Parkfläche für 550 Parkplätze und zusätzlicher Ladestation im Süden der Stadt hat, 4,2 Mio. US-Dollar gekostet. Ein zusätzlicher Parkplatz im Norden der Stadt mit 650 Parkflächen, einem kleinen Kino und einer Ladestation für die Elektro-Busse dürften die Kosten in derselben Größenordnung liegen. Der Anschaffungspreis eines 6,7 und 9,4 m Elektrobusses lag bei 160.000 bzw. 180.000 US-Dollar. Die Wartungskosten für einen Elektrobus liegen durchschnittlich 30-40 % unter den für Dieselbusse angesetzten Wartungskosten (5-8 Dollar-Cent für Elektrobusse, 19 Dollar-Cent für Dieselbusse). Die Kraftstoffkosten liegen bei ca. 4-5 Dollar-Cent/Meile für Elektrizität, im Gegensatz zu 16 Dollar-Cent/Meile für Diesel. *[ANL 1997, S. 4ff]*

7.2.2 Turin, Italien (2002)

Turin liegt im Nordwesten Italiens und ist die Hauptstadt der Region Piemont. Die Stadt hat über 900.000 Einwohner bei einer Fläche von 130 km², was einer Bevölkerungsdichte von fast 7.000 Einwohnern/km² entspricht. *[Istat 2013]*

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Der Ausbau von Elektromobilität ist eines der wichtigen Klimaschutzziele, die Italien zusammen mit den anderen Mitgliedstaaten auf EU-Ebene vereinbart hat, z. B. die EU-Richtlinie 2009/28/EC. Für Italien

beinhalten die Klimaziele, dass 17 % des Primärenergieverbrauchs bis 2020 aus erneuerbaren Energien gewonnen werden müssen. Anfang 2013 wurde eine nationale Energiestrategie verabschiedet, in der das nationale Ziel auf 19 bis 20 % angehoben wurde. Im Transportbereich sollen bis 2020 mindestens 10 % des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen stammen. Auf nationaler Ebene hat Italien im Jahr 2012 durch das Gesetz 134/12 die Rahmenbedingungen für den Ausbau der Elektromobilität zum ersten Mal festgeschrieben. Vorgesehen sind für den Zeitraum 2013 bis 2015 ca. 50 Mio. €, um die Ladeinfrastruktur schrittweise auszubauen. In der ersten Phase (in den ersten 1 bis 2 Jahren nach Beschluss) sollen vor allem die verkehrsreichen Großstädte mit Ladestationen ausgestattet werden, was unter anderem dazu beitragen soll, die Luftqualität in den Städten zu verbessern. In der zweiten Phase (3 bis 5 Jahre nach Beschluss) werden außerstädtische Gebiete sowie das Autobahnnetz mit Ladesäulen ausgerüstet. Tankstellen, die in unmittelbarer Nähe der Autobahn liegen, sollen über Schnellladestationen verfügen. *[GTAI 2014]*

Im Jahre 2002 trat die "Piano urbano del Traffico"(PUT 2001), ein Beschluss zur städtischen Verkehrsplanung in der Stadt Turin, in Kraft. Sie bildet eine Erweiterung und Novellierung zum ersten städtischen Verkehrsplan, PUT 1995. Mit der PUT 2001 soll die Mobilität der Bürgerinnen und Bürger gewährleistet werden, indem das Verkehrsaufkommen gesenkt wird und Staus vermieden werden. Dadurch soll der Anteil des ÖPNV gegenüber der Nutzung von privaten PKW gesteigert werden. Neben den Zielen einer besseren Anbindung an die Stadt, der Verbesserung der Parkplatzsituation und Sicherheit im Verkehr werden in der PUT 2001 die Verbesserung der Luftqualität und die Qualität der städtischen Umwelt als Ziele genannt. Maßnahmen sind die Erneuerung des Fuhrparks mit komfortableren Fahrzeugen mit höherer Kapazität (Gelenkbusse, Straßenbahnen der neuen Generation von 34 m) und die Verbesserung der Infrastruktur geplant. *[PUT 2001]*

Infrastruktur und Umsetzung

Seit 2002 fahren in Turin Elektrobusse. Die Busse nutzen Blei-Gel-Batterien, die in regelmäßigen Abständen berührungsfrei geladen werden können. Bei dem eingesetzten induktiven Ladungsverfahren „Inductive Power Transfer" (IPT) nimmt eine Abnehmerspule im Busboden den Strom von der Primärspule in der Fahrbahndecke auf. Die deutsche Firma Conductix-Wampfler hat diese Technik entwickelt und installiert. Durch das kurze regelmäßige Laden können die Größe und das Gewicht kleiner dimensioniert werden und somit die Kosten reduziert werden. Häufige Kurzladungen beanspruchen die Zellchemie weniger als eine Ladung über mehrere Stunden, sodass die Lebensdauer des Stromspeichers verlängert wird. Über Nacht werden die Busse dennoch vollgeladen und über den Tag an einigen Haltestellen bei dem Ein- und Aussteigen der Fahrgäste kurz nachgeladen. Die Elektrobusse können über den Tag 200 km abgasfrei zurücklegen. Der Elektromotor verfügt über 162 PS und verbraucht 95 kWh/100km. *[Kusch 2012]*

Im Stadtzentrum werden 23 Elektrobusse eingesetzt. Diese sind auf zwei Buslinien aufgeteilt, die jeweils eine Streckenlänge von ca. 7 km aufweisen. Eine Aufladung auf eine Kapazität von 80 % dauert 7 Minuten. Vorteile dieser Elektrobusse sind die um 20 % geringeren Wartungsarbeiten und eine um 20 % längere Lebensdauer im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffbussen. Durch die Zwischenladungen bei der IPT-Technologie sind kleinere Batterien notwendig. Im Vergleich zu anderen Ladetechnologien ohne

Zwischenladung kann so die Batteriekapazität um bis zu 75 % reduziert werden, was die Anschaffungskosten reduziert. *[Kusch 2012]; [Eltis 2014]*

Förderung und Kosten

Im Jahr 2000 hat die Region Piermont beschlossen, im Verkehrswesen umweltfreundliche Busse zu fördern und dadurch die Umweltverschmutzung zu reduzieren. Die Region übernahm 75 % (3,3 Mio. €) der tatsächlich angefallenen Kosten für 20 Elektro-Kleinbusse. Im Jahr 2004 erhielt das öffentliche Verkehrsunternehmen der Stadt Turin Gruppo Torinese Trasporti (GTT) eine Förderung von 1,1 Mio. € für zusätzliche Ausrüstung, Ladeinfrastruktur und für die Verbesserung des Services im Elektrobusbetrieb. Das Ministerium für Umwelt förderte im Jahr 2007 zusätzlich drei weitere Elektrobusse. *[Stadt Turin 2010]*

Ein Elektrobus dieser Baureihe kostet 420.000 €, die Ladestationen jeweils 70.000 € und ein notweniger Ladegleichrichter kostet 10.000 €. Ein Elektrobus dieser Baureihe benötigt laut einer Studie aus den USA ca. 8.100 € pro Jahr an Energiekosten, ca. 80 % weniger als ein vergleichbarer Dieselbus. Die Anschaffungskosten sollen sich nach spätestens 4 Jahren amortisieren. Die Ladetechnologie ermöglicht es, kleine Batterien im Elektrobus zu verbauen, sodass Gewicht gesenkt werden kann. Zudem ermöglichen kleinere Batterien einen günstigeren Anschaffungspreis. Hinzu kommen reduzierte Emissionsabgaben, geringere Wartungskosten und Steuervorteile. *[Jendrischik 2012]; [Eltis 2014]*

7.2.3 Zhengzhou, China (2011)

Zhengzhou ist eine zentralchinesische Stadt mit ca. 8,6 Mio. Einwohnern. Die Fläche erstreckt sich auf rund 7.500 km², was eine Bevölkerungsdichte von ca. 1.150 Einwohner/km² bedeutet. *[Grütter Consulting 2014]*

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Der Verkauf von Elektrobussen steigt in China kontinuierlich an. Im Jahr 2014 erreichte das Verkaufsvolumen eine Anzahl von 27.000. Im Vergleich zum Vorjahr machte dies einen Anstieg um 160 % aus. Es wird erwartet, dass im Jahr 2020 154.000 Elektrobusse verkauft werden, was eine jährliche Steigerungsrate von über 33 % bedeuten würde. Elektrobusse im ÖPNV machen 85 % des gesamten Verkaufsvolumens aus. Die im ÖPNV eingesetzten Busse in China haben im Jahr 2014 die Anzahl von 500.000 überschritten, darunter 80.000 Elektrobusse. Die chinesische Regierung plant einen schrittweisen Rückgang der Subventionierung von Dieselbussen und das Umlenken der finanziellen Fördermittel auf Modelle mit Elektroantrieb. Dies soll die einzelnen Städte dazu bewegen, in Elektrobusse zu investieren. *[ReportLinker 2015]*

Infrastruktur und Umsetzung

Zur Verbesserung der städtischen Lebensbedingungen und Erleichterung des Reiseverkehrs verfolgt seit 2007 der städtische Parteiausschuss der Stadt Zhengzhou eine Strategie zur Entwicklung des ÖPNV. Voraussetzung ist, dass diese menschenorientiert und gesellschaftlich anerkannt umgesetzt wird. Nach Planung, Forschung und Entwicklung wurde 2009 ein Bus Rapid Transit Projekt (BRT) in der Stadt Zhengzhou umgesetzt. Ein BRT ist ein busbasiertes Verkehrssystem, das schnelle, bequeme und rentable Dienstleistungen auf dem

Kapazitätsniveau einer U-Bahn-Linie liefert. Ermöglicht wird dies durch speziell für die Busse bestimmte Fahrbahnen, üblicherweise in der Straßenmitte angeordneten Bushaltestellen und häufigem Busbetrieb. Durch den BRT sollen Staus im Busbetrieb vermieden werden und dadurch der CO_2-Ausstoß im Transportsektor gemindert werden. Das BRT der Stadt ist als Clean Development Mechanism Projekt (CDM) registriert, das die Treibhausgasemissionen im Busbetrieb verifizieren soll. *[Grütter Consulting 2014, S. 8f]; [ITDP 2016]; [Yutong 2016]*

Täglich nutzen ca. 3,2 Mio. Menschen das Bus-System. Die zunächst aus zehn Elektrobussen bestehende Busflotte mit Gleichstromantrieb im Jahr 2011 wurde im Jahr 2013 mit zusätzlichen 100 Elektrobussen mit Wechselstromantrieb aufgestockt. Die 12 m langen Busse des Herstellers Yutong haben eine Personenkapazität von 80. Unter normalen städtischen Verkehrsbedingungen haben die Busse eine Reichweite von 120 km nach einer Vollladung von 8 Stunden über Nacht. Neue Ladestationen ermöglichen eine Schnelladedauer von 2,5 Stunden. Die von der Firma Yutong (deren Produktionsstätten sich in Zhengzhou befinden) umgesetzte Technologie setzt auf Lithium-Ionen-Batterien, die innerhalb von 10 Minuten gewechselt werden können. *[Grütter Consulting 2014, S. 29]; [Yutong 2016]*

Die Elektrobusse werden unregelmäßig auf eher kürzeren Strecken und zur Hauptverkehrszeit eingesetzt. Die durchschnittlich gefahrene Strecke pro Monat beträgt für einen Elektrobus ca. 2.000 km. Seit dem Einsatz der insgesamt 110 Elektrobusse sollen ca. 1.000 t CO_2 eingespart worden sein. *[Grütter Consulting 2014, S. 33f]*

Förderung und Kosten

Ein 12 m langer Elektrobus kostet umgerechnet ca. 268.000 €. Der Preis für Elektrizität ist mit 0,07 €/kWh festgelegt, bei einem Verbrauch von 1,1 kWh/km. Die Ladestation kostet zwischen 2.600 und 14.500 €. Der Busbetreiber Zhengzhou Bus Communication Company gehört zum Teil der Stadtverwaltung. Es ist daher davon auszugehen, dass der Großteil der elektrischen Busflotte von der Regierung und der Stadtverwaltung Zhengzhou finanziert bzw. gefördert wurde. *[Grütter Consulting 2014, S. 36]; [Yinhe Electronics 2016]*

7.2.4 Baia Mare, Rumänien (2012)

Baia Mare liegt im Nordwesten Rumäniens in der Nähe der Grenzen zu Ungarn und der Ukraine. Die Stadt hat aktuell rund 124.000 Einwohner und eine Fläche von 236 km² (Bevölkerungsdichte: 525 Einwohner/km²). *[DB City 2016]*

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Für einige rumänische Städte ist das letzte Jahrzehnt eine Periode der aktiven Stadtplanung und -verwaltung gewesen. Viele Städte verfolgen dabei den Lösungsansatz der Leipziger Charta zur nachhaltigen Stadtentwicklung, d.h. die Bildung von einheitlichen Stadtentwicklungsverordnungen unter Berücksichtigung von benachteiligten Stadtvierteln und in Hinblick auf die Stadt als Ganzes. Die Stadtverwaltung von Baia Mare hat eine Richtlinie festgelegt, die bestimmt, dass neue öffentliche Verkehrsmittel so umweltfreundlich wie

möglich sein müssen und den lokalen Markt berücksichtigen sollen. *[Clean Fleets 2014]; [Rusu 2010]; [BMUB 2007]*

Infrastruktur und Umsetzung

Die Stadt Baia Mare hat im Jahre 2012 beschlossen, einen Teil des ÖPNV umzustellen und auf Busse mit Elektroantrieb zu setzen. Die SC URBIS SA Baia Mare, die Hauptverkehrsbetriebe der Stadt, haben 2012 einen Leasing-Vertrag mit Ager Leasing (SOLARIS) & EVO BUS (Mercedes) abgeschlossen, durch welchen die Stadt 30 Solobusse und acht Trolleybusse für fünf Jahre least. Nach Marktkonsultationen sollten Busse mit Enhanced Environmental Friendly Vehicles (EEV) Motoren eingesetzt werden. Dieser Motor war im Jahr 2012 der schadstoffärmste Motor auf dem rumänischen Markt. Außerdem sollten sowohl die Oberleitungsbusse als auch die Solobusse über einen niedrigen Boden verfügen, um Menschen mit Behinderung den Ein- und Ausstieg zu erleichtern. Zudem sollten sie über einen Unterbau und eine Radaufhängung verfügen, die es dem Bus erleichtert entlang von Bordsteinkanten abzubiegen. Die Modernisierung eines Wohngebiets erforderte zusätzlich die Verlegung von Freileitungskabeln und den Einsatz von Oberleitungsbussen. Die Busse werden über eine Strecke von 8,1 km eingesetzt. *[Clean Fleets 2014]*

Der Vertrag beinhaltet eine Garantie von 48 Monaten oder 240.000 km für Solobusse und eine Garantie von 39 Monaten oder 195.000 km für Trolleybusse. Enthalten waren Schulungen der Fahrer in umweltschonendem Fahrverhalten und Wartungs- und Reparaturarbeiten. *[Clean Fleets 2014]*

Förderung und Kosten

Die Gesamtkosten lagen bei 11,6 Mio. € für 5 Jahre. Enthalten waren die Leasing-, Wartungs- und Betriebskosten sowie Ersatzteile. Nach Ablauf des Leasing-Vertrags befinden sich die Elektrobusse im Besitz der SC URBIS SA und stellen insgesamt 70 % der gesamten Busflotte der Stadt dar. Für die Kosten kommt die Stadt auf. *[Clean Fleets 2014]*

8 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, dass elektrisch betriebene Busse die Schadstoff- und Lärmemissionen des ÖPNV merklich senken und auch mit einem geringeren Energieverbrauch einhergehen können. Gleichwohl wurde gezeigt, dass sich die wirtschaftliche Situation aktuell nicht so darstellt, als dass sich E-Busse von alleine im Markt durchsetzen können. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich die Kraftstoffkostenkonstellation innerhalb absehbarer Zeit so drastisch ändert, dass Diesel deutlich teurer und gleichzeitig die Stromgroßhandelspreise gleichbleibend oder noch günstiger werden als es zurzeit der Fall ist. Selbst wenn dies geschehen sollte, bleibt aus Sicht der E-Busse immer noch die Problematik, dass massive Investitionen in eine Ladeinfrastruktur vorgenommen werden müssen und diese mit einer bestehenden Dieseltankinfrastruktur im Wettbewerb steht. Die Erfahrungen aus den Fallstudien weisen zudem darauf hin, dass ein flächendeckender Einsatz von elektrischen Bussen, u.a. durch die streckenspezifischen Anforderungen, planerisch sehr anspruchsvoll ist.

Wie zuvor vorgestellt, existiert in Deutschland eine Vielzahl von Förderinstrumenten. Offenbar sind diese jedoch noch nicht ausreichend, um den Marktanteil von E-Bussen merklich zu steigern. Deswegen sollen zum Abschluss dieser Arbeit mögliche Änderungen an Gesetzen und Ideen für Förderprogramme vorgestellt werden, die einen positiven Effekt auf die Verbreitung von batterieelektrischen Bussen haben könnten. Diese Aufstellung ist weder vollständig noch sind die einzelnen Vorschläge bereits voll ausformuliert. Sie sollen vielmehr Gedankenanstöße darstellen, die in weiteren Arbeiten näher analysiert und evaluiert werden sollten.

Abbau Steuerbegünstigungen Konkurrenzenergieträger

Die Steuerbegünstigung von Diesel fördert den steigenden Anteil am Verkehrseinsatz und senkt gleichzeitig die Anreize zur Investition in umweltfreundliche Antriebstechnologien. So liegt der Energiesteuersatz für Dieselkraftstoff bei 47 Cent/l, der für Benzin hingegen bei 65,4 Cent/l. Zwar sind die Kfz-Steuersätze für Dieselfahrzeuge höher angesetzt, allerdings kann dies die Begünstigung des Kraftstoffs vor allem bei Vielfahrern nicht ausgleichen. So legte der Absatz von Diesel in Deutschland in den letzten Jahren stark zu (von ca. 22 Mio. t in 1990 auf ca. 36 Mio. t in 2014), während der Trend beim Superbenzin gegenläufig ausfiel (von ca. 32 Mio. t in 1990 auf unter 19 Mio. t in 2014). Mit einer Erhöhung der Energiesteuer für Dieselkraftstoff könnte die Attraktivität von Dieselmotoren gesenkt werden und gleichzeitig Anreize geschaffen werden, speziell in Elektrobusse zu investieren. *[Köder et al. 2014, S. 36]*; *[Ramthun 2015]*; *[MWV 2015, S. 5]*

Verbot von nicht-emissionsfreien Bussen in Innenstädten

Neben einer Einflussnahme mit marktorientierten Ansätzen wie Energiesteuern könnten auch Maßnahmen aus dem Auflageninstrumentarium eingeführt bzw. verschärft werden. Am konsequentesten wäre vermutlich ein Verbot von Dieselbussen in Innenstädten, das bspw. im Rahmen der Feinstaubplakettenregelung eingeführt werden könnte. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine zu schnell eingeführte und vor allem auch die

Bestandsbusse erfassende Regelung die Verkehrsbetriebe vor größere Herausforderungen stellen dürfte und mit einer massiven Kapitalentwertung einhergehen würde.

Subvention von Elektrobussen

Elektrobusse könnten von einigen staatlichen Abgaben oder Umlagen befreit oder zumindest mit ermäßigten Stromsteuersätzen begünstigt werden. Eine weitere Subventionsmöglichkeit könnte darin bestehen, eine Art EEG-Umlage für Elektrobusse einzuführen. Nach dem EEG-Prinzip könnten die Mehrkosten für Elektrobusse beispielsweise auf die Fahrtickets im gesamten ÖPNV umgelegt werden. Diese Regelung würde zwar die ÖPNV-Betreiber (und die öffentliche Hand) entlasten, angesichts der Kostendynamik, die beim EEG zu beobachten ist, sind massive Kostensteigerungen für die Fahrgäste zu befürchten. Dies könnte die Bestrebungen, mehr Personen für den ÖPNV zu begeistern, konterkarieren und ab einem bestimmten Ticketpreis müsste vermutlich doch wieder die öffentliche Hand zuschießen. Daher sollten sich vor der Einführung einer wie auch immer gearteten weiteren ökologisch motivierten Umlage Gedanken über die Kostendynamik gemacht werden.

Neue Betreibermodelle

Es bestünde die Möglichkeit, eine Art Genossenschaft für Elektrobusse zu gründen. In dieser Genossenschaft könnte sich das Betreiberunternehmen mit der Stadt und lokalen Unternehmen/Geschäften zusammenschließen, um die Elektrobusse anzuschaffen. Für den Betreiber hätte das den Vorteil der geringeren Anschaffungskosten. Die Stadt und die Unternehmen könnten den Einsatz von umweltschonender und effizienter Technologie fördern. In Abstimmung mit den Umweltämtern könnte die Förderung durch Unternehmen auch als Umweltausgleichsmaßnahme anerkannt werden.

Elektrobusse als Imagewerbung

Als weitere Maßnahme könnten elektrisch betriebene Busse als Werbebanner vermarktet werden. Hier bestünden die Chancen, die Elektrobusse als einfache Werbefläche zu vermarkten oder den Unternehmen ein Medium zur Imageverbesserung zu bieten. Die einfache Werbefläche hätte im Gegensatz zur ortsfesten Werbefläche den Vorteil der größeren abgedeckten Stadtfläche und zentralen Positionierung. Die Imagewerbung könnte genutzt werden, um die Corporate Identity mit ökologischen Aspekten anzureichern, also den Aspekt der Förderung von umweltfreundlicher und effizienter Technologie wie beispielsweise Elektromobilität in das Bild des Unternehmens aufzunehmen. Im Gegensatz zu anderen Umweltschutzmaßnahmen (bspw. Aufforstung von Wäldern im Ausland) hätten Elektrobusse den Vorteil, dass sie durch die lokale Bevölkerung (also dem Kunden) täglich wahrgenommen und direkt erfahren werden.

Alternative Finanzierungskonzepte

Es könnte mit den Busherstellern eine Art Leasing für einzelne Buskomponenten oder für den ganzen Bus durchgeführt werden. Durch das Leasing würden die Gesamtkosten zwar steigen, diese sich aber auf den Nutzungszeitraum verteilen. Somit würde bei einer größeren Anzahl von Fahrzeugen die einmalige Belastung

des Betreiberunternehmens verringert. Durch das Kaufrecht zum Ende des Leasingvertrages würden sich mehrere Optionen eröffnen. So wäre bspw. der Verkauf des Fahrzeugs an andere Betreibergesellschaften möglich, was einen positiven Effekt auf die Verbreitung von Elektromobilität im ÖPNV hätte.

Nachverwertung

Nach Ende der Nutzungsdauer könnten zudem Batterien und anderer Buskomponenten sinnvoll weiterverwendet werden. Eine Wiederverwertung müsste nicht alleine der Gebrauch als Ersatzteil darstellen. So könnten bspw. Batterien, die für die hohen Anforderungen des Fahrbetriebs nicht mehr geeignet sind, in Haushalten oder bei Gewerbekunden weitergenutzt werden, da diese mit geringeren Leistungsansprüchen und weniger Ladezyklen auskommen.

Literaturverzeichnis

[ANL 1997]	Argonne National Laboratory: Electric Buses Energize Downtown Chattanooga, Case Study, 1997.
[Bagdahn 2009]	Bagdahn, Peter: Verordnung (EG) 1370 / 2007, in: http://kompetenz-bus.de/busunternehmen/beratung/verordnung-eg-137007.html, Abruf 20.11.2015.
[Beermann et al. 2010]	Beermann, M.; Jungmeier, G.; Wenzel, J.; Spitzer, J.; Canella, L.; Engel, A.; Schmuck, M.; Koller, S.: Quo Vadis Elektroauto? Grundlagen einer Road Map für die Einführung von Elektro-Fahrzeugen in Österreich, in: https://www2.ffg.at/verkehr/file.php?id=308. Abruf: 05.01.2016.
[Bertaud et al 2011]	Bertaud, A.; Lefreve, B; Yuen, B: GHG Emissions, Urban Mobility and Morphology: A Hypothesis, in: Hoornweg, D. A.: Cities and climate change: responding to an urgent agenda. Washington, D.C: World Bank, 2011.
[BMUB 2007]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Leipzig Charta zur nachhaltigen Stadtentwicklung. Berlin: 2007.
[BMUB 2015a]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Battery Electric Vehicles, in: http://www.erneuerbar-mobil.de/de/schlagwortverzeichnis/battery-electric-vehicles-bev. Abruf: 25.02.2016.
[BMUB 2015b]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Schwere Nutzfahrzeuge, in http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/schwere-nutzfahrzeuge, Abruf: 30.12.2015.
[BMUB et al. 2015]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB); Dünnebeil, F.; Reinhard, C.; Lambrecht, U.; Kies, A.; Hausberger, S., Rexeis, M.: Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2015.
[BMVI 2012]	Bundesverkehrsministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Bundesregierung und Industrie errichten Netz von 50 Wasserstofftankstellen, in: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2012/125-ramsauer-wasserstofftankstellen.html?linkToOverview=DE/Presse/Pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html%3Fgtp=36166_list%25253D1. Abruf: 25.01.2016.
[BMVI 2014]	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Öffentliche Ladeinfrastruktur für Städte, Kommunen und Versorger, in: http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE_Publikationen_NEU_2013/Publikationen_Begleitforschung/OEffentliche_Ladeinfrastruktur_fuer_Staedte__Kommunen_und_Versorger.pdf. Abruf: 26.01.2016.
[BMVI 2015a]	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Verkehr in Zahlen 2015/2016. Hamburg: DVV Media Group GmbH, 2015.
[BMVI 2015b]	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Hybrid- und Elektrobus-Projekte in Deutschland, in: https://www.now-gmbh.de/content/5-service/4-publikationen/1-begleitforschung/statusbericht_elektromobilitaet_2014_hybrid-_und_elektro.pdf. Abruf: 28.02.2016.
[BMWi 2015]	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Die Energie der Zukunft - Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Berlin: 2015.
[Böcker 2010]	Böcker, J.: Elektrofahrzeuge Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. VDE-Studie, Frankfurt: 2010.

[Bünger 2009]	Bünger, U.: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit ho-hem Anteil erneuerbarer Energieträger. Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. VDE-Studie, Frankfurt, 2009.
[Carstensen 2008]	Carstensen, P.: Investitionsrechnung kompakt. Wiesbaden: Gabler, 2008.
[City-Data 2016]	City-Data: Chattanooga, Tennessee, in: http://www.city-data.com/city/Chattanooga-Tennessee.html. Abruf: 15.02.2016.
[Clean fleets 2014]	Clean fleets: First EEV buses in Baia Mare, Romania, in: http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/documents/EEV_buses_in_Romania_-FINAL.pdf, Abruf: 02.01.2016.
[DB City 2016]	DB-City: BAia Mare, in: http://de.db-city.com/Rum%C3%A4nien--Maramure%C8%99--Baia-Mare, Abruf: 13.01.2016.
[Deutsches Dialog Institut GmbH 2012]	Deutsches Dialog Institut GmbH: Primove, in: http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/projekte_im_ueberblick/projektsteckbriefe/projekt_4421.html Abruf:10.01.2016.
[EIA 2009]	Energy Information Administration: Annual Energy Outlook, Washington 2009.
[Eichlseder et al. 2012]	Eichlseder, H.; Klell, M.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer, 2012.
[ElektroMobilität NRW 2015]	Landesregierung Nordrhein-Westfalen: Fördermöglichkeiten für Elektromobilität, in: http://www.elektromobilitaet.nrw.de/editor/user_upload/Foerderung_Energieversorger_NRW.pdf, Abruf 10.12.2015.
[Eltis 2014]	Eltis: Gruppo Torinese Trasporti uses electric minibuses in Turin charged within 7 minutes (Italy), in: http://www.eltis.org/de/node/25290, Abruf: 17.11.2015.
[EnergieAgentur.NRW 2015a]	EnergieAgentur.NRW GmbH: Förderprogramme der Energieversorgungsunternehmen (EVU's) in NRW für Elektrofahrzeuge im Jahr 2015, in: http://www.energyregion.nrw.de/_database/_data/datainfopool/FoerderprogrammeEVU-Elektrofahrzeuge.pdf, Abruf 15.01.2016.
[EnergieAgentur.NRW 2015b]	EnergieAgentur.NRW GmbH: Förderprogramme der Energieversorgungsunternehmen (EVU's) in NRW für Erdgasfahrzeuge im Jahr 2015, in: http://www.energieregion.nrw.de/_database/_data/datainfopool/FoerderprogrammeEVU-Erdgasfahrzeuge.pdf, Abruf 15.01.2016.
[Fraunhofer 2015]	Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (Hrsg.): Schnellladefähigkeit Busse – gezeigt am Beispiel EDDA-Bus, in: http://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/Dr.%20Thoralf%20Knote%281%29.pdf. Abruf: 26.01.2016.
[Giesel 2010]	Informationsdrehscheibe Erdgasfahrzeuge Berlin: Erdgasbusse im ÖPNV sind wirtschaftlich!, https://www.erdgas-mobil.de/fileadmin/downloads/Presse/oepnvwirtschaftlich.pdf, Abruf 25.01.2016.
[Götze 2008]	Götze, U.: Investitionsrechnung. Berlin/Heidelberg: Springer, 2008.
[Grütter Consulting 2014]	Grütter Consulting AG: Real World Performance of Hybrid and Electric Buses, 2014 in: http://www.repic.ch/files/4114/3556/1493/SB_report_grutter.pdf. Abruf: 09.02.2016.
[GTAI 2014]	Germany Trade & Invest: Elektromobilität wächst in Italien aus den Kinderschuhen, in: http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-waechst-in-italien-aus-den-kinderschuhen,did=1101754.html, Abruf: 18.01.2016.

[H2 Mobility 2016]	H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co.KG, http://h2-mobility.de/, Abruf: 25.01.2016.
[Hofmann 2014]	Hofmann, P.: Hybridfahrzeug – Ein alternatives Antriebssystem für die Zukunft. Wien: Springer, 2014.
[IEA 2009]	International Energy Agency: Transport, Energy and CO2: Moving Toward Sustainbility. Paris: International Energy Agency, 2009.
[IEA 2015]	International Energy Agency: World Energy Outlook 2015. Paris: International Energy Agency, 2015.
[Istat 2013]	Istituto Nationale di Statistica: Torino, 2013, in: http://demo.istat.it/bil2013/index04.html. Abruf: 14.02.2016.
[ITDP 2016]	Institute for Transportation & Development Policy: What is BRT?, in: https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/. Abruf: 14.01.2016.
[Jendrischik 2012]	Jendrischik, M.: Elektrobusse sind im Nahverkehr die wirtschaftlicheste Alternative, in: http://www.cleanthinking.de/elektrobusse-sind-im-nahverkehr-die-wirtschaftlichste-alternative/, Abruf: 12.12.2015.
[Kampker 2014]	Kampker, A.: Elektromobilproduktion. Berlin/Heidelberg: Springer, 2014.
[Kern 1974]	Kern, W.: Investitionsrechnung. Stuttgart: o.V., 1974.
[Klühspies 1998]	Klühspies, J.: Park and Ride, Ausführung, in: http://kluehspies.de/index.php?id=106,0,0,1,0,0, Abruf: 03.01.2016.
[Köder et al. 2014]	Köder, L.; Burger, A.; Echermann, F.: Umweltschädliche Subventionen in Deutschland, Fachbroschüre des Umweltbundesamtes 2014.
[Kühne et al. 2007]	Kühne, R.; Haase, R.: Der O-Bus – ein Buskonzept mit Zukunft, in: http://www.trolleymotion.eu/www/uploads/tx_sbdownloader/S3_03_1_Kuehne.pdf. Abruf: 28.02.2016.
[Kusch 2012]	Kusch, M.: 10 Jahre Elektrobusse mit IPT Charge. Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen, in: http://www.conductix.de/de/aktuelles/2012-06-05/10-jahre-elektrobusse-mit-iptr-charge, Abruf: 16.12.2015.
[KVB 2013]	Kölner Verkehrsbetriebe AG: Broschüre: KVB-Beiträge zum Klimaschutz, in: http://www.kvb-koeln.de/german/unternehmen/klimaschutz.html?INCLUDEMODUL=dokumente_einzeln2.mod/inc.download.php&downDokument=675, Abruf 24.02.2016
[KVB 2015]	Kölner Verkehrs-Betriebe AG, in: http://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/J%C3%B6rn%20Schwarze.pdf. Abruf: 04.02.2016.
[Lehmann et al. 2014]	Lehmann, J.; Luschtinetz, T.: Wasserstoff und Brennstoffzellen - Unterwegs mit dem saubersten Kraftstoff. Berlin/Heidelberg: Springer, 2014.
[Linde 2004]	Linde Group: Wasserstoff – der Energieträger für das 21. Jahrhundert, in: http://www.the-linde-group.com/internet.global.thelindegroup.global/de/images/HydrogenBrochure_DE16_10196.pdf. Abruf: 24.01.2016.
[LVB 2013]	Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH: eBus Batterfly - Batteriebus Markkleeberg, in: http://www.elektromobilitaet-verbindet.de/projekte/ebus-batterfly-batteriebus-markkleeberg.html Abruf:10.01.2016.
[MBWSV 2015]	Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MBWSV): ÖPNV-Gesetz, in: http://www.mbwsv.nrw.de/verkehr/Oeffentlicher-Personennahverkehr/oepnv_gesetz/index.php, Abruf 06.01.2016.
[MKULNV 2015a]	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV): Klimaschutz in NRW, in: http://www.umwelt.nrw.de/klima-energie/klimaschutz-in-nrw/, Abruf 03.01.2015.
[MKULNV 2015b]	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV): Klimaschutzplan, in:

	https://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Sonstiges/150415_Handlungsschwerpunkte_Klimaschutzplan.pdf, Abruf 26.01.2016.
[Müller 1976]	Müller, H.G.: Ein Jahr Modellversuch Elektrobus in Nordrhein-Westfalen. Erste Betriebserfahrungen und ihre Anwendung auf ein Gesamtsystem des elektrischen Straßenverkehrs, in: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Band 78/5, 1976, S.203-207.
[Müller-Hellmann et al. 2008]	Müller-Hellmann, A.; Christ, E.; Pütz, R.: Hoffnungsträger Hybridantriebe, in: Der Nahverkehr, 26 (2008), H.12, S. 8-15.
[MWV 2015]	Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Jahresbericht 2015. Hamburg: 2015.
[MWV 2016]	Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Monatliche Verbraucherpreise für Mineralölprodukte. http://www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise. Abruf: 25.04.2016.
[Nationale Plattform Elektromobilität 2016]	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V: Elektromobilität weltweit, in: http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/laendervergleich/usa/, Abruf: 12.01.2016.
[Next Kraftwerk 2016]	Next Kraftwerke: Spotmarkt, in: https://www.next-kraftwerke.de/wissen/strommarkt/spotmarkt-epex-spot. Abruf: 10.02.2016.
[NOW 2015a]	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Wasserstoff tanken – Minister Dobrindt unterstützt Ausbau des Tankstellennetzes in Deutschland, https://www.now-gmbh.de/de/aktuelles/presse/minister-dobrindt-unterstuetzt-ausbau-des-tankstellennetzes-in-deutschland, Abruf: 25.01.2016
[NOW 2015b]	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: https://cleanenergypartnership.de/faq/wasserstoffinfrastruktur/?scroll=true, Abruf 25.01.2016.
[NPE 2014a]	Nationale Plattform Elektromobilität: Technischer Leitfaden Ladeinfra-struktur, in: http://www.elektromobilitaet.din.de/sixcms_upload/media/3310/NPE_AG_4_ Technischer_Leitfaden_Ladeinfrastruktur.pdf. Abruf 26.01.2016.
[NPE 2014b]	Nationale Plattform Elektromobilität: Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung, in: http://www.bmbf.de/pubRD/NPE_Fortschrittsbericht_2014_ barrierefrei.pdf. Abruf: 26.01.2016.
[Pare 2012]	Pare, M.: Expansion eyed as Chattanooga's downtown electric buses reach milestone, in: http://www.timesfreepress.com/news/news/story/2012/jun/21/chattanooga-expansion-eyed-as-downtown-bus-reaches/80835/, Abruf: 01.02.2016.
[Plötz et al. 2013]	Plötz, P.; Gnann, T.; Kühn, A.; Wietschel, M.: Markthochlaufszenarien für Elektrofahrzeuge, in: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wGlobal/wGlobal/scripts/access Document.php?display=1&document=/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszenarien-Elektrofahrzeuge-Langfassung.pdf&forceDownload= 0&wAuthIdHtaccess=800364842. Abruf: 04.02.2016.
[PUT 2001]	Citta' di Torino: Piano Urbano der Traffico e della mobilità delle persone, 2002, in: http://www.comune.torino.it/trasporti/bm~doc/put-2.pdf. Abruf: 13.12.2015.
[Pütz 2010]	Pütz, R.: Modell zur ökologischen und ökonomischen Analyse und strategischen Optimierung von Linienbusflotten. (Dr.-Ing. Technische Universität Berlin). Düsseldorf: Alba, 2010.
[Pütz 2012]	Pütz, R.: Einführung in die Linienbustechnik. Düsseldorf: Alba Fachverlag, 2012.

[Pütz et al. 2009]	Pütz, R.; Müller-Hellmann, A.: Hybridantriebe in Linienbussen – eine Schlüsseltechnologie des Klimaschutzes, in: Eisenbahntechnische Rundschau, 58 (2009) H.6, S. 311-315.
[Ramthun 2015]	Ramthun, C.: Finanzministerium halt an günstiger Steuer fest, in: http://www.wiwo.de/politik/deutschland/diesel-kraftstoff-finanzministerium-haelt-an-guenstiger-steuer-fest/12370938.html, Abruf: 13.12.2015.
[Reinhardt 2015]	Reinhardt, W.: Geschichte des Öffentlichen Personennahverkehrs von den Anfängen bis 2014. Wiesbaden: Springer, 2015.
[River City Company 2016]	River City Company: Downtown Chattanooga, Getting Around, in: http://www.downtownchattanooga.org/new/getting-around/shuttles, Abruf: 12.01.2016.
[Rusu 2010]	Rusu, A.: Development and Urban Policy in Romania, in: http://www.eukn.eu/e-library/project/bericht/eventDetail/development-and-urban-policy-in-romania/, Abruf: 16.12.2015.
[SAENA 2014]	SAENA GmbH: Dresdner Verkehrsbetriebe AG setzt auf Solaris-Elektrobus, in http://www.elektromobilitaet-verbindet.de/news/dvb-setzt-auf-solaris-elektrobus.html Abruf:10.01.2016.
[Schaufenster Elektromobilität 2014]	Schaufenster Elektromobilität: Schaufenster-Programm der Bundesregierung, in: http://www.elektromobilitaet-verbindet.de/schaufenster/schaufenster-programm-der-bundesregierung.html
[Seeliger 2013]	Seeliger, A.: Principles of gas pricing and their impact on the market for gas cars in Germany, in: Biethahn, N. et al. (Hrsg.): Mobility in a Globalised World 2012. Bamberg: University of Bamberg Press, 2013, S. 37-45.
[Siemens 2015]	Siemens AG (Hrsg.): Innovative Technologien und Lösungen für eBusse, in: http://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/Andreas%20Laske.pdf. Abruf: 26.01.2016.
[Solaris 2016]	Solaris Bus und Coach S.A: Urbino electric, in: https://www.solarisbus.com/vehicles_group/urbino-electric. Abruf: 24.02.2016.
[Stadt Bergisch Gladbach 2015]	Stadt Bergisch Gladbach: Immissionsschutz Luft, in: http://www.bergischgladbach.de/immissionsschutz-luft.aspx, Abruf 20.02.2016.
[Stadt Münster et al. 2009]	Stadt Münster; Duscha, M.; Dünnebeil, F.; Gugel, B.; Kutzner, F.; Hübner, A.; Murken, W.: Klimaschutzkonzept 2020 für die Stadt Münster. Heidelberg, Essen 2009.
[Stadt Turin 2010]	CITTÀ DI TORINO: DETERMINAZIONE DIRIGENZIALE, 2010 03428/064, in: http://www.comune.torino.it/giunta_comune/intracom/htdocs/2010/2010_03428.html, Abruf: 14.01.2016.
[Statista 2015a]	Statista: Welches Verkehrsmittel bevorzugen Sie im Alltag?, in: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/2267/umfrage/alternative-verkehrsmittel-zum-eigenen-auto. Abruf: 03.01.2016.
[Statista 2015b]	Statista: Beförderungsleistung im Linienverkehr mit Bussen und Bahnen in Deutschland im Jahr 2014 (in Milliarden Personenkilometer), in: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164666/umfrage/personenkilometer-im-linienverkehr-mit-bussen-und-bahnen-in-deutschland. Abruf: 03.01.2016.
[Statista 2015c]	Statista: Anzahl der beförderten Personen mit Bussen und Bahnen im deutschen Linienfernverkehr in den Jahren 2006 bis 2014 (in Millionen), in: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/12556/umfrage/befoerderte-personen-im-liniennahverkehr-in-deutschland. Abruf: 03.01.2016.
[Statista 2015d]	Statista: Anzahl der Kraftomnibusse in Deutschland von 1970 bis 2015, in: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/155554/umfrage/anzahl-der-busse-in-deutschland. Abruf: 03.01.2016.

[Steger 2012]	Steger, A.: Einsatzpotentiale von Energiespeichern im deutschen Regelenergiemarkt. (M.Sc. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin). Berlin: o.V., 2012.
[TU Dresden 2013]	Technische Universität Dresden: Pilotlinie 64 - effiziente Elektromobilität in Dresden, in http://www.elektromobilitaet-verbindet.de/projekte/pilotlinie-64-effiziente-elektromobilitaet-in-dresden.html Abruf:10.01.2016.
[UBA 2012]	Umweltbundesamt: Daten zum Verkehr: Ausgabe 2012. Dessau: o.V., 2012.
[UBA 2015a]	Umweltbundesamt: Entwicklung des gesamten Primärenergieverbrauchs im Ver-kehrssektor, in: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_energieverbrauch-gesamt_2015-09-30.pdf. Abruf: 29.12.2015.
[UBA 2015b]	Umweltbundesamt: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Personenverkehr, in: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/6_abb_energieverbrauch-pv_2015-10-07.pdf. Abruf: 29.12.2015.
[UBA 2015c]	Umweltbundesamt: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Personenverkehr, in: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/4_abb_spezif_energieverbrauch-pv_2015-09-30.pdf. Abruf: 29.12.2015.
[UBA 2015d]	Umweltbundesamt: Energieverbrauch nach Verkehrsträgern: Gesamter Energieverbrauch unverändert hoch, in: http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/energieverbrauch-nach-verkehrstraegern. Abruf: 29.12.2015.
[UBA 2015e]	Umweltbundesamt: Endenergieverbrauch des Verkehrs, in: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/11-verkehr_mobi-03_energieverbrauch_des_verkehrs_abbildung_0.pdf. Abruf: 29.12.2015.
[USCB 2016]	United States Census Bureau: Quick Fachts Chattanooga city, Tennessee, in: http://www.census.gov/quickfacts/table/PST045215/4714000. Abruf: 12.02.2016
[VCDB 2015]	VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH (VCDB), in: http://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/J%C3%BCrgen%20Lange.pdf. Abruf: 04.02.2016.
[VDV 2014]	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): VDV Statistik 2014, in: https://www.vdv.de/statistik-2014.pdfx?forced=true. Abruf: 03.01.2016.
[VDV 2015]	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): Entwicklung eines Finanzierungs-und Förderkonzepts für den Markthochlauf Elektrobus in Deutschland, in: http://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/Meinhard%20Zistel.pdf. Abruf: 04.02.2016.
[Wallentowitz 2013]	Wallentowitz, H.: Fokus Batterie – Zur technischen Entwicklung von Elektroautos, in: Keichel, M.; Schwedes, O. (Hrsg.): Das Elektroauto. Wiesbaden: Springer, 2013.
[Wallentowitz et al. 2011]	Wallentowitz, H.; Freialdenhoven, A.: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011 [2010].
[Wenge 2013]	Wenge, C.: Optimaler Betrieb von mobilen Speichern im Smart Grid. (Dr.-ing. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg). in: Nitsch, J.; Styczynski, Z. A. (Hrsg.): Res Electricae Magdeburgenses. Magdeburg: 2013.
[Yinhe Electronics 2016]	Jiangsu Yinhe Electronics Co., Ltd.: EV DC fast Charging Station for Chinese Electric bus YuTong, in: http://jsyhdz.en.alibaba.com/product/60186006768-800388561/EV_DC_fast_Charging_Station_for_Chinese_Electric_bus_YuTong.html, Abruf: 14.01.2016.

[Yutong 2016]	Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd: BRT system and solution, in: http://www.yutong.com/english/products/system/09/14623.shtml, Abruf: 13.12.2015.

Vita der Autoren

Andreas Seeliger - Jahrgang 1974

Prof., Dr., Dipl.-Volksw.

Hochschule Niederrhein - Fachbereich 09 Wirtschaftsingenieurwesen - Energiewirtschaft

Schwerpunktthemen in der Lehre:

- VWL
- Umweltökonomie
- Energiewirtschaft
- Energiepolitik
- Energierecht
- Energiehandel
- Netzwirtschaft
- Modellierung von Energiemärkten

Veröffentlichungen (Auswahl):

- 2013 Umweltökonomie und Umweltpolitik, 4. Auflage, München: Vahlen (mit Eberhard Feess)
- 2011 Energy Costs in Germany - Developments, Drivers and International Comparison, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Jg. 35, Heft 1, S. 43-52 (mit Christoph Riechmann et al.)
- 2006 Entwicklung des weltweiten LNG-Angebots bis 2030 - Eine modellgestützte Analyse, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Jg. 30, Heft 2, S. 91-101
- 2005 Interdependenzen zwischen Elektrizitätserzeugung und Erdgasversorgung unter Berücksichtigung eines europäischen CO2-Zertifikatehandels, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Jg. 29, Heft 2, S. 135-144 (mit Michael Bartels)
- 2004 Prospects of gas supplies to the European market until 2030 - results from the simulation model EUGAS, in: Utilities Policy, Vol. 12/4, S. 291-302 (mit Jens Perner)
- 2004 Daten zur Entwicklung der Kosten- und Ertragslage der Mineralölindustrie in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2003, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Jg. 28, Heft 3, S. 183-190 (mit Dieter Schmitt und Dietmar Lindenberger)
- 2002 Das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz - Einige kritische Anmerkungen aus ökonomischer Sicht, in: Zeitschrift für öffentliche und gemeinwirtschaftliche Unternehmen (ZögU), Band 25, Heft 1, S. 40-53
- 1999 Konsequenzen eines Ausstiegs aus der Kernenergie - Ein kritischer Vergleich vorhandener Studien, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU), Jg. 12, Heft 3, S. 400-407 (mit Eberhard Feess)

Vollständige Veröffentlichungsliste: https://www.hs-niederrhein.de/wirtschaftsingenieurwesen/wir-als-fachbereich/personen/seeliger-andreas/veroeffentlichungen/

Berufserfahrungen:

- Goethe-Universität, Frankfurt am Main
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
- Trianel European Energy Trading, Aachen
- Frontier Economics, London/Köln
- IFI Coordination Office, Brüssel
- Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mosbach

Stefan Jeschull – Jahrgang 1992

Studium:

2011 – 2015	B.Eng. Wirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Harz, Wernigerode
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

2014 – 2015	Praktikant, IDT Biologika GmbH, Bereich Energieeffizientes Facility Management

Bernd Krönauer – Jahrgang 1988

Studium:

2012 – 2015	B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen, Hoschschule Niederrhein, Krefeld
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

2007 – 2011	Ausbildung zum Mechatroniker

Stephan Limberg – Jahrgang 1989

Studium:

2010 – 2014	B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen, Hoschschule Niederrhein, Krefeld
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

2011	Praktikant, Siempelkamp GmbH & Co. KG, Bereich Controlling

Christina Schreiner – Jahrgang 1990

Studium:

2011 – 2015	B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen,Hochschule Niederrhein, Krefeld
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

seit 2015	Wissenschaftliche Hilfskraft, SWK-Energiezentrum E²

Mariana Albuquerque Cortinho de Souza – Jahrgang 1984

Studium:

2002 – 2008	Grafik- und Produktdesign, Universidade Estadual Rio de Janeiro
2012 – 2015	B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen, Hoschschule Niederrhein, Krefeld
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

2008 – 2009	Praktikantin, Crumpler Retail GmbH
2009 – 2013	Freiberufliche Tätigkeit als Grafikerin
2010 – 2012	Kundenberaterin, Druckerei Häuder KG
2012 – 2013	Tutorin Mechanik, Mathematik und Buchhaltung, Hochschule Niederrhein
2014 – 2016	Werkstudentin, Siemens AG Power Generation Services
seit 2016	Ordermanagerin, Siemens AG Power Generation Services

Melanie Verza – Jahrgang 1991

Studium:

2011 – 2015	B.Eng. Energiemanagement, Hochschule Heilbronn
seit 2015	M.Eng. Energiewirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Niederrhein, Krefeld

Berufserfahrung:

2013 – 2014	Praktikantin, Next Kraftwerke GmbH
2014	Studentische Hilfskraft, Apparatebau GmbH & Co. KG
2015	Praktikantin, Josef Witt GmbH
seit 2015	Studentische Hilfskraft, Next Kraftwerke GmbH

Bisherige Bände

1. Ralf Jürgen Ostendorf: Aktuelle Bewertung verschiedener Zugänge in die Arbeitswelt, September 2012 (vergriffen)
2. Heike Felde: Erstellung einer Potenzialflächenanalyse für die Nutzung von Windenergie in der Stadt Willich, Mai 2013 (vergriffen)
3. Patrick Asemann: Regenerative Energien als Erfolgsfaktor von kleinen und mittleren Unternehmen am mittleren Niederrhein, Oktober 2013 (vergriffen)
4. Raimund Pörtner: Bestandsaufnahme der Fahrleistungen von Pflegediensten im Hinblick auf den Einsatz von Elektrofahrzeugen, März 2014 (vergriffen)
5. Paul Krautmann: Analyse ausgewählter Online-Bezahlmöglichkeiten unter besonderer Beachtung prozessualer Fragen sowie der praktischen Einsetzbarkeit, Juli 2015
6. R. J. Ostendorf, S. Elfrich, M. Herzog, O. Leschenko und A. Menemencioglu: Praktischer Einsatz ausgewählter Investitionsrechenverfahren in Zeiten expansiver Geldpolitik – Ergebnisdarstellung einer Stichprobenerhebung, Oktober 2015
7. Ralf Jürgen Ostendorf (Hrsg.): Finance- and Businessmanagement Arbeitsergebnisse aus dem Frühjahr 2015, Januar 2016
8. R. J. Ostendorf, S. Elfrich, M. Herzog, O. Leschenko und A. Menemencioglu: Praktischer Einsatz ausgewählter Investitionsrechenverfahren in Zeiten expansiver Geldpolitik – eine netzwerkbasierte Analyse, Januar 2016