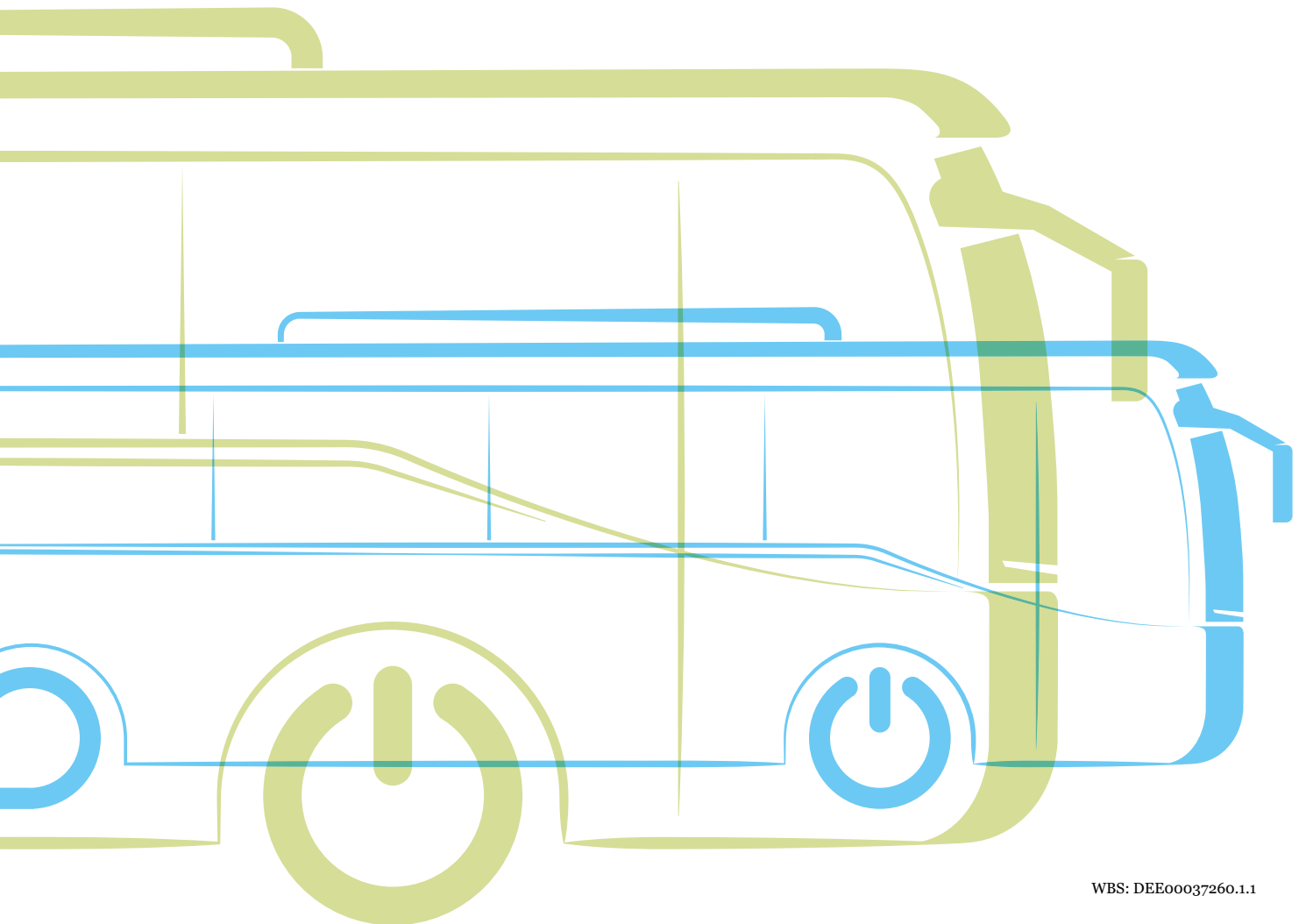


Begleituntersuchung zur Förderung von Elektrobussen im ÖPNV

Eine Bilanz der Förderrichtlinie zur Anschaffung von
Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr
für die Jahre 2018 bis 2023 – im Auftrag des Bundes-
ministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)



Impressum

Im Auftrag des
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Auftragnehmer
PricewaterhouseCoopers GmbH WPG („PwC“)

Unterauftragnehmer
Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH („ifeu“)
CP/COMPARTNER Agentur für Kommunikation GmbH
Prognos AG
EEBC European Electrical Bus Company GmbH („EEBC“)

Inhaltsverzeichnis

Glossar	5
1. Einleitung	14
1.1 Ausgangssituation und Ziele des Förderprogramms	16
1.2 Politischer Kontext und regulatorische Vorgaben für die Beschaffung von Elektrobussen	18
1.2.1 Clean Vehicles Directive und Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz	18
1.2.2 Novellierung der CO ₂ -Flottengrenzwerte durch die EU	21
1.2.3 Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramme der Bundesregierung	22
1.3 Konkrete Ausgestaltung des Förderprogramms	23
1.4 Der Markthochlauf im Fokus der Begleitforschung	24
2. Der Elektrobusmarkt – Staus Quo und zukünftige Entwicklung	26
2.1 Einführende Systematisierung von Elektrobussen und Ladeinfrastruktur	27
2.2 Der Elektrobusmarkt in Deutschland	30
2.2.1 Die Fahrzeugindustrie in der Branchenanalyse	30
2.2.2 Das Fahrzeugangebot – Überblick und Entwicklung	38
2.2.3 Die Preissituation für Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur sowie Industriestrom	50
2.2.4 Bisherige Bestandsentwicklung von Elektrobussen	60
2.2.5 Zukünftige Bestandsentwicklung von Elektrobussen	72
2.2.6 Umsetzungsbeispiele aus der Praxis	79
2.2.7 Öffentliche Wahrnehmung des E-Bus-Einsatzes in Deutschland (Medienanalyse)	87
2.2.8 Erkenntnisse aus der Befragung von Busbetreibern, Aufgabenträgern und Busherstellern	108
2.3 Internationale Einordnung: der deutsche E-Bus-Markt im globalen Vergleich	130
2.3.1 Übersicht des Elektrobusbestands in Asien, Europa, Nord- und Südamerika	130
2.3.2 Übersicht des Elektrobusbestands und Darstellung der Flottentransformation ausgewählter Länder	132
2.3.3 Fazit zum internationalen E-Bus-Markt	146
2.3.4 Erkenntnisse aus der Praxis (internationale Fallbeispiele)	149
2.4 Technische Entwicklung von Fahrzeugen und Infrastruktur	154
2.4.1 Entwicklung ausgewählter technischer Eigenschaften der angebotenen Fahrzeuge	154
2.4.2 Übersicht der verfügbaren und angekündigten Technologien für Nebenaggregate	157
2.4.3 Stand der Technik hinsichtlich der Ladeinfrastruktur	171
3. Die Elektrobusförderung des BMWK und ihre Wirkungen	180
3.1 Auswertung der Förderprojekte anhand des Minimaldatensets	180
3.1.1 Stammdatenauswertung – Struktur und technische Spezifikationen der geförderten Projekte	181
3.1.2 Betriebsdatenauswertung – Erkenntnisse über den Betrieb und Einsatz der geförderten Busse und Ladeinfrastruktur	200
3.1.3 Ergebnisse der Verfügbarkeitsdatenauswertung	215
3.2 Bewertung der BMWK-Elektrobusförderung	220
3.2.1 Ökologische Bewertung	220

Inhaltsverzeichnis

3.2.2	Ökonomische Bewertung	237
3.3	Hebelwirkung der Förderung, weiterer Förderbedarf und Fördermöglichkeiten	247
3.3.1	Analyse der Förderprojekte und Bewertung der Förderung für den Markthochlauf	247
3.3.2	Weiterer Förderbedarf und Weiterentwicklung des Fördermodells	250
4.	Beitrag der BMWK-Förderung zur Transformation des Sektors	255
5.	Anhang	263
5.1	Über die Begleitforschung	263
5.2	Unternehmenssteckbriefe E-Bus-Hersteller	265
5.3	Ergänzende Auswertungen zum Kapitel Medienanalyse	268
5.3.1	Ergänzende Medienbeobachtung	268
5.3.2	Exkurs: Bewertung der BMWK-Förderung durch Verbände	276
5.3.3	Exkurs zum Medienthema Elektrobüsbrände: bundesweite Diskussion über die Sicherheit von Elektrobussen	280
5.4	Fallbeispiele in Langfassung national	284
5.4.1	Fallbeispiel Ludwigslust-Parchim	284
5.4.2	Fallbeispiel Osnabrück	290
5.4.3	Fallbeispiel Berlin	298
5.4.4	Fallbeispiel Wiesbaden	305
5.5	Fallbeispiele in Langfassung international	314
5.5.1	Fallbeispiel Shenzhen	314
5.5.2	Fallbeispiel Ahmedabad	322
5.5.3	Fallbeispiel Santiago de Chile	331
5.5.4	Fallbeispiel Paris	342
5.5.5	Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden	346
5.5.6	Fallbeispiel Oslo	355
5.6	Hinweise zum methodischen Vorgehen	363
5.6.1	Kapitel Erfassung der angebotenen Fahrzeugmodelle	363
5.6.2	Kapitel Übersicht zur Bestandsentwicklung von Elektrobussen in Deutschland	363
5.6.3	Kapitel öffentliche Wahrnehmung des E-Bus-Einsatzes in Deutschland (Medienanalyse)	364
5.6.4	Kapitel Erfassung des Elektrobüsbestands ausgewählter Staaten in Asien, Europa, Nord- und Südamerika	367
5.6.5	Hinweise zur Auswertung der Förderprojekte anhand des Minimaldatensets	372
5.6.6	Hinweise zum Vergleich der Klimabilanz verschiedener Antriebstechnologien für Nahverkehrsbusse	373
5.6.7	Annahmen der ökonomischen Bewertung	377
6.	Literaturverzeichnis	378

Glossar

°C	Grad Celsius
µg	Mikrogramm
A	Ampere
ABB	ABB Limited
AC	alternating current (Wechselstrom)
ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
ADL	Alexander Dennis Limited
AFT	Administrador Financiero de Transantiago (Finanzverwaltung in Santiago de Chile)
AG	Aktiengesellschaft
AJL	Ahmedabad Janmarg Limited
AMC	Ahmedabad Municipal Corporation
AML	Amstelland-Meerlanden (niederländische Region)
AMTS	Ahmedabad Municipal Transport Service
APTA	American Public Transit Association
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
bdo	Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer
BDU	brede doeluitkering verkeer
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (Finanzierungsinstrument)
BEV	battery electric vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BRT	bus rapid transit (Bus-Schnellverkehrssystem)
bspw.	beispielsweise
BTMS	battery thermal management system (Batterie-Wärmemanagementsystem)
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe AöR
BYD	BYD Company Limited

Glossar

BZ	Brennstoffzelle
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAF	Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A.
CAPEX	capital expenditures (Investitionsausgaben)
CCS	combined charging system (kombiniertes Ladesystem)
CEF TBF	Connecting Europe Facility Transport Blending Facility
CEO	chief executive officer (Geschäftsführer)
CHN	China
CMUBS	Chief Minister Urban Bus Service Scheme
CNG	compressed natural gas
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent-Emissionen
CRRC	China Railway Rolling Stock Corporation
CSG	China Southern Grid Company Limited
Ct	Cent
CVD	Clean Vehicles Directive
CZE	Tschechien
d. h.	das heißt
DAC	direct air capture (CO ₂ -Direktabscheidung)
DC	direct current (Gleichstrom)
DE	Deutscher Strommix
DEU	Deutschland
Dez	Dezember
DHI	Department of Heavy Industries (Abteilung für Schwerindustrie)
DL	Depotlader
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
dpa	Deutsche Presse-Agentur
D-PHEV	Diesel-Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Diesel-Plug-in-Hybridfahrzeug)
DTPM	Directorio de Transporte Publico Metropolitano (Behörde für öffentlichen Verkehr)
DVF	Deutsches Verkehrsforum e.V.
e. V.	eingetragener Verein
EAFO	European Alternative Fuels Observatory

Glossar

E-Bus	Elektrobus
EE	erneuerbare Energien
eebc	EEBC European Electrical Bus Company GmbH
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EG	Europäische Gemeinschaft
EIB	Europäische Investitionsbank
El	Elektrolyse
EMS	Energiemanagementsystem
End of Life	End of Life (Ende des Produktlebenszyklus)
E-Pkw	Elektro-Personenkraftwagen
ESP	Spanien
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
ETS	Emissions Trading Scheme (Emissionsrechtehandelssystem)
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FAME I/II	Faster Adoption and Manufacturing of Strong Hybrid and Electric Vehicles in India (Förderprogramm)
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FCEV	fuel cell electric vehicle (Brennstoffzellen-Fahrzeug)
Feb	Februar
F-Gas	fluoriertes Gas
FRA	Frankreich
g	Gramm
GBR	Großbritannien
GB-SCT	Schottland
GCC	gross cost contract (Bruttokostenvertragsmodell)
GER	Deutschland
ggf.	gegebenenfalls
ggü.	gegenüber
GL	Gelegenheitslader

Glossar

GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GoG	Government of Gujarat
GoI	Government of India
Govt.	Government (Regierung)
GPS	Global Positioning System (Satellitennavigationssystem)
GtL	Gas-to-Liquids (Verfahren zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe)
GWh	Gigawattstunde
GWP	global warming potential (Treibhauspotenzial)
h	Stunde
H ₂	Wasserstoff
ha	Hektar
HB	Heuliez Bus S.A.
HFKW	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
HNA	Hessische/Niedersächsische Allgemeine
HUN	Ungarn
HV	Hochvolt
HVAC	heating, ventilation and air conditioning (Heizung, Lüftung und Klimatisierung)
HVO100	HVO (hydrotreated vegetable oils – mit Wasserstoff behandelte Pflanzenöle) in Reinform (HVO100) ist ein Biodieselmotortreibstoff.
i. H. v.	in Höhe von
ICCT	International Council on Clean Transportation
ICEV	internal combustion engine vehicle (Fahrzeug mit Verbrennungsmotor)
IEA	Internationale Energieagentur
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
INEA	Innovation and Networks Executive Agency (Exekutivagentur für Innovation und Netze)
inkl.	inklusive
INR	Indische Rupie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRI	IRIZAR SOCIEDAD COOPERATIVA
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
IT	information technology (Informationstechnik)
ITA	Italien
Jan	Januar

Glossar

JIVE	Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe (Gemeinsame Initiative für Wasserstofffahrzeuge in Europa)
Jul	Juli
Jun	Juni
k. A.	keine Angabe
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KSG	Klimaschutzgesetz
kt	Kilotonne
KTF	Klima- und Transformationsfonds
KUK	Initiative KompetenzUmweltKlima
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LCA	life cycle assessment (Lebenszyklusanalyse)
LCD	liquid crystal display (Flüssigkristallanzeige)
LED	light emitting diode (Leuchtdiode)
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat
LGES	LG Energy Solution Ltd.
LID	Ladeinfrastrukturdienstleister
Li-FePo ₄	Lithium-Eisenphosphat
Li-Ion	Lithium-Ionen
LIS	Ladeinfrastruktur
Lkw	Lastkraftwagen
LMP	Lithium-Metall-Polymer
LNG	liquified natural gas (flüssiges Erdgas)
Ltd	Limited
LTO	Lithium-Titanium-Oxide
m	Meter

Glossar

MAN	MAN Truck & Bus
max.	maximal
MB	Mercedes-Benz (Evobus)
MCS	megawatt charging system
MIIT	Ministerium für Industrie und Informationstechnik der Volksrepublik China
min.	minimal
Mio.	Million
MIV	motorisierter Individualverkehr
MJ	Megajoule
MobG BE	Berliner Mobilitätsgesetz
MOF	Finanzministerium der Volksrepublik China
MOST	Ministerium für Wissenschaft und Technologie der Volksrepublik China
Mrd.	Milliarden
Mrz	März
Mt	Megatonne
MTT	Ministerium für Verkehr und Telekommunikation der Volksrepublik China
MVG	Münchner Verkehrsgesellschaft mbH
MWh	Megawattstunde
n	Größe der Stichprobe
n. v.	nicht vorhanden
NaNa	NahverkehrsNachrichten
NDR	Norddeutscher Rundfunk
NDRC	Staatliche Kommission für Entwicklung und Reform der Volksrepublik China
NLD	Niederlande
NMC	Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt
NOK	Norwegische Krone
Nov	November
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOx	Stickoxide
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NRZ	Neue Ruhr Zeitung
n-tv	Von der ntv Nachrichtenfernsehen GmbH betriebener Fernseh-Nachrichtensender

Glossar

NV	Niedervolt
o. J.	ohne Jahr
O-BEV	oberleitungsgebundenes batterieelektrisches Fahrzeug
O-Bus	Oberleitungsbus
OEM	original equipment manufacturer (Erstausrüster/Fahrzeughersteller)
Okt	Oktober
OPEX	operating expense (Betriebskosten)
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	öffentlicher Personenverkehr
p. a.	per annum (pro Jahr)
PEM	Polymerelektrolyt-Membran
PHEV	plug-in hybrid electric vehicle (Plug-in-Hybridfahrzeug)
Pkw	Personenkraftwagen
PM	particulate matter (Feinstaub)
POL	Polen
PPP-Modell	Public-Private-Partnership (öffentlich-private Partnerschaft)
PTC	positive temperature coefficient (Kaltleiter)
PtG	power-to-gas
PtL	power-to-liquid
PwC	PricewaterhouseCoopers GmbH WPG
R134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan (Kältemittel)
R2	Bestimmtheitsmaß
R290	Propan (Kältemittel)
R449a	OpteonTM XP40 (Kältemittel)
R744	Kohlenstoffdioxid (Kältemittel)
RATP	Régie autonome des transports Parisiens (Betreiber des ÖPNV in Paris)
RDC	RAI-Datenzentrum in den Niederlanden
RED	Red Metropolitana de Movilidad (öffentliches Verkehrssystem)
RLI	Reiner-Lemoine-Institut gGmbH
RMB	Renminbi (chinesische Währung)
R-Net	Randstadnet
RSAG	Rostocker Straßenbahn AG

Glossar

RTL	RTL Television (deutschsprachiger Fernsehsender)
RUS	Russland
S.A.	société anonyme (Aktiengesellschaft)
SaubFahrzeug-BeschG	Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz
SDRC	Development and Reform Commission of Shenzhen (Entwicklungs- und Reformkommission Shenzhen)
Sep	September
SGV	Schienengüterverkehr
SIWA	Sondervermögen Infrastruktur der Wachsenden Stadt
SMR	steam methane reforming (Erdgasdampfreformierung)
SNEVLG	Shenzhen Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Promotion Leading Group
SOC	state of charge (Ladezustand)
SOH	state of health (Alterungszustand)
SSB	Stuttgarter Straßenbahnen AG
STC	Transport Commission of Shenzhen (Transportkommission Shenzhen)
SUPLRC	Shenzhen Urban Planning and Land Resources Commission (Kommission für Stadtplanung und Landressourcen Shenzhen)
SWE	Schweden
SWO	Stadtwerke Osnabrück AG
SZ	Süddeutsche Zeitung
SZBG	Shenzhen Bus Group Company Limited (Busunternehmen)
T	Tausend
t	Tonnen
taz	Die Tageszeitung
TCO	total cost of ownership
THG	Treibhausgas
TREMOT	Transportemissionsmodell
TtW	tank-to-wheel
TUB	Technische Universität Berlin
TUR	Türkei
TV	television (Fernsehen)
u. a.	unter anderem

Glossar

UBA	Umweltbundesamt
U-Bahn	Untergrundbahn
UITP	Union Internationale des Transports Publics
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
USB	Universal Serial Bus (serielles Bussystem)
V	Volt
v. a.	vor allem
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VDL	VDL BUS & COACH BV
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.
VGf	viability gap funding
vgl.	vergleiche
VLP	Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim mbH
VRA	Vervoerregio Amsterdam (Verkehrsbehörde)
VU	Verkehrsunternehmen
VW	Volkswagen AG
WDR	Westdeutscher Rundfunk
Wh	Wattstunde
WLAN	Wireless Local Area Network (drahtloses Lokal-netzwerk)
WtW	well-to-wheel
WZ	Wirtschaftszweig
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZDF	Zweites Deutsches Fernsehen
ZEBRA	Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator
ZF	ZF Friedrichshafen AG
ZT	Zhongtong Bus Holding Co Ltd

1. Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland bzw. die Bundesregierung hat mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) das Ziel vorgegeben, bis zum Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität in Deutschland zu erreichen, um den immer stärker zutage tretenden Folgen des menschlich verursachten Klimawandels entgegenzuwirken. Damit muss auch der Verkehrssektor bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral werden. Laut Klimaschutzgesetz sollen die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis zum Jahr 2030 um 65 % im Vergleich zum Jahr 1990 sinken. Im Verkehr lagen die Emissionen im Jahr 2023 mit 146 Mt CO₂-Äquivalenten jedoch voraussichtlich nur 11 % unter dem Niveau von 1990, was die notwendigen zusätzlichen Anstrengungen in den kommenden Jahren verdeutlicht. Zudem sehen sich insbesondere die deutschen Städte mit anhaltenden Herausforderungen durch eine hohe Verkehrsbelastung sowie einer einhergehenden verkehrsbedingten Luftschadstoff- und Lärmbelastung konfrontiert. Durch das im Jahr 2017 initiierte „Sofortprogramm Saubere Luft“ hat die Bundesregierung Maßnahmen ergriffen, um die Luftqualität in Deutschland zu verbessern und die Stickstoffdioxid-Grenzwerte einzuhalten. Ein Schwerpunkt des Sofortprogramms lag dabei auf der Elektrifizierung des urbanen Verkehrs und somit auch des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV).

Der ÖPNV leistet bereits heute durch attraktive Angebote einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz, indem er Verkehre bündelt und somit effizient und ressourcenschonend abwickelt. Vor dem Hintergrund der umwelt- und klimabezogenen Herausforderungen zum Ende der 2010er-Jahre und der Zielsetzung des Erreichens der Treibhausgasneutralität wurde aber immer stärker deutlich, dass er zukünftig selbst noch verstärkter zur Klima- und Umweltentlastung beitragen und langfristig, wie alle anderen Emittenten auch, treibhausgasneutral werden muss. Im straßengebundenen ÖPNV mit ca.

54.000 im Linienverkehr eingesetzten Bussen bestand und besteht aufgrund der bisher überwiegend eingesetzten Dieselantriebe diesbezüglich großer Handlungsbedarf. Zwar war der straßengebundene ÖPNV (Bus, Straßenbahn, U-Bahn) im Jahr 2019 nur für etwa drei Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs in Deutschland verantwortlich, emittierte aber dennoch rund 4,1 Mio. t CO₂-Äquivalente (DLR 2022). Die Umstellung auf Fahrzeuge mit emissionsfreien, elektrischen Antrieben ist somit von wesentlicher Bedeutung. Bei Betrachtung der Busflotten wurde deutlich, dass sich die Elektromobilität im deutschen ÖPNV im Jahr 2018 noch in einem frühen Stadium befand. Bis dahin hatten Elektrobusse nur einen äußerst geringen Anteil an der gesamten ÖPNV-Busflotte in Deutschland. Neben technischen und betrieblichen Aspekten war der noch geringe Anteil von Elektrobussen vor allem auf wirtschaftliche Hemmnisse zurückzuführen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat vor diesem Hintergrund im März 2018 die „Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr“ veröffentlicht. Diese Förderrichtlinie sieht im Kern vor, dass für die Anschaffung von batterieelektrischen Bussen bis zu 80 % der Investitionsmehrkosten gefördert werden können. Das Förderprogramm ging nach dem Regierungswechsel im Jahr 2021 auf das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über, wobei die letzten Erstbescheide bereits am 10. Dezember 2020 bewilligt wurden. Insgesamt wurde die Förderung von 1.500 batterieelektrischen Bussen und 1.052 Ladepunkten bewilligt.¹ Die Förderung hat durch die umfassende Beschaffung und den verstärkten Einsatz von E-Bussen im Linienbetrieb den bis dahin in den Kinderschuhen befindlichen Markthochlauf stimuliert und unterstützt. Die aufgrund der Förderung erfolgten Einflottungen können jedoch nur ein

Indiz dafür sein, ob und inwiefern die Ziele der Förderrichtlinie erfüllt werden. Der vorliegende Bericht zeigt daher auch auf, dass der Erfolg der Förderung sich nicht nur in direkten Effekten bemisst, sondern auch indirekt durch das Setzen eines Impulses zur Umstellung des Gesamtmarktes, beispielsweise durch Ausweitung und Fortentwicklung der Angebotspalette der Fahrzeughersteller oder Lerneffekte und Kompetenzaufbau aufseiten der Busbetreiber, einen wesentlichen Erfolgsbeitrag für diese Transformation lieferte. Die übergeordnete Zielsetzung der Richtlinie war die Unterstützung der Markteinführung von Elektrobussen in Deutschland, sodass perspektivisch die Linienbusflotten flächendeckend umgestellt werden.

Flankierend zur Umsetzung dieses Förderprogramms wurde eine umfassende Begleitforschung durch das BMU beauftragt. Mit dem vorliegenden Abschlussbericht wird das Förderprogramm einer abschließenden Erfolgskontrolle und Evaluation mit Blick auf Zielerreichung, Wirkung und Wirtschaftlichkeit unterzogen. Dieser Abschlussbericht schließt an die begleitende Erfolgskontrolle im Rahmen des 1. Zwischenberichts aus dem Jahr 2021 an, erweitert diese aber insbesondere um eine umfassende Bewertung

der ökologischen und ökonomischen Wirkung der Förderung. Darüber hinaus sollen Erkenntnisse und Hinweise zum aktuellen Status der Umstellung des Gesamtmarktes auf emissionsfreie Antriebe gewonnen werden, um diese tiefgreifende Transformation und Dekarbonisierung des ÖPNV weiter vorantreiben zu können und beispielsweise Wirtschaftlichkeitslücken, Optimierungspotenziale und mögliche weitere Förderbedarfe für eine erfolgreiche Flottenumstellung zu identifizieren.

Im Rahmen der Begleitforschung wurden zunächst der Elektrobusmarkt und die Elektrobusbestände umfassend analysiert. Anschließend wurden vor allem die klima- und umweltbezogenen Auswirkungen des Elektrobuseinsatzes untersucht und die Effekte der BMWK-Förderung auf den Markthochlauf von Elektrobussen beurteilt. Die Ergebnisse der Begleitforschung sind in dem vorliegenden Abschlussbericht umfassend dokumentiert.

Im Namen aller Beteiligten möchten wir uns bei allen Akteuren bedanken, die an der Begleitforschung mitgewirkt und diese unterstützt haben, und wünschen Ihnen eine anregende und erkenntnisreiche Lektüre!

1.1 Ausgangssituation und Ziele des Förderprogramms

Bevor die Förderrichtlinie im Jahr 2018 erlassen wurde, war der deutsche ÖPNV mit Bussen nahezu ausschließlich durch den Einsatz von Verbrennungsmotoren mit Dieselmotoren geprägt. Der Dieselbus war der langjährig etablierte Branchenstandard, auf dessen Einsatz die ÖPNV-Betreiber ihre Systeme seit vielen Jahren ausgerichtet und optimiert hatten. Auch die Hersteller hatten sich auf diese eingeschwungene Marktsituation eingestellt und konnten nicht zuletzt Synergien aus der Fertigung von Dieseln und sonstigen schweren Nutzfahrzeugen ziehen. So verfügten die etablierten Fahrzeughersteller, welche den deutschen Busmarkt bis dato prägten, noch nicht über elektrisch angetriebene Serienfahrzeuge in ihrem Angebot. Die Verkehrsunternehmen mussten daher auf teure Sonderanfertigungen zurückgreifen, wenn sie emissionsfrei angetriebene Busse erwerben wollten. Diese Busse waren zudem noch nicht speziell für den elektrischen Antrieb konzipiert, wodurch sich die Nutzbarkeit der Fahrzeuge verschlechterte (bspw. weiterhin Gehäuse für einen Turmmotor im Fahrgastinnenraum). Zudem wurde in Einzelfällen auf Hybridbusse als alternative Antriebstechnologie gesetzt, die aufgrund ihrer Komplexität ebenfalls jedoch eine Nischenanwendung als Übergangstechnologie darstellten.

Der E-Bus-Bestand in Deutschland war im Jahr 2017 vor Beginn der Förderung noch sehr gering. Neben insgesamt 71 Oberleitungsbussen in den drei Städten Solingen, Esslingen und Eberswalde waren lediglich 78 weitere emissionsfrei angetriebene Busse (66 Batterie- und 12 Brennstoffzellenbusse) deutschlandweit im Einsatz – in Summe somit lediglich knapp 150 emissionsfrei angetriebene Busse. Dies entsprach einem Anteil an der gesamten ÖPNV-Busflotte in Deutschland von weit unter einem halben Prozent. Der E-Bus-Einsatz fokussierte sich auf wenige Städte und Regionen, die überwiegend im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben alternative

Antriebe testeten. Dazu zählten unter anderem Hamburg mit neun Elektrobussen, Köln mit acht Elektrobussen sowie Braunschweig mit fünf Elektrobussen. Ein nennenswerter oder gar flächendeckender Einsatz emissionsfrei angetriebener Busse im Fahrgastverkehr erfolgte zu diesem Zeitpunkt somit noch nicht und war auch nicht absehbar. Eine Besonderheit bildete hier die sogenannte Innovationslinie 109 der Hamburger Hochbahn, auf der die Hochbahn bereits seit dem Jahr 2014 ausschließlich Busse mit alternativen Antrieben einsetzte, um erste Praxiserfahrungen für den späteren Großeinsatz zu sammeln. Vor dem Hintergrund der deutschen Klima- und Umweltschutzziele war und ist auch der ÖPNV angehalten, das bereits vergleichsweise umweltfreundliche Verkehrsmittel Bus noch umweltfreundlicher zu machen und Dieselnach und nach durch emissionsfreie Antriebe zu ersetzen. Diese Transformation ist zunächst jedoch mit deutlich höheren Anschaffungskosten für die Fahrzeuge sowie umfangreichen Investitionen für den Aufbau der Lade- und Betankungsinfrastruktur verbunden. Zudem verändert der Systemwechsel auch die Rolle der Verkehrsunternehmen vom Fahrzeugbetreiber zum Systembetreiber mit deutlich stärkerer Bedeutung von Infrastruktur und IT-Systemen und dem Zusammenspiel aller Komponenten.

Daher legte das BMU im März 2018 die hier betrachtete „Förderrichtlinie zur Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ auf. Diese sollte den Markthochlauf der Elektromobilität im ÖPNV mit Bussen spürbar unterstützen und zum Entstehen eines selbsttragenden Marktes beitragen. Mit dieser Förderung sollen die Verkehrsunternehmen und damit auch ihre Aufgabenträger in die Lage versetzt werden, erste praktische Erfahrungen mit batterieelektrischen Bussen zu sammeln und durch Lern- und Skaleneffekte die angestrebte Flottentransformation zu nachhaltigen, emissionsfreien Antrieben

bei Bussen einzuleiten. Durch Netzwerkeffekte, Wissenstransfer in Formaten wie der Arbeitsgruppe Innovative Antriebe Bus (AG Bus) sowie durch die attraktiven Förderbedingungen sollen flächendeckend Verkehrsunternehmen vom E-Bus-Einsatz und der Flottenumstellung überzeugt werden.

Das Förderprogramm zielt damit nicht nur darauf ab, dass einzelne Verkehrsunternehmen gefördert werden, sondern auch darauf, dass die Anschaffungspreise für E-Busse aufgrund von Skaleneffekten und des Hochlaufs von Serienfertigungen sinken. Das Förderprogramm schafft auch einen Pull-Effekt für deutsche und europäische Busersteller, ihre Produktpalette um Elektrobusse zu erweitern, die bis dahin im Angebotsportfolio der Hersteller keine nennenswerte Rolle spielten. Dies steht im starken Kontrast zu der Strategie chinesischer OEMs, die bereits frühzeitig Investitionen in das Segment der batterieelektrischen Busse getätigt haben und zunehmend auch Interesse am europäischen Absatzmarkt zeigen. Die durch das Förderprogramm initiierte Nachfrage auf dem Heimatmarkt schafft damit die notwendige Planungssicherheit für deutsche Busersteller, rechtzeitig Investitionen in eine Antriebstechnologie und Busmodelle zu tätigen, die auf dem global schnell wachsenden Zukunftsmarkt emissionsfreier Busse wettbewerbsfähig sind. Dies ist nicht zuletzt auch deshalb von großer Bedeutung, da sich durch die veränderten Rahmenbedingungen ein deutlicher Nachfragerückgang bei

Dieselbussen in Zukunft immer stärker abzeichnet bzw. in einigen Regionen inzwischen bereits eingetreten ist.

Durch die durch das Förderprogramm angeregten Lern- und Skaleneffekte und den dadurch ausgelösten Wettbewerb in Vergaben und Ausschreibungen soll künftig die Flottentransformation auch ohne substanzielle Förderung wirtschaftlich darstellbar sein. Ziel dieser Förderung sind somit Weichenstellungen zur flächendeckenden Markteinführung von batterieelektrischen Bussen mit dem Ziel eines selbsttragenden Marktes gewesen. Das BMU bzw. BMWK hat hier strategisch eine Rolle als Initiator und aktiver Gestalter einer vorausschauenden Sektortransformation eingenommen, zu der die betroffenen Akteure aufgrund des bislang über Jahrzehnte stabilen und wenig veränderungsaffinen Marktumfeldes und ihrer jeweiligen Rahmenbedingungen und Interessenlagen bis dahin nicht in der Lage oder bereit waren.

Im Rahmen der Förderung konnten sich die Verkehrsunternehmen die antriebsbedingten Investitionsmehrkosten der Fahrzeuge mit bis zu 80 % fördern lassen. Diese Mehrkosten wurden anhand des tatsächlich erzielten Marktpreises für die Fahrzeuge (es gab keine zuvor festgelegte Preisobergrenze) im Vergleich zu einem Dieselreferenzbus ermittelt. Darüber hinaus wurden 40 % der Anschaffungskosten für die notwendige Ladeinfrastruktur gefördert.

1.2 Politischer Kontext und regulatorische Vorgaben für die Beschaffung von Elektrobussen

Durch die hohe Dynamik und den Handlungsdruck in Bezug auf Umweltschutz und das Ziel der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 ordnet sich das Förderprogramm zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr zum Zeitpunkt seiner Auflage, aber auch während seiner Laufzeit in ein politisches und regulatives Umfeld anderer ordnungsrechtlicher und ökonomischer Instrumente ein, die sich auf die Beschaffungen von Bussen im ÖPNV auswirken. Durch die Förderung sollten die betroffenen Akteure, allen voran die ÖPNV-Betreiber und Fahrzeughersteller, in die Lage versetzt werden, die an sie gestellten regulatorischen Anforderungen nachhaltig zu erfüllen. Die Notwendigkeit und Wirksamkeit der Förderung muss daher auch im Kontext dieses regulativen Umfelds betrachtet werden.

Die wichtigsten regulatorischen Instrumente und die daraus resultierenden Vorgaben hinsichtlich der Fahrzeugbeschaffungen werden nachfolgend erläutert.

1.2.1 Clean Vehicles Directive und Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz

Mit der Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge (Richtlinie 2009/33/EG, „Clean Vehicles Directive“, kurz: CVD) verfolgt die Europäische Union seit dem Jahr 2009 das Ziel, den Beitrag des Verkehrssektors zur Erreichung von Umwelt- und Klimazielen zu verbessern und so eine Schlüsselrolle beim Klimaschutz einzunehmen. Nach erfolgter Umsetzung in nationales Recht wurden der Bund, die Länder und Kommunen sowie öffentliche Unternehmen dazu angehalten, bei EU-weiten Vergabeverfahren zum Kauf von Fahrzeugen die CO₂- und andere Schadstoffemissionen sowie den Kraftstoffverbrauch miteinzubeziehen.² Die Ex-post-Evaluation der Richtlinie 2009/33/EG zeigte aller-

dings auf, dass dieser Ansatz durch die entsprechenden Beschaffungsstellen nicht konsequent umgesetzt wurde.³ Im Rahmen ihres zweiten Mobilitätspaketes legte die EU-Kommission im November 2017 einen Richtlinienentwurf zur Überarbeitung der Clean Vehicles Directive vor, der am 18. April 2019 vom Europäischen Parlament und am 12. Juni 2019 schließlich vom Europäischen Rat verabschiedet wurde. Die aktualisierte CVD definiert neue, verbindliche Ziele für die Beschaffung von „sauberen“ Fahrzeugen durch öffentliche Behörden und Unternehmen. Die Umsetzung der CVD erfolgte in Deutschland mit der Einführung des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetzes (SaubFahrzeugBeschG), welches ab dem 2. August 2021 in Kraft getreten ist. Hierdurch werden öffentlichen Auftraggebern verbindliche Mindestziele für die Beschaffung von sauberen und emissionsfreien Bussen vorgegeben. Die CVD ist somit derzeit das zentrale Regulierungsinstrument für die Beschaffung von (Elektro-)Bussen im ÖPNV und wird daher nachfolgend umfassend dargestellt.

Hinweis: Im Folgenden wird aufgrund der verbreiteten Verwendung weiterhin der Begriff Clean Vehicles Directive bzw. CVD verwendet. Dieser ist mit Blick auf die nationale Umsetzung in Deutschland synonym zum SaubFahrzeugBeschG zu verstehen.

Von der CVD betroffene Fahrzeugklassen

Die novellierte Clean Vehicles Richtlinie gilt insgesamt für die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge der öffentlichen Hand und unterscheidet dabei verschiedene Fahrzeugklassen,⁴ die sich wie folgt kategorisieren lassen:

- Fahrzeug-Kategorie 1: leichte Nutzfahrzeuge für den Personen- und Güterverkehr der Klassen M1 und M2 oder N1,⁵



² Vgl. Graef: Fahrzeugbeschaffungen im Anwendungsbereich der neuen Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, S. 1.

³ European Commission, Ex-post Evaluation of Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy efficient road transport vehicles (2015), S. 84 ff.

⁴ Grundlage ist die Verordnung (EU) 2018/858 Artikel 4 Abs. 1 lit. a) und b).

⁵ Die Klasse M1 umfasst Kraftfahrzeuge (Personenbeförderung) mit höchstens acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und ohne Stehplätze.

Zur Klasse M2 gehören Kraftfahrzeuge (Personenbeförderung) mit mehr als acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und mit einer zulässigen Gesamtmasse von maximal fünf Tonnen. Die Klasse N1 umfasst Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr mit einer maximalen Gesamtmasse von 3,5 Tonnen.

- Fahrzeug-Kategorie 2: schwere Nutzfahrzeuge für den Güterverkehr der Klassen N2 und N3,
- Fahrzeug-Kategorie 3: schwere Nutzfahrzeuge zur Personenbeförderung (Busse) der Klasse M3, als Fahrzeuge mit einer zulässigen Personenzahl von mehr als 22 Personen ohne den Fahrer, die so konstruiert sind, dass Bereiche für Stehplätze vorgesehen werden, um ein häufiges Ein- und Aussteigen der Fahrgäste zu ermöglichen. Hierunter fallen nur Stadtbusse (M3 Klasse I) mit vielen Stehplätzen, wohingegen Reisebusse bzw. Überlandbusse (M3 Klasse II) mit geringer Stehfläche nicht in den Anwendungsbereich der Clean Vehicles Richtlinie fallen. Darüber hinaus werden Fahrzeuge der M3 Klasse A mit einer zulässigen Personenzahl von maximal 22 Personen ohne den Fahrer ebenfalls von der CVD eingeschlossen.

Für die Beschaffung von Bussen ist folglich die dritte Fahrzeug-Kategorie einschlägig, wobei mit rund 35.000 Fahrzeugen der überwiegende Teil der in Deutschland eingesetzten ÖPNV-Busflotte den von der CVD umfassten Fahrzeugklassen M3 Klasse I bzw. A zuzuordnen ist.

Anwendungsbereich der CVD

Der weite Anwendungsbereich der Richtlinie umfasst de facto den gesamten ÖPNV mit Bussen in Deutschland. So erstreckt sie sich auf die Beschaffung von Fahrzeugen im Wege von:

- Verträgen über den Kauf, das Leasing, die Anmietung oder den Ratenkauf, die durch öffentliche Auftraggeber oder Auftraggeber vergeben werden, soweit sie zur Anwendung der Richtlinien 2014/24/EU und 2014/25/EU verpflichtet sind;
- öffentlichen Dienstleistungsaufträgen im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1370/2007, die die Erbringung von Personenverkehrsdienstleistungen auf der Straße über einen von den Mitgliedstaaten festzulegenden Schwellenwert hinaus zum Gegenstand haben, der den in Artikel 5 Absatz 4 jener Verordnung festgelegten Schwellenwert (geschätzter Jahresdurch-

schnittswert von weniger als 1.000.000 € oder eine jährliche öffentliche Personenverkehrsleistung von weniger als 300.000 km) nicht übersteigt;

- Dienstleistungsaufträgen über Verkehrsdienste (hierunter fallen: straßengebundener öffentlicher Verkehr, straßengebundene Personensonderbeförderung, Bedarfspersonenbeförderung, Abholung von Siedlungsabfällen sowie Post- und Paketbeförderung bzw. -zustellung), soweit die öffentlichen Auftraggeber bzw. Auftraggeber zur Anwendung der Vergabeverfahren nach den Richtlinien 2014/24/EU und 2014/25/EU verpflichtet sind.

Als öffentliche Auftraggeber gelten hierbei die Länder, Kreise, Kommunen, Zweckverbände oder AöR. Diese sind zur Anwendung der Richtlinie verpflichtet. Auch Auftraggeber, die keine öffentlichen Auftraggeber oder keine öffentlichen Unternehmen sind, aber Verkehrsleistungen auf der Grundlage von besonderen oder ausschließlichen Rechten ausüben, werden an die CVD gebunden. Konkret bedeutet dies für den Busverkehr, dass hierunter nur der Linien- und Schülerverkehr als Verkehrsleistung fällt. Ausgenommen sind indessen Unternehmen, die im Reise- und Fernbusverkehr tätig sind.

Beschaffungsrelevante Vorgaben der CVD für Elektrobusse

Mit der CVD gibt das europäische bzw. deutsche Recht feste, länderspezifische Beschaffungsquoten für die Einflottung von sauberen sowie emissionsfreien Bussen der Klasse M3 Klasse I (typischerweise Stadtbuss) sowie Klasse M3 Klasse A (typischerweise Midibus in Linienbusausführung) im straßengebundenen ÖPNV vor und erzeugt auf diese Weise eine starke regulatorische Pull-Wirkung hinsichtlich der Elektrobuseinführung. Die Erfüllung der auf nationaler Ebene definierten Beschaffungsquoten bildet den Kern der CVD. Hierbei sind die jeweils gültigen Zielperioden zu berücksichtigen. Die erste Periode bezieht sich auf den Zeitraum zwischen dem Inkrafttreten der Richtlinie am 2. August 2021 bis zum 31. Dezember 2025. Die zweite Periode beginnt mit dem 1. Januar 2026 und

endet mit dem 31. Dezember 2030. Es ist vorgesehen, dass innerhalb der ersten Periode in Deutschland 45 % und in der zweiten Periode mindestens 65 % der Fahrzeug-Neubeschaffungen den von der EU-Kommission vorgegebenen „sauberen“ Antriebskonzepten entsprechen. Die Quoten für saubere Fahrzeuge beinhalten darüber hinaus auch Vorgaben für einen Anteil von emissionsfreien Fahrzeugen hinsichtlich der Fahrzeug-Neubeschaffungen. In der ersten Perio-

de liegt dieser Anteil bei mindestens 22,5 %. In der zweiten Periode erhöht sich die Teil-Beschaffungsquote für emissionsfrei angetriebene Busse dann auf mindestens 32,5 %. Die novellierte CVD zielt somit nicht mehr allein auf die inkrementelle Senkung von Luftschadstoffen und Emissionen ab, sondern leistet durch eine eigene Quote für emissionsfreie Fahrzeuge einen Beitrag zu deren Markthochlauf.

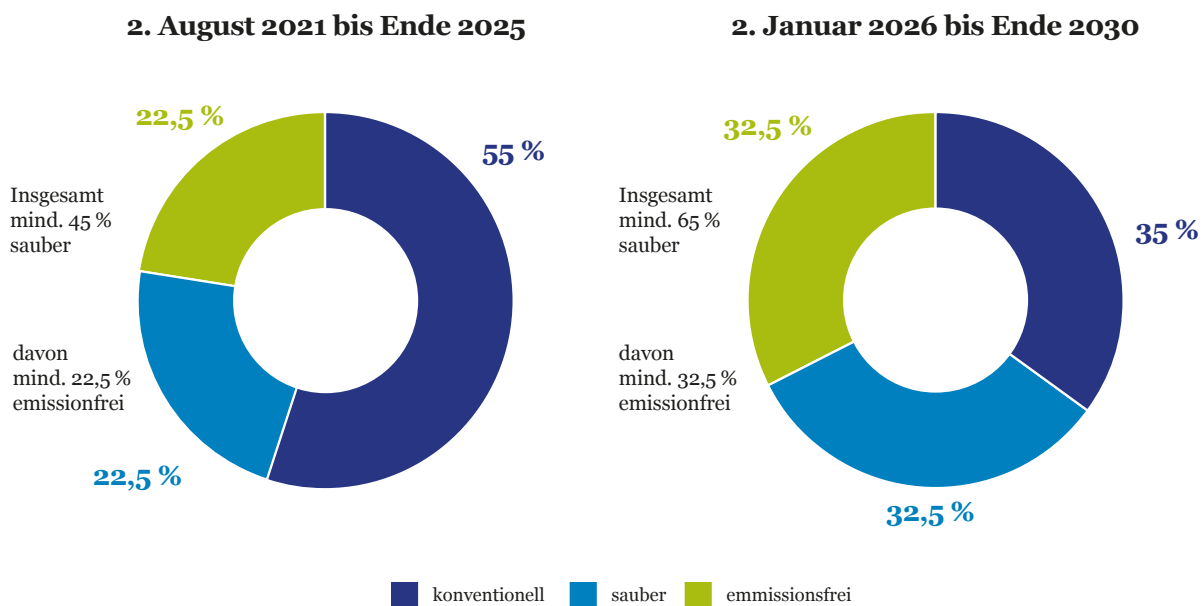


Abbildung 1: Beschaffungsquoten der CVD für Stadtbusse in den Referenzperioden

Als emissionsfrei gelten dabei Fahrzeuge ohne konventionellen Verbrennungsmotor oder mit Verbrennungsmotor, der weniger als 1 g CO₂/kWh bzw. 1 g CO₂/km emittiert. Von praktischer Bedeutung sind in diesem Sinne vor allem Busse mit batteriebetriebenen Elektromotor oder mit einem Brennstoffzellenantrieb. Auch Trolleybusse mit vollelektrischem Notfahr aggregat gelten als emissionsfrei, Hybridbusse fallen jedoch nicht unter diese Definition. Für die Erfüllung der Quote können neben Neubeschaffungen auch bestehende Fahrzeuge in ein sauberes oder emissionsfreies Fahrzeug umgerüstet werden.

Als sauber gilt dabei ein Bus, der mit alternativen Kraftstoffen im Sinne der Richtlinie 2014/94/EU Art. 2 Nr. 1 und 2 betrieben wird. Diese Richtlinie definiert Kraftstoffe oder Energiequellen als „alternativ“, die zumindest teilweise als Ersatz für Erdöl als Energieträger für den Verkehrssektor dienen, die zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen und die die Umweltverträglichkeit des Verkehrssektors erhöhen können. Hierzu zählen insbesondere die in der folgenden Abbildung dargestellten Energieträger.

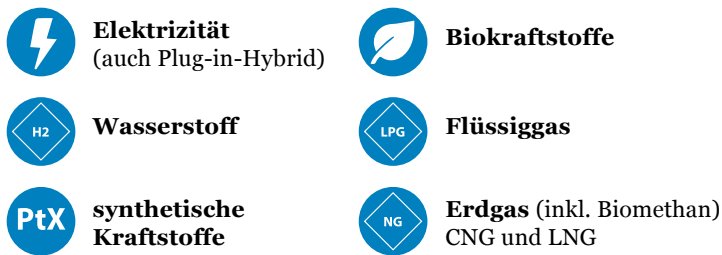


Abbildung 2: Übersicht der als „sauber“ definierten Energieträger für den Antrieb eines Busses

Insofern gelten auch Plug-in-Hybridbusse (PHEV) als „sauber“, da elektrische Energie von außerhalb des Fahrzeuges zugeführt wird und die Fahrzeuge zumindest teilweise elektrisch angetrieben werden.

In Deutschland wurde zur Sicherstellung der Erfüllung der Vorgaben aus der CVD im November 2023 eine Branchenvereinbarung zwischen den wichtigsten Branchen- und kommunalen Spitzenverbänden (u. a. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) sowie Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen e. V. [bdo]) geschlossen, die eine gemeinsame Erfüllung der Ziele für Busse vorsieht. Dazu werden die Beschaffungsplanungen sowie die Bestandsdaten an den eingerichteten Koordinierungskreis gemeldet, um einen einheitlichen Datenstand sicherzustellen und daraus gegebenenfalls weitere Maßnahmen zur Zielerfüllung einleiten zu können. Dieser Branchenvereinbarung haben sich 14 der 16 deutschen Bundesländer (Ausnahmen: Baden-Württemberg und Berlin) angeschlossen.

Erstmals zum 2. August 2022 mussten die einzelnen Mitgliedstaaten der EU über ihre konkret durchgeführten Maßnahmen zur Umsetzung der Clean Vehicles Directive berichten. Diese Berichterstattung konkretisiert auch die Absichten des Bundes in Bezug auf den Vollzug, einschließlich eines Zeitplans und einer möglichen Lastenverteilung zwischen den verschiedenen Zuständigkeitsebenen. In Deutschland ist das Bundesministerium für Digitales und Ver-

kehr (BMDV) für den Vollzug verantwortlich. Zum 18. April 2026 und danach alle drei Jahre wird die EU-Kommission die Umsetzung der Richtlinie überprüfen. Ein branchenweites Register auf nationaler Ebene wäre hier denkbar, welches die Beschaffungen ab Beginn der ersten Referenzperiode erfasst und abbildet. Die Mitgliedstaaten müssen hierfür einen Bericht vorlegen, der insbesondere Informationen über die Anzahl und die Klassen der entsprechenden Fahrzeuge enthält. Bis zum 31. Dezember 2027 sieht die Kommission eine erneute Überprüfung der Richtlinie 2009/33/EG vor, die dann gegebenenfalls in einen Gesetzgebungsvorschlag für eine erneute Änderung der Richtlinie für den Zeitraum nach dem Jahr 2030 münden wird. Hier könnte mit noch ehrgeizigeren Zielvorgaben zu rechnen sein. Wird keine gesonderte Regelung vorgenommen, gelten die Quoten der zweiten CVD-Periode fort.

1.2.2 Novellierung der CO₂-Flottengrenzwerte durch die EU

Mit der bestehenden Verordnung (EU) 2019/1242 werden erstmals in der EU CO₂-Emissionsstandards für neue schwere Nutzfahrzeuge (zunächst Lastkraftwagen) festgelegt. Im für diesen Bericht maßgeblichen Zeitraum gab es damit keine verbindlichen Flottengrenzwerte für Stadtbusse, die regulativ den Markthochlauf von emissionsfreien Bussen hätten unterstützen können.

In der Verordnung wurde die Europäische Kommission jedoch aufgefordert, die Wirksamkeit der Verordnung im Jahr 2022 im Hinblick auf ihre mögliche Ausweitung auf Busse und andere Arten von schweren Nutzfahrzeugen sowie die Emissionsreduktionsziele für 2035 und 2040 zu bewerten. Im Februar 2023 legte die Europäische Kommission daher einen Legislativvorschlag zur Überarbeitung der Verordnung (EU) 2019/1242 vor. Die vorgeschlagene Überarbeitung weitet den Anwendungsbereich der Verordnung auf Stadtbusse, Reisebusse, Anhänger und andere Arten von Lastkraftwagen aus.

Am 10. April 2024 stimmte das EU-Parlament nun der Verordnung (EU) 2024/1610 zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1242 zu, in der die Ziele für die Reduzierung der CO₂-Emissionen von neuen schweren Nutzfahrzeugen verschärft werden und in die nunmehr auch Busse einbezogen sind. Nach der formellen Verabschiedung durch das Parlament und der Verabschiedung durch den Europäischen Rat ist die Verordnung 20 Tage nach Veröffentlichung im EU-Amtsblatt in Kraft getreten und gilt ab dem 1. Juli 2024 (Europäische Union 2024). Ab dann werden die bisherigen Vorgaben für Fahrzeugbeschaffungen durch öffentliche Auftraggeber (SaubFahrzeugBeschG) und nationale politische Zielsetzungen (Klimaschutzprogramm) durch herstellerseitige Vorgaben verstärkt und weisen einen für alle Akteure klaren Weg bis zur vollständigen Dekarbonisierung des straßengebundenen ÖPNV mit Bussen auf.

So regelt die Verordnung, dass Hersteller von Bussen deren Emissionen im Zeitraum von 2030 bis 2034 um 45 %, im Zeitraum 2035 bis 2039 um 65 % und ab dem Jahr 2040 um 90 % reduzieren müssen. Für das Segment der hier im Fokus stehenden Stadtbusse sind die Vorgaben nochmals strenger. Ab dem Jahr 2030 müssen die Hersteller gemäß Artikel 3d der Verordnung einen Mindestanteil von 90 % emissionsfreier Stadtbusse an ihrer Flotte neuer Stadtbusse einhalten. Ab dem Jahr 2035 gilt ein Mindestanteil von 100 % für neue Stadtbusse. Diese auf die Herstellerseite abzielende Regulierung schafft insofern endgültig Klarheit hinsichtlich der zukünftigen An-

triebsoptionen für Busse und insbesondere auch für das Segment der Stadtbusse.

1.2.3 Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramme der Bundesregierung

Das im Jahr 2019 erstmals verabschiedete und im August 2021 geänderte KSG⁶ verankert das Ziel der Treibhausgasneutralität Deutschlands bis zum Jahr 2045 und sieht bereits bis zum Jahr 2030 eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 65 % gegenüber dem Jahr 1990 vor. Der Verkehrssektor, der im Jahr 2022 rund 148 Mio. t CO₂ emittierte, muss demnach seine Emissionen bis zum Jahr 2030 auf 84 Mio. t CO₂ reduzieren, was mit den in der Vergangenheit beschlossenen Maßnahmen gemäß den bisherigen Projektionsberichten deutlich verfehlt wird.

Mit dem im Jahr 2019 verabschiedeten Klimaschutzprogramm 2030 legte die Bundesregierung dar, welche Maßnahmen sie zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele in den einzelnen Sektoren ergreifen wird. Im enthaltenen Maßnahmenbündel „Attraktivität des ÖPNV erhöhen“ wurde erstmals das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2030 bis zu 50 % der Stadtbusse elektrisch fahren sollen. Für diese Modernisierung von Busflotten wurde eine Verstärkung der Förderaktivitäten angekündigt, unter anderem wurde das Finanzvolumen des hier untersuchten Förderprogramms in der Folge deutlich aufgestockt.

Im Oktober 2023 hat die Bundesregierung das aktuelle Klimaschutzprogramm 2023 beschlossen. Dieses enthält konkrete Maßnahmen, mit denen die Bundesregierung bis zu 80 % der verbleibenden Klimaschutzlücke bis zum Jahr 2030 schließen möchte. Im Sektor Verkehr wird hierbei eine Vielzahl an Maßnahmen definiert, wobei insbesondere zwei Maßnahmen unmittelbare Bedeutung für die Transformation der ÖPNV-Busflotten hin zu emissionsfreien Antrieben und somit für die Beschaffung von Elektrobussen haben.

So bekräftigt das Klimaschutzprogramm 2023 einerseits, dass das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-gesetz so angepasst werden soll, dass ab dem Jahr 2030

im Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe bilanziell nur noch emissionsfreie Fahrzeuge beschafft werden dürfen, wobei explizit Nahverkehrsbusse genannt werden. De facto würde dies einen Ausstieg aus den fossilen Antriebstechnologien für dieses Segment des Busmarktes bedeuten und insofern deutlich über die bisherigen Regelungen der bis über das Jahr 2030 hinaus gültigen CVD hinausgehen. Andererseits soll die bestehende Förderung klimaneutraler Busse einschließlich Infrastrukturen bis zum Jahr 2028 verlängert werden, um die weitere Transformation zu unterstützen. Diese Förderung bezieht sich auf die im Jahr 2021 bekannt gegebene „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV), die sich an das hier betrachtete Förderprogramm des BMU bzw. BMWK anschloss. Aufgrund des Urteils des Bundesverfassungsgerichtes bezüglich des Zweiten Nachtragshaushaltsgesetzes 2021 kam es jedoch zu erheblichen Sparanstrengungen im Klima- und Transformationsfonds. In der Folge hat die Bundesregierung zwischenzeitlich ein vorzeitiges Ende der Förderung für emissionsfreie Busse beschlossen.

1.3 Konkrete Ausgestaltung des Förderprogramms

Förderfähig waren die Beschaffung (Kauf oder Leasing) von batterieelektrischen Bussen (Batteriebusse) sowie der zugehörigen Ladeinfrastruktur. Zudem wurden zunächst auch 40 % der Mehrkosten diesel-elektrischer Hybridbusse mit externer Aufladung (Plug-in-Hybridbusse) gefördert, hierfür bestand jedoch keine Nachfrage.

Antragsberechtigt waren dabei „Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft oder der öffentlichen Hand, deren Aufgabe in der Dienstleistung besteht, Personen im ÖPNV zu transportieren (Verkehrsbetriebe)“.⁷ Anträge von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) wurden ausdrücklich begrüßt. Der Zusammenschluss mehrerer Verkehrsbetriebe zur Umsetzung eines Verbundvorhabens war ebenfalls möglich. Nicht antragsberechtigt waren dagegen Hersteller, deren Zweck der Vertrieb der Fahrzeuge ist, der Bund,

die Bundesländer und die ÖPNV-Aufgabenträger.

Für die Zuwendung der Förderung waren einige Voraussetzungen zu erfüllen. Zum einen mussten mehr als fünf Busse (Neufahrzeuge) beschafft werden. Dies unterschied das vorliegende Förderprogramm maßgeblich von Förderaktivitäten beispielsweise des Verkehrsministeriums. Ziel war es, möglichst ganze Flotten oder Buslinien umzustellen, um einen maßgeblichen Beitrag zum Markthochlauf zu leisten. Zudem mussten diese Fahrzeuge im ÖPNV eingesetzt werden. Weitere Voraussetzungen waren die Sicherstellung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und eine Vorlage der Lieferzusage eines Herstellers. Außerdem musste der Förderbedarf anhand einer nachvollziehbaren Wirtschaftlichkeitsrechnung über die Gesamtnutzungsdauer der Fahrzeuge (TCO-Berechnung) nachgewiesen werden. Anträge, welche die Umstellung von Buslinien oder gesamter Flotten in Gebieten beinhalteten, in denen die zulässigen Grenzwerte für Luftschadstoff überschritten wurden oder erhöhte Verkehrslärmbelastung herrschte, wurden bevorzugt berücksichtigt, um weitere positive Umwelteffekte wie die Senkung der NOx-Emissionen zu erzielen. Anträge, in deren Rahmen Fahrzeuge mit einem effizienten, umweltfreundlichen Betrieb der Nebenaggregate (z. B. Einsatz einer Wärmepumpe statt einer Dieselsatzheizung) beschafft werden sollten, wurden ebenfalls bevorzugt berücksichtigt. Die Antragsteller hatten zu prüfen, ob das beabsichtigte Vorhaben spezifische europäische Komponenten auszuweisen hatte. In diesem Fall wäre eine ausschließliche EU-Förderung möglich. Des Weiteren war zu prüfen, ob ergänzend ein Förderantrag bei der EU gestellt werden kann. Im Förderantrag war das Ergebnis der beiden Prüfungen kurz darzustellen.

Das Antragsverfahren verlief dabei zweistufig. Um einen Förderantrag zu stellen, mussten Interessenten in der ersten Stufe eine aussagefähige Projektskizze einreichen, in der die Voraussetzungen für eine mögliche Förderung nachzuweisen waren. Nach dem Erfüllen der Voraussetzungen und im Fall der Auswahl der Projektskizze erfolgte in der zweiten Stufe die Aufforderung zur Vorlage eines formalen Förderantrags. Für die Projektskizze sollte das Onlinepor-

tal „positron:s“ genutzt werden. In der Projektskizze musste das Projekt durch verschiedene Angaben dargestellt werden. Wenn alle genannten Fördervoraussetzungen gegeben waren, wurden die Projektskizzen in das Bewertungsverfahren einbezogen und nach folgenden Kriterien bewertet:

- Darstellung des Gesamtkonzeptes (insbesondere der prognostizierten Umweltentlastung),
- Gesamtreduktion der Treibhausgasemissionen und Verhältnis zwischen der Höhe der vermiedenen Treibhausgasemissionen und dem Förderbedarf,
- Beitrag zur Einhaltung der Luftqualitätsgrenzwerte und zu Verbesserungen im Hinblick auf die Vorgaben der EU-Umgebungslärmrichtlinie,
- Vorbildwirkung, Übertragbarkeit der Ergebnisse und Sichtbarkeit durch Öffentlichkeitsarbeit und
- bei Verbundvorhaben zudem: Konstellation des Verbundes sowie mögliche Synergieeffekte zwischen den Partnern.

Die Einreichenden der Anträge, die nach der Bewertung ausgewählt wurden, wurden aufgefordert, einen förmlichen Förderantrag zu stellen. Nach abschließender zuwendungsrechtlicher Prüfung erfolgte die Entscheidung über die Gewährung der Zuwendung. Diese Zuwendung wurde als Projektförderung im Wege einer Anteilfinanzierung an die Verkehrsunternehmen ausgereicht. Es handelte sich dabei um einen nicht rückzahlbaren Investitionszuschuss, dessen Bewilligung auf einen Höchstbetrag begrenzt wurde.

1.4 Der Markthochlauf im Fokus der Begleitforschung

Wie nachfolgend gezeigt wird, hat der seit dem Jahr 2018 durch das BMU geförderte Elektrobussen-Markthochlauf eine große Wirkung entfaltet. Die Förderung hat dazu beigetragen, anfängliche technologische Unsicherheiten auszuräumen, einen in-

dustriellen und sektoralen Transformationsprozess anzustoßen und zusammen mit den Verkehrsbetrieben relevante Schritte auf dem Weg zur Dekarbonisierung des ÖPNV zu unternehmen, der durch die CVD inzwischen mittelfristig und die Flottengrenzwerte ab 2030 unausweichlich und mit Blick auf die Klimaziele notwendig ist. Es bedarf jedoch weiterer Anstrengungen, um insbesondere in den Jahren bis 2030 die Dekarbonisierung der Busantriebe im ÖPNV mit der notwendigen Geschwindigkeit weiter voranzutreiben, damit die dargestellten Zielsetzungen erreicht werden. Während dieser weitreichenden Transformation dürfte die ÖPNV-Branche zumindest absehbar auf unterstützende Maßnahmen von staatlicher Seite angewiesen sein, damit keine Konkurrenz von Antriebswende und einem für die Erreichung der Sektorziele ebenfalls notwendigen Erhalt und Ausbau des ÖPNV-Angebots im Sinne einer Verkehrswende mit einhergehender Verkehrsverlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsmittel entsteht.

Während der Laufzeit des Förderprogramms hat sich der deutsche E-Bus-Markt deutlich weiterentwickelt. Der Bestand an emissionsfreien Bussen ist bis Ende des Jahres 2023 deutlich auf 2.640 Fahrzeuge angestiegen und hat sich somit gegenüber dem Jahr 2017 mehr als verfünffach. Allein der aktuelle jährliche Neuzugang an Fahrzeugen (+782 E-Busse im Jahr 2023) übersteigt den Gesamtbestand des Jahres 2017 um ein Mehrfaches (vgl. Kapitel 2.2.4).

Über dieses Förderprogramm wurden in den Jahren 2018 bis 2024 insgesamt 64 Verkehrsunternehmen gefördert, die dadurch 1.489 E-Busse sowie die notwendige Ladeinfrastruktur beschaffen konnten. Mehr als 60 % der Ende 2023 eingesetzten Elektrobusse wurden somit über das hier betrachtete Förderprogramm beschafft.

Das herstellerseitige Fahrzeugangebot an Elektrobussen hat sich ebenso deutlich verbessert, wie der im Rahmen der Begleitforschung erstellte Marktüberblick verdeutlicht (siehe Kapitel 2.2.2). Mittlerweile bietet jeder der etablierten Bushersteller entsprechende Fahrzeugmodelle an und die ÖPNV-

Betreiber können auf Serienprodukte zugreifen, die ein breites Anforderungsspektrum abdecken. Zudem haben einige ÖPNV-Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen bereits den Weg zur Vollumstellung der Busflotten auf ihrem Hoheitsgebiet initiiert. So beschafft beispielsweise die Hamburger Hochbahn seit dem Jahr 2020 nur noch emissionsfreie Fahrzeuge und das Land Berlin hat sich mit dem Berliner Mobilitätsgesetz das Ziel gesetzt, dass ab dem Jahr 2030 der gesamte ÖPNV mit Bussen emissionsfrei erbracht wird.

Die Hintergründe und Details zu dieser Entwicklung der vergangenen Jahre und zu den Effekten, die die hier betrachtete Förderung ausgelöst hat, werden im vorliegenden Bericht umfassend analysiert und dargestellt.

Hierzu wird in Kapitel 2 zunächst der heutige Elektrobusmarkt betrachtet und in Hinblick auf verschiedene Aspekte untersucht. Hierbei erfolgt zunächst eine Strukturierung hinsichtlich der verschiedenen Antriebstechnologien von Bussen (Kapitel 2.1). Darauf aufbauend erfolgt eine umfassende Analyse des Elektrobusmarktes in Deutschland (Kapitel 2.2), die zunächst die Herstellerseite im Rahmen einer Branchenanalyse (Kapitel 2.2.1) und die von den Herstellern angebotene Fahrzeugpalette (Kapitel 2.2.2) vertieft betrachtet. Abgerundet wird diese Analyse durch eine vertiefte Darstellung der Preissituation und -entwicklung für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur (Kapitel 2.2.3).

Anschließend erfolgt ein Perspektivwechsel, der die Nachfrageseite stärker in den Fokus der Betrachtung rückt. Hier erfolgt eine detaillierte quantitative Analyse des heutigen Elektrobusbestandes in Deutschland (Kapitel 2.2.4) sowie der weiteren Beschaffungsplanungen (Kapitel 2.2.5). Ergänzt wird diese quantitative Bestandsaufnahme dann durch einen tieferen Blick in die Praxis anhand von nationalen Umsetzungsbeispielen (Kapitel 2.2.6). Zudem runden sowohl eine Medienanalyse zur öffentlichen Wahrnehmung des E-Bus-Einsatzes (Kapitel 2.2.7) als auch Erkenntnisse von Akteuren, die unmittelbar in die E-Bus-Transformation eingebunden sind (Kapitel 2.2.8), die Marktanalyse ab.

Da die Dekarbonisierung der Busflotten eine globale Herausforderung darstellt, die jedoch auf durchaus unterschiedliche Weise vorangetrieben wird, wird in Kapitel 2.3 ein internationaler Blick auf die Umstellung geworfen und die Situation in Deutschland dadurch eingeordnet. Die fortschreitende Entwicklung zeigt sich dabei auch in technischen Innovationen, beispielsweise in Bezug auf Nebenaggregate oder Ladeinfrastruktur. Diese technische Perspektive steht in Kapitel 2.4 im Vordergrund.

Im Anschluss an die übergeordnete Marktbetrachtung wird in Kapitel 3 ein konkreter Blick auf die im Rahmen der BMWK-Förderung umgesetzten Projekte geworfen und die Förderung anschließend bewertet. Zunächst stehen dabei die in den Förderprojekten gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zum Elektrobuseinsatz im Vordergrund, wobei insbesondere auch die Betriebs- und Verfügbarkeitsdaten ausgewertet werden (Kapitel 3.1). Auf dieser Grundlage erfolgt dann eine Bewertung der BMWK-Förderung in ökologischer und ökonomischer Hinsicht (Kapitel 3.2). Abschließend wird auf Basis der umfassenden Betrachtungen im Rahmen der Begleitforschung in Kapitel 3.3 ein Fazit zur E-Bus-Förderung des BMWK gezogen. Neben ihrer Hebelwirkung und der Bedeutung für den Markthochlauf bei Elektrobussen (Kapitel 3.3.1) werden dabei auch Implikationen hinsichtlich des möglichen weiteren Förderbedarfs und potenzieller weiterer Fördermöglichkeiten des Bundes im Rahmen dieser weitreichenden Sektortransformation diskutiert (Kapitel 3.3.2).

Abgerundet wird die Begleitforschung mit einer Einordnung der im Rahmen dieser Förderung gewonnenen Erkenntnisse aus einer transformatorischen Perspektive (Kapitel 4). So wird das proaktive staatliche Handeln im Rahmen der Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr als Modell für eine vorausschauende umwelt-, klima- und industriepolitische Sektortransformation auch für zukünftige Herausforderungen gewürdigt.

2. Der Elektrobusmarkt – Status Quo und zukünftige Entwicklung

Das folgende Kapitel bietet einen umfassenden Überblick über die dynamische Entwicklung des Elektrobusmarktes während der Laufzeit des betrachteten Förderprogramms. Es beginnt mit einer Systematisierung der Begriffe Elektrobus und Ladeinfrastruktur. Anschließend wird die Branchenanalyse präsentiert, in der die deutsche Nutzfahrzeugindustrie und die Wertschöpfungsketten für Busse mit alternativem Antrieb erläutert werden. Es wird auch das verfügbare Angebot an alternativ angetriebenen Fahrzeugen in Europa dargestellt und vertieft analysiert, unter anderem mit Analysen zum Zusammenhang zwischen Busgröße und Antriebstechnologie. Der Abschnitt schließt mit einer Analyse der Entwicklung im Zeitverlauf ab.

Nach der Vorstellung des Angebots werden die Anschaffungspreise für Batteriebusse und die dazugehörige Ladeinfrastruktur analysiert. Dabei werden reale Preisinformationen aus geförderten Projekten verwendet, um einen praxisnahen Einblick zu bieten. Anschließend wird die umfassende Entwicklung des Bestands an alternativ angetriebenen Bussen in Deutschland dargestellt und analysiert, einschließlich Analysen zur räumlichen Verteilung der Fahrzeuge. Es erfolgt auch eine Einordnung der Bestandsentwicklung von Batteriebussen und Brennstoffzellenbussen. Der Abschnitt schließt mit einer vertieften Interpretation der Bestände anhand von Thesen und der Darstellung der bekannten Beschaffungsplanungen bis zum Jahr 2030.

Um einen umfassenden Blick auf den Elektrobusmarkt zu ermöglichen, wird anschließend die öffent-

liche Wahrnehmung des Elektrobuseinsatzes analysiert, sowohl in der Tages- als auch in der Fachpresse. Es werden sowohl statische Momentaufnahmen als auch Entwicklungen im Zeitverlauf betrachtet. Darüber hinaus wird die Wahrnehmung von Akteuren innerhalb der Branche, wie Fahrzeugherstellern und Verkehrsunternehmen, untersucht, wofür strukturierte Interviews durchgeführt wurden.

Nach dieser intensiven Untersuchung des deutschen Elektrobusmarktes wird der Fokus auf internationale Märkte gelegt. Dazu wird zunächst ein Überblick über die Bestandszahlen in Europa sowie ausgewählten asiatischen, nord- und südamerikanischen Staaten sowie Australien gegeben. Zu weiteren ausgewählten Ländern werden anschließend in Form von Steckbriefen die wesentlichen Informationen zum jeweiligen Elektrobusmarkt präsentiert.

Abgerundet wird der Überblick über den Elektrobusmarkt durch eine Darstellung der technischen Entwicklung von Fahrzeugen und Infrastruktur. Es werden unter anderem Einblicke in die Ladetechnologien, Batterietechnologien und die Entwicklung der Nebenaggregate der Fahrzeuge (bspw. Heizung und Klimatisierung) geboten. Zudem werden die Technologien für Ladeinfrastruktur vorgestellt und typische Marktteilnehmer in Deutschland benannt. Abschließend werden die Ergebnisse kritisch gewürdigt und ein Ausblick wird vorgestellt.

Insgesamt bietet dieses Kapitel einen umfassenden Überblick über verschiedene Facetten des Elektrobusmarktes in Deutschland und weiteren Ländern in den vergangenen Jahren.

2.1 Einführende Systematisierung von Elektrobussen und Ladeinfrastruktur

Grundsätzlich lassen sich verschiedene elektrifizierte Antriebstechnologien für Busse unterscheiden. Abbildung 3 zeigt, dass es grundsätzlich vier Oberkategorien gibt, in die sich Elektrobusse einordnen lassen.

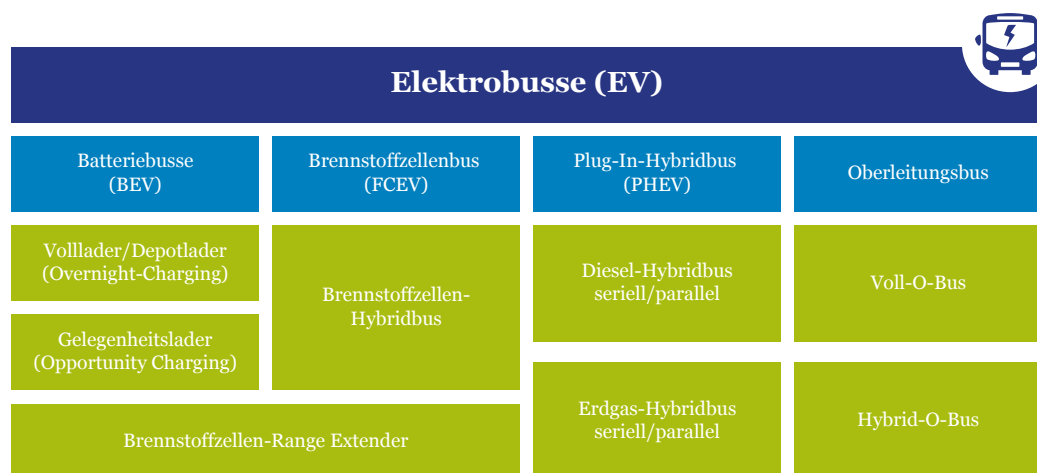


Abbildung 3: Überblick über Elektrobuss-Systeme

Batteriebusse beziehen ihre Antriebsenergie ausschließlich aus der integrierten Traktionsbatterie. Sie werden zusätzlich in sogenannte Depot- bzw. Voll-lader (englisch auch „Depot Charging“) und Gelegenheitslader (auch Unterwegslader, englisch „Opportunity Charging“) unterschieden. Die unterschiedlichen Lade-strategien werden im Kapitel 2.4.3 tiefergehend erläutert. Wesentlich für ihre Unterscheidung ist die gewählte Lade-strategie und die damit verbundene Größe der im Fahrzeug verbauten Batterie. Bei Depotladern wird angestrebt, dass die Fahrzeuge ihre tägliche Fahrleistung mit einer vollständig aufgeladenen Batterie absolvieren können. Das Aufladen der Batterie findet daher typischerweise ausschließlich im Depot statt, weswegen die Batterie entsprechend groß zu dimensionieren ist. Gelegenheitslader werden hingegen nicht ausschließlich im Depot geladen, sondern werden auch im weiteren Tagesverlauf bei entsprechenden Gelegenheiten (insbesondere War-

te- und Wendezeiten an [End-]Haltestellen) zwischen-geladen. Aufgrund der Zwischenladungen ist es möglich, eine im Vergleich zu Depotladern kleinere Batterie einzusetzen.

Brennstoffzellenbusse sind ebenfalls mit einem Elektromotor ausgestattet, jedoch beziehen sie ihre Energie aus Wasserstoff, der im Fahrzeug zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Diese Art von Elektrobussen lässt sich anhand des Anteils der Energiegewinnung aus der Brennstoffzelle für die Fahrenergie in zwei weitere Unterarten unterscheiden. Die eine Untergruppe bilden die eigentlichen Brennstoffzellen-Hybridbusse. In diesen Fahrzeugen sind eine Brennstoffzelle zur hauptsächlichen Erzeugung der Traktionsenergie und zusätzlich eine Batterie zur Energiezwischenspeicherung mit relativ geringer Speicherkapazität verbaut, die primär durch die Brennstoffzelle gespeist wird, aber auch

häufig über eine externe Stromzuführung verfügt. In Bussen mit Brennstoffzellen-Range-Extendern nimmt die Brennstoffzelle im Gegensatz dazu eine eher untergeordnete Rolle neben der größer dimensionierten Batterie ein. Bei diesen Fahrzeugen dient die Brennstoffzelle lediglich dazu, die Reichweite des Fahrzeugs, das seine Fahrenergie hauptsächlich aus der Traktionsbatterie erhält, zu erhöhen, indem mittels Brennstoffzelle weitere Energie erzeugt wird.

Plug-in-Hybridbusse beziehen ihre Antriebsenergie hingegen sowohl aus einer Traktionsbatterie als auch aus einem Verbrennungsmotor.

Oberleitungsbusse (synonym wird auch der Begriff Trolleybus verwendet) sind ein seit vielen Jahrzehnten verwendetes System, bei dem die Fahrzeuge ihre Energie während der Fahrt aus einer Oberleitung beziehen. Auch Oberleitungsbusse können zusätzlich mit einer Batterie ausgestattet sein (Hybrid-O-Bus),

sodass auch kurze Strecken ohne Oberleitung zurückgelegt werden können. Die Nachladung der Batterie kann dabei während der Fahrt unter der Oberleitung erfolgen.

Die für Elektrobusse relevanten Ladetechnologien lassen sich prinzipiell nach der Art der Energiezuführung in konduktiv und induktiv gliedern. Während bei der konduktiven Energiezuführung zwischen den elektrischen Schnittstellen eine metallische und physische Verbindung besteht, erfolgt die induktive Stromübertragung kontaktlos über ein elektromagnetisches Feld. Bei der konduktiven Ladung kann zwischen dynamischer und stationärer Ladung unterschieden werden. Bei der stationären Ladung kommen sowohl Dockingsysteme als auch Plug-in-Systeme zum Einsatz. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die verschiedenen Ladetechnologien.

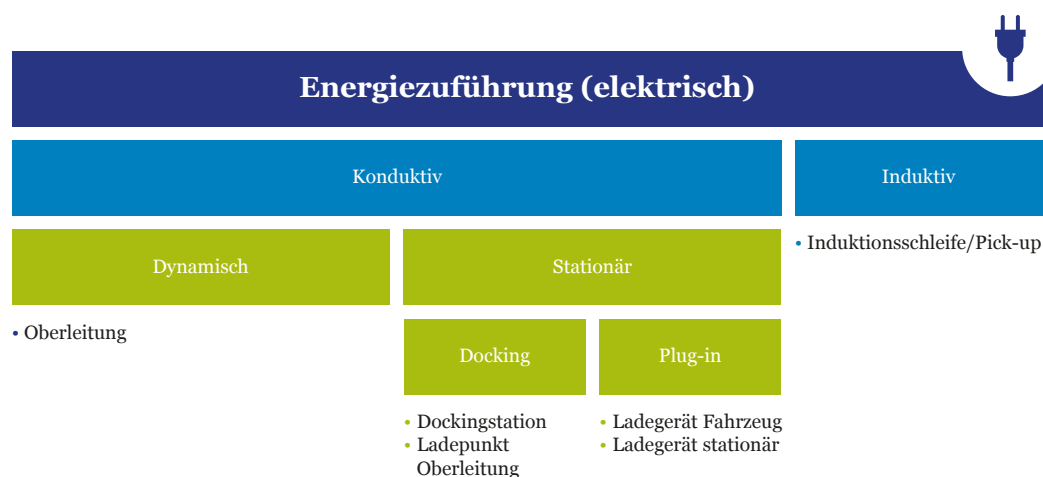


Abbildung 4: Überblick über Ladetechnologien

Je nach Einsatzzweck werden im straßengebundenen ÖPNV mit Bussen unterschiedliche Bauarten (auch Gefäßgrößen genannt) eingesetzt, die sich hinsichtlich

ihrer Fahrzeuglänge und damit auch der Beförderungskapazität unterscheiden. Im Rahmen der Begleitforschung wird zwischen folgenden Bauarten differenziert:

Omnibus-Bauarten
▪ Kleinbus < 6 m
▪ Minibus 6,0 – 8,0 m
▪ Midibus 8,0 – 10,6 m
▪ Solobus 10,6 – 13,5 m
▪ Doppeldeckerbus 10,0 – 11,0 m
▪ Solo-3-Achsen 13,5 – 15,0 m
▪ Gelenkbus 17,5 – 19,0 m
▪ Doppelgelenkbus 21,0 – 26,2 m

Tabelle 1: Differenzierung der Bauarten von Omnibussen hinsichtlich der Fahrzeuglänge

Die am häufigsten im deutschen ÖPNV mit Stadtbussen eingesetzten Gefäßgrößen sind dabei die Solo- und Gelenkbusse.

2.2 Der Elektrobustmarkt in Deutschland

Nachdem die begrifflichen Grundlagen zu Elektrobussen und der Ladeinfrastruktur definiert wurden, folgen in den nächsten Abschnitten die umfassenden Darstellungen zum Elektrobustmarkt in Deutschland. Diese präsentieren die Branchenanalyse, das Fahrzeugangebot, die preisliche Entwicklung von Fahrzeugen und Infrastruktur, die Analyse der Fahrzeugbestände im Ist sowie weitere Planungen und die Wahrnehmung von Elektrobussen in der allgemeinen Öffentlichkeit sowie in der Branche.

2.2.1 Die Fahrzeugindustrie in der Branchenanalyse

Der Busmarkt hatte im Jahr 2015 allein in Deutschland ein Volumen von ca. 1,4 Mrd. €.⁸ Zudem ist Deutschland Hauptsitz von Daimler Buses als 100%iges Tochterunternehmen von Daimler Truck (vormals EvoBus, Vertrieb unter der Marke Mercedes-Benz) und MAN, die zu den weltweit führenden und größten Buserstellern gehören. Gleichzeitig platzieren sich mit Unternehmen wie BYD oder Ebusco auch neue Hersteller, die auf die Produktion von Elektrobussen spezialisiert sind, auf dem Markt. Vor diesem Hintergrund wird eine Analyse der Branche vorgenommen, um zu beobachten, wie die Industrie auf den Antriebswechsel reagiert und welche Rolle die inländische Nachfrage nach Elektrobussen (unter anderem durch das Förderprogramm) auf die Branche hat. Dies geschieht in drei Schritten.

In einem ersten Schritt werden Kennzahlen der deutschen Nutzkraftwagenbranche (WZ 29.10.2⁹ nach

der Klassifikation der Wirtschaftszweige) aufbereitet. Diese Unterklasse umfasst die Herstellung von Nutzkraftwagen und die Herstellung von sonstigen Kraftwagen. Eine Beschränkung auf die Nutzkraftwagenbranche insgesamt ist dabei den Grenzen der Statistik geschuldet, die eine tiefergehende Analyse nicht zulässt. Neben dem Umsatz stehen vor allem Kenngrößen wie Exportquoten oder die Betrachtung der Wertschöpfungsketten im Vordergrund.

Im zweiten Schritt werden anhand einer Literaturrecherche die Schlüsselunternehmen der Elektrobustproduktion in Deutschland und Europa anhand von Kennzahlen wie Produktionsstandorten, Mitarbeitern und Umsätzen identifiziert und aufbereitet.

2.2.1.1 Die deutsche Nutzfahrzeugindustrie im Überblick

Umsatzentwicklung

Die Umsatzentwicklung im deutschen Nutzfahrzeugbau weist von 2012 bis 2019 einen positiven Trend auf (siehe Abbildung 5). Im Jahr 2020 ist ein Umsatzrückgang um 4,4 Mrd. € beziehungsweise von knapp 17 % zu verzeichnen, der auf die Covid-19-Pandemie zurückzuführen ist. Die Umsatzsteigerung zwischen 2010 und 2019 liegt bei rund 35 % beziehungsweise zwischen 2010 und 2020 aufgrund des erwähnten Rückgangs bei knapp 13 %. In den Jahren 2021 und 2022 nahm die Umsatzentwicklung wieder leicht zu, bewegt sich aber noch nicht auf dem Niveau von vor der Covid-19-Pandemie.

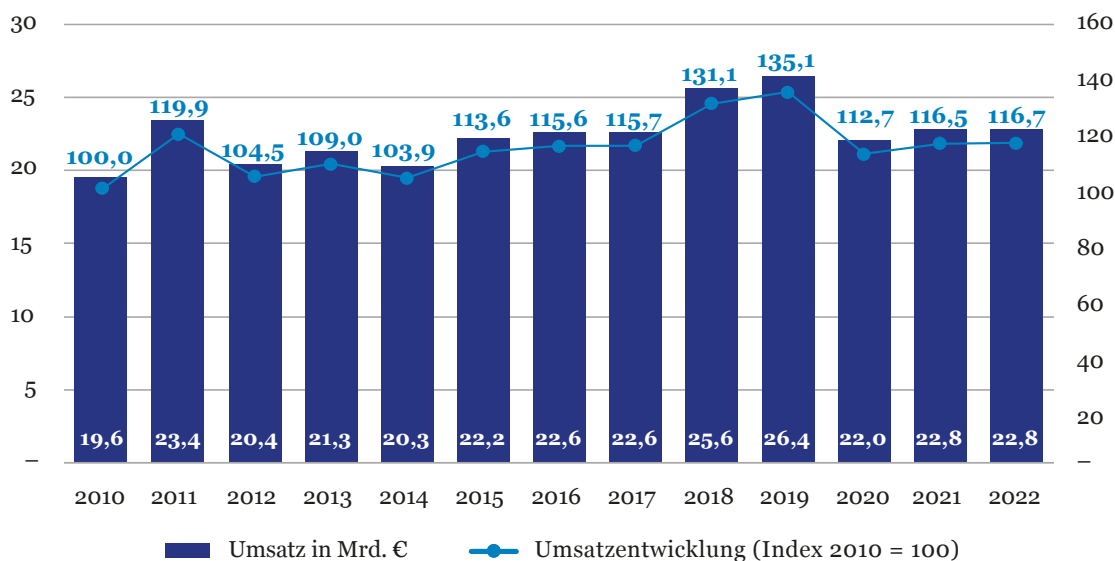


Abbildung 5: Umsatzentwicklung Nutzkraftwagenbranche in Deutschland 2010–2022 (Quelle: Destatis, 2023)

Bedeutung des deutschen und europäischen Marktes

Seit 2010 konnten sowohl der Inlands- als auch der Auslandsumsatz der deutschen Nutzfahrzeugbranche zulegen. Dabei stieg zwischen 2010 und 2019 der Auslandsumsatz mit 42,1 % stärker als der Inlandsumsatz mit 22,7 %. Damit stieg im gleichen Zeitraum

auch die im Branchenvergleich bereits überdurchschnittlich hohe Exportquote um 3,5 Prozentpunkte, trotz eines deutlichen Rückgangs im Jahr 2012. Die Jahre 2021 und 2022 sind von einer Abnahme des Inlandumsatzes und einer Zunahme des Auslandsumsatzes geprägt. Die Exportquote liegt im Jahr 2022 bei etwa 70 % (siehe Abbildung 6).

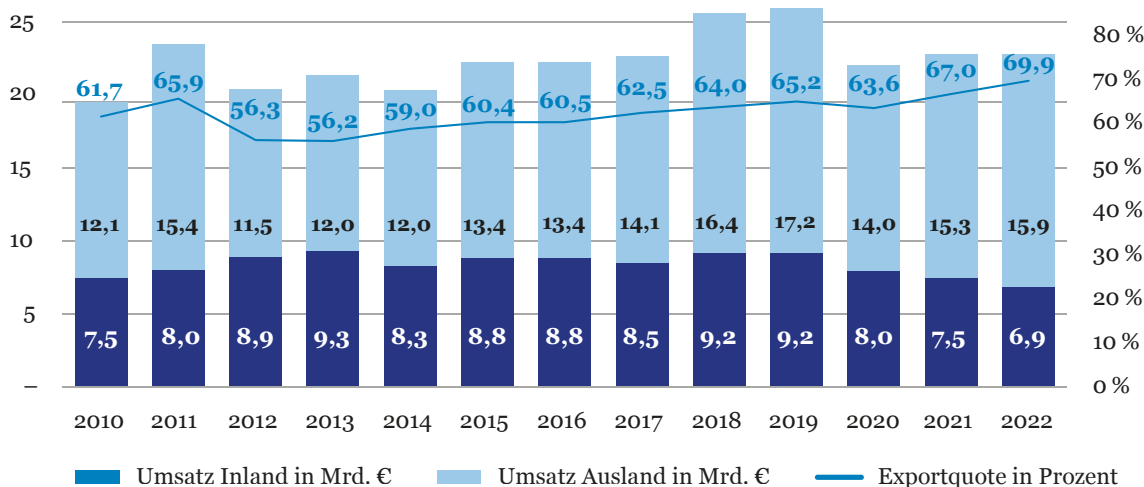


Abbildung 6: Umsatzentwicklung Nutzkraftwagenbranche in Deutschland im In- und Ausland 2010–2022 (Quelle: Destatis, 2023)

Dieser Rückgang der Exportquote im Jahr 2012 ist wahrscheinlich vor allem auf den deutlichen Rückgang des Umsatzes in der Eurozone von nahezu 50 % gegenüber 2011 zurückzuführen (siehe Abbildung 7). Eine mögliche Erklärung dafür sind Werksöffnungen im europäischen Ausland, die zu einer Verlagerung der Umsätze aus Deutschland geführt haben.¹⁰ Seit 2012

zeigt sich hingegen wieder eine graduelle Zunahme der Bedeutung des europäischen Marktes für die deutsche Nutzfahrzeugbranche, der 2020 für rund ein Viertel der Gesamtumsätze sorgte. Insgesamt werden damit etwa zwei Drittel des Auslandsumsatzes in der Eurozone erwirtschaftet.

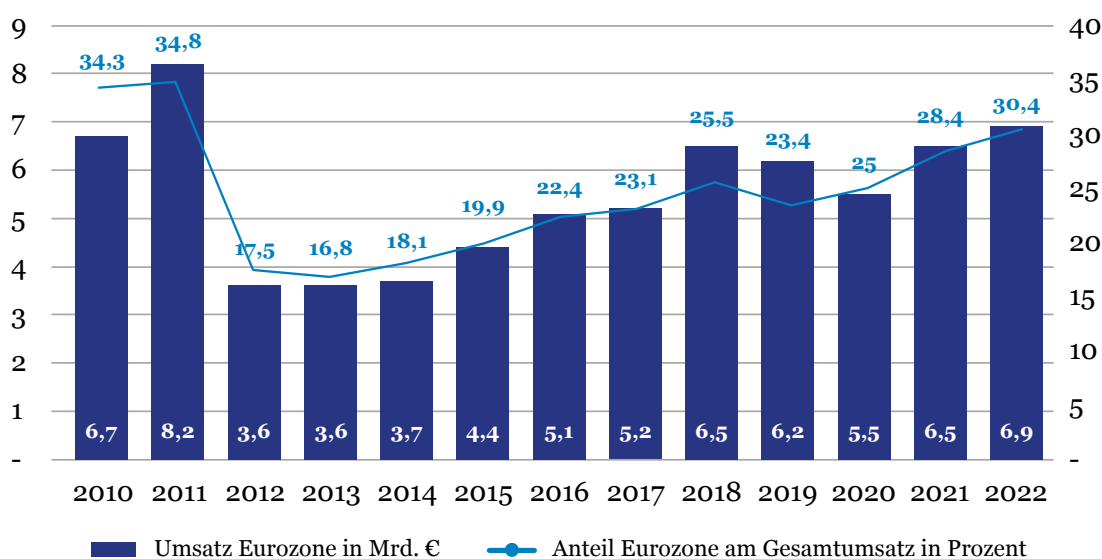


Abbildung 7: Bedeutung der Eurozone für den Umsatz der Nutzkraftwagenbranche in Deutschland 2010–2022 (Quelle: Destatis, 2023)

Bei einer unternehmensspezifischen Betrachtung lassen sich Unterschiede in den Firmenstrategien erkennen. Während beispielsweise Daimler Buses im Jahr 2022 rund 70 % des Gesamtumsatzes in Europa erwirtschaftet, setzt die TRATON GROUP im gleichen Jahr etwa 46 % in Europa um.^{11,12} Daimler Buses weist damit eine deutliche Europa-Fokussierung auf, wäh-

rend die TRATON GROUP hingegen exportorientierter auf dem Weltmarkt agiert. So setzt die TRATON GROUP in Amerika etwa 42 % und in sonstigen Regionen, darunter auch Asien, etwa 12 % um. Zur TRATON GROUP gehören Scania, MAN, Navistar und VW Truck & Bus.

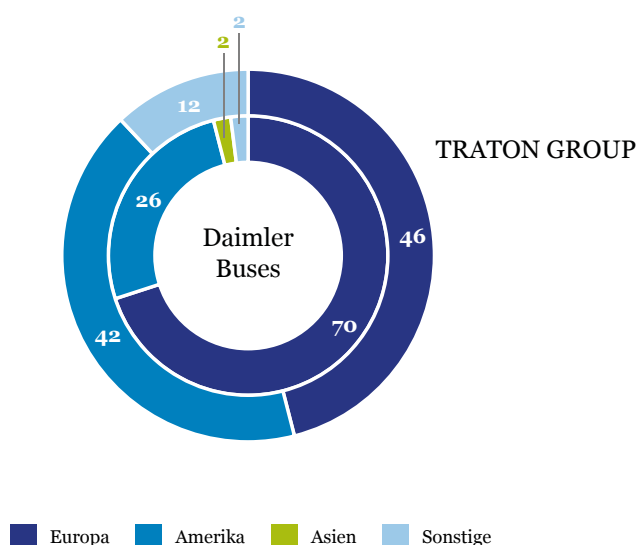


Abbildung 8: Anteile der Weltregionen an den Umsätzen der deutschen Busersteller TRATON GROUP und Daimler Buses (Quelle: Eigene Darstellung nach Geschäftsberichten TRATON GROUP und Daimler 2022)

Produktion von Elektrobussen

Im November 2023 existierten 72 Produktionsstandorte von Buserstellern in Europa. Davon entfallen 57, also etwa 80 %, auf die EU. Zu den Ländern mit den meisten Produktionsstandorten zählen Frankreich mit elf Standorten, Polen mit sieben Standorten,

die Niederlande mit sechs Standorten sowie Deutschland mit fünf Standorten. Unter den Herstellern mit Elektrobussen im Portfolio verfügt Scania mit acht Produktionsstandorten über die meisten Standorte in Europa, gefolgt von Daimler Buses mit fünf und MAN Truck & Bus mit vier Standorten.



Abbildung 9: Europaweite Verteilung von Produktionsstandorten der Elektrobushersteller (Quelle: Eigene Darstellung nach ACEA, 2023 und auf Basis von Unternehmensveröffentlichungen)

In Deutschland finden sich derzeit Produktionsstandorte von vier Herstellern. Daimler Buses besitzt Produktionsstandorte in Mannheim und Neu-Ulm. AEQUITA erwarb Ende 2021 das Minibusgeschäft von Daimler Buses und produziert somit nun in Dortmund. MAN Truck & Bus produziert in Salzgitter und Nürnberg. Zudem hat der Hersteller Eurabus seinen

Hauptsitz in Berlin, stellt aber derzeit keine Busse in Deutschland her. Die deutschen Hersteller begannen zwischen 2018 und 2019 damit, die Produktpalette der Busse zu elektrifizieren. Seit September 2021 wird der Markthochlauf von alternativ angetriebenen Bussen durch das BMDV gefördert.

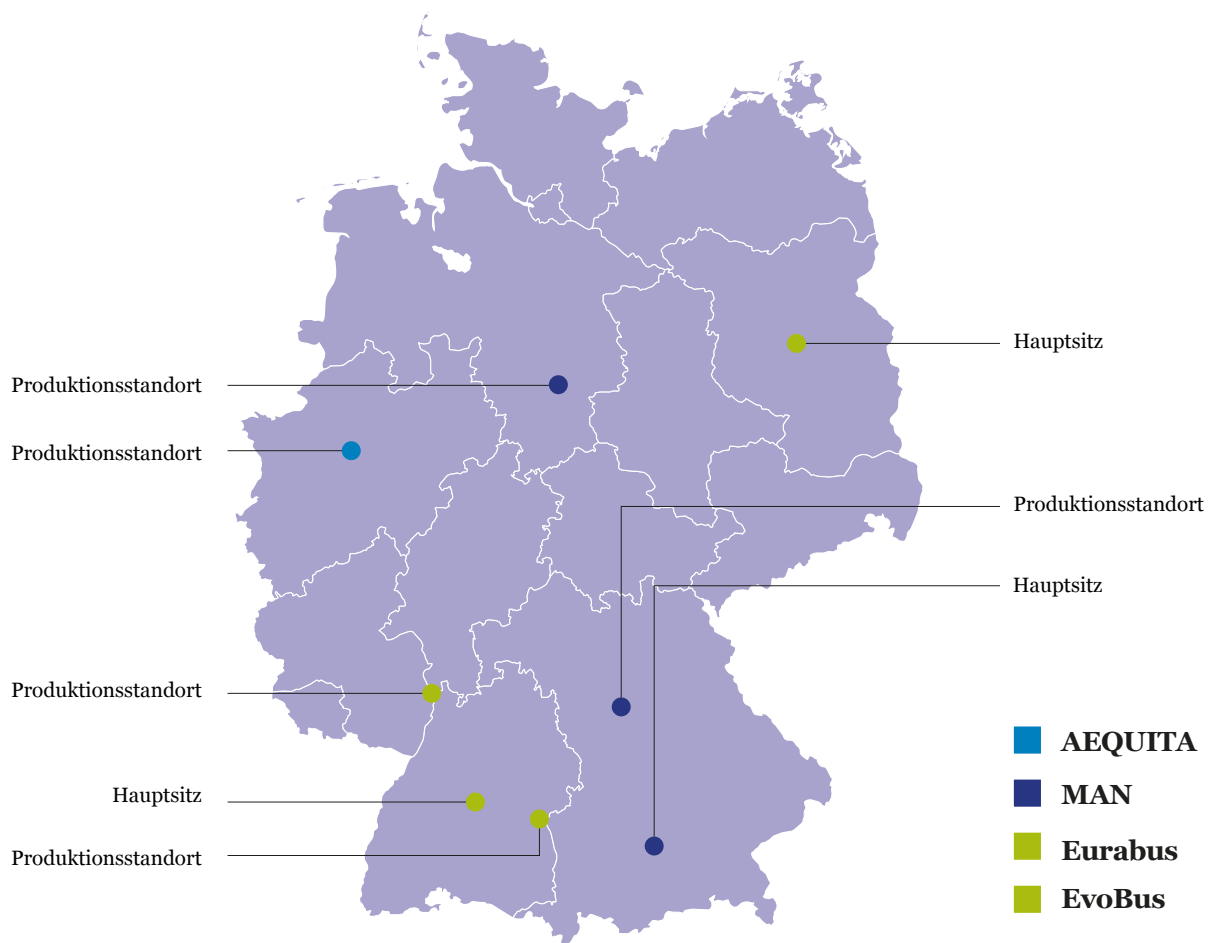


Abbildung 10: Hauptsitze und Produktionsstandorte deutscher Elektrobushersteller
(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Unternehmensveröffentlichungen)

Im Anhang (Kapitel 5.2) finden sich Steckbriefe mit den wichtigsten Kennzahlen zu den sieben weiteren relevanten Elektrobusherstellern mit Firmensitz im Ausland (Alexander Dennis, BYD, Daimler Buses, MAN Truck & Bus, Scania, Solaris und VDL Bus & Coach).

Zulieferer und Produktion von Komponenten

Am Beispiel des niederländischen Elektrobusherstellers Ebusco wird deutlich, dass der Markt auf der Zuliefererseite stark diversifiziert ist und von den unterschiedlichsten Unternehmen bedient wird, die auch Komponenten für konventionelle Busse herstellen

(siehe Abbildung 11).¹³ Darüber hinaus sind im Bereich der batterieelektrischen Systeme und Batteriezellen auch Unternehmen wie Akasol, InnoBat, LG Energy Solutions (LGES), Northvolt oder Panasonic vertreten. In Deutschland sind Stand Juni 2022 durch 12 Hersteller Batteriewerke geplant.¹⁴ Diese sollen im Jahr 2030 eine Gesamtkapazität von etwa 400 GWh haben. In Europa sind Standorte mit einer Gesamtkapazität zwischen 1,3 TWh und 1,5 TWh geplant.¹⁴

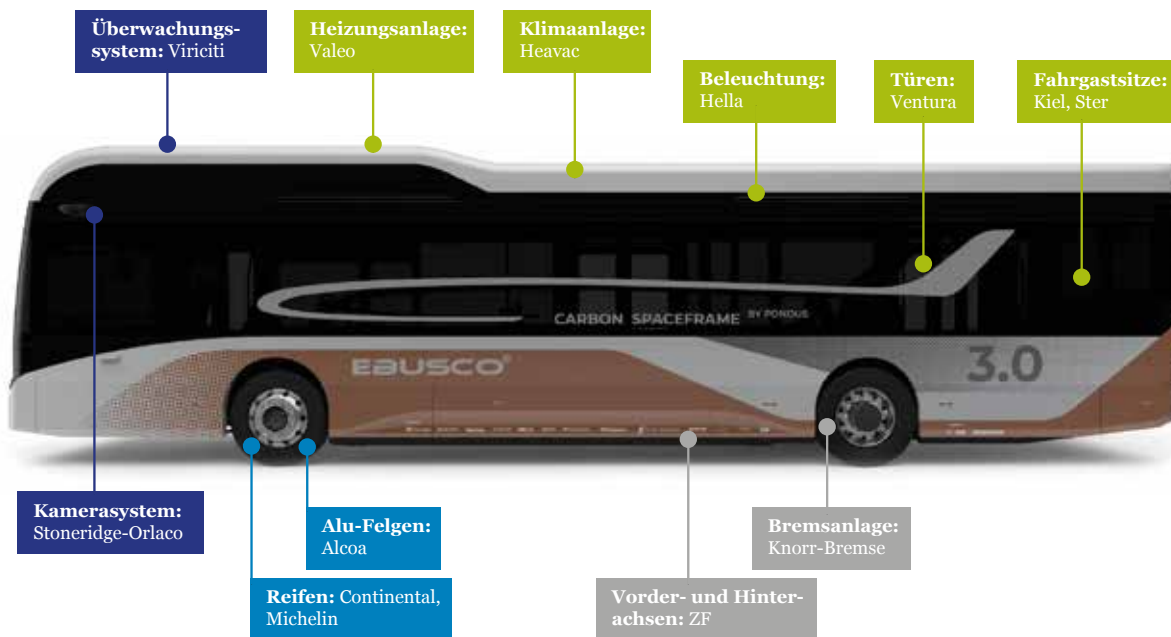


Abbildung 11: Beispielhafte Darstellung ausgewählter Zulieferer des Elektrobuss-Unternehmens Ebusco (Quelle: Eigene Darstellung nach Ebusco, 2021)

Aufseiten der Ladeinfrastruktur existieren ebenfalls verschiedene Hersteller. Von diesen stellen derzeit ABB, SBRS und Siemens auch einzelne Komponenten in Deutschland her bzw. beziehen diese bei deutschen Lieferanten.

Vorleistungsbeziehungen und Wertschöpfungskette

Die Vorleistungsbeziehungen in der Nutzfahrzeugwirtschaft werden durch eine klassische Zulieferpyramide geprägt: Kraftwagenteile von vorgelagerten Zulieferbetrieben (Tier 1–3) stehen allein für den

Großteil der Vorleistungen (siehe Abbildung 12). Grund- und Rohstoffe (Metalle, Chemie, Gummi und Kunststoff) werden von den OEM größtenteils indirekt über Zulieferer bezogen, teilweise aber auch direkt von den Produzenten. Die Wertschöpfungskette von Batterien umfasst vor allem die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen, wie z. B. Lithium, Nickel und Kobalt. Darüber hinaus müssen auch die Batteriezellenproduktion und die Batterieintegration in die Busse betrachtet werden. Der Anteil der Vorleistungen für diese drei Bereiche kann erheblichen Einfluss auf die Kosten für Elektrobusse haben.

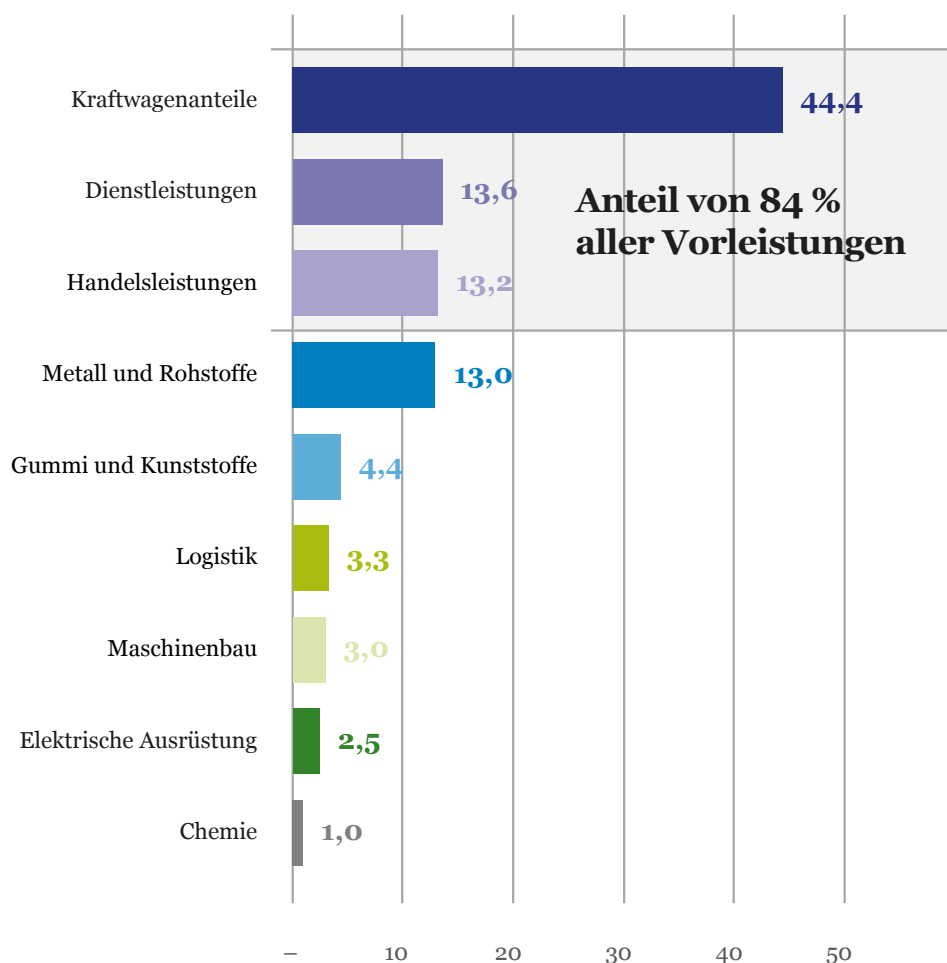


Abbildung 12: Anteil der Vorleistungen anderer Branchen an der Herstellung von Kraftwagen in Prozent der Bruttowertschöpfung Deutschland 2022 (Quelle: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 2023)

2.2.1.2 Interpretation der Ergebnisse und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bus- und Nutzfahrzeugindustrie eine hohe Dynamik in den letzten Jahren aufweisen konnte. Im Zuge der Covid-19-Pandemie gab es jedoch auch für diesen Sektor leichte Rückschläge. Dennoch behält der Wirtschaftsbereich seine im Branchenvergleich hohe Exportquote auch im Krisenjahr 2020 bei und bleibt somit vergleichsweise stabil. In den Jahren 2021 und 2022 nahm die Exportquote noch mal zu und liegt im Jahr 2022 nun bei fast 70 %.

Die Produktion von Elektrobussen ist über ganz Europa verteilt, wobei Deutschland mit derzeit fünf Produktionsstandorten von vier Herstellern eine führende Rolle zusammen mit Frankreich, Polen und den Niederlanden einnimmt. Die Zuliefererindustrie ist stark diversifiziert und auch Komponenten für batterieelektrische Systeme, Batterien und die notwendige Ladeinfrastruktur werden teilweise in Deutschland hergestellt. Mit der Umsetzung der CVD-Richtlinie im Jahr 2021 müssen in Deutschland mindestens 45 % der neu zugelassenen Busse emissionsarm oder emissionsfrei sein. Diese Vorgabe lässt sich auch in

der Produktionsstrategie deutscher Hersteller erkennen, die zunehmend auf Elektrobusse setzen.

Während sich das Wachstum an neu registrierten Elektrobussen von 2019 auf 2020 zunächst stabilisierte, lassen sich von 2020 auf 2021 sowie von 2021 auf 2022 wieder enorme Wachstumsraten beobachten. So liegt die Anzahl an neu registrierten Elektrobussen im Jahr 2022 bei etwa 3.500. Elektrisch aufladbare sowie hybrid angetriebene Busse verzeichnen im Jahr 2021 in der EU ein starkes Marktwachstum. In der EU waren im Jahr 2022 12,7 % der neu zugelassenen Busse elektrisch. Im Elektrobusmarkt existiert weiterhin eine Vielzahl an Herstellern. Außerdem reduzieren sich die Neuregistrierungen an Dieselbussen jährlich seit 2018. Das bisherige Marktsegment schrumpft somit kontinuierlich und der Elektrobusmarkt wird zunehmend bedeutsamer.

2.2.2 Das Fahrzeugangebot – Überblick und Entwicklung

Die Analyse der Angebotsseite des deutschen und europäischen E-Bus-Marktes ist ein wesentlicher Bestandteil der ganzheitlichen Marktanalyse und beantwortet die Frage nach der Verfügbarkeit von geeigneten emissionsfreien Fahrzeugen für die ÖPNV-Betreiber. Ein adäquates Fahrzeugangebot mit ausgereiften Produkten ist eine wesentliche Grundlage für die erfolgreiche Dekarbonisierung der Busflotten. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick der heute verfügbaren Elektrobustypen (Stand der Analyse zum Stichtag 31. Dezember 2023), für die zudem wesentliche fahrzeugseitige Charakteristika ausgewertet und dargestellt werden. Neben der reinen tabellarischen Dokumentation der Arbeitsergebnisse

(siehe Anhang) wurden vertiefende Auswertungen und Analysen auf Grundlage der erfassten Informationen durchgeführt. Ein einordnender Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit den zwischenzeitlichen Daten- und Auswertungsständen der Jahre 2020 und 2021 (keine Erhebung im Jahr 2022) erfolgt schließlich zum Abschluss dieses Kapitels. Nähere Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Erfassung der angebotenen Fahrzeugmodelle finden sich im Anhang in Kapitel 5.6.2.

Insgesamt wurden 342 verschiedene Fahrzeugmodelle von 62 Herstellern erfasst. Da jedoch nicht zu allen Fahrzeugmodellen vollständige Informationen öffentlich verfügbar sind, ist die Summe der ausgewerteten Fahrzeugmodelle in einzelnen Auswertungen geringer. Die Differenz zur Gesamtanzahl von 342 Fahrzeugmodellen ergibt die Anzahl der Fahrzeugmodelle, für die die jeweilige Information nicht verfügbar war.

2.2.2.1 Überblick über das Fahrzeugangebot nach technischen Eigenschaften

Zunächst lässt sich das aktuell verfügbare Fahrzeugangebot nach der Bauart unterscheiden. Bei den meisten angebotenen Fahrzeugmodellen handelt es sich um Solobusse (157), gefolgt von Gelenkbussen (66) und Midibussen (55). In den Bauarten Minibusse, Doppeldeckerbusse, Kleinbusse, Doppelgelenkbusse und Solo-3-Achs-Busse sind jeweils weniger als 20 Fahrzeugmodelle verfügbar. Das Angebot konzentriert sich somit auf die im ÖPNV aktuell am weitesten verbreiteten Bauarten, was insbesondere vor dem Hintergrund der Förderziele einer Stimulierung des Markthochlaufes positiv zu bewerten ist.

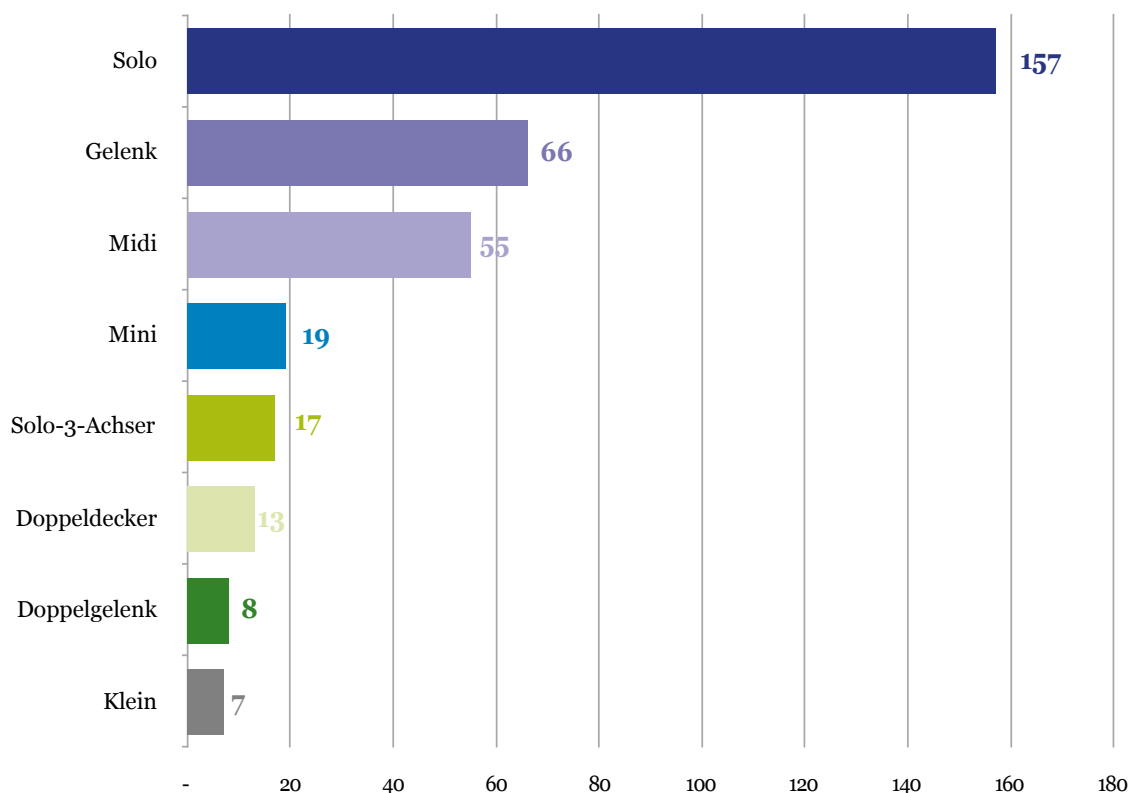


Abbildung 13: Verteilung der Fahrzeugmodelle nach Bauart (n=342)

Die Auswertung der angebotenen Fahrzeuge nach ihrer Antriebsart zeigt, dass batterieelektrische Fahrzeugmodelle mit einem Anteil von 82 % mit deutlichem Abstand die größte Gruppe unter den angebotenen Bussen sind. Oberleitungsbusse repräsentieren die zweitgrößte Gruppe (39 Modelle, davon 32 als

O-Bus-Hybrid), gefolgt von Diesel-Plug-in-Hybridbussen (34 Modelle). Lediglich 26 Fahrzeugmodelle verfügen dagegen derzeit über einen Brennstoffzellenantrieb, die Angebotsvielfalt ist hier aktuell recht eingeschränkt.

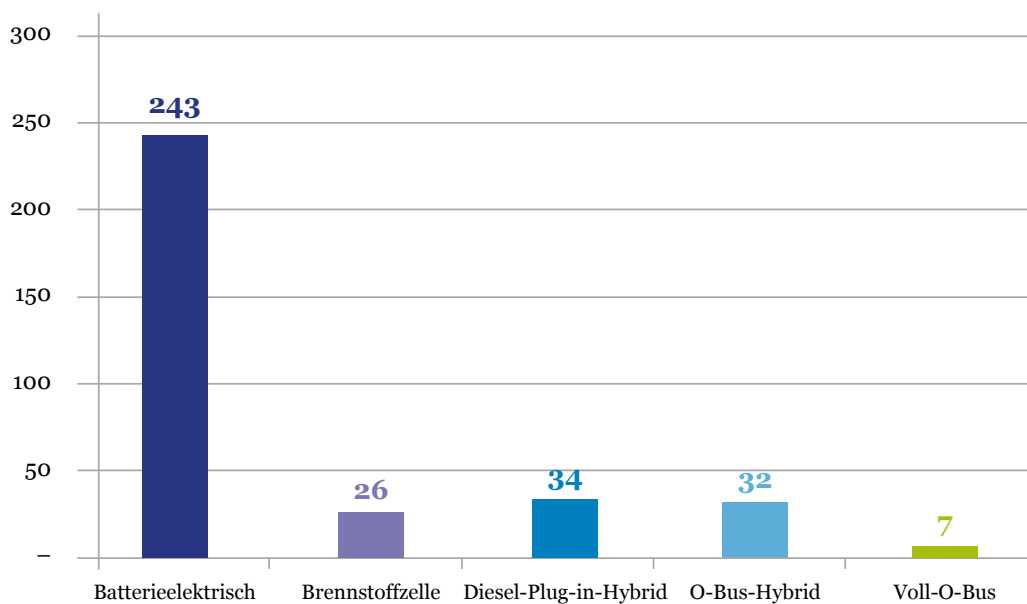


Abbildung 14: Verteilung der Fahrzeugmodelle nach Antriebsart (n=342)

Neben der isolierten Betrachtung einzelner Merkmale wurde zudem auch die Kombination gewisser Merkmale analysiert, um zu ermitteln, ob Abhängig-

keiten zwischen diesen Merkmalen bestehen, beispielsweise zwischen der Bauart eines Fahrzeugs und der Antriebstechnologie.

	Batterie-elektrisch	Brennstoff-zelle	Diesel-Plug-in-hybrid	Voll-O-Bus	O-Bus-Hybrid	Summe
Doppeldecker	10	3	0	0	0	13
Doppelgelenk	2	1	0	5	0	8
Gelenk	42	4	4	14	2	66
Solo-3-Achser	6	1	10	0	0	17
Solo	104	15	20	13	5	157
Midi	53	2	0	0	0	55
Mini	19	0	0	0	0	19
Klein	7	0	0	0	0	7
Summe	243	26	34	32	7	342

Tabelle 2: Kombination von Bauart und Antriebsart, absolut (n=342)

	Batterie- elektrisch	Brennstoff- zelle	Diesel-Plug- in-Hybrid	Voll-O-Bus	O-Bus- Hybrid	Summe
Doppeldecker	76,9 %	23,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Doppelgelenk	25,0 %	12,5 %	0,0 %	62,5 %	0,0 %	100,0 %
Gelenk	63,6 %	6,1 %	6,1 %	21,2 %	3,0 %	100,0 %
Solo-3-Achser	35,3 %	5,9 %	58,8 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Solo	66,2 %	9,6 %	12,7 %	8,3 %	3,2 %	100,0 %
Midi	96,4 %	3,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Mini	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Klein	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Tabelle 3: Kombination von Bauart und Antriebsart, relativ (n=342)

Die kombinierte Betrachtung der Bau- und Antriebsart zeigt, dass die Bauarten mit kleinerer Gefäßgröße (Klein, Mini, Midi) fast ausschließlich mit batterieelektrischem Antrieb angeboten werden. Dies lässt sich zumindest teilweise mit dem technischen Reifegrad des batterieelektrischen Antriebs für kleinere Fahrzeuge begründen.

Bei vielen Kleinbussen mit batterieelektrischem Antrieb ist festzustellen, dass teilweise bestehende Pkw-Technik (z. B. Traktionsbatterien) eingesetzt wird, die eine vorangeschrittene Serienreife aufweist. In dieser Folge können herstellerseits Synergieeffekte in der Entwicklung und Skaleneffekte in der Produktion genutzt werden.

Bei größeren Bauarten ist zu vermuten, dass Antriebsarten eingesetzt werden, die Energiespeicher mit hoher Energiedichte nutzen. Dies trifft insbesondere aktuell auf den Brennstoffzellenantrieb zu. O-Bus-Systeme können im Oberleitungsbetrieb daneben (zumindest zeitweise) vollelektrisch unabhängig von einem Energiespeicher eingesetzt werden. Die herstellerseitigen Synergieeffekte, die zwischen Pkw und Kleinbussen zu beobachten sind, gestalten sich im Bereich der großen Busse und Nutzfahrzeuge (Lkw) in anderer Richtung. In der Vergangenheit

stellte bei konventionellen Antrieben der Lkw die Rolle des Technologieträgers dar, der Motor bzw. Antriebsstrang an das Fahrzeug Bus „weitergegeben“ hat. Mit Einführung des batterieelektrischen Antriebs drehte sich dieser Zusammenhang ein Stück weit um. Der Bus hat heute die Rolle des Technologieträgers – nicht zuletzt, weil hier der Markt bzw. der Gesetzgeber noch vor dem Lkw früher umfangreiche Anforderungen an den Antrieb bzw. die Emissionen der Fahrzeugklasse Bus stellte.

Die Gegenüberstellung von Bau- und Antriebsart zeigt für die größeren Bauarten zwar einen höheren Anteil bei diesen Antriebsarten, wenngleich auch bei Gelenk- und Doppeldeckerbussen dennoch am häufigsten der batterieelektrische Antrieb verbaut wird. Dieser Zusammenhang zeigt sich im Zeitverlauf seit dem Jahr 2020 als konstant.

2.2.2.2 Überblick über das Fahrzeugangebot nach Herkunftsländern und Herstellern

Die Analyse des bestehenden E-Bus-Angebots in Deutschland und Europa zeigt ein breites Herstellerspektrum, das fast ausschließlich aus europäischen und asiatischen Herstellern besteht. Hierunter befinden sich sowohl die etablierten Hersteller, die bereits

bei konventionellen (Diesel-) Antrieben hohe Marktanteile aufweisen, als auch Hersteller, deren Produktpalette ausschließlich auf Elektrobusse ausgerichtet ist und die teilweise noch ein „Start-up-Charakter“ und eine erst relativ kurze Marktteilnahme von weni-

gen Jahren kennzeichnet. Insgesamt bieten 62 Fahrzeughersteller Elektrobusse auf dem europäischen Markt an. Das Herkunftsland bezieht sich dabei auf den Firmensitz des Herstellers.

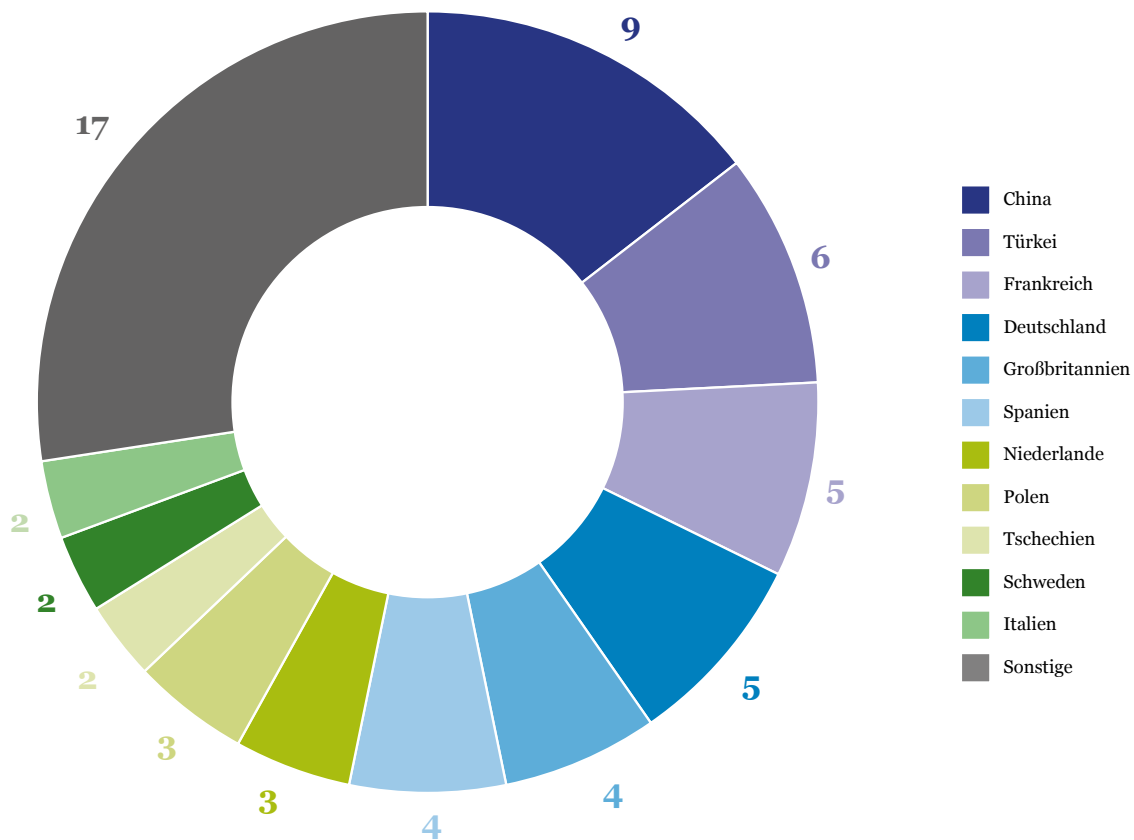


Abbildung 15: Verteilung der Fahrzeughersteller nach Herkunftsland (n=62)¹⁵

Die in der Analyse erfassten Hersteller stammen aus insgesamt 29 Ländern. Mit insgesamt 9 Herstellern weist China die höchste Herstelleranzahl auf, gefolgt von der Türkei (6), Deutschland und Frankreich (je 5). Insgesamt kommen 37 der 62 Hersteller aus Ländern der Europäischen Union.

Insgesamt führen 58 Hersteller Busse mit batterieelektrischem Antrieb, dabei alle Hersteller aus China, der Türkei, Deutschland und Frankreich.

Die vorangestellte Analyse der Modelle nach Antriebsarten hat eine deutliche Dominanz des batterieelektrischen Antriebs gezeigt. 243 der 342 erfassten E-Bus-Modelle sind batterieelektrisch angetrieben. Dies lässt vermuten, dass sich einige Hersteller ausschließlich auf die Entwicklung, Produktion und Vermarktung von Batteriebussen spezialisiert haben. Dies trifft auf 12 der 62 Hersteller zu, die bis auf wenige Ausnahmen als Kleinserienhersteller eingestuft werden können. Die Hersteller BYD (China),

Ebusco (Niederlande) und Bluebus (Bolloré Group, aus Frankreich) sind hierunter die wenigen Hersteller mit einem rein batterieelektrischen Produktportfolio, die bereits höhere, zumindest dreistellige Ab-

satzzahlen in Europa aufweisen können. Der größte Teil der etablierten Hersteller hat dagegen nach wie vor auch Fahrzeuge mit konventionellem Dieselantrieb im Angebot.

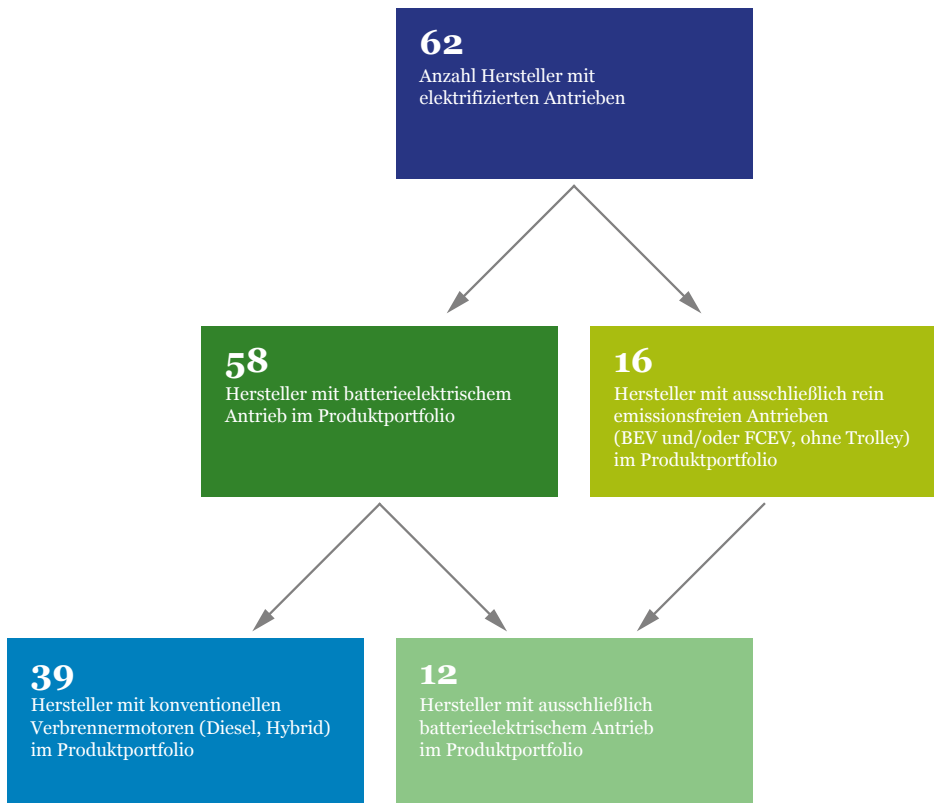


Abbildung 16: Übersicht der Antriebsarten im Produktportfolio der erfassten Hersteller

Erwähnenswert sind darüber hinaus die Hersteller Iveco und Solaris, die über ein breites Produktangebot verfügen und jede der erfassten Antriebsarten anbieten. Der Blick auf den Gesamtmarkt zeigt darüber hinaus, dass inzwischen alle europäischen Hersteller mit nennenswerten Marktanteilen im Bussektor Fahrzeuge mit elektrifizierten Antrieben im Produktportfolio führen. In den meisten Fällen ist hierunter auch der batterieelektrische Antrieb zu finden.

Einen weiteren interessanten Aspekt stellt der Anteil von batterieelektrischen Bussen am Gesamtangebot elektrisch angetriebener Busse je Herkunftsland der

Hersteller dar.¹⁶ Die Auswertung zeigt, dass die chinesischen und niederländischen Hersteller ausschließlich batterieelektrische Busse als alternative Antriebsart anbieten. Auch die Hersteller aus der Türkei, Großbritannien, Frankreich und Deutschland legen einen klaren Fokus auf den batterieelektrischen Antrieb, der Anteil liegt hier bei über 80 %. Dies lässt vermuten, dass sich dies auch auf der Nachfrageseite, genauer in den E-Bus-Beständen der jeweiligen Herstellerländer, widerspiegelt. Die Ergebnisse des Kapitels 2.2.4 zur E-Bus-Bestandsanalyse werden zeigen, dass rund 90 % der in Deutschland eingesetzten E-Busse mit einem batterieelektrischen Antrieb ausgerüstet sind.

Land	China	Niederlande	Türkei	Großbritannien	Frankreich	Deutschland	Spanien	Tschechien	Polen	Italien
Summe E-Bus-Modelle	36	13	21	31	11	16	31	20	16	16
Anteil der Batteriebusse am E-Bus-Angebot	100 %	100 %	95 %	94 %	91 %	81 %	61 %	50 %	38 %	36 %

Tabelle 4: Verhältnis von Batteriebussen zu Elektrobussen im Fahrzeugangebot nach Herkunftsland der Hersteller (n=225 Batteriebusmodelle)

Exkurs: Kooperationen europäischer und asiatischer Hersteller

Bei der Erfassung der angebotenen E-Bus-Modelle zeigt sich, dass zwischen einer Vielzahl von Herstellern Kooperationen in Bezug auf die Fahrzeugentwicklung, Produktion und Vermarktung bestehen. Häufig kooperieren in diesem Kontext europäische Kleinserienhersteller, aber auch etablierte Marktteilnehmer wie z. B. Volvo und Daimler Buses (für die Marke Mercedes-Benz) schließen sich in Joint Ventures zusammen. Das Volvo-Daimler-Joint Venture „cellcentric“ entwickelt und produziert alternative Antriebe, insbesondere mit Wasserstoff als Energieträger.¹⁷

Auffällig sind auch die Kooperationen zwischen europäischen und asiatischen Herstellern. Das chinesische Unternehmen BYD gehört weltweit zu den größten Batterieherstellern. Allein das Modell BYD K9 (12-m-Solobus für den Stadtverkehr) wurde seit Beginn der Fertigung im Jahr 2010 bis zum Jahr 2022 über 70.000-mal verkauft.¹⁸ BYD bietet in Europa Batteriebusse unter der eigenen Marke an, ist aber darüber hinaus auch Kooperationen, unter anderem mit europäischen Kleinserienherstellern, eingegangen. Für die spanischen Hersteller Unvi und Castrosua liefert BYD beispielsweise den elektrischen

Antriebsstrang inklusive der Traktionsbatterie. Unvi und Castrosua zeigen sich hingegen unter anderem für die Karosserie und die Vermarktung der Busse verantwortlich. Daneben kooperiert BYD seit dem Jahr 2015 mit dem schottischen Hersteller Alexander Dennis im Bereich Entwicklung und Produktion von Batteriebussen. Aus dieser Partnerschaft sind bis zur Mitte des Jahres 2023 insgesamt 1.500 zugelassene Batteriebusse für Großbritannien hervorgegangen.¹⁹

Der japanische Fahrzeughersteller Toyota ist ein relativ neuer Marktteilnehmer im Busbereich. Seit 2018 bietet Toyota einen Solobus mit Brennstoffzellentechnik an. Hierbei werden Komponenten des Brennstoffzellenantriebs verwendet, den Toyota ursprünglich für den Pkw-Bereich entwickelt hat. In Europa bietet der Hersteller den Brennstoffzellenbus unter eigener Marke an, ist im Jahr 2019 aber auch eine Kooperation mit dem portugiesischen Hersteller CaetanoBus eingegangen.²⁰ Für den Vertrieb von sowohl Brennstoffzellenbussen als auch von Batteriebussen (ohne Entwicklungskooperation) wurde ein Co-Branding vereinbart. Die Fahrzeuge tragen sowohl das Toyota- als auch das CaetanoBus-Logo. Diese Entwicklungen sind Teil von Toyotas Markteintrittsstrategie in den europäischen E-Bus-Markt.

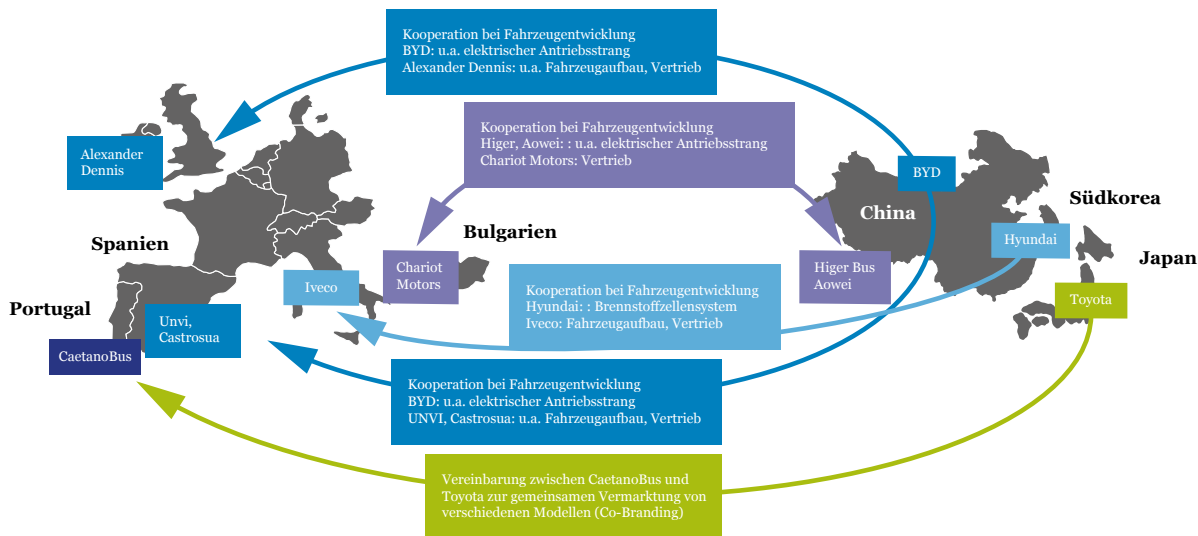


Abbildung 17: Ausgewählte Kooperationen/Joint Ventures zwischen asiatischen und europäischen Fahrzeugherstellern

2.2.2.3 Fazit zur Entwicklung des Fahrzeugangebots bis heute

Das E-Bus-Angebot stellt grundsätzlich keine Hürde für die Flottentransformation dar

Die Analyse der auf dem europäischen Markt verfügbaren Elektrobussmodelle zeigt inzwischen ein breites Angebotsspektrum, hinter dem eine Vielzahl von E-Bus-Herstellern steht. Dies gilt insbesondere auch für die volumenmäßig am stärksten nachgefragten Bauarten von ÖPNV-Bussen (Midi, Solo, Gelenk). Die Angebotsvielfalt stellt somit grundsätzlich keine Hürde für die Einführung von Elektrobussen bei den Verkehrsunternehmen dar, wenngleich sich viele der Hersteller als Kleinserienhersteller mit noch relativ kurzer Marktgeschichte charakterisieren lassen. Die etablierten Hersteller, die in der Vergangenheit im Segment der Dieselsebusse hohe Marktanteile in Deutschland und Europa erreichen konnten, weisen inzwischen ein umfangreiches Fahrzeugangebot mit emissionsfreien Antriebstechnologien für die im ÖPNV gängigen Bauarten auf. Es zeigt sich, dass inzwischen für alle Bauarten bzw. Gefäßgrößen emissionsfreie Antriebsarten (BEV oder FCEV) verfügbar

sind. An dieser Stelle ist erwähnenswert, dass zum zwischenzeitlichen Erhebungsstand im Oktober 2021 kein Brennstoffzellen-Gelenkbus für den regulären Linieneinsatz verfügbar war, sondern lediglich zwei Modelle als Bus-Rapid-Transit-Variante angeboten wurden. Inzwischen sind jedoch auch hier einige Fahrzeuge für den Linieneinsatz verfügbar. Unbenommen dessen muss einschränkend erwähnt werden, dass die Erfassung der verfügbaren Fahrzeuge lediglich auf Herstellerinformationen basiert und daraus keine Aussage über deren tatsächliche Lieferfähigkeit getroffen werden kann. Gleichwohl ist festzuhalten, dass in den letzten Jahren, die insbesondere auch von dem hier betrachteten Förderprogramm umfasst sind, ein deutlicher Markthochlauf mit entsprechenden Alternativen stattgefunden hat. Hierbei haben sich insbesondere auch die technischen Eigenschaften der angebotenen Fahrzeuge deutlich verbessert, was einen zunehmend flexiblen Serieneinsatz ermöglicht (siehe hierzu Kapitel 2.4.1). Der Verfügbarkeitsbeginn des Angebots deutscher Hersteller fällt dabei in den Zeitraum der hier untersuchten Förderung. Wie Kapitel 3.1.1.2 zeigen wird, entstammen knapp 50 % der geförderten Busse der Produktion deutscher Bushersteller.

Der batterieelektrische Antrieb hat sich als Standardantriebstechnologie für emissionsfreie Busse etabliert

In der aktuellen Angebotspalette der Fahrzeughersteller sind Batteriebusse mit großem Abstand die am häufigsten angebotene Technologievariante. Die Dominanz des batterieelektrischen Antriebs zeigt sich nicht nur bei Betrachtung der absoluten Anzahl der verfügbaren Modelle, sondern auch im Anstieg des Anteils batterieelektrischer Busse am Gesamtangebot. Waren im Jahr 2020 noch 181 Batteriebusse im Angebot, sind es im Jahr 2023 62 weitere Modelle und somit insgesamt 243. Das Wachstum der angebotenen Modelle ist somit fast ausschließlich auf Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb zurückzuführen. Diese Entwicklung schlägt sich ebenso in den Bestandszahlen nieder, deren Entwicklung im Kapitel 2.2.4 dargestellt wird.

Mit Blick auf den Brennstoffzellenantrieb zeigt sich hinsichtlich der Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge nur eine geringfügige Entwicklung im Zeitverlauf. Die Anzahl der angebotenen Fahrzeuge ist von 27 im Jahr 2020 auf 26 im Jahr 2023 sogar leicht zurückge-

gangen. Hinsichtlich der Oberleitungsbusse zeigt sich eine leicht steigende Angebotsvielfalt. Waren zum Stand 2020 insgesamt 33 O-Bus-Modelle (Voll und Hybrid) verfügbar, sind es derzeit 39. Die folgende Grafik gibt einen abschließenden Überblick über die Entwicklung der Angebotsvielfalt der verschiedenen Antriebstechnologien für ÖPNV-Busse zwischen den Jahren 2020 und 2023. Es ist zu erwarten, dass der batterieelektrische Antrieb vor dem Hintergrund der derzeitigen Dominanz in Bezug auf das Marktangebot (und wie sich später zeigen wird auch in Bezug auf die Nachfrage) auch mittelfristig der emissionsfreie „Standardantrieb“ bleiben wird. Verkehrsunternehmen treffen im Kontext der Antriebswende eine Systementscheidung. Eine technologieoffene Dekarbonisierung der Flotten mit mehreren eingesetzten emissionsfreien Antriebstechnologien stellt insbesondere kleine und mittlere Verkehrsunternehmen vor zusätzliche technische, betriebliche und wirtschaftliche Herausforderungen. Der erkennbare „Batterie-Fokus“ der Angebotsseite kann dabei zumindest in Ansätzen Planungssicherheit in Bezug auf die Technologieseite der Flottendekarbonisierung geben.

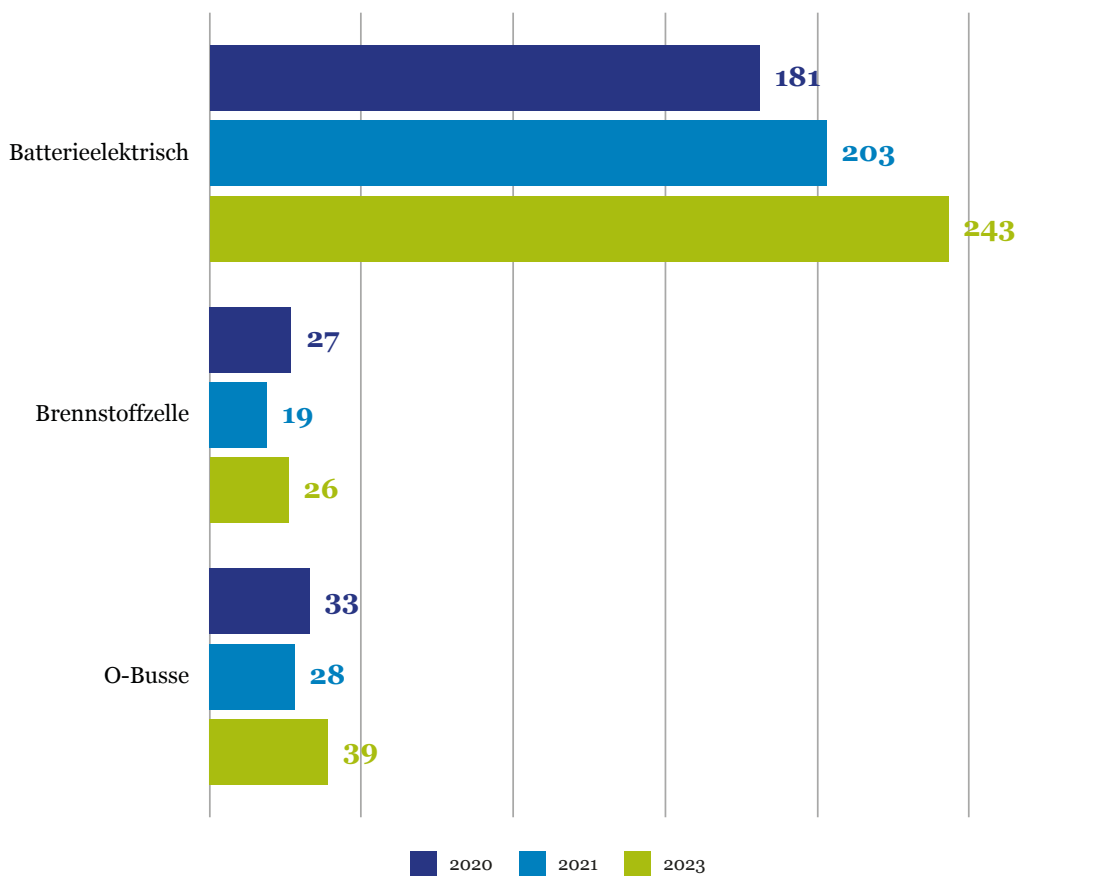


Abbildung 18: Entwicklung des Fahrzeugangebots im Zeitverlauf

Das E-Bus-Angebot ist in den letzten Jahren vielfältiger geworden

Die E-Bus-Modellvielfalt hat in den vergangenen zwei Jahren einen Zuwachs erfahren. Während in den Jahren 2020 und 2021 insgesamt 295 E-Bus-Modelle verfügbar waren, sind es zum Ende des Jahres 2023 in Summe bereits über 340 unterschiedliche Modelle. Die Zuwächse sind dabei fast ausschließlich

auf die Bauarten zurückzuführen, die üblicherweise im klassischen Stadtverkehr eingesetzt werden. Dies bezieht sich hierbei insbesondere auf die Bauarten Midi und Solo (Fahrzeuglängen 8 – 10,6 m bzw. 10,6 – 13,5 m). Diese beobachtbare Angebotserweiterung lässt an dieser Stelle eine hohe Nachfrage in diesem Angebotssegment vermuten, die in Kapitel 2.2.4 näher untersucht wird.

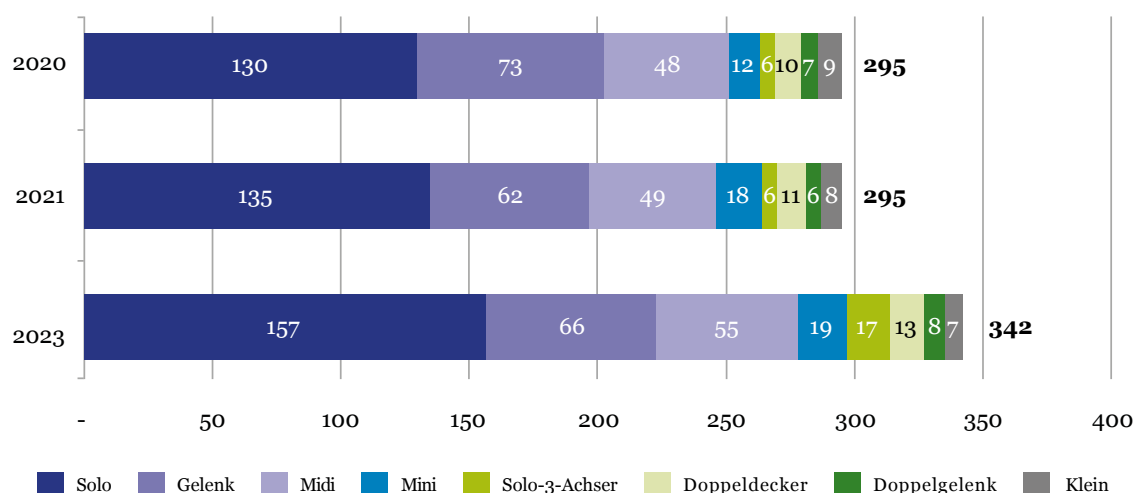


**Abbildung 19: Entwicklung der E-Bus-Modellvielfalt nach Bauarten
(Jahr 2022 keine Erhebung)**

Die Anzahl der E-Bus-Hersteller ist seit 2021 kaum gestiegen

Der Zuwachs der angebotenen E-Bus-Modelle lässt sich nicht auf einen gleichzeitigen Zuwachs bei der Anzahl der anbietenden Hersteller zurückführen. Die Anzahl der E-Bus-Hersteller ist zwischen den Jahren 2020 und 2023 nahezu konstant. Im Jahr 2020 wurden insgesamt 61 Hersteller erfasst, im Jahr 2023 stieg die Anzahl minimal auf 62. Das Wettbewerbsumfeld zeigt sich jedoch nicht statisch. Im Vergleich zum ersten Erhebungsstand im Jahr 2020 konnten abschließend 19 neue Hersteller erfasst werden, wohingegen 18 Hersteller das Produktangebot in

Deutschland und Europa (entsprechend der Erhebungssystematik) eingestellt haben. Dies betrifft fast ausschließlich Kleinserienhersteller, die überwiegend in Insolvenz geraten sind (z. B. Sileo, Linkker) oder mit anderen Herstellern fusioniert bzw. gekauft wurden. Der spanische Busersteller Vectia wurde beispielsweise als Teil der CAF S.A. mit dem polnischen Hersteller Solaris nach dessen Übernahme durch CAF fusioniert. Die Marke Vectia und ihre Produkte verschwanden in der Folge vom E-Bus-Markt. Die folgende Tabelle zeigt die Veränderungen des Wettbewerbsumfelds, bezogen auf die Hersteller zwischen den Jahren 2020 und 2023.

In die Fahrzeugliste neu aufgenommene Hersteller	Nicht mehr in der Fahrzeugliste geführte Hersteller
Atlas	Alstom
Ankai	CRRC
Alfa Bus	ebe Europa
Autosan	EKOVA electric
Unvi	EVC Group/Rosero
Cobus Industries	Evopro
Switch (vormals Optare)	Gaz Group
Golden Dragon	German-E-Cars
King Long	KAMAZ
Dinobus	Linkker
Quantron	Local Motors
Isuzu	Menarinibus
Güleryuz	PVI-Gépébus
SunWin Bus	Sileo
Higer Bus	Solbus
CarBus	Ursus Bus
Power Vehicle Innovation	Vectia
Stimbo	Optare (Übergang zu Switch)
NesoBus	

Tabelle 5: Entwicklung des Wettbewerbsumfelds, bezogen auf Hersteller zwischen den Jahren 2020 und 2023

Im Kontext der nicht zuletzt durch die regulatorischen Vorgaben steigenden E-Bus-Nachfrage bleibt zu beobachten, inwieweit sich der E-Bus-Markt mit einer Vielzahl an jungen Kleinserienherstellern mittel- bis langfristig konsolidiert und somit strukturell dem bisherigen Dieselmotormarkt ähnlicher wird. Dies ist insbesondere auch im Kontext des aktuell noch hohen Preisniveaus der Fahrzeuge sowie der weiteren Entwicklung der Herstellerkooperationen zu sehen.

Aus den Ergebnissen der Analyse des E-Bus-Angebots lässt sich insgesamt ein Marktumfeld mit relativ großem Wettbewerb erkennen. Dieser Wettbewerb wird sich mit der zu erwartenden steigenden Nachfrage, insbesondere auch im Kontext der regulatorischen Vorgaben (CVD und EU-Flottengrenzwerte), weiter verschärfen. Für Verkehrsunternehmen kann in der Folge so mittelfristig ein gewisses Kostensenkungspotenzial im Rahmen der Vergabe bestehen.

2.2.3 Die Preissituation für Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur sowie Industriestrom

2.2.3.1 Überblick über die Anschaffungspreise von Batteriebussen

Nachdem die bisherige Auswertung auf die Angebotspalette der Elektrobusse abgestellt hat, wird im Folgenden die aktuelle Preissituation für die Anschaffung batterieelektrischer Busse analysiert. Diese Analyse basiert auf Daten, die von den Zuwendungsempfängern der BMWK-Förderung im Rahmen des

Minimaldatensets als Stammdaten (weitere Details zur Definition in Kapitel 3.1) zur Verfügung gestellt wurden. Es kann daher auf umfangreiche reale Daten zurückgegriffen werden, was in diesem Umfang zuvor in keiner deutschen Untersuchung möglich war. Die folgende Grafik zeigt die durchschnittlichen Netto-Anschaffungspreise pro Bus in Differenzierung nach der entsprechenden Bauart. Für einen im Rahmen des hier analysierten Förderprogramms angeschafften Solo-Batteriebus mussten demnach durchschnittlich 577 T€ bezahlt werden, für Gelenk-Batteriebusse liegt der durchschnittliche Preis bei rund 779 T€.

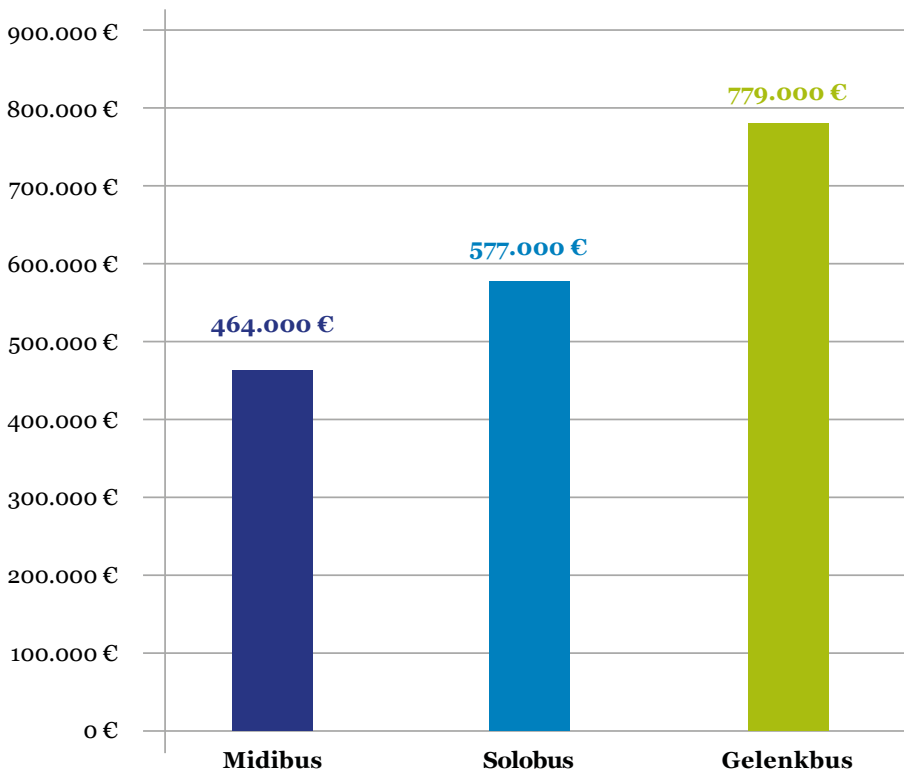


Abbildung 20: Durchschnittliche Anschaffungspreise nach Bauart der geförderten Busse (n=1.179)

Die Stammdaten enthalten des Weiteren Informationen zur Gefäßgröße, der Batteriekapazität und möglichen Garantieverlängerungen für die Trakti-

onsbatterie. Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die unterschiedlichen Fahrzeugpreise der jeweiligen Zuwendungsempfänger aufgrund fahrzeugspezifischer

(technische Ausstattung) und kommerzieller (insbesondere Garantiebedingungen) Merkmale nicht gänzlich miteinander vergleichbar sind. Auch können Unterschiede in der Preispolitik der Hersteller zu Verzerrungen führen. Nicht verfügbar sind zudem die genauen Bestellzeitpunkte. Lediglich die Zeitpunkte des Datenzugangs ermöglichen einen groben Vergleich der Anschaffungspreise auf der Zeitachse.

Die Traktionsbatterie ist ein wesentlicher Kostentreiber der Batteriebusse. Es liegt daher nahe, dass eine Korrelation zwischen der Batteriekapazität und dem Anschaffungspreis besteht. In der folgenden Abbildung sind die mittleren Beschaffungspreise in Abhängigkeit von Batteriegröße und Bauart der Fahrzeuge dargestellt.

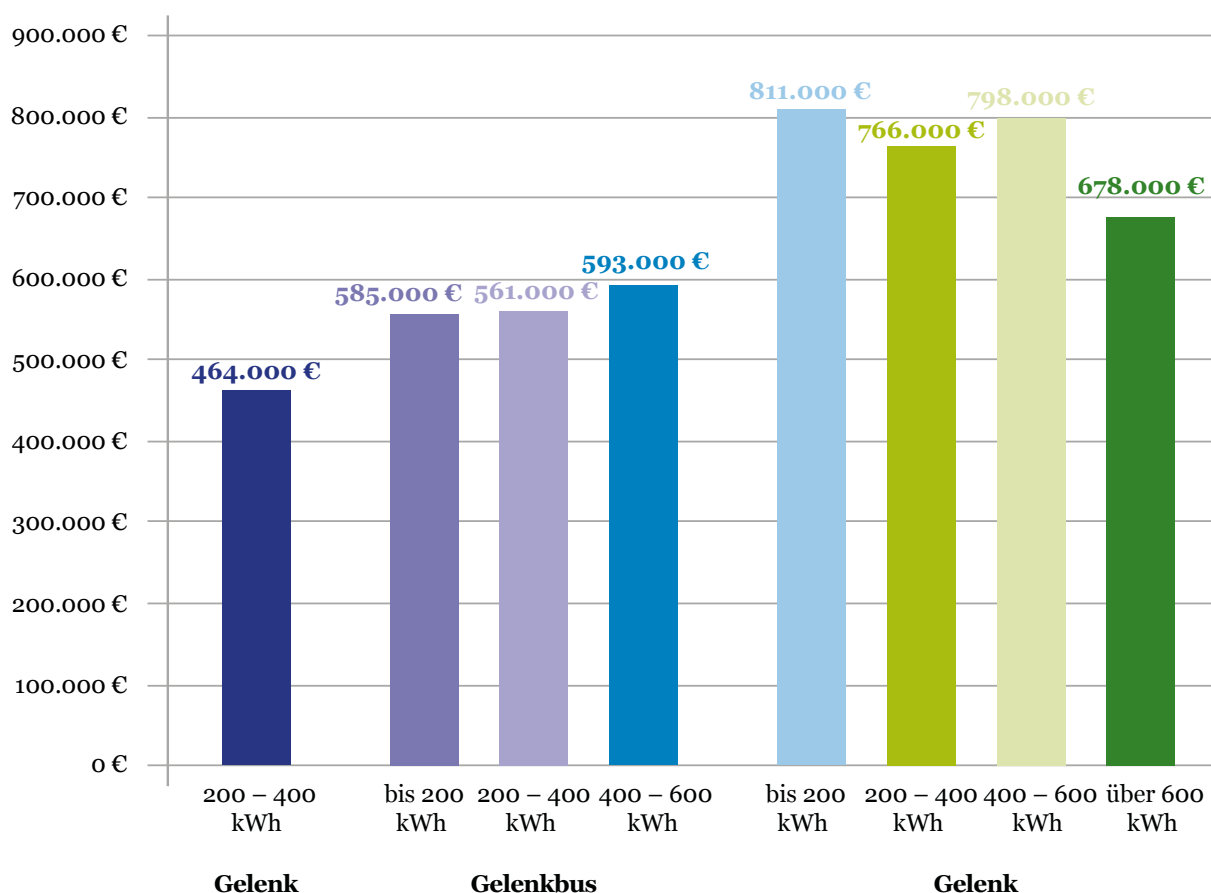


Abbildung 21: Mittlere Anschaffungskosten nach Batteriekapazität und Bauart (n=1.179)

Im Segment der Solo-Batteriebusse ist ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Batteriekapazität und der Anschaffungspreise erkennbar. Mit Blick auf das Bestimmtheitsmaß zeigt sich jedoch, dass die Preispunkte aus dem Segment der Solo-Batteriebusse

mit $R^2 = 0,0025$ keine statistisch abgesicherte Bestätigung eines Zusammenhangs zwischen der Batteriekapazität und dem Anschaffungspreis erlauben. Gleiches gilt für das Segment der Gelenk-Batteriebusse.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Fahrzeugpreise liegt in der Preisgestaltung der jeweiligen Hersteller. Der Busmarkt ist hierbei von einer hohen Intransparenz gekennzeichnet, da Hersteller ihre Preise zumeist nicht offenlegen. Busbeschaffungen erfolgen zumeist in einer Art Projektgeschäft, in dem im Rahmen der Vergabeverfahren individuelle Fahrzeugpreise angeboten werden. Dies ist unter anderem dadurch zu begründen, dass die Verkehrsunternehmen oftmals sehr individuelle Konfigurationen der Fahrzeuge bestellen, die keine umfassende Standar-

disierung der Fahrzeuge (unter anderem Konfiguration der Sitze, optische Gestaltung des Innenraums und Gestaltung des Fahrer Arbeitsplatzes) durch die Hersteller ermöglichen. Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittlichen Preise der im Rahmen des hier evaluierten Förderprogramms angeschafften Solo-Batteriebusse in Abhängigkeit vom Hersteller. Aus Datenschutzgründen werden die Hersteller anonymisiert dargestellt. (Hinweis: Hersteller 1 bei Solobussen ist deckungsgleich mit Hersteller 1 bei Gelenkbussen.)

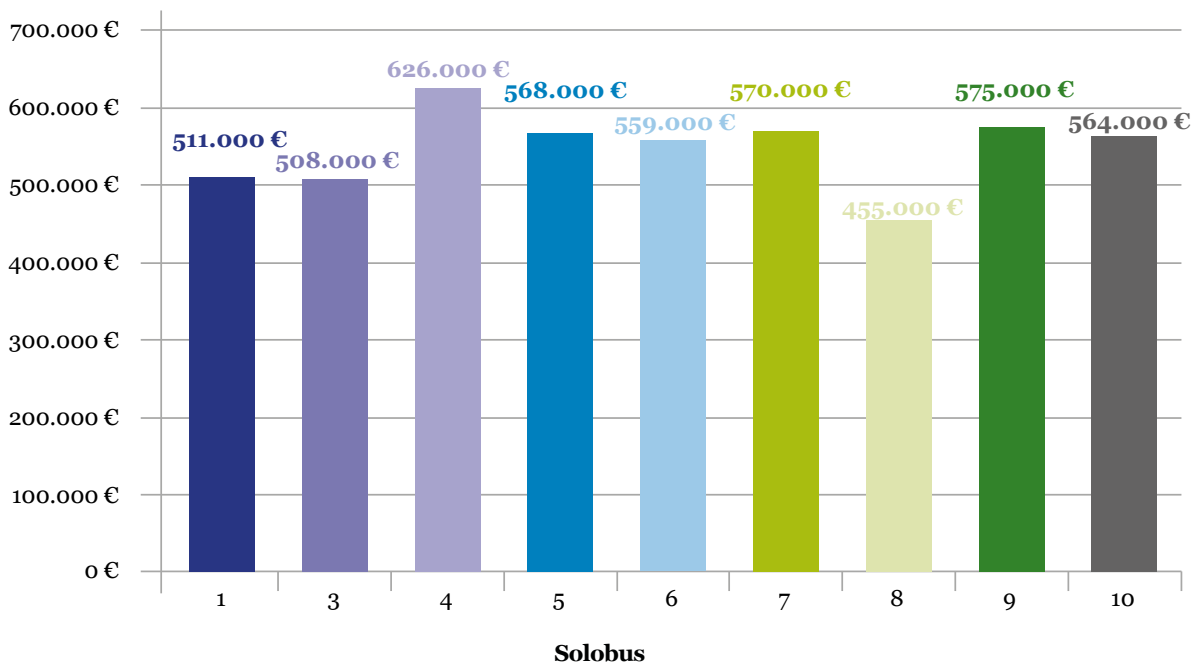


Abbildung 22: Mittlere Anschaffungskosten von Solo-Batteriebusen nach Hersteller – anonymisiert (n=682)

Die Fahrzeugpreise bewegen sich überwiegend im Bereich zwischen 500 und 600 T€, wobei zwei Hersteller Ausreißer in unterschiedliche Richtungen aufweisen. Mit rund 626 T€ liegt der durchschnittliche Nettopreis für einen Solo-Batteriebus des Herstellers

4 deutlich über dem Durchschnitt. Solo-Batteriebusse des Herstellers 8 sind dagegen mit rund 454 T€ im Durchschnitt vergleichsweise günstig. Somit ergibt sich eine große Preisspanne von ca. 171 T€ zwischen den jeweiligen Herstellern.

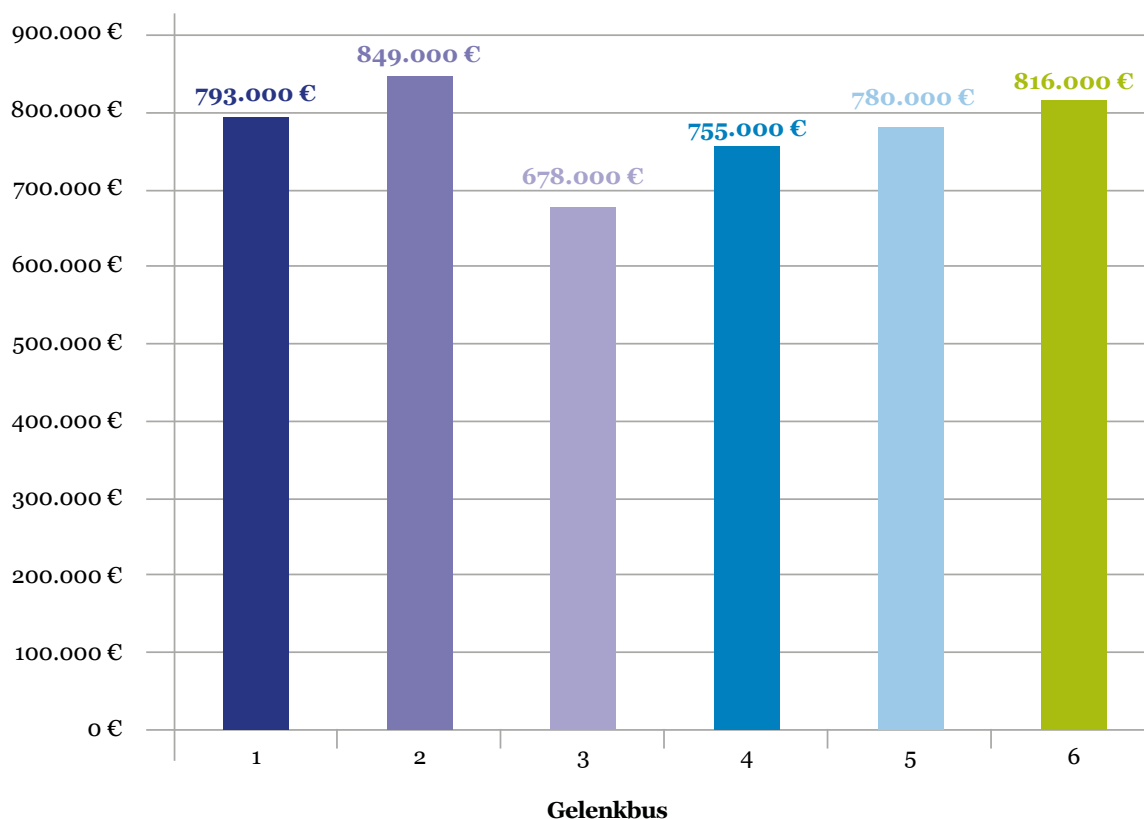


Abbildung 23: Mittlere Anschaffungskosten von Gelenk-Batteriebusen nach Hersteller (n=527)

Der durchschnittliche Anschaffungspreis von Gelenk-Batteriebusen liegt zumeist in einem Korridor von 750 bis 850 T€. Bei den Gelenkbussen sind die Busse des Herstellers 2 mit durchschnittlich knapp 849 T€ ebenfalls fast 171 T€ teurer als die Gelenkbusse des günstigsten Herstellers

(Hersteller 3) mit durchschnittlich rund 678 T€. Es zeigen sich somit grundsätzlich deutliche herstellerbezogene Unterschiede in der Höhe der Anschaffungspreise.

Diese Preisunterschiede finden sich auch bei einer nach den Herstellerländern (bezogen auf den Unternehmenssitz) differenzierten Betrachtung wieder. In den folgenden zwei Abbildungen sind die durchschnittlichen Nettopreise und das Herstellerland für die Bauarten Solo und Gelenk dargestellt.

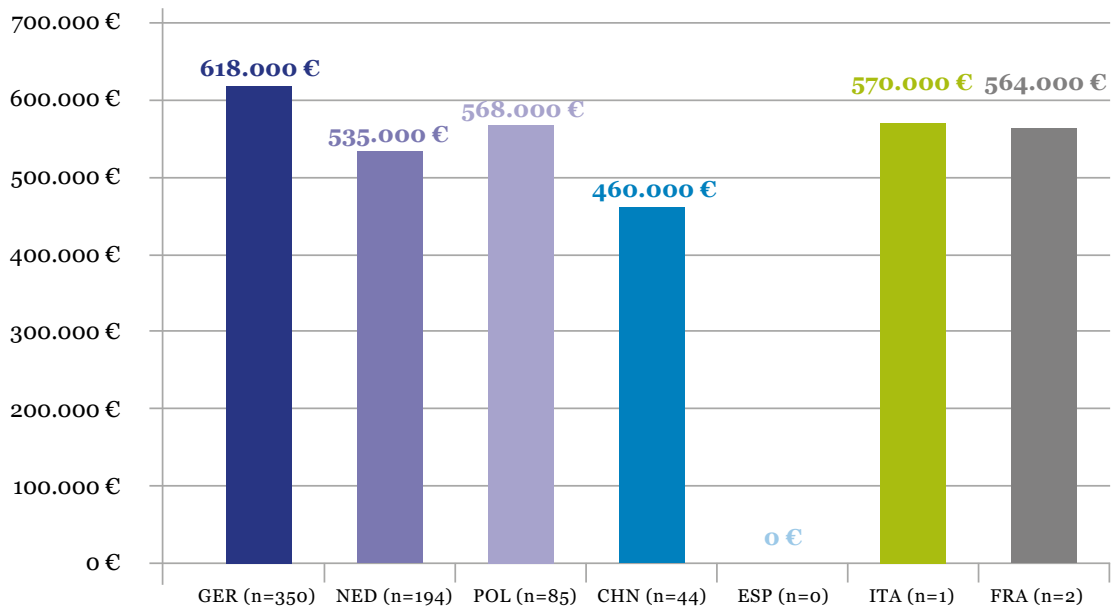


Abbildung 24: Mittlere Anschaffungskosten von Solo-Batteriebusen nach Sitz des Herstellers (n=682)

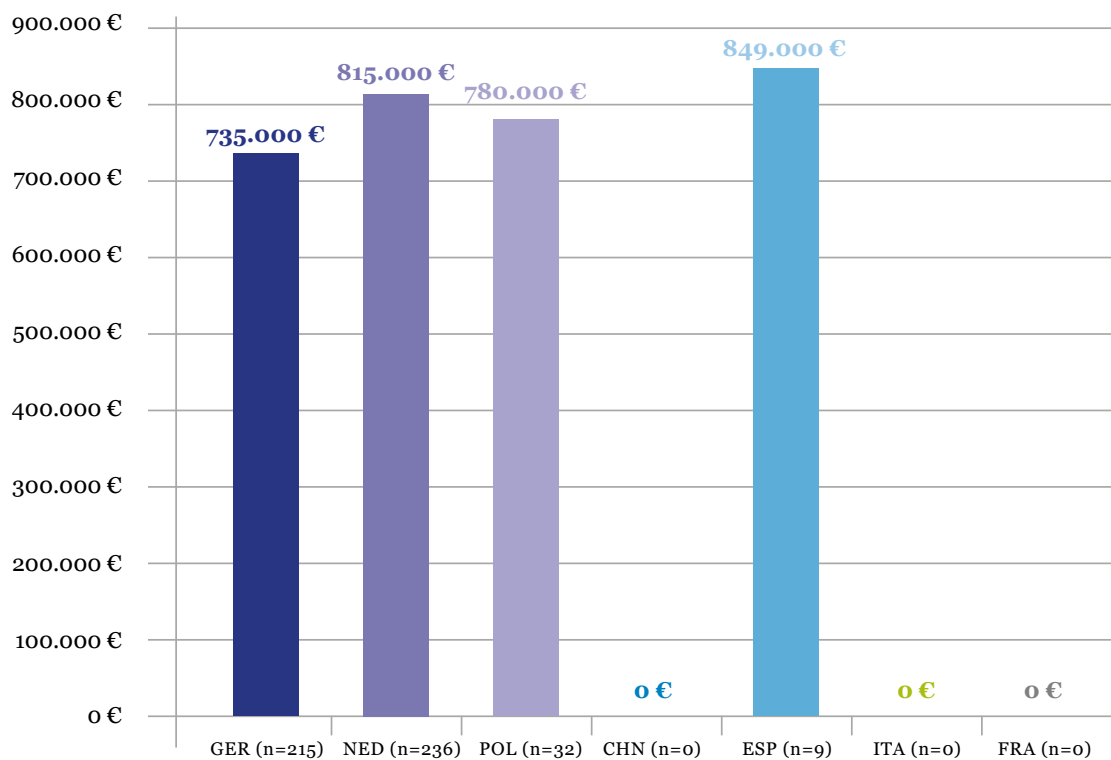


Abbildung 25: Mittlere Anschaffungskosten von Gelenk-Batteriebusen nach Sitz des Herstellers (n=527)

Insbesondere bei den Solobussen fällt ein hoher Preisunterschied zwischen deutschen bzw. europäischen und chinesischen Herstellern auf. Die Busse chinesischer Hersteller werden zu deutlich niedrigeren Anschaffungspreisen angeboten.

Das höhere Preisniveau der Solo-Batteriebusse der deutschen Hersteller ist bei Gelenk-Batteriebussen nicht zu beobachten. Hier liegen die Anschaffungspreise unter denen der Busse aus anderen Herstellerländern. Bei den Gelenkbussen fällt zudem der hohe durchschnittliche Anschaffungspreis der spanischen Busse auf. Hinter diesem Mittelwert stehen jedoch lediglich 9 Fahrzeuge eines Herstellers. Diese Fahrzeuge wurden mit einer Garantiezeit von 8 Jahren auf das Gesamtfahrzeug inklusive der Traktionsbatterie ausgeliefert. Die Dauer der Batteriegarantien variiert zwischen null und fünfzehn Jahren.

In Bezug auf die Anschaffungskosten der Busse ist in Abbildung 26 eine große Spannbreite zwischen den einzelnen Busmodellen erkennbar. Es fällt zudem auf, dass die Kosten auch innerhalb eines Fahrzeugmodells aufgrund unterschiedlicher Konfigurationen (z. B. Akkugröße, Heizkonzept, Innenausstattung) sowie weiterer Bedingungen (z. B. Abnahmemenge, Garantie, Gewährleistung) teilweise deutlich variieren können. Die Spannbreite der Anschaffungskosten liegt bei Gelenkbussen zwischen 606 T€ und 910 T€, bei Solobussen zwischen 403 T€ und 718 T€. Im Mittel liegen die Anschaffungskosten bei den Gelenkbussen mit 779 T€ rund 200 T€ höher als bei den Solobussen mit 577 T€.

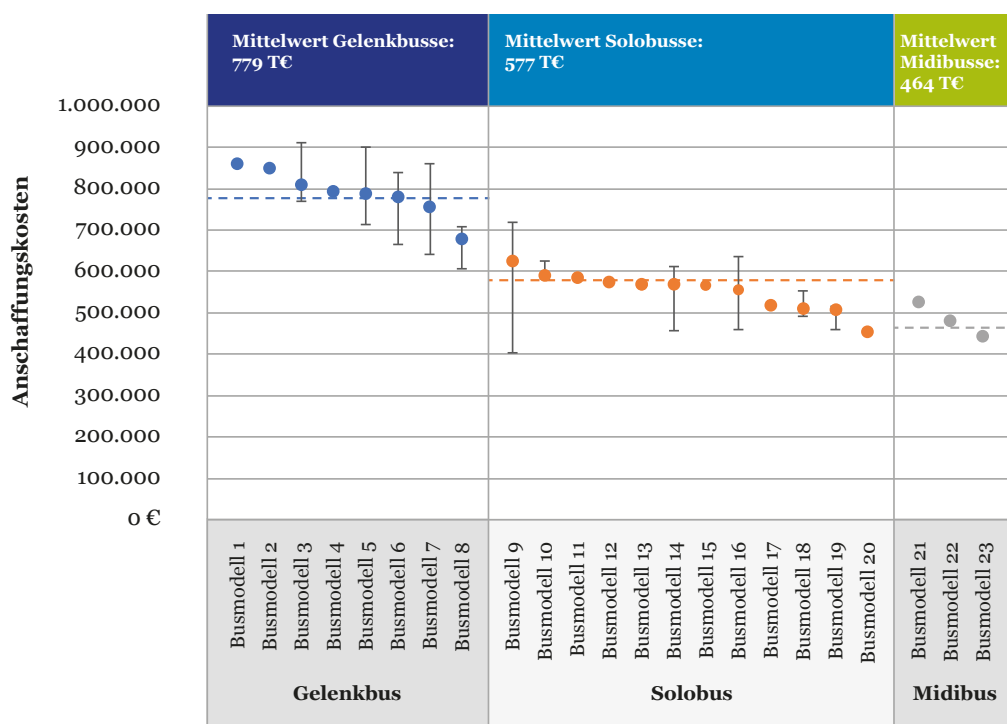


Abbildung 26: Anschaffungskosten nach Busmodell

Erwähnenswert ist der Effekt der unterschiedlichen Garantieregelungen auf den Anschaffungspreis. Der Übersichtlichkeit halber wird die Dauer der Batteriegarantie in der folgenden Analyse geclustert. Der Wert „o“ bedeutet, dass der Bus ohne über die gesetzlichen Regelungen (Gewährleistung) hinausgehender Garantie verkauft wurde. Im Cluster „I“ liegt die Garantie zwischen einem und fünf Jahren. Cluster „II“

umfasst Busse mit einer Batteriegarantie von sechs bis zehn Jahren, Cluster III beinhaltet die Garantiedauer von elf bis fünfzehn Jahren. Bei längeren Garantiedauern von mindestens zehn Jahren ist insofern davon auszugehen, dass vom Hersteller während der Nutzungsdauer ein Batteriewechsel vollzogen werden muss und somit ein zweites Batteriepaket im Kaufpreis des Busses enthalten ist.

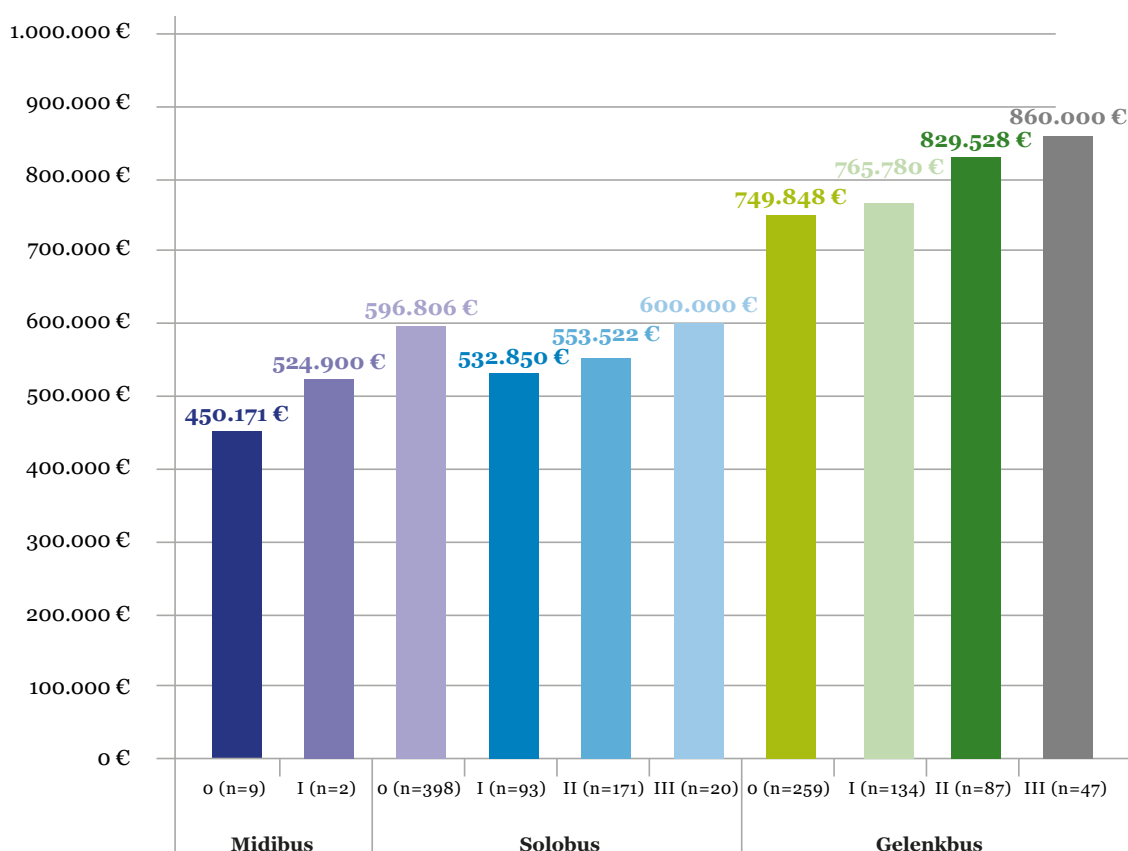


Abbildung 27: Mittlere Anschaffungskosten nach Batteriegarantie und Bauart

Die Preisanalyse zeigt für das Midi- und Gelenk-Batteriebus-Segment einen deutlichen Zusammenhang zwischen Anschaffungspreis und Batteriegarantie. Im Segment der Solo-Batteriebusse ist dagegen kein eindeutiger Zusammenhang erkennbar. Es hat sich insgesamt gezeigt, dass die Anschaffungspreise der

geförderten Batteriebusse je nach Hersteller aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren deutlich variieren, sodass sich keine eindeutigen Aussagen treffen lassen. Nicht zuletzt werden die Anschaffungspreise auch durch individuelle Sonderausstattungen (z. B. zusätzliche Tür, gehobene Innenausstattung) beein-

flusst. Dennoch ist zu erkennen, dass die Busse von chinesischen Herstellern derzeit grundsätzlich am günstigsten sind. Für verlässlichere Aussagen hinsichtlich der Einflussfaktoren auf die Anschaffungspreise wäre als weiterer Forschungsbedarf die Durchführung einer multivariaten Korrelationsanalyse denkbar.

2.2.3.2 Überblick über die Anschaffungspreise der Ladeinfrastruktur

Die Erfassung der Preisentwicklung der Ladeinfrastruktur erfolgt auf Grundlage öffentlich zugänglicher Hersteller- bzw. Kundeninformationen (z. B. Veröffentlichungen und Auftragsbekanntmachungen) sowie durch vom Projektträger zur Verfügung gestellte anonymisierte Daten der Zuwendungsempfänger. Während die Marktpreise für Elektrobusse z. B. auch auf Veranstaltungen des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) öffentlich diskutiert werden, herrscht auf dem Markt der Ladeinfrastruktur, nicht zuletzt auch aufgrund der unterschiedlichen technologischen Ansätze der verschiedenen Hersteller, ein weniger umfassender öffentlicher Kenntnisstand. Die Kostenbasis wird daher durch eigene Analysen und vorliegende Angebote von Anbietern ergänzt.

Im Betrachtungsbereich der vom BMWK geförderten Projekte wurden mit Stand Ende 2023 Stammdaten für 916 Ladesysteme mit insgesamt 1.012 Ladepunkten zurückgemeldet. Eine detaillierte Analyse der Stammdaten des Minimaldatensets erfolgt in Kapitel 3.1.1.3.

Kostenstruktur der Ladesysteme

Die Anschaffungspreise bzw. -kosten von Ladesystemen werden im Wesentlichen durch die folgenden vier Systembestandteile getrieben:

1. Gehäuse,
2. Leistungselektronik,
3. Steuerungstechnik, Überwachung, Benutzerschnittstelle,
4. Ladeschnittstelle.

Im Gegensatz zu klassischen Niederspannungsanlagen im Industrie- und Gewerbebereich ist der Standardisierungsgrad der einzelnen Komponenten noch nicht hoch. Die Systeme der verschiedenen Lieferanten unterscheiden sich in Aufbau, Anordnung, technischem Konzept und den Funktionen zum Teil stark (vgl. auch technische Erläuterungen in Kapitel 2.4.3). Folgerichtig besteht auch weiterhin eine große Preisspanne bei den angebotenen Ladesystemen.

Marktbeobachtung

Gemäß unserer Marktbeobachtung bewegen sich die Kosten für Standard-Kompaktladesysteme mit ein bis zwei fest angeschlagenen Ladekabeln in einer Preisspanne von rund 250 – 400 € pro installierten kW-Systemleistung. Hinzu kommen die Kosten für Kabelverlegung, Anschluss, Installation und Inbetriebnahme. Bei Ladesystemen mit mehreren abgesetzten Ladepunkten (Mehrfachverwendung von Ladeelektroniken, siehe Kapitel 2.4.3) ist mit spezifischen Kosten im Bereich von 350 – 600 € pro kW Systemleistung für die reinen Gerätekosten zu rechnen.

Interpretation der Ergebnisse und Ausblick

Die Anschaffungspreise der Ladeinfrastruktur werden nicht ausschließlich durch die Preise des eigentlichen Ladegeräts bestimmt, sondern wesentlich durch die zusätzlich benötigten Gewerke für den Ladeinfrastrukturaufbau beeinflusst. Die Implementierung einer Ladeinfrastruktur, z. B. auf einem Busdepotgelände, lässt sich dabei grob in folgende Kostenblöcke aufteilen:

- Netzanschlusskosten und Baukostenzuschuss für den Netzbetreiber,
- Transformator Mittelspannung-Niederspannung inklusive Schaltanlagen, Überwachungssystemen, Gebäude und Energieverbrauchsähler,
- Ladegeräte mit Ladeschnittstelle (z. B. Stecker, Pantografenhaube) inklusive Kabelführung bzw. Tragkonstruktion für Haube,
- Tiefbauarbeiten für Kabelgräben, Fundamente inklusive Wiederherstellung,

- elektrische Leitungen zur Verbindung aller Komponenten, ggf. inklusive geeigneter Kabeltragsysteme,
- Elektroinstallationsarbeiten für Aufbau, Anschluss, Test und Inbetriebnahme der elektrischen Ladeinfrastruktur,
- Planungsarbeiten, z. B. Bauplanung, Elektroplanung, Bauüberwachung,
- Softwarekosten für Managementsysteme, z. B. Lademanagementsystem, Betriebshofmanagementsystem.

Während die Kosten für den Netzanschluss, die benötigten Transformatoren und die Ladegeräte vornehmlich von der erforderlichen Leistung abhängen, sind die restlichen aufgeführten Kostenblöcke stark abhängig von der individuellen Implementierung vor Ort. In kleineren, überschaubaren Projekten spielen die Kosten für Tiefbau und Anschlussleitungen eine eher geringere Rolle, während bei umfangreichen, großflächigen Ladeinfrastrukturen hohe Kosten für diese Bereiche anfallen können.

Weiterhin ist zu beachten, dass keine lineare Zuordnung zwischen Fahrzeuganzahl und zu installierender Ladeleistung vorliegt bzw. sinnvoll ist. Mit wachsender Flottengröße wächst üblicherweise auch das Potenzial der Mehrfachnutzung von Ladeinfrastruktur, die installierte Ladeleistung pro Fahrzeug sinkt entsprechend. Bei Kleinflotten mit CCS-Ladesteckern kann hingegen eine zu installierende Ladeleistung von bis zu 150 kW pro Fahrzeug durchaus sinnvoll sein. Bei größeren Flotten kann durch Mehrfachnutzung dieser Wert im Flottendurchschnitt auf 75 kW bis 50 kW pro Fahrzeug reduziert werden. Indem der Anlagenausnutzungsgrad erhöht wird, sinken die Infrastrukturkosten pro Fahrzeug. Gleichzeitig steigt jedoch der Planungs- und Steuerungsaufwand eines solchen Ansatzes. Der Markt für Ladesysteme im Nutzfahrzeugsektor

befindet sich noch in einem jungen Stadium und ist daher durch eine große Offenheit gekennzeichnet, was zu einer Vielzahl neuer und innovativer Akteure führt. Die Anbietervielfalt dürfte mittelfristig zu einer Reduktion der Preise für Ladeinfrastruktur (pro installierten kW Leistung) führen, dies war im Zeitraum des Förderprogramms jedoch nicht erkennbar. Gleichzeitig gewinnt die Ladeinfrastruktur mit wachsenden Flottengrößen an Bedeutung. Ladeinfrastruktur entwickelt sich von der Ladesäule zum Ladesystem. Das Gesamtsystem wird durch Steuerungs- und Managementsysteme intelligenter und übernimmt komplexere Funktionen. In der Folge wird im Ladesystem nicht mehr zwingend jeder Stellplatz mit einem eigenen autarken Ladesystem ausgestattet.

Durch die Mehrfachnutzung von Ladeinfrastruktur kann der Bedarf an Ladeelektronik pro Fahrzeug und damit auch die verbundenen Kosten nennenswert gesenkt werden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Position „Ladegeräte“ nur einen der oben dargestellten Kostenblöcke darstellt. Insbesondere bei größeren Batteriebusflotten sind teils umfangreiche Baumaßnahmen für die Ertüchtigung des Betriebshofs erforderlich. Zum Beispiel ist bei Kleinflotten häufig eine Verlegung der Stellplätze in die Nähe passender Installationsorte für die Ladeinfrastruktur möglich. Bei größeren Flotten muss die Infrastruktur hingegen in das bestehende Stellplatzkonzept integriert werden, sodass allein aufgrund der Kabel- und Leitungswege größere Areale von Umbaumaßnahmen betroffen sind. Vielfach fallen die Anschaffungskosten der Ladegeräte gegenüber den sonstigen Bau- und Einrichtungskosten vergleichsweise gering aus. Somit besteht zumindest der subjektive Eindruck, dass die Preisreduktion im Bereich der Ladegeräte zwar einen Mehrwert bietet, aber im Zuge einer Flottenelektrifizierung nur einen geringeren Einfluss auf die Gesamtsystemkosten hat. Primäre Kostentreiber für die großflächige Einführung von Ladeinfrastruktur sind die Netzanschluss- bzw. Netzausbaukosten sowie die anwendungsspezifischen Baukosten.

2.2.3.3 Exkurs: Strompreis und dessen Zusammensetzung

Neben den Anschaffungskosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur stellen auch die Kosten für den Energiebezug einen wesentlichen Kostentreiber für den Betrieb von Elektrobussen dar. Die Strompreise unterliegen, wie bei allen Energieträgern und insbesondere auch bei Dieselkraftstoff, Schwankungen aufgrund der jeweiligen Marktsituation.

Im für den ÖPNV mit Bussen in den meisten Fällen relevanten Kundensegment der Industriekunden mit einem Jahresverbrauch von 0,16 bis 20 Mio. kWh und mittelspannungsseitiger Versorgung betrug der durchschnittliche Strompreis gemäß Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 0,2446 €/kWh im Jahr 2023 (2022: 0,432 €/kWh; 2021: 0,2138 €/kWh). Der Strompreis setzt sich dabei aus mehreren Komponenten zusammen, wie die folgende Abbildung verdeutlicht.

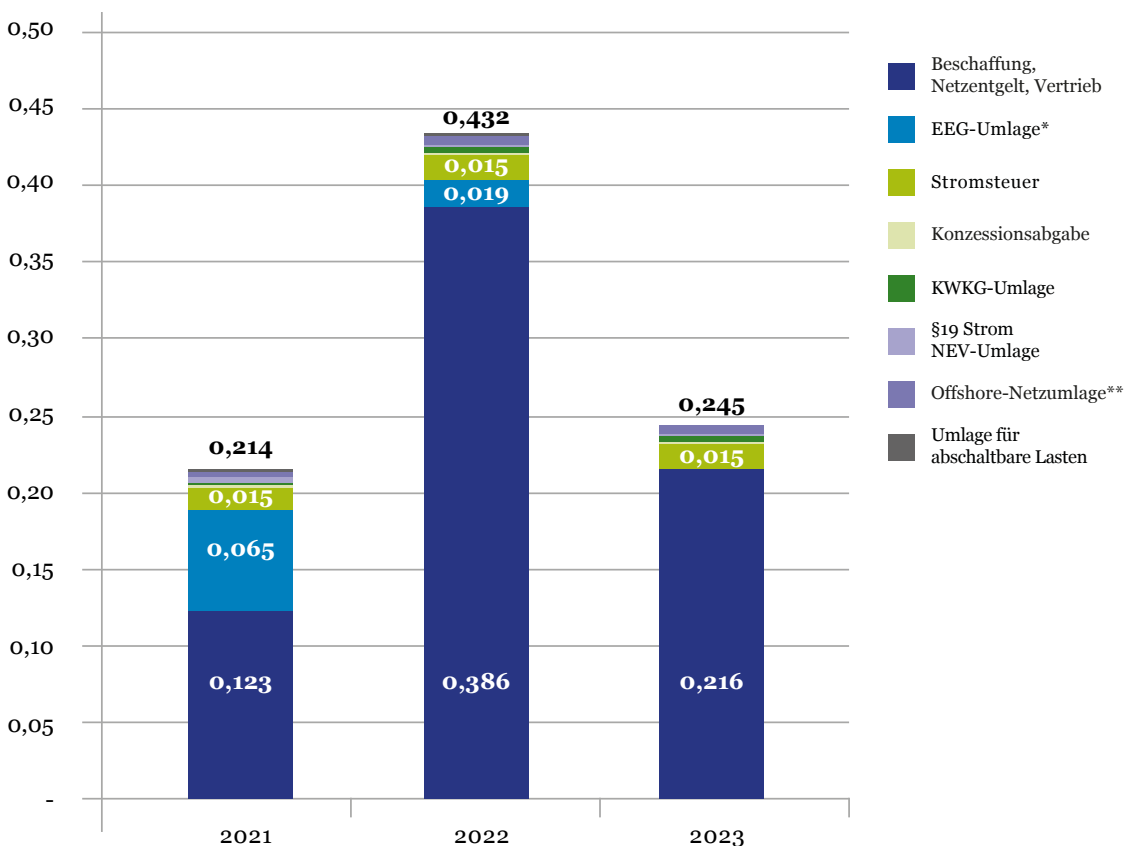


Abbildung 28: Strompreiszusammensetzung und -entwicklung für Industriekunden (nach BDEW 2024)

Dabei entfällt im Jahr 2023 mit 0,216 €/kWh der mit deutlichem Abstand größte Anteil (88,3 %) auf Beschaffung, Vertrieb und Netzentgelte, gefolgt von der Stromsteuer mit 0,01537 €/kWh (6,3 %) und sonstigen Abgaben und Umlagen in Höhe von 0,01323 €/kWh

(5,4 %) (BDEW 2024). Dies gilt insbesondere seit Entfall der EEG-Umlage ab dem 1. Juli 2022, die in den Vorjahren stets zwischen 0,06 und 0,07 €/kWh betrug.

2.2.4 Bisherige Bestandsentwicklung von Elektrobussen

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Fahrzeugbestände von Elektrobussen in Deutschland. Die Zahlen wurden dabei „bottom-up“ anhand öffentlich verfügbarer Daten erhoben (weitere Details siehe Anhang). Innerhalb des Betrachtungszeitraums ist eine äußerst dynamische Entwicklung des Fahrzeugbestands zu beobachten. Es spiegeln sich dabei mehrere Effekte wider. Einerseits zeigen sich die Effekte des hier untersuchten Förderprogramms und andererseits zeigt die CVD erste Effekte. Darüber hinaus verfolgen einige Kommunen eigene ambitionierte Klimaschutzziele, die sich auch auf die Entwicklung der lokalen Busflotte niederschlagen.

Zu Beginn dieser Begleitforschung wurden im Kontext der E-Bus-Bestandsanalyse drei Thesen aufgestellt, die während der Projektlaufzeit zur Einordnung und Interpretation überprüft wurden. Diese Thesen sind:

- **These 1:** Elektrobusse spielen bislang eher eine untergeordnete Rolle im deutschen straßengebundenen ÖPNV mit Omnibussen – unter anderem durch den regulatorischen Impuls der Clean Vehicles Directive wird sich dies jedoch ändern.

- **These 2:** Deutsche Verkehrsunternehmen haben für die Umstellung auf Elektrobusse auf die Markteinführung deutscher Fabrikate gewartet.
- **These 3:** Elektrobusse werden zunächst primär in großen Städten eingesetzt.

Am Ende dieses Kapitels wird abschließend und einordnend auf die Thesen eingegangen.

Der Elektrobusbestand hat sich in den vergangenen zehn Jahren in Deutschland dynamisch entwickelt. Seit dem Jahr 2018 ist ein exponentielles Wachstum zu erkennen (siehe folgende Abbildung). Der E-Bus-Bestand in Deutschland hat sich dabei von knapp über 200 Fahrzeugen im Jahr 2018 auf 2.640 Fahrzeuge im Jahr 2023 mehr als verdreizehnfacht, wovon deutlich mehr als die Hälfte durch den Bund (BMWK und BMDV) gefördert wurde. Die Anzahl der neu hinzugekommenen E-Busse liegt dabei im Jahr 2023 mit 782 Fahrzeugen rund 33 % über dem Vorjahreswert von 590 Bussen.

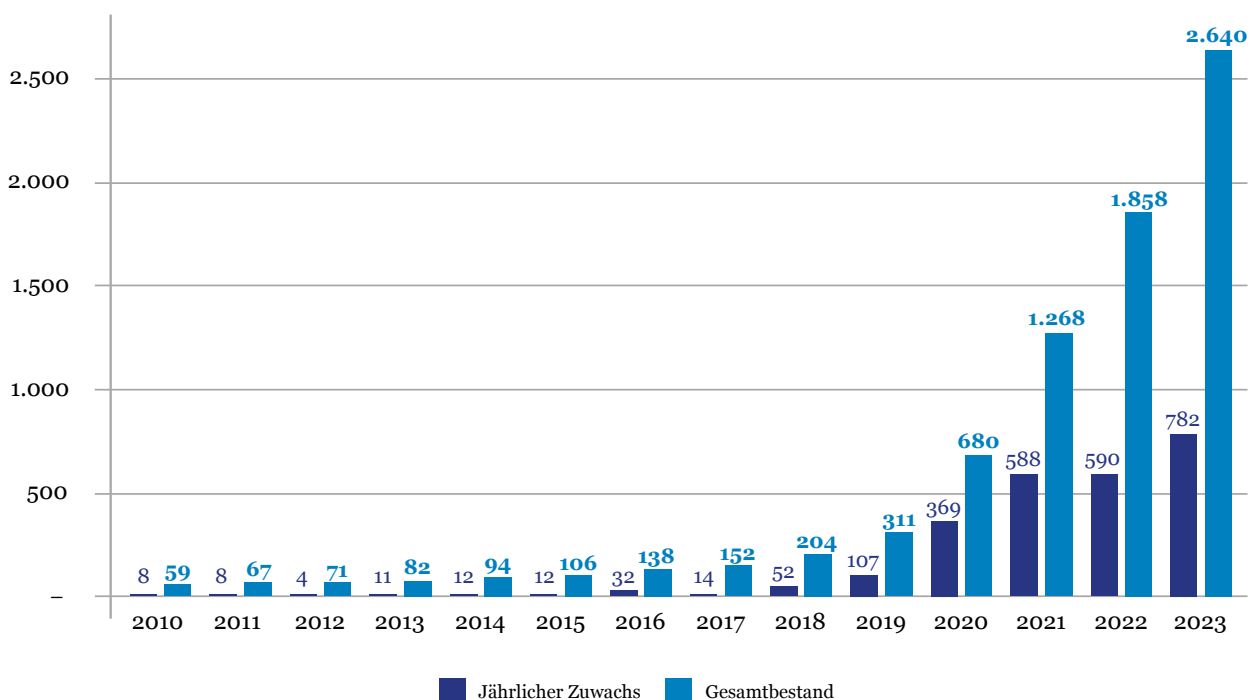


Abbildung 29: Elektrobusbestand im Ist (Datenstand: 31. Dezember 2023) (n=2.640)

Nichtsdestotrotz spielen Elektrobusse mit Blick auf den Gesamtbestand nach wie vor noch eine untergeordnete Rolle im deutschen straßengebundenen ÖPNV mit Omnibussen. Der Gesamtbestand in Deutschland beträgt gemäß Marktrecherchen von PwC aktuell rund 54.000 Busse, die für den ÖPNV eingesetzt werden. Dieser Wert stammt aus einer Hochrechnung, basierend auf den veröffentlichten Statistiken des VDV (Anzahl der für den ÖPNV eingesetzten Fahrzeuge der VDV-Mitglieder) und des Statistischen Bundesamts (Verkehrsleistung im ÖPNV in Deutschland) für das Jahr 2018. Bei einem Gesamtbestand von ca. 54.000 ÖPNV-Bussen in Deutschland repräsentieren Elektrobusse somit bereits heute gut 5 % der bundesdeutschen Flotte.

Für das Segment der CVD-relevanten Busse der Zulassungsklassen M3 I und A, die sogenannten „Stadtbusse“, kann aktuell von einer Flotte von rund 35.000 Fahrzeugen ausgegangen werden. Unter der Annahme, dass die aktuell eingesetzte E-Bus-Flotte zu sehr großen Teilen im Stadtverkehr eingesetzt wird, würde der CVD-relevante Flottenelektrifizierungsgrad sogar bei bis zu 7,5 % liegen, womit aktuell etwa jeder dreizehnte Stadtbus folglich mit einem elektrifizierten Antrieb ausgestattet wäre.

Der E-Bus-Anteil der Neubeschaffung steigt dabei im Zeitverlauf zunehmend an. Unter der Prämisse einer durchschnittlichen Nutzungsdauer der ÖPNV-Busse von 12 Jahren und der Annahme einer kontinuierlichen Neubeschaffung ergeben sich bei einem ÖPNV-Busbestand von 54.000 Fahrzeugen rechnerisch rund 4.500 Neuzugänge pro Jahr. Im Verhältnis dazu erreicht der E-Bus-Anteil an den Neubeschaffungen im Jahr 2023 mit hinzugekommenen 782 Elektrobussen in Deutschland mittlerweile knapp 14 %. Damit wird im dritten Jahr in Folge die 10 %-Marke überschritten.

Der E-Bus-Anteil der Neuzugänge ist daneben auch insbesondere im Kontext des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetzes bzw. der Clean Vehicles Directive zu sehen. Bezogen auf die Beschaffung CVD-relevanter Stadtbusse ergibt sich ein deutlich höherer Anteil

emissionsfrei angetriebener Busse an den Neubeschaffungen. Hier ergibt sich bei ansonsten gleichen Prämissen ein jährliches Beschaffungsvolumen von etwa 2.900 Fahrzeugen und damit ein Anteil emissionsfrei angetriebener Busse von fast 27 %. Dieser Näherungswert übersteigt bereits deutlich die aktuelle CVD-Vorgabe von 22,5 %. Da bei dieser Betrachtung zudem keine „Ausnahmen“, wie die Beschaffung von Fahrzeugen über Rahmenverträge, die vor Inkrafttreten des SaubFahrzeugBeschG geschlossen wurden, Berücksichtigung findet, ist davon auszugehen, dass die Beschaffungsvorgaben in der ersten CVD-Periode auf Bundesebene erfüllt werden können. Auch dies ist ein wesentliches Verdienst des vorliegenden Förderprogramms. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die landesweite Verteilung nicht gleichmäßig ist. In einigen Regionen und Städten sind sowohl die absoluten Beschaffungszahlen als auch die Anteile wesentlich höher (siehe Seite 52) und zeigen die dynamische Entwicklung im Bereich von Elektrobussen. Da die Beschaffungsquoten für emissionsfrei angetriebene Fahrzeuge gemäß CVD ab dem Jahr 2026 von mindestens 22,5 % auf 32,5 % ansteigen, ist eine deutliche Steigerung der emissionsfrei angetriebenen Neuanschaffungen und damit einhergehend ein weiteres deutliches Wachstum des Bestands zu erwarten, was sich auch in den Planungen der ÖPNV-Betreiber widerspiegelt (siehe Kapitel 2.2.5).

Nach der Betrachtung des Fahrzeugangebots hinsichtlich der Vielfalt der angebotenen Antriebstechnologien in Kapitel 2.2.2, die eine deutliche Dominanz des batterieelektrischen Antriebs gezeigt hat, steht im Folgenden nun die tatsächliche Technologiewahl auf der Nachfrageseite durch ÖPNV-Betreiber im Fokus. Daher erfolgt nun die Betrachtung des deutschen E-Bus-Bestands in Differenzierung nach den unterschiedlichen Antriebsarten.

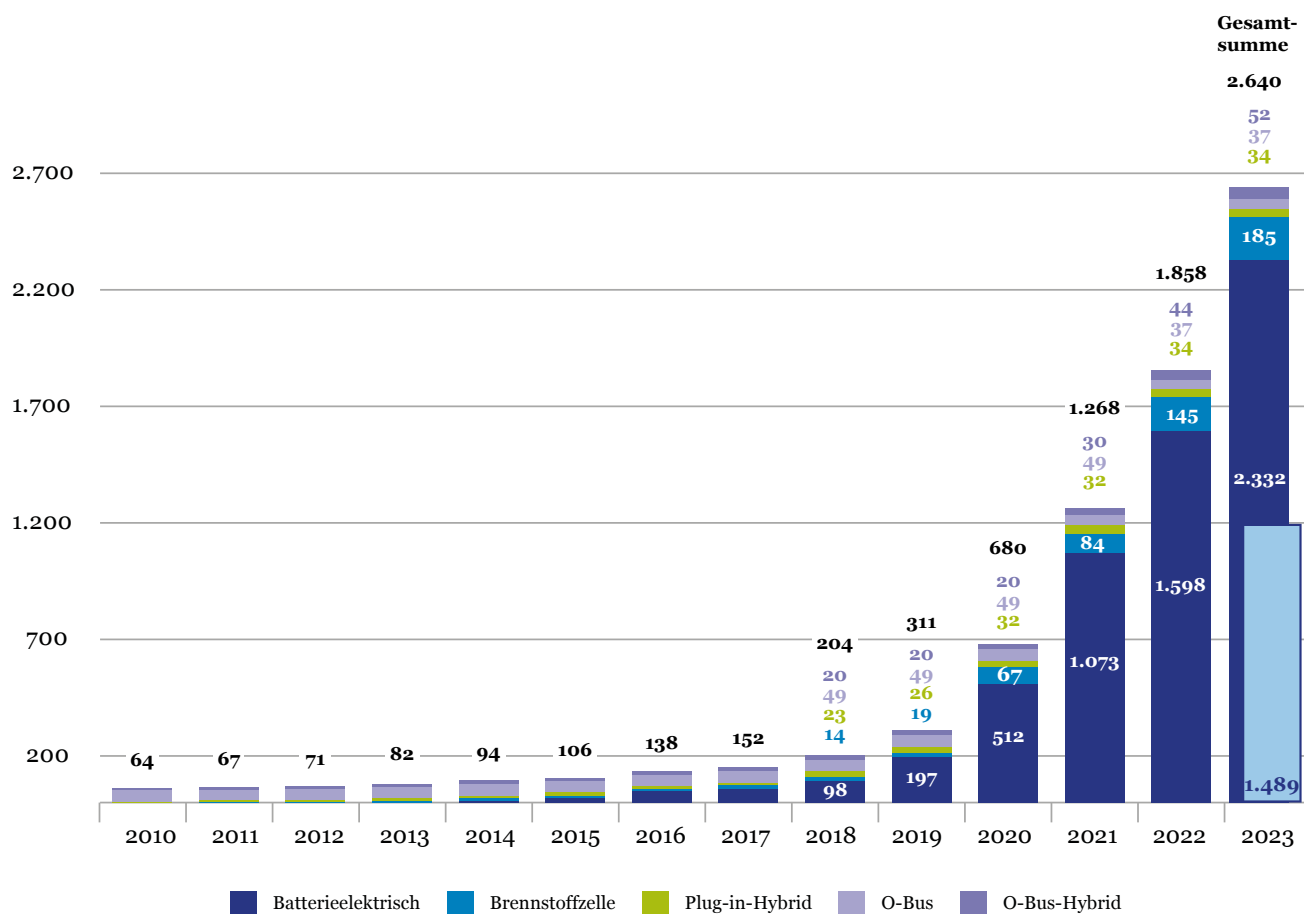


**Abbildung 30: Elektrobustbestand nach Antriebsarten
(Datenstand 31. Dezember 2023) (n=2.640)**

Zu Beginn der 2010er-Jahre war der Elektrobustbestand insbesondere durch O-Busse geprägt. Ausschlaggebend dafür sind die drei Städte Solingen, Esslingen und Eberswalde, in denen als einzige deutsche Städte O-Bus-Systeme betrieben werden. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass Plug-in-Hybridbusse eine insgesamt untergeordnete Rolle spielten und insofern als Brückentechnologie und aufgrund ihres geringen Marktanteils vermutlich mittelfristig aus dem Angebot gestrichen werden. So hat sich im Jahr 2023 der Bestand der Plug-in-Hybridbusse mit 34 Fahrzeugen nicht verändert, während der Gesamtbestand der Elektrobuste um 782 Fahrzeuge gestiegen ist. Da Plug-in-Hybridbusse im Sinne der CVD lediglich als sauber gelten, befinden sich am Ende

des Jahres 2023 unter den 2.640 deutschen E-Bussen insgesamt 2.606 emissionsfreie Busse in Betrieb. Der größte relative und absolute Zuwachs sowie der größte absolute Elektrobustbestand kann im Betrachtungszeitraum im Bereich der Busse mit batterieelektrischem Antrieb verzeichnet werden. Ihr Bestand hat sich von lediglich 61 Fahrzeugen im Jahr 2017 (vor Beginn des BMWK-Förderprogramms) auf 2.332 Fahrzeuge im Jahr 2023 massiv erhöht. Die Zuwachsrate liegt dabei leicht über dem Vorjahreswert (+46 % in 2023, +40 % in 2022). Das zunächst erkennbare exponentielle Wachstum zwischen den Jahren 2018 und 2021 hat sich dabei mittlerweile aber auf einem hohen Niveau stabilisiert. Aus den Bestandsmeldungen der Verkehrsunternehmen war insbesondere

gegen Ende des Jahres 2023 zu entnehmen, dass geplante Auslieferungen ins Jahr 2024 verschoben werden mussten. Zu vermuten ist an dieser Stelle unter anderem, dass die Bushersteller die Verzögerungen in der Produktion und Auslieferung aufgrund der globalen Störung der Lieferketten infolge von Covid-19-Pandemie und Ukrainekrieg und des Chipmangels noch nicht vollständig aufholen konnten.

Mit deutlicher Verzögerung wächst aber mittlerweile auch der Bestand der Brennstoffzellenbusse in Deutschland zunehmend und kann mit +28 % eine relativ hohe Wachstumsrate aufweisen. Zu dem Bestand von 145 Fahrzeugen im Jahr 2022 sind weitere 40 im Jahr 2023 hinzugekommen. Im Vergleich zum batterieelektrischen Antrieb liegt der Anteil der Brennstoffzellenbusse am Elektrobuss-Gesamtbestand jedoch nach wie vor auf konstant niedrigem Niveau und ist im Jahr 2023 sogar um einen Prozentpunkt auf 7 % gesunken. Ende des Jahres 2022 verkündeten mit Wiesbaden und Münster zudem mehrere Verkehrsunternehmen, den Einsatz der erst kürzlich eingeflotteten Brennstoffzellenbusse wieder zu beenden.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Zuwächse des Elektrobussbestands im Jahr 2023 weiterhin stark überwiegend auf Batteriebusse zurückzuführen sind. Somit hat sich der batterieelektrisch angetriebene Elektrobuss derzeit auch in den Flotten der ÖPNV-Betreiber in Deutschland mit einem Anteil von über 88 % aller emissionsfrei angetriebenen Busse als Standard etabliert. Diese dominante Rolle des Batteriebusses kann zum Stand der Untersuchung unter anderem auf die vergleichsweise höheren Gesamtkosten des Betriebs von Brennstoffzellenbussen gegenüber Batteriebussen (vergleiche Kapitel 3.2.2) in Kombination mit der nicht vorhandenen Fördermöglichkeit durch das BMWK-Förderprogramm (Effekte des anschließenden BMDV-Förderprogramms sind insbesondere in den Folgejahren zu erwarten) zurückgeführt werden. Darüber hinaus war das verfügbare Fahrzeugangebot bei Brennstoffzellenbussen, wie zuvor schon erläutert, signifikant geringer.

Auch in Bezug auf die Fahrzeugbauart emissionsfrei angetriebener Busse in Deutschland ergeben sich interessante Erkenntnisse.

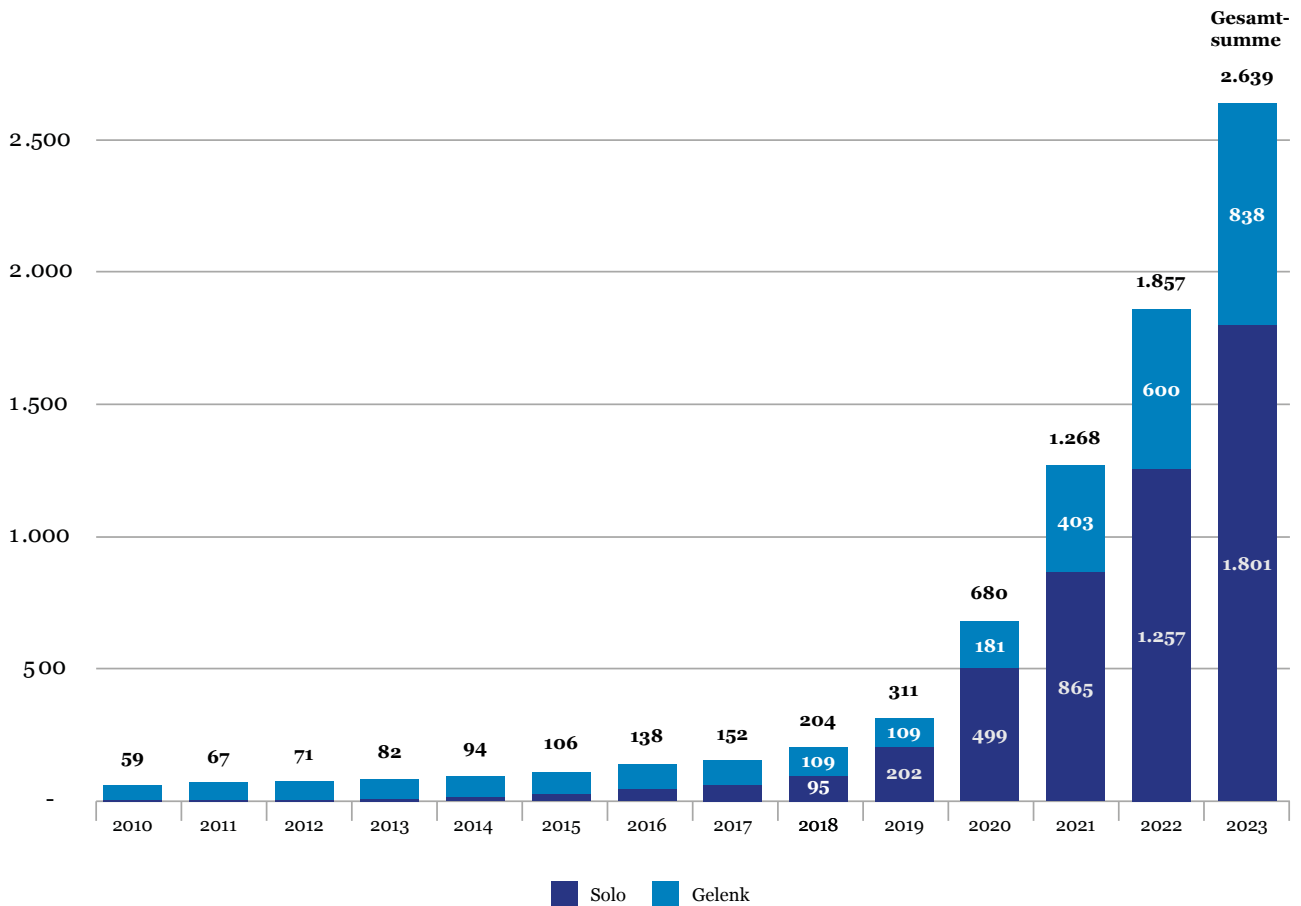


**Abbildung 31: Elektrobusbestand nach Fahrzeugart
(Datenstand 31. Dezember 2023) (n=2.639)**

Die Verteilung des aktuellen Elektrobusbestands nach der Bauart (Solo-/Gelenkbus) zeigt, dass zu Beginn der 2010er-Jahre fast ausschließlich Gelenkbusse eingesetzt wurden. Dies liegt an der Dominanz der O-Busse zu dieser Zeit. Alle im Jahr 2010 in Deutschland eingesetzten O-Busse waren Gelenkbusse. Im Verlauf der Zeit hat sich das Bild jedoch deutlich verändert. Insbesondere in den Jahren seit 2019 hat der Anteil der Solobusse an den emissionsfrei angetriebenen Bussen zugenommen. Solobusse repräsentieren gegenwärtig, ähnlich wie im Vorjahr, rund 70 % der in Deutschland eingesetzten Elektrobusse. Waren im Jahr 2018 noch weniger als die Hälfte der Elektrobusse Solofahrzeuge (97 von 214), sind im Jahr 2023 hingegen 1.801 von 2.640 Elektrobussen Solobusse. Daneben wird ein erster doppelstöckiger E-Bus in Berlin eingesetzt. Mit Blick in die VDV-Statistik 2021²¹

zeigt sich eine recht ähnliche Verteilung zwischen Solo- und Gelenkbussen für alle dort erfassten Busse, unabhängig von der Antriebsart. Hier sind rund 25.400 von 34.000 Bussen Solobusse (75 %).

Da Batteriebusse im Fokus des Förderprogramms des BMWK zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr stehen und diese zudem die mit Abstand am meisten verbreitete Antriebsart sind, konzentrieren sich die folgenden Analysen auf diese Antriebsart.

In Hinblick auf das Herkunftsland der Hersteller der in Deutschland eingesetzten Batteriebusse spielen, wie auch im Vorjahr, vier Länder eine wesentliche Rolle.

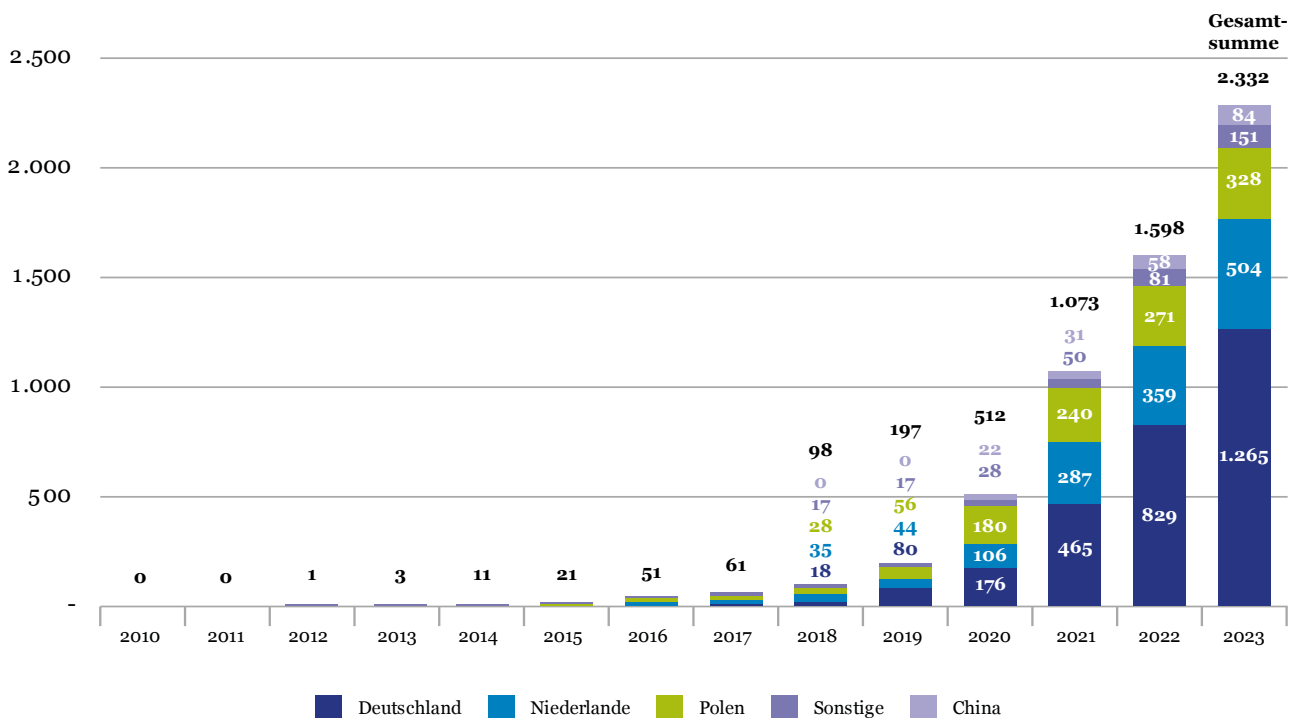


Abbildung 32: Batteriebusbestand nach Herkunftsland der Hersteller (Datenstand 31. Dezember 2023) (n=2.332)

Die in Deutschland eingesetzten Elektrobusse stammen zum größten Teil aus der Produktion von Herstellern mit Sitz in Deutschland (1.265), den Niederlanden (504) und Polen (328). Der Bestandszuwachs der letzten drei Jahre ist dabei insbesondere durch Fahrzeuge deutscher und niederländischer Hersteller geprägt. So stammen ca. 61 % der in den Jahren 2021 bis 2023 neu hinzugekommenen Batteriebusse von deutschen und 22 % von niederländischen Herstellern. Weitere 8 % der in diesem Zeitraum beschafften Batteriebusse entfallen auf Hersteller aus Polen und 3 % auf chinesische Fabrikate. Der Rest entfällt auf diverse weitere Herkunftsländer. Hersteller aus China spielen somit im Gegensatz zu ihrer starken Präsenz auf dem Weltmarkt in Deutschland eine deutlich untergeordnete Rolle.

Darüber hinaus ist in der relativen Betrachtung des Batteriebusbestandes festzustellen, dass der Anteil kleinerer Hersteller aus unterschiedlichen europäi-

schen Herkunftsländern, diese fallen unter „Sonstige“, sukzessive abnimmt. Im Jahr 2017 lag deren Anteil am jährlichen Zuwachs noch bei rund 30 %, wohingegen dieser bis zum Jahr 2023 auf unter 4 % gefallen ist. Daneben ist in Bezug auf die Hersteller mit Sitz in Deutschland ein wesentlicher Trend über die letzten sechs Jahre zu erkennen. Der Anteil deutscher Hersteller am Bestandszuwachs hat seit 2017 (18 %) eine kontinuierliche Steigerung erfahren, im Jahr 2023 entstammen mit 63 % deutlich mehr als die Hälfte der Batteriebus-Beschaffungen aus der Produktion deutscher Hersteller. Die Anzahl deutscher Fabrikate ist insbesondere nach der Markteinführung des Fahrzeugmodells „eCitaro“ von EvoBus deutlich angestiegen (insgesamt rund 900 Fahrzeuge entfallen auf dieses Modell). Auch MAN bietet mit dem Modell „Lion’s City E“ Batteriebusse als Solo- und Gelenkgefäße an, hier befinden sich bereits rund 330 Fahrzeuge im Bestand.

Zusammenfassend lässt sich einordnen, dass es sich bei Batteriebusen zunächst über einen längeren Zeitraum um eine Nischentechnologie handelte, die hierzulande anfangs von Kleinserienherstellern und Marktakteuren aus dem Ausland angeboten wurde. Durch das starke Wachstum des Marktes, nicht zuletzt aufgrund der sich abzeichnenden Pull-Wirkung durch die Förderung der Bundesregierung, haben etablierte deutsche Anbieter ihr Portfolio verstärkt auf den Markt ausgerichtet. Die Analyse des E-Bus-Angebots in Kapitel 2.2.2 hat ein breites Herstellerspektrum und eine große Modellvielfalt gezeigt. Insgesamt konnten 58 Hersteller identifiziert werden, die Batteriebusse anbieten. Mit Blick auf die Neuzugänge im Jahr 2023 ist jedoch festzustellen, dass nur etwa 20 % dieser Hersteller auch tatsächlich Batteriebusse in

Deutschland ausgeliefert haben (13 Hersteller). Des Weiteren zeigt sich, dass etablierte deutsche Hersteller ihre Marktanteile weiter ausbauen. Die Anteile der Neuzugänge der Hersteller Daimler Buses und MAN machen 75 % der gesamten Batteriebus-Neuzugänge des Jahres 2023 aus. Die Top 5 – erweitert um Ebusco, Solaris und VDL – kommen auf einen Anteil von 87 %. Es ist somit herstellerseitig bereits eine deutliche Marktkonzentration zu beobachten.

Batteriebusbestände nach Einsatzgebieten

Neben den Herkunftsländern der Hersteller der im Einsatz befindlichen Batteriebusse wurde auch deren Einsatzort erfasst. In der folgenden Tabelle sind die fünf Bundesländer mit den meisten derzeit im Einsatz stehenden Batteriebussen dargestellt.

Top 5 Bundesländer Ist 2023, absolut und relativ			
Platzierung	Bundesland	Anzahl Batteriebusse	Anteil am deutschen E-Bus-Gesamtbestand
Platz 1	Hamburg	385	16,5 %
Platz 2	Nordrhein-Westfalen	334	14,3 %
Platz 3	Hessen	292	12,5 %
Platz 4	Bayern	264	11,3 %
Platz 5	Niedersachsen	239	10,2 %

Tabelle 6: Top 5 Bundesländer nach Batteriebusbestand, absolut und relativ

Top 5 Bundesländer Ist 2023, bezogen auf Einwohner		
Platzierung	Bundesland	Anzahl Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner
Platz 1	Hamburg	209,1
Platz 2	Schleswig-Holstein	68,7
Platz 3	Berlin	62,8
Platz 4	Hessen	46,6
Platz 5	Mecklenburg-Vorpommern	35,4

Tabelle 7: Top 5 Bundesländer nach Batteriebusbestand, normiert

Bei relativer Betrachtung (Anzahl der Batteriebusse je eine Million Einwohner) ändert sich das Bild. Im Vergleich zur Betrachtung der absoluten Werte sind nun Berlin, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-

Vorpommern anstelle von Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen in den Top 5 vertreten.

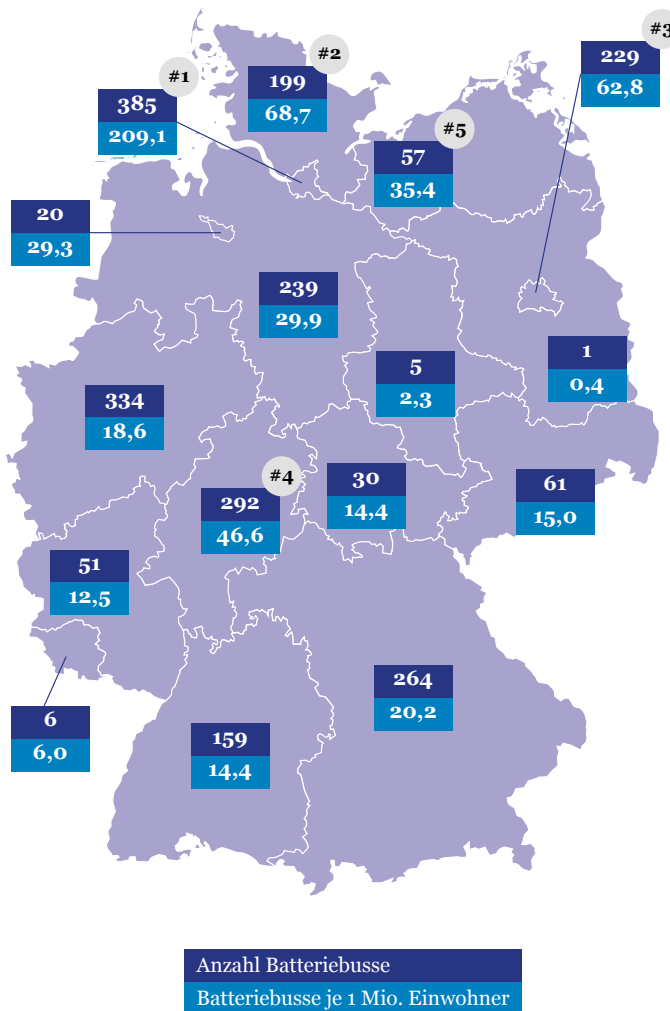


Abbildung 33: Kartografische Darstellung der Batteriebusbestände der Bundesländer absolut und relativ

Die kartografische Darstellung des Batteriebusbestands im Ist zeigt, dass im Jahr 2023 in allen Bundesländern Batteriebusse eingesetzt werden. Im Jahr 2021 war dies in Brandenburg, Bremen und Sachsen-Anhalt noch nicht der Fall. Bezogen auf die Einwohnerzahl zeigt sich auch weiterhin ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Stadtstaaten Ham-

burg und Berlin und den meisten Flächenländern. In Hamburg und Berlin werden 209 bzw. 63 Batteriebusse je eine Million Einwohner eingesetzt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die großen Städte unabhängig von der Flottentransformation ein dichteres Busnetz aufweisen als Flächenländer.

In Schleswig-Holstein hat sich im vergangenen Jahr der Batteriebusbestand um 40 % (+81 Fahrzeuge) gesteigert, in der relativen Bestandsbetrachtung liegt das Bundesland auf Platz 2. Die meisten Fahrzeuge werden dabei in der Landeshauptstadt Kiel eingesetzt.

Interpretation der Ergebnisse

Zur Interpretation der Ergebnisse werden nun die eingangs aufgestellten Thesen überprüft.

These 1 kann anhand der vorliegenden Daten bestätigt werden. Elektrobusse spielen, bezogen auf den gesamten Busbestand in Deutschland, derzeit noch eine untergeordnete Rolle. Bezogen auf einen

Gesamtbestand von 54.000 ÖPNV-Bussen machen E-Busse einen Anteil von 5 % aus. Ausgehend von einem Gesamtbestand von 35.000 CVD-relevanten Stadtbussen liegt der Anteil bei 7,5 %.

Mit Blick auf die jährlichen Bus-Neuzulassungen zeigt sich auch im Jahr 2023 ein dominierender Anteil konventioneller Verbrennungsantriebe, wenngleich der Anteil der E-Bus-Neuzugänge seit dem Jahr 2018 jährlich deutlich wächst. Während die E-Bus-Neuzugänge im Jahr 2018 hier noch einen Anteil von 2 % hatten (bezogen auf geschätzte 2.900 Beschaffungen von Stadtbussen p. a.), stieg dieser bis zum Jahr 2023 auf knapp 27 %.

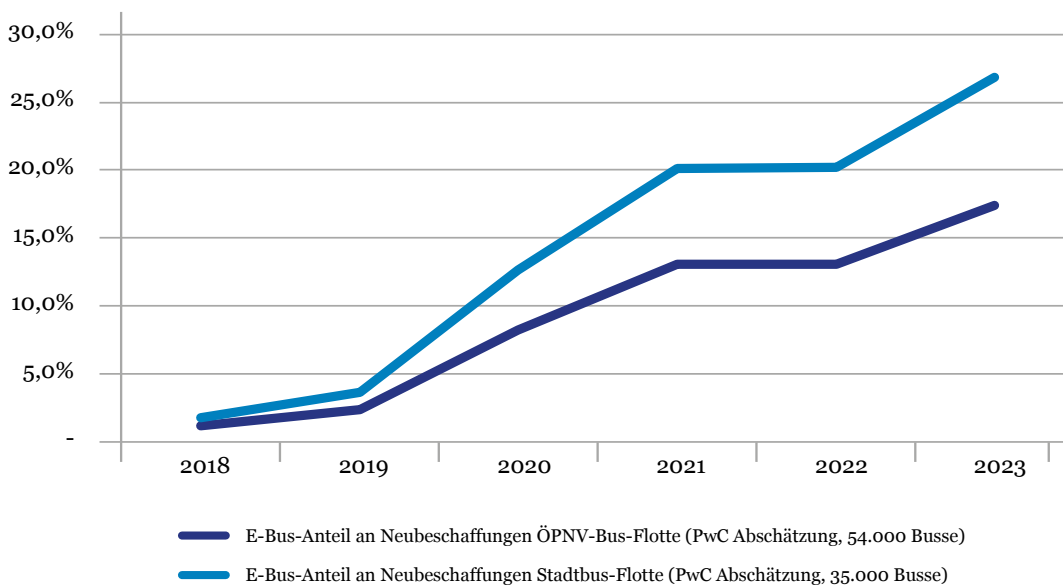


Abbildung 34: Entwicklung des Anteils der E-Bus-Neuzugänge

Die Clean Vehicles Directive hat maßgeblichen Einfluss auf die kürzliche und zukünftige Bestandsentwicklung

Es lassen sich zwei wesentliche politische bzw. regulatorische Faktoren festmachen, die einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung der E-Bus-Bestände haben. Die Umsetzung der Vorgaben der Clean Vehicles

Directive, die bundesweit seit August 2021 feste Beschaffungsquoten für „saubere“ und „emissionsfreie“ Fahrzeuge im Sinne der Verordnung vorschreibt, hat die Beschaffungsplanung der Verkehrsunternehmen unmittelbar beeinflusst. Um die Anforderung „emissionsfrei“ zu erfüllen, ist insbesondere der Einsatz von elektrisch angetriebenen Bussen erforderlich.

Bezogen auf die jährlichen Beschaffungen der CVD-relevanten Stadtbusflotte müssen schätzungsweise jährlich mindestens etwa 1.300 Busse mit sauberen bzw. 650 Busse mit emissionsfreien Antrieben beschafft werden. In der zweiten Periode erhöhen sich diese Beschaffungsziele auf etwa 1.900 (65 %) saubere und 950 (32,5 %) emissionsfreie Busse. Die Analyse konnte zeigen, dass das emissionsfreie Beschaffungsziel von 650 Bussen im Jahr 2023 mit 774 bereits deutlich erfüllt werden konnte. Im Jahr 2022 näherten sich die Beschaffungen emissionsfreier Busse mit einer Zahl von 586 ebenfalls bereits an dieses Beschaffungsziel an. Die Vorgaben für saubere Busse, die jedoch nicht zwingend emissionsfrei sein müssen, erfüllen unter anderem auch Plug-in-Hybridbusse sowie mit Erdgas bzw. Biogas betriebene Busse. Es ist insofern zu erwarten, dass der Anteil der emissionsfreien Fahrzeuge bei den Beschaffungen in Zukunft einen größeren Anteil als die vorgegebenen 22,5 % bzw. 32,5 % ausmachen wird. So dürften die Verkehrsunternehmen versuchen, neben den bisher eingesetzten Dieselnissen lediglich eine weitere Fahrzeugtechnologie einzusetzen. Bei dieser Einschätzung ist jedoch zu beachten, dass eine gesamtdeutsche Perspektive eingenommen wird. So zeigen die Zahlen auch, dass die Anteile national nicht gleich verteilt sind und in einigen Regionen bzw. Städten Deutschlands sowohl wesentlich höhere als auch geringere Anteile von Elektrobussen zu beobachten sind.

BMW-K-Förderprogramm zeigt deutlichen Einfluss auf die Entwicklung des E-Bus-Bestands in Deutschland

Das hier untersuchte Förderprogramm kann neben der CVD als zweite maßgebliche Einflussgröße für die Bestandsentwicklung und den deutlich erkennbaren Markthochlauf elektrifizierter Busse in Deutschland identifiziert werden. Die quantitative Wirkungsanalyse zeigt, dass von insgesamt 2.332 batterieelektrischen Bussen, die bis Ende des Jahres 2023 beschafft wurden, 1.452 Busse mit Mitteln aus dem BMW-K-E-Bus-Förderprogramm gefördert wurden (Stand Ende des Jahres 2023). Über 60 % der deutschen E-Bus-Flotte haben somit eine Förderung der Investitionsmehrkosten bei der Fahrzeuganschaffung aus diesem Programm erhalten. Die Relevanz des BMW-K-Förderprogramms hinsichtlich der E-Bus-Markttaktivierung lässt sich dabei auch in der jährlichen Gegenüberstellung der E-Bus-Bestandentwicklung bzw. der E-Bus-Marktanteile mit den Beschaffungen aus dem BMW-K-Förderprogramm deutlich erkennen.

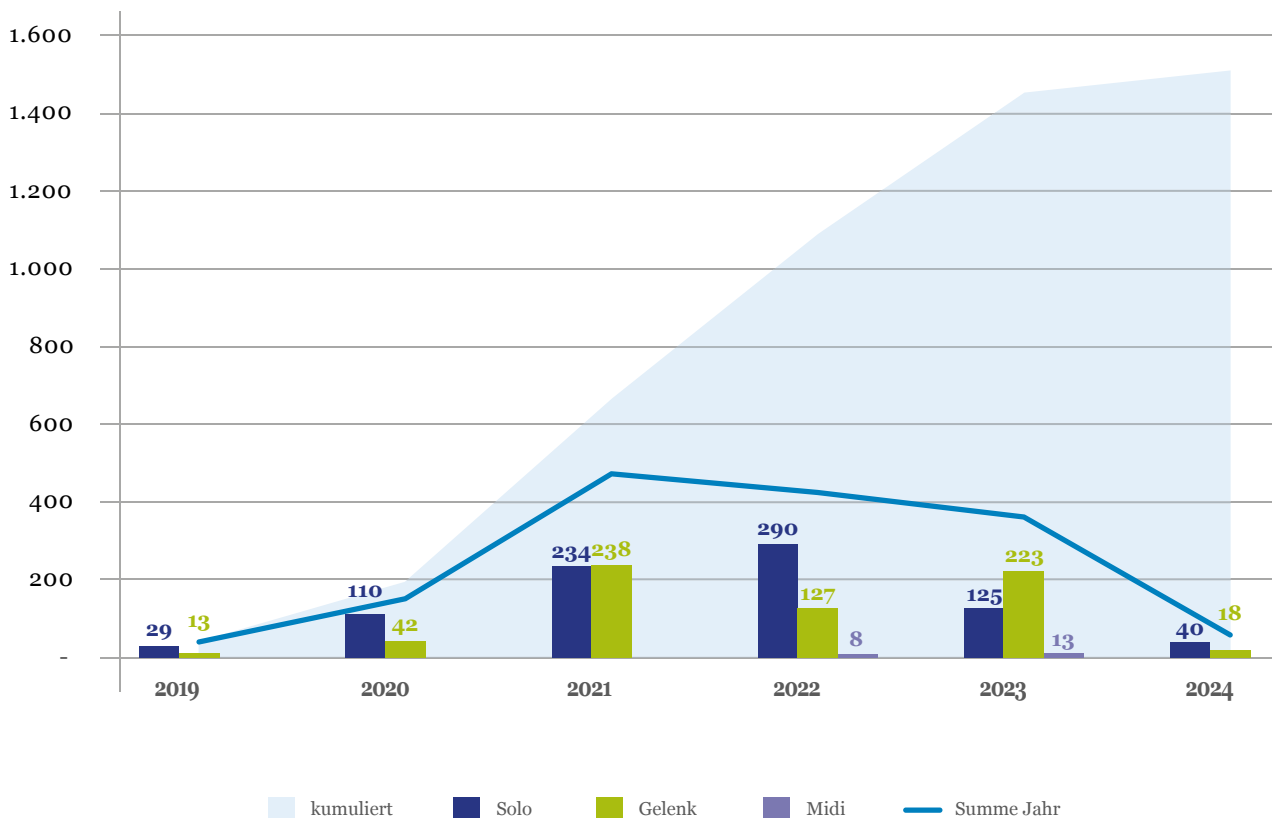


Abbildung 35: Bisherige und geplante Busbeschaffungen im Rahmen des BMWK-Förderprogramms

These 2 zielt darauf ab, warum die Entwicklung des Elektrobustbestands zu Beginn der Begleitforschung im Jahr 2018 weniger dynamisch verlief als in anderen europäischen Ländern (wie beispielsweise den Niederlanden). Als Ursache wird der Umstand betrachtet, dass insbesondere die etablierten deutschen Hersteller bislang noch keine Elektrobusse in ihrem Produktportfolio hatten. Dieser Umstand hat sich im Jahr 2018 verändert, als unter der Marke Mercedes-Benz des Herstellers EvoBus (heute Daimler Buses) das Modell „eCitaro“ auf den Markt gebracht wurde. Die zur Auswertung des Ist-Bestandes dargestellte Übersicht zeigt, dass die Anzahl der Elektrobusse in Deutschland seit dem Jahr 2018 deutlich gestiegen ist und dabei auch zu einem erheblichen Anteil Fahrzeuge deutscher Hersteller beschafft wurden. Der Anteil der deutschen Hersteller Daimler Buses und MAN am E-Bus-Bestand ist von 12 % im Jahr 2018

auf rund 50 % im Jahr 2023 gewachsen. Wesentlicher Treiber ist dabei die erwähnte Einführung des eCitaro, auf den bisher mit deutlichem Abstand der größte Anteil an den Elektrobussen deutscher Hersteller entfällt. Zudem brachte MAN den Lion's City E in der 12-m-Variante Mitte des Jahres 2020 auf den Markt, etwas später folgte die Gelenkbusvariante. Die Analyse zeigt, dass der größte absolute Zuwachs inzwischen im dritten Jahr in Folge bei Fahrzeugen deutscher Hersteller liegt. Im Jahr 2020 war der größte Zuwachs noch auf polnische Fabrikate zurückzuführen. Die Analyse der E-Bus-Bestandsentwicklung lässt insofern vermuten, dass die deutschen Verkehrsunternehmen auf die Einführung von entsprechenden E-Bus-Modellen seitens der etablierten deutschen Hersteller gewartet haben. Viele Verkehrsunternehmen führen langjährige Lieferantenbeziehungen zu ausgewählten Herstellern und legen besonderen

Wert auf ein etabliertes und gut ausgebautes Service-netz (häufiges Bewertungskriterium in Vergabeverfahren), welches durch relativ junge Hersteller häufig nicht abgedeckt werden kann. In Verbindung mit den rechtlichen Vorgaben der CVD und der wirkungsvollen Förderung der Investitionsmehrkosten durch das BMWK-Förderprogramm kann die E-Bus-Marktentwicklung der letzten fünf Jahre und der einhergehende Markthochlauf erklärt werden.

Batteriebusse kommen zunehmend auch in der Fläche – abseits der Großstädte – an

Zusätzlich soll an dieser Stelle betrachtet werden, inwieweit Elektrobusse nur in großen Städten eingesetzt werden (**These 3**). Bereits die Analyse der Batteriebusbestände nach Bundesländern hat gezeigt, dass die Stadtstaaten hierbei eine bedeutende Rolle spielen. In der nachstehenden Tabelle ist eine erweiterte Auswertung der Top-10-Städte mit eingesetzten

batterieelektrischen Bussen im Jahr 2023 dargestellt, die insgesamt 51 % des aktuellen Bestandes in Deutschland repräsentieren. Zeichnete sich über die vergangenen Jahre ein deutlicher Wachstumstrend des Elektrobustbestands vor allem in Großstädten ab, so zeigen sich ab dem Jahr 2022 erstmals deutliche Anzeichen für eine Verschiebung dieser Entwicklung in Richtung kleinerer Städte bzw. weniger dicht besiedelter Räume. Der Anteil der Top-10-Städte fiel im Jahr 2022 erstmals deutlich auf 54 % (2020: 63 %, 2021: 66 %). Diese Entwicklung setzt sich auch im Jahr 2023 fort und es lässt sich mit Blick auf die raumstrukturelle Verteilung des Batteriebusbestandes ableiten, dass Batteriebusse zunehmend auch abseits der Großstädte eingesetzt werden.

Top-10-Städte Ist 2023			
Platzierung	Stadt	Anzahl Batteriebusse	Anteil am deutschen Batteriebusbestand
1	Hamburg	385	16,5 %
2	Berlin	229	9,8 %
3	Kiel	95	4,1 %
4	Nürnberg	92	3,9 %
5	Münster	78	3,3 %
6	Köln	70	3,0 %
7	Frankfurt am Main	68	2,9 %
8	Hannover	66	2,8 %
9	Lübeck	55	2,4 %
10	München	49	2,1 %

Tabelle 8: Top-10-Städte nach Anzahl der Batteriebusse im Jahr 2023 (n=2.332)

Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass auf den Plätzen 1 bis 5 lediglich zwei Städte enthalten sind, die weniger als 500.000 Einwohner aufweisen. Zudem sind alle zehn Städte Großstädte mit mehr als 100.000 Einwohnern. Weiterhin fällt auf, dass alle vier deutschen Städte mit mehr als einer Million Einwohnern in den Top 10 enthalten sind. Insgesamt kann somit die These bestätigt werden, dass Elektrobusse vorrangig in großen Städten eingesetzt werden, jedoch ist dieser Trend seit dem Jahr 2022 rückläufig. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass es mittlerweile diverse erfolgreiche Beispiele für den Einsatz von Elektrobussen im ländlichen Raum gibt. Dazu zählen stellvertretend der Einsatz im Kreis Ludwigslust-Parchim, wo inzwischen 45 Batteriebusse im ländlichen Raum eingesetzt werden, oder auch das Beispiel Bad Langensalza.

Zudem ist zu erkennen, dass die Investitionsentscheidungen einzelner Verkehrsbetriebe bzw. ihrer ÖPNV-Aufgabenträger häufig auch auf lokalpolitische Zielsetzungen und auch auf unternehmerische Innovationsbereitschaft zurückzuführen sind, frühzeitig bestimmte Technologien zu erproben und diese sukzessive in den regulären Betriebseinsatz zu überführen.

2.2.5 Zukünftige Bestandsentwicklung von Elektrobussen

Viele Verkehrsunternehmen haben bereits nennenswerte Flotten aufgebaut und einige planen bereits die vollständige Umstellung auf emissionsfreie Antriebe. Dass E-Busse in Zukunft eine immer größere Bedeutung einnehmen werden, zeigt auch die folgende Analyse der aktuell bereits bekannten geplanten Beschaffungen von E-Bussen in Deutschland.

Nachdem in Kapitel 2.2.4 die Elektrobus-Bestandszahlen bis zum Stichtag 31. Dezember 2023 im Ist dargestellt wurden, sollen in diesem Abschnitt die absehbaren Entwicklungen bis zum Jahr 2030 analysiert werden. Methodisch basiert die hier vorgestellte Erfassung der Entwicklung ebenfalls auf einer „Bottom-up“-Methodik, die auf Ausschreibungen, Unternehmensplanungen und anderen öffentlich kommunizierten Planungen der Unternehmen bzw. Aufgabenträger basiert. Insofern handelt es sich bei den folgenden Analysen ausdrücklich nicht um Hochrechnungen oder Prognosen, sondern um eine Darstellung bereits heute bestehender, konkreter Pläne. Interne und bisher nicht öffentlich gemachte Planungen bzw. noch nicht weiter konkretisierte Überlegungen der betreffenden Unternehmen und Aufgabenträger lassen zukünftig weiter steigende Zahlen für den Elektrobusbestand erwarten. Für den Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030 wird aufgrund der heute üblichen Nutzungsdauer eines im ÖPNV eingesetzten Busses von rund 12 Jahren unterstellt, dass keiner der neu hinzukommenden Elektrobusse wieder außer Dienst gestellt wird (bzw. nicht durch einen neuen Elektrobus ersetzt wird).

Die folgende Abbildung zeigt den für die Jahre 2024 bis 2030 geplanten jährlichen Zuwachs von Elektrobussen in den Flotten deutscher ÖPNV-Betreiber und die daraus folgende Entwicklung des Gesamtbestandes. Dies zeigt bereits zu Beginn der Analyse, dass sich die dynamische Entwicklung der Elektrobusflotte in Deutschland, die bereits in den letzten Jahren eingesetzt hat, weiterhin fortsetzen wird.

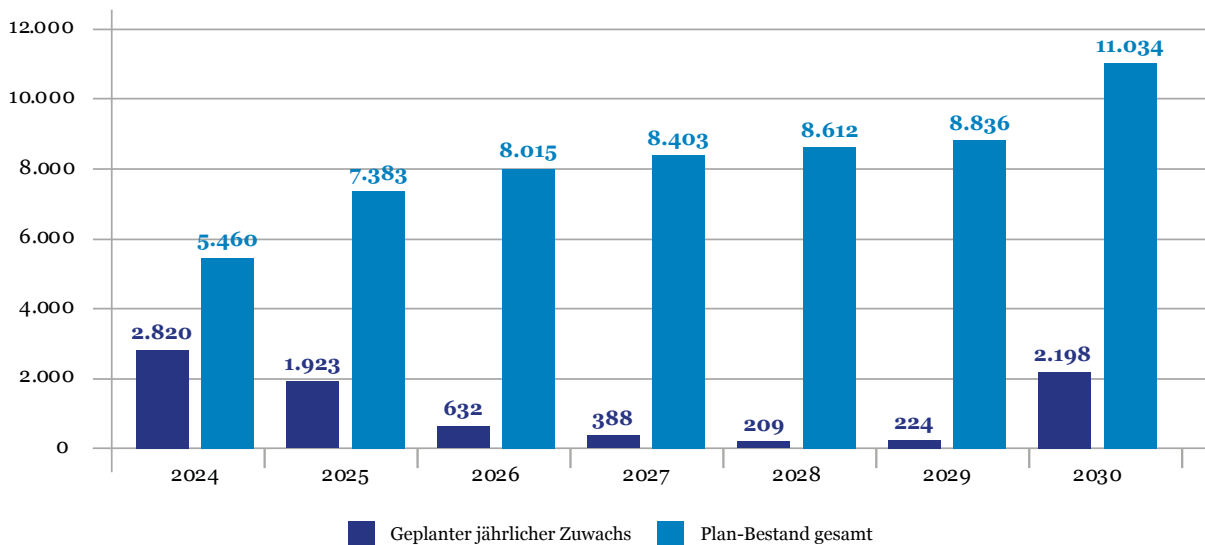


Abbildung 36: Elektrobusbestand bis zum Jahr 2030 (n=11.034)

Die Schwelle von 1.000 im Einsatz stehenden Elektrobussen wurde bereits im Jahr 2021 überschritten und die Schwelle von 2.000 Fahrzeugen zu Beginn des Jahres 2023 erreicht. Allein für das Jahr 2024 sind aktuell Planungen für die Einfloftung von weiteren 2.820 E-Bussen bekannt, was den aktuellen Bestand zum Ende des Jahres 2023 innerhalb eines Jahres mehr als verdoppeln würde. Hierin enthalten sind auch Beschaffungen, die im Jahr 2023 nicht mehr realisiert werden konnten und somit ins Folgejahr verschoben werden mussten. Die Analyse der kurzfristigen Beschaffungsplanungen zeigte, dass einige Hersteller die Auslieferungsverspätungen z. B. aufgrund von Problemen in den Lieferketten oder der Halbleiterverfügbarkeit noch nicht gänzlich aufholen konnten. In diesem Kontext ist es daher wahrscheinlich, dass sich auch ein Teil der für das Jahr 2024 geplanten E-Bus-Beschaffungen wiederum ins Folgejahr verschieben könnte.

Zum Ende der ersten CVD-Periode im Jahr 2025 ist auf Basis der aktuell verfügbaren Informationen ein Elektrobusbestand von knapp 7.400 Fahrzeugen zu erwarten (Vorjahr 2022: 5.800, 2021: 4.000). Somit wäre etwa jeder siebte Bus im ÖPNV bzw. etwa jeder fünfte Stadtbuss mit einem elektrifizierten An-

trieb ausgerüstet. Im Jahr 2030 werden dann gemäß den heute bekannten Planungen bereits über 11.000 Elektrobusse im deutschen ÖPNV eingesetzt. Im Vergleich zum letzten Datenstand aus dem Jahr 2021 sind hier Pläne für über 5.000 weitere Elektrobusse hinzugekommen. Diese zusätzlichen Fahrzeuge verteilen sich zum größten Teil auf die Jahre bis 2026.

Dies bedeutet aber auch, dass die im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung verankerte Zielsetzung, wonach 50 % der Stadtbusse im Jahr 2030 emissionsfrei betrieben werden sollen, auf Basis der bereits bekannten Planungen verfehlt werden dürfte. Bei einer Bezugsgröße von 35.000 Stadtbussen würde nach heutigem Stand lediglich ein Anteil von knapp 32 % erreicht, was einer Ziellücke von ca. 6.500 Elektrobussen entspricht. Um diese Lücke zu schließen, besteht weiterhin Unterstützungsbedarf (siehe hierzu Kapitel 3.3.2).

Hinweis: Das starke Anwachsen der Anzahl der Busse von 2029 auf 2030 ist auch durch die gewählte Erfassungs- und Darstellungsmethode begründet. Hat ein Unternehmen bzw. Aufgabenträger beispielsweise lediglich kommuniziert, dass er bzw. es bis zum Jahr 2030 eine gewisse Anzahl Elektrobusse einset-

zen möchte, ohne die Zeitschiene für deren Zugang zu präzisieren, so wurden diese Fahrzeuge im Jahr 2030

als Zugänge erfasst. Das Jahr 2030 stellt bei den Planungen oft ein herausragendes Zieljahr dar.

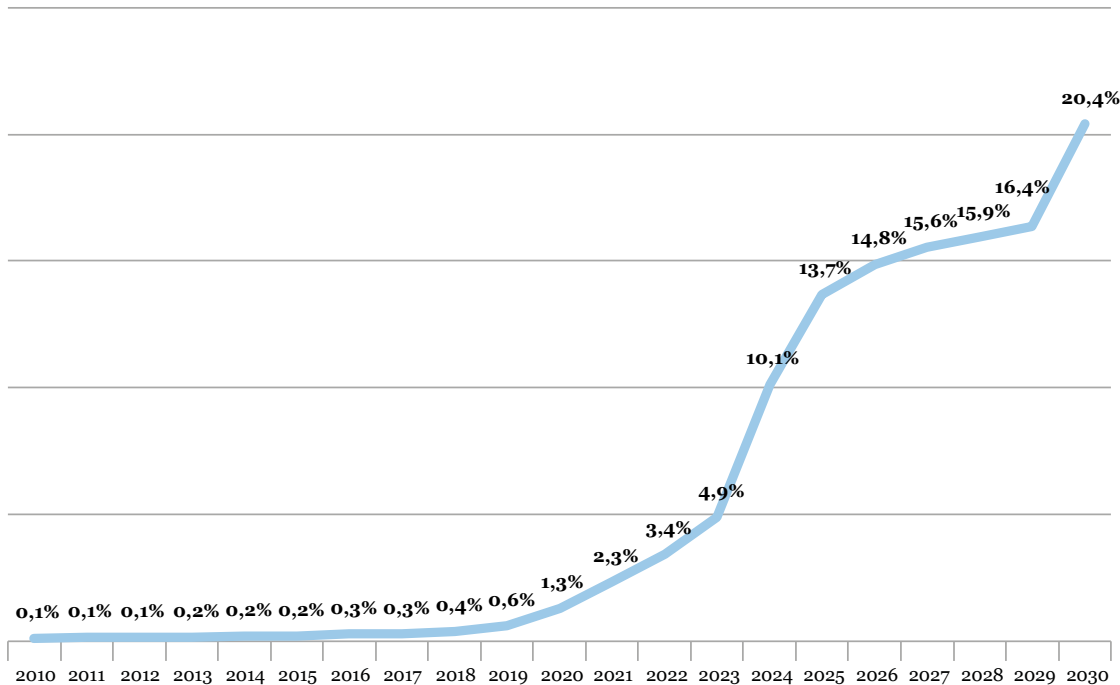


Abbildung 37: Elektrobustand bis 2030 in Prozent des gesamten Busbestands (n=11.034) (Gesamtbestand 54.000 ÖPNV-Busse)

Die Analyse des relativen Anteils der Elektrobusse am deutschen Gesamtbestand von ca. 54.000 ÖPNV-Bussen zeigt, dass Elektrobusse unter Berücksichtigung des aktuellen Planungsstandes bis zum Jahr 2030 wesentlich an Bedeutung gewinnen werden, auch wenn sie trotz des deutlichen Wachstums im Vergleich zum Dieselbus noch eine untergeordnete Rolle in den Flotten haben werden. Hierbei ist jedoch einschränkend anzumerken, dass die Entwicklung der Bestandszahlen über die erwähnte Bottom-up-Methode ermittelt wurde. Durch die aktuell zu beobachtende hohe Wachstumsdynamik im Markt und die entsprechende Bereitstellung von umfangreichen Förderprogrammen dürfte es im Zeitverlauf zu einem weiteren deutlichen Anstieg dieser Zahlen kommen. Anhand der bereits in Kapitel 2.2.4 dargestellten Abschätzung der zur Erfüllung der Vorgaben der Clean

Vehicles Directive erforderlichen Beschaffungszahlen ergibt sich während der ersten CVD-Periode bis einschließlich des Jahres 2025 ein jährliches Beschaffungsziel von rund 1.300 sauberen Bussen, wovon mindestens 650 emissionsfrei angetrieben werden müssen. Aufgrund der sich erhöhenden Mindest-Beschaffungsquoten im anschließenden Zeitraum für die Jahre 2026 bis 2030 müssten etwa 1.800 saubere bzw. 950 emissionsfreie Elektrobusse pro Jahr hinzukommen. Dieses Ziel scheint unter weiterhin günstigen regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen und Skaleneffekten bei Batterie- und Busherstellung sowie in Anbetracht der schon jetzt bekannten Planungen grundsätzlich erreichbar. Die Erfüllungskontrolle der CVD bzw. des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetzes sieht eine Abrechnung zum Ende der jeweiligen Periode vor, die die während

der Perioden beschafften sauberen bzw. emissionsfreien Fahrzeuge kumuliert betrachtet. Die folgende Grafik zeigt, dass im Jahr 2025 gemäß CVD etwa 4.000 emissionsfreie Busse Teil der deutschen Stadtbusflotte sein müssten. Die bekannten Planungen se-

hen bereits einen Bestand von rund 7.100 emissionsfreien Bussen vor. Die emissionsfreie Quote würde somit deutlich übererfüllt und ein großer Teil der verbleibenden Beschaffungen sauberer Fahrzeuge würde durch diese Übererfüllung abgedeckt.

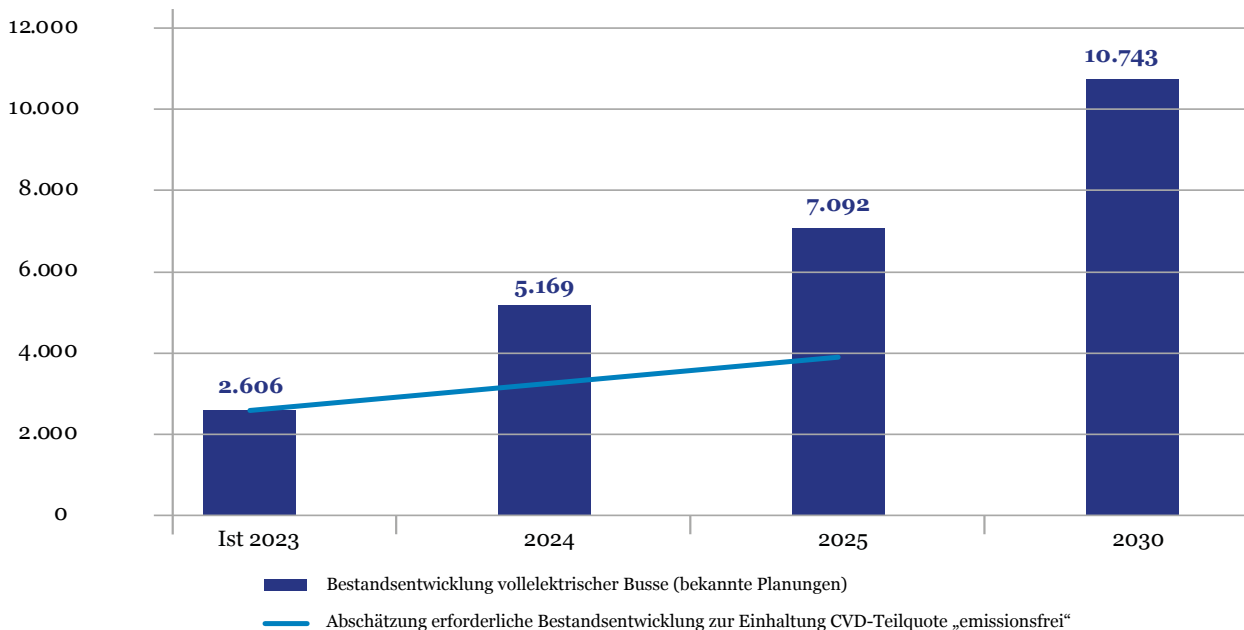


Abbildung 38: Entwicklung Elektrobusbstand („emissionsfrei“ gemäß CVD) in Deutschland bis 2030 und Top-down-Abschätzung (n=10.743)

Weiterhin ist anzumerken, dass viele Kommunen und Verkehrsbetriebe aktuell ihre Planungen zur Dekarbonisierung der ÖPNV-Busflotte vorantreiben, allerdings der Planungshorizont in vielen Fällen noch nicht mehr als 3–5 Jahre in die Zukunft reicht. Dies bedeutet, dass in den kommenden Jahren noch deutlich umfangreichere Planungen für die Elektrobusbeschaffung der Unternehmen zu erwarten sind, die den Elektrobusbstand in Deutschland gegenüber den hier dargestellten Zahlen noch einmal anheben werden. Daneben ist auch anzumerken, dass sich im Zuge eines grundsätzlich erforderlichen Angebotsausbaus im Rahmen der Verkehrswende der Gesamtbusbestand erhöhen könnte. Vor dem Hintergrund

der Anwendung der CVD-Quoten ergibt sich dann auch eine Erhöhung der zur CVD-Erfüllung notwendigen jährlichen Beschaffungen von emissionsfreien Bussen.

In den nachfolgenden Analyseschritten werden dennoch ausschließlich die mittels „Bottom-up“-Methodik identifizierten Planungen zur Beschaffung von Elektrobussen betrachtet, da nur bei diesen Planungen ein hinreichender Konkretisierungsgrad und weitere Informationen vorliegen. Die Analyse des Elektrobusbstands (Plan) nach Antriebsart zeigt, dass Batteriebusse auch in den weiteren Planungen eine zentrale Rolle einnehmen. So sind zwar auch im Be-

reich der Brennstoffzellenbusse deutliche Zuwächse absehbar, jedoch fallen diese wesentlich geringer aus als bei den Batteriebusen. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorangegangenen Akteursanalyse. Hier konnte festgehalten werden, dass das Thema Wasserstoff und der Brennstoffzellenantrieb aus Sicht der Verkehrsunternehmen derzeit Aufmerksamkeit, insbesondere in der Politik, er-

fährt, die Antriebstechnologie mittelfristig aber allein aus Wirtschaftlichkeitsaspekten keine wesentliche Rolle spielen wird. Auf Basis der geplanten Bestandsentwicklung ergibt sich im Jahr 2030 ein Anteil der Brennstoffzellenbusse am gesamten E-Bus-Bestand von ca. 12 %. Batteriebusse kommen dagegen auf einen Anteil von ca. 84 %, die sonstigen emissionsfreien Antriebsarten auf lediglich 4 %.

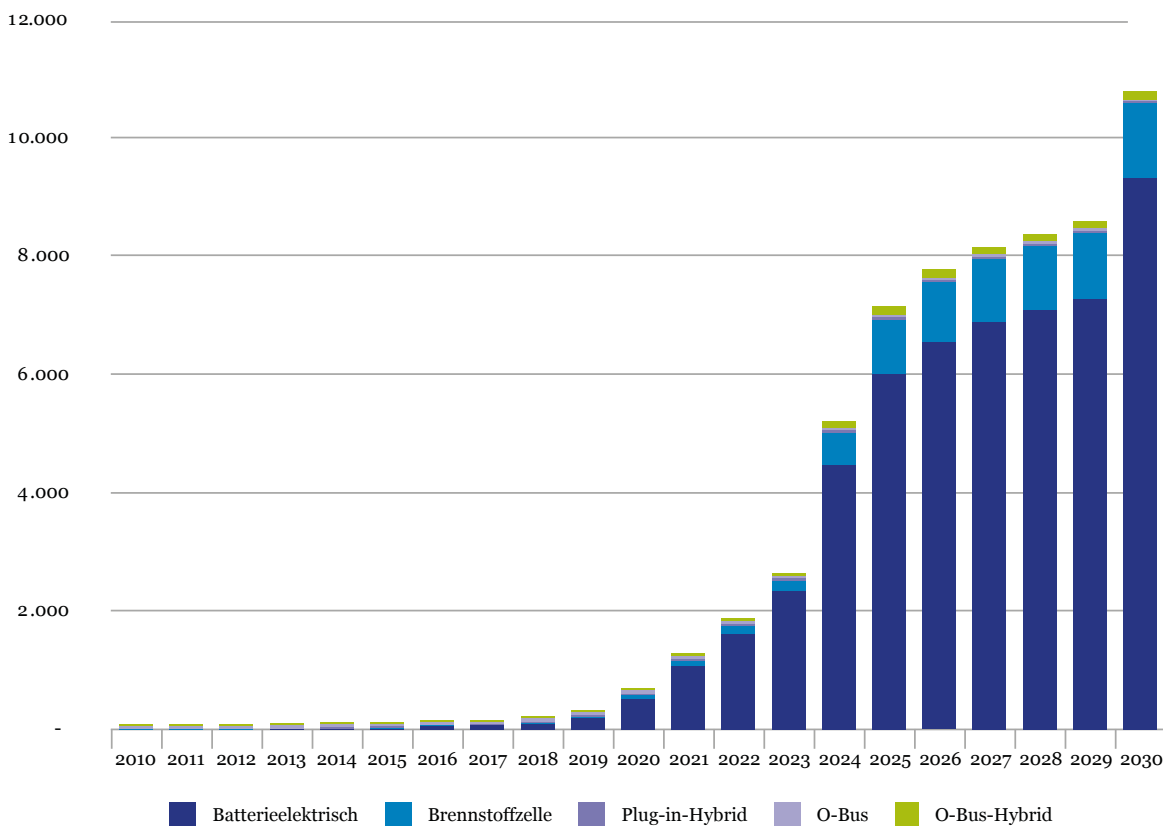


Abbildung 39: Elektrobusbestand nach Antriebsarten bis zum Jahr 2030 (n=11.034)

Eine Betrachtung der geplanten Elektrobusbestände nach Bundesländern zeigt, dass die Stadtstaaten Berlin und Hamburg, insbesondere auch im Verhält-

nis zu ihrem Anteil an der gesamtdeutschen Bevölkerung, einen wesentlichen Anteil an der zukünftigen Elektrobusflotte im Jahr 2030 haben werden.

Top-5-Bundesländer Prognose 2030			
Platzierung	Bundesland	Anzahl E-Busse	Anteil am E-Bus-Gesamtbestand
Platz 1	Berlin*	2.293	31,2 %
Platz 2	Nordrhein-Westfalen	1.871	16,9 %
Platz 3	Hamburg	1.558	14,1 %
Platz 4	Schleswig-Holstein	896	8,1 %
Platz 5	Hessen	869	7,9 %

*Enthalten sind neben den Planungen der BVG weitere Planungen der Deutschen Bahn, Transdev und eMis Deutschland, bei denen der konkrete Einsatzort der Fahrzeuge derzeit noch unbekannt ist.

Tabelle 9: Top-5-Bundesländer nach Elektrobusbestand bis 2030, absolut (n=7.538)

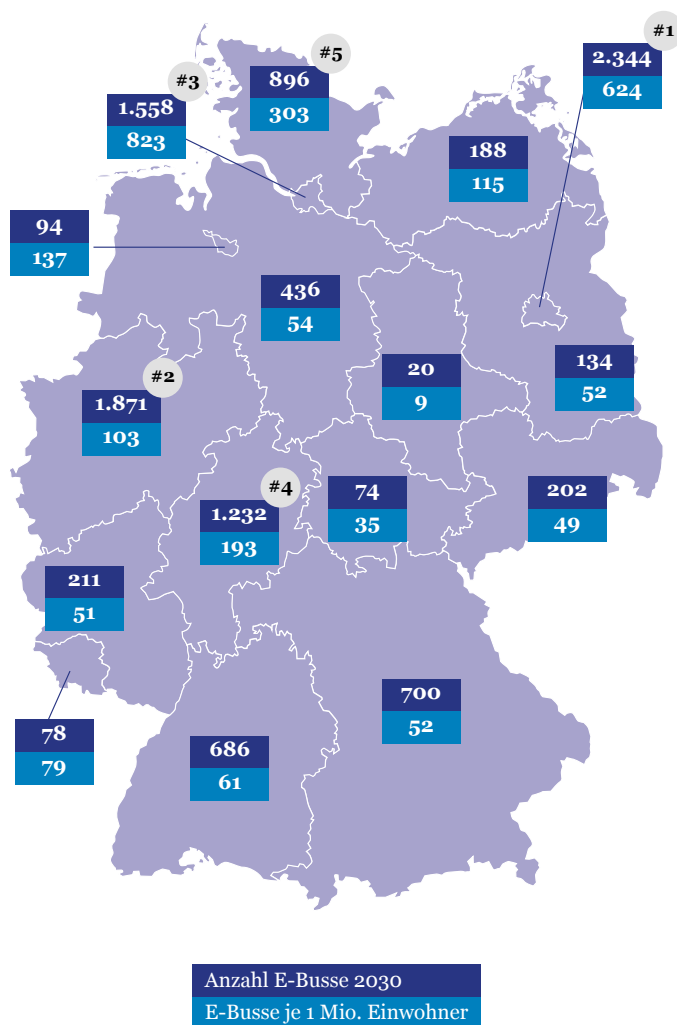


Abbildung 40: Kartografische Darstellung des geplanten E-Bus-Bestandes im Jahr 2030, absolut und relativ

Die Auswertung des geplanten Elektrobusbestandes im Jahr 2030 nach Bundesländern zeigt, dass noch mit einer deutlichen Ausweitung der Planungen zur Einführung von Elektrobussen zu rechnen ist. Im Vergleich zum letzten Zwischenbericht sind in allen Bundesländern weitere Planungen zur Einführung von E-Bussen im ÖPNV hinzugekommen. Gemessen an der Einwohnerzahl wäre Sachsen-Anhalt das einzige Bundesland mit einer einstelligen Anzahl E-Busse je eine Million Einwohner. Würden alle ca. 54.000 deutschen ÖPNV-Busse durch E-Busse ersetzt, so läge der bundesweite Durchschnittswert bei etwa 650 E-Bussen je eine Million Einwohner.

Abschließend wird der Blick auf die Entwicklung der Beschaffungsabsichten der Verkehrsunternehmen bis zum Zieljahr 2030 gerichtet. Diese wurden jeweils jährlich seit dem Jahr 2020 erfasst und haben sich in den vergangenen zwei Jahren deutlich gesteigert. In Verbindung mit der Entwicklung der Ist-Bestände zeigt sich ein dynamisches Wachstum des E-Bus-Marktes hinsichtlich der bereits eingesetzten Fahrzeugflotte (bereits seit 2019 festzustellen), aber auch in Bezug auf die bekannten Beschaffungsplanungen bis zum Jahr 2030. Während Ende des Jahres 2020 rund 560 E-Busse im Einsatz standen und knapp 4.850 zusätzliche E-Bus-Beschaffungen bis 2030 bekannt waren, werden zum Ende des Jahres 2023 bereits 2.640 E-Busse eingesetzt und knapp 8.400 zusätzliche Beschaffungen sind in Planung.

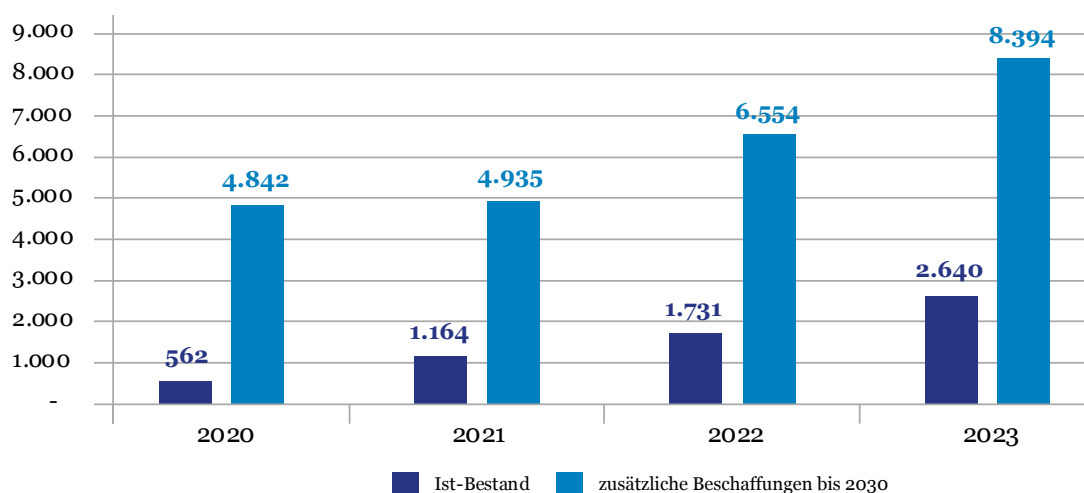


Abbildung 41: Jährliche Entwicklung der E-Bus-Ist-Bestände und der Beschaffungsabsichten der Verkehrsunternehmen (Zeithorizont 2030)

Diese Entwicklung, vor allem der starke Anstieg der Planbestände, lässt sich sicher mit den Vorgaben der CVD begründen, die seit Mitte des Jahres 2021 gilt. Zudem zeigt sich auch der Einfluss der E-Bus-Förderung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen der „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“, die im Jahr 2021 bekannt gegeben

wurde. Bis Ende Dezember 2023 wurden in diesem Zuge drei Förderaufrufe durchgeführt, inzwischen musste das Förderprogramm aufgrund der Auswirkungen des Urteils des Bundesverfassungsgerichts auf den KTF jedoch gestoppt werden. Aus den ersten beiden Förderaufrufen gehen ca. 2.200 geförderte E-Bus-Beschaffungen hervor, die sich in der Statistik der zusätzlichen Beschaffungen bis zum Jahr 2030

widerspiegeln. Das Fördervolumen des dritten Aufrufs umfasste 186 alternativ angetriebene Busse, bei einigen Projekten inklusive der notwendigen Infrastruktur. Alle drei Aufrufe waren infolge der bereits bestehenden umfangreichen Beschaffungsplanungen der Verkehrsunternehmen massiv überzeichnet. Dies zeigt, dass es auch weiterhin noch einen nennenswerten Förderbedarf zur Umsetzung der hier dargestellten Planungen gibt (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.2). Festgehalten werden kann somit, dass Elektrobusse derzeit zwar mit Blick auf die absoluten Bestandszahlen noch eine untergeordnete Rolle einnehmen, ihre Bedeutung und ihr Anteil an den Neuzugängen in den kommenden Jahren jedoch deutlich ansteigen werden. Der durch das Förderprogramm stimulierte Markthochlauf wird sich somit fortsetzen und der Batteriebus in Zukunft das Gesicht des ÖPNV prägen. Die Beschaffungsplanungen der Verkehrsunternehmen haben sich während der Projektlaufzeit um rund 75 % erhöht. Die derzeit bekannten Beschaffungsplanungen zeigen dabei eindeutig: Der E-Bus der Zukunft fährt zu 85 % batterieelektrisch.

2.2.6 Umsetzungsbeispiele aus der Praxis

2.2.6.1 E-Bus-Einführung in Osnabrück

Größte E-Gelenkbusflotte in Deutschland sorgt für „Osnabrücker E-Gefühl“²²

Die Stadtwerke Osnabrück (SWO) haben bereits früh Erfahrungen im Bereich Elektromobilität gesammelt und zählen zu den Vorreitern hinsichtlich der Flottentransformation im Busbetrieb in Deutschland. Die Stadtwerke nahmen am Programm „Masterplan 100 % Klimaschutz“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit teil. Das Ziel des Programms ist es, Treibhausgasemissionen um 95 % und den Energieverbrauch um 50 % bis 2050 zu reduzieren. Die Stadt Osnabrück hat anschließend im Jahr 2012 eine Machbarkeitsstudie zur Entscheidung über den Ausbau des ÖPNV in Auftrag gegeben. Dabei wurden verschiedene Alternativen untersucht, darunter auch eine Straßenbahninfrastruktur und ein O-Bus-System. Aufgrund der mit diesen Alternativen

verbundenen hohen Kosten hat sich die Stadt für die sukzessive Elektrifizierung des Bussystems und den Einsatz des batterieelektrischen Antriebs entschieden. Dieses Ziel wurde in den Nahverkehrsplan von 2013 aufgenommen.²³ Zudem haben die Stadtwerke Osnabrück als städtischer Energieversorger das Thema E-Mobilität losgelöst vom ÖPNV durch den Aufbau einer Ladeinfrastruktur befördert. Seit 2009 wurde mit der Kampagne „Ich fahr Strom“ eine elektrische Ladeinfrastruktur in Osnabrück aufgebaut. Im Jahr 2011 wurde der deutschlandweit erste E-Bus im Linienverkehr auf einer neuen Linie eingesetzt. Die Stadtwerke Osnabrück bündeln ihre Aktivitäten im Bereich Klimaschutz und Ressourceneffizienz unter der Initiative KompetenzUmweltKlima (KUK). Seit der Inbetriebnahme des ersten E-Busses investieren die Stadtwerke nicht mehr in die Dieselflotte, sondern bilden Rückstellungen für die Anschaffung von E-Bussen. Im August 2013 wurde ein weiterer E-Bus in den Linienbetrieb integriert. Durch diese frühen Erfahrungen konnten wichtige Erkenntnisse für die spätere Flottentransformation gesammelt werden. Zwischen den Jahren 2018 und 2023 wurden 62 der circa 100 Busse in der Osnabrücker Busflotte elektrifiziert. Bei diesen emissionsfreien Fahrzeugen handelt es sich bislang ausschließlich um Gelenkbusse mit batterieelektrischem Antrieb. Im Jahr 2023 starteten die Stadtwerke zudem eine erneute Ausschreibung für die ersten 19 E-Solobusse, mit denen die Elektrifizierung der kürzeren Stadtbuslinien starten soll. Ziel der SWO ist es, bis 2030 die verbleibenden 25 Dieselbusse vollständig gegen E-Busse auszutauschen und damit den Linienverkehr vollständig zu elektrifizieren.²⁴

Für die ersten zwei E-Busse im Testbetrieb wurden Ladegeräte für die Steckerladung über Nacht im Betriebshof in Osnabrück beschafft. Der systematische Aufbau einer Ladeinfrastruktur hat parallel zur ersten großen Fahrzeug-Beschaffungsphase der Stadtwerke Osnabrück begonnen.

Als Systemlieferant hat VDL Bus & Coach gemeinsam mit dem Kooperationspartner SBRS den Aufbau der Ladeinfrastruktur für die gesamte E-Busflotte über-

nommen. Um die Fahrzeuge möglichst oft im optimalen Ladezustand zu bewegen, wird eine Ladestrategie aus einer Mischung von Opportunity Charging während der Wende- bzw. Ruhezeiten und dem Laden über Nacht auf dem Betriebshof angewandt. Geladen werden alle Fahrzeuge stets mittels eines auf dem Dach der Fahrzeuge angebrachten vierpoligen Pantografen der Firma Schunk, der für den Ladevorgang ausgefahren und mit einer Ladehaube und damit dem entsprechenden Ladegerät verbunden wird. Für das Laden auf dem Betriebshof wurde dieser schrittweise entsprechend der Fahrzeugbeschaffung mit insgesamt 63 Ladeplätzen ausgestattet (entspricht der Zahl der E-Busse plus einem Reserveplatz), welche je einen Anschluss zu einer Ladehaube und einem Ladegerät haben. Für das Opportunity Charging wurden alle Endwenden der fünf MetroBus-Linien mit Schnellladegeräten ausgestattet.²⁵ Diese haben eine Nennleistung von 350 kW und können die Fahrzeuge in circa 15 Minuten zu 30 % laden. Der Ladevorgang wird so in fahrplanmäßige Ruhe- und Wendezeiten integriert.

Die Stadtwerke Osnabrück haben für die Investitionen in E-Busse und Infrastruktur zahlreiche Fördermittel erhalten und heben hervor, dass die erfolgreiche Kombination von Fördermitteln für Infrastruktur und Fahrzeuge aus unterschiedlichen Fördertöpfen maßgeblich zur Finanzierung beigetragen hat.²⁶ Knapp 15 Mio. € erhielten die Stadtwerke aus dem Förderprogramm „Sofortprogramm Saubere Luft“ des BMU, über das die Mehrkosten in der Fahrzeugbeschaffung sowie Teile der Ladeinfrastruktur gefördert wurden.²⁷ Zusätzlich hat das Land Niedersachsen im Rahmen der Fahrzeugförderung die Fahrzeugbeschaffung bezuschusst und im Jahr 2019 erneut circa 6 Mio. € für die zweite Beschaffungsperiode und den Aufbau der Ladeinfrastruktur bereitgestellt.²⁸ Für die Beschaffung der 19 E-Solobusse zum Einsatz auf den Stadtbuslinien ab 2024 hat das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) einen Förderbescheid über 5,6 Mio. € für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur bewilligt.²⁹ Kürzlich hat das Land Niedersachsen erneut einen Förderbescheid über 920.000 €

für die Fahrzeugbeschaffung ausgestellt.³⁰ Insgesamt beträgt die Förderquote für die gesamte Systemumstellung laut Aussagen der Stadtwerke 50 %.

Gewonnene Erkenntnisse und ableitbare Erfolgsfaktoren aus der Analyse des Fallbeispiels Osnabrück

Kooperation unterschiedlicher Akteure

Zentral für die Flottentransformation in Osnabrück ist die Beteiligung zahlreicher Akteure mit gemeinsamen Zielstellungen. Die politische Zielsetzung und die verkehrlichen Umstände in Osnabrück haben früh dazu beigetragen, die Flottenelektrifizierung als wichtiges Handlungsfeld zu definieren. Weiterhin kommen innerhalb der Stadtwerke unterschiedliche Erfahrungswerte aus den Bereichen Verkehr und Energie zusammen, was die interne Bearbeitung der Flottenelektrifizierung vereinfacht haben dürfte. Die Zusammenarbeit zwischen der Stadt Osnabrück und den Stadtwerken in einem strategischen Mobilitätsprojekt ist weiterhin hervorzuheben.

Frühzeitige Erfahrungen sammeln

Die frühzeitigen Erfahrungen, welche die Stadtwerke mit der Elektromobilität insgesamt, aber insbesondere auch im Hinblick auf den ÖPNV, mit der Beschaffung eines ersten E-Busses im Jahr 2013 gesammelt haben, können als Erfolgsfaktor in der späteren Flottentransformation angesehen werden. Die Erkenntnisse aus dem Testbetrieb konnten dafür genutzt werden, eine Technologieentscheidung zu fällen, das Ausschreibungsverfahren präzise auszugestalten und die Flottentransformation und die Verkehrsplanung aneinander anzupassen. Das gewonnene Wissen dürfte auch dazu beigetragen haben, das Marktumfeld kennenzulernen und die Beschaffungsplanung zu optimieren.

Beschaffungsplanung mit Verkehrsplanung verzahnen

Anknüpfend daran, hat die Verzahnung der Beschaffungsplanung mit der Verkehrsplanung dazu beigetragen, dass die Flottentransformation schnell vor-



²⁵ <https://www.ingenieurplanung.de/nc/projekt/stadt-osnabrueck-umbau-von-bushaltestellen-im-rahmen-der-umstellung-auf-e-mobilitaet.html> sowie <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/vierte-metrobus-linie-elektrisch-unterwegs-66e5cc220c1ca3f8> und <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/zweite-metrobus-linie-wird-elektrisch-d89895ebef8ba787>

²⁶ <https://xn--durchstarterset-elektromobilitaet-kwc.de/praxisbeispiele/der-beschaffungsprozess-von-e-bussen-in-osnabrueck/>

²⁷ <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/bundesumweltministerium-foerdert-osnabruecker-e-bus-engagement-0c106455d49d436d>

²⁸ <https://frankhenning.info/land-niedersachsen-unterstuetzt-stadtwerke-osnabrueck-mit-ueber-6-mio-euro-bei-der-weiteren-umruestung-auf-e-mobilitaet/>

²⁹ <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/bund-foerdert-weitere-e-busse-in-osnabrueck-00c9d5d48cb77796>

³⁰ <https://www.hasepost.de/e-bus-flotte-waechst-weiter-osnabrueck-erhaelt-ueber-13-millionen-euro-fuer-modernen-oepnv-346426/>

anschreiten konnte. So wurde beispielsweise für den Testbetrieb des ersten E-Busses eine zusätzliche Linie eingeführt, die an die technischen Anforderungen des Fahrzeugs angepasst wurde, um einen möglichst hohen Erkenntnisgewinn zu erzielen. Zudem wurde die Beschaffungsplanung der Elektrobusse an die gleichzeitige Überarbeitung des Liniennetzes angepasst, indem beispielsweise zunächst die neuen MetroBus-Linien M1–M5 (Schnellbuslinien) elektrifiziert wurden. Die gleichzeitige Elektrifizierung und Liniennetzreform hat darüber hinaus das Potenzial, die Nutzerwahrnehmung des ÖPNV deutlich positiv zu beeinflussen. Insgesamt kann die Verkehrsplanung durch Routenoptimierung, Ampelschaltungen und resultierende Oberflächengeschwindigkeiten die gesamte Flottentransformation maßgeblich beschleunigen.

Kombination von Fördermitteln

Laut Aussagen der Stadtwerke Osnabrück war die Kombination unterschiedlicher Fördermittel ein zentraler Erfolgsfaktor, da so die Investitions(mehr)kosten wesentlich gesenkt werden konnten. Die SWO betreibt ein aktives Fördermittelmanagement. Fahrzeuge und Infrastruktur erhielten teilweise Zuwendungen aus unterschiedlichen Förderprogrammen.

2.2.6.2 E-Bus-Einführung in Berlin

Ambitionierte Pläne in der deutschen Hauptstadt: lokal emissionsfreie Busflotte bis 2030?

Das Land Berlin hat im Mobilitätsgesetz (MobG BE) das Ziel verankert, dass der ÖPNV schrittweise, spätestens bis 2030 vollständig, auf alternative Antriebe bzw. nicht fossile Antriebsenergien umgestellt werden soll. Im Berliner Mobilitätsgesetz steht hierzu unter § 26 (10) MobG BE:

„Damit der ÖPNV seiner Vorreiterfunktion gerecht wird, soll bis spätestens 2030 schrittweise auf einen vollständigen Betrieb mit alternativen Antrieben beziehungsweise nicht fossilen Antriebsenergien inklusive der Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen umgestellt werden. Die Erprobung neuer, dem Stand der Wissenschaft entsprechender Techni-

ken auf ihre Einsatzreife soll Teil dieses Umstellungsprozesses sein.“

Die Flottenumstellung ist zudem fester Bestandteil des Nahverkehrsplans Berlin für die Jahre 2019–2023. Der Nahverkehrsplan beschreibt die planerischen Vorgaben für die ersten Jahre der Flottendekarbonisierung bei der BVG. So sollen in der Laufzeit dieses Planwerks Maßnahmen ergriffen werden, die unter Berücksichtigung der Anforderungen des Mobilitätsgesetzes hinsichtlich Klimaschutz, Gesundheit und Zeithorizont einen substanziellen und kontinuierlichen Aufwuchs des Flottenanteils von Bussen mit klimaneutralem Antrieb in Berlin ermöglichen (Nahverkehrsplan Berlin 2019–2023, Kapitel III. 7, S. 181). Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) haben mit der Durchführung der „Hochlaufphase Elektromobilität“ 2018–2021 einen ersten Schritt zur Dekarbonisierung des Busverkehrs vollzogen. Die „erweiterte Hochlaufphase“ läuft seit 2022 und befindet sich in Umsetzung. Im Rahmen der „Hochlaufphase E-Bus“ führte die BVG 137 Batteriebusse mit zwei unterschiedlichen Ladekonzepten (Depotladen und Gelegenheitsladen) ein. Die „Erweiterte Hochlaufphase Elektromobilität“ sieht die Einführung von zusätzlich 90 Batterie-Solobussen mit Depotladung vor. Im Jahr 2023 sind damit 228 Batteriebusse (sowie ein zusätzliches Forschungsfahrzeug) bei der BVG in Betrieb. Die BVG-Flotte hat somit einen Elektrifizierungsgrad von rund 15 %.

Im Zuge der ersten Hochlaufphase der Flottendekarbonisierung wurde zunächst der Betriebshof Indira-Gandhi-Straße für den Betrieb und das Nachladen der ersten Batteriebusse für das Depotladen ausgebaut und ertüchtigt. Parallel dazu erfolgte der Aufbau der Ladeinfrastruktur für das Gelegenheitsladen an den Endhaltestellen der Linie 200 in der Michelangelostraße und Hertzallee.

Im Verkehrsvertrag 2020–2035 vereinbarte das Land Berlin als Aufgabenträger mit der BVG die finanziellen Rahmenbedingungen für die Dekarbonisierung des Busverkehrs. Mit der Vereinbarung zur Stärkung des ÖPNV als schadstoffarme und klimaschützende Mo-

bilität zwischen der BVG und dem Land Berlin vom 19.12.2017 wurden die Rahmenbedingungen gesetzt, um bis 2023 in die Elektrifizierung von 227 E-Bussen investieren zu können. Die Investitionsmehrkosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur werden zum Teil durch das hier untersuchte Förderprogramm des BMWK sowie des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) abgedeckt. Die Landesfinanzierung erfolgt aus Mitteln des Kernhaushalts sowie Mitteln des SIWA-Fonds. Die weiteren geplanten Ausbaustufen in den Jahren 2024 und 2025 werden ebenfalls durch das BMDV im Rahmen des laufenden Förderprogramms „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ mit insgesamt 196 Mio. € gefördert. Beschafft werden hiermit 350 emissionsfreie Batteriebusse sowie die dazugehörige Lade- und Werkstattinfrastruktur.

Gewonnene Erkenntnisse und ableitbare Erfolgsfaktoren aus der Analyse des Fallbeispiels Berlin

Batteriebusse mit hoher Zuverlässigkeit im Betriebseinsatz

Die BVG meldet eine hohe Verlässlichkeitsquote (technischer Einsatzkoeffizient) für die Elektrobusse der ersten Charge von durchschnittlich 92 % (Zeitraum: KW 44/2019 – KW 5/2020). Die Verlässlichkeit der E-Busse ist somit höher als der Durchschnitt für die gesamte Busflotte der BVG und liegt auch über der internen Sollvorgabe im Busbereich (90 %).

Lieferverzögerungen seitens der Hersteller als Risiko für die termingerechte Umsetzung der Flottendekarbonisierung

Die Verzögerung der Auslieferung der 90 Fahrzeuge der erweiterten Hochlaufphase zeigt ein Risiko der termingerechten Umsetzung der Flottenmigration außerhalb des Einflussbereichs der BVG. Derartige Verzögerungen und mögliche Alternativen sollten im Rahmen von langfristigen Flottenmigrationspfaden eingeplant werden. Dies betrifft insbesondere auch Fahrzeuge mit unkonventionelleren Aufbauarten (z. B. Doppeldecker) mit einem kleinen Lieferantenkreis.

Von Herstellern garantierte Reichweite ist im praktischen Betriebseinsatz nicht unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet

Die technische Reichweite der E-Busse liegt unterhalb der Reichweite der Diesellbusse. Bei den E-Bussen der ersten Charge haben die Hersteller eine Reichweite von 150 km im Berliner Stadtverkehr garantiert, die Heizung des Fahrzeugs erfolgt über eine fossile Zusatzheizung. Die von den Fahrzeugherstellern garantierte Reichweite ist nach Erfahrung der BVG im Realbetrieb noch nicht immer unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet. Die BVG ist im engen Austausch mit den Fahrzeugherstellern, um gemeinsam kontinuierlich an einer weiteren Verbesserung der Reichweite zu arbeiten, damit die gelieferten Fahrzeuge die im Vergabeverfahren zugesicherten Fahrzeuganforderungen einhalten. Beim Projekt E-Metro-Bus (Gelegenheitsladen auf der Linie 200) sollen die Fahrzeuge mit Nachladung an den Endhaltestellen den ganzen Betriebstag im Einsatz bleiben können (ähnlich dem Einsatzkonzept im Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden).

Es besteht ein Mehrbedarf an Fahrzeugen und Personal, dieser wird sich jedoch im weiteren Projektverlauf voraussichtlich reduzieren

Für die Depotlader der Hochlaufphase Elektromobilität (2018–2021) meldet die BVG einen Bedarf von vier E-Bussen zum Ersatz von drei Diesellbussen. Der Mehrbedarf an Fahrzeugen und Personal ist allerdings stark von der Reichweite und von der Optimierung der Umlaufplanung abhängig und wird sich vor dem Hintergrund steigender Batteriekapazitäten und einer damit verbundenen Reichweitenerhöhung reduzieren. Zur Minimierung der betrieblichen Mehrkosten der Depotlader aufgrund des Fahrzeug- und Fahrpersonalmehrbedarfes sollen die Möglichkeiten zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit des E-Bus-Betriebs durch Anpassung des Einsatzspektrums an die Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge genauer untersucht werden. Für einen Betrieb mit Gelegenheitsladen wird von einem Fahrzeugmehrbedarf von etwa 10 % ausgegangen, wobei die BVG dies je Linienkonfiguration genauer untersuchen wird. Für Streckenladung wird hingegen kein Fahrzeugmehrbedarf geplant.

Umfangreiche Förderung des Bundes senkt die Investitionsmehrkosten, die durch das Land Berlin zu tragen sind

Im Zuge der Flottendekarbonisierung erhält die BVG Förderungen aus Bundesmitteln von über 220 Mio. €. Allein aus dem laufenden Förderprogramm des BMDV stammen 196 Mio. €. Die vom Land Berlin getragenen verbleibenden Investitionsmehrkosten der Fahrzeuge und der Infrastrukturbeschaffung werden so deutlich reduziert.

2.2.6.3 E-Bus-Einführung in Wiesbaden

Herausfordernde Flottentransformation in der hessischen Landeshauptstadt

Die Landeshauptstadt Wiesbaden verfolgt das Ziel, die gesamte Busflotte auf Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb umzustellen. Dieses Vorhaben wurde als ein zentraler Baustein und eine Sofortmaßnahme im Luftreinhalteplan und im Green Masterplan „WI-Connect“ der Landeshauptstadt Wiesbaden festgehalten. Hintergrund dieser Zielsetzung war insbesondere, dass der vorgeschriebene Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid 2017 an verschiedenen Orten innerhalb der Stadt überschritten wurde. Der Beschluss der Stadtverordnetenversammlung der Stadt Wiesbaden vom 29. Juni 2017 hat als Konsequenz daraus unter anderem die Umstellung der kompletten Busflotte der ESWE Verkehr auf Batterie- bzw. Brennstoffzellenbusse als einen Handlungsschwerpunkt definiert.

Die ESWE Verkehr erhielt umfangreiche Zuwendungen für die Beschaffung von Batteriebussen aus dem hier untersuchten Förderprogramm. Mit dem Förderbescheid des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Herbst 2018 startete die ESWE die Beschaffung von Batteriebussen in Wiesbaden. Infolge des Ausschreibungsverfahrens konnten ab Herbst 2019 die ersten zehn Solo-Batteriebusse (zu Beginn drei Fahrzeuge) des Typs eCitaro mit einer 292-kWh-NMC-Batterie ausgeliefert werden. Diese Fahrzeuge sind Bestandteil der ersten Beauftragung von über 56 Elektrobussen

an den Generalunternehmer EvoBus/Mercedes-Benz. Neben der Beschaffung batterieelektrischer Solobusse hat die ESWE zwischenzeitlich ebenfalls die Anschaffung von Bussen mit Brennstoffzellenantrieb geplant. Im Jahr 2016 wurde hierfür zunächst der Beschaffungsverbund Rhein-Main zusammen mit den Städten Mainz und Frankfurt am Main im Rahmen des Deutschland-Clusters gegründet. Im Herbst 2018 bestellte der Beschaffungsverbund insgesamt elf Brennstoffzellenbusse bei dem Busersteller ebe Europa – hiervon sollten je zwei Solo- und Gelenkbusse nach Wiesbaden geliefert werden. Der Lieferant konnte die Bestellung abschließend nicht erfüllen und die Beschaffungsinitiative Rhein-Main wurde Ende 2019 aufgrund der bestehenden Herausforderungen der Brennstoffzellenbus-Beschaffung aufgelöst. Zur Mitte des Jahres 2020 startete die ESWE Verkehr erneut eine Ausschreibung zur Beschaffung von zehn Solobussen mit Brennstoffzellenantrieb. Den Zuschlag für die Lieferung erhielt der portugiesische Busersteller CaetanoBus, der die Fahrzeuge bis zum Ende des Jahres 2021 auslieferte. Inzwischen wurden die Fahrzeuge aus dem Betrieb genommen und fünf Fahrzeuge an den Partner Mainzer Mobilität verkauft. Als Begründung für die Einstellung des Betriebs der Brennstoffzellenbusse werden die geringe Beförderungskapazität der Busse im Kontext steigender Fahrgastzahlen und Probleme mit der Wasserstofftankstelle in Bezug auf Technik und Platzverhältnisse angegeben.³¹ Die ESWE wird sich nach Aussage des Geschäftsführers Jan Görnemann „kurzfristig auf Fahrzeuge mit zwei unterschiedlichen Antriebstechnologien fokussieren: emissionsfreie Solo-Batteriebusse und saubere Diesel-Gelenkbusse.“³² Mit insgesamt 120 batterieelektrischen Solobussen im Jahr 2023 wird ESWE Verkehr hingegen weiterhin eine der größten emissionsfreien Flotten Deutschlands betreiben.

Als Generalunternehmer ist EvoBus/Mercedes-Benz neben der Lieferung der Fahrzeuge auch mit der Implementierung der entsprechenden Ladeinfrastruktur beauftragt. Die ESWE Verkehr verfolgt für die Batteriebusflotte die Ladestrategie des Ladens über Nacht im Betriebshof/Depot.³³ Mit Einführung der ersten eCitaro Batteriebusse wurde zunächst eine

mobile Ladeinfrastruktur für den Interimseinsatz beschafft. Insgesamt sind hier sieben mobile Ladegeräte im Einsatz. Nach der Inbetriebnahme der ortsfesten Infrastruktur sind diese mobilen Ladegeräte auch weiterhin für den Einsatz in der Werkstatt bei Fahrzeugreparaturen vorgesehen. Die ortsfeste Ladeinfrastruktur wurde analog zur Fahrzeugbeschaffung im Wesentlichen in zwei Ausbaustufen (2a und 2b) errichtet. Hierbei kam es zwischenzeitlich zu Verzögerungen aufgrund von Brandschutzauflagen, die nachträglich bauliche Maßnahmen am Dach des bestehenden Carports erforderten.

Gewonnene Erkenntnisse und ableitbare Erfolgsfaktoren aus der Analyse des Fallbeispiels Wiesbaden

Begrenztes Fahrzeugangebot

Die Flottentransformation stand und steht weiterhin vor der Herausforderung eines begrenzten Fahrzeugangebotes. Insbesondere Gelenkbusse mit Brennstoffzellenantrieb sind nach wie vor nicht verfügbar. Auch die Marktverfügbarkeit von Batteriegelenkbussen ist eingeschränkt. Das Beschaffungsvorhaben für 140 Gelenkbusse mit Brennstoffzellen-Range-Extender musste aufgrund fehlender Bieter bzw. später Liefertermine zunächst aufgehoben werden.

Steigender Bedarf an Betriebsflächen während und nach Umbaumaßnahmen

Flächen für das Abstellen und Aufladen bzw. Betanken der E-Busse sind bei vielen Verkehrsunternehmen eine kritische Größe der Flottentransformation. Auch bei der ESWE stellen die Betriebsflächen eine knappe Ressource dar. Während des Aus- und Umbaus des Betriebshofes (wie beispielsweise des Aufbaus der Ladeinfrastruktur und des Carports) mussten temporär neue Abstellflächen geschaffen werden. Auch die Wasserstofftankstelle beansprucht zusätzlich Flächen auf dem Betriebshof. Hierbei mussten auch entsprechende Sicherheitsabstände zu Gebäuden berücksichtigt werden.

Akzeptanz bei Personal aus Fahrdienst und Werkstatt durch Testfahrzeuge schaffen

Verschiedene Vor-Ort-Tests von E-Bussen unterschiedlicher Hersteller haben dazu beigetragen, nicht nur wichtige Spezifikationen fachbereichsübergreifend zu identifizieren, sondern auch für eine breite Akzeptanz innerhalb der Belegschaft für die neuen Antriebstechnologien zu sorgen. Zur internen Akzeptanz tragen zudem wesentliche Grundsatzentscheidungen und eine offene Kommunikation bei. Von besonderer Bedeutung ist, dass alle Beteiligten „an einem Strang“ ziehen.

Enger Draht zu genehmigenden Behörden ist essenziell

Eine enge Kommunikation zwischen Verkehrsunternehmen und den genehmigenden Behörden ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Die städtischen Ämter sollten frühzeitig über das Vorhaben informiert und fest in den Planungsprozess und die spätere Umsetzung integriert werden. Auch eine regelmäßige und enge Zusammenarbeit mit dem lokalen Energieversorger stellte sich von Beginn an als wertvoll heraus. Die zeitlichen Verzögerungen durch neue Brandschutzauflagen zeigen zudem, dass auch ein enger Austausch mit der Feuerwehr und weiteren entsprechenden Behörden von wichtiger Bedeutung ist.

Förderung der Betriebskosten im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Flottentransformation

Die investive Förderung der Mehrkosten der Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur hat dazu beigetragen, die notwendigen Investitionskosten der Anschaffung zu reduzieren. Für eine langfristige Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Flottentransformation und ihres Erfolgs wird indessen auch die Förderung der Betriebskosten angeregt. Diese könne schon durch weitere Befreiungen von Abgaben hinsichtlich des Fahrstrom- bzw. Wasserstoffbezugs erfolgen. Hinsichtlich der Förderung von Elektrobussen im ÖPNV wird daher eine ganzheitliche Sicht aus Anschaffung und Betrieb angeregt.

Laufenden Erfahrungsaustausch zwischen den Verkehrsunternehmen fördern und Standards setzen

Die Einführung von Elektrobussen in den laufenden Betrieb betrifft derzeit nahezu jedes Verkehrsunternehmen, welches Leistungen im öffentlichen Verkehr mit Bussen erbringt. Ein laufender Erfahrungsaustausch zwischen den Verkehrsunternehmen wird dazu beitragen können, wichtige Erkenntnisse und Lösungsansätze zu teilen und somit die Flottentransformation deutschlandweit effizienter zu gestalten. Aus der gemeinsamen Zusammenarbeit zwischen Verkehrsunternehmen, Verbänden, Wirtschaft und Politik sollten zukünftig vermehrt Standards hinsichtlich der Einführung und des Betriebs von E-Bussen und ihrer Ladeinfrastruktur hervorgehen.

Nachträgliche Informationen (Stand Mai 2023)

Im weiteren Projektverlauf haben sich einige Anpassungen des Vorhabens der Flottentransformation bei der ESWE in Wiesbaden ergeben. Zwar wurde im August 2022 der hundertste Mercedes-Benz eCitaro mit batterieelektrischem Antrieb ausgeliefert, jedoch gab die ESWE auch bekannt, dass die Umstellung von insgesamt 220 Bussen auf emissionsfreie Antriebe bis zum Jahr 2025 nicht machbar ist. Die ursprünglich ambitionierte Planung wurde somit widerrufen und im Jahr 2022 wurden in der Konsequenz 24 neue Dieselsebusse beschafft. Als Grund für diese Neuausrichtung wird insbesondere die unzureichende Flächenplanung genannt. Der aktuelle ESWE-Betriebshof bietet nicht ausreichend Platz für den Aufbau der benötigten Ladeinfrastruktur und auch die Werkstattflächen seien nicht für eine größere Batteriebusflotte ausgelegt.

2.2.6.4 E-Bus-Einführung in Ludwigslust-Parchim

Erfolgreicher E-Bus-Einsatz im ländlichen Raum

Im Landkreis Ludwigslust-Parchim im Südwesten Mecklenburg-Vorpommerns ist eine der wenigen

umfangreich ausgebauten E-Busflotten im ländlichen Raum in Deutschland in Betrieb. Die geografischen Anforderungen an den ÖPNV sind im flächenmäßig zweitgrößten Landkreis Deutschlands mit einer Einwohnerdichte von rund 45 Personen/km² dabei hoch. Der ÖPNV-Betrieb in Ludwigslust-Parchim ist, wie in zahlreichen ländlichen Gegenden, insbesondere vom Schülerverkehr geprägt. Betrieben wird der ÖPNV im Landkreis von der Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim (VLP), die außerdem auch das angrenzende Amt Neuhaus im Landkreis Lüneburg bedient. Insgesamt fährt die VLP mit einer Flotte von 200 Omnibussen auf 173 Linien, wovon 20 in der Landeshauptstadt Schwerin beginnen und enden.³⁴ Mit 80 % der Linien sind die meisten Fahrten Schülerverkehre im Landkreis. Hinzu kommen einzelne Taktlinien sowie ein seit 2016 ausgebautes Rufbusnetz mit 40 Mio. Fahrplankilometern, von denen rund 2 % (800.000 km) in Anspruch genommen werden.³⁵ Die Überlegungen zu einer möglichen Flottenelektrifizierung haben laut Aussagen der VLP damit begonnen, die Umläufe der eigenen Verkehre zu analysieren. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Schulwegzeit von maximal 60 Minuten ergibt sich eine Obergrenze für eine Wegstrecke im Schülerverkehr von ca. 90 km. Auf Basis dieser anfänglichen Überlegungen hielt die VLP die Elektrifizierung auch im ländlichen Raum für umsetzbar.³⁶

Für das Vorhaben hat sich die VLP schließlich mit der Rostocker Straßenbahn AG (RSAG) zu der Kooperation „wir fahren elektrisch“ zusammengeschlossen, um damit einen Beitrag zum Klimaschutz und zur regionalen Lebensqualität in Mecklenburg-Vorpommern zu leisten.³⁷ Ziel des Projekts war es, insgesamt 16 Buslinien in Mecklenburg-Vorpommern zu elektrifizieren und damit einen Beitrag zur Umsetzung der Emissionsreduktionsziele aus dem Klimaschutzkonzept Westmecklenburgs zu leisten. Dieses sieht eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Westmecklenburg um 55 % im Vergleich zu 1990 bis 2030 vor.³⁸ Hierfür haben sich die beiden Verkehrsbetriebe in einer Beschaffungsgemeinschaft mit einem gemeinsamen Förderantrag zusammengeschlossen. Die RSAG hat zunächst die Elektrifizierung einer Linie mit zwei

Elektrobussen geplant, während die VLP im Rahmen der Beschaffungskoooperation 45 Busse bestellte.³⁹ Seit Ende 2022 fährt die VLP mit insgesamt 45 E-Bussen im Linienbetrieb. 2022 erhielt Geschäftsführer Stefan Lösel stellvertretend für die VLP den EBus Award als wichtigen Umweltpreis im ÖPNV, womit die Anstrengungen einer umfangreichen Flottenelektrifizierung im ländlichen Raum gewürdigt wurden.⁴⁰

Im Rahmen eines Förderantrags und der entsprechenden Mittelbewilligung hat die VLP zunächst 45 Elektrobusse beschafft, wofür im April 2020 ein Vergabeverfahren gestartet wurde. Die Fahrzeugvorgaben wurden dabei an die besonderen Anforderungen eines ÖPNV im Flächenverkehr angepasst, beispielsweise mit einer hohen Anzahl an begurteten Sitzplätzen und einer Mindestreichweite von 200 km bei bis zu -15 °C und einer elektrischen Klimaanlage nach der VDV-Schrift Nr. 236.⁴¹ Weiterhin wurden Musterfahrzeuge im Echtbetrieb getestet und von VLP-internen Experten bewertet.⁴² Daimler Buses GmbH (früher EvoBus GmbH) erhielt schließlich mit dem eCitaro den Zuschlag unter acht Wettbewerbsteilnehmenden.

Die ersten 15 Busse wurden Anfang September 2021 geliefert und sollten planmäßig im Oktober in den Linienbetrieb übergehen. Aufgrund des Brands in einem Stuttgarter Busdepot, wo baugleiche E-Busse wie jene der VLP betroffen waren, wurde die Inbetriebnahme der Busse jedoch bis zur Aufklärung der Brandursachen pausiert.⁴³ Im Februar 2022 gingen die ersten Busse dann schließlich in den Betrieb und Anfang Mai folgten weitere 15 Busse. Die letzten 15 Fahrzeuge wurden im Januar 2023 geliefert und in den Linienverkehr integriert.⁴⁴ Die eCitaros werden über Lithium-Eisenphosphat-Feststoffbatterien mit einer Kapazität von 378 kWh betrieben und garantieren eine Reichweite von 200 km ohne Nachladen über eine Gesamtleistung von insgesamt 400.000 km. Die VLP plant die Fahrzeuge circa 15 Jahre ein-

zusetzen und hat die Möglichkeit, bei Degradierung der Batterieleistung die in den Fahrzeugen enthaltenen fossilen Zusatzheizungen zu aktivieren.⁴⁵

Mit den 45 Bussen wurden bisher insgesamt 15 Linien elektrifiziert. Die VLP plant nun, jährlich 15 weitere Elektrobusse zu beschaffen, wonach im Jahr 2033 die gesamte Flotte von 200 Omnibussen elektrifiziert wäre.⁴⁶ Die Ladeinfrastruktur wurde separat zu den Fahrzeugen beschafft. Die eCitaros der VLP werden per Steckerladung nachts oder während der Ruhezeiten im Betriebshof aufgeladen. Aufgrund der ländlichen Beschaffenheit des Bedienegebiets verfügt die VLP über insgesamt 13 Betriebsstätten, welche zu diesem Zweck allesamt einen Netzanschluss an das Mittelspannungsnetz (per Transformator) und entsprechende Ladeinfrastruktur erhalten haben. Die Netzanschlüsse mussten bei unterschiedlichen Verteilnetzbetreibern beantragt werden, was jedoch laut Aussagen der VLP problemlos möglich war. Die gesamte Ladeinfrastruktur wurde mit Blick auf die vollständige Elektrifizierung der Flotte von 200 Bussen ab Mittelspannung ausgelegt, sodass jederzeit neue Fahrzeuge eingeflottet werden können, ohne dass die Netzanschlüsse nachträglich erweitert werden müssen. Zusätzlich werden an allen Betriebsstätten mit Werkstatt Dacharbeitsplätze für die Arbeit an den Batterien geschaffen.⁴⁷ Eine Besonderheit ist, dass die Infrastruktur, wenn bereits möglich, mit der Technologie des bidirektionalen Ladens ausgestattet ist oder mindestens im Hinblick auf deren zukünftigen Einsatz aufgebaut wird. E-Busse können so über den Anschluss an Ladegeräte auch Strom in das Netz einspeisen bzw. entladen werden. Diese Art der Bewirtschaftung der Fahrzeugbatterie eignet sich besonders für Umläufe im Schülerverkehr im ländlichen Raum. Hier fallen die Stand- und damit Ladezeiten der Flotten mit den Zeitfenstern hoher Generation erneuerbarer Energien zusammen, sei es zur Tagesmitte, an Wochenenden oder in den Sommerferien.⁴⁸ Gleichzeitig hat aus Sicht der VLP die Sektorenkopplung



³⁹ <https://www.rsag-online.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/2019/zeitalter-der-elektrobusse-in-rostock-beginnt/>

⁴⁰ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/ebus-award-2022-fuer-die-vlp-.html>

⁴¹ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

⁴² <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/elektrobusse-im-landkreis-lup.html>

⁴³ <https://www.zfk.de/mobilitaet/oepnv/elektrobusse-bleiben-erst-mal-stehen>

⁴⁴ <https://www.busmagazin.de/vlp-uebernimmt-weitere-15-ecitaro/>

⁴⁵ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

⁴⁶ https://www.vlp-lup.de/wp-content/uploads/2023/03/SEBUS_2023_40_43_Ludwigslust-Parchim_Liz.pdf

⁴⁷ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/vlp-werkstaetten-auf-elektrobusse-eingestellt.html>

⁴⁸ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

zwischen Energie und Verkehr das Potenzial, die Betriebskosten zu senken. Die Wirkungsweise der Sektorenkopplung wurde mit der VLP als Partner im Forschungsprojekt „Entwicklung und Umsetzung eines nachhaltigen und innovativen Systemintegrationskonzepts für die Sektorenkopplung von Verkehr und Strom“ (EUniS) zwischen November 2020 und Oktober 2023 untersucht. Neben dem bidirektionalen Laden wurden dort auch mögliche Effekte, die sich aus dem THG-Quoten-Handel erzielen lassen, untersucht.

Gewonnene Erkenntnisse und ableitbare Erfolgsfaktoren aus der Analyse des Fallbeispiels Ludwigslust-Parchim

Betriebskosten durch innovatives Beschaffungsmodell am Strommarkt senken

Statt nur die Finanzierung der Investitionskosten der Flottentransformation in den Blick zu nehmen, hat die VLP die Maßnahmen zur Senkung der laufenden Betriebskosten fokussiert. Unter Berücksichtigung der verkehrlichen Gegebenheiten des ÖPNV im ländlichen Raum hat die VLP geeignete Maßnahmen zur Senkung der Betriebskosten durch das Last- und Lademanagement identifiziert und frühzeitig in die Planung der Flottentransformation einbezogen (z. B. durch den Aufbau von Infrastruktur, welche perspektivisch für das bidirektionale Laden genutzt werden kann).

Fahrzeuganforderungen präzise an betriebliche Anforderungen anpassen

Die VLP hat die Anforderungen an ihre Fahrzeuge klar den betrieblichen Anforderungen und der vorgesehenen Ladestrategie angepasst. Als wichtigstes Element ist hier das Zusammenspiel des Lademanagements und der Batterietechnologie zu nennen, wobei die durch die Schülerverkehre entstehenden Standzeiten für langsame Ladevorgänge geeignet sind und somit beispielsweise keine Schnellladefähigkeit der Batterien gefordert ist. Die langsamen Ladevorgänge wiederum sind batterieschonend und garantieren eine gewisse Langlebigkeit. Um außerdem die geplante Flexibilität im Stromeinkauf zu erreichen, haben

die Batterien eine höhere Kapazität als für die täglichen Umläufe notwendig. Eine weitere für den ländlichen Raum spezielle Anforderung betrifft die Heizung, da die Aufenthaltsdauer in den Fahrzeugen bei Schülerverkehren bis zu 60 Minuten betragen kann und somit eine ausreichend leistungsstarke Heizung vorhanden sein muss. Insgesamt waren die Anforderungen an die Fahrzeuge hoch, sodass nur zwei Wettbewerber diese vollständig erfüllen konnten.

Kooperation mit der RSAG für Förderprogramme

Die Kooperation zwischen der RSAG und der VLP in dem Projekt „Klimaschutz, zur Luftschadstoff- und Lärmreduktion im Stadt- und Regionalverkehr in Mecklenburg-Vorpommern“ ermöglicht beiden Verkehrsunternehmen den gegenseitigen Wissensaustausch und erhöht die Sichtbarkeit für die Bemühungen der Schadstoff- und Lärmreduktion. Das Kooperationsprojekt bildete auch den Rahmen für die gemeinsame Bewerbung um Fördermittel aus dem Förderprogramm des BMU. Im Fokus des Projekts stehen insbesondere auch die Potenziale der Sektorenkopplung von Energie und Verkehr im Kontext der hohen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien in Mecklenburg-Vorpommern. Die Ausschreibungs- und Beschaffungsverfahren beider Verkehrsunternehmen erfolgten hingegen separat.

2.2.7 Öffentliche Wahrnehmung des E-Bus-Einsatzes in Deutschland (Medienanalyse)

In einer begleitenden Medienanalyse sollten Erkenntnisse zur öffentlichen Wahrnehmung des Einsatzes von E-Bussen in Deutschland und zur Bewertung entsprechender Förderungen durch das BMWK gewonnen werden. Im Fokus stand dabei die Frage, wie sich die Wahrnehmung im Untersuchungszeitraum 2018 bis Ende 2023 über die Zeit hinweg verändert hat und welche Rolle dabei das Förderprogramm des BMWK spielte.

Gemäß Beauftragung wurde dazu die entsprechende Berichterstattung in ausgewählten führenden Tages-, Wirtschafts- und Fachmedien analysiert. Dazu gehör-

te neben einer quantitativen Analyse die anschließende qualitative inhaltliche Auswertung der Beiträge.

Die Auswahl der für die Untersuchung relevanten Beiträge basierte auf einer Schlagwortliste, die im Anhang (Kapitel 5.6.3.1) zu finden ist.

Auch eine ausführliche Beschreibung der für die Untersuchung herangezogenen Medien findet sich im Anhang (Kapitel 5.6.3.2). Grundsätzlich unterschieden wurde hier auf der einen Seite nach Tages- und Wirtschaftsmedien mit bundesweiter Verbreitung, die sich durch eine qualifizierte Berichterstattung sowie eine journalistische Relevanz bei Politik, Wirtschaft, Verwaltung und anderen Meinungsbildnern auszeichnen, und Fachmedien auf der anderen Seite, die den Themenkomplex öffentlicher Nahverkehr und damit auch Fahrzeuge bzw. E-Busse abdecken und innerhalb der Zielgruppe von Verkehrsunternehmen, Verbänden, Kommunen und Aufgabenträgern sowie Herstellern führend sind. Dazu wurden sowohl Printausgaben als auch – je nach Verfügbarkeit – elektronische Archive der ausgewählten Medien herangezogen.

- Ausgewählte Tages- und Wirtschaftsmedien: Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), Süddeutsche Zeitung, Tagesspiegel, Die Tageszeitung (taz), Handelsblatt, Die Zeit und Der Spiegel.
- Ausgewählte Fachmedien: Der Nahverkehr, Nahverkehrsnachrichten (NaNa), NaNa-Brief, Nahverkehrspraxis, Omnibusrevue, Sustainable Bus, EuroBus und Urban Transport Magazine.

Ab November 2020 wurden zusätzlich in unregelmäßigen Abständen zahlreiche weitere Tages-, Wirtschafts- und Fachmedien ausgewertet, die nicht unmittelbar in die Analyse einfließen. Diese parallele Beobachtung trug dazu bei, relevante Entwicklungen in der Berichterstattung nicht zu übersehen. Die ergänzend beobachteten Medien (insbesondere Tageszeitungen auf regionaler Ebene) wurden zudem zur Unterfütterung der Exkurse zu Depotbränden und zum Thema Wasserstoff herangezogen.

Ergänzend wurden die Pressemitteilungen der Branchenverbände Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer (bdo) und des Deutschen Verkehrsforums (DVF) betrachtet, um die veröffentlichten Beurteilungen der Elektrobusförderung durch das BMWK in den Medien über den Untersuchungszeitraum nachvollziehen zu können.

Drei grundsätzliche Hinweise vorab:

- Die Förderrichtlinie zur „Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ war bei ihrer Veröffentlichung im Jahr 2018 zunächst beim BMU angesiedelt, das später in Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) umbenannt wurde. Daher wurden in der nachfolgenden Analyse hier nicht nur die Erwähnungen des BMWK, sondern auch Nennungen des BMU bzw. BMUV berücksichtigt. Für einen besseren Lesefluss wird jedoch im Folgenden ausschließlich das BMWK genannt und nicht weiter zwischen den Ministerien differenziert.
- In der Analyse taucht der Begriff Elektrobuse sowohl als übergreifende Kategorisierung als auch als Synonym speziell für batterieelektrische Busse auf. Dies ist insbesondere einer entsprechenden Nutzung dieser Begrifflichkeit in den Tagesmedien geschuldet. War hier von Elektrobussen die Rede, so waren in den meisten Fällen – aber nicht immer – batterieelektrische Busse gemeint. Entsprechend musste auch im Rahmen der Medienanalyse häufig auf eine trennscharfe Benennung verzichtet werden.
- Die folgende Medienanalyse teilt sich in zwei verschiedene Untersuchungszeiträume auf: eine rückwirkende Betrachtung und Auswertung für den Zeitraum 2018 bis 2020 sowie eine fortlaufende Analyse für die Jahre 2021, 2022 und 2023 (jeweils 1. Januar bis 31. Dezember). Um eine bessere Vergleichbarkeit der Auswertungen zu ermöglichen, wurde der gemäß Leistungsbeschreibung für die rückwirkende Betrachtung definierte Zeitraum vom 1. Januar 2018 bis 30. November 2020 auf den 31. Dezember 2020 ausgeweitet.⁴⁹

2.2.7.1 Quantitative Analyse

In der quantitativen Analyse wurde untersucht, wie häufig über die geplante oder bereits realisierte Neanschaffung von Elektrobussen für den ÖPNV in welchen Medien und in welcher Form (kurze Meldung, längerer Beitrag, Kommentar) berichtet wurde und wie häufig dabei Förderungen allgemein und im Speziellen die Förderung durch das BMWK erwähnt wurde. Diese Analyse sollte erste Hinweise dazu liefern,

wie hoch das Interesse der Medien an der Thematik über den Zeitverlauf hinweg war. Zugleich sollte untersucht werden, welche Rolle in diesen Beiträgen die Förderung durch das BMWK spielte.

Eine ausführliche tabellarische Auswertung der Häufigkeiten nach Medien und Jahren findet sich im Anhang in Kapitel 5.3.1.

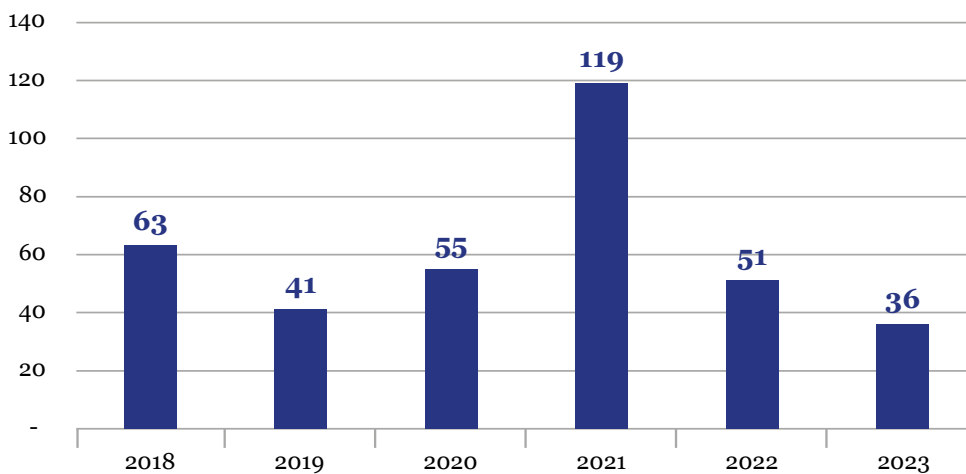


Abbildung 42: Häufigkeit der Berichterstattung in den Tages- und Wirtschaftsmedien von 2018 bis 2023 (Quelle: eigene Analyse)

Betrachtet man die Häufigkeiten relevanter Beiträge im Zeitablauf für die ausgewählten Tages- und Wirtschaftsmedien, lässt sich ein deutlicher Höhepunkt der Berichterstattung im Jahr 2021 erkennen. Es ist davon auszugehen, dass dieser Höhepunkt insbesondere dem Bundestagswahlkampf als Sondereffekt und den damit temporär stark in den Vordergrund gerückten Themen Klimaschutz und Verkehrs- bzw. Mobilitätswende geschuldet war. Zu beobachten ist zudem, dass zu Beginn des Untersuchungszeitraums (2018) mehr Beiträge zum Thema E-Busse veröffentlicht wurden als in allen anderen Jahren (ausgenommen 2021) und die Tendenz zuletzt sinkend war. Dieser Verlauf legt die Schlussfolgerung nahe, dass die überregionalen Tages- und Wirtschaftsmedien

zunächst ein größeres Interesse an der Thematik hatten als in den weiteren Jahren und hauptsächlich der Sondereffekt Bundestagswahl noch einmal für verstärktes Interesse sorgte.

Die Analyse der Häufigkeiten nach Medium macht zudem deutlich, dass die Berichterstattung nicht nur weniger wurde, sondern sich zudem von der überregionalen in die regionale Berichterstattung verschoben hat. Berichteten zunächst noch Handelsblatt und Spiegel sowie Die Zeit, Tagesspiegel, die Tageszeitung (taz) und die Süddeutsche Zeitung in ihren überregionalen Teilen, fand eine entsprechende Berichterstattung in den Jahren 2022 und 2023 hauptsächlich noch in den regionalen Teilen der Süddeutschen

Zeitung (Bayern), des Tagesspiegels (z. B. Potsdam und generell Brandenburg) und der – ab 2021 in die Analyse mit einbezogenen – Frankfurter Allgemeinen Zeitung (insbesondere Frankfurt, Darmstadt, Wiesbaden) statt. Auch Die Zeit berichtete spätestens 2022 fast ausschließlich auf regionaler Ebene, hier insbesondere im norddeutschen Bereich (Hamburg und Bremen). Darauf zählt sicherlich auch eine monatlich publizierte Regionalausgabe für Hamburg ein. Eine begleitende bundesweite Betrachtung diverser Regionalzeitungen, die auch 2022 und 2023 häufig über Anschaffungen und Tests von E-Bussen berichteten, bestärkt diese Erkenntnis.

Zu einem Teil ist der Rückgang der Berichterstattung in überregionalen Medien sicher darauf zurückzuführen, dass andere Themen deutlich stärker in den Vordergrund rückten. Infolge des Ukrainekrieges im Jahr 2022 dominierten Themen wie die weltweite Wirtschaftskrise und die beginnende Inflation die

politische und wirtschaftliche Berichterstattung. Im Kontext öffentlicher Mobilität bzw. der Mobilitätswende fokussierte sich die mediale Aufmerksamkeit in noch nie dagewesener Form ab Frühjahr 2022 zunächst auf die Einführung des 9-Euro-Tickets, um im Herbst 2022 und Frühjahr 2023 von einer ebenso intensiven Begleitung der Planungen und Umsetzung des Deutschland-Tickets abgelöst zu werden. Für andere Themen wie die Antriebswende im ÖPNV blieb dadurch deutlich weniger Raum.

Insgesamt legt die Betrachtung der Häufigkeiten den Schluss nahe, dass das überregionale Interesse der Tages- und Wirtschaftsmedien am Thema E-Busse zurückgegangen ist. Ein Zeichen dafür, dass die Thematik mittlerweile für die überregionalen Medien nur selten noch einen Neuigkeitswert hat. E-Busse sind im Bereich des Alltäglichen angekommen und werden als neue Standardtechnologie neben dem Dieselantrieb voll akzeptiert.

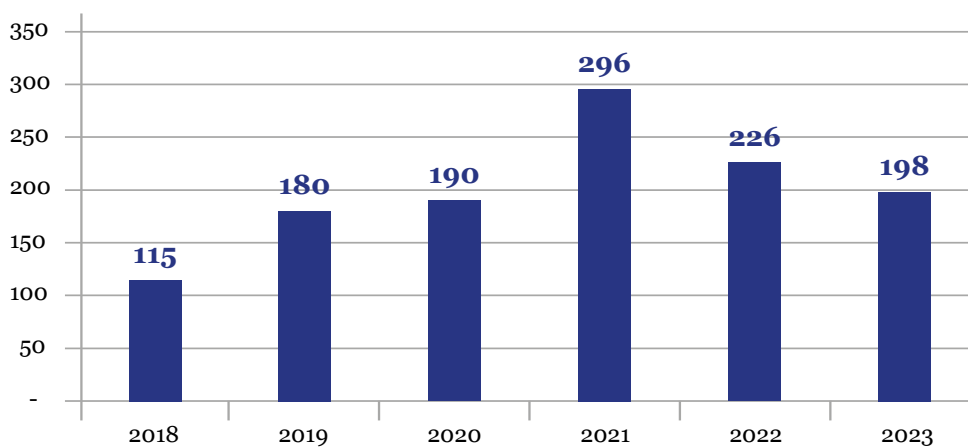


Abbildung 43: Häufigkeit der Berichterstattung in den Fachmedien von 2018 bis 2023 (Quelle: eigene Analyse)

Für die Zahl der relevanten Beiträge in den Fachmedien lässt sich als Trend über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg ein bogenförmiger Verlauf festhalten. Nahmen die Beiträge zunächst zahlenmäßig zu, mit einem deutlichen Peak im Jahr 2021, ging

die Anzahl in den beiden Folgejahren deutlich zurück. Es ist zu vermuten, dass sich dieser Trend auch über den Untersuchungszeitraum hinaus fortsetzt. Hintergrund dürfte derselbe sein wie bei den Tages- und Wirtschaftsmedien. Die zunächst noch junge

E-Bus-Technologie führte in den ersten Jahren zu einer Zunahme des medialen Interesses. Das Ausmaß des Peaks könnte hier ebenfalls in Teilen durch den Bundestagswahlkampf und den Start der BMDV-Förderrichtlinie „Alternative Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ verursacht worden sein, wobei er in Relation zu den Jahren davor und danach wesentlich geringer ausfällt als bei den Tages- und Wirtschaftsmedien, sodass hier von einem wesentlich weniger ausgeprägten Sondereffekt auszugehen ist.

Über die Gesamtbetrachtung hinweg waren es insbesondere die Titel NahverkehrsNachrichten und Omnibusrevue (erst ab dem Jahr 2021 Teil der Analyse), die sich durch intensive Berichterstattung hervortaten. In der fortlaufenden Analyse ab dem Jahr 2021 stiegen auch die Fachportale Urban Transport Magazine und Sustainable Bus deutlich stärker in die regelmäßige Berichterstattung ein. Hier überwogen Meldungen über neue Anschaffungen, Vertragsabschlüsse und Förderzusagen.

Die sinkende Berichterstattung in den letzten beiden Jahren dürfte auch bei den Fachmedien darauf zurückzuführen sein, dass die E-Bus-Technologie an Neuheitswert verloren hat und nunmehr als neuer Standard akzeptiert ist.

Sonderthema Brennstoffzellenbus

Ab 2022 gab es in der Analyse eine gesonderte Betrachtung des Themas Wasserstoff bzw. auf Wasserstoff basierender Brennstoffzellenbusse. Sie wurden 2022 in mehr als jedem vierten der betrachteten Artikel aufgegriffen (29 %). Gemessen an der eher geringen Zahl von Anschaffungen von Wasserstoffbussen gegenüber der deutlich höheren Zahl an bundesweit in Betrieb genommenen batterieelektrischen Bussen ist diese Quote sehr hoch. Ein Grund dafür scheint zu sein, dass der Themenkomplex Wasserstoff für viele Tages- und Wirtschaftsmedien relativ neu war. 2023 gewann das Thema Wasserstoff in den Tages- und Wirtschaftsmedien prozentual noch leicht hinzu (in 33 % aller Beiträge thematisiert), wobei die absoluten Häufigkeiten von 15 auf 12 Beiträge minimal sanken.

In Fachmedien fand das Thema Wasserstoff im Jahr 2022 eine geringere Relevanz als in Tages- und Wirtschaftsmedien. Nur 19 % der untersuchten Beiträge befassten sich damit. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im Vergleich zum Hochlauf von E-Bussen 2022 deutlich weniger Brennstoffzellenbusse im Einsatz waren und Fachzeitschriften diese Entwicklung in ihrer Themenplanung berücksichtigten. Womöglich könnte diese Diskrepanz darauf zurückzuführen sein, dass die Tages- und Wirtschaftsmedien die Wasserstofftechnologie im Gegensatz zu Fachmedien hinsichtlich ihrer Relevanz für den Bussektor überschätzen. Diese Aussage ist allerdings mit gewisser Vorsicht zu genießen, da sich das Bild im Jahr 2023 deutlich gewandelt hat. Hier waren es nun ganze 42 % der relevanten Beiträge in den Fachmedien, die das Thema zumindest kurz streiften. Ein Grund dafür findet sich allerdings in der häufigen Nennung von an sich batterieelektrisch betriebenen Bussen mit einer Brennstoffzelle als sogenanntem Range-Extender. Auch hat es sich in den Fachmedien stärker eingebürgert, in allgemeinen Kontexten in einem Atemzug von batterieelektrisch und mit Wasserstoff betriebenen Bussen zu schreiben.

Mediale Sondereffekte im Untersuchungszeitraum

Um die Häufigkeiten inhaltlich schon einmal weiter zu differenzieren, wurde auch analysiert, wo innerhalb der Jahre bestimmte Peaks in der Berichterstattung zu beobachten waren. Entsprechende Höhepunkte in der Berichterstattung der Tages- und Wirtschaftsmedien innerhalb eines Jahres fanden sich zum Beispiel Ende 2018 anlässlich des Dieseltgipfels (wurde unter anderem in Handelsblatt, Der Spiegel, Die Tageszeitung und der Süddeutschen Zeitung behandelt)⁵⁰ sowie im Frühjahr 2019, als zahlreiche Tageszeitungen (unter anderem taz, Tagesspiegel und Handelsblatt) ein Interview mit dem Präsidenten des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) im Rahmen der Elektrobuskonferenz aufgriffen. Für das Jahr 2021 lassen sich Peaks auf die Großbrände in den Busdepots von Düsseldorf, Hannover und Stuttgart zurückführen. Aber auch Umsetzung und Inkrafttreten der Clean Vehicles Directive (CVD) auf nationaler

Ebene im Juni und August 2021⁵¹ sowie die Genehmigung der „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ des BMDV durch die Europäische Kommission im September 2021⁵² führten zu erkennbaren Schwerpunkten in der Berichterstattung.

Im Jahr 2022 wurde in überdurchschnittlich vielen Tages- und Wirtschaftsmedien eine Meldung der Nachrichtenagentur dpa aufgegriffen: Unter dem Titel „Das Summen der E-Busse – Flottenumbau

nimmt Tempo auf“ wurden im April 2022 die Umstellungen auf E-Busse und die damit verbundenen Herausforderungen thematisiert. Auch die Übergabe von Förderbescheiden durch das BMDV im Rahmen der VDV-Konferenz „ElekBu“ im Juli 2022 fand eine ungewöhnlich starke mediale Resonanz, die über die übliche Berichterstattung deutlich hinausging.⁵³ Im Jahr 2023 war die Berichterstattung in den Tages- und Wirtschaftsmedien relativ gleich über das Jahr verteilt. Ein thematisch begründeter Peak war nicht auszumachen.

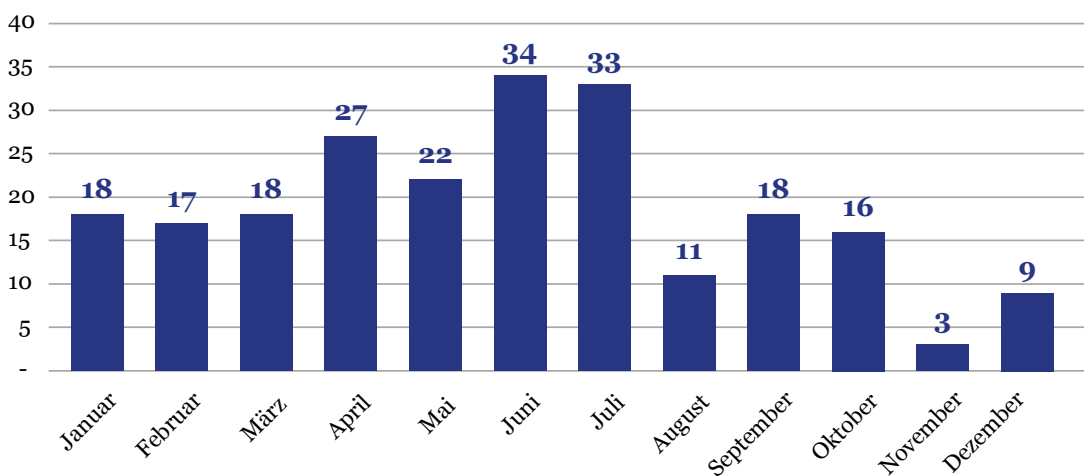


Abbildung 44: Beispiel: Peaks in der Berichterstattung der Fachmedien 2022
Fachmesse „Bus2Bus“, 27.–28. April 2022/Fachmesse „Busworld“, 26.–28. Mai 2022/Fachmesse „ElekBu“, 12.–13. Juli 2022 (Quelle: eigene Analyse)

Auch in den Fachmedien waren über den Untersuchungszeitraum hinweg Schwerpunkte von Beiträgen zu bestimmten Ereignissen zu beobachten. Das waren beispielsweise Kongressmessen wie die „Bus2Bus“ des bdo, die europäische Leitmesse „Busworld“ oder die VDV-Elektrobuskonferenz „ElekBu“. Für Fachzeitschriften waren und sind diese Veranstaltungen „Pflichttermine“ mit entsprechenden Peaks in der Berichterstattung durch Sonderausgaben, Reportagen sowie ausführliche Vor- und Nachberichte – mit einem deutlichen Einbruch im Jahr 2021, da nahezu alle wichtigen Branchentreffen aufgrund der anhaltenden Covid-19-Pandemie abgesagt oder auf deutlich reduzierte digitale Formate umgestellt wer-

den mussten. So waren es zu diesem Zeitpunkt in erster Linie politische Entwicklungen auf nationaler und europäischer Ebene, die Anlässe für eine Berichterstattung in Print- und Onlinemedien lieferten. Hinzu kamen besondere Ereignisse wie die Großbrände in verschiedenen Busdepots, die von Fachmedien über einen längeren Zeitraum hinweg begleitet wurden.

Ab dem Jahr 2022 kehrten in den Fachmedien Kongresse und Messen, die nun wieder in Präsenz stattfinden konnten, als deutlich erkennbare Peaks in der Berichterstattung zurück. Darunter waren unter anderem die Übergaben von Förderbescheiden durch das BMDV anlässlich der VDV-Elektrobuskonferen-

zen 2022 und 2023 in Berlin, die insbesondere von den Fachmedien thematisiert worden sind.⁵⁴ Eine weitere Spitze in der Berichterstattung durch Fachmedien war gegen Ende des Untersuchungszeitraums im November und Dezember 2023 festzustellen: Zusätzlich zu Beiträgen über geringe Förderquoten im Rahmen der Förderrichtlinie des BMDV und entsprechende Stellungnahmen der Branchenverbände dazu berichteten vor allem die Onlineportale verschiedener Fachtitel über das angekündigte Auslaufen nationaler Förderprogramme. Dazu titelte der wöchentlich erscheinende NaNa-Brief: „Branche bestürzt über Einbruch bei E-Bus-Förderung“.⁵⁵

Anteilige Nennung des Förderhintergrunds

Ein wichtiger Aspekt der quantitativen Analyse war die Frage danach, wie häufig Förderhintergründe im Allgemeinen und die Förderrichtlinie des BMWK im Speziellen erwähnt wurden. Von besonderer Relevanz für diese Frage waren entsprechend Beiträge, die Tests und Beschaffung von E-Bussen thematisierten, da insbesondere in diesem Kontext das Förderprogramm des BMWK Erwähnung hätte finden können.

Beiträge über Tests und Beschaffung machten im Zeitraum 2018 bis 2020 in den Tages- und Wirtschaftsmedien noch 40 % aller relevanten Beiträge aus, in den Jahren 2021 bis 2023 dann immerhin noch jeweils um die 30 %. Innerhalb dieser Gruppe von Beiträgen wurde verhältnismäßig oft ein Förderhintergrund erwähnt, nämlich in 64 % dieser Beiträge im Zeitraum 2018 bis 2020, in den Folgejahren sogar noch häufiger (2021: 72 %, 2022: 86 %, 2023: 80 %). Das BMWK fand als Fördermittelgeber wesentlich seltener Erwähnung (2018 bis 2020 waren es immerhin noch 28 % der Beiträge zum Thema Test und Beschaffung), was einerseits darauf zurückzuführen ist, dass hier Anschaffungen auch durch Förderprogramme der Länder möglich gemacht wurden, das BMWK also tatsächlich nicht in allen Fällen Fördermittelgeber war. Andererseits wurde häufig nur ganz allgemein auf eine Förderung oder eine Förderung durch den „Bund“ hingewiesen. Nicht zuletzt wurde in manchen Beiträgen gar kein konkreter Fördermittelgeber genannt. In den Folgejahren nahm der Anteil der

Beiträge, die das BMWK als Fördermittelgeber nannten, rapide ab (2021: 10 %, 2022: 7 %, 2023: 0 %). Eine Tatsache, die sicherlich darauf zurückzuführen ist, dass die Förderung mit der Verabschiedung der „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personennahverkehr“ des BMDV im September 2021 absehbar endete und die Nennung des BMWK als Fördermittelgeber nur noch bedingten Neuheitswert für die Tages- und Wirtschaftsmedien hatte. Entsprechend erfuhr dann auch die Förderung durch das BMDV in den letzten Untersuchungszeiträumen eine stärkere Erwähnung.

In den Fachmedien wurde im Zeitverlauf durchgehend häufiger über Anschaffungen und Tests berichtet als in den überregionalen Tages- und Wirtschaftsmedien (2018–2020: 65 %, 2021: 44 %, 2022: 42 %, 2023: 52 %). Diese waren zudem deutlich mehr technisch orientiert. Anders als bei den Tages- und Wirtschaftsmedien wurde in den Beiträgen über Anschaffung und Tests allerdings wesentlich seltener auf einen Förderhintergrund hingewiesen, nämlich nur in 44 bis 50 % aller Fälle. Das BMWK fand insgesamt eher selten Erwähnung, wenn auch häufiger als in den Tages- und Wirtschaftsmedien (2018–2020: 15 %, 2021: 17 %, 2022: 5 %, 2023: 7 %).

Differenzierung nach Art der Beiträge

In der quantitativen Analyse wurde speziell für Berichte über Anschaffung und Test von E-Bussen weiterhin zwischen Meldungen und Berichten einerseits sowie Meinungsbeiträgen wie Kommentaren andererseits differenziert. Meldungen und Berichte unterscheiden sich hauptsächlich durch ihren Umfang. Während Meldungen häufig nur die wichtigsten Fakten enthalten und daher in der Regel sehr kurz gehalten sind, zeichnen sich Beiträge durch eine inhaltlich und fachlich intensivere Betrachtung aus. Beide Berichtsformen sind in der Regel im neutralen Ton verfasst und verzichten auf Kommentierungen.

Im gesamten Untersuchungszeitraum machten Meldungen und Berichte jeweils 90 bis 100 % der relevanten Beiträge in den Tages- und Wirtschaftsmedien aus. Kommentare und andere Formen von Meinungsbeiträgen fanden sich hingegen kaum. Die-

se Tatsache zeigt, dass das Thema E-Busse insgesamt sehr sachlich abgehandelt wurde. Gleiches gilt für die Berichterstattung in den Fachmedien. Die Meldungen in beiden Medienkategorien beruhten häufig – soweit sich die Quellen identifizieren ließen – auf Pressemitteilungen von Verkehrsunternehmen, Fahrzeugherstellern, Branchenverbänden oder auch des BMWK selbst. Nachrichtenagenturen wie dpa wurden ebenfalls als Basis für die Berichterstattung genutzt.

Zusammenfassung der Kernaussagen

Zusammenfassend lassen sich folgende Kernaussagen zu der Berichterstattung ausmachen:

- Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurde in den Tages- und Wirtschaftsmedien mit relativ gleichbleibender und zuletzt sinkender Häufigkeit berichtet. Eine Ausnahme bildet das Untersuchungsjahr 2021. Durch den Bundestagswahlkampf und die parallele Wahl zum Berliner Abgeordnetenhaus rückten der Klimaschutz und die dafür notwendige Verkehrs- bzw. Mobilitätswende in diesem Jahr verstärkt in das öffentliche Interesse und führten zumindest vorübergehend zu einer verstärkten Berichterstattung (Sondereffekt).⁵⁶ Auch in den Fachmedien ist dieser Peak zu beobachten, allerdings in wesentlich geringerem Ausmaß. Hier war insgesamt ein bogenförmiger Verlauf der Häufigkeiten zu beobachten: zunehmend zu Beginn des Untersuchungszeitraums, abnehmend in den letzten beiden Jahren. Eine Tatsache, die die Vermutung nahelegt, dass sowohl für die Tages- und Wirtschafts- als auch für die Fachmedien das Thema E-Busse bereits an Neuigkeitswert verloren hat und die E-Bus-Technologie als neuer Standard neben dem Dieselantrieb breite Akzeptanz gefunden hat.
- In der überregionalen Berichterstattung fand das Thema Anschaffung/Test von Elektrobussen zu Beginn des Untersuchungszeitraums hauptsächlich in allgemeineren Beiträgen etwa zum Thema Klimaschutz oder Antriebs-/Mobilitätswende statt, im späteren Verlauf wurde das Thema immer seltener aufgegriffen. Im letzten Teil der Untersuchung spielten Elektrobusse in der überregionalen Berichterstattung der ausgewählten Medien so gut wie keine Rolle mehr. Ein Zeichen dafür, dass die Thematik mittlerweile für die überregionalen Medien nur selten noch einen Neuigkeitswert hat und E-Busse in der öffentlichen Wahrnehmung als neue Standardtechnologie neben dem Dieselantrieb mittlerweile fast vollständig akzeptiert sind.
- Zunächst behandelten 40 % der Beiträge in den untersuchten Tages- und Wirtschaftsmedien das Thema Anschaffung/Test inklusive der Finanzierung entsprechender Infrastrukturen, ab 2021 jeweils etwa ein Drittel aller Beiträge. Allerdings wurde fast ausschließlich in Regionalteilen überregionaler Tages- und Wirtschaftsmedien über Anschaffungen und Infrastruktur berichtet. Diese Beobachtung wird durch die ergänzende Analyse diverser Tageszeitungen auf regionaler Ebene bestätigt: Die Anschaffung von E-Bussen und die parallele Investition in notwendige Infrastrukturen wurde hier immer wieder thematisiert und hat insbesondere für Regionalmedien auch weiterhin eine hohe Relevanz. Diese Tatsache ist zu einem Teil sicherlich auch auf das eher kleinteilige deutsche ÖPNV-System zurückzuführen, bei dem es keine bundesweite Beschaffung gibt. In den Fachmedien ist ein schwankender Anteil an Beiträgen zum Thema Anschaffung/Test zu beobachten: 2018 bis 2020 waren es 65 %, in den Folgejahren fiel die Quote mit um die 40 % deutlich geringer aus, um 2023 mit 52 % wieder zuzunehmen. Der Themenkomplex besitzt also weiterhin Relevanz, spielte zu Beginn des Untersuchungszeitraums aber eine noch größere Rolle als im späteren Verlauf.
- Von den Beiträgen, die Anschaffung/Test thematisierten, waren nahezu alle untersuchten Veröffentlichungen als neutrale Berichte oder Meldungen abgefasst. Meinungsbeiträge in Form von Kommentaren oder Interviews ließen sich in den ausgewählten Medien nur selten dokumentieren.
- Das Thema Förderung wurde in den Tages- und Wirtschaftsmedien verhältnismäßig häufiger er-

wähnt als in den Fachmedien. Das BMWK wurde in beiden Kategorien anfangs noch häufiger als Fördermittelgeber genannt, im Zeitverlauf allerdings erkennbar seltener. Was sicherlich auch darauf zurückzuführen ist, dass die Förderung mit der Verabschiedung der „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personennahverkehr“ des BMDV im September 2021 absehbar endete. Entsprechend erfuhr dann auch die Förderung durch das BMDV in den letzten Untersuchungszeiträumen eine stärkere Erwähnung.

2.2.7.2 Qualitative Analyse

Die qualitative Analyse untersuchte konkret, in welchen Kontexten über das Förderprogramm des BMWK und über E-Bus-Förderprogramme im Allgemeinen berichtet wurde. Der Fokus der Untersuchung lag hier jedoch auf der Frage, wie sich die Wahrnehmung des Einsatzes von E-Bussen in Deutschland einerseits und des Förderprogramms andererseits über die Zeit hinweg gewandelt hat und welche Bedeutung dem Förderprogramm für den Markthochlauf der E-Busse in Deutschland von den Medien eingeräumt wurde (die tatsächliche Bedeutung der Förderung für den Markthochlauf festzustellen, ist hingegen nicht Teil der Analyse).

Hinweis: Wird in diesem Text auf Quellen verwiesen, so sind dies in der Regel beispielhafte Veröffentlichungen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit dieser Auswertung sind nur ausgewählte Quellen aufgeführt.

Kontextualisierung von Förderprogrammen

Um Rückschlüsse darauf zu ziehen, welche Rolle die Förderrichtlinie des BMWK in der medialen Berichterstattung spielte, wurde zunächst untersucht, in welchen Kontexten sie thematisiert wurde.

Grundsätzlich festzuhalten ist zunächst, dass im Untersuchungszeitraum gerade in Fachtiteln immer wieder Beiträge veröffentlicht wurden, die sich ganz konkret mit der Förderkulisse beschäftigten. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums ging es dezidiert um

die Förderrichtlinie zur „Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ des BMWK.⁵⁷ Zuletzt behandelten die Beiträge in erster Linie die Förderung durch das BMDV, da aus der zuvor genannten Richtlinie keine Förderaufrufe mehr folgten. Eine große Resonanz in den Fachmedien hatten auch neue Förderaufrufe und die Vergabe von Förderbescheiden anlässlich von Branchenevents wie der Elektrobuskonferenz des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen in Berlin.⁵⁸ Die Fachmedien veröffentlichten zudem immer wieder detaillierte Marktübersichten zu den verschiedenen Förderprogrammen auf Bundes- und Länderebene, häufig in Verbindung mit einer Vorstellung der notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bewerbung um diese Gelder.⁵⁹ Die meisten untersuchten Beiträge in den Fachmedien erwähnten die Förderung allerdings im Kontext anderer Themen. Demgegenüber erwähnten die Tages- und Wirtschaftsmedien das Förderprogramm quasi ausschließlich in anderen Kontexten. Eine Tatsache, die nicht weiter verwundert, da die Rahmenbedingungen der Förderung als solche ausschließlich für die Zielgruppe der Fachmedien, insbesondere für Verkehrsunternehmen, relevant sein dürfte.

Der häufigste Kontext, in dem Förderprogramme erwähnt wurden, waren Anschaffungen und Ausschreibungen. Insbesondere Regionalteile der Tagesmedien und Fachportale wie Sustainable Bus und Urban Transport Magazine berichteten regelmäßig über den Testbetrieb, die Zusage von Fördermitteln, Vertragsabschlüsse mit Herstellern, Bestellungen, Lieferungen und Inbetriebnahme von Elektro- und Wasserstoffbussen sowie über die Bereitstellung der entsprechenden Infrastruktur wie Ladepunkte, Betriebshöfe und Wasserstofftankstellen. Wenig überraschend schien die Relevanz der Förderprogramme also insbesondere in diesem Bereich wahrgenommen worden zu sein. Die Förderrichtlinie „Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ fand dabei bis zuletzt Erwähnung, wenn auch nicht mehr im nennenswerten Ausmaß (vgl. quantitative Analyse).

Andere Beiträge, in denen die Förderprogramme des Bundes erwähnt wurden, drehten sich hauptsächlich um übergeordnete ÖPNV- und Mobilitätsthemen wie die Zukunftspläne einzelner Verkehrsunternehmen, Berichte über das 9-Euro-Ticket oder das Deutschland-Ticket, Dieselfahrverbote und die Antriebs- bzw. Mobilitätswende. Auch in Beiträgen zu diversen Umweltthemen wie Luftreinhaltung, Klimazielen und damit verbundenen Auflagen der Politik (Clean Vehicles Directive [CVD], Euro VI und VII, Gesetzesvorschlag zur CO₂-Flottengrenzwert-Regulierung der EU-Kommission etc.) wurde das Thema eingebettet.

Dass die Förderprogramme als relevant für diesen Kontext wahrgenommen wurden, bestätigt auch der Sondereffekt Bundestagswahlen des Jahres 2021 (vgl. Kapitel 2.2.7.1 – quantitative Analyse). Das Interesse von Tages- und Wirtschaftsmedien an den Themen Klimaschutz und Mobilitätswende schlug sich in einem signifikant erhöhten Interesse am Thema E-Busse und E-Bus-Förderung nieder.⁶⁰ In diesem Zusammenhang ist auch die Wahl zum Berliner Abgeordnetenhaus hervorzuheben, bei der sich die Diskussion um die Zukunft des öffentlichen Nahverkehrs und einer verstärkten Umstellung auf E-Busse zu einem der zentralen Themen des Wahlkampfes entwickelte – über alle demokratischen Parteien hinweg.⁶¹ Die Förderrichtlinie zur „Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ wurde dabei allerdings nur selten erwähnt.

2023 wurden die verschiedenen Förderprogramme des Bundes noch einmal vorgestellt und in den Kontext der Clean Vehicles Directive (CVD), der Klimaschutzziele und der Verkehrswende gebracht.⁶²

Grundsätzlich wird durch die häufige Erwähnung der Förderung im Kontext dieser Themen deutlich, dass die E-Bus-Förderung als relevantes Instrument im Rahmen von nachhaltiger Mobilität und Klimaschutz eingestuft wurde.

Bewertung der Förderprogramme

In der Tendenz war im Rahmen der Berichterstattung von Anfang an eine weitgehend neutrale bis positive Bewertung zu den Förderprogrammen des Bundes zu beobachten.⁶³ Der wöchentliche Branchendienst Na-Na-Brief sprach im Hinblick auf die Förderrichtlinie sogar von einem „Renner“.⁶⁴

Auch Verkehrsunternehmen und Branchenverbände wie der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) oder der Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen (bdo) freuten sich über die für den ÖPNV so wichtige finanzielle Unterstützung.⁶⁵ Bereits im Juli 2019 bezeichnete der VDV die hier untersuchte Förderung durch das BMWK als wichtigen Meilenstein.⁶⁶ Die Branchenverbände spielen insbesondere auch deshalb eine besondere Rolle, weil sie die öffentliche und mediale Wahrnehmung stark prägen. Stellungnahmen und Pressemitteilungen wurden im Betrachtungszeitraum häufig intensiv sowohl in den Tages- und Wirtschafts- als auch in den Fachmedien aufgegriffen, Vertreter der Verbände nicht selten zitiert. Eine gesonderte Betrachtung der Wahrnehmung der E-Busse und ihrer Förderung findet sich daher detailliert noch einmal im Anhang unter Kapitel 5.3.2. Gerade der VDV als größter und politisch einflussreichster Branchenverband thematisierte im Untersuchungszeitraum kontinuierlich die Umrüstung von Busflotten hin zur Elektromobilität und die dazu nötige Förderkulisse.

Im Folgenden werden einzelne Aspekte, die in Bezug auf die Förderung in der medialen Wahrnehmung besonders hervorgehoben wurden, noch einmal genauer beleuchtet.

In einigen Artikeln wurde der große Anstieg bei den Bestellungen von Elektrobussen ausdrücklich auf nationale Förderprogramme zurückgeführt.⁶⁷ So sah der Omnibusspiegel die Förderungen – neben möglichen Dieselfahrverboten – als „Turbo“ für den Markthochlauf von Elektrobussen.⁶⁸ Eine Marktübersicht



⁶⁰ Vgl. Tagesschau Online vom 09.08.2021, Frankfurter Rundschau vom 05.07.2021.

⁶¹ Vgl. Der Tagesspiegel vom 09.09.2021.

⁶² Vgl. Der Nahverkehr vom 01.03.2023.

⁶³ Vgl. NahverkehrsNachrichten, 22.2.2019, NahverkehrsNachrichten, 5.7.2019, Der Nahverkehr, 1/2020.

⁶⁴ NaNa-Brief, 4.8.2020.

⁶⁵ Vgl. VDV-Magazin, 13.2.2019.

⁶⁶ Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 01.07.2019, Nahverkehrspraxis vom 05.06.2019.

⁶⁷ Vgl. Der Nahverkehr 2/2020.

⁶⁸ Vgl. Omnibusspiegel, 5/2019.

in einer Sonderausgabe des Fachmagazins Der Nahverkehr zog eine direkte Verbindung zwischen der Vielzahl von Förderbescheiden und den gestiegenen E-Bus-Bestellungen.⁶⁹ Auch tagesschau.de führte den steigenden Anteil von Elektrobussen in deutschen Städten in einem Beitrag direkt auf die Förderung durch Bund und Länder zurück.⁷⁰ Umgekehrt wurde immer wieder betont, dass die Flottenumstellungen aufgrund hoher Kosten und notwendiger Ladeinfrastruktur ohne Förderung nicht machbar seien.⁷¹ Die Zeitschrift Der Nahverkehr widmete dem Monitoring der Kosten von E-Bussen einen längeren Fachbeitrag und verwies in diesem Zusammenhang auf verschiedene Fördermöglichkeiten durch den Bund.⁷²

Nur wenige der untersuchten Texte argumentierten allerdings ganz konkret mit Zahlen und kamen – unter Anrechnung der Förderung – zu einem betriebswirtschaftlich positiven Ergebnis bei der Umstellung auf Elektrobusse und die ebenfalls erforderliche Ladeinfrastruktur.⁷³ Dagegen wurden die im Vergleich zu Dieselfahrzeugen deutlich höheren Anschaffungskosten häufiger beziffert, nicht selten in Verbindung mit konkreten Angaben dazu, in welcher Höhe Mehrkosten durch Fördermittel gedeckt wurden. Durch eine dezidierte Betrachtung der Finanzierungsgrundlagen zeichneten sich 2022 Beiträge aus, die auf Angaben des sogenannten E-Bus-Radars zurückgriffen.⁷⁴ Besonders detailliert beleuchteten NahverkehrsNachrichten und NaNa-Brief die Ergebnisse der Auswertung.⁷⁵

Es fanden sich über den Untersuchungszeitraum hinweg vereinzelt Kommentare, die die Förderung kritisch beleuchteten. Ebenso Beiträge, die Kritik in Form von O-Tönen aufgriffen. Diese Kritik bezog sich mal auf eine spezifische Förderrichtlinie, mal auf die Förderprogramme allgemein und basierte nicht selten auf Stellungnahmen der Branchenverbände, aber auch auf Äußerungen von Vertreterinnen und Vertretern der Verkehrsunternehmen.

Verschiedene Medien griffen bereits im Betrachtungszeitraum der rückwärtigen Medienanalyse die Kritik von Verkehrsunternehmen, Branchenverbänden und anderen Akteuren auf, dass speziell die Förderung durch den Bund nicht technologieoffen – etwa in Richtung alternative Treibstoffe – erfolgte, sondern auf neue batterieelektrische und Plug-in-Hybridbusse beschränkt war.⁷⁶ Das Deutsche Verkehrsforum (DVF) als verkehrsträgerübergreifende Wirtschaftsvereinigung des Mobilitätssektors etwa sprach sich wiederholt dafür aus, die Förderung synthetischer Kraftstoffe auszuweiten.⁷⁷ Ein angeführtes Argument für mangelnde Technologieoffenheit war die Reichweitenbeschränkung von Elektrobussen, die z. B. in ländlichen Regionen problematisch sei.⁷⁸ Stimmen, die eine entsprechende Technologieoffenheit forderten, fanden sich auch noch zum Ende des Untersuchungszeitraumes.⁷⁹ Kritisiert wurde zu Beginn der Auswertung zudem die Nichtförderung der Umrüstung von älteren Dieseln auf Elektroantrieb.⁷⁸ Ein Kritikpunkt, der in der jüngeren Berichterstattung (im Zeitraum der Jahre 2021 bis 2023) nicht mehr zu finden war.

Verkehrsunternehmen und etwa auch der bdo, der Spitzenverband der deutschen Busbranche, der die Interessen der privaten und mittelständischen Unternehmen vertritt, äußerten sich insbesondere zu Beginn des Untersuchungszeitraums kritisch, dass Förderungen über die Förderrichtlinie des BMWK erst ab einer Beschaffung von sechs Elektrobussen möglich waren und so privatwirtschaftliche Busunternehmen bzw. der Mittelstand benachteiligt würden (siehe für eine detailliertere Betrachtung der Stellungnahmen des bdo und weiterer Branchenverbände Anhang 5.3.2).⁸⁰ In einem späteren Beitrag hieß es etwa in Bezug auf private Busunternehmen in Baden-Württemberg, die Förderung komme dort aufgrund der notwendigen Mindestmenge gar nicht erst an.⁸¹ Keine Beachtung in der medialen Wahrnehmung fand hingegen, dass diese erste Fokussierung auf die Beschaffung größerer Stückzahlen durchaus



69 Der Nahverkehr 03/2021.

70 Vgl. tagesschau.de vom 18.03.2021.

71 Vgl. Nahverkehrspraxis vom 11.03.2021, Omnibusrevue vom 09.05.2023.

72 Vgl. Der Nahverkehr vom 06.06.2022.

73 Vgl. Der Nahverkehr, 12/2018, Omnibusspiegel, 1/2020, Der Nahverkehr, 2/2019.

74 Vgl. Spiegel vom 14.05.2022; Magdeburger Volksstimme vom 17.05.2022; NahverkehrsNachrichten vom 16.05.2022; NaNa-Brief vom 24.05.2022; Omnibusrevue vom 07.06.2022; Busmagazin vom 08.06.2022.

75 Vgl. NahverkehrsNachrichten vom 16.05.2022.

76 Vgl. Handelsblatt vom 29.09.2020.

77 Vgl. DVF-Positionspapier vom 23.05.2018.

78 NaNa-Brief vom 02.04.2019.

79 Vgl. Der Tagesspiegel vom 20.02.2023, NaNa-Brief vom 14.02.2023.

80 Vgl. bdo-Pressemitteilung vom 26.02.2018, Der Bus (bdo), 07/2019; Der Spiegel vom 09.05.2020; NaNa-Brief vom 10.12.2019, Der Nahverkehr 10/2020.

81 Vgl. EuroBus vom 21.12.2021.

beabsichtigt war, um den Markthochlauf zu beschleunigen. Erst mit der Förderrichtlinie des BMDV – zu einem Zeitpunkt, an dem der Markthochlauf bereits an Fahrt aufgenommen hatte – sollten explizit auch kleine Stückzahlen gefördert werden. Nachdem die Förderrichtlinie des BMDV zwar auf Mindestfahrzeugzahlen verzichtete und so auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) grundsätzlich nicht mehr benachteiligt waren, bemängelte der bdo allerdings, dass im ersten Förderaufruf aufgrund insgesamt nicht ausreichender Mittel nur Anträge über größere Stückzahlen bewilligt worden seien.⁸² Entsprechend begrüßt wurde die explizite Berücksichtigung von KMU im Rahmen des zweiten Förderaufrufs des BMDV.⁸³

Kritikpunkte waren zu Beginn des Untersuchungszeitraums außerdem die zu langsame Bewilligung, die zu aufwendige Beantragung und die Unübersichtlichkeit der Förderlandschaft insgesamt.⁸⁴ Auch 2023 wurde die komplizierte Förderkulisse noch einmal thematisiert – dieser Kritikpunkt stellte aber in den letzten beiden Jahren des Untersuchungszeitraums den Ausnahmefall dar.⁸⁵

Einer der Hauptkritikpunkte war von Anfang an die nach Ansicht der Branche zu geringe finanzielle Ausstattung entsprechender Förderprogramme. Bereits 2018 berichtete das Nachrichtenmagazin Der Spiegel darüber, dass die vom Bund zur Verfügung gestellten Mittel nicht ausreichten.⁸⁶ Diese Kritik wurde im Laufe des Untersuchungszeitraums immer wieder geäußert.⁸⁷ Konkret hieß es zum Beispiel in Bezug auf die Umstellung der Busflotte in Mainz, diese werde durch fehlende Förderung ausgebremst.⁸⁸ Ein Treiber der öffentlichen Wahrnehmung war hier sicher auch der VDV, der im Zeitverlauf in Hinblick auf die Umstellung auf E-Busse kaum noch Lieferengpässe oder technische Probleme thematisierte (siehe dazu das Kapitel Exkurs: Bewertung der BMWK-Förderung durch Verbände 5.3.2 im Anhang), sich dafür aber zunehmend auf die Forderung nach besseren Rah-

menbedingungen für den Transformationsprozess im ÖPNV konzentrierte. Dazu gehörten insbesondere die Aufstockung und Verstetigung von Fördermitteln für eine langfristige Planungssicherheit sowie die zusätzliche Förderung entsprechender Infrastrukturen. In einem Meinungsbeitrag formulierte Martin Schmitz in seiner Funktion als Geschäftsführer Technik des VDV in Bezug auf die Förderungen durch Bund und Länder: „Die finanzielle Eigenbeteiligung der Verkehrsunternehmen liegt jedoch immer noch bei über 60 % in der Infrastruktur und bei 20 % der Mehrkosten der Fahrzeuge. Besonders für kleine Unternehmen und finanzschwache Kommunen bleibt der Umstieg eine Herausforderung.“⁸⁹ Hier bleibt jedoch anzumerken, dass die Förderung, berücksichtigt man die Vollkosten der Busse (siehe zu diesen Kosten Kapitel 3.2.2), durchaus als auskömmlich bezeichnet werden kann. Auch darf nicht vergessen werden, dass der VDV als Branchenverband vorrangig die Interessen seiner Mitglieder vertritt und damit auch die Stellungnahmen als interessengeleitet zu verstehen sind.

Die Kritik bezüglich der nach Ansicht der Branche zu geringen Fördermittel setzte sich auch bei der Förderrichtlinie des BMDV zur „Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ fort. Die Umsetzung der Förderung wurde zwar insbesondere von den Fachmedien durchweg positiv aufgegriffen.⁹⁰ Auch die Erhöhung der Fördermittel und die angekündigte Weiterführung bis mindestens 2025 trafen auf ein positives Echo in den Medien. Allerdings warnte zum Beispiel der VDV bereits im November 2021 vor einer drohenden Überzeichnung der Förderung.⁹¹ Die damit einhergehende mangelnde Planungssicherheit für Verkehrsunternehmen und Kommunen wurde als wesentliche Hürde für einen zügigen Flottenumbau bezeichnet, nachdem sich inzwischen zahlreiche Unternehmen auf die Beschaffung von Elektrobussen vorbereitet hatten. Im Jahr 2022 stellte der VDV anlässlich der Vergabe von Förderbescheiden durch das BMDV fest, dass 1.700 geförderten rund 5.000 beantragte E-Busse gegenüberstünden. VDV-Vize-



82 Vgl. Newstix vom 07.04.2022.

83 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 12.07.2022.

84 Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 01.12.2018, Handelsblatt vom 1.12.2018 und Tagesspiegel vom 28.02.2019.

85 Vgl. Tagesspiegel vom 20.02.2023.

86 Vgl. Der Spiegel vom 28.7.2018.

87 Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 19.04.2022.

88 Vgl. Tagesspiegel vom 22.02.2022, NaNa-Brief vom 01.02.2022.

89 Nahverkehrspraxis vom 02.06.2022.

90 Vgl. Omnibusrevue vom 30.09.21.

91 Vgl. Nahverkehrspraxis vom 18.11.21.

präsident Werner Overkamp kommentierte dies öffentlich: „Deutschland will bis zum Jahr 2045 klimaneutral sein, EU und Bundesregierung haben für den Verkehrssektor die Ziele für das Jahr 2030 nochmals verschärft. Die Transformation des ÖPNV ist ein Schlüssel für diese Ziele und dient auch der größeren Unabhängigkeit von Energieimporten durch die große Energieeffizienz der Branche. Doch es ist absehbar, dass die E-Bus-Fördersumme nicht ausreichen wird – und die Kommunen werden dieses Delta nicht schließen können.“⁹²

Eingefordert wurde von Anfang an, die Förderung zu verstetigen, also über die bisher festgelegten Ablaufgrenzen der Programme hinaus fortzuführen.⁹³ Bis wann die Förderung notwendig sein würde, kommentierte zu Beginn des Untersuchungszeitraums die Fachzeitschrift Nahverkehrspraxis: Ab dem Jahr 2023 rechne das Beratungsunternehmen SCI Verkehr mit der Etablierung der Serienproduktion von E-Fahrzeugen, sodass Preise und Produktionskosten sinken könnten und der Markt auch ohne Subventionen der Beschaffung wirtschaftlich werde.⁹⁴ Dass sich diese Einschätzung nicht mit der Realität deckt, wurde in den zurückliegenden Jahren immer wieder thematisiert. Auch im Jahr 2023 wurde eine langfristige Förderung der durch die Antriebswende notwendigen Mehrkosten redaktionell aufgegriffen.⁹⁵ Die Debatte um die Clean Vehicles Directive (CVD) und um eine Novellierung der Regulierung der CO₂-Flottengrenzwerte durch die EU-Kommission erhöhte den Druck auf die Branche zuletzt zusätzlich.⁹⁶ Der VDV griff die Diskussion auf, um darauf zu verweisen, dass Verkehrsunternehmen und Kommunen die politischen Vorgaben nur mit einer entsprechenden Ausweitung der Fördermittel erreichen könnten.⁹⁷

Als Grund wird angeführt, dass die Anschaffungskosten für E-Busse trotz Markthochlauf nicht gesunken sind und die Finanzierung notwendiger Infrastrukturen zusätzliche finanzielle Belastungen bedeutet. Im Rahmen der Leitmesse Busworld 2023 wurde daher

die Forderung von CEO Till Oberwörder von Daimler Buses von verschiedenen Fachmedien aufgegriffen, es müsse mehr Geld für eine verlässliche Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden.⁹⁸ Ein Kommentar im Magazin Der Nahverkehr schlägt als Alternativen zur Verstetigung der E-Bus-Förderung die Einführung eines Fahrstrompreises oder erhebliche Investitionen in den ÖPNV insgesamt vor, damit die Verkehrsunternehmen die Umstellung finanziell selbst stemmen können.⁹⁹

Gerade im Herbst 2023 gewann die Diskussion um Höhe und Verlässlichkeit der Fördermittel des BMDV erneut an Brisanz. Aufhänger war insbesondere das Bekanntwerden der aktuellen Förderzahlen. Demnach waren bis November nur 23 Förderzusagen erteilt worden, denen 140 Absagen gegenüberstanden.¹⁰⁰ Unter anderem der bdo nahm diese Zahlen mit Sorge zur Kenntnis.¹⁰¹ Auch der VDV forderte – unter anderem im Kontext des EU-Gesetzesentwurfs der Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge, nach dem Verkehrsunternehmen ab dem Jahr 2030 ausschließlich emissionsfreie Stadtbusse in Betrieb nehmen sollten – erneut eine ausgeweitete und langfristige Förderung: „Die mit der Elektrifizierung verbundenen Kosten können die Verkehrsunternehmen und Kommunen vor Ort nicht allein tragen; die bestehenden Fördermittel sind längst überzeichnet und Ticketpreiserhöhungen, um die Investitionen zu refinanzieren, sind ausgeschlossen. Der Auftrag an die Politik ist also ganz klar: Sie muss nun ohne weitere Verzögerung die Finanzierung auf den Weg bringen, damit wir spätestens 2025 anfangen können zu planen und zu bauen.“¹⁰² Fachmedien griffen die Appelle der Branchenverbände für eine nachhaltige Förderung des Transformationsprozesses auf.¹⁰³ Zudem wurde davor gewarnt, dass die Mobilitätswende vor dem Hintergrund des Rückgangs der Förderung nicht zu schaffen sei.¹⁰⁴ Weiter befeuert wurde die Debatte durch die fehlenden Mittel im Klima- und Transformationsfonds des Bundes in Folge des Urteils des Bundesverfassungsgerichtes. Als Folge wurden Kür-



⁹² Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 08.04.2022.

⁹³ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 01.12.2018, NahverkehrsNachrichten vom 01.06.2018, NahverkehrsNachrichten vom 29.06.2018, NahverkehrsNachrichten vom 07.09.2018, NahverkehrsNachrichten vom 07.12.2018.

⁹⁴ Vgl. Nahverkehrspraxis, 30.10.2019.

⁹⁵ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 19.04.2022, NaNa-Brief vom 14.03.2023.

⁹⁶ Vgl. NaNa-Brief vom 28.02.2023.

⁹⁷ Vgl. Der Nahverkehr vom 01.03.2023.

⁹⁸ Vgl. NaNa-Brief vom 18.04.2023, NaNa-Brief vom 10.10.2023, Nahverkehrspraxis vom 01.09.2023.

⁹⁹ Vgl. Der Nahverkehr vom 01.07.2023.

¹⁰⁰ Vgl. Omnibusrevue vom 14.11.2023.

¹⁰¹ Vgl. Omnibusrevue vom 07.11.2023.

¹⁰² VDV-Pressemitteilung vom 24.10.2023.

¹⁰³ Vgl. NaNa-Brief vom 14.11.2023.

¹⁰⁴ Vgl. Omnibusrevue vom 21.11.2023.

zungen unter anderem auch bei der Förderung von Elektrobussen erwartet. In diesem Fall waren es vor allem Tages- und Wirtschaftsmedien, die die Befürchtungen der Verkehrsunternehmen thematisierten, bereits geplante Flottenumstellungen nicht mehr finanzieren zu können.¹⁰⁵

Der Untersuchungszeitraum dieser Studie endete mit dem 31. Dezember 2023. Ein Blick über diesen Zeitraum hinaus (siehe hierfür die Betrachtung der Stellungnahmen der Verbände in Anhang 5.3.2) lässt aber bereits erahnen, dass die künftig veränderte Förderkulisse für die Umstellung auf alternative Antriebe verstärkt in den Medien thematisiert werden wird. Hintergrund dafür ist in erster Linie die Entscheidung der Bundesregierung, die E-Bus-Förderung um fast 77 Mio € zu senken und auslaufen zu lassen. Die öffentlichen Kommentierungen dieser Entscheidung durch die großen Branchenverbände tragen ihren Teil dazu bei. So erklärte der VDV in einer Pressemitteilung vom 19. Januar 2024 die E-Busförderung für „faktisch beendet“.¹⁰⁶ Inhaltlich gleichlautende Veröffentlichungen des bdo sowie anderer Verbände und Initiativen haben über Fachmedien hinaus ein bundesweites Echo gefunden.¹⁰⁷

Bewertung der Flottenumrüstungen

Während die Wahrnehmung der Förderung über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg von Grund auf positiv war und sich Kritik hauptsächlich auf einzelne Aspekte der Förderung oder deren Umfang bezog, hat sich die Wahrnehmung der Flottenumrüstungen an sich – also die Wahrnehmung der flächendeckenden Umrüstung der Flotten auf E-Busse und der zugrunde liegenden Antriebstechnik – im Zeitverlauf geändert. Eine nicht unwesentliche Rolle dürfte in diesem Zusammenhang erneut der VDV gespielt haben. Er wies seinerzeit darauf hin, dass es trotz Förderung durch den Bund wirtschaftlich noch keinen Sinn ergebe, kurzfristig die Flotten komplett auf Elektrobusse umzustellen, und begründete seine kritische Haltung damit, dass dazu benötigte Stück-

zahlen von den Fahrzeugherstellern nicht geliefert werden könnten und auch die passende Ladeinfrastruktur erst aufgebaut werden müsse.¹⁰⁸ Entsprechend konstatierte der VDV im Herbst 2018: „Für kurzfristig messbare Effekte mit Blick auf die Luftreinhaltung erscheint es vielmehr sinnvoll, parallel zum Markthochlauf der Elektromobilität die Beschaffung von modernen und emissionsarmen Euro-VI-Dieselsbussen voranzutreiben.“¹⁰⁹ Auch betonte der VDV, dass das hauptsächliche Ziel der Mobilitätswende darin liegen müsse, mehr Menschen vom Umstieg auf den ÖPNV zu überzeugen. Beispielsweise die Süddeutsche Zeitung griff diese Äußerung auf.¹¹⁰ Geäußert wurde in diesem Kontext auch die Sorge, der vermehrte Einsatz von Elektrobussen könne dazu führen, dass aufgrund geringerer Reichweite zusätzliche Fahrzeuge und zusätzliches Personal gebraucht würden, sodass die Umstellung zulasten der Angebotsausweitung – und damit der Attraktivitätssteigerung – im ÖPNV gehen könne.¹¹¹ Eine Sorge, die zuletzt fast gar keine Rolle mehr spielte.¹¹²

Im weiteren Zeitverlauf änderte sich der Blick der Branchenverbände und der verschiedenen Medien auf die Elektrifizierung. Zwar wurde auch 2022 und 2023 die konsequente Umstellung der Busflotten auf E-Mobilität und Wasserstoff noch vereinzelt infrage gestellt. So setzte sich etwa ein Kommentar in der Omnibusrevue damit auseinander, dass die hohen Umstellungskosten und die zahlreichen noch in Betrieb befindlichen modernen Dieselsbusse gegen eine vollständige Umstellung sprächen.¹¹³ In den allermeisten Medienbeiträgen wurden E-Busse im letzten Teil des Untersuchungszeitraums aber als fester Teil der Mobilitäts-/Antriebswende gesehen und die Umstellung der Busflotten wurde im Rahmen der Klimawende – gemeint ist hier in den meisten Fällen die Dekarbonisierung des Verkehrs – positiv thematisiert.¹¹⁴ In der Gesamtbetrachtung wurden Politik und Branche als Wegbereiter für klimafreundliche Mobilität wahrgenommen.¹¹⁵ Eine zunehmend wichtigere Rolle spielte dabei auch die Diskussion um die Nut-



¹⁰⁵ Vgl. Weser Kurier vom 24.11.2023, Tagesspiegel vom 20.11.2023, tagesschau online vom 06.12.2023, Kölner Stadt-Anzeiger vom 08.12.2023, General-Anzeiger Bonn vom 12.12.2023.

¹⁰⁶ Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 19.01.2024.

¹⁰⁷ Vgl. Omnibusrevue online vom 19.01.2024, Bus & Bahn vom 24.01.2024.

¹⁰⁸ Vgl. Nahverkehrspraxis vom 06.03.2018.

¹⁰⁹ VDV Politikbrief 2/2018 vom 23.10.2018.

¹¹⁰ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 25.09.2018.

¹¹¹ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 11.01.2020.

¹¹² Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 19.04.2022.

¹¹³ Vgl. Omnibusrevue vom 17.11.2022.

¹¹⁴ Vgl. Der Nahverkehr vom 06.06.2022.

¹¹⁵ Vgl. Der Nahverkehr vom 04.10.2022; Der Nahverkehr vom 01.11.2022, Nahverkehrspraxis vom 01.03.2023, Der Nahverkehr vom 01.03.2023.

zung von sogenanntem grünem Strom für Busse.¹¹⁶ Trotz dieser grundsätzlich positiven Einordnung der Flottenumstellung in Hinblick auf den Umwelt- und Klimaschutz blieben bis zuletzt kritische Stimmen bestehen, die die Nachhaltigkeit von E-Bussen infrage stellten. So verwies beispielsweise die Süddeutsche Zeitung darauf, dass es sich bei einem Einsatz von E-Bussen mit Strom aus fossilen Quellen lediglich um eine Verlagerung der CO₂-Emissionen vom Ausstoß während der Fahrt hin zum Ausstoß während der Energieproduktion handele – Stichwort: grüner Strom.¹¹⁷

Deutlich wurde auch, dass die Flottenumstellung im öffentlichen Nahverkehr auf E-Mobilität nicht immer aus eigenem Antrieb erfolgte. Über den Untersuchungszeitraum hinweg waren immer wieder Beiträge zu finden, in denen auf das Zusammenwirken von politischen Zielen und gesetzlichen Rahmenbedingungen hingewiesen wurde. Beispielhaft ist hier die Clean Vehicles Directive (CVD) der EU zu nennen, die nach Einschätzung verschiedener Fach-, Tages- und Wirtschaftsmedien für Handlungsdruck bei Bund, Ländern und Aufgabenträgern sorgte.¹¹⁸ Auch die von zahlreichen Tages- und Wirtschaftsmedien aufgegriffene dpa-Meldung „Das Brummen der E-Busse – Flottenumbau nimmt Tempo auf“ sah einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Implementierung der CVD in deutsches Recht und der Umrüstung vieler Busflotten.¹¹⁹

Wenn die Umstellung auf E-Mobilität mitunter auch als größte Herausforderung für die Branche in den nächsten Jahren wahrgenommen wurde,¹²⁰ so herrschte spätestens ab dem Jahr 2021 die Meinung vor, dass der Elektrobus die Branche dominieren wird. So wurde im Jahr 2021 vom „Boom bei E-Bussen“¹²¹ berichtet und das durch den VDV ausgerufen

„Jahrzehnt des E-Busses“ in den Medien aufgegriffen.¹²² Im Editorial des Busplaners resümierte Chefredakteur Claus Bünnagel anlässlich der Messe IAA Transportation: „Es geht ganz eindeutig kein Weg mehr vorbei am E-Bus“¹²³ und bezog sich darauf, dass bei praktisch allen ausstellenden Fahrzeugherstellern der Fokus auf vollelektrischen Modellen lag. Diese Beobachtung wurde von anderen Fachmedien bestätigt.¹²⁴

Bemerkenswert ist, dass diese positive Entwicklung in der Wahrnehmung der E-Busse selbst durch eine Kette vor Ereignissen nicht gebremst wurde, die im Jahr 2021 zumindest zweitweise für Verunsicherung in Bezug auf die generelle Sicherheit von E-Bussen sorgte. Gleich drei Großbrände in den Betriebshöfen von Verkehrsunternehmen, bei denen vor allem Elektrobusse betroffen waren, sorgten für eine mediale Debatte bezüglich einer erhöhten Brandgefahr bei E-Bussen. Die Häufung dieser Unglücksfälle mit Schadenssummen in dreistelliger Millionenhöhe führte spätestens nach dem dritten Ereignis innerhalb weniger Monate zu einem bundesweit zunehmenden Medieninteresse. Obwohl von Elektrobussen nachweislich keine erhöhte Brandgefahr ausgeht, ließen verschiedene Medien zwischenzeitlich Zweifel an der Sicherheit dieser Antriebstechnologie aufkommen. Eine ausführliche Analyse ausgewerteter Beiträge (siehe Anhang 5.3.1) kommt zwar zu dem Ergebnis, dass eine erkennbare Sensibilisierung verschiedener Medien für den Themenkomplex Sicherheit von E-Bussen festzustellen war; die daraus resultierende, teils kritische Tonalität der Berichterstattung führte jedoch nicht zu einer verminderten Akzeptanz gegenüber der Elektromobilität im ÖPNV. Diese Einschätzung bestätigten spätere Kundenbefragungen des VDV und seiner Mitgliedsunternehmen.



¹¹⁶ Vgl. NahverkehrsNachrichten vom 01.11.2022.

¹¹⁷ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 19.04.2022.

¹¹⁸ Vgl. NaNa-Brief vom 02.04.2019, Die Zeit vom 05.05.2020, Omnibusspiegel 2/2018, Nahverkehrspraxis vom 07.10.2020, Handelsblatt vom 26.02.2018, Tagesspiegel vom 06.10.2022, Süddeutsche Zeitung vom 06.10.2023.

¹¹⁹ Vgl. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 27.04.2022; Süddeutsche Zeitung vom 27.04.2022.

¹²⁰ Vgl. Omnibusrevue vom 28.02.2023.

¹²¹ Omnibusrevue vom 25.03.2021.

¹²² Vgl. NaNa-Brief vom 30.03.2021, Der Nahverkehr vom 04.10.2022.

¹²³ Busplaner vom 01.11.2022.

¹²⁴ Vgl. Der Nahverkehr vom 01.12.2022, Der Nahverkehr vom 01.10.2023, Nahverkehrspraxis vom 01.03.2023.



Abbildung 45: Beispielhafte Presse-Clippings zu den untersuchten Depotbränden des Jahres 2021 (Quelle: eigene Analyse)

Obwohl aus Sicht der Medien und der Branche also kein Weg an E-Bussen vorbeiführt, machen Dieselbusse zum aktuellen Zeitpunkt noch immer den überwiegenden Teil aller Neuanschaffungen aus. Als Gründe dafür stellte Der Nahverkehr im November 2022 fest: „Die Herausforderungen bei der Beschaffung und beim Betrieb von batteriebetriebenen Bussen, Oberleitungsbussen und auch solchen mit Wasserstoffantrieb bleiben auch in der Gegenwart groß.“¹²⁵ Als Nachteile der E-Bus-Technologie wurden im Untersuchungszeitraum hauptsächlich folgende Punkte identifiziert:

- **Hohe Anschaffungskosten für Fahrzeuge und Infrastruktur:** Während zu Beginn des Untersuchungszeitraums noch davon ausgegangen wurde,¹²⁶ dass die hohen Anschaffungskosten für Elektrobusse durch den erwarteten Markthochlauf sehr bald sinken würden und eine Wirtschaftlichkeit auch ohne finanzielle Förderung ab 2023 für

möglich gehalten wurde, findet sich in den jüngsten Meldungen noch immer der Verweis auf hohe Mehrkosten als größtes Hemmnis für die Anschaffung von E-Bussen.¹²⁷ Im Zuge der im Jahr 2022 beginnenden Energiekrise wurden allerdings auch die im Verhältnis zum Dieselbus nun nochmals geringeren Betriebskosten thematisiert.¹²⁸

- **Lange Wartezeiten durch Lieferengpässe:** Mit Bezug auf die Fahrzeugindustrie wurde zu Beginn des Untersuchungszeitraums kritisiert, dass insbesondere deutsche Fahrzeughersteller die Entwicklung im Segment der E-Busse verschlafen hätten. Darüber hinaus verfestigte sich die Kritik, dass – von wenigen vor allem asiatischen Ausnahmen abgesehen – nahezu alle relevanten Hersteller zu geringe Fertigungskapazitäten aufgebaut hätten, um die mittlerweile deutlich gestiegene Nachfrage aus dem Markt adäquat bedienen

zu können.¹²⁹ Allerdings relativierte die Fachzeitschrift *Nahverkehrspraxis* die von zahlreichen Medien aufgegriffene Kritik mit Verweis auf ein relativ plötzliches Interesse der Verkehrsunternehmen an Elektrobussen, das für lange Wartezeiten mitverantwortlich sei.¹³⁰ Spätestens seit 2021 wurde das Interesse europäischer Hersteller am E-Bus-Markt und die spürbare Ausweitung der Produktionskapazitäten positiv wahrgenommen. So berichtete *Sustainable Bus* etwa im Jahr 2022, dass der E-Bus-Markt in Deutschland weiter an Fahrt aufnehme, und berichtete in diesem Zusammenhang über die veränderte Strategie von Mercedes als Topseller in Deutschland.¹³¹ Diese Entwicklung ist in der Wahrnehmung der Medien nicht zuletzt der Förderkulisse durch den Bund zu verdanken. Diese hat nach Einschätzung der Medien wesentlich dazu beigetragen, dass sich Hersteller wie beispielsweise Daimler Buses künftig ganz auf die Produktion von E-Bussen fokussieren.¹³²

Technische Probleme: Die Probleme, die Elektrobusse im Vergleich mit der über Jahrzehnte bewährten Dieselschiffen hatten, sind hinlänglich bekannt und wurden im Medienumfeld überwiegend als „Kinderkrankheiten“ einer neuen Technologie bewertet. Dennoch wurden sie immer wieder als Grund dafür genannt, das Verkehrsunternehmen weiterhin Dieselschiffe bestellen oder bereits ausgelieferte E-Busse noch nicht in Betrieb nehmen konnten.¹³³ Insgesamt gab es aber zunehmend positive Stimmen, die die mittlerweile erreichte technische Ausgereiftheit von E-Bussen betonten.¹³⁴ Zwar wurde noch im Jahr 2021 in zahlreichen Beiträgen die mangelnde Kompatibilität von E-Bussen mit Ladeinfrastrukturen anderer Hersteller kritisiert.¹³⁵ In der medialen Wahrnehmung spielte dieser Themenkomplex zum Ende des Untersuchungszeitraums aber keine nennenswerte Rolle mehr.

- **Vergleichsweise geringe Reichweiten:** Ein immer wieder erwähnter Schwachpunkt von Elektrobussen waren die gegenüber Dieselfahrzeugen vergleichsweise geringen Reichweiten. Auch gegen Ende des Betrachtungszeitraums im Jahr 2023 war die geringere Reichweite immer wieder ein redaktioneller Aufhänger.¹³⁶ In der Berichterstattung sowohl von Tages- und Wirtschafts- als auch Fachmedien setzte sich jedoch zunehmend die Erkenntnis durch, dass Bewegung in die Entwicklung gekommen ist und mangelnde Reichweiten kein Hemmnis mehr darstellen.¹³⁷ In diesem Kontext waren vor allem in Fachzeitschriften vermehrt fachlich anspruchsvolle Beiträge zum Stand technischer Innovationen zu finden. So berichtete beispielsweise das *Urban Transport Magazine* über einen Hersteller, der einen neuen Elektrobus mit besonders großer Reichweite entwickelt hatte.¹³⁸ Auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb und batterieelektrische Busse mit einer Brennstoffzelle als Range-Extender spielen hier eine große Rolle.¹³⁹
- **Wiederverkaufswert von E-Bussen und Verwertung von Batterien:** Jenseits hoher Investitionen bei der Erstanschaffung von Elektrobussen sahen Verkehrsunternehmen und Branchenverbände von Beginn an die Risiken nicht ausreichend berücksichtigt, die sich im Zusammenhang mit der Lebensdauer von Batterien (ähnlich auch Brennstoffzellen) sowie dem Wiederverkaufswert gebrauchter Elektrobusse ergeben. Beide Themen, der Gebrauchtmärkte für Fahrzeuge ebenso wie die Wiederverwendbarkeit von Batterien, wurden als Schwäche der E-Bus-Technologie behandelt. Dem gegenüber stand jedoch ein mehrfach zitierter Beitrag in der *Omnibusrevue* über ein Pilotprojekt zur Wiederverwertung von E-Bus-Batterien.¹⁴⁰



¹²⁹ Vgl. *NahverkehrsNachrichten* vom 31.08.2018, *Nahverkehrspraxis* vom 12.08.2018, *NahverkehrsNachrichten* vom 15.03.2019.

¹³⁰ Vgl. *Nahverkehrspraxis* vom 28.08.2018.

¹³¹ Vgl. *Sustainable Bus* vom 25.01.2022. Lieferengpässe der Fahrzeugindustrie wurden zwar auch bis zuletzt vereinzelt noch als Gründe für Verzögerungen bei der Flottenumstellung thematisiert, allerdings nicht mehr mit Fehleinschätzungen europäischer Hersteller zum Transformationsprozess, sondern mit Umständen wie der Corona-Pandemie oder später dem Krieg in der Ukraine mitsamt seinen Folgen in Verbindung gebracht. Vgl. *Sustainable Bus* vom 18.01.2023, *Tagesspiegel* vom 20.02.2023.

¹³² Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 05.03.2022.

¹³³ Vgl. *NaNa-Brief* vom 05.07.2022.

¹³⁴ *Südkurier*, 14.01.2022.

¹³⁵ Vgl. *Die Zeit* vom 24.09.2018, *Nahverkehrspraxis* vom 13.04.2018, *Nahverkehrspraxis* vom 04.08.2021.

¹³⁶ Vgl. *Stuttgarter Nachrichten* vom 12.06.2022; *Märkische Allgemeine* vom 09.02.2022.

¹³⁷ Vgl. *EuroBus* vom 21.12.2021, *Urban Transport Magazine* vom 18.12.2022, *Tagesspiegel* vom 20.02.2023.

¹³⁸ Vgl. *Urban Transport Magazine* vom 15.03.2022.

¹³⁹ Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 29.01.2022, *Omnibusrevue* vom 11.10.2023.

¹⁴⁰ Vgl. *Omnibusrevue* vom 21.04.2022.

Wahrnehmung von Brennstoffzellenbussen in den Medien

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde das Thema Wasserstoffeinsatz bei Elektrobussen ab dem Jahr 2022 gesondert in die Dokumentation und Medienanalyse einbezogen. Obwohl Brennstoffzellen- bzw. Wasserstoffbusse, wie sie insbesondere in den Tagesmedien häufig bezeichnet werden, im Hinblick auf konkrete Anschaffungen noch immer eine Randerscheinung darstellen, wurde in dem Zeitraum der Jahre 2022 und 2023 erstaunlich häufig über das Thema berichtet (siehe quantitative Analyse). Ein Grund dafür dürfte darin gelegen haben, dass das Thema für die Medien verhältnismäßig neu war. Möglicherweise wurde das Thema auch – insbesondere in der breiten Öffentlichkeit und damit in den Tages- und Wirtschaftsmedien – tendenziell überschätzt. Zumindest ist dieser Effekt für den Pkw-Bereich bereits gut belegt. Es bleibt daher zu vermuten, dass das mediale Interesse am Thema Brennstoffzellenbusse mit sinkendem Neuigkeitswert dieser Technologie in den kommenden Jahren nachlassen wird.

In den Beiträgen ging es sowohl um die Rolle, die Wasserstoff insgesamt für den ÖPNV spielt, wie etwa im Beitrag „Wasserstoff in der Mobilität – Besonderheiten und Gefahren des Kraftstoffs“¹⁴¹, als auch um den Einsatz speziell für Busse.

Anlass der Berichterstattung war häufig die Umstellung regionaler Verkehrsunternehmen auf wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, in den Fachmedien nicht selten verbunden mit technischen Details zu Ausstattung und Leistung entsprechender Busse.¹⁴² Auch waren in den Fachmedien Beiträge zu finden, die im Hinblick auf die Beschaffung von Wasserstoffbussen konkrete Empfehlungen veröffentlichten.¹⁴³ Besonders häufig wurde im Jahr 2023 in verschiedenen Fachmedien über Elektrobusse mit Brennstoffzellen als sogenannte

Range-Extender berichtet, die in Heidelberg, Paderborn und Mannheim erstmals zum Einsatz kamen.¹⁴⁴

Tages- und Wirtschaftsmedien zielten in ihrer Berichterstattung vor allem auf die Klimafreundlichkeit von Brennstoffzellenbussen ab.¹⁴⁵ Mitunter wurden konkrete CO₂-Einsparungen erwähnt.¹⁴⁶ Zu beobachten war auch, dass das Thema Wasserstoff vielerorts Teil des Standortmarketings von Regionen und Kommunen geworden ist. So wurde immer wieder auf die Vorreiterrolle und die Bedeutung als Modellregion von verschiedenen Städten und Regionen in Hinblick auf die Umstellung auf Brennstoffzellenbusse oder auch generell die Nutzung von Wasserstoff verwiesen.¹⁴⁷

Die Sichtweise auf mit Wasserstoff betriebene Busse blieb aber ambivalent. Bezogen auf die tatsächliche Nachhaltigkeit von Brennstoffzellenbussen merkte das Fachmagazin *Der Nahverkehr* zum Beispiel kritisch an, dass lediglich bis zu 5 % des in Deutschland hergestellten und verbrauchten Wasserstoffs „grün“ seien.¹⁴⁸ Die *Frankfurter Allgemeine Zeitung* (FAZ) wiederum berichtete, dass in Mainz und Wiesbaden bereits grüner Wasserstoff vorhanden wäre, die Verfügbarkeit von Brennstoffzellenbussen aber noch unzureichend sei, sodass doch immer wieder auf Dieselsechnologien zurückgegriffen werden müsse.¹⁴⁹ Auch berichtete die FAZ, hier insbesondere mit ihrer Regionalausgabe *Rhein-Main-Zeitung*, intensiv über die Entscheidung in Wiesbaden, von der Einflottung von Wasserstoffbussen wieder Abstand zu nehmen,¹⁵⁰ betonte aber auch, dass dies nicht bedeute, dass Brennstoffzellenbusse für andere Städte in Hessen keine Option mehr seien.¹⁵¹ Für zusätzliche – vor allem negative – mediale Aufmerksamkeit über Hessen hinaus sorgte eine Pressemitteilung des Bundes der Steuerzahler, der die Wiesbadener Fehlinvestitionen in das sogenannte Schwarzbuch des Jahres 2023 aufgenommen hat.¹⁵²



¹⁴¹ *Der Nahverkehr* vom 04.10.2022.

¹⁴² Vgl. *Urban Transport Magazine* vom 13.01.2022; *Newstix* vom 08.05.2022, *Urban Transport Magazine* vom 18.01.2023.

¹⁴³ Vgl. *Der Nahverkehr* vom 01.06.2022; *Eurobus* vom 22.02.2022.

¹⁴⁴ Vgl. *Omnibusrevue* vom 11.10.2023, *Omnibusrevue* vom 24.11.2023, *Urban Transport Magazine* vom 17.10.2023, *Urban Transport Magazine* vom 17.11.2023.

¹⁴⁵ Vgl. *Süddeutsche Zeitung* vom 04.10.2022.

¹⁴⁶ Vgl. *RP Online* vom 23.02.2022; *RP Online* vom 12.04.2022.

¹⁴⁷ Vgl. *Kölnner Stadt-Anzeiger* vom 24.01.2022; *Mannheimer Morgen* vom 05.01.2022; *Lausitzer Rundschau* vom 14.02.2022; *Focus Online* vom 14.06.2022.

¹⁴⁸ Vgl. *Der Nahverkehr* vom 04.10.2022.

¹⁴⁹ Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 29.01.2022.

¹⁵⁰ Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 14.12.2022.

¹⁵¹ Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 15.12.2022, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 16.12.2022.

¹⁵² Vgl. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 17.10.2023.



Abbildung 46: Beispielhafte Presse-Clippings zum Themenkomplex Wasserstoff (Quelle: eigene Analyse)

Im unmittelbaren Vergleich mit batterieelektrischen Bussen berichteten Medien häufig über technische Vorteile von Brennstoffzellenbussen, wie etwa größere Reichweiten oder kürzere Tankvorgänge gegenüber langen Batterieladezeiten.¹⁵³ Focus Online widmete dem Reichweitenvorteil im Jahr 2022 sogar einen kompletten Hintergrundbericht und thematisierte in diesem Kontext auch die Fördermöglichkeiten durch den Bund.¹⁵⁴

Als wesentlicher Nachteil wurden die hohen Kosten von Brennstoffzellenbussen genannt.¹⁵⁵ Der Hinweis auf die hohen Kosten wurde zudem häufiger genutzt, um die Notwendigkeit der Förderung durch den Bund zu thematisieren.¹⁵⁶ Der Tagesspiegel machte in einem sogenannten Background explizit die abgelehnte Förderung durch den Bund dafür verantwortlich, dass die Mainzer Verkehrsgesellschaft die geplante Umstellung

der Busflotte auf Wasserstoffantrieb nicht realisieren konnte.¹⁵⁷ Aber auch der Aufbau notwendiger Infrastrukturen und damit verbundene zusätzliche Investitionskosten waren vielfach ein Thema.¹⁵⁸

Trends und Bewertung der qualitativen Analyse

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die qualitative Analyse erkennbare Tendenzen in der Wahrnehmung von E-Bussen und ihrer Förderung im Zeitverlauf aufgezeigt hat. Die Tonalität der Berichterstattung in Bezug auf Förderprogramme des Bundes war dabei von Anfang an zumeist neutral, teils auch positiv. Kritik an der Förderung hinterfragte weniger das Ob als mehr das Wie. Medial bemängelt wurden zunächst Rahmenbedingungen wie etwa die Mindestanzahl an zu beschaffenden Fahrzeugen oder die Unübersichtlichkeit der Förderlandschaft

¹⁵³ Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 14.07.2023; Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 29.01.2022, Tagesspiegel vom 20.02.2023.

¹⁵⁴ Vgl. Focus Online vom 03.05.2022.

¹⁵⁵ Vgl. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 03.01.2023.

¹⁵⁶ Vgl. Lausitzer Rundschau Online vom 03.02.2022.

¹⁵⁷ Vgl. Tagesspiegel Background vom 23.01.2022.

¹⁵⁸ Vgl. Hamburger Abendblatt vom 09.05.2022; Lausitzer Rundschau Online vom 03.02.2022; Bushlickpunkt vom 21.02.2022; Kölner Stadt-Anzeiger Online vom 07.04.2022; Nordwest Zeitung vom 01.04.2022; Newstix vom 16.10.2022.

auf nationaler und europäischer Ebene. Geblieben ist die öffentliche Kritik an einer zu geringen finanziellen Ausstattung entsprechender Förderprogramme (Stichwort Überzeichnung) und einer fehlenden Nachhaltigkeit im Sinne langfristiger Förderstrukturen. Nicht nur für die Anschaffung der Fahrzeuge, sondern auch für zusätzliche Investitionen in notwendige Infrastrukturen.

Die Wahrnehmung von E-Bussen im öffentlichen Erscheinungsbild und der Elektrifizierung bestehender Busflotten in Deutschland änderte sich im Zeitverlauf erkennbar. Waren insbesondere in der Phase der rückwärtigen Betrachtung (in den Jahren 2018 bis 2020) noch zahlreiche kritische Veröffentlichungen zu finden, die eine konsequente Umstellung infrage stellten und hier insbesondere mit fehlender Nachhaltigkeit und mangelnder technischer Ausgereiftheit argumentierten, so ist diese Kritik in den Folgejahren von einer zunehmend positiven Bewertung abgelöst worden. Vereinzelt wird zwar noch immer eine größere Technologieoffenheit thematisiert, die überwiegende Mehrzahl der Beiträge lässt aber keinen Zweifel daran, dass am E-Bus kein Weg mehr vorbeiführt und diese Antriebstechnologie die ÖPNV-Branche künftig dominieren wird. Als Gründe dafür werden zusätzlich zu politischen Rahmenbedingungen wie Clean Vehicles Directive (CVD) oder Euro VI bzw. VII insbesondere auch die Förderprogramme durch den Bund genannt.

Nahezu einhelliger Tenor der bis Ende des Jahres 2023 dokumentierten und analysierten Veröffentlichungen war die Einschätzung, dass eine Umstellung auf alternative Antriebe und hier insbesondere die Elektromobilität im öffentlichen Nahverkehr ohne finanzielle Förderprogramme des BMWK nicht zu realisieren gewesen wäre.

2.2.7.3 Zusammenfassung und Interpretation der Medienanalyse

Zusammenfassend lassen sich als wichtigste Erkenntnisse aus der quantitativen und der qualitativen Medienanalyse folgende Aspekte benennen:

Der untersuchte Themenkomplex „Förderung der Anschaffung von Elektrobussen für den ÖPNV“ spielte im Untersuchungszeitraum in allen untersuchten Medien eine Rolle. In den Jahren 2018 bis 2023 wurden allein in den untersuchten Tages- und Wirtschaftsmedien über 360 relevante Veröffentlichungen dokumentiert, bei den Fachmedien lag diese Zahl sogar bei über 1.200.

Der Verlauf der Häufigkeit der Berichterstattung über den Untersuchungszeitraum hinweg zeigt aber auch, dass Elektrobusse in der medialen Wahrnehmung als neuer Standard neben dem Dieselsbus angekommen sind und deshalb an Neuheitswert für die Berichterstattung verlieren. Diesen Schluss lässt sowohl die Berichterstattung in den Tages- und Wirtschaftsmedien als auch die in den Fachmedien zu, da in beiden Mediengattungen die Intensität der Berichterstattung einen grundsätzlich bogenförmigen Verlauf aufwies. Nach einem deutlichen Höhepunkt im Jahr 2021, als die anstehenden Bundestagswahlen das Thema Nachhaltigkeit und nachhaltige Mobilität stark in den Fokus rückten, nahm die Berichterstattung jeweils stetig ab. Im Bereich der Tages- und Wirtschaftsmedien waren es überwiegend Regionalmedien, die verstärkt über die Anschaffung von E-Bussen berichten. Grundsätzlich ist das Interesse der Fachmedien am Thema immer noch wesentlich höher als in den Tages- und Wirtschaftsmedien, zumal hier auch immer wieder über technische Neuerungen und ähnliche Aspekte, die hauptsächlich für ein Fachpublikum relevant sind, berichtet wird. Zu beobachten ist zudem, dass überregionale und Fachmedien nun häufiger von Brennstoffzellenbussen berichten und damit verstärkt eine Antriebstechnologie in den Fokus nehmen, die aktuell noch einen hohen Neuheitswert hat.

Während Fachmedien besonders zu Beginn der Veröffentlichung der Förderrichtlinie „Anschaffung von E-Bussen im öffentlichen Personennahverkehr“ des BMWK öfter über die Förderrichtlinie an sich berichteten, griffen Tages- und Wirtschaftsmedien das Thema fast ausschließlich in anderen Kontexten auf. Der häufigste Kontext, in dem E-Bus-Förderprogramme erwähnt wurden, waren Anschaffungen

und Ausschreibungen. Aspekte rund um diesen Themenkomplex spielten in rund 30 bis 40 % der für die Untersuchung relevanten Beiträge der Tages- und Wirtschaftsmedien eine Rolle. Mit etwa 40 bis 65 % lag der Anteil bei den Fachmedien merklich höher. In diesem Rahmen erwähnten Tages- und Wirtschaftsmedien recht häufig einen Förderhintergrund (in um die 80 % der Beiträge über Beschaffung und Tests von E-Bussen), Fachmedien wesentlich seltener (in ca. der Hälfte der Beiträge über Beschaffung und Tests), was womöglich darauf zurückzuführen ist, dass die Förderkulisse in den Fachmedien bereits als bekannt vorausgesetzt wurde. Wurde eine Förderung erwähnt, spezifizierten Fachmedien allerdings häufiger konkret das BMWK als Fördermittelgeber, Tages- und Wirtschaftsmedien verwiesen oft allgemein auf eine Förderung durch den „Bund“, womit bis zur Einführung der Förderrichtlinie des BMDV im Herbst 2021 in der Regel aber eine Förderung des BMWK gemeint sein dürfte. Grundsätzlich wurde die Förderung also durchaus – aber bei Weitem nicht in allen Beiträgen – wahrgenommen.

Wurde eine Förderung erwähnt, fiel die Berichterstattung dazu hauptsächlich neutral bis positiv aus: In den Tages- und Wirtschafts- sowie in den Fachmedien, insbesondere aber auch durch die Branchenverbände wurden die Förderprogramme von Anfang an begrüßt und ihre Relevanz für den Markthochlauf der E-Busse betont. Immer wieder wurde darauf verwiesen, dass die gegenüber Bussen mit herkömmlicher Dieselschiffahrt vergleichsweise hohen Anschaffungskosten der E-Busse ohne entsprechende Förderung für viele Busunternehmen nicht tragbar wären. Vereinzelt Kritik an der Ausgestaltung der Förderprogramme wurde im Zeitverlauf immer weniger und bezog sich zuletzt hauptsächlich auf den aus Sicht der Branche zu geringen Umfang der zur Verfügung gestellten Mittel. Diese Kritik wurde insbesondere durch die Branchenverbände befeuert, die naturgemäß hauptsächlich im Interesse ihrer Mitgliedsunternehmen agieren. Für Verunsicherung sorgte zuletzt die erkennbare Einstellung der Förderung durch das BMDV, dessen Förderrichtlinie die Förderrichtlinie des BMWK Ende 2021 ablöste.

Während die Förderung also eher neutral bis positiv bewertet wurde, überwog in Bezug auf einen potenziell flächendeckenden Einsatz von E-Bussen in Deutschland in der medialen Wahrnehmung 2018 und 2019 eindeutig noch Skepsis, die unter anderem auf diverse Kinderkrankheiten der neuen Antriebstechnologie, geringe Reichweiten, fehlende Infrastrukturen und Lieferengpässe der europäischen Bushersteller zurückging. Im Laufe des Untersuchungszeitraums wandelte sich diese Wahrnehmung jedoch grundlegend. Spätestens ab 2022 herrschte die Meinung vor, dass die E-Bus-Technologie unabdingbarer Bestandteil einer gelingenden Antriebswende sei. Selbst die Serie von Großbränden in Busdepots im Jahr 2021 bremste die Entwicklung hin zu einer fast durchgehend positiven Wahrnehmung von E-Bussen nicht. Zwar erlangte spätestens der dritte Großbrand in Folge, der sich im Oktober 2021 in Stuttgart ereignete, die Aufmerksamkeit der überregionalen Medien, die Berichterstattung zeichnete sich aber schnell durch eine angemessene Sachlichkeit aus und beeinflusste die Wahrnehmung nicht nachhaltig.

Getrieben worden sein dürfte diese Wahrnehmung unter anderem durch die Positionen der Branchenverbände. Die anfängliche Skepsis des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und des Bundesverbands Deutscher Omnibusunternehmer (bdo), die 2018 und 2019 den Tenor bestimmte, wich bereits 2020 einer positiven Wahrnehmung. Insistierte der VDV noch 2019 darauf, parallel zum Markthochlauf der Elektromobilität die Beschaffung von modernen und emissionsarmen Euro-VI-Dieselsbussen voranzutreiben, stand ab 2020 vorrangig die Forderung nach umfangreicherer Förderung im Fokus. Wie groß der Einfluss der Verbände auf die mediale Wahrnehmung des Einsatzes von E-Bussen war, zeigte sich nicht zuletzt an der Häufigkeit, mit der sowohl Tages- als auch Fachmedien entsprechende Stellungnahmen aufgriffen. Die zunehmend positive Wahrnehmung und Akzeptanz der neuen Antriebstechnologie durch die Branchenverbände wiederum dürfte unter anderem darin begründet liegen, dass der durch rechtliche Rahmenbedingungen einerseits und die Förderprogramme andererseits

beschleunigte Markthochlauf der E-Busse positive Effekte zeigte: Die Branche konnte mehr Erfahrungen mit der immer ausgereifteren Technik sammeln und die europäischen Busersteller – darunter auch die deutschen – konzentrierten sich unter anderem vor dem Hintergrund einer attraktiven Förderkulisse verstärkt auf batterieelektrische Antriebe.

2.2.8 Erkenntnisse aus der Befragung von Busbetreibern, Aufgabenträgern und Buserstellern

Um zentrale Faktoren für die Entwicklung des Marktes zu identifizieren, wurde die Positionierung der Angebotsseite (Hersteller von Elektrobussen) sowie der Nachfrageseite (Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger) mittels ausführlicher, leitfadengestützter Interviews untersucht. Ziel war es, die Wahrnehmung des Themenfelds, Chancen und Hemmnisse für die Marktentwicklung sowie Prioritäten und Strategien der jeweiligen Akteure zu eruieren. Dies stellt eine wichtige Grundlage dar, um zu konsistenten Empfehlungen bezüglich der Weiterentwicklung der E-Bus-Förderung zu kommen.

Es wurden zwei onlinebasierte Interviewserien im Abstand von etwa zwei Jahren durchgeführt. Die Gespräche zielten nicht auf eine repräsentative Erhebung ab, sondern vielmehr auf die Identifikation zentraler Problempunkte, die bei der Unterstützung der weiteren Busflottenelektrifizierung angegangen werden sollten, sowie vielversprechender Lösungsstrategien.

Die Befragungsrunden fokussierten auf unterschiedliche Themen. In der ersten Runde stand die Bestimmung des Status quo und eine differenzierte Betrachtung der technologischen Strategien und Hemmnisse im Mittelpunkt. Bei der zweiten Runde lagen bereits deutlich mehr Praxiserfahrungen sowohl mit der elektrischen Busflotte als auch mit den Beschaffungsprozessen vor, sodass hier der Fokus auf die Wirtschaftlichkeit im Realbetrieb sowie die strategische Einschätzung des Marktes gesetzt wurde. Zudem spielte hier der Ausblick jenseits der Förderung eine entscheidende Rolle, die Erkenntnisse hierzu fließen insbesondere auch in die Empfehlungen im Fazit

(Kapitel 2.2.8.3) ein. Es gab mithin deutliche thematische Überschneidungen zwischen den Gesprächen der ersten und zweiten Runde. In gewissem Umfang lassen sich auch Entwicklungen zwischen den beiden Befragungszeiträumen ableiten.

Die nachfolgende Darstellung der Ergebnisse ist nach den Themenschwerpunkten der beiden Befragungsrunden gegliedert. Sofern Erkenntnisse aus der jeweils anderen Befragungsrunde eingeflossen sind, ist dies explizit gekennzeichnet, um eine zeitliche Einordnung zu ermöglichen. Ebenso ist gekennzeichnet, wenn es zwischen den befragten Akteuren unterschiedliche Auffassungen zu einem Thema gab. Allen Interviewpartnern wurde eine anonyme Auswertung zugesichert. Die nachfolgend getätigten Aussagen sind daher so formuliert, dass die Auswertung keine Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen ermöglicht.

2.2.8.1 Erste Befragungsrunde (Jahre 2021/2022)

Einleitung: Inhaltliche Schwerpunkte und befragte Akteure

Im ersten Befragungszeitraum wurden sechs Interviews mit Verkehrsunternehmen (im Folgenden z.T. auch als Busbetreiber bezeichnet) sowie zwei Gespräche mit Herstellern durchgeführt. Sie fanden schwerpunktmäßig im März und April 2021 statt, zwei weitere Gespräche wurden im Dezember 2021 und Januar 2022 geführt. Die Gespräche dauerten jeweils etwa 1,5 bis 2 Stunden, in einem Fall 3 Stunden, und wurden als Online-Videomeeting durchgeführt. Fünf der interviewten Verkehrsunternehmen betrieben zum Zeitpunkt der Gespräche bereits größere E-Bus-Flotten in größeren deutschen Städten, ein weiteres Verkehrsunternehmen betreibt eine kleine Busflotte im ländlichen Raum und verfügte zum Befragungszeitpunkt über Erfahrungen aus dem Betrieb einzelner elektrischer Fahrzeuge. Bei den beiden interviewten Herstellern handelt es sich um einen deutschen und einen nicht deutschen, beide zusammen hatten zum Zeitpunkt der Gespräche einen signifikanten Anteil am deutschen E-Bus-Markt.

Der Interviewleitfaden umfasste folgende Hauptfragen, die abhängig vom Gesprächspartner und dem Gesprächsverlauf weiter ausdifferenziert wurden:

1. Wie haben Sie die Entwicklung des Themenfelds E-Busse in den vergangenen Jahren wahrgenommen?
2. Welche Rolle hat die staatliche Förderung von E-Bussen in den vergangenen Jahren gespielt?
3. Welchen Antriebstechnologiemix erwarten Sie im Busbereich im Zeithorizont 2030 bzw. 2050?
4. Welche Erwartungen/Hoffnungen/Befürchtungen verbinden Sie mit den jeweiligen Antrieben? (nur Busbetreiber)
5. Wodurch werden Ihre Investitionsentscheidungen hauptsächlich bestimmt? (nur Busbetreiber)
6. Wie gehen Sie mit Unsicherheiten bezüglich der weiteren technischen Entwicklung um?
7. Welche Auswirkungen erwarten Sie durch bereits beschlossene regulatorische Instrumente, insbesondere durch die Clean Vehicles Directive (CVD)?
8. Wie empfinden Sie das BMWK-Förderverfahren? Haben Sie Anregungen für Verbesserungen des Förderprogramms?

Sämtliche Fragen wurden qualitativ ausgewertet, bei den Fragen 3–5 erfolgte zusätzlich eine semi-quantitative Auswertung. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten nach den dargestellten Fragen gegliedert dargestellt.

Entwicklung des Themenfelds Elektrobusse in den zurückliegenden Jahren

Zum Einstieg wurden die Gesprächspartner gebeten, zwei Entwicklungen im Themenfeld Elektro-Busse in den zurückliegenden fünf Jahren zu benennen, die aus ihrer Sicht besonders bedeutsam sind. Die Akteure nannten daraufhin häufig auch mehr als zwei Entwicklungen. Die genannten Punkte lassen sich grob den Bereichen Technik, Wirtschaftlichkeit und politisches Umfeld zuordnen.

Im Bereich Technik wurde vor allem die stark gestiegene Zuverlässigkeit von batterieelektrischen Bussen hervorgehoben (ein Busbetreiber nannte als Anhaltspunkt einen Anstieg von etwa 75 % Verfügbarkeit auf 90 %), auch wenn diese noch nicht ganz das Niveau von Dieselnissen erreicht habe. Durch die Zunahme der verfügbaren Reichweiten werden Brennstoffzellenbusse im Stadtverkehr zunehmend als entbehrlich angesehen.

Beim Thema Wirtschaftlichkeit wurde von Betreibern und OEMs vor allem eine Abkehr von der Umstellung einzelner Fahrzeuge auf Elektroantrieb zugunsten einer integrierten elektrischen Flottenplanung genannt. Die Folge sei zum einen eine Änderung des „Mindsets“ und zum anderen auch völlig andere, skalierbare Prozesse, die den Markteintritt für einige Player (v. a. europäische OEMs) erst attraktiv gemacht haben. Als zentraler Auslöser für den Schwenk hin zur Betrachtung von Flotten wurde die Ausweitung der staatlichen Förderung im Rahmen des Programms „Saubere Luft“ genannt.

„Es muss sowieso irgendwann gemacht werden, also jetzt umdenken!“

(Beschreibung des neuen „Mindsets“ durch einen Busbetreiber)

Im Bereich des politischen Umfelds sahen vor allem die Busbetreiber einen Wandel im Ambitionsniveau (Definition ambitionierter Elektrifizierungsziele für Busflotten, Zeitpunkte für den Verbrennerausstieg in einzelnen Kommunen). Gleichzeitig wurde ein politischer Erkenntnisprozess beobachtet, sodass Förderung und weitere Entlastungen auf Ebene der Bundes- und Landespolitik als essenziell angesehen werden (z. B. Befreiung von der EEG-Umlage) und gleichzeitig regulatorische Vorgaben für die Beschaffung notwendig sind (CVD). Es wurde aus den Gesprächen aber auch deutlich, dass der Grad an Unterstützung aus der Lokalpolitik je nach Kommune sehr unterschiedlich ausfallen kann.

„Vor wenigen Jahren musste man sich noch rechtfertigen, dass man was tut. Jetzt kann es nicht schnell genug gehen.“

(ein Busbetreiber)

Zusammenfassend kann die **Wahrnehmung folgender zentraler Entwicklungen** konstatiert werden:

- Zumindest für den städtischen Bereich hat eine technologische Fokussierung auf BEV stattgefunden.
- Durch ambitionierte Ziele in etlichen Kommunen wurde das Thema Flottenentwicklung (im Gegensatz zu Einzelfahrzeugen) zentral und damit die Elektrifizierung für die OEMs attraktiv.
- Durch gesteigerte Zuverlässigkeit/Verfügbarkeit ist eine Flottenelektrifizierung zunehmend auch umsetzbar.
- Ambitionierte Förderung hat einen Markt in Gang gebracht, der die Verstetigung der Dynamik durch regulatorische Instrumente (CVD) ermöglichte.

Rolle staatlicher Förderung in den zurückliegenden Jahren

Auf die Frage nach der Rolle staatlicher E-Bus-Förderung in den zurückliegenden Jahren wurde seitens der Busbetreiber angegeben, die Förderung habe einigen „First Movern“ geholfen zu skalieren (z. B. Osnabrück, Köln und Wiesbaden) und das Thema bei weiteren „Next Movern“ auf die Tagesordnung gesetzt. Die Gespräche (v. a. auch in der zweiten Befragungsrunde) zeigten allerdings auch deutlich, dass staatliche Kaufprämien für E-Busse zunehmend als unverzichtbar angesehen werden und diese Art der Förderung von den Busbetreibern bislang kaum infrage gestellt wird.

Als weiteren Aspekt nannten die Busbetreiber, dass die Förderung und die von ihr induzierte Nachfrage erst zu einem brauchbaren Marktangebot der heimischen Industrie geführt habe, die sich bewusst sei, dass deutsche Busbetreiber vor allem wegen Qualität und Service „an ihnen nicht vorbeikommen“. Der Busmarkt in Deutschland wird durch die Busbetreiber auf OEM-Seite als Oligopol, die Angebotsseite also als

marktbestimmend wahrgenommen – die Förderung half hier, den Status quo zu durchbrechen. In Asien sei dies mitunter anders, hier wird teilweise Bus-as-a-service von Städten bestellt, womit Risiken (bspw. die operative Verfügbarkeit der Fahrzeuge und den Restwert betreffend) weitgehend bei den Fahrzeugherstellern liegen.

Aufseiten der OEMs gab einer der Befragten an, dass wichtige F&E-Entscheidungen für E-Busse geraume Zeit vor Einsetzen der Förderung gefallen seien, die Produkte dann aber erst infolge der Förderung auf den Markt gebracht werden konnten. Dies hänge wesentlich damit zusammen, dass die ausgeweitete E-Bus-Förderung Elektrifizierungsvorhaben auf Flottenebene und damit Skaleneffekte ermöglichte. Die zuvor praktizierte kleinskalige Förderung (von Einzelfahrzeugen) war aus Sicht der OEMs zum Teil kontraproduktiv, da sie vor allem Speziallösungen („Exoten“) hervorbrachte. Gleichzeitig wird aber sowohl von Busbetreibern als auch von Herstellern betont, dass bei Linienbussen die Anforderungen im Detail sehr divers sind und Standardisierung Grenzen hat. Bei H₂-Brennstoffzellenbussen wird von Herstellerseite explizit auch Bedarf für staatliche F&E-Förderung gesehen. Dies kann als Indiz gewertet werden, dass die Hersteller bezüglich des Marktpotenzials von Brennstoffzellenbussen in einer zunehmend elektrifizierten Antriebswelt skeptisch sind.

Erwartete Bedeutung verschiedener Antriebstechnologien

Mittels einer semi-quantitativen Abfrage wurde ermittelt, welche Bedeutung die Gesprächspartner verschiedenen Antriebstechnologien im Zeithorizont 2030 sowie 2050 für den Busbereich zuschreiben. Dabei wurde zwischen Stadtbusverkehr und Regionalverkehr differenziert. Die Befragten konnten die voraussichtliche Bedeutung der einzelnen Antriebe auf einer fünfstufigen Skala von „spielt keine Rolle“ (-2) bis „spielt eine zentrale Rolle“ (+2) angeben. Die gemittelten Ergebnisse sind in Abbildung 48 und Abbildung 49 dargestellt.

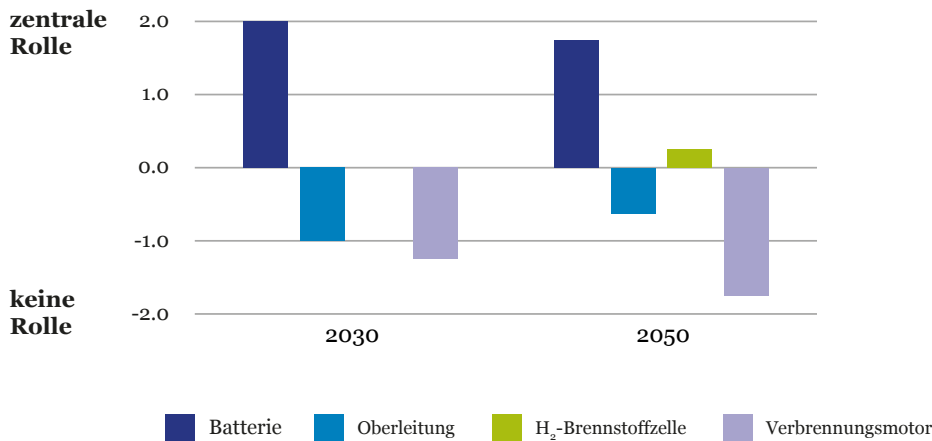


Abbildung 47: Einschätzungen der Akteure zum voraussichtlichen Antriebstechnologiemix im Stadtbusverkehr mittelfristig (2030) und langfristig (2050). Gezeigt sind die Mittelwerte aller Antworten (n=8). Bei H₂/BZ ist der Mittelwert 2030 genau null, der Balken daher nicht sichtbar.

Im Stadtbusverkehr zeigen die Ergebnisse die Erwartung einer klaren Dominanz des Batterieantriebs. Für den Verbrennungsmotor wird für diesen Anwendungsfall zukünftig kaum noch eine Rolle gesehen. Bei den Oberleitungsbussen wird zwar vom Bestand der bisherigen Systeme (insgesamt drei in Deutschland) ausgegangen, die Einführung weiterer O-Bus-Systeme aber für sehr unwahrscheinlich gehalten. Hinsichtlich der zukünftigen Rolle der Brennstoffzellentechnologie gab es unter den Akteuren unterschiedliche Einschätzungen jeweils zwischen -2 und +1. Einigkeit bestand jedoch darin, dass diese Technologien im Stadtbusbereich eine geringere Rolle spielen dürften als Batteriebusse.

Im Bereich des Regionalverkehrs gingen die Einschätzungen stärker auseinander, vor allem zur Frage, welche Einsatzprofile zukünftig mit Batteriebusen machbar sind (siehe auch weiter unten). Im Regionalverkehr wird eine vergleichsweise geringere technologische Fokussierung erwartet, die meisten der Befragten sehen zukünftig einen Mix aus Brennstoffzellen- und Batteriebusen. Der Verbrennungsmotor wird künftig eher in Nischen gesehen, die Oberleitungstechnologie für den Regionalverkehr insgesamt als sehr unwahrscheinlich erachtet.

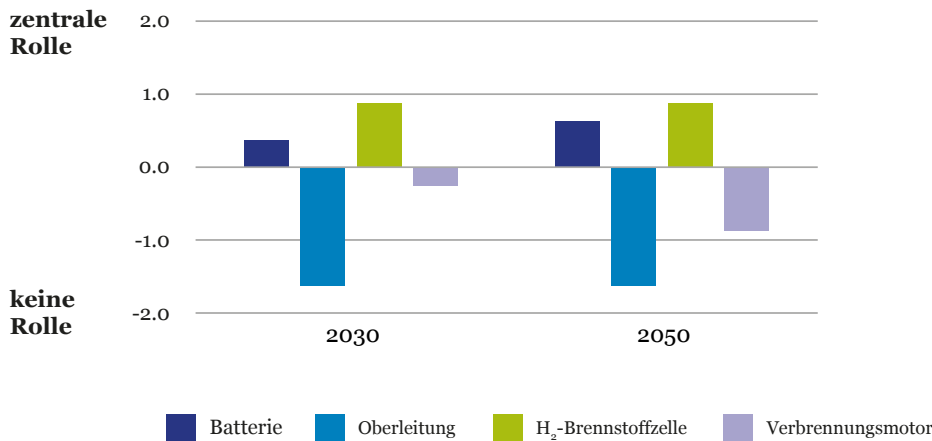


Abbildung 48: Einschätzungen der Akteure zum voraussichtlichen Antriebstechnologiemix im Busregionalverkehr mittelfristig (2030) und langfristig (2050). Gezeigt sind die Mittelwerte aller Antworten (n=8).

Zusätzlich differenzierten die Gesprächspartner ihre Einschätzung verbal weiter aus und machten Angaben zu den Hintergründen, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

- Entscheidend für die zentrale Rolle von Batterieantrieben ist, dass sie mittelfristig als wirtschaftlichste Technologie eingeschätzt werden, während technische Einschränkungen sukzessive wegfallen. Dies wird durch die ökonomische Bewertung (siehe Kapitel 3.2.2) und die Betriebsdatenauswertung (siehe 3.1.2.1) bestätigt. Als mögliche Herausforderung wird der Rohstoffbedarf gesehen, sodass neuartigen Batterietechnologien eine wichtige Rolle zukommen dürfte.
- Für Brennstoffzellenbusse werden kurz- und auch mittelfristig deutlich höhere Gesamtkosten erwartet. Auch dies deckt sich mit der ökonomischen Bewertung in Kapitel 3.2.2. Die technische Reife wird kurzfristig gegenüber dem Batteriebus deutlich geringer eingeschätzt. Der derzeit bestehende Reichweitenvorteil wird nach überwiegender Einschätzung mittelfristig erheblich geringer. Grund dafür ist die Erwartung, dass die spezifische Leistungsfähigkeit von Batterien weiter zunehmen und ihre Kosten vor allem bei Markteintritt neuer Batterietechnologien sinken dürften, sodass sich dann noch höhere Reichweiten als bisher realisieren lassen. Ein gegenüber Batterieantrieben wirtschaftlicher Betrieb von Brennstoffzellenbussen wird auf lange Sicht nur dann erwartet, wenn sich erhebliche energiesystemische Vorteile einstellen sollten. Die ökonomische Bewertung zeigt hier jedoch auch für 2030 noch deutliche Nachteile für Brennstoffzellenbusse (siehe Kapitel 3.2.2). Einige Akteure sehen Potenzial für die Brennstoffzelle als „Range Extender“ für Batteriebusse. Der (industri-)politische Umgang mit der Brennstoffzellentechnologie wird als entscheidende Determinante für deren zukünftige Rolle im Antriebsmix gesehen, vor allem im Stadtbusbereich.
- Oberleitungsbusse werden von den Busbetreibern als Sonderlösung gesehen, die für ein begrenztes Spektrum an Anwendungsfällen (vor allem hohe Taktdichten) vorteilhaft sein kann. Als Hemmnis wird vor allem die schwierige Migration (Infrastrukturplanung, Akzeptanz) in ein Oberleitungssystem gesehen. Zudem zeigte sich in den Gesprächen ein geringes Interesse der OEMs an der Technologie.

In der zweiten Befragungsrunde (etwa zwei Jahre später) wurde das Thema nochmals aufgegriffen. Bezüglich des konventionellen Verbrennungsantriebs waren die Aussagen hier nun noch klarer: Keines der befragten Verkehrsunternehmen plante, zukünftig noch Dieselbusse anzuschaffen. Hierbei spielten insbesondere die näher rückenden selbst gesteckten Ziele der Betriebe für das Erreichen einer Nullemissionsflotte (meist für die frühen 2030er angestrebt) sowie der relevanten Rahmenwerke CVD und CO₂-Flottengrenzwertgesetzgebung eine Rolle (bei Letzterer wurde mittlerweile eine Senkung der CO₂-Emissionen für Bus-Neuzulassungen in 2030 um 90 % beschlossen, was de facto einem elektrischen Neuzulassungsanteil von mindestens 80 % entspricht). Für die Bushersteller ist das voraussichtliche Inkrafttreten der nächsten Abgasnorm Euro VII eine entscheidende Zäsur, da sie es angesichts der zu erwartenden schwindenden Nachfrage für Busse mit Verbrennungsmotoren als nicht mehr wirtschaftlich ansehen, entsprechende Antriebe weiterzuentwickeln und anzubieten.

Doch auch für den strategischen Umgang mit verschiedenen elektrischen Antriebsoptionen untereinander spielte die Zeitachse eine entscheidende Rolle. Vor allem für die Oberleitungstechnologie wird erwartet, dass die zu erwartenden Planungszeiten für die Oberleitungsinfrastruktur einer hinreichend schnellen Elektrifizierung entgegenstehen. Dieses Argument wurde von den Verkehrsunternehmen mehrheitlich auch gegen eine Weiterverfolgung der H₂-Brennstoffzellentechnologie zusätzlich zu Batteriebussen ins Feld geführt, denn der parallele Aufbau von Lade- und H₂-Betankungsinfrastruktur auf den Betriebshöfen bringe erheblichen zusätzlichen Planungsaufwand und entsprechenden Zeitbedarf.

Die in der ersten Befragungsrunde auch hinsichtlich weiterer Aspekte geäußerte Skepsis gegenüber der H₂-Brennstoffzellentechnologie im Bereich der Stadtbusse hat sich in der zweiten Runde verfestigt. Sowohl Verkehrsunternehmen als auch Bushersteller sehen darin mehrheitlich eine Technologie, die nur bei expliziter und längerfristiger Begünstigung durch die Politik eine Chance am Markt hat und sich

bei technologieneutralen Rahmenbedingungen nicht durchsetzen wird. Zentrale Gründe sind die nicht gegebene Wirtschaftlichkeit (hohe und tendenziell sehr unsichere H₂-Preise) und der erhebliche infrastrukturelle Aufwand (Planung und Umsetzung der benötigten Betankungskapazitäten, strenge Restriktionen hinsichtlich H₂-Lagerung [max. 3 t H₂ an einem Standort] sowie Abstände [50 m Entfernung zur nächsten Bebauung, schwer einzuhalten bei städtischen Betriebshöfen]). Der H₂-BZ-Antrieb wird daher mehrheitlich als Übergangstechnologie für einige wenige Anwendungsfälle gesehen, die schnell emissionsfrei betrieben werden sollen und für die zum aktuellen Zeitpunkt die technische Leistungsfähigkeit verfügbarer batterieelektrischer Busse noch nicht ausreicht. In der Branche wird dabei wahrgenommen, dass einige große Flottenbetreiber sich neuerdings komplett aus der BZ-Technologie zurückziehen (bspw. Wiesbaden); kleinere Flottenbetreiber orientieren sich häufig an solchen Entscheidungen.

Verkehrsunternehmen, die dennoch Brennstoffzellenbusse betreiben, sind in der Regel bestrebt, ihr eigenes Risiko zu minimieren, indem sie z. B. die Infrastruktur leasen (anstatt selbst zu investieren) oder sich die Option offenhalten, die Brennstoffzellenfahrzeuge zu einem späteren Zeitpunkt auf rein batterieelektrischen Betrieb umzurüsten. Als Gründe, die BZ-Technologie im Stadtbusverkehr vorerst weiterzuverfolgen, wurden von Verkehrsunternehmen vor allem zwei Punkte genannt: Zum einen geht es um den Erhalt bzw. den Ausbau von Know-how, verbunden mit der Sorge, man könne sich ansonsten von der Wasserstoffwirtschaft als „technologischem Mainstream“ (wie es einer der Befragten ausdrückte) abkoppeln. Zum anderen verbleibt eine gewisse Unsicherheit, ob es zukünftig nicht doch Einsatzfälle geben könnte, bei denen die rein batteriebasierenden Antriebssysteme technisch ausscheiden, z. B. bei Großraumbussen mit Überlänge. Verwiesen wird überdies auf die kurzen Betankungszeiten, insbesondere im Vergleich zu einer (batterieschonenden) Langsamladung von Batteriebussen.

Zu beachten ist, dass die Entscheidung über die Antriebstechnologie in aller Regel bei der Ausschreibung von Busverkehren durch den Aufgabenträger getroffen wird. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass im Zuge der Ausschreibung den Bietern oftmals auch ein Angebot zur Nutzung von Energieversorgungsinfrastruktur gemacht werden muss und die Planung und Realisierung der Infrastruktur einen zeitlichen Vorlauf benötigen. Die Aufgabenträger sind in der Regel den lokalen politischen Akteuren unterstellt, was dazu führt, dass die Wahl der Technologie faktisch derzeit auch stark von politischen Erwägungen beeinflusst ist. Wenn die politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträger einer Region beispielsweise den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft verfolgen, ist es wahrscheinlicher, dass man sich bei der Ausschreibung von Buslinien auch dann für die H₂-Brennstoffzellentechnologie entscheidet, wenn die Wirtschaftlichkeit gegenüber alternativen Technologien nicht gegeben ist. Zudem macht es die schnelle technische Entwicklung für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen bisweilen schwierig, informierte Technologieentscheidungen zu treffen. Um die Eignung von Buslinien für bestimmte Technologien zu prüfen, wurden zum Teil Studien durchgeführt, deren Annahmen nach einigen Jahren aber auf den Prüfstand gestellt werden müssen. Hinzu kommt, dass sich bei kommunenübergreifenden Linien oder Linienbündeln oftmals mehrere Aufgabenträger auf eine Technologie einigen müssen. Geschieht dies nicht, kann dies die Ausschreibung elektrischer Busse insgesamt verzögern.

Aufseiten der Bushersteller wird mit der H₂-Brennstoffzellentechnologie unterschiedlich umgegangen. Nur von einem Teil der Hersteller werden Stadtbusse mit BZ-Technologie angeboten (siehe Kapitel 2.2.2). Daimler Buses hat lediglich sogenannte Brennstoffzellen-Range-Extender-Fahrzeuge im Angebot, deren Traktionsbatterie für eine überwiegend externe Aufladung ausgelegt ist. Einig sind sich die befragten Hersteller darin, dass aus heutiger Sicht ein wirtschaftlicher Betrieb von Stadtbussen mit Brennstoffzelle ohne explizite politische Unterstützung auch mittelfristig nicht zu erwarten ist.

Entsprechende politische Unterstützung vorausgesetzt, wird der Brennstoffzellenantrieb langfristig von den Akteuren (Verkehrsbetriebe und Bushersteller) vor allem als eine mögliche Strategie für ländliche Räume gesehen (z. B. Transformationsregionen in Ostdeutschland, die stark auf eine lokale H₂-Wirtschaft setzen). Auch im Segment der Reisebusse könnte die Brennstoffzelle aufgrund der geforderten Einsatzflexibilität der Fahrzeuge sinnvoll sein, dies ist allerdings nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Generell wurde es als plausibel angesehen, dass die technologische Entwicklung im Nutzfahrzeugbereich langfristig wieder verstärkt durch den Lkw-Bereich gesteuert wird, auf den ein weitaus größerer Teil des Fahrzeugabsatzes und damit des Umsatzes entfällt. Die Rolle des Stadtbusbereichs als Treiber der technologischen Entwicklung in den vergangenen Jahren ist eher untypisch und vor allem auf die für die Elektrifizierung günstigen Einsatzprofile und das politische Interesse an der Luftreinhaltung im urbanen Raum zurückzuführen.

Erwartungen/Hoffnungen/Befürchtungen bezüglich verschiedener Antriebe

Um die Konsequenzen des Antriebswechsels für die Busbetreiber genauer zu beleuchten, wurden diese nach Erwartungen, Hoffnungen und Befürchtungen mit Blick auf verschiedene betrieblich relevante Aspekte befragt, beispielsweise Sicherheit, Lebensdauer, Wirtschaftlichkeit und infrastrukturelle Implikationen. Als Referenz diente jeweils der Dieselantrieb; die Befragten gaben in fünf Stufen an, ob sie für einen Antrieb bezüglich eines bestimmten Aspekts große Vorteile (++) oder große Nachteile (--) gegenüber dem Dieselantrieb sehen. Die wesentlichen Ergebnisse für die betrachteten Aspekte sind in Tabelle 10 zusammengestellt und entsprechend der mittleren Einschätzung über alle Befragten farblich codiert. In der Gesamtschau der Äußerungen lässt sich folgendes Fazit ziehen:

- Infrastruktur ist das zentrale Thema für alle befragten Busbetreiber. Diesbezüglich wird derzeit noch ein Verständnisdefizit bei der Politik gesehen. Insbesondere wird kritisch gesehen, dass

politische Ziele für bestimmte Anteile alternativer Antriebstechnologien in der Flotte gesetzt würden, aber dabei außer Acht gelassen werde, was dies für die Entwicklung der Lade- und Betankungsinfrastruktur bedeutet. Dies sei vor allem deshalb problematisch, weil der Ausbau der Infrastruktur in der Regel längere Planungsvorläufe habe als die Fahrzeugbeschaffung. Auch politische Entscheidungen, beispielsweise über die Standortwahl von Betriebshöfen, sind eng mit infrastrukturellen Fragen verknüpft.

- Alle Technologien werden voraussichtlich deutlich personalintensiver als der Dieselantrieb zu betreiben sein, dabei sind unterschiedliche Qualifikationen erforderlich.
- Sicherheit ist ein wichtiges Thema, aber kein grundsätzlicher „Show-Stopper“. Notwendige Investitionen in Sicherheitsvorkehrungen können aber kostspielig sein.
- Von direkt-elektrischen Antrieben wird eine deutlich verbesserte Lebensdauer (des Gesamtsystems aus Fahrzeugen und Infrastruktur) gegenüber dem Dieselantrieb erwartet.
- Vorerst sind alle alternativen Antriebe mit Mehrkosten verbunden, die finanziell aufgefangen werden müssen – bei direkt-elektrischen Antrieben wird die Wirtschaftlichkeit aber im Vergleich positiver beurteilt als bei Brennstoffzellenantrieben.
- Batterieantriebe erfreuen sich hoher Akzeptanz bei Nutzerinnen und Nutzern.

	Batterie	Oberleitung	H ₂ -Brennstoffzelle
Betrieb der Fahrzeuge (Umlaufpläne, Ruhezeiten, benötigte Fahrzeugzahlen etc.)	Eher Nachteile (mehr Busse nötig, Reichweite, Zuverlässigkeit), die aber mit zunehmender technischer Entwicklung (z. B. Gelegenheitsladung) verschwinden	Leichte Vorteile – effizienter und zuverlässiger Betrieb im eingeschwungenen Zustand	Neutral – Tankzeiten sind wichtiger Parameter
Betrieb der Infrastruktur (Platzbedarf Betriebshof etc.)	Nachteile, weil deutlich aufwendiger als für Diesel und Herausforderungen wie Platzbedarf, Netzanschluss und langfristige Planungsprozesse. Von der Politik zudem unterschätzt.	Nachteile, vor allem aufgrund des hohen initialen Aufwands und der damit verbundenen Planungsprozesse	Nachteile (Aufwand, Sicherheitsanforderungen)
Sicherheit	Neutral bis leichte Vorteile (keine brennbaren Flüssigkeiten – aber auch in komplett elektrischen Betriebshöfen gibt es Risiken)	Neutral (Vor-/Nachteile werden unterschiedlich eingeschätzt)	Höherer Aufwand zur Gewährleistung der Sicherheit notwendig, aber machbar
Humanressourcen	Mehr Personal erforderlich (für Handling komplexer Infrastruktur und in Anfangsphase zusätzliches Fahrpersonal) mit teilweise höheren Qualifikationen	Spezielle Qualifikationen für OL-Infrastruktur erforderlich	Zusätzliche Qualifikationen nötig, aber insgesamt gegenüber BEV geringerer Personalaufwand
Lebensdauer	Erhebliche Vorteile, vor allem bezogen auf das Gesamtsystem Fahrzeuge + Infrastruktur, aber Restunsicherheit bei Batterielebensdauer	Klare Vorteile aufgrund des robusten Systems	Größere Unsicherheiten bei Lebensdauer der Brennstoffzelle (z. B. mechanische Belastungen, H ₂ -Reinheit)
Wirtschaftlichkeit	Derzeit noch Nachteile, die durch die Förderung gut ausgeglichen werden. Erwartung, dass auch mittelfristig noch Förderung notwendig sein wird.	Eher Nachteile, aber sehr abhängig vom Einsatzfall	Erhebliche Nachteile, die aktuell auch durch Förderung nicht ausgeglichen werden. Ob künftig ohne Förderung wirtschaftlich, dürfte vor allem von den lokal verfügbaren H ₂ -Bezugsquellen abhängen.
Akzeptanz	Sehr hohe Akzeptanz	Akzeptanz leidet unter Optik der OL-Infrastruktur	Tendenziell positiv, Herkunft des Wasserstoffs dürfte aber Einfluss auf Akzeptanz haben

deutliche Nachteile
 leichte Nachteile
 neutral
 leichte Vorteile
 deutliche Vorteile

Tabelle 10: Einschätzungen der befragten Busbetreiber bezüglich verschiedener technologischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Aspekte neuer Technologien gegenüber dem Dieselantrieb

Faktoren für Investitionsentscheidungen

Um die Beweggründe für Investitionsentscheidungen von Busbetreibern zu beleuchten, wurden diese gebeten, die Bedeutung verschiedener vorgegebener

Faktoren auf einer Punkteskala von 1 („spielt keine Rolle“) bis 5 („spielt eine zentrale Rolle“) zu bewerten. Die Ergebnisse sind quantitativ in Abbildung 49 dargestellt.

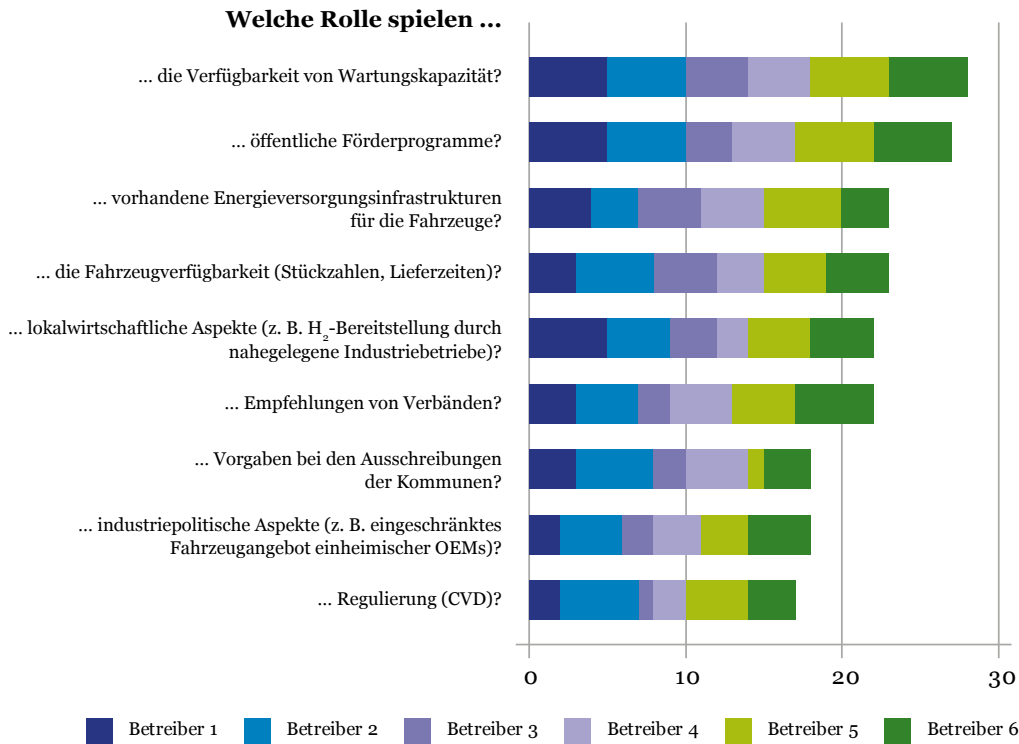


Abbildung 49: Angegebene Bedeutung verschiedener Faktoren auf Investitionsentscheidungen der Busbetreiber

Zu den einzelnen Punkten wurden zudem Begründungen und weitere qualitative Einschätzungen der Betreiber aufgenommen. Bezüglich der einzelnen Faktoren können diese wie folgt zusammengefasst werden:

- Verfügbarkeit von Wartungskapazität ist eminent wichtig, in der Einführungsphase einer neuen Technologie bedeutet dies vor allem einen schnellen Rückgriff auf OEMs im Fall von Problemen.
- Ohne öffentliche Förderprogramme ist derzeit noch kein wirtschaftlicher Betrieb möglich (= notwendige Voraussetzung).
- Der Stromnetzanschluss der Betriebshöfe ist ein sehr wichtiger Gesichtspunkt, da dessen Ausbau im Bedarfsfall zeitaufwendig ist (hier wurde eine Dauer von etwa fünf Jahren genannt) und somit einen potenziellen Flaschenhals bei der Flottenumstellung darstellt.
- Bei der Fahrzeugverfügbarkeit geht es weniger um Stückzahlen, sondern eher um die Verfügbarkeit geforderter Ausstattungsmerkmale. Die Anforderungen der Betreiber sind hier durchaus divers.
- Wenn Brennstoffzellenbusse angedacht werden, so steht dies meist in Zusammenhang mit einer lokalpolitischen H₂-Strategie, die auf günstige H₂-Bereitstellung zielt.

- Verbände erleichtern Wissenstransfer, werden aber nicht als vollständig neutral wahrgenommen. Direkter Erfahrungsaustausch zwischen Verkehrsbetrieben ist ebenfalls sehr wichtig.
- Der Rückgriff auf deutsche OEMs hat eine Reihe praktischer Vorteile (z. B. Kommunikation/Dokumentation), ist aber kein Muss, Ausschreibungen sind international offen.
- Die regulatorischen Vorgaben (CVD) werden aktuell zumindest von den engagierten Kommunen weit übererfüllt, stellen daher für diese keinen wesentlichen Treiber dar.

Umgang mit prospektiven Unsicherheitsfaktoren (wirtschaftlich/technologisch)

Der Umgang mit technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten ist für Busbetreiber und Hersteller gleichermaßen von großer strategischer Bedeutung. Im Rahmen der Befragung wurde daher die Relevanz verschiedener Unsicherheitsfaktoren aus Sicht der Befragten erörtert und insbesondere diskutiert, wie die Akteure mit potenziellen Lock-in-Effekten (Pfadabhängigkeiten) umgehen.

Bei den technologischen Unsicherheiten zeigte sich, dass die Bedeutung der Themen „Lebensdauer“ und „Zuverlässigkeit“ rückläufig ist, während die Unsicherheiten zunehmend im Bereich der Standardisierung (Schnittstellen und Prozesse) gesehen werden. Vor allem im Bereich der Infrastruktur und der damit verbundenen Informations- und Kommunikationstechnik ist vielfach noch nicht klar, welche Standards sich durchsetzen werden. Dadurch entstehen beispielsweise Risiken bei der zukünftigen Ersatzteilbeschaffung. Auch ist oftmals nicht klar, ob heute angeschaffte E-Busse im Falle eines notwendigen Batteriewechsels zukünftig mit einer weiterentwickelten Batterie ausgerüstet werden können. Allgemein erhöht die technologische Diversität die Komplexität von Planungsprozessen.

Als Ursache für wirtschaftliche Unsicherheiten wurde vor allem die Rohstoffverfügbarkeit (unter Berücksichtigung an Bedeutung gewinnender

Nachhaltigkeitsstandards) sowie im Fall von Brennstoffzellenbussen der zukünftige Wasserstoffpreis (unter anderem bedingt durch die Konkurrenz um H₂ mit anderen Sektoren) genannt. Allgemein wurde angemerkt, dass sich technologische und kostenseitige Unsicherheiten oftmals nicht klar trennen ließen, sondern dass es vielmehr um eine gesamthafte Minimierung von Risiken im Rahmen von Szenarienbetrachtungen ginge. Auch in der Ausgestaltung zukünftiger ÖV-Systeme (Stichworte Gefäßgrößen, On-demand-Verkehre) werden Unsicherheiten mit Rückwirkungen auf die gesamte Kostenstruktur gesehen.

Pfadabhängigkeiten (Lock-in-Effekte) bei Investitionen in Nullemissionsfahrzeuge und ihre Infrastruktur können aus Sicht der Befragten nicht völlig vermieden, aber durch vorausschauende Planung abgemildert werden. Hierzu gehören seitens der Hersteller ein modulares Fahrzeugkonzept (Brennstoffzellenfahrzeuge werden in diesem Kontext eher als „Ergänzung“ des Portfolios gesehen) und seitens der Busbetreiber ein Mitdenken verschiedener Energieversorgungsoptionen bei der Planung von Betriebshöfen. Notwendige technologiespezifische Maßnahmen im vorgelagerten Energieversorgungsnetz (z. B. H₂-Pipelines) entziehen sich in der Regel aber ohnehin dem Verantwortungsbereich der Busbetreiber.

„Der technologische Korridor wird sich verengen, aber Unsicherheiten und Innovationstempo werden bleiben.“

(Kommentar eines Busbetreibers zum Thema Pfadabhängigkeiten)

Die Erkenntnisse zur Wahrnehmung von Unsicherheiten durch die Akteure lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Technische Unsicherheiten betreffen zunehmend die technische Ausgestaltung (Standardisierung, Ersatzteilbeschaffung) und immer weniger die Eigenschaften der Antriebstechnologien selbst. Die wesentlichen Vor- und Nachteile der Technologieoptionen werden mittlerweile als relativ klar wahrgenommen.

- Sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellenbusse sind wirtschaftlichen Unsicherheiten durch Rohstoffverfügbarkeit unterworfen (betrifft sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellenkosten und damit die Fahrzeugpreise beider Technologien). Bei Brennstoffzellenbussen kommt als weitere große Unbekannte der H₂-Preis hinzu (der stark von anstehenden energiepolitischen Entscheidungen abhängt).
- Technologische und wirtschaftliche Unsicherheiten sind eng verwoben, Letztere zusätzlich vom politischen Umfeld und den Erwartungen an die Technologien beeinflusst.
- Gewisse technologische Lock-in-Effekte sind grundsätzlich unvermeidbar, diese können aber durch modulares Fahrzeugdesign und vorausschauende Planung von Betriebshöfen mit Flexibilitätspotenzialen abgemildert werden. Die technologische Entwicklung wird nach Meinung der Befragten auch langfristig im Fluss bleiben.

Erwartete Auswirkungen regulatorischer Instrumente

Die Gesprächspartner wurden nach den Auswirkungen des regulatorischen Rahmens (siehe Kapitel 1.1) auf ihren Geschäftsbetrieb bzw. ihre Anschaffungen gefragt. Der Ansatz der CVD wurde einhellig positiv beurteilt. Es zeigte sich jedoch, dass der regulatorische Rahmen für die Befragten momentan insgesamt eine geringe Rolle spielt (siehe Faktoren für Investitionsentscheidungen). Es wurde angemerkt, dass die CVD zwar eine gewisse Planungssicherheit bringe, aber für ambitionierte Betreiber aufgrund ihrer geringen Anforderungen kaum zusätzliche Anreize schaffe. Anschaffungsentscheidungen auf kommunaler Ebene seien bis auf Weiteres primär von finanzieller Förderung abhängig. Ein Verkehrsunternehmen monierte, oftmals seien sich Kommunen der CVD-Anforderungen gar nicht bewusst, wenn sie Buslinien ausschrieben. Die OEMs wiederum sahen eine weitere Steigerung der Anforderungen an Verbrennungsmotoren vor dem Hintergrund der mit der Antriebswende verbundenen Herausforderungen kritisch

und fordern eine Entscheidung zwischen schärferen Emissionsgrenzwerten oder einer konsequenten Elektrifizierung.

Das Klimaschutzinstrument der Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote)¹⁵⁹ war in der ersten Befragungsrunde noch nicht stark im Bewusstsein der Verkehrsunternehmen und der Wissensstand dazu entsprechend gering. Betriebe, die sich damit beschäftigt hatten, erkannten deutliches Potenzial in dieser Einnahmequelle, verwiesen aber auf die Notwendigkeit von Zwischenhändlern, die dies effizient abwickelten. Es herrschte eine verbreitete Unsicherheit, ob die Inanspruchnahme der THG-Quote eine Doppelbilanzierung von THG-Minderungen bedeuten könne (in der Bilanz nach THG-Quote sowie in der betrieblichen CO₂-Bilanz) und somit als „Greenwashing“ einzuordnen sein könne, was wissenschaftlich jedoch klar widerlegt werden kann.¹⁶⁰

Rückmeldungen zum Förderverfahren

Abschließend wurde den befragten Busbetreibern Raum gegeben, Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge zum E-Bus-Förderprogramm des BMWK zu äußern. Die Rückmeldungen lassen sich in administrative und technische Aspekte gliedern.

Aus administrativer Sicht besteht grundsätzlich Verständnis, dass ein gewisser Verwaltungsaufwand im Förderprozess unvermeidbar ist, um eine angemessene Mittelverwendung und Einhaltung übergeordneter Vorschriften (EU-Recht) sicherzustellen. Dennoch wird der Prozess mehrheitlich als „zu starr und zu regulativ“ wahrgenommen. Vor allem die lange Dauer zwischen Antragstellung und Bewilligung wurde bemängelt, da sie mit großer Planungsunsicherheit für die Busbetreiber verbunden sei und der gesamte Beschaffungsprozess durch die oftmals lange Lieferzeit der Elektrobusse ohnehin schon sehr lang dauere. Eine Beschleunigung des Bewilligungsprozesses würde den Betreibern die Inanspruchnahme des Förderprogramms also deutlich erleichtern.

Des Weiteren wurde angemerkt, dass die Abrechnung von Personalkosten sehr aufwendig sei und nach Möglichkeit vereinfacht werden solle. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich Verkehrsunternehmen faktisch oft als „Entwicklungsarbeiter“ bei der Erprobung und Verbesserung noch nicht ausgereifter Schnittstellen sehen, was oftmals einen hohen Personalaufwand nach sich zieht. Es wurde zudem kritisch hinterfragt, ob es sinnvoll sei, Förderanträge auf Basis der Überschreitung von Luftqualitätsgrenzwerten zu priorisieren. Wichtiger sei es, ein voraussichtliches nachhaltiges Engagement der beantragenden Verkehrsbetriebe in Richtung einer Flottenumstellung zu berücksichtigen.

Aus technischer Sicht wurde vor allem eine enge Verzahnung von Fahrzeug- und Infrastrukturförderung angeregt, um die technischen Zusammenhänge besser abzubilden. Zudem solle geprüft werden, ob auch Maßnahmen im vorgelagerten Netz förderfähig werden könnten. Dies entspricht der eminenten Bedeutung, die alle Befragten übereinstimmend dem Themenfeld Infrastruktur zumessen.

Während die administrative Betreuung durch den Projektträger als reibungslos wahrgenommen wurde, wurde zum Teil bedauert, dass eine technische Betreuung nicht vorgesehen ist. Dies stelle eine Einstiegshürde vor allem für kleine Verkehrsunternehmen dar, die nur teilweise durch Vernetzung der Verkehrsunternehmen untereinander aufgefangen werden könne.

Hinsichtlich der Bereitstellung von Betriebsdaten für die Begleitforschung wurde der Wunsch geäußert, dass die Datenbereitstellung (Minimaldatenset) durch die OEMs entschieden seitens des Fördergebers durchgesetzt wird, da den Verkehrsunternehmen hier die Möglichkeiten fehlen. Auch wurde die Initiierung eines organisierten Austauschs zwischen den Busbetreibern durch den Projektträger zur Auswertung der erhobenen Daten angeregt.

2.2.8.2 Zweite Befragungsrunde (Jahre 2023/2024)

Einleitung: Inhaltliche Schwerpunkte und befragte Akteure

Im zweiten Befragungszeitraum wurden fünf Interviews mit Verkehrsunternehmen, drei Gespräche mit Busherstellern sowie zusätzlich zwei Gespräche mit Aufgabenträgern durchgeführt. Sie fanden schwerpunktmäßig im zweiten Quartal 2023 statt, zwei weitere Gespräche wurden im Januar 2024 geführt. Die Gespräche dauerten 1 bis 1,5 Stunden und wurden (bis auf ein Vor-Ort-Treffen) als Online-Videomeeting durchgeführt. Sieben der befragten Akteure wurden bereits in der ersten Befragungsrunde interviewt. Der Interviewleitfaden umfasste folgende Themengebiete, die abhängig vom Gesprächspartner und dem Gesprächsverlauf weiter ausdifferenziert wurden:

1. Wie organisieren Busbetreiber Energiebezug und Aufladung der E-Busse?
2. Wie nehmen Verkehrsunternehmen und Bushersteller die derzeitige Marktsituation wahr?
3. Welche Strategien verfolgen sie am Markt?
4. Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit von E-Bussen im realen Betrieb?
5. Welche konkreten Ansätze zur Verbesserung des Fördersystems sehen die Akteure?

Die Gesprächsinhalte wurden qualitativ ausgewertet, die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten nach den dargestellten Fragen gegliedert dargestellt. Da sämtliche Gespräche vor dem Auslaufen der Förderung der Investitionsmehrkosten durch den Bund geführt wurden, konnte die Einschätzung der Akteure dazu leider nicht abgefragt werden.

Organisation von Energiebezug und Aufladung der E-Busse

Die Gespräche ergaben, dass sich im Bereich der Ladeinfrastruktur das ausschließliche Laden im Depot

mittlerweile zum dominierenden Konzept entwickelt hat. Grund dafür ist vor allem die in den letzten Jahren deutlich gestiegene reale Reichweite der Busse, die eine Gelegenheitsladung unterwegs für viele Linien verzichtbar macht.¹⁶¹ Zudem kann im Depot mit geringerer Leistung geladen werden, was sich positiv auf die Lebensdauer der Batterie auswirkt. Darüber hinaus ist es im Depot einfacher möglich, die einschlägigen Sicherheitsaspekte zu adressieren. Als weiterer Punkt wurde genannt, dass insbesondere die Pantografenladung im Depot einfacher zu realisieren sei als im öffentlichen Raum und sich aus dieser Option auch weiteres Optimierungspotenzial der Betriebsprozesse im Depot ergibt, wenn Busse zukünftig in der Lage sind, autonom zu rangieren. Sofern die Umlaufplanung des Verkehrsunternehmens einen kontinuierlichen Betrieb der Fahrzeuge vorsieht (d. h., bei Erreichen der Lenkzeitpause wechselt der Fahrer bzw. die Fahrerin), existieren darüber hinaus keine hinreichenden Pausenzeiten für eine Gelegenheitsladung.

Den Befragungen zufolge verfolgen vor allem größere Städte Gelegenheitsladen als komplementäre Strategie aber weiter. Die Gelegenheitsladung kann dabei zum einen dazu dienen, bestimmte Restriktionen zu umgehen, die bei ausschließlicher Nutzung von Depotladen auftreten können, z. B. Flächenbedarf und/oder elektrische Anschlussleistung im Depot über die vorhandenen Kapazitäten hinaus. Zum anderen wird das „zweigleisige“ Infrastrukturkonzept auch als Resilienzstrategie für den Fall von Stromausfällen gesehen.

Generell werden von den befragten Akteuren viele Hürden beim Ausbau der Infrastruktur gesehen und konstatiert, dass diesem Thema im Vergleich zum „Rollmaterial“ aufseiten der Politik generell bislang zu wenig Aufmerksamkeit zuteil wurde (wie auch bereits in der ersten Befragungsrunde kritisch angemerkt). Dies gilt sowohl für Ladeinfrastruktur als auch für H₂-Betankungsinfrastruktur. Herausforderungen bestehen insbesondere aufgrund der Flächenbedarfe (Erweiterung der Betriebshöfe mit entsprechenden

Vorlaufzeiten), der notwendigen Netzanschlussleistungen, Verunsicherung von Entscheiderinnen und Entscheidern beim Thema Brandschutz sowie diverser Zielkonflikte, die zu steigenden Kosten und längeren Planungszeiten führen können (z. B. Denkmalschutz). Es wurde der Wunsch geäußert, hier seitens der Politik klare Prioritäten zu setzen, nach denen sich dann alle Akteure richten können.

Die Zuverlässigkeit der Ladeinfrastruktur und das Zusammenspiel zwischen Infrastruktur, Fahrzeugen und Software, das in der ersten Befragungsrunde noch ein großes Thema war, hat sich nach Aussage der Verkehrsunternehmen in den letzten Jahren deutlich verbessert. Demgegenüber gewinnen organisatorische Themen an Bedeutung. Wenn eine vollständige Flottenelektrifizierung angestrebt wird, muss die Entwicklung der Infrastruktur beispielsweise unter Einbindung der Netzbetreiber strategisch geplant werden und dabei ein Stück weit von der Anschaffung einzelner Fahrzeuge losgelöst werden. Dem sollte künftig auch die Fördersystematik Rechnung tragen, indem die Flankierung der Flottenumstellung und des Infrastrukturaufbaus jeweils für sich genommen als zwei fundamentale Aufgaben wahrgenommen werden. Ohnehin haben Fahrzeuge und Infrastrukturen im Allgemeinen unterschiedliche Lebensdauern und damit Investitionszyklen, zudem ist auch aus wettbewerblichen Gründen eine Entkopplung bei der Beschaffung von Fahrzeugen und Energieversorgungsinfrastruktur anzustreben. Den Aussagen der Befragten zufolge ist eine unabhängige Planung von Infrastruktur und Bussen bei großen Verkehrsunternehmen bereits üblich, kleinere Unternehmen tendieren hingegen eher zur Beschaffung „schlüsselfertiger“ Pakete aus E-Bussen und zugehöriger Infrastruktur.

Zwischen den beiden Befragungsrunden lag die Energiekrise des Jahres 2022. Den Befragten zufolge ergab sich daraus keine systematische Veränderung der Wirtschaftlichkeit von E-Bussen gegenüber Dieseln: Sowohl Strom- als auch Kraftstoffkosten seien gestiegen. Zu beachten ist dabei, dass bei den

Verkehrsunternehmen für den Strombezug unterschiedliche vertragliche Modelle zur Anwendung kommen. Dies reicht von langfristigen Terminkontrakten über indexbasierte Modelle bis hin zu einer mindestens teilweisen Beschaffung von Strom am Spotmarkt. Den Verkehrsunternehmen ist bewusst, dass bei tendenziell steigenden und volatileren Strompreisen gesteuertes Laden und damit die optimierte Beschaffung am Spotmarkt attraktiver wird, und einige befassen sich bereits praktisch mit dem Thema. Große Unternehmen sind z.T. an entsprechenden F&E-Projekten beteiligt (z. B. KoLa in Hamburg), kleinere Unternehmen setzen eher auf fertige Lösungen, die derzeit mehr und mehr auf den Markt kommen.

Wahrnehmung der aktuellen Marktsituation durch Verkehrsunternehmen und Bushersteller

Die vergleichsweise hohe Inflationsrate der vergangenen zwei Jahre spiegelt sich nach Angaben der befragten Verkehrsunternehmen auch in den Buspreisen: Sowohl Dieselbusse als auch Elektrobusse sind teurer geworden, wobei die Preisdifferenz in etwa gleich geblieben ist. Erwartungen, die Preisdifferenz würde bereits kurzfristig zurückgehen (z. B. aufgrund von Skaleneffekten), haben sich somit bei den Interviewpartnern nicht bewahrheitet. Als Grund wurde neben der allgemeinen Teuerung auf Lieferkettenprobleme verwiesen, speziell im Fall der E-Busse auch darauf, dass das jahrelange Sinken der Batteriepreise im Jahr 2022 zunächst geendet hat.¹⁶² Die anteilige Förderung der Investitionsmehrkosten sei somit bei den derzeitigen Preisen nach wie vor notwendig, um in den Bereich der Vollkostenparität mit Dieselbussen zu kommen und so die Anschaffung von E-Bussen durch Verkehrsunternehmen zu ermöglichen.

Umgekehrt lässt sich aus den Aussagen der befragten Akteure aber auch schlussfolgern: Die hohe staatliche Förderung von E-Bus-Beschaffungen in Kombination mit den ambitionierten Zielen von Kommunen und Verkehrsbetrieben für die Flottenelektrifizierung bilden aktuell die Basis für einen Angebotsmarkt, auf dem die Bushersteller hohe Preise durchsetzen kön-

nen und auf dem relativ lange Lieferzeiten (ca. ein Jahr) toleriert werden.

Qualitativ beurteilen die befragten Verkehrsunternehmen das E-Bus-Angebot am Markt durchweg positiv: Es wird eine gute Qualität der E-Busse sowie eine zunehmende Zahl von Anbietern wahrgenommen, die für Vielfalt auf dem Markt Sorge. Ein Verkehrsunternehmen war explizit der Einschätzung, der Dieselbusmarkt sei unter den OEMs durch starke Kundenbindung und die gezielte Bewirtschaftung bestimmter Anforderungsnischen stärker aufgeteilt gewesen und diese Strukturen würden nun im Zuge der Entwicklung des E-Bus-Markts auf wohlthuende Weise aufgebrochen. Mit Blick auf asiatische Bushersteller gibt es bei einigen Verkehrsunternehmen allerdings Zweifel an der Qualität der Busse, und es wurde auch die Sorge geäußert, Fahrzeuge von „außerhalb des europäischen Rechtssystems“ zu beziehen.

Generell werden im Markt auch noch unterentwickelte Segmente gesehen. Vor allem bei den Midi-bussen gibt es noch nicht von allen Herstellern Fahrzeuge im Angebot, auch wenn die Bestandsstatistik hier keinen unterdurchschnittlichen Anteil der Elektrobusse ausweist (Bundesregierung 2024). Bei Doppeldecker- und Ultralangbussen (21 m, 24 m), die nur einen sehr kleinen Marktanteil von ca. 2 %, bezogen auf den Bestand, haben (VDV 2020), müssen noch spezielle Lösungen für die Elektrifizierung entwickelt werden.

„In der Welt der Dieselbusse war der Markt unter den OEMs stärker aufgeteilt. Durch den Wechsel zu E-Bussen ist alles offener geworden.“

(Zitat eines Verkehrsunternehmens)

Betriebsdaten haben bei E-Bussen eine viel höhere Relevanz als bei Dieselbussen. Daten werden beispielsweise zur Betriebs- und Ladeplanung, zur Optimierung der Energieeffizienz oder zur Teilnahme am Strommarkt benötigt. Die Rolle der Bushersteller auf dem Markt wandelt sich dadurch nach Wahrnehmung der Verkehrsunternehmen. Sie werden zunehmend auch zu Datendienstleistern, die in der Bereitstellung

von Datenprodukten relevante zukünftige Geschäftsmodelle sehen. Dies deckt sich mit Aussagen der befragten Bushersteller, die hier neue Möglichkeiten sehen, um ihren Kunden einen umfassenden Service anzubieten. Mehrere Verkehrsunternehmen sahen es durchaus kritisch, dass sie nur bedingt auf ihre eigenen Betriebsdaten zugreifen können und sie auf diese Weise in eine stärkere Abhängigkeit von den Busherstellern geraten könnten. Ein Verkehrsunternehmen äußerte explizit die Sorge, die Hersteller könnten „als eine Art Google der E-Bus-Daten“ agieren. Ausländische Hersteller sind den Verkehrsunternehmen zufolge generell in höherem Maße bereit, den Verkehrsunternehmen Betriebsdaten unabhängig vom Kauf bestimmter Datenprodukte zur Verfügung zu stellen. Andererseits brauchen Verkehrsunternehmen zum Teil maßgeschneiderte Datenprodukte, die dann mit europäischen OEMs leichter umzusetzen sind, da hier geringere Sprachbarrieren bestehen.

Die Bushersteller selbst (es wurden ausschließlich europäische OEMs befragt) sehen sich vor allem hinsichtlich der Qualität wie auch der Aftersales-Leistungen und der Vor-Ort-Präsenz auf dem deutschen Markt gut aufgestellt. Sie nehmen bei E-Bussen oftmals sehr hohe technische Anforderungen und ein hohes Sicherheitsbedürfnis beim Aftersales-Support von Kundenseite wahr, die sich preissteigernd auf die Angebote auswirken. Insbesondere würden häufig lange Garantiezeiträume für die Traktionsbatterie gefordert, die wiederum die den Herstellern durch ihre Batterielieferanten eingeräumten Garantiezeiträume überschritten. Zudem seien die Anforderungen von Kundenseite oftmals sehr detailliert, was die Erstellung von Angeboten aufwendig mache und sich preistreibend auswirke. Die Hersteller führen dies unter anderem auf eine gewisse Unsicherheit der Verkehrsunternehmen mit der neuen Technologie zurück sowie auf die Tatsache, dass Verkehrsunternehmen in vielen Fällen externe Beratung für die Erstellung von Ausschreibungen in Anspruch nehmen.

Bezüglich der Preisentwicklung verweisen die Hersteller insbesondere auf die Batteriepreise. Diese seien in den vergangenen zwei Jahren real gestiegen,

wobei sich unter anderem die anziehende Nachfrage durch Pkw-Elektromobilität bemerkbar mache. Verwiesen wird auch auf die nun beginnende direkte Konkurrenz mit dem elektrifizierten Güterverkehr um Batterien. In Summe wird bei der derzeitigen Batterietechnologie (Li-Ion) mit stagnierenden oder sogar weiter steigenden Batteriepreisen gerechnet. Erst durch zukünftige Technologiesprünge bei den Batterien oder die Markteinführung neuartiger Batteriematerialien wird von den Herstellern potenziell ein Absinken des Batteriepreises erwartet.

Präferierte Strategien der Akteure am Markt

Wie in Kapitel 2.2.8.1 ausgeführt, möchten die befragten Verkehrsunternehmen zukünftig möglichst auf die Beschaffung von Dieselnissen verzichten und eine zügige Elektrifizierung ihrer Flotten durchführen. Sie sehen sich bei diesem Unterfangen derzeit jedoch in einem sehr engen Korsett aus Notwendigkeiten, auf die sie nur bedingt Einfluss haben:

- Bei der Beschaffung von E-Bussen sehen sich Verkehrsunternehmen derzeit zwingend auf staatliche Förderung angewiesen. Sollten diese Förderprogramme wegfallen, wird notwendigerweise mit der Anschaffung neuer Dieselnisse gerechnet. Einige besonders finanzschwache Kommunen haben derart geringe finanzielle Spielräume, dass sie selbst im Falle weiterer Förderung auf kurze Sicht Schwierigkeiten haben, verbleibende Mehrkosten durch die Elektrifizierung und Risiken durch den Umstellungsprozess aufzufangen.
- Die Geschwindigkeit des Infrastrukturausbaus bestimmt die erzielbare Elektrifizierungsgeschwindigkeit der Flotte, vor allem in Städten, wo Flächen und Netzanschlusskapazitäten knapp sind. Größere Verkehrsunternehmen versuchen daher, eine vorausschauende Infrastrukturplanung in enger Abstimmung mit dem örtlichen Stromnetzbetreiber durchzuführen.
- Verkehrsunternehmen sind sich dessen bewusst, dass Anpassungen der Umlaufpläne den Einsatz von E-Bussen begünstigen können, sehen hier

aber eine Vielzahl von (vor allem personalbezogenen) Randbedingungen, die solche Anpassungen erschweren. Grundsätzlich wird daher erwartet, dass sich existierende Einsatzprofile mit der neuen Technologie darstellen lassen sollten.

- Je höher der Anteil elektrischer Busse in der Flotte, desto wichtiger wird es für Verkehrsunternehmen, Vorsorge für Stromausfälle zu treffen. Um einen Mindestbetrieb aufrechterhalten zu können, kann es daher notwendig sein, eine Sicherheitsreserve an Dieselnissen in der Flotte zu belassen. Auch dezentrale Infrastrukturplanung kann auf die Resilienz des Betriebs einzahlen.

Die Bushersteller sehen im Stadtbusbereich einen klaren Pfad zur Elektrifizierung, der durch den übergeordneten Rahmen (CO₂-Flottengrenzwerte, CVD bzw. Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz) vorgezeichnet ist und durch kommunale Ziele für den Übergang hin zu Nullemissionsflotten und zur Luftreinhaltung unterstützt wird. Sie beobachten die teilweise bereits sehr weitreichende Elektrifizierung der Busflotten in Asien und das Agieren der dortigen Hersteller. Sie sehen ihre starke Position in Europa derzeit jedoch noch nicht gefährdet, vor allem aufgrund höherer Qualitätsanforderungen an die Busse in Europa und durch ihre starke Vor-Ort-Präsenz, durch die sie den Kunden einen qualitativ hochwertigen Aftersales-Service bieten können. Vor allem höhere Batteriepreise im Einkauf (gegenüber OEMs aus Fernost) werden als potenzieller Wettbewerbsnachteil gesehen. Ein Hersteller gab an, beispielsweise kürzere Garantiezeiten für die Batterien im Einkauf geboten zu bekommen, als sie von den Verkehrsunternehmen nachgefragt werden.

Langfristig werden von den Herstellern politische Maßnahmen zur Standortsicherung der E-Bus-Produktion in Europa als notwendig angesehen. Konkret wurde von einem OEM vorgeschlagen, dass europäische Hersteller ihr Profil in Bezug auf Nachhaltigkeitskriterien bei der Produktion stärken sollten und solche Kriterien in den Ausschreibungen der Verkehrsunternehmen zukünftig verankert werden könnten. Von einem anderen OEM wurde der forcier-

te Aufbau einer Batterieproduktion in Europa als zielführend angesehen. Mehrere Verkehrsunternehmen gaben an, dass bereits heute bei E-Bus-Beschaffungen in den Ausschreibungen die Einhaltung gewisser Nachhaltigkeitskriterien gefordert wird (z. B. kobaltfreie Batterien, Second-Life-Konzept des Herstellers für die Batterien).

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, sehen die Bushersteller datenbasierte Dienstleistungen als wichtige Basis für künftige Geschäftsmodelle. Hier geht es z. B. um Analysen, mit denen die Energieeffizienz der Busse im realen Betrieb optimiert werden kann. Es ist davon auszugehen, dass die Hersteller durch solche Dienstleistungen auch die längerfristige Bindung mit ihren Kunden stärken wollen, um bei zunehmender außereuropäischer Konkurrenz eine stabilere Position im Markt zu haben.

Wirtschaftlichkeit von E-Bussen im realen Betrieb

Nach Aussage der befragten Verkehrsunternehmen erreichen Batteriebusse derzeit im regulären Betrieb unter Berücksichtigung der bisherigen Förderung bei den Vollkosten ein vergleichbares Niveau wie Dieselnisse, wobei die Vollkosten tendenziell noch etwas höher sind. Der höhere Anschaffungspreis wird durch die hohe Förderquote von 80 % größtenteils ausgeglichen. Bei aktuellen Energiepreisen sind die Energiekosten allerdings auch nur geringfügig niedriger als bei Dieselnissen.

In der betrieblichen Praxis der vergangenen Jahre haben den Aussagen zufolge allerdings verschiedene Faktoren die reale Verfügbarkeit der E-Busse phasenweise stark gemindert. Dies betraf insbesondere ein Problem mit einer bestimmten Generation von LMP-Batterien, die daraufhin flächendeckend ausgetauscht werden mussten, sowie Probleme mit elektrischen Antriebsachsen eines bestimmten Zulieferers, die herstellerübergreifend in großem Umfang eingesetzt wurden. Hinzu kamen punktuelle Herausforderungen mit der Reichweite bei sehr niedrigen Temperaturen. In solchen Fällen musste zumeist ersatzweise auf relativ alte Dieselnisse zurückgegriffen werden, deren Vorhaltung und Betrieb kosteninten-

siv ist. Dadurch bedingt war eine Wirtschaftlichkeit der E-Busse aus Sicht der Verkehrsunternehmen im realen Betrieb in vielen Fällen noch nicht gegeben. Durch die Hersteller wurden zwar zum Teil Konventionalstrafen gezahlt, die nach Aussagen der Verkehrsunternehmen die wirtschaftlichen Verluste durch die technischen Probleme nicht ausglich.

Um den Anreiz für den Einsatz der angeschafften E-Busse trotz betrieblicher Hürden zu vergrößern, kommt in mindestens einer deutschen Metropole zwischen Aufgabenträger und Verkehrsgesellschaft ein Vertragsmodell zum Einsatz, bei dem die Verkehrsgesellschaft für einen gefahrenen elektrischen Bus-Kilometer deutlich mehr Vergütung bekommt als für einen dieselbetriebenen. Vertreter von Verkehrsgesellschaft und Aufgabenträger berichteten, dies könne vor allem in der ersten Phase der Elektrifizierung helfen, institutionelle und personelle Hürden bei der Umstellung praktischer Betriebsabläufe zu überwinden.

Zunehmend wird bei den Verkehrsunternehmen die THG-Quote als zusätzliche Einnahmequelle für den Betrieb von E-Bussen erkannt. Hier gab es anfangs noch bei etlichen Verkehrsunternehmen Bedenken hinsichtlich einer möglichen Doppelbilanzierung von THG-Minderungen (siehe Kapitel 2.2.8.1). Eine Handreichung des BMUV¹⁶³ und ein Workshop mit einigen vor allem größeren Verkehrsunternehmen konnte diese Bedenken jedoch weitgehend entkräften. Nach Aussagen der Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger sind momentan unter Regie der Branchenverbände Prozesse im Aufbau, die eine komfortable Inanspruchnahme der THG-Quote bei geringem bürokratischem Aufwand ermöglichen.

H₂-Brennstoffzellenbusse sind nach Aussagen der Verkehrsunternehmen wirtschaftlich derzeit auch nach Förderung und auch im regulären Betrieb (ohne Berücksichtigung eingeschränkter Verfügbarkeit durch technische Probleme) nicht konkurrenzfähig. Zu den anwendbaren H₂-Preisen durften die Verkehrsunternehmen aus rechtlichen Gründen zumeist keine genauen Angaben machen, den Aussagen war

jedoch zu entnehmen, dass die Preise etwas unterhalb dem derzeit üblichen Tankstellenpreis in Deutschland (momentan 12,82 €/kg netto) liegen. Mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass die Entfernung der H₂-Erzeugung vom Verbrauchsort aufgrund der hohen Transportkosten ein wichtiger Faktor für die Gesamtkosten sei (solange kein Pipeline-Netz für H₂ existiert). Einer der befragten Hersteller, der selbst auch Brennstoffzellen-Stadtbusse im Programm hat, schätzte, dass sich der H₂-Preis mehr als halbieren müsse, um für H₂-Stadtbusse einen Business Case zu ermöglichen, und schätzte dies bis 2030 als unrealistisch ein.

Ein wichtiger Faktor, den Verkehrsunternehmen in der Kalkulation derzeit nur schwer abschätzen können, ist der Restwert der Busse. Üblicherweise vereinbaren Verkehrsunternehmen bei Anschaffung von Bussen mit den Herstellern einen mit den Jahren abnehmenden Rückkaufpreis. Bei Dieselnissen lag der Gebrauchtwert in der Regel oberhalb dieser vereinbarten Rückkaufpreise, bei E-Bussen ist dies für die Betreiber jedoch schwer abzusehen. Hinzu kommen Unsicherheiten bezüglich der Batterielebensdauer wie auch bezüglich des Restwerts der Batterie für mögliche Second-Life-Anwendungen. Für zukünftige staatliche Fördermaßnahmen empfiehlt es sich daher, das Thema Gebrauchtmärkte im Blick zu behalten.

Ansätze zur Verbesserung des Fördersystems

Ein wichtiges Themenfeld in der zweiten Befragungsrunde war die zukünftige Ausgestaltung des Fördersystems. Die Akteure wurden befragt, an welchen Stellen sich das bisherige Fördersystem als nicht oder unzureichend praktikabel bzw. zielführend gezeigt habe, und um konkrete Vorschläge bzw. Ansatzpunkte für Verbesserungen gebeten. Die genannten Aspekte lassen sich in vier Teilbereiche gliedern, die nachfolgend separat dargestellt werden:

- Die Höhe/der Umfang der Förderung,
- der zeitliche Ablauf und Aspekte der zeitlichen Koordination,

- Verwaltungsprozesse und Personalaufwand,
- Wissensaufbau und -transfer.

Bezüglich des Umfangs der Förderung besteht bei den Verkehrsunternehmen übereinstimmend der Eindruck, dass die Bushersteller ihre Preisgestaltung stark an den Förderbedingungen ausrichten. So wurde konkret konstatiert, dass die Kappungsgrenzen der Förderung maßgeblich für die aufgerufenen Buspreise seien („Die E-Busse kosten alle dasselbe“). Zudem wurde mit Blick auf die unterschiedlichen Förderquoten für Fahrzeuge (80 %) und Ladeinfrastruktur (40 %) berichtet, dass die Abgrenzung zwischen beiden Posten in der Praxis oftmals unscharf sei und die Regelung Anreize geschaffen hätte, Aufwendungen für die Ladeinfrastruktur sachfremd im Zuge der Fahrzeugbeschaffung zu beantragen.

Auch wenn die Problematik der Mitnahmeeffekte von den Verkehrsunternehmen erkannt wird, wird die Förderung in Form von Kaufprämien dennoch bis auf Weiteres als notwendig angesehen und es wurden wenig konkrete Vorschläge geäußert, wie ein Fördersystem grundlegend anders ansetzen könnte. Auch die Hersteller betonten die Notwendigkeit der Kaufprämien. Ein Hersteller äußerte explizit die Vermutung, dass bei Wegfall oder deutlicher Verringerung der Kaufprämien der Marktanteil asiatischer Firmen stark steigen könne, da dann die anspruchsvollen Ziele vieler Verkehrsunternehmen für die Flottenelektrifizierung nur noch mit niedrigpreisigen Fahrzeugen zu realisieren seien und dies zu einer Verringerung der qualitativen Anforderungen an die Busse führen könne. Ein anderer Hersteller wies darauf hin, dass die Etablierung ambitionierter Nachhaltigkeitsanforderungen an die Fahrzeugproduktion ein Weg sein könnte, „Kostenwahrheit“ herzustellen und so die Position europäischer Hersteller im Markt für die Zukunft zu stärken.

Andererseits wird vonseiten der Hersteller auch betont, dass die hohen Preise für E-Busse derzeit zu einem erheblichen Teil auf das Sicherheitsbedürfnis der Verkehrsunternehmen zurückgehen, die bei-

spielsweise lange Garantiezeiten für die Traktionsbatterie forderten. Somit stellt sich die Frage, inwiefern solche kostentreibenden Faktoren fördertechnisch gezielt adressiert werden könnten.

Die Verkehrsunternehmen stimmten darin überein, dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur insgesamt einer stärkeren politischen Unterstützung bedarf. Das betrifft nicht nur die Finanzmittel (die im Vergleich deutlich geringere Förderquote für Ladeinfrastruktur wurde von mehreren Verkehrsunternehmen kritisiert), sondern auch die Möglichkeit einer stärkeren Entkopplung von Infrastruktur- und Fahrzeugförderung, gerade mit Blick auf den oftmals langen zeitlichen Vorlauf von Infrastrukturprojekten.

Bezüglich der zeitlichen Abläufe der Förderung wurde von den Verkehrsunternehmen generell konstatiert, dass die Koordination zwischen vergaberechtlichen, haushalterischen und förderrechtlichen Anforderungen mit denen von Infrastrukturplanung und -umsetzung sehr anspruchsvoll ist. Dies führe zu Unsicherheit bei allen Beteiligten und letztlich auch dazu, dass bereits bewilligte Fördermittel in großem Umfang verfallen können. Insbesondere wurde kritisiert, dass angekündigte Förderaufrufe sich oftmals erheblich verzögerten und die Frist zur Einreichung von Anträgen danach sehr knapp bemessen sei. Es wurde infrage gestellt, ob die Abwicklung der Förderung in Form einzelner Förderaufrufe zielführend sei, und ein kontinuierlicher Ansatz für die Bereitstellung von Fördermitteln angeregt.

Für „Nischenanwendungen“ wie beispielsweise Doppeldeckerbusse wird auch zukünftig eine separate Berücksichtigung bei Förderprogrammen als sinnvoll erachtet, da hier noch deutlich mehr F&E-Arbeit zu leisten sei und das kommerzielle Interesse für solche Nischen oft nicht hinreichend sei, um eine überwiegend marktgetriebene Elektrifizierung zu ermöglichen.

Positiv wurde angemerkt, dass es mittlerweile für Aufgabenträger möglich ist, sogenannte Vorhalteanträge auf Förderung zu stellen, bei denen die Aufga-

beträger den Anspruch auf Förderung an ein später im Wettbewerb beauftragtes Verkehrsunternehmen abtreten können. Dies erleichtere die Ausschreibung elektrischer Buslinien mit akzeptablen Vorlaufzeiten. Unter den befragten Akteuren bestand allerdings Unsicherheit, was die Branchenvereinbarung zur CVD konkret für die Erreichung der gesetzlichen Ziele bedeuten wird. Es wurde darauf verwiesen, dass das Gesetz bei Nichteinhaltung der Ziele keine Sanktionsmechanismen vorsieht.

Im Hinblick auf die administrativen Aspekte der Förderung wies ein mittelständisches Verkehrsunternehmen darauf hin, dass es bei der Beantragung starke Skaleneffekte gebe – bei der gleichzeitigen Beantragung vieler Busse sei der administrative Aufwand pro Bus weitaus geringer. Bei kleineren Betreibern führe dies zu einem vergleichsweise schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnis.¹⁶⁴ Ein wesentlicher Faktor für den Aufwand bei der Beantragung seien zudem sehr detaillierte notwendige Angaben zu technischen und Kostenparametern. Diese unterlägen oftmals aber erheblichen Unsicherheiten und seien daher wenig aussagekräftig bzw. anfällig für interessengeleitete Gestaltung bei der Antragstellung. Als konkretes Beispiel wurde die Jahresfahrleistung genannt, bei der dem Verkehrsunternehmen zufolge oftmals deutlich zu optimistische Werte angegeben würden, um sich für die Förderung zu qualifizieren. Das Unternehmen empfahl, das Wettbewerbsverfahren unter den Antragstellenden generell infrage zu stellen und dazu überzugehen, alle Anträge zu bewilligen, die gewissen (vorab bekannten) Kriterien genügen.

Generell führt der hohe Verwaltungsaufwand für die Förderung dazu, dass Anschaffungen durch die Verkehrsunternehmen stärker als bisher gebündelt werden, sodass Anschaffungen beispielsweise nicht mehr jährlich, sondern nur noch alle drei Jahre erfolgen. Seitens der Bushersteller wurde vor allem auf den hohen Aufwand hingewiesen, der sich aus sehr detaillierten Anforderungen in den durch die Verkehrsunternehmen erstellten Ausschreibungsunterlagen ergebe. Es komme oftmals vor, dass nicht alle Anforderungen genau in der geforderten Weise durch

einen Hersteller erfüllbar seien, das für die Förderung geforderte offene Ausschreibungsverfahren verhindere aber direkte Verhandlungen zwischen Verkehrsunternehmen und Busherstellern, um hier zu Lösungen zu kommen. Im Ergebnis reduziere dies die Anzahl der auf eine Ausschreibung eingehenden Angebote und schränke damit den Wettbewerb zuungunsten der Verkehrsunternehmen ein. Diese Situationsbeschreibung kann als Indiz gesehen werden, dass herstelleroffene Ausschreibungen sowohl für die Angebots- als auch für die Nachfrageseite zum Teil gewöhnungsbedürftig sind und Prozesse noch optimiert werden müssen. Als möglicher Verbesserungsansatz, um zumindest den Aufwand der Bushersteller für ihre Angebote zu reduzieren, wurde eine stärkere Standardisierung von Fahrzeugausschreibungen angeregt. Als positives Beispiel für eine Standardisierung wurde der mittlerweile standardisierte Vergleich zum Dieselbus als Referenzfahrzeug in den Förderanträgen genannt.

Auch beim Thema Wissensaufbau und Wissensmanagement wird noch Optimierungspotenzial gesehen. Insgesamt würden Erfahrungen der Vorreiter bei der Einführung von E-Bussen (Verkehrsbetriebe und Kommunen) noch nicht optimal an „Second Mover“ sowie an der Elektrifizierung skeptisch gegenüberstehende Akteure weitergegeben. Aus den Gesprächen war dabei gerade bei den „Akteuren der ersten Stunde“ viel Enthusiasmus zu erkennen, ihre zum Teil „schmerzhaft“ gesammelten Erfahrungen weiterzugeben. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich vor allem im Bereich der „technischen Kinderkrankheiten“ (insbesondere Schnittstellen zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und Software) einiges zum Positiven entwickelt hat.

Um vorhandenes Wissen stärker zu zentralisieren und leichter zugänglich zu machen, wurden Onlineportale, Broschüren oder Veranstaltungen angeregt, bei denen Neueinsteiger im E-Bus-Markt erfahren, welche Schritte in welcher Reihenfolge bei der Elektrifizierung der Busflotte zu gehen sind. Die von BMDV und BMWK initiierte Arbeitsgruppe „Innovative Antriebe Bus“, die seit über zehn Jahren existiert, wird

als gute Basis für einen weiteren Ausbau von Austauschformaten gesehen. Zudem wurde im Hinblick auf Markttransparenz ein zentrales Register mit relevanten Daten aktuell am Markt erhältlicher E-Bus-Modelle angeregt, das von einer unabhängigen Stelle gepflegt wird. Hier könnten von Verkehrsbetrieben auch Erfahrungen aus dem Betrieb der Fahrzeuge in unterschiedlichen betrieblichen Settings hinterlegt werden. Perspektivisch wäre es auch denkbar, solch ein Register zu nutzen, um eine Präqualifikation von Fahrzeugen (beispielsweise anhand von Nachhaltigkeitskriterien) für bestimmte Fördermaßnahmen vorzunehmen.

Zudem kann die Markttransparenz verbessert werden, indem essenzielles Wissen zentral bereitgestellt wird. Dies können beispielsweise Onlineportale, Broschüren oder Veranstaltungen sein, bei denen Neueinsteiger im E-Bus-Markt erfahren, welche Schritte in welcher Reihenfolge bei der Elektrifizierung der Busflotte zu gehen sind. Denkbar wäre auch ein Register mit relevanten Daten aktuell am Markt erhältlicher E-Bus-Modelle, das von einer unabhängigen Stelle gepflegt wird.

2.2.8.3 Zusammenfassung und Fazit der Akteursanalyse

Die Akteursanalyse diente dazu, zu wichtigen Themenfeldern im Bereich der Busflottenelektrifizierung qualitative Einschätzungen von Verkehrsunternehmen, Aufgabenträgern und Busherstellern einzuholen. Die erhaltenen Einschätzungen sind nicht völlig widerspruchsfrei, fügen sich im Großen und Ganzen aber zu einem relativ konsistenten Bild, das nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst ist:

- Es herrscht große Einigkeit, dass Linienbusse zukünftig zum weit überwiegenden Teil einen elektrischen Antrieb haben werden. Entsprechend sind die Produktionsplanungen der Hersteller und die strategischen Ziele der Verkehrsunternehmen und ihrer Trägerkommunen ausgerichtet.
- Batteriebusse werden nach überwiegender Einschätzung künftig im Stadtverkehr universell einsetzbar sein und auch viele Anwendungsfälle im Regionalverkehr abdecken können. Ihnen kommt somit voraussichtlich die zentrale Rolle im zukünftigen Busverkehr zu. Ob und in welchem Umfang es im Regionalverkehr weiterer Technologien bedarf, ist unter den Akteuren umstritten.
- H₂-Brennstoffzellenbusse profitieren von generell hoher politischer Aufmerksamkeit für das Thema Wasserstoff, werden von Praktikern aber zunehmend skeptisch und zumindest mittelfristig als unwirtschaftlich gesehen.
- Eine Reihe technischer Herausforderungen der Einführungsphase von E-Bussen konnte erfolgreich gelöst werden, die Verfügbarkeit der E-Busse ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Die Verkehrsunternehmen sind mit der technischen Qualität im Wesentlichen zufrieden.
- Die Investitionskostenförderung des Bundes für batterieelektrische Busse war eine wesentliche Voraussetzung für die Entstehung eines Massenmarktes und insbesondere den Markteintritt europäischer Bushersteller. Sie hat indirekt dazu beigetragen, dass eine Elektrifizierung ganzer Busflotten auf großer Skala für viele Akteure erst vorstellbar wurde. Die Kaufprämien werden von sämtlichen befragten Akteuren auch bis auf Weiteres als notwendig für die Beschaffung weiterer E-Busse angesehen. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass sich die Busbeschaffung finanziell und organisatorisch diesem Förderinstrument ein Stück weit „angepasst“ hat. Eine Überprüfung und Weiterentwicklung des Förderdesigns ist daher mit Blick auf das neue Stadium des Markthochlaufes sinnvoll.
- Es bleibt abzuwarten, wie stark der politische Druck auf die regulatorischen Rahmeninstrumente (CO₂-Flottengrenzwerte, CVD bzw. Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz) sowie die jeweiligen kommunalen Ziele sein wird, wenn diese Förderung wegfällt oder stark abnimmt.

- Die THG-Quote wurde von größeren Akteuren bereits als leistungsfähiges Instrument zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von E-Bussen erkannt. Bedenken mancher Verkehrsunternehmen hinsichtlich einer etwaigen Doppelbilanzierung von THG-Minderungen konnten entkräftet werden. In seiner flächendeckenden praktischen Umsetzung steht das Thema aber noch am Anfang.
- Nach Ansicht der Verkehrsunternehmen wird das Thema Energieversorgungsinfrastruktur als wichtiger Flaschenhals der Busflottenelektrifizierung von der Politik in mehrfacher Hinsicht unterschätzt – finanziell, organisatorisch und zeitlich.

2.3 Internationale Einordnung: der deutsche E-Bus-Markt im globalen Vergleich

Die Zielsetzung dieses Kapitels ist es, eine globale Übersicht über den E-Bus-Markt, die internationalen E-Bus-Bestände und deren Entwicklung, daraus resultierende Marktanteile sowie die Situation und Rahmenbedingungen im Vergleich zu Deutschland zu erhalten. Neben der quantitativen Analyse der E-Bus-Ist- und -Planbestände ausgewählter Länder in Asien, Europa sowie Nord- und Südamerika beinhaltet dies auch qualitative Analysen in Form von Fallbeispielen, die die Erfolgsfaktoren und Herausforderungen der Transformation größerer Busflotten in unterschiedlichen Städten und Regionen illustrieren. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der quantitativen und qualitativen Betrachtung der ausgewählten Länder und der Fallbeispiele werden dabei mit Blick auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu Deutschland eingeordnet

2.3.1 Übersicht des Elektrobustbestands in Asien, Europa, Nord- und Südamerika

Die Ergebnisse der Erfassung der E-Bus-Bestände in den ausgewählten Ländern im Ist zum Ende des Jahres 2022 und die bekannten, öffentlichen Planungen zum Jahr 2030 werden nachfolgend tabellarisch zusammengefasst. Auffällig ist dabei insbesondere:

- Weltweit sind zum Ende des Jahres 2022 mehr als 700.000 Batteriebusse im Einsatz, davon 670.000 allein in China.
- In vielen Ländern bewegen sich die Ist-Bestände noch auf sehr niedrigem Niveau, jedoch wurden in den Jahren 2021 und 2022 vielerorts zunehmend umfangreiche Planungen für eine sukzessive Flottentransformation bekannt.
- In Europa sind, insbesondere gemessen an der Einwohnerzahl, die Niederlande, Norwegen, Schweden und Finnland im Jahr 2022 führend beim Einsatz emissionsfreier Busse.
- In fast allen europäischen Ländern bestehen Planungen für eine deutliche Erhöhung des E-Bus-Bestands. Bis zum Jahr 2030 ist zum Stand Ende des Jahres 2022 ein Zugang von mindestens 30.000 emissionsfreien Bussen zu erwarten. Die Planungen aus Deutschland machen dabei fast 30 % aus. Gemessen an der Einwohnerzahl sind vor allem die Planungen in Belgien, Griechenland, Estland, Irland und der Schweiz hervorzuheben.

Kontinent	Land	Anzahl Batteriebusse	davon Zuwachs in 2022	Anzahl Brennstoffzellenbusse	davon Zuwachs in 2022	Anzahl O-Busse	davon Zuwachs in 2022	Gesamt	Anzahl BEV je 1 Mio. Einwohner (Ist-Bestand)	weitere Zugänge bis 2030 (aktuelle Planungen)
Europa	Belgien	150	42	0	0	0	0	150	12,7	1.511
	Bulgarien	221	109	0	0	314	0	535	32,2	116
	Dänemark	677	414	3	0	0	0	680	114,3	468
	Deutschland	1.598	542	135	51	80	0	1.813	19,0	8.341
	Estland	0	0	0	0	50	0	50	0,0	55
	Finnland	589	246	0	0	0	0	589	105,1	606
	Frankreich	1.532	549	30	0	205	13	1.767	22,4	2.502
	Griechenland	1	0	0	0	366	0	367	17,3	1.300
	Irland	22	20	0	0	0	0	22	4,2	1.500
	Island	14	0	0	0	0	0	14	39,1	0
	Italien	489	109	17	0	417	0	923	8,0	2.962
	Kroatien	0	0	0	0	0	0	0	0,0	20
	Lettland	10	0	10	0	274	0	294	5,4	0
	Litauen	21	14	0	0	261	0	282	7,8	260
	Luxemburg	299	138	0	0	0	0	299	459,7	1.500
	Malta	19	19	0	0	0	0	19	40,9	13
	Niederlande	1.442	97	49	0	43	0	1.534	82,9	1.639
	Norwegen	685	216	0	0	10	0	695	123,3	260
	Österreich	35	13	0	0	120	-15	155	3,9	362
	Polen	768	160	1	1	272	0	1.041	20,2	219
	Portugal	123	50	2	2	12	0	137	12,0	102
	Rumänien	309	161	0	0	475	25	784	16,7	751
	Russland	1.096	52	0	0	10.161	0	11.257	7,7	1.154
	Schweden	884	254	2	2	5	0	891	84,3	963
	Schweiz	139	81	0	0	462	6	601	16,3	807
	Slowakei	46	0	0	0	262	0	308	8,5	46
	Slowenien	2	2	0	0	0	0	2	1,0	11
	Spanien	445	128	8	8	9	0	462	9,4	1.310
	Tschechische Republik	136	38	0	0	725	0	861	12,7	184
	Ungarn	130	44	0	0	230	-4	360	13,4	86
	Vereinigtes Königreich	1.745	670	90	15	0	0	1.835	25,7	1.779
	Zypern	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
Asien	China*	670.000	100.000	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	670.000	475,0	930.000
	Indien	3.743	1.985	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	3.743	2,7	25.321
	Indonesien	56	56	0	0	0	0	56	0,2	13.156
	Singapur	170	0	0	0	0	0	170	28,7	2.820
	Südkorea	4.473	4.026	270	135	0	0	4.743	86,3	23.638
	Taiwan	1.161	568	0	0	0	0	1.161	49,2	27.677
	Thailand	1.262	594	0	0	0	0	1.262	18,1	7.332
	Vietnam	150	144	0	0	0	0	150	1,4	2.994
Nordamerika	Kanada	839	303	10	0	262	0	1.111	21,9	6.428
	Mexiko	196	147	0	0	407	46	603	1,5	140
	Vereinigte Staaten	5.269	1.947	211	0	514	176	5.994	15,6	18.612
Südamerika	Argentinien	21	1	0	0	77	0	98	0,5	9
	Brasilien	81	20	0	0	298	-4	379	0,4	4.007
	Chile	2.400	1.604	0	0	30	0	2.430	130,2	2.619
	Kolumbien	1.589	1.006	0	0	0	0	1.589	32,4	406
Ozeanien	Australien	94	43	0	0	0	0	94	3,6	1.339

* Hinweise: Der ausgewiesene Planwert (weitere Zugänge bis 2030) für China versteht sich als Differenz des Ist-Bestandes im Jahr 2022 abzüglich eines prognostizierten Gesamtbestands im Jahr 2030 (Batterie- und Brennstoffzelle). Dieser Gesamtbestand (1.600.000 Batteriebusse) beruht auf einer Prognose der IEA.¹⁶⁵

Tabelle 11: Übersicht der globalen E-Bus-Bestände zum Ende des Jahres 2022 und aktuelle (bekannte) Planungen bis zum Jahr 2030

2.3.2 Übersicht des Elektrobusbestands und Darstellung der Flottentransformation ausgewählter Länder

Für eine tiefergehende länderspezifische Betrachtung wurden insgesamt zehn Länder ausgewählt, die hinsichtlich ihrer Ist-Bestände nach Topstädten und -regionen, der führenden Hersteller und der bekannten Planungen bis zum Jahr 2030 analysiert werden. Die Kriterien zur Auswahl dieser zehn Länder sind ihre volkswirtschaftliche Größe (Europa: Frankreich und das Vereinigte Königreich, Asien: China und Indien, Nordamerika: Vereinigte Staaten), ihr absoluter E-Bus-Bestand (Europa: Niederlande, Südamerika: Chile, Ozeanien: Australien) oder spezifische Besonderheiten wie eine hohe E-Bus-Dichte pro eine Million Einwohner (Norwegen) oder Besonderheiten

hinsichtlich der Hersteller-Marktanteile (Polen).

Somit werden die folgenden Länder spezifischer betrachtet und nachfolgend mithilfe eines standardisierten Steckbriefes beschrieben:

- Niederlande
- Frankreich
- Vereinigtes Königreich
- Polen
- Norwegen
- Vereinigte Staaten
- Chile
- China
- Indien
- Australien.

2.3.2.1 Niederlande

Niederlande

Europa

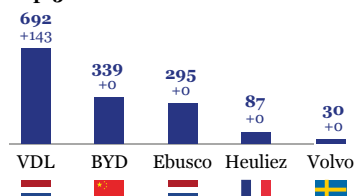


Ist-Bestände 2022

Gesamtbusbestand				
	9.300*	1.442	43	49
	5.400**	+97	+0	+0
Anteil am Gesamtbusbestand:	15,5 %/ 26,7 %	0,5 %/ 0,8 %	0,5 %/ 0,9 %	

82,9 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Top-5-Hersteller Batteriebusse

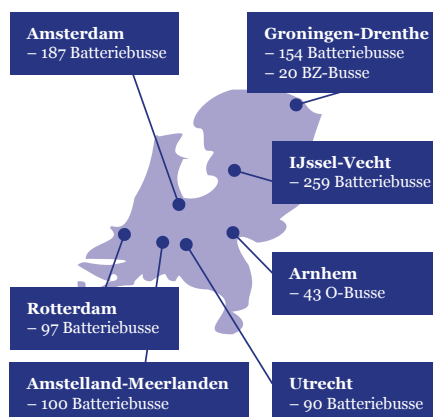


* Alle Busse, Quelle: Eurostat, inkl. Reise- und Kleinbusse

** Busse im öffentlichen Verkehr, Quelle: KpVV CROWgerundet

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Ist-Bestände in Topstädten und -regionen in 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + **270** Batteriebusse in Amsterdam bis 2025
- + **235** Batteriebusse sonstige Städte bis 2030
- + **193** Batteriebusse Region Zaanstreek-Waterl. bis 2023
- + **152** Batteriebusse in Region Groningen-Drenthe bis 2026
- + **95** Batteriebusse in Den Haag bis 2024
- + **35** Batteriebusse in Utrecht bis 2030
- + **10** Oberleitungsbusse in Arnhem bis 2024

Abbildung 50: E-Bus-Landesübersicht Niederlande für das Jahr 2022

Die Niederlande sind mit 1.442 Batteriebusen wiederholt E-Bus-Spitzenreiter in Europa

In den Niederlanden sind im Jahr 2022 insgesamt 1.442 Batteriebusse, 43 O-Busse und 49 Brennstoffzellenbusse im Einsatz. Seit dem Jahr 2018 waren die Niederlande in der jährlichen Bestandsbetrachtung europäischer Länder Spitzenreiter. Gemessen an dem Gesamtbestand der 5.400 Busse im öffentlichen Verkehr ergibt sich eine hohe Elektrifizierungsquote von 28,4 %. Bezogen auf den gesamten Busbestand des Landes (9.876 Busse) liegt dieser Wert bei etwa 16,5 %.

Das Tempo der Flottentransformation nahm allerdings bereits im Jahr 2021 leicht ab – eine Entwicklung, die sich auch im Jahr 2022 fortsetzte. Insgesamt sind im Jahr 2022 nur 97 E-Busse (ausschließlich mit batterieelektrischem Antrieb) als Neuzugänge zu verzeichnen (Vorjahr 207 Fahrzeuge). Die degressive Entwicklung des niederländischen E-Bus-Bestands lässt eine gewisse Sättigung der Nachfrage vermuten. Der zwischenzeitliche Rückgang des Wachstums könnte jedoch auch mit der Organisation und Vergabepraxis der ÖPNV-Erbringung in den Niederlanden zusammenhängen, die sich grundsätzlich von der in Deutschland unterscheidet. In den Niederlanden werden Konzessionen für großflächige Bedienungs- bzw. Konzessionsgebiete meist über eine Laufzeit von bis zu zehn Jahren und mehr an einen oder mehrere Betreiber vergeben, wie beispielsweise für das Bedienungsgebiet Amstelland-Meerlanden. Optional kann die Konzession hier um fünf weitere Jahre verlängert werden. Insofern hängt das Transformationstempo auch mit dem jeweiligen Umfang der in den betreffenden Jahren zu vergebenden ÖPNV-Konzessionen zusammen. Seit dem Jahr 1996 besitzen die zwölf niederländischen Provinzen und die sieben Stadtregionen die Zuständigkeit für die Erbringung von Verkehrsleistung mit Bussen. Diese erhalten hierfür einen jährlichen Zuschuss der niederländischen Regierung – die sogenannten BDU-Mittel, „brede doeluitkering verkeer“, deutsch in etwa: „breites Zahlungsziel für Verkehr“. Hieraus werden unter anderem auch die Mehrkosten der E-Bus-Umstellung finanziert. Weitere Informationen hierzu liefert das Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden (siehe Anhang 5.5.5).

Die Niederlande sind mit 82,9 Batteriebusen je eine Million Einwohner um vier Plätze auf Platz 6, hinter Schweden, zurückgefallen. In der zeitlichen Betrachtung lässt sich den Niederlanden jedoch zweifelsfrei eine Vorreiterrolle in Europa bei der Einführung von E-Bussen zusprechen. Diese ist unter anderem durch eine starke politische Initiative erwachsen, beispielsweise im Rahmen der Green-Deal-Initiative. Weitere Informationen hierzu folgen im Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden.

In der Region IJssel-Vecht werden die meisten E-Busse eingesetzt

Die Region IJssel-Vecht setzt landesweit die größte E-Bus-Flotte ein. Die 259 Fahrzeuge wurden von dem chinesischen Hersteller BYD geliefert.

Auch in der Hauptstadt Amsterdam stehen zum Ende des Jahres 2022 knapp 190 Batteriebusse im Einsatz. Für Linien rund um den Flughafen Schiphol werden weitere etwa 130 Batteriebusse im öffentlichen Verkehr eingesetzt. Die jüngsten Zugänge konnte die Region Gooi & Vecht verzeichnen.

Niederländische Hersteller mit einem Marktanteil von rund 70 % bei Batteriebusen

Mit Blick auf die Hersteller der Batteriebusse zeigt sich eine bedeutende Rolle der heimischen Hersteller VDL und Ebusco. Diesen lassen sich insgesamt rund 990 eingesetzte Batteriebusse zuordnen, was einem Marktanteil von knapp 70 % entspricht. Bemerkenswert ist darüber hinaus der Marktanteil des chinesischen Herstellers BYD von rund 24 % (etwa 340 Batteriebusse im Einsatz). Batteriebusse deutscher Hersteller spielen indessen vorerst noch keine nennenswerte Rolle auf dem niederländischen E-Bus-Markt. Dies lässt sich möglicherweise durch das verzögerte Produktangebot der deutschen Hersteller begründen, da 746 der 1.442 Batteriebusse im Jahr 2022 bereits vor 2020 eingeflottet wurden.

Bekannte Planungen für über 1.500 E-Busse – die Niederlande fahren auch weiterhin batterieelektrisch

Der Ist-Bestand zeigt die eindeutige Dominanz des batterieelektrischen Antriebs unter den alternativen Antrieben über alle Städte und Regionen hinweg.

Dieses Bild zeichnet sich auch mit Blick auf die bekannten Planungen ab. In den nächsten Jahren sollen rund 1.500 (2020 waren es noch 500, 2021 ca. 780) zusätzliche E-Busse hinzukommen, weiterhin überwiegend mit batterieelektrischem Antrieb. Die nie-

derländische E-Bus-Flotte würde somit bis zum Jahr 2030 auf etwa 3.000 Fahrzeuge anwachsen. Damit wäre mehr als jeder zweite niederländische Bus im ÖPNV emissionsfrei im Einsatz.

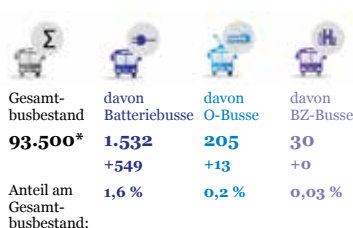
2.3.2.2 Frankreich

Frankreich

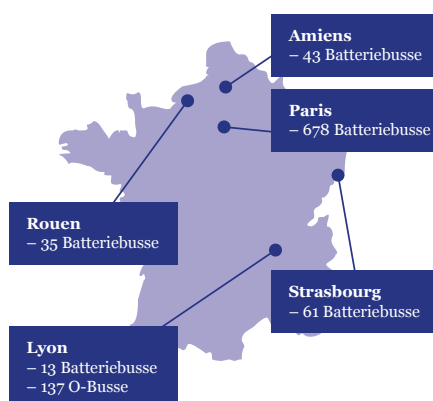
Europa



Ist-Bestände 2022



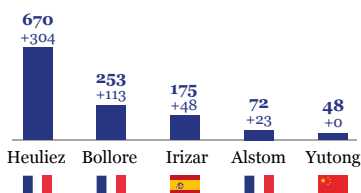
Ist-Bestände in Topstädten in 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 703** Batteriebusse in Region Ile de France bis 2025
- + 470** Batteriebusse sonstige Städte bis 2030
- + 469** Batteriebusse in Paris bis 2030
- + 151** Batteriebusse in Orléans bis 2025
- + 201** BZ-Busse sonstige Städte bis 2030
- + 200** BZ-Busse in Dijon bis 2030

Top-5-Hersteller Batteriebusse



* Alle Busse, Quelle: Eurostat, inkl. Reise- und Kleinbusse

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 51: E-Bus-Landesübersicht Frankreich für das Jahr 2022

Über 1.500 Batteriebusse in Frankreich eingeflottet

Zum Ende des Jahres 2022 sind insgesamt 1.532 batterieelektrische Busse, 205 O-Busse und 30 Busse mit Brennstoffzellenantrieb in Frankreich im Einsatz. Der Batteriebusbestand hatte sich bereits im Jahr 2021 mit einem Zuwachs von 480 Fahrzeugen fast verdoppelt. Frankreich zeigt damit einen in den letzten zwei

Jahren ähnlichen Markthochlauf wie Deutschland und setzt im Jahr 2022 nach dem Vereinigten Königreich und Deutschland (2022: 1.598 Batteriebusse) die drittgrößte Batteriebusflotte in Europa ein. 22,4 Batteriebusse kommen so auf eine Million französische Einwohnerinnen und Einwohner. Gemessen am gesamten Busbestand ergibt sich jedoch eine Elektrifizierungsquote von lediglich 1,8 %.

Frankreich hat in nationalen Gesetzen bereits anspruchsvollere Ziele (100 % emissionsarme Fahrzeuge ab 2025) als die europäische Clean Vehicles Directive verankert. Während die EU-Richtlinie Beschaffungsquoten für die Gesamtflotte eines Mitgliedstaats vorsieht, berücksichtigt die französische Gesetzgebung die bisherige Fahrzeugbeschaffung der Regionen. Die Vorgaben zur Beschaffung von emissionsfreien Fahrzeugen gestalten sich dabei flexibel und sind an bestimmte Kategorien geknüpft, wie die wirtschaftliche Ausgangslage der Regionen, die Luftqualität, die Bevölkerungsdichte und weitere Merkmale der regionalen Verkehrssysteme.

In Paris werden die meisten E-Busse eingesetzt

Paris führt mit knapp 680 Batteriebusen die stadtbezogene Betrachtung in Frankreich mit Abstand an. Der Batteriebusbestand verteilt sich dabei auf fünf Hersteller. Nennenswert, wenngleich nicht Teil dieser Statistik, ist die umfangreiche Hybridbusflotte in Paris. Bereits im Jahr 2019 waren rund

950 Hybridbusse im Einsatz. Eine recht frühe und umfangreiche Flottenumstellung hat die Stadt Amiens (ca. 130.000 Einwohner) vollzogen. Seit dem Jahr 2019 ist hier eine Batteriebusflotte von ca. 40 Fahrzeugen im Einsatz. Die meisten Brennstoffzellenbusse fahren in Pau (8).

Französischer Hersteller führt die Top 5 der Batteriebushersteller an

Der französische Hersteller Heuliez führt mit 366 Fahrzeugen die französischen Top 5 der Batteriebushersteller an und konnte im Jahr 2022 einen Zuwachs von 304 Fahrzeugen (Vorjahr 269) verzeichnen. Mehr als die Hälfte der neuen Batteriebuszugänge entfallen folglich, wie schon im Vorjahr, auf den französischen Hersteller. Dem baskischen Hersteller Irizar lassen sich 175 Fahrzeuge zuordnen, der damit hinter den französischen Hersteller Bolloré (253 Batteriebusse) auf Platz 3 zurückfällt.

Knapp 2.350 bekannte E-Bus-Planungen, Brennstoffzellenbusse mit relativ hohem Anteil

Derzeit sind Planungen für den Einsatz von weiteren 2.350 E-Bussen in Frankreich bekannt. Hiervon entfallen mehr als 800 Batteriebusse auf die Region Île de France sowie die Stadt Paris. Die Beschaffung von 200 Brennstoffzellenbussen ist in der Stadt Dijon geplant. Der Anteil der geplanten Zugänge an Brennstoffzellenbussen ist in Frankreich im Ländervergleich relativ hoch. Insgesamt sollen nach derzeit bekannten Planungen zusätzliche 400 Fahrzeuge bis 2030 beschafft werden, die Hälfte davon somit in Dijon.

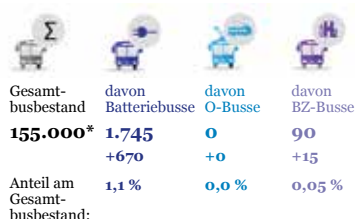
2.3.2.3 Vereinigtes Königreich

Vereinigtes Königreich

Europa

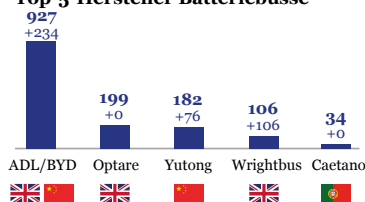


Ist-Bestände 2022



25,7 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

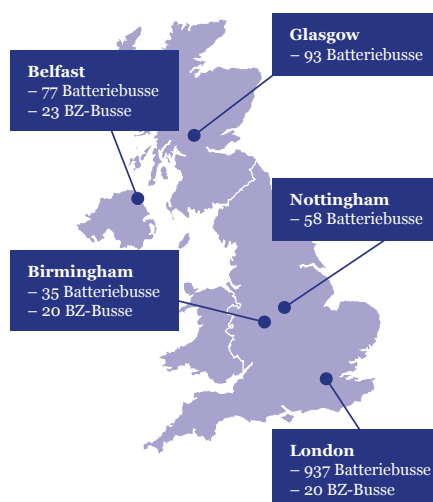
Top-5-Hersteller Batteriebusse



* Alle Busse, Quelle: Eurostat, inkl. Reise- und Kleinbusse gerundet

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Ist-Bestände in Topstädten 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 1.229 Batteriebusse sonstige Städte bis 2030
- + 994 Batteriebusse in London bis 2030
- + 589 Batteriebusse in Coventry und Oxford(shire) bis 2030
- + 308 Batteriebusse in Manchester bis 2030
- + 300 Batteriebusse in West Midlands bis 2030
- + 124 Brennstoffzellenbusse in West Midlands bis 2024
- + 34 Brennstoffzellenbusse in London bis 2024

Abbildung 52: E-Bus-Landesübersicht für das Vereinigte Königreich für das Jahr 2022

Knapp 1.750 Batteriebusse fahren im Vereinigten Königreich

1.745 der 1.835 insgesamt erfassten E-Busse sind im Vereinigten Königreich mit batterieelektrischem Antrieb ausgerüstet. Hierunter befinden sich 780 doppelstöckige Fahrzeuge. Ein E-Gelenkbus ist im Vereinigten Königreich im Jahr 2022 dagegen noch nicht im Einsatz. Die Elektrifizierungsquote fällt in der Gesamtbestandsbetrachtung mit 1,1 % gering aus.

London hat bereits fast 1.000 E-Busse im Einsatz

Etwa 50 % der britischen E-Bus-Flotte sind auf den Straßen der Hauptstadt London unterwegs, davon 836 Batterie- und 30 Brennstoffzellenbusse. Im Vorjahr waren es noch 70 %. Dies ist ein Anzeichen dafür, dass die E-Bus-Flottentransformation auch abseits der Hauptstadt London an Fahrt aufnimmt. Weitere

größere E-Bus-Projekte sind bereits in Glasgow (93 Batteriebusse), Belfast (77 Batterie- und 23 Brennstoffzellenbusse), Nottingham (58 Batteriebusse), Manchester und Birmingham (je 35 Batteriebusse) angelaufen. In der schottischen Stadt Aberdeen verkehren 25 Brennstoffzellen- und 22 Batterie-Solobusse.

Die Kooperation zwischen ADL und BYD hat den größten Marktanteil

Wie bereits dargestellt, sind der britische Bushersteller Alexander Dennis Limited (ADL) und der chinesische Hersteller BYD im Jahr 2015 früh eine Kooperation hinsichtlich der Entwicklung und Produktion von Elektrobussen eingegangen. Bisher sind aus diesem Joint Venture bereits 930 Batteriebusse in den Betrieb gegangen (+234 gegenüber 2021, Zuwachs im Jahr 2021 +251 Fahrzeuge). Der ebenfalls in Groß-

britannien ansässige Hersteller Optare (ein Tochterunternehmen des indischen Fahrzeugherstellers Ashok Leyland) belegt mit ca. 200 Batteriebusen den zweiten Platz im Herstellerranking, der chinesische Hersteller Yutong Platz 3.

Die frühe Kooperation von ADL mit BYD scheint sich angesichts der hohen Bestandszahlen auszuzahlen. Der Hersteller konnte sich so frühzeitig als E-Bus-Vorreiter im Vereinigten Königreich positionieren. Mit Blick auf den internationalen E-Bus-Bestand zeigt sich hingegen auch, dass ADL seine E-Busse zum größten Teil auf dem Heimatmarkt absetzt. Deutsche Hersteller sind im Jahr 2022 mit emissionsfreien Fahrzeugen im britischen ÖPNV nicht nennenswert vertreten (ein Fahrzeug von Daimler Buses). Dies könnte auch auf das im Vergleich deutlich später verfügbare E-Bus-Angebot der deutschen Hersteller zurückzuführen sein, die anders als ADL keine Entwicklungs- und Produktionspartnerschaft eingegangen sind.

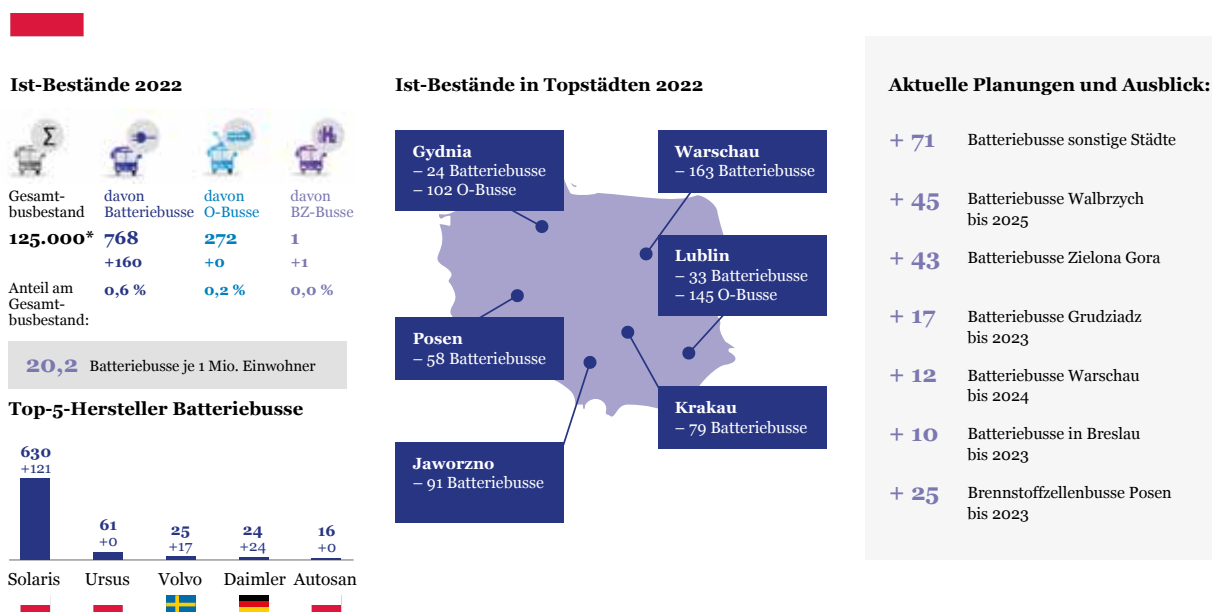
Aktuelle Planungen bis 2030 sehen weitere 3.600 Fahrzeuge vor

Zum Erhebungsstand existieren bekannte Planungen für weitere 3.600 E-Busse (im Vorjahr noch 2.305 Fahrzeuge). Zu den Planungen aus dem Jahr 2021 sind so etwa 1.300 weitere Fahrzeuge hinzugekommen, die bis zum Jahr 2030 eingeflottet werden sollen. Großbritannien verhandelt derzeit über das Ende der Neuzulassung von Bussen mit Verbrennungsmotor. Dieses Enddatum soll spätestens auf das Jahr 2032 gesetzt werden. Bis zum Jahr 2025 fördert das britische Verkehrsministerium mit 320 Mio. Pfund die Beschaffung von emissionsfreien Bussen. Die Investitionen des Umstiegs auf emissionsfreie Antriebe sollen dabei auch seitens der regionalen Verkehrsbehörden und der ÖPNV-Betreiber getragen werden. Anders als in Deutschland wird der ÖPNV im Vereinigten Königreich zu einem Großteil von den privatwirtschaftlichen Betreibern Arriva, FirstGroup, Go-Ahead, National Express und Stagecoach erbracht, die von den Gebietskörperschaften im Rahmen von Wettbewerbsvergaben beauftragt werden.

2.3.2.4 Polen

Polen

Europa



* Alle Busse, Quelle: Eurostat, inkl. Reise- und Kleinbusse gerundet

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 53: E-Bus-Landesübersicht Polen für das Jahr 2022

768 Batteriebusse in polnischer Busflotte – erster Brennstoffzellenbus seit dem Jahr 2022 in Betrieb

Die polnische E-Bus-Flotte ist derzeit insbesondere durch Batteriebusse geprägt, es ist aber auch ein relevanter Bestand an O-Bussen zu verzeichnen. Im Vergleich zum Bestand im Jahr 2021 wurden 160 neue Batteriebusse (im Vorjahr Zuwachs von 179) aufgenommen. Der Bestandszuwachs an emissionsfreien Fahrzeugen fällt damit im Vergleich moderat aus. Der landesweit erste Brennstoffzellenbus wurde im Jahr 2022 in der Stadt Konin in Betrieb genommen.

Hauptstadt Warschau zählt die meisten E-Busse

Insgesamt sind in Warschau 163 batterieelektrische Busse bis Ende des Jahres 2022 unterwegs, davon 130 Gelenk- und 33 Solobusse. Weitere Topstädte im Bestandsranking sind Jaworzno, Gdynia, Krakau sowie Lublin mit der größten O-Bus-Flotte des Landes. In Gdynia wurden die ersten Batteriebusse eines deutschen Herstellers in Betrieb genommen. Daimler Buses lieferte 16 Solo- und 8 Gelenkbatteriebusse im Jahr 2022 nach Polen.

Polnische Hersteller dominieren den heimischen Markt, größter Bestand und Zuwachs bei Solaris

630 der 768 Batteriebusse stammen vom polnischen Hersteller Solaris sowie weitere 61 Batteriebusse vom ebenfalls polnischen Hersteller Ursus, der jedoch inzwischen die E-Bus-Produktion eingestellt hat. Ausländische Hersteller, deren Batteriebusse in Polen im Einsatz stehen, sind bislang Volvo aus Schweden (25 Batteriebusse), Daimler Buses aus Deutschland (24 Batteriebusse) und Yutong aus China (10 Batteriebusse). Konnte Solaris im Jahr 2021 noch 170 Fahrzeuge in Polen ausliefern, waren es im Jahr 2022 nur noch 121.

Bekannte Planungen deuten noch auf einen langsamen Ausbau der E-Bus-Flotte hin

Derzeit sind Planungen für weitere 224 E-Busse in Polen bekannt. Damit stiegen die bekannten zusätzlichen Planungen lediglich um 26 Fahrzeuge. Insgesamt bleiben so die bisher bekannten Planungen noch deutlich hinter den notwendigen Beschaffungen in Hinblick auf die Erfüllung der CVD-Vorgaben zurück.

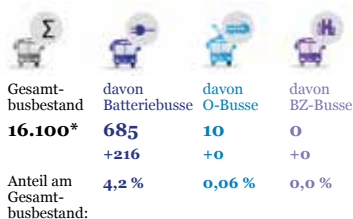
2.3.2.5 Norwegen

Norwegen

Europa



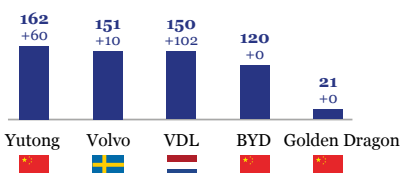
Ist-Bestände 2022



Anteil am Gesamtbusbestand:

123,3 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

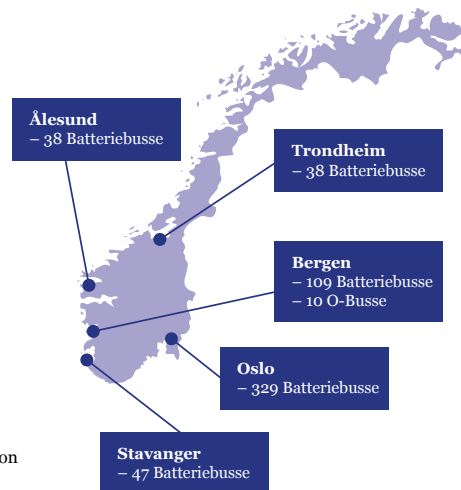
Top-5-Hersteller Batteriebusse



* Alle Busse, Quelle: Eurostat, inkl. Reise- und Kleinbusse gerundet

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Ist-Bestände nach Topstädten 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 76 Batteriebusse in Oslo bis 2023
- + 35 Batteriebusse sonstige Städte bis 2022

Abbildung 54: E-Bus-Landesübersicht Norwegen für das Jahr 2022

Hohe „E-Bus-Dichte“ in Norwegen, bisher keine Brennstoffzellenbusse im Einsatz

Mit 685 Batteriebussen, die zum Ende des Jahres 2022 im Einsatz stehen, entfallen in Norwegen über 123,3 Batteriebusse auf eine Million Einwohner (2020: 70,0; 2021: 84,4). Dieser Wert liegt damit um mehr als das Siebenfache höher als in Deutschland mit rund 17,7 Batteriebussen je eine Million Einwohner im Jahr 2022. Norwegen führt somit das Ranking dieser Kennzahl nach Luxemburg an. Wenngleich die Ziele und Beschaffungsquoten der CVD nicht für Norwegen gelten, verfolgt das Land ambitionierte Ziele zur Elektrifizierung der Fahrzeugflotten, insbesondere auch in großen Städten. Die emissionsfreien Busse Norwegens sind fast ausschließlich mit einem batterieelektrischen Antrieb ausgerüstet. Brennstoffzellenbusse sind weder im Ist- noch im Plan-Bestand zu verzeichnen.

Der genauere Blick auf die Flottentransformation in Oslo zeigt, dass die deutlich geringeren Betriebskosten der Batteriebusse durch sehr niedrige Strompreise die Investitionskosten zunächst dennoch nicht ausgleichen können. Im Vergleich zu Deutschland sehen sich Industriekunden in Norwegen einem deutlich geringeren Strompreis gegenübergestellt. Für einen Verbrauch bis 2.000 MWh lag der Preis pro kWh in Deutschland bei 0,1813 €, in Norwegen hingegen bei 0,0811 €. ¹⁶⁶ Anhand des Fallbeispiels Oslo werden hierzu weitere Einblicke gegeben.

Große Batteriebusflotten in Oslo und Bergen im Einsatz

Die norwegische Hauptstadt, an mancher Stelle auch „Welthauptstadt der E-Mobilität“ genannt, verzeichnet landesweit die größte Batteriebusflotte mit 329 Fahrzeugen (Vorjahr 191 Fahrzeuge). In der Stadt

Bergen im Westen des Landes stehen im Jahr 2022 rund 110 und in Ålesund 38 Batteriebusse im Einsatz.

Chinesische Hersteller haben hohe Marktanteile, niederländischer Hersteller VDL den größten Zuwachs im Jahr 2022

Die chinesischen Hersteller haben den größten Anteil an der E-Bus-Flotte in Norwegen im Jahr 2022 (Yutong: 162, BYD: 120). Volvo führte im vergangenen Jahr noch das Ranking der Hersteller in der Einzelwertung mit 151 Batteriebussen an, konnte im Jahr 2022 allerdings nur 10 Neuzugänge verbuchen. Dagegen konnte der niederländische Hersteller VDL 102

Batteriebusse ausliefern, die nun in Oslo im Einsatz stehen.

Großer Zuwachs in Oslo im Jahr 2023 erwartet

Die Planungen für das Jahr 2022 konnten fast vollständig umgesetzt werden. Insgesamt konnten Ende des Jahres bekannte landesweite Planungen für lediglich 111 zusätzliche Batteriebusse verzeichnet werden. Brennstoffzellenbusse und weitere O-Busse finden in den derzeitigen Planungen keine Berücksichtigung.

2.3.2.6 Vereinigte Staaten von Amerika

Vereinigte Staaten

Nordamerika

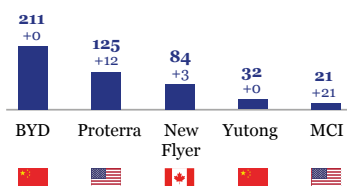


Ist-Bestände 2022

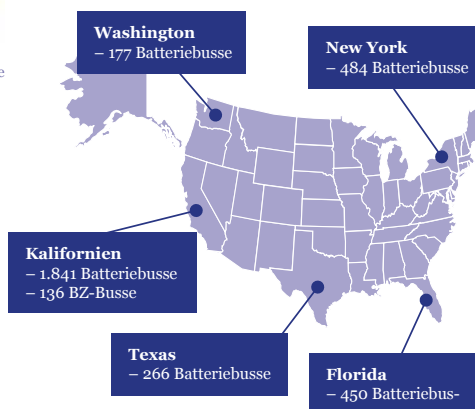
Gesamtbusbestand	davon Batteriebusse	davon O-Busse	davon BZ-Busse	
k. A.	5.269	514	211	
	+1.947	+176	+0	
Anteil am Gesamtbusbestand:	k. A.	k. A.	k. A.	

15,6 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Top-5-Hersteller Batteriebusse



Ist-Bestände in Top-Bundesstaaten 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 700 Batteriebusse in Boston bis 2030
- + 534 Batteriebusse sonstige Städte bis 2030
- + 326 Batteriebusse in Montgomery bis 2024
- + 230 Batteriebusse in New York (>6.000 bis 2040)
- + 300 Batteriebusse in Memphis bis 2030
- + 218 Batteriebusse in Florida
- + 160 Batteriebusse in Los Angeles
- + 107 Brennstoffzellenbusse in Nevada bis 2028

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 55: E-Bus-Landesübersicht für die Vereinigten Staaten für das Jahr 2022

5.270 Batteriebusse zum Ende des Jahres 2022 in Betrieb oder in Auslieferung

Die weltweit zweitgrößte Batteriebusflotte befindet

sich mit 5.269 Fahrzeugen in den USA im Einsatz. Dieser Wert der American Public Transportation Association beinhaltet bereits eingeflottete, aber auch

noch in Auslieferung befindliche Fahrzeuge. Insgesamt kommen so im Jahr 2022 etwa 15,6 Batteriebusse auf eine Million Einwohner in den Vereinigten Staaten, im Vergleich zu den großen europäischen Ländern ein nur leicht unterdurchschnittlicher Wert.

Kalifornien mit knapp 2.000 emissionsfreien Bussen

Mehr als jeder dritte Batteriebus der USA wird im Bundesstaat Kalifornien eingesetzt. Dort sind etwa 1.850 batterieelektrische Busse in Betrieb. Es folgen die Bundesstaaten New York mit 484 und Florida mit 450 Batteriebusen. Die größte Brennstoffzellenbus-Flotte befindet sich ebenfalls im Bundesstaat Kalifornien im Einsatz.

New York City plant Umstellung von 5.800 Bussen bis zum Jahr 2040

Bis zum Jahr 2040 sollen in New York alle 5.800 konventionellen Busse mit Verbrennungsmotor durch batterieelektrische Busse ersetzt werden. Weitere größere Planungen sind in Boston (700 Batteriebusse bis zum Jahr 2030), Montgomery (326 Batteriebusse bis zum Jahr 2024) und Memphis (300 Batteriebusse bis zum Jahr 2030) zu verzeichnen. Insgesamt sind im Jahr 2022 Planungen für die Einflottung weiterer 18.000 E-Busse in den USA bekannt.

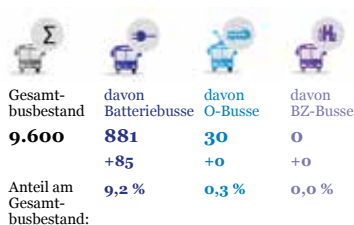
2.3.2.7 Chile

Chile

Südamerika

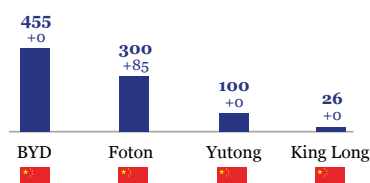


Ist-Bestände 2022



47,8 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Top-4-Hersteller Batteriebusse



Ist-Bestände in Topstädten 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 6.739 Batteriebusse in Santiago de Chile bis 2035
- + 100 Batteriebusse in Copiapo bis 2022

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 56: E-Bus-Landesübersicht Chile für das Jahr 2022

Nur noch die zweitgrößte E-Bus-Flotte in Südamerika

Mit 881 Batteriebusen und 30 O-Bussen verfügt Chile über die zweitgrößte E-Bus-Flotte in Südamerika. Somit entfallen bereits rund 48 Batteriebusse auf eine Million Einwohner, ein vergleichsweise hoher Wert. Im Jahr 2021 führte Chile das Ranking in Südamerika noch an, im Jahr 2022 wurde das Land jedoch durch die Einflottung von 1.000 Batteriebusen von Kolumbien überholt. Der Ausbau der Batteriebusflotte hat sich in den letzten Jahren abgeschwächt und beschränkte sich bereits im Jahr 2021 auf lediglich 20 Fahrzeuge des Herstellers BYD, im Jahr 2022 kamen weitere 85 Fahrzeuge des Herstellers Foton hinzu.

Alle Batteriebusse des Landes in der Hauptstadt Santiago de Chile unterwegs

Während in der Stadt Valparaíso 30 O-Busse eingesetzt werden, sind alle Batteriebusse des Landes nach wie vor in der Hauptstadt Santiago de Chile unterwegs. Bei diesen Bussen handelt es sich ausschließlich um Solofahrzeuge.

Chilenische E-Busse aus chinesischer Produktion

Die Batteriebusflotte des Landes stammt vollständig aus chinesischer Produktion. Den größten Anteil daran hat BYD mit 455 Fahrzeugen, gefolgt von Yutong mit 100 Fahrzeugen. Die Gründe hierfür werden anhand des Fallbeispiels Santiago de Chile näher erörtert.

Vollständige Flottenumstellung in Santiago de Chile bis 2035

Die Stadt Santiago de Chile plant die vollständige Umstellung ihrer Busflotte von Diesel- auf Batteriebusse bis zum Jahr 2035. Hierfür werden insgesamt über 6.700 Batteriebusse beschafft, die konventionelle Dieselbusse sukzessive substituieren sollen. Die Lieferung von über 1.000 Batteriebusen wurde im Jahr 2022 an den chinesischen Hersteller Foton vergeben, erste Fahrzeuge aus der Bestellung wurden bereits abgerufen.

2.3.2.8 China

China

Asien

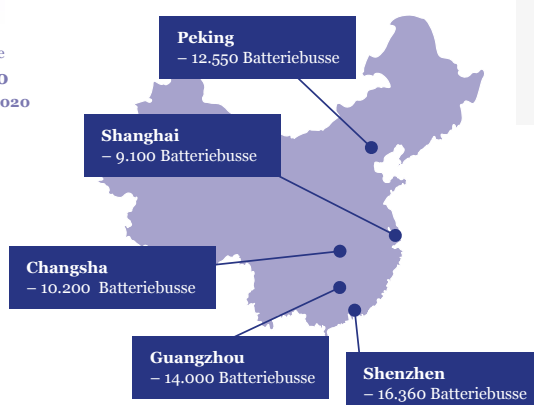


Ist-Bestände 2022

Gesamtbusbestand	davon Batteriebusse	davon O-Busse	davon BZ-Busse
k. A.	670.000	k. A.	~5.500
	+1.000	k. A.	Stand 2020
Anteil am Gesamtbusbestand:	k. A.	k. A.	k. A.

475,0 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Ist-Bestände in Topstädten und -regionen in 2022



Prognose Zugänge bis 2030*:

+ 0,93 Mio.	Batteriebusse bis 2030
+ 32.045	Brennstoffzellenbusse bis 2025 (Stand 2020)

* IEA, Global EV Data Explorer

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 57: E-Bus-Landesübersicht China für das Jahr 2022

95 % der weltweiten Batteriebusflotte ist in China in Betrieb

Mit über 670.000 Batteriebussen stehen 95,2 % der in der Begleituntersuchung erfassten Batteriebusse im Jahr 2022 auf chinesischen Straßen im Einsatz (2020: 98,0 %; 2021: 96,8 %). Laut Angaben der IEA aus dem Jahr 2020 ist in China auch der größte Teil aller weltweit betriebenen Brennstoffzellenbusse mit etwa 5.500 Fahrzeugen zugelassen. Auf eine Million chinesische Einwohner kommen somit 475 (Vorjahr 400) Batteriebusse. Dies ist im globalen Vergleich ein herausragender Wert.

Shenzhen stellt Busflotte mit 16.359 Batteriebussen vollständig um

Die Stadt Shenzhen hatte bereits im Jahr 2020 die gesamte städtische Busflotte auf Batteriebusse umgestellt. Insgesamt sind dies 16.359 Fahrzeuge und damit etwa 2.000 Fahrzeuge mehr als die gesamte erfasste europäische E-Bus-Flotte. Auch in den Städten Guangzhou (14.000) und Peking (12.550) sind Batteriebusflotten im Einsatz, die vom Umfang her jeweils in etwa der gesamten europäischen Flotte entsprechen.

Der Ausbau der chinesischen Batteriebusflotte konnte jedoch bereits im Jahr 2021 mit einem für chinesische Verhältnisse relativ geringen Zuwachs von rund 70.000 Fahrzeugen nicht an die Vorjahre anschließen. Im Jahr 2022 wurden 100.000 Batteriebusse in Betrieb genommen. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass sich der Flottenausbau aufgrund des hohen Elektrifizierungsgrads vermutlich mittlerweile in Zukunft weiter degressiv verhält und auch die restriktiven Maßnahmen der chinesischen Regierung zur Eindämmung der Covid-19-Pandemie werden diese Zahlen deutlich beeinflusst haben.

IEA mit aktualisierter Prognose für den Batteriebusbestand im Jahr 2030

Der starke Zuwachs der vergangenen Jahre wird sich nach derzeitigen Prognosen in den kommenden Jahren fortsetzen. Die Internationale Energieagentur IEA prognostiziert einen Batteriebusbestand in China im Jahr 2030 von 1,6 Millionen Fahrzeugen. Dies würde einem weiteren Zuwachs von 930.000 Fahrzeugen entsprechen.

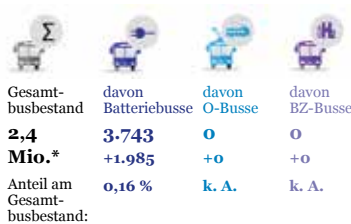
2.3.2.9 Indien

Indien

Asien

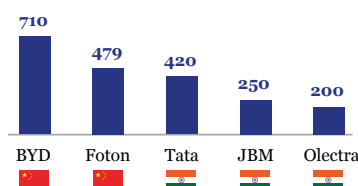


Ist-Bestände 2022

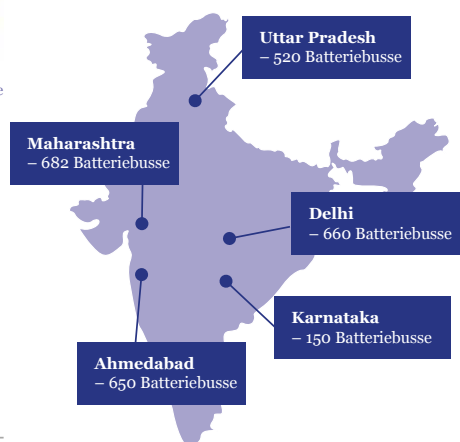


2,7 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Top-5-Hersteller Batteriebusse



Ist-Bestände in Topstädten und -regionen in 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- 800.000** Zielbestand 2030
- +47.000** Summe aktuell bekannter lokaler und regionaler Planungen
- +6.380** Batteriebusse in Delhi bis 2025
- +4.000** Batteriebusse im Rahmen des Förderprogramms FAME II (noch nicht beschafft)
- +2.100** Batteriebusse in Mumbai bis 2023
- 6.750** Zielbestand Batteriebusse in Indien aus Förderprogrammen FAME I & II

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Ein Großteil der 3.750 Batteriebusse auf Indiens Straßen stammt aus den Förderprogrammen FAME I und FAME II

Bis zum Ende des Jahres 2022 sind in Indien knapp 3.750 Batteriebusse in Betrieb genommen worden. Diese Fahrzeuge stammen zu einem Großteil aus den beiden Förderprogrammen FAME I und FAME II (Faster Adoption and Manufacturing of Strong Hybrid and Electric Vehicles in India) der indischen Regierung (rund 2.500 Busse). Die Verkehrsunternehmen setzen dabei ausschließlich auf batterieelektrische Antriebe.

Maharashtra mit den meisten Batteriebussen auf indischen Straßen

Die größte Teilflotte ist auf den Straßen des Bundesstaates Maharashtra mit 682 Batteriebussen unterwegs. In der Metropolregion Delhi sind 660 und in Ahmedabad im Bundesstaat Gujarat insgesamt 650 Batteriebusse im Einsatz. Weiterhin ist aus dem Förderprogramm FAME II noch die Beschaffung von etwa 4.500 E-Bussen offen, während 458 Fahrzeuge aus dem Förderprogramm bereits im Jahr 2021 eingeflottet werden konnten. Die Hauptstadt Neu-Delhi hat darüber hinaus Pläne zum Betrieb von 1.000 Batteriebussen bis zum Ende des Jahrzehnts bekannt gegeben, in der Metropolregion Delhi sollen insgesamt über 6.300 Batteriebusse bis zum Jahr 2025 im Einsatz stehen.

Herausforderungen bei der Abschätzung des E-Bus-Bestands in 2030

Neben den Batteriebussen aus dem Förderprogramm FAME II sind darüber hinausgehende Planungen zur Beschaffung weiterer Batteriebusse bis zum Jahr 2030 bekannt. Diese Planungen werden häufig auf regionalpolitischer Ebene (Bundesstaaten) bekannt gegeben. Die Meldungen sind teilweise schwierig einzuordnen, häufig gibt es Änderungen in den Planungen. Insgesamt konnten Planungen für weitere 47.000 E-Busse in den indischen Bundesstaaten und Städten erfasst werden. Dieser Planbestand ließ sich im vergangenen Jahr noch gut in die Zielsetzung der indischen Regierung einordnen, die zunächst das Ziel des Einsatzes von 50.000 E-Bussen bis zum Jahr 2030 verfolgte. Inzwischen verlautbarte die indische Regierung jedoch das ambitionierte Ziel der Umstellung von 800.000 Dieseln auf emissionsfreie Antriebe bis zum Jahr 2030. Angesichts der Bestandsentwicklungen, der bekannten Planungen und Herausforderungen auf lokaler und regionaler Ebene und der Förderkulisse erscheint dieser Zielbestand jedoch mit großer Unsicherheit hinsichtlich der Zielerreichung verbunden.

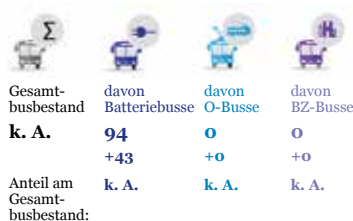
2.3.2.10 Australien

Australien

Ozeanien

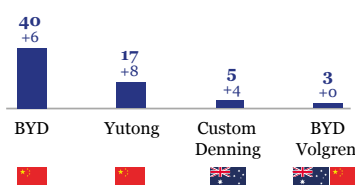


Ist-Bestände 2022



3,6 Batteriebusse je 1 Mio. Einwohner

Top-4-Hersteller Batteriebusse



Ist-Bestände in Top-Bundesstaaten in 2022



Aktuelle Planungen und Ausblick:

- + 8.000** Batteriebusse in New South Wales bis 2047
- + 125** Batteriebusse in Sydney bis 2030
- + 94** Batteriebusse in Canberra bis 2023
- + 60** Batteriebusse in Brisbane bis 2023
- + 26** Batteriebusse in Queensland bis 2023
- +100** Brennstoffzellenbusse in New South Wales bis 2035

Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, Mai 2021

Abbildung 59: E-Bus-Landesübersicht Australien für das Jahr 2022

Flottentransformation kommt in Australien nur langsam in Fahrt

Australien steht noch am Beginn der Dekarbonisierung der landesweiten Busflotte im ÖPNV. Im Jahr 2020 waren in Sydney lediglich 12 Batteriebusse im Einsatz, die Teil eines Pilotprojektes waren. Im Jahr 2022 sind weitere 28 Batteriebusse hinzugekommen. Aktuell befinden sich 94 Batteriebusse auf australischen Straßen im Einsatz.

Planungen für die Beschaffung von mehr als 1.200 Batteriebussen in den Jahren 2022/23 bekannt

Im Jahr 2021 bestanden in Australien ambitionierte Planungen für die Beschaffung und den Einsatz von 1.200 Batteriebussen für die Jahre 2022 und 2023.

Diese Planungen sind bereits überholt und konnten nicht erfüllt werden. Der Bundesstaat New South Wales plant den Einsatz von 8.000 Batterie-bussen bis zum Jahr 2035 und damit die Vollumstellung seiner Busflotte. Zudem sollen dort 100 Brennstoffzellenbusse eingesetzt werden. Denniss et al. vom The Australia Institute analysierten im Jahr 2023 den Stand der Planungen der Flottentransformation in Australien. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass sich zwar alle Bundesstaaten dazu verpflichtet haben, bis zum Jahr 2050 ein Null-Emissions-Ziel im ÖPNV zu erreichen, derzeit aber noch kein Staat ausreichende Maßnahmen dafür angestoßen hat.¹⁶⁷

2.3.3 Fazit zum internationalen E-Bus-Markt

Der batterieelektrische Antrieb ist auch international die führende E-Bus-Antriebstechnologie

In den untersuchten Ländern wurden zum Datenstand Ende des Jahres 2021 insgesamt über 700.000 E-Busse (Batterie-, Brennstoffzellen- und O-Busse) erfasst. Hiervon sind die Fahrzeuge weit überwiegend (mehr als 97 %) mit einem batterieelektrischen Antrieb ausgestattet. Ohne China konnten in den untersuchten Ländern im Jahr 2022 rund 34.000 (im Vorjahr 19.300) Batterie- und nur knapp 840 (Vorjahr 630) Brennstoffzellenbusse erfasst werden. Daneben besteht eine Flotte von ca. 16.300 Oberleitungsbusen. Hierbei handelt es sich jedoch in der Regel um Bestandsflotten (überwiegend in Osteuropa und Russland), die vermutlich nicht in größerem Umfang ausgebaut werden. Die Batteriebusflotte ist ohne Berücksichtigung Chinas um 15.000 Fahrzeuge (im Vorjahr 6.600 Fahrzeuge) gewachsen. In China sind allein 100.000 Batteriebusse im Jahr 2022 neu zugegangen. Die Dominanz des Batteriebusses zeigt sich somit nicht nur im E-Bus-Angebot der Hersteller und in Deutschland, sondern auch auf globaler Ebene. Zudem finden sich in den aktuellen Planungen mit dem Zeithorizont 2030 ebenfalls weit überwiegend batterieelektrische Fahrzeuge. Insgesamt bestehen dabei internationale Planungen für den weiteren Zugang von rund 1.100.000 emissionsfreien Bussen.

Über 95 % der erfassten Batteriebusse fahren in China, ein ähnliches Bild ergibt sich bei Brennstoffzellenbussen

Dieses Bild ist auch vor dem Hintergrund von den rund 670.000 Batteriebussen zu sehen, die in China bereits im Einsatz stehen. Einige chinesische Städte haben bereits eine reine Batteriebusflotte im Einsatz oder befinden sich kurz vor der vollständigen Flottentransformation. Insgesamt entfallen knapp 95 % der erfassten Batteriebusse auf China (2020: 98 %, 2021: 97 %). Allein in der Stadt Shenzhen befinden sich derzeit mehr Batteriebusse im Einsatz als in allen erfassten europäischen Ländern zusammen. Eine Prognose der IEA sagt ein Wachstum auf bis zu 1,6 Millionen Batteriebusse bis zum Jahr 2030 in China voraus. Bei der Bestandsprognose bis zum Jahr 2030 sind somit allein 930.000 E-Busse China zuzuordnen.

Im Jahr 2022 wurden europaweit etwa 4.200 Batteriebusse in Dienst gestellt, Deutschland bei Neuzugängen gleichauf mit Frankreich

Die E-Bus-Flottentransformation hat bereits im Jahr 2021 in Europa deutlich an Fahrt aufgenommen. Waren im Jahr 2020 noch etwa 6.300 Batteriebusse im Einsatz, so konnte für das Jahr 2021 ein Zuwachs von 3.158 Fahrzeugen verzeichnet werden. Im Jahr 2022 sind noch einmal 4.168 Batterie- und 79 Brennstoffzellenbusse hinzugekommen. Spitzenreiter ist das Vereinigte Königreich mit 670 Batteriebus- und 15 Brennstoffzellenbus-Neuzugängen. Deutschland liegt im Jahr 2022 mit 543 zusätzlichen Batterie- und 51 Brennstoffzellenbussen vor Frankreich auf Platz 2.

Kontinent	Anzahl Batteriebusse 2022	davon Zuwachs in 2022	relativer Zuwachs ggü. 2021	Anzahl Brennstoffzellenbusse 2022	davon Zuwachs in 2022	relativer Zuwachs ggü. 2021
Europa	13.627	4.168	44 %	347	79	29 %
Asien	681.015	107.373	19 %	270	135	100 %
Nordamerika	6.304	2.397	61 %	221	0	0 %
Südamerika	4.091	2.631	180 %	0	0	0 %
Ozeanien	94	43	84 %	0	0	0 %
Summe	705.131	116.612	20 %	838	214	34 %

Tabelle 12: Ist-Bestände 2022 für Batterie- und Brennstoffzellenbusse sowie absolute und relative Bestandszuwächse

Europäische Länder haben rund 13.600 Batteriebusse im Einsatz

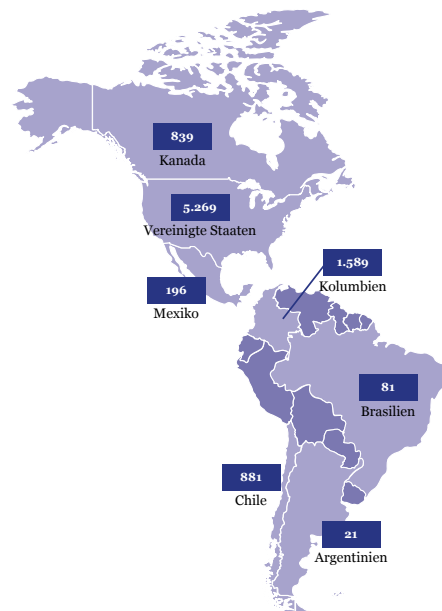
Die untersuchten europäischen Länder (einschließlich Russland) haben zum Ende des Jahres 2022 insgesamt mehr als 13.600 Batteriebusse in Betrieb. In der Betrachtung nach Kontinenten ist dies die insgesamt zweitgrößte Flotte weltweit. Hinzu kommen etwa 347 Brennstoffzellenbusse, die zu einem großen Teil über das JIVE-Projekt gefördert werden. Die britische E-Bus-Flotte ist im Jahr 2022 am stärksten gewachsen und so zur größten in Europa geworden. Wie bereits gezeigt, konnte auch die deutsche E-Bus-Flotte im internationalen Vergleich relativ viele Neuzugänge verzeichnen und steht somit auf Platz 2. Die niederländische Batteriebusflotte zeigt in der Betrachtung der vergangenen Jahre Anzeichen einer Sättigungskurve, wenngleich der Elektrifizierungsgrad der niederländischen Busflotte mit deutlichem Abstand am höchsten abseits von China ist. Zudem sind dort bis zum Jahr 2030 noch weitere Beschaffungsplanungen bekannt, die die aktuelle Batteriebusflotte von 1.450 Fahrzeugen noch einmal verdoppeln würden.

Vereinigte Staaten im Ländervergleich mit weltweit zweitgrößter Batteriebusflotte, Kolumbien erstmals in Südamerika führend

Mit 5.270 Batteriebussen (im Einsatz oder in Auslieferung bis Ende des Jahres 2022) betreiben die USA die zum Erhebungsstand weltweit zweitgrößte Batteriebusflotte nach China. Auffällig ist zudem, dass Brennstoffzellenbusse mit 211 erfassten Fahrzeugen aktuell eine geringere Rolle spielen als O-Busse. Im Jahr 2022 wurden keine neuen Busse mit Brennstoffzellenantrieb (Vorjahr 80), aber 1.947 (Vorjahr 619) Busse mit batterieelektrischem Antrieb in den USA neu zugelassen. Gemessen an der Einwohnerzahl entfallen im Jahr 2022 etwa 15,6 Batteriebusse auf eine Million Einwohner, ein mit Deutschland vergleichbarer Wert.

Ein anderes Bild ergibt sich mit Blick auf Südamerika. In der chilenischen Hauptstadt Santiago de Chile sind 880 Batteriebusse im Jahr 2022 im Einsatz. Die Stadt nimmt damit eine Vorreiterrolle hinsichtlich der Flottentransformation auf dem südamerika-

nischen Kontinent ein. Das Fallbeispiel Santiago de Chile konnte hier die Erfolgsfaktoren identifizieren, die im Wesentlichen in der ambitionierten politischen Zielsetzung bestehen und mit handelsrechtlichen Maßnahmen (Handelsabkommen mit China hinsichtlich Einfuhr von Bussen) und dem PPP-Modell zur Finanzierung der Flottentransformation begründet liegen. Diese Rahmenbedingungen und Maßnahmen unterscheiden sich dabei stark von denen der bisherigen Umsetzung der Flottentransformation in Deutschland.



Methodisches Vorgehen zur Datenerhebung AP3, PWC, April 2024

Abbildung 60: Batteriebusbestände in Nord- und Südamerika für das Jahr 2022

Australien steht noch am Anfang des E-Bus-Einsatzes

Zum Erhebungsstand im Jahr 2022 sind in Australien lediglich rund 100 E-Busse mit batterieelektrischem Antrieb im Einsatz. Diese stammen größtenteils von den chinesischen Herstellern BYD und Yutong. Australien befindet sich damit erst am Anfang der Flottentransformation. Zwar existieren teilweise umfangreiche politische Zielsetzungen zur

vollständigen Elektrifizierung der Busflotten, in New South Wales sollen bis 2035 insgesamt 8.000 Busse mit emissionsfreien Antrieben eingesetzt werden, allerdings müssen hierfür noch Strategien und konkrete Maßnahmen ausgearbeitet und verfolgt werden. Infolge des politischen Bestrebens, bei der Flottentransformation zukünftig hauptsächlich Busse aus australischer Herstellung einzusetzen, zeigt sich ein erstes Joint Venture eines australischen Herstellers mit dem chinesischen Hersteller BYD.

Chinesische Hersteller mit breiter weltweiter Marktdurchdringung, deutsche Hersteller bislang global wenig präsent

Batteriebusse chinesischer Hersteller sind auf jedem der untersuchten Kontinente vertreten. Der Hersteller BYD kann beispielsweise große Marktanteile in den skandinavischen Ländern und den Niederlanden verzeichnen, Gleiches gilt auch für Chile und Kolumbien (in Kolumbien stehen sogar ausschließlich Batteriebusse von BYD im Einsatz). Im Jahr 2022 wurde der Zuschlag nach Ausschreibung für die Lieferung von 1.002 Batteriebussen nach Chile an den chinesischen Hersteller Foton vergeben, erste Fahrzeuge befinden sich bereits im Einsatz. BYD ist mit dem batterieelektrischen 12-m-Solobus „K9“ bereits seit dem Jahr 2010 auf dem globalen Busmarkt vertreten. Der K9 war der weltweit erste vollelektrische Batteriebus mit LFP-Batterie. BYD konnte in den vergangenen Jahren die Entwicklung der „eBus“-Produktlinie und den Aufbau von Produktionsstätten weiter vorantreiben und bereits in den ersten Jahren des Produktlebenszyklus einen hohen Fahrzeugabsatz im Heimatmarkt und insbesondere in der Stadt des Unternehmenssitzes Shenzhen erzielen (siehe dazu auch Fallbeispiel Shenzhen). Zeitgleich wurde ein globales Vertriebsnetz aufgebaut. Zwischen Produktionsbeginn und Anfang des Jahres 2022 wurden so über 70.000 Batteriebusse ausgeliefert. Der BYD K9 ist somit zu diesem Zeitpunkt der weltweit meistverkaufte Batteriebus. Es konnte herausgestellt werden, dass BYD in einigen Ländern Joint Ventures mit heimischen Herstellern hinsichtlich des Markteinstiegs eingegangen ist. Der deutsche Hersteller EvoBus bzw. Mercedes-Benz ist im Vergleich hierzu mit einem

technisch vergleichbaren Fahrzeug im Jahr 2018 spät in den Markt eingetreten. In Europa entfällt in den analysierten Ländern Frankreich, Norwegen, Polen, dem Vereinigten Königreich und den Niederlanden dennoch ein hoher Marktanteil auf heimische Hersteller. Mit Blick auf den deutschen Markt zeigen sich zudem klare Unterschiede bei den Anschaffungspreisen. Auch in der globalen Betrachtung sind die Fahrzeuge von BYD in Bezug auf die Anschaffungspreise häufig günstiger als das deutsche E-Bus-Fabrikat. Diese Hintergründe sind wesentliche Einflussfaktoren für den Erfolg von BYD (und teilweise analog auch für weitere chinesische E-Bus-Hersteller) in vielen Märkten, insbesondere in den „Vorreiterländern“, in denen die Transformation der Busflotten früh begonnen hat.

Starker Heimatherstellerbezug in Ländern mit E-Bus-Herstellern

In Ländern mit heimischen E-Bus-Herstellern zeigt sich häufig ein starker Heimatherstellerbezug. Dies gilt sowohl inzwischen für Deutschland als auch beispielsweise für Polen (Hersteller Solaris), für das Vereinigte Königreich (Hersteller ADL), die Niederlande (Hersteller VDL und Ebusco), Frankreich (Hersteller Heuliez und Bolloré) oder China (Hersteller z. B. BYD und Foton). Eine relevante Abhängigkeit zwischen dem Herstellerangebot und der Technologiewahl der einzelnen Länder scheint mit Blick auf die Bestandszahlen in diesem Kontext jedoch nicht zu bestehen.

Vorreiterländer stimulieren E-Bus-Transformation mit investiven oder konsumtiven Förderungen, jedoch sind auch politische, rechtliche und unternehmerische Aspekte von großer Relevanz

Anhand der einzelnen Länderbetrachtungen sowie der Fallbeispiele konnte aufgezeigt werden, dass die Vorreiterländer die E-Bus-Flottentransformation mit umfangreichen Förderprogrammen flankieren. Es lässt sich jedoch auch feststellen, dass die erfolgreiche Umstellung auf emissionsfreie Busse im ÖPNV auch durch rechtliche Rahmenbedingungen und politische Zielsetzungen befördert werden kann. Auch innovative Finanzierungs- und Betreibermodelle sind wichti-

ge Erfolgsfaktoren der E-Bus-Flottentransformation, die nur mittelbar durch investive Förderprogramme adressiert werden können. Eine konsumtive Förderung der Betriebskosten ist dabei auch für Deutsch-

land ein denkbares Instrument, um Verkehrsunternehmen zu entlasten und Anreize für eine möglichst hohe emissionsfreie Verkehrsleistung zu setzen.

2.3.4 Erkenntnisse aus der Praxis (Internationale Fallbeispiele)

Mit Blick auf die E-Bus-Einführung im globalen Vergleich wurden sechs Fallbeispiele für exemplarische E-Bus-Projekte ausgewählt, die auf globaler Ebene als „Good Practices“ verstanden werden können.



Abschlussbericht_editierbare_Grafiken, PWC, April 2024

Abbildung 61: Übersicht der internationalen Fallbeispiele

Stadt/Region	Grund für Auswahl
Shenzhen	weltweit größte rein batterieelektrische Stadtbusflotte, China globaler E-Bus-Vorreiter
Ahmedabad	eine der größten Städte Indiens, Besonderheit der Organisation und Finanzierung der E-Bus-Flottentransformation
Santiago de Chile	größte E-Bus-Flotte in Südamerika, Besonderheit der Organisation über ein Public-Private-Partnership-Modell
Paris	eine der größten Metropolregionen Europas, technologieoffene Flottentransformation
Amstelland-Meerlanden	Niederlande gehören zu E-Bus-Vorreitern innerhalb Europas, Vollumstellung der Konzession
Oslo	ambitionierte nationale Zielsetzung zur Umstellung auf emissionsfreie Antriebe, inoffizielle „Hauptstadt der Elektromobilität“

Auswahlgründe für die internationalen Fallbeispiele

Diese sechs Projekte geben Aufschluss über die Faktoren, die hinter einer erfolgreichen E-Bus-Transformation stehen. Gleichzeitig zeigen sie ebenso auf, wie speziellen, aber auch häufig in Erscheinung tretenden Herausforderungen begegnet werden kann. Aus den Fallbeispielen lassen sich letztlich wichtige Erkenntnisse gewinnen, die auch auf zukünftige E-Bus-Projekte bei deutschen kommunalen und regionalen Verkehrsunternehmen bzw. Busbetreibern übertragbar sind. Dazu zählen übergeordnet politische und regulatorische Rahmenbedingungen, die Einbindung der relevanten Stakeholder und nicht zuletzt die erfolgreiche Anpassung der Finanzierungs- und Organisationsmodelle. Das folgende Kapitel gibt eine Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse. Im Anhang finden sich die detaillierten Projektbeschreibungen unter Kapitel 5.5.

Politische und regulatorische Rahmenbedingungen

Insbesondere die Fallbeispiele der E-Bus-Projekte in Shenzhen, in Oslo und in der Region Amstelland-Meerlanden (AML) zeigen, dass bei Bestehen eines starken politischen Willens und festen Umstellungszielen eine erfolgreiche Umsetzung innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums möglich ist. Die Stadtbusflotten dieser Städte und Regionen konnten in einem vergleichsweise schnellen Tempo eine hohe Elektri-

fizierungsquote erreichen. Im Fall der Niederlande sind hierbei die Ziele der Green Deal Initiative hervorzuheben, die die Vorgaben der EU-seitigen Clean Vehicles Directive – und damit des deutschen Gesetzes zur Beschaffung sauberer Fahrzeuge – deutlich übersteigen. Zwar gestaltet sich die Organisation in Deutschland mit einigen Unterschieden zu der Konzessionsstruktur in den Niederlanden, es lassen sich trotzdem einige Punkte – insbesondere für die Vergabe der Verkehrsleistungen durch die Aufgabenträger in Deutschland – ableiten. Feste Dekarbonisierungsziele und ein dazu passender Flottenausbauplan in Form einer Dekarbonisierungsstrategie sichern zum einen die betriebliche, technische Planbarkeit. Zum anderen kann die finanzielle Planbarkeit durch Abnahmeregulungen für die Fahrzeuge und Infrastrukturen nach Ende der öffentlichen Dienstleistungsaufträge unterstützt werden. Insgesamt ist jedoch auch die anbieterseitige Struktur in den Niederlanden zu berücksichtigen. Im Vergleich zu Deutschland werden hier die Verkehre in den Konzessionen durch einige wenige, jedoch große und finanzkräftige Verkehrsbetreiber (z. B. Transdev) erbracht, die zu umfangreichen Investitionen in Fahrzeuge und Infrastruktur fähig sind. Das Fallbeispiel Oslo zeigt darüber hinaus aber auch die Relevanz eines Umsetzungsbestrebens aufseiten der Verkehrsunternehmen auf. Die „Early-Adopter-Mentalität“ der Osloer

Busbetreiber fußt dabei auf den gesetzten politischen bzw. regulatorischen Rahmenbedingungen und Unterstützungsangeboten. Neben der Ausrufung ambitionierter Ziele gehören dazu insbesondere eine enge Begleitung und Unterstützung der Busbetreiber hinsichtlich regulatorischer und insbesondere finanzieller Rahmenbedingungen im Sinne einer Planungssicherheit während des Transformationsprozesses. Die von der öffentlichen Hand vorgegebenen Dekarbonisierungsziele werden in allen untersuchten Fallbeispielen direkt oder indirekt durch die Bereitstellung finanzieller Mittel, z. B. im Rahmen einer anteiligen Förderung der Anschaffungskosten seitens staatlicher Institutionen, flankiert. Darüber hinaus zeigen weitere Fallbeispiele ebenso, dass abseits einer ausschließlich investiven Förderung auch andere wirksame Förderansätze eine Rolle spielen können, die auch für Deutschland zukünftig unter Berücksichtigung der derzeit gekürzten investiven Fördermöglichkeiten von Relevanz sein könnten. Das Fallbeispiel Ahmedabad gibt ein Beispiel für das Zusammenspiel von investiver Förderung auf nationaler Ebene und konsumtiver Förderung auf regionaler Ebene. Die Besonderheit dieses E-Bus-Projektes liegt im eigens für die E-Bus-Einführung entwickelten Gross-Cost-Contract-Modell und die Finanzierung und Förderung der E-Busse über die Betriebskosten auf Vollkostenbasis. Über die Ausschreibungsverfahren der unterschiedlichen Phasen erhielten die Angebote mit dem geringsten Kostensatz pro Wagenkilometer den Zuschlag für die Erbringung der E-Bus-Verkehrsleistung. Hierbei wird eine Förderung pro geleistetem Wagenkilometer in Form eines Zuschusses verrechnet. Ein anderes Vorgehen lässt sich im niederländischen Modell in AML erkennen. Hier wird bei der Vergabe des Konzessionsvertrags ein maximales Kostenbudget vorgegeben, in dem sich die Angebote der Bieter befinden müssen. Die tatsächlichen Kosten werden jedoch, sofern diese innerhalb des Maximalbudgets liegen, nicht als Vergabeparameter berücksichtigt. Im Rahmen dieses Maximalprinzips werden seitens des Staates die Mehrkosten pauschal gefördert. Durch die Länge des Konzessionsvertrags von 15 Jahren ergibt sich darüber hinaus für den beauftragten Busbetreiber eine verbesserte Planbarkeit

und somit eine Minimierung des finanziellen Risikos. In Santiago de Chile wird zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von E-Bussen der Konzessionsvertrag im Gegensatz zum Einsatz von Dieselmotoren von zehn auf 14 Jahre aufgestockt.

Einbindung und Kooperation der relevanten Stakeholder

Neben den politischen Rahmenbedingungen und einer damit einhergehenden finanziellen Fördermittelkulisse spielt in den jeweiligen internationalen Fallbeispielen die Zusammenarbeit der relevanten Stakeholder eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung einer erfolgreichen Flottentransformation. Aufgrund der erhöhten Komplexität der E-Bus-Systeme im Vergleich zum Einsatz von langfristig erprobten konventionell betriebenen Bussen entstehen im Rahmen des Transformationsprozesses erhöhte Anforderungen an die Verkehrsunternehmen. Diese entwickeln sich häufig von Busbetreibern zu Systembetreibern. Hierdurch erweitert sich auch der Kreis der relevanten Stakeholder für die entsprechenden Vorhaben. Grundsätzlich treffen im Rahmen von E-Bus-Flottentransformationsvorhaben mehrere Akteursgruppen aufeinander. Dazu zählen neben den Verkehrsgesellschaften und den öffentlichen Auftraggebern insbesondere die Industrie in Form der Fahrzeughersteller sowie die Hersteller der Infrastruktur und ihre Betreiber. Darüber hinaus zählen staatliche Institutionen sowohl auf nationaler, regionaler und kommunaler Ebene zu den relevanten Akteuren. Aufgrund der zunehmenden Anzahl an Stakeholdern und der damit verbundenen Verflechtungen ergibt sich eine erhöhte Komplexität im Netzwerk der Stakeholder. Daraus resultieren höhere Anforderungen an das Stakeholder-Management. Um dieser Komplexität entgegenzuwirken, wurde im Rahmen des Projekts in Shenzhen in Form der Shenzhen Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Promotion Group, kurz SNEVLG, ein Unternehmen als koordinierende Instanz zwischen industrieller, lokaler und nationaler Ebene eingesetzt. In der niederländischen Region AML wird ebenso die effiziente Zusammenarbeit der relevanten Akteure als Erfolgsfaktor des Projekts gesehen. Hierbei wird dort überwiegend

auf die Zusammenarbeit nationaler Akteure gesetzt. In Anbetracht der Größe der Niederlande führt dies zu Beziehungsvorteilen, die sich durch die räumliche Nähe sowie ein ähnliches Wertegerüst der Firmen und Institutionen ergeben. Trotz der aufwendigen Koordination der Zusammenarbeit der diversen relevanten Akteure überwiegen unter der Annahme einer effizienten Steuerung der Akteure grundsätzlich die Vorteile einer solchen Kooperation. Diese Vorteile begründen sich hierbei insbesondere durch die Bündelung des fachspezifischen Know-hows der verschiedenen Akteure aus ihrem jeweiligen Fachgebiet. Darüber hinaus wird das finanzielle Risiko der Gesamtunternehmung gestreut.

Ein weiterer Aspekt, der als Schlüsselfaktor gilt, ist das Thema Flächenverfügbarkeit. Während das Thema in Indien als eine zentrale Herausforderung galt, konnte in den Niederlanden und China durch die Einbindung der entsprechenden Stakeholder und genehmigenden Behörden diese Herausforderung gut bewältigt werden. Hierbei wird gleichzeitig auch wieder der Bedarf der politischen Unterstützung auf nationaler und lokaler Ebene deutlich. Auch in Deutschland zeigt sich das Thema Flächenbedarf bzw. Flächenverfügbarkeit zunehmend als eine große Hürde für die Implementierung von E-Bussen. Vielerorts bestehen Planungen zum Neubau von E-Bus-Betriebshöfen. Hier gilt es, Genehmigungsprozesse für die entsprechenden Infrastrukturflächen zu vereinfachen, um an dieser Stelle die E-Bus-Projekte zu beschleunigen.

Anpassung der Finanzierungs- und Organisationsmodelle

Mit dem Einsatz und der Umstellung weg von den langjährigen konventionellen Antrieben hin zu elektrifizierten Fahrzeugen ergeben sich teilweise geänderte Anforderungen sowohl an die Organisationsmodelle und die Betriebsabläufe als auch die zugehörigen Finanzierungsmodelle. Hinsichtlich des E-Bus-Betriebs kommt in allen untersuchten Fallbeispielen immer wieder das Thema Reichweitenproblematik der E-Busse auf. Vorangestellte Machbarkeitsstudien wurden in nahezu allen Fallbeispielen durchgeführt und als Erfolgsfaktor angesehen. Hier-

bei wurden die bestehenden Einsatzprofile der einzelnen Fahrzeuge untersucht und in Einklang mit einem realisierbaren Infrastrukturkonzept (Betriebshof und Ladeinfrastruktur) gebracht. Dies umfasste auch die Abänderung von bisher bestehenden Routen und Umläufen oder die Einplanung eines entsprechenden Fahrzeugmehrbedarfs. Ebenso zeigt sich anhand der Analyse der Fallbeispiele in der Region AML und in Oslo, dass eine Standardisierung und möglichst kleine Variantenvielfalt der Bus- und Infrastrukturkonfigurationen zwar auf der einen Seite die Gefahr eines Lock-in-Prozesses fördert, auf der anderen Seite aber die Komplexität des Einsatzes der Fahrzeuge im operativen Betrieb verringert.

Im Hinblick auf die Anpassungen von Finanzierungsmodellen bietet insbesondere Shenzhen einige interessante „Good Practices“, wenn auch zu bedenken ist, dass die chinesischen marktwirtschaftlichen Bedingungen von den europäischen und somit auch deutschen Dynamiken an vielen Stellen deutlich abweichen. Dennoch zeigt sich, dass die Verwendung der finanziellen Mittel aus sowohl staatlichen als auch privaten Mitteln die finanziellen Risiken der einzelnen Akteure mindert und somit die Investitionsbereitschaft, insbesondere bei den Busbetreibern, steigert. An dieser Stelle zeigt sich auch noch einmal die Relevanz der Bereitstellung von Fördermitteln. Darüber hinaus zeigen einige Fallbeispiele auch, dass durch die Trennung von Eigentum und Betrieb bzw. die Kostenentkopplung von Fahrzeug, Instandhaltung und Infrastruktur auch das finanzielle Risiko auf mehrere Stakeholder verteilt wird. In Santiago de Chile werden die Kosten auf mehrere Projektakteure im Rahmen der dortigen Public-Private-Partnership (PPP) aufgeteilt, wodurch es zu einer Risikominderung für die einzelnen Akteure kommt. Darüber hinaus verringert das dortige Leasingmodell nicht nur das wirtschaftliche und technologische Risiko der Busbetreiber, sondern erhöht gleichzeitig deren Flexibilität. In Deutschland wäre in dieser Hinsicht an z. B. neue Betreibermodelle für Ladeinfrastruktursysteme zu denken, die dann in der Hand der Aufgabenträger liegen.

Die Fallbeispiele zeigen im Zusammenspiel mit der quantitativen Analyse der internationalen E-Bus-Bestände die deutliche Dominanz des batterieelektrischen Antriebs. Während in Paris zunächst auf Antriebsvielfalt und Technologieoffenheit gesetzt wurde, ist hier nun in Ansätzen eine Richtungsentscheidung erkennbar. Für den Aufbau einer „sauberen“ Flotte werden hier Gasbusse eingesetzt, während emissionsfreie Antriebe zunehmend überwiegend mit batterieelektrischem Antrieb ausgestattet werden. Die Technologieoffenheit scheint somit zugunsten einer Richtungsentscheidung beim Einsatz alternativer Antriebe zu weichen.

Abschließend ist anhand der sechs Fallbeispiele abzuleiten, dass grundlegend starke politische Unterstützung, auch in Form einer zielgerichteten finanziellen Fördermittelkulisse, klare Ziele und effiziente Zusammenarbeit der Interessengruppen entscheidend für eine erfolgreiche Elektrifizierung von Busflotten sind. Darüber hinaus gilt die Bereitstellung ausreichender

Flächen und Ladeinfrastruktur als zentrale Herausforderung, die durch innovative Lösungen und Partnerschaften mit privaten Unternehmen bewältigt werden kann. Letztlich zeigt sich aber auch, dass bei der E-Bus-Flottentransformation spezifische Bedingungen und Herausforderungen jeder Stadt bzw. Region berücksichtigt werden müssen. Wie diese im Detail und projektspezifisch in Bezug auf die sechs Fallbeispiele umgesetzt wurden und zu einer erfolgreichen Implementierung einer E-Bus-Flotte geführt haben, ist im Anhang (Kapitel 5.5) ausführlich erläutert. Die dortige detaillierte Beschreibung der Projekte umfasst jeweils Ausführungen zum Projektvorgehen und -umfang sowie zu organisatorischen und finanziellen Umsetzungen und den projektspezifischen gewonnenen Erkenntnissen.

2.4 Technische Entwicklung von Fahrzeugen und Infrastruktur

Nachdem in den vorherigen Abschnitten der Fahrzeugbestand intensiv analysiert wurde, widmet sich dieser Abschnitt der technischen Entwicklung von Fahrzeugen sowie der notwendigen Infrastruktur. Zu den Fahrzeugen wird insbesondere eine Analyse der eingesetzten Ladetechnik sowie zu den Batterien vorgenommen und dargestellt, wie sich die Batteriekapazität in den letzten Jahren entwickelt hat.

Da bei Elektrobussen auch die Nebenaggregate elektrifiziert sein müssen, wird anschließend der technische Stand bei diesen vorgestellt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Heizung und Klimatisierung der Fahrzeuge.

Abschließend werden die technischen Spezifika der Ladeinfrastruktur umfassend vorgestellt. Dazu gehören unter anderem die Ladeleistung verschiedener Systeme und die damit verbundene Ladezeit, der grundsätzliche Aufbau der Ladeinfrastruktur sowie ein Überblick über die relevanten Marktteilnehmer in Deutschland.

2.4.1 Entwicklung ausgewählter technischer Eigenschaften der angebotenen Fahrzeuge

Neben der Antriebsart ist die jeweilige Ladetechnik ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von Elektrobussen. Die nachstehende Abbildung zeigt die Verteilung der Ladetechniken der verfügbaren Fahrzeugmodelle.

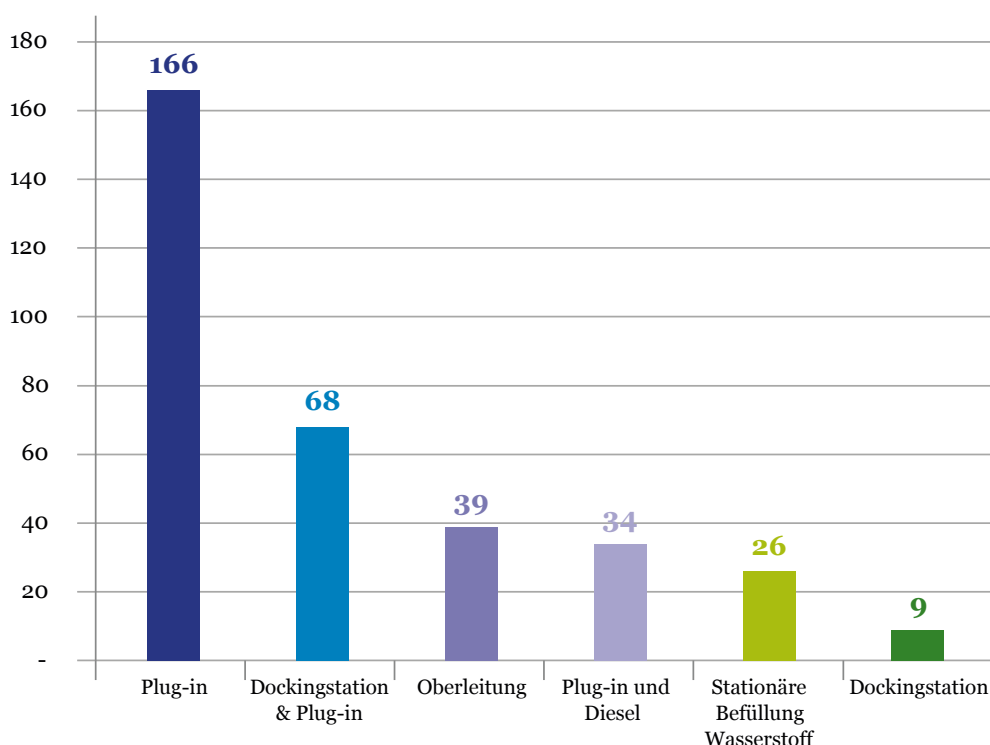


Abbildung 62: Verteilung der Fahrzeugmodelle nach Ladetechnik (n=342)

Auch hinsichtlich der Ladetechnik zeigt sich die große Vielfalt der angebotenen Fahrzeuge. Die Mehrzahl der Busmodelle verfügt über eine Plug-in-Ladetechnik, ist also mit Steckersystemen ausgerüstet. Die zweithäufigste Ladetechnik ist die Kombination aus Dockingstation (als Pantografen-System) und der Plug-in-Technik (beide Ladetechniken verfügbar). Darüber hinaus gibt es 9 Fahrzeugmodelle, die ausschließlich über die Dockingstation geladen werden. Diese Fahrzeuge sind überwiegend mit einem kleinen Batteriespeicher ausgestattet, der über die Dockingstation häufig und mit hoher Ladeleistung nachgeladen wird.

Bei Elektrobussen, in denen eine Batterie verbaut ist (unter anderem batterieelektrische Busse, Plug-in-Hybridbusse), kommen unterschiedliche Batterietechnologien zum Einsatz. Aktuell sind insbesondere die zellchemischen Varianten der Lithium-Ionen-Technologie als Lithium-Eisen-Phosphat (LFP), Lithium-Titanat-Oxid-Batterien (LTO), Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) und Lithium-Metall-Polymer-Festkörperbatterien (LMP) im Angebot. Dabei sind auch Zusammenhänge zwischen der Speichertechnologie und der Antriebsart festzustellen. Ultrakondensatoren werden beispielsweise fast ausschließlich in Midi-Hybridbussen eingesetzt. Bei 92 Fahrzeugmodellen wird lediglich nicht genauer spezifiziert die Lithium-Ionen-Technologie angegeben. Viele Hersteller machen keine Angaben zur verwendeten Zellchemie.

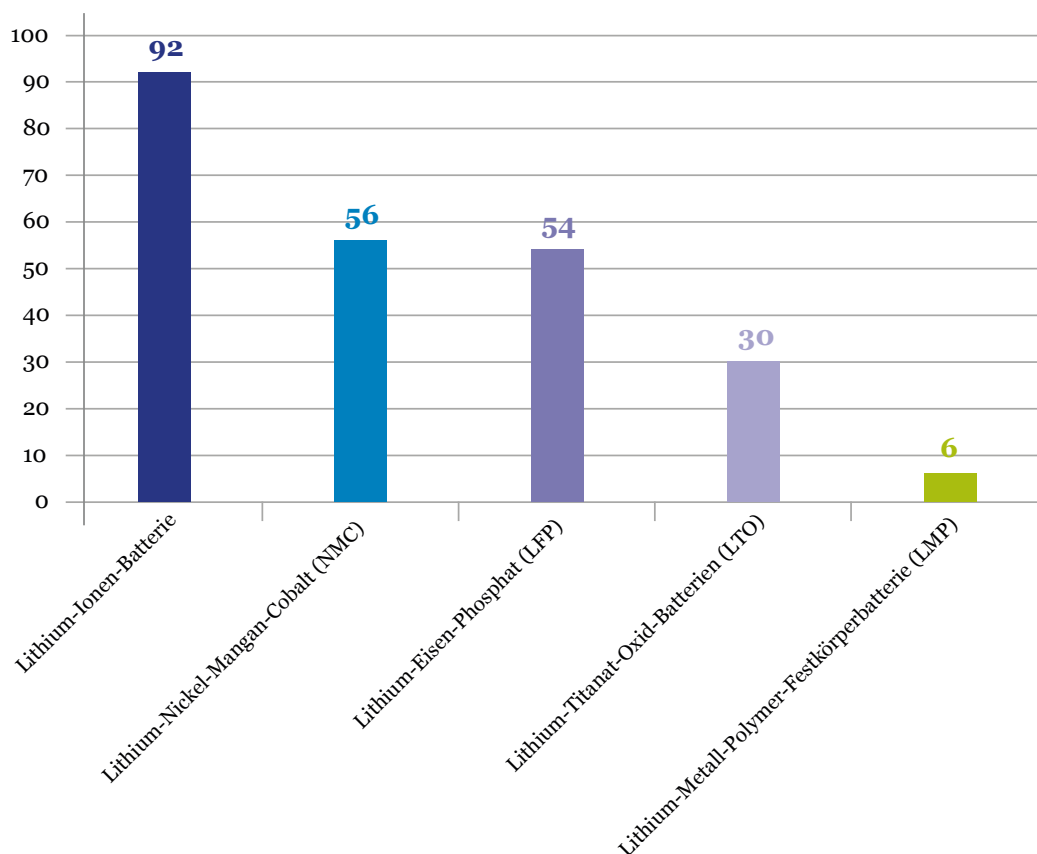


Abbildung 63: Verteilung der Fahrzeugmodelle nach Batterietechnologie (n=228)

Ein Zusammenhang hinsichtlich der Zellchemie ist mit Blick auf die Hersteller und deren Herkunftsland festzustellen. Während ein großer Teil der europäischen Hersteller Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) für batterieelektrische Busse verwendet, ist diese Zellchemie bei keinem der chinesischen Hersteller zu finden. Alle chinesischen Hersteller haben hingegen Fahrzeugmodelle mit Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie (LFP) im Angebot. Dieser Sachverhalt wird auch in einschlägigen E-Bus-Fachmedien beschrieben.¹⁶⁸ Diese beiden Batterietypen unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich ihrer Energiedichte und Produktionskosten. Die Energiedichte von NMC-Batterien liegt nach derzeitigem Stand der Technik etwa bei 270 Wh/kg, LFP-Batterien erreichen hingegen nur eine Energiedichte von ca. 140 Wh/kg.¹⁶⁹ Dank der höheren Energiedichte ist folglich in relativer Betrachtung weniger Bauraum für

NMC-Batterien notwendig. So lässt sich mit einer räumlich gleich großen Batterie eine höhere Reichweite erzielen. Dies ist häufig ein wichtiger Erfolgsfaktor auf dem europäischen Markt. Der Vorteil der LFP-Batterie liegt dagegen in den geringeren Produktionskosten und einer höheren Sicherheit (unter anderem durch geringere Brandgefahr und höhere Temperaturbeständigkeit).¹⁷⁰

Eine der wichtigsten technischen Spezifikationen von Batteriebusen ist die Batteriekapazität, da diese in Abhängigkeit vom Verbrauch die mögliche Einsatzreichweite der Fahrzeuge bestimmt und somit direkte Auswirkungen auf das betriebliche Einsatzpotenzial hat. Die Gegenüberstellung der durchschnittlichen Batteriekapazitäten für die relevantesten Bauarten Midi, Solo und Gelenk zeigt im Zeitverlauf eine deutliche Entwicklung.

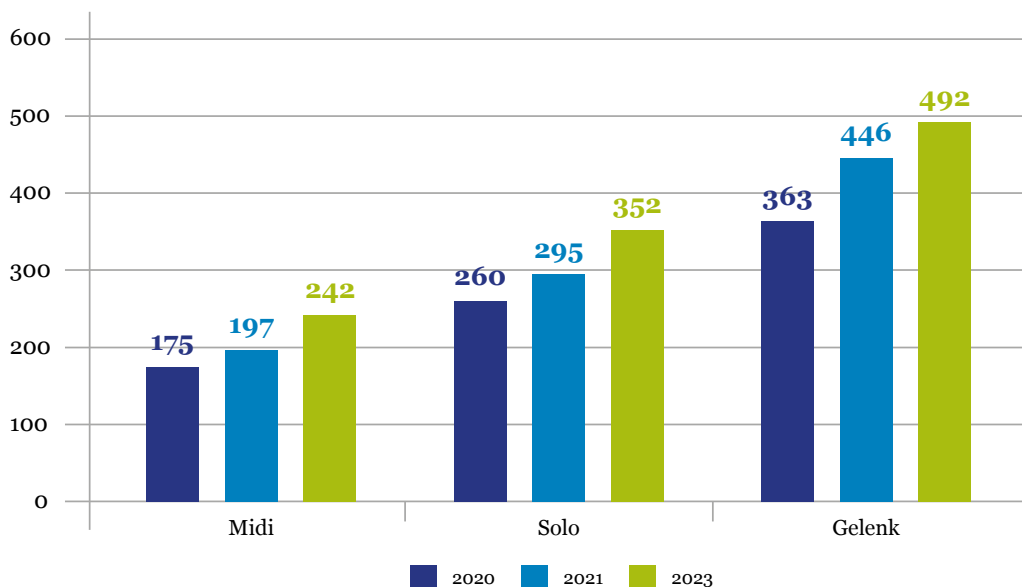


Abbildung 64: Entwicklung der durchschnittlichen Batteriekapazitäten der angebotenen Fahrzeugmodelle nach Bauarten in kWh

Die durchschnittliche Batteriekapazität der Solo-Batteriebusse hat sich seit dem Jahr 2020 um 35 % gesteigert (2022 keine Erhebung). Es lässt sich somit eine signifikante Verbesserung des Produktes Batteriebus und seines Einsatzpotenzials im täglichen Betriebseinsatz während des Zeitraums der BMKW-Förderung festhalten.

2.4.2 Übersicht der verfügbaren und angekündigten Technologien für Nebenaggregate

Im folgenden Kapitel werden die Technologien der Nebenaggregate und deren Energieverbräuche näher betrachtet, da diese bei Elektrobussen eine wichtige Rolle einnehmen. Dies ist insbesondere bei den ersten Elektrobustgenerationen wichtig, da zum einen die Reichweiten aufgrund der begrenzten Akkukapazitäten noch relativ eingeschränkt sind und die Busse zum anderen im Wesentlichen auf dem Grundkonzept von Dieselnissen basieren, bei denen die Abwärme des Verbrennungsmotors zur Heizung des Innenraums genutzt wird. Im Gegensatz dazu können Elektrobusse diese Wärmequelle nicht nutzen und müssen deshalb hinsichtlich des Grundkonzepts (z. B. bessere Dämmung) und der verbauten Nebenaggregate (z. B. effiziente Wärmepumpen) teilweise neu gedacht werden. Neben dem Beispiel der Heizung des Innenraums steigen die Anforderungen an die Energieeffizienz der Nebenaggregate zudem auch noch in weiteren Bereichen (z. B. der Türöffnung, Beleuchtung). In der Übergangsphase von den ersten Elektrobustmodellen auf Basis von Dieselnissen hin zu neu entwickelten effizienten Elektrobussen spielt die Entwicklung der Nebenaggregate deshalb eine wichtige Rolle und soll nachfolgend näher beleuchtet werden.

Fahrzeugnebenaggregate von Elektrobussen, wie z. B. Druckluftkompressor, Lenkhilfepumpe, Licht und insbesondere Heizung und Klimatisierung, können abhängig von den Betriebsbedingungen signifikante Energieverbräuche aufweisen. Im Extremfall können diese sogar höher ausfallen als die für den Fahrzeugantrieb benötigte Energie (Bartłomiejczyk und Kołacz 2020; Tietze et al. 2018). Da die Akkukapazität heute noch begrenzt ist, führen zusätzliche elektrische Verbraucher zu geringeren Reichweiten der Fahrzeuge. Fahrzeughersteller und Zulieferer haben die daraus resultierenden Anforderungen hinsichtlich der Energieeffizienz der Nebenverbraucher erkannt und statuten neue Elektrobustmodelle deshalb mit immer effizienteren Technologien aus.

In Abbildung 65 sind die Anteile der Nebenverbraucher am Gesamtenergiebedarf im Jahresdurchschnitt beispielhaft dargestellt. Hierzu wurde ein Datenausschnitt der im Zuge der Begleitforschung erfassten Betriebsdaten (siehe Kapitel 3.1.2.1) von rund 115.000 Fahrten und insgesamt rund 520 Solo- und Gelenkbussen ausgewertet. Erwartungsgemäß liegt der Gesamtenergieverbrauch von Gelenkbussen höher als bei Solobussen. Dies ist vor allem auf den höheren Bedarf der Nebenverbraucher, insbesondere der Klimatisierung (Heizung/Kühlung) zurückzuführen. Der Anteil der Nebenverbraucher am Gesamtenergieverbrauch beträgt bei den Gelenkbussen rund 47 % und ist bei den Solobussen mit rund 37 % etwas geringer. Insgesamt kommt den Nebenverbrauchern damit jedoch eine große Bedeutung im Gesamtenergieverbrauch zu.

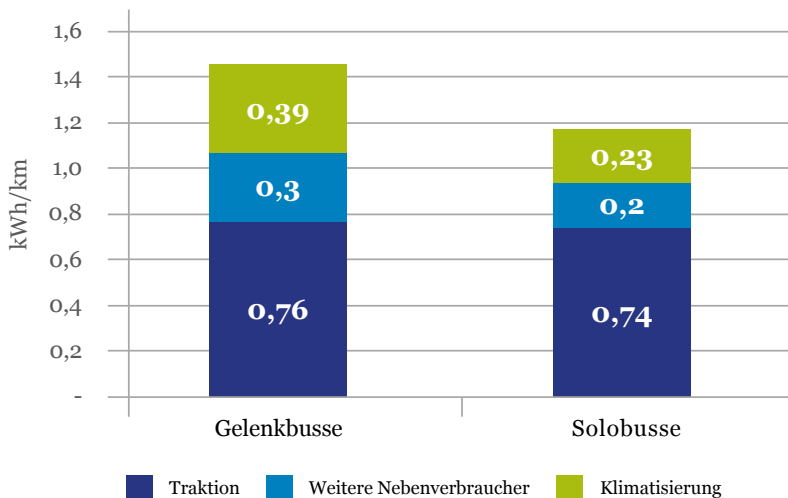


Abbildung 65: Anteile der Nebenverbraucher am Gesamtenergieverbrauch.
Quelle: eigene Betriebsdatenauswertung

Der Energiebedarf der Nebenverbraucher und somit auch der Gesamtverbrauch hängt dabei je nach Anwendungsfall unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- Fahrzeugkonfiguration (Hersteller, Gefäßgröße, HVAC-Konzept, Ausstattung, verbaute Komponenten)
- Fahrprofil (Durchschnittsgeschwindigkeit, Topografie, Anzahl der Stopps, Anzahl und Dauer der Fahrgastwechsel)
- Betriebsbedingungen (Umlaufpläne, Standort vor dem Betrieb, Umgebungstemperatur, Tageszeit, Anzahl der Fahrgäste, Möglichkeit der Vorkonditionierung)

Um beispielhaft die Abhängigkeit des Energieverbrauchs im Jahresgang zu zeigen, wurden die bereits in Abbildung 65 gezeigten Betriebsdaten der geförderten Busse in Abbildung 66 nach Kalendermonaten ausgewertet. Es ist sowohl bei den Solo- als auch bei den Gelenkbussen zu erkennen, dass der Energieverbrauch aus der Traktion (= Antrieb) und auch der weiteren Nebenaggregate über den Jahresverlauf relativ konstant ist. Der Energieverbrauch der Klimatisierung schwankt jedoch stark zwischen den wärmeren und den kälteren Monaten. Insbesondere bei den Gelenkbussen sind die Unterschiede sehr deutlich zu erkennen. Hier liegt der Verbrauch im Dezember rund 3-mal höher als im Juli. Das bedeutet, dass der Anteil der Nebenverbraucher auch bei modernen Elektrobussen an kalten Tagen über die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen kann.

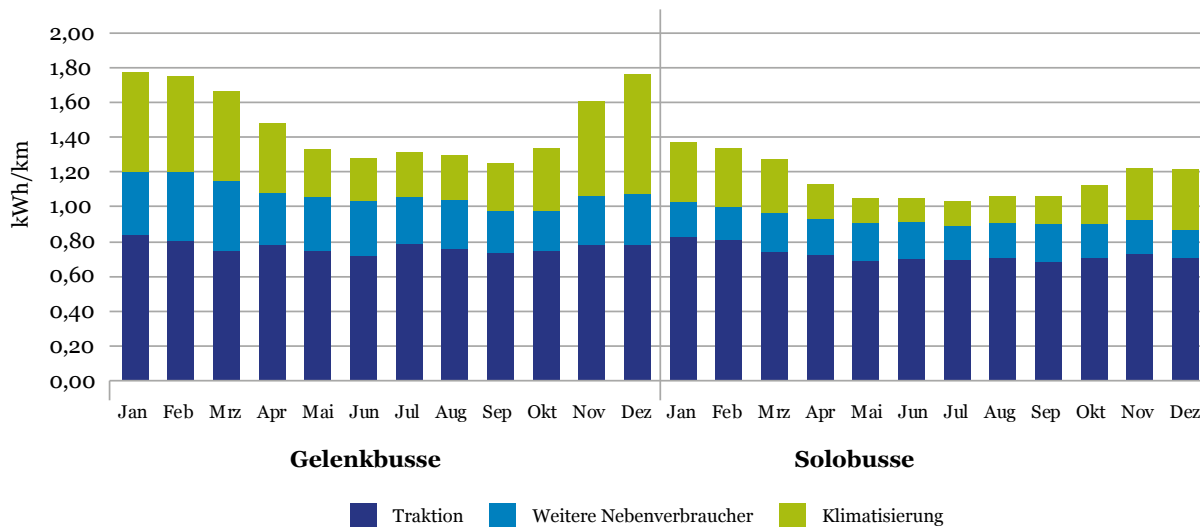


Abbildung 66: Energieverbrauch im Jahresverlauf.
Quelle: eigene Betriebsdatenauswertung

Um den heutigen Stand der Technik bei Nebenaggregaten, ihre jeweilige Relevanz in Bezug auf den Gesamtenergieverbrauch, die künftigen technologischen Optionen und die damit absehbar kurzfristig verbundenen Verbesserungspotenziale der Entwicklung von Nebenaggregaten besser einordnen zu können, wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Darüber hinaus wurden die vorliegenden Betriebsdaten der geförderten Busse aus der Erhebung der Minimaldatensets (siehe Kapitel 3.1.2) ausgewertet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend strukturiert aufbereitet.

Bei der Literaturrecherche wurden unter anderem aktuelle Studien, Berichte zu Realverbräuchen, Fachliteratur, technische Datenblätter und Ankündigungen der Fahrzeug- und Komponentenhersteller analysiert und ausgewertet. Insbesondere bei den Analysen künftiger Heizkonzepte wurden – aufgrund der nur begrenzt verfügbaren empirischen Daten – verstärkt die angekündigten Verbesserungspotenziale aus den Herstellerangaben herangezogen.

In der Literatur werden dabei unterschiedliche Nebenverbraucher unterschieden, die in Elektrobussen

spezifische Aufgaben erfüllen (z. B. Fahrzeugantrieb, Beleuchtung, Heizung und Kühlung). Um eine strukturierte Auswertung der in der Literatur genannten Nebenverbraucher zu ermöglichen, wurden die Nebenverbraucher zunächst in die vier Kategorien Thermomanagement Batterie, Thermomanagement Innenraum, elektrische Verbraucher und mechanische Verbraucher unterteilt. Die einzelnen Komponenten werden hier entlang dieser Kategorien diskutiert. In der Praxis gibt es jedoch auch Wechselwirkungen zwischen den Kategorien, sodass diese nicht gänzlich isoliert betrachtet werden können. Die gewählte Einteilung zeigt z. B., dass das Thermomanagement von Batterie und Innenraum gemeinsame Aspekte enthält, wie z. B. die Vorkonditionierung der Fahrzeuge, die Heizung und Klimatisierung (HVAC Heating, Ventilation and Air Conditioning) und die Energierückgewinnung (siehe Abbildung 67). Die Literatur fokussiert dabei vor allem auf Themen rund um das Thermo-management des Innenraums. Dabei spielen Heizkonzepte, Klimatisierung und Wärmepumpen eine besonders große Rolle und stellen daher auch den Fokus der Auswertung dar. Diese zeigen auch den größten Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch der Busse.

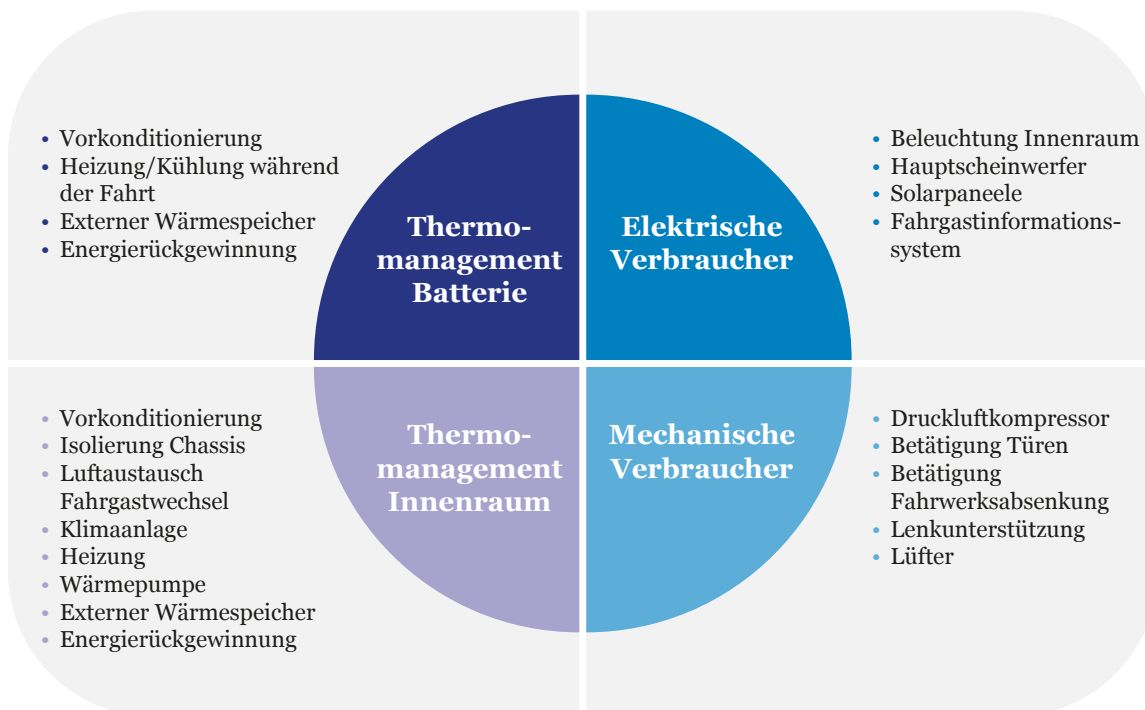


Abbildung 67: Kategorien von Nebenverbrauchern und ihre Komponenten und Funktionen. Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der besonderen Relevanz und Varianz von Heizung und Kühlung der Elektrobuse liegt hier ein Fokus in der Untersuchung. Zusätzlich wird auch der Stand der Technik elektrischer und mechanischer Nebenverbraucher dargestellt.

2.4.2.1 Thermomanagement Innenraum

Um mögliche Verbesserungsansätze hinsichtlich der Energieeinsparpotenziale aufzuzeigen, werden zunächst in Abbildung 68 die Anteile am Energieverbrauch nach verschiedenen Ursachen beispielhaft jeweils für kalte Außentemperaturen (Heizbetrieb) und warme Außentemperaturen (Kühlbetrieb) aufgezeigt. Die Anteile variieren dabei je nach Betriebsbedingungen und Anwendungsfall zum Teil stark. Im dargestellten Beispiel zeigt sich, dass sowohl für Heizen als auch für Kühlen rund die Hälfte des Energiever-

brauchs der Konvektion/Strahlung zugeordnet werden kann. Die Anteile des Energieverbrauchs durch Frischluftzufuhr im Heiz- und Kühlbetrieb liegen mit rund 20 % auf einem ähnlichen Niveau. Größere Unterschiede sind beim Energieverbrauch durch das Öffnen der Türen zu erkennen, dessen Anteil im Winter (Heizbetrieb) mit rund 20 % deutlich höher ist als im Sommer (2 %). Dies kann durch die ein-/ausströmenden Luftmassen als Folge des höheren Temperaturunterschieds und somit auch der Druckunterschiede zwischen dem Fahrgastraum und der Umgebung im Winter erklärt werden. Zusätzlich zu den Verbräuchen durch Konvektion/Strahlung, Frischluftzufuhr und die Türöffnung treten im Sommer außerdem Verbräuche durch die Abwärme der Passagiere und durch Kondensation auf.

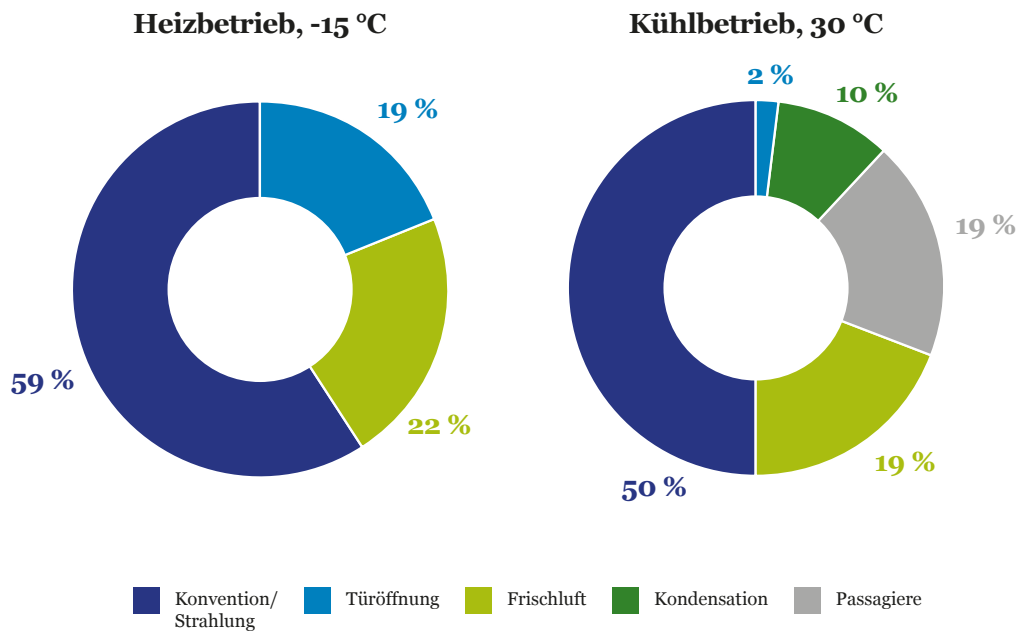


Abbildung 68: Anteile am Energieverbrauch im Heiz- und Kühlbetrieb.
Quelle: eigene Darstellung nach (Jefferies et al. 2015)

Verringerung des Energiebedarfs

Den hohen Energieverbräuchen durch Konvektion und Strahlung kann mit unterschiedlichen Maßnahmen entgegengewirkt werden. Eine Möglichkeit bieten passive Maßnahmen, z. B. Speziallackierungen, sogenannte „cool paints“, und spezielle Verglasungen (z. B. Doppelverglasung bzw. Wärmeschutzverglasung), die dafür sorgen, dass ein Großteil der Infrarotstrahlen des Sonnenlichts reflektiert und damit der Wärmeübertrag im Bereich der Fenster minimiert wird. Der Fahrzeughersteller VDL gibt die Einsparungspotenziale durch Anwendung einer Doppelverglasung in den Citea-Bussen beispielsweise mit ca. 10 % an. Zusätzlich hilft eine verbesserte Wärmeisolierung der Karosserie (z. B. mit Hochleistungsdämmschaum) und der Dachkanäle, den Energiebedarf weiter zu reduzieren (VDL Bus & Coach 2021).

Einsparungen bei der Frischluftzufuhr und Kondensation werden bei modernen Bussen über Regelungssysteme erreicht. Diese messen die Innenraumtemperatur, den CO₂-Gehalt und die Luftfeuchte der Innenraumluft, um die Belüftungsstrategie in Abhängigkeit von der Anzahl der Passagiere und in Abhängigkeit von der Außentemperatur bedarfsgerecht anzupassen.

Um die ausströmende Luftmasse bei der Türöffnung zu minimieren, können außerdem Ventilatoren über den Türen angebracht werden, die die Luft mit hohen Geschwindigkeiten senkrecht in Richtung Fahrzeugboden blasen. Mithilfe dieses Luftvorhangs („air curtain“), wird ein starker Austausch der temperierten Luft des Fahrgastraums mit der Umgebungsluft verhindert (busplaner 2015). Diese Funktion ist heute serienmäßig bei konventionellen und Elektrobussen implementiert.

Eine weitere Maßnahme, um die benötigte Heiz- und Kühlleistung zu minimieren, ist die Installation eines separaten Fahrerplatzes und damit die Einteilung des Busses in unterschiedliche Klimazonen. Der Fahrerplatz wird bei modernen Elektrobussen damit thermisch vom Fahrgastinnenraum getrennt und kann mittels Frontbox auf eine für den Fahrer angenehme Temperatur eingestellt werden. Diese Strategie erhöht sowohl den Komfort des Fahrers als auch die Sicherheit und verringert insbesondere den Wärmeaustausch der temperierten Luft des Innenraums beim Öffnen der Türen (Tuschen und Pöschl 2018).

Um die verbleibende Energiemenge zum Heizen und Kühlen während des Betriebs möglichst gering zu halten, können Busse im Depot auf eine Solltemperatur vorkonditioniert oder überkonditioniert werden. Bei der passiven Vorkonditionierung werden die Fahrzeuge vor Betriebsbeginn oder zwischen den Umläufen üblicherweise in einer klimatisierten Halle geparkt und sowohl die Karosse als auch der Fahrgastinnenraum sowie die Batterie gegenüber der Außentemperatur somit aufgeheizt oder gekühlt. Darüber hinaus können die Fahrzeuge zusätzlich noch über den Ladevorgang hinaus aktiv an der Ladeinfrastruktur angeschlossen bleiben und somit vor dem nächsten Umlauf auf die entsprechende Solltemperatur gebracht werden. Diese Strategie kann sowohl zur Vorkonditionierung des Innenraums als auch der Hochvoltbatterie angewendet werden.

Eine Innenausstattung (z. B. Sitze) aus wärmespeichernden Materialien kann außerdem dabei helfen, die Wärme/Kälte über einen längeren Zeitraum zu

speichern. Aufgrund der begrenzten Kapazität der Batterie kann die Vorkonditionierung damit insbesondere bei Elektrobussen ein wichtiges Element der Betriebsstrategie sein, um die erzielbaren Reichweiten im Betrieb zu erhöhen.

Effizienzverbesserungen

Für den verbleibenden Energiebedarf für das Heizen und Kühlen können prinzipiell elektrische, brennstoffbetriebene sowie kombinierte Heiz- und Kühlkonzepte (z. B. Hybridheizung) eingesetzt werden. Je nach Anwendungsfall – ob Heizen oder Kühlen – können dazu unterschiedliche Technologien eingesetzt oder kombiniert werden. Sollen Busse für den Einsatzzweck elektrisch gekühlt werden, eignen sich nach aktuellem Stand der Technik insbesondere Klimaanlageanlagen und Wärmepumpen. Zum elektrischen Heizen eignen sich insbesondere Wärmepumpen, Heizelemente (PTC-Elemente¹⁷¹) und Wasserheizungen (siehe Abbildung 69).

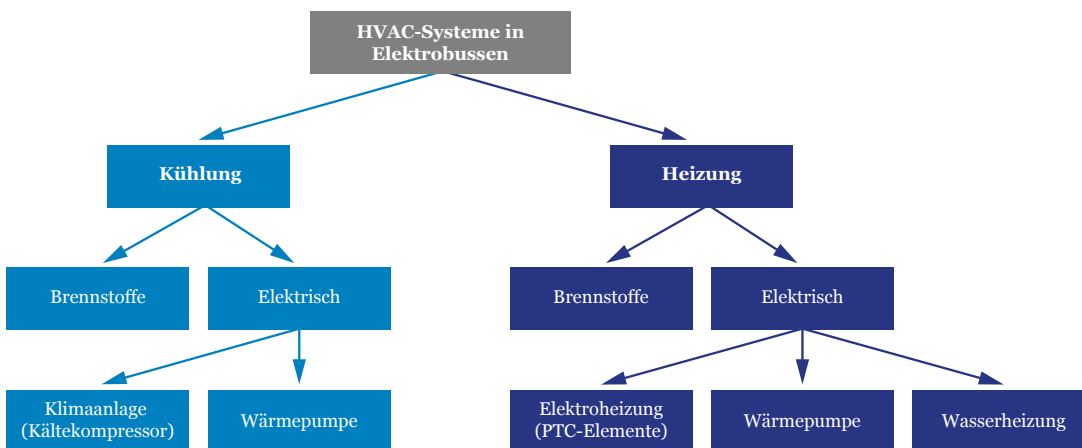


Abbildung 69: Übersicht über die HVAC-Systeme in Elektrobussen.
Quelle: eigene Darstellung nach (Impari 2019)

Der in der Vergangenheit relativ geringe Anteil an elektrischen Lösungen zum Heizen und Kühlen ist vor allem durch den hohen Strombedarf rein elektrischer PTC- und Wasserheizungen bedingt, der die

Reichweite für den Praxiseinsatz stark einschränkt. Aus diesem Grund wurden Elektrobusse mit elektrischen Heizungen häufig zusätzlich mit Brennstoffheizungen ausgestattet, die Wärme erzeugen, ohne dabei

die mögliche Reichweite zu reduzieren. Wärmepumpensysteme, die in modernen Elektrobussen aktueller Stand der Technik sind, weisen eine im Vergleich deutlich höhere Energieeffizienz auf. Bei besonders niedrigen Temperaturen stoßen sie jedoch häufig noch an technologische Grenzen. Sie werden deshalb häufig mit Brennstoff-Zusatzheizungen ausgestattet, um Heizleistungsspitzen abdecken zu können. Nach Auswertung der Stammdaten der geförderten Busse wurden rund 99 % der rund 1.200 ausgewerteten Busse mit Wärmepumpen ausgestattet. Rund 47 % der Busse werden dabei vollelektrisch beheizt (Kom-

binationen aus Wärmepumpen und z. B. PTC-Heizern sind möglich), die übrigen 53 % der Busse sind zusätzlich zu den elektrischen Heizsystemen noch mit einer Kraftstoffzusatzheizung ausgestattet. Um am Ende einen vollständig treibhausgasneutralen Elektrobusbetrieb zu ermöglichen, müssten dabei jedoch THG-neutrale Brennstoffe eingesetzt werden. Darüber geben die erhobenen Daten jedoch keine Auskunft. Die Abhängigkeit typischer Energieverbräuche von Elektrobussen von der Außentemperatur und vom Heizkonzept unterstreicht Abbildung 70.

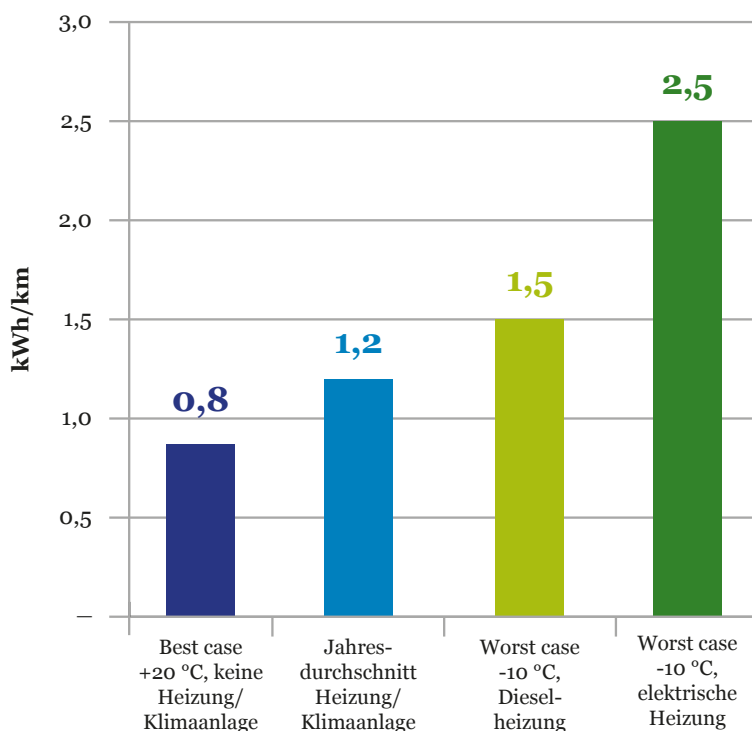


Abbildung 70: Typischer elektrischer Energieverbrauch von Elektrobussen.
Quelle: eigene Darstellung nach (Sustainable Bus 2023)

Gegenüber den bisherigen Lösungen der Diesel- oder Elektroheizungen weisen insbesondere Wärmepumpen die größten Effizienzpotenziale auf. Der Vorteil von Wärmepumpen gegenüber elektrischen Heizsystemen und brennstoffbetriebenen Heizungen liegt in

der Nutzbarmachung von vorhandener Wärmeenergie. Die bereitgestellte Heiz-/Kühlenergie wird nach dem Funktionsprinzip der Wärmepumpen aus der Umgebungsluft bezogen und nicht aus einem Brennstoff. Gegenüber einer reinen Widerstandsheizung

können Wärmepumpen deshalb effizienter als z. B. elektrische Heizser betrieben werden (Jefferies et al. 2015).

Fokusthema Wärmepumpen

Seit den 1990er-Jahren werden Klimaanlage für Busse von unterschiedlichen Zulieferern entwickelt und erstmals 1998 vorgestellt. Heute kommen sie serienmäßig zum Einsatz (Bünnagel 2018). Mittlerweile können Klimaanlage mittels automatischer Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb auch als Wärmepumpen betrieben werden. In den ersten Elektrobussen haben insbesondere die fehlende Verfügbarkeit, die hohen Kosten, das hohe Gewicht, der Platzbedarf und die fehlende technische Reife verhindert, dass ein Großteil der Fahrzeuge bereits mit Wärmepumpen ausgestattet war. In den letzten Jahren haben Komponentenhersteller die Produkte jedoch sukzessive weiterentwickelt und seit 2018 die zweite Generation von Wärmepumpen für Elektrobuse auf den Markt gebracht. Diese werden nun in Serie produziert und in modernen Elektrobussen serienmäßig eingesetzt. Im Vergleich zur vorherigen Wärmepumpengeneration wurden die neuen Modelle hinsichtlich der Effizienz, Leistungsabgabe und möglicher Einsatzbereiche (Temperatur) verbessert. Der Hersteller Thermo King gibt zum Beispiel mit der Einführung der zweiten Wärmepumpengeneration Effizienzverbesserungen in Höhe von 11–33 % an, abhängig von der Umgebungstemperatur (Thermo King 2020).

Ein wichtiges Element einer Wärmepumpe ist das verwendete Kältemittel. Als Kältemittel werden in Wärmepumpen üblicherweise z. B. R407c, R134a, R1234yf und R744 (CO₂) verwendet, wobei CO₂-Wärmepumpen erst in den letzten Jahren auf den Markt gekommen sind. Nach Auswertung der Stichprobe der Stammdaten der vom BMWK geförderten

Elektrobuse sind die heutigen Wärmepumpen zum größten Teil (58 %) bereits mit dem Kältemittel R744 (CO₂) und ein weiterer Teil (27 %) mit dem Kältemittel R407c ausgestattet (siehe Abbildung 71).

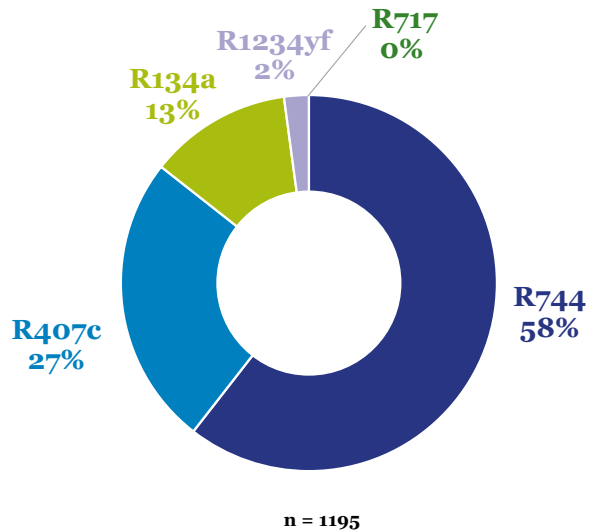


Abbildung 71: Verteilung der in Wärmepumpen eingesetzten Kältemittel.
Quelle: eigene Stammdatenauswertung

Herkömmliche R134a-Wärmepumpen weisen im Bereich unter 0 °C jedoch nur eine geringe Effizienz auf, können deshalb bei niedrigen Außentemperaturen keine ausreichende Wärmeleistung zur Verfügung stellen und sind daher im Winter häufig auf Zusatzheizser angewiesen. Der Umstieg von R134a zu CO₂ als Kältemittel soll aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften von CO₂ insbesondere im Temperaturbereich unter 5 °C eine höhere Effizienz und somit eine deutlich größere Temperaturspanne sowie höhere Heizleistungen bei niedrigen Temperaturen ermöglichen (siehe Abbildung 72) (Bünnagel 2020b).

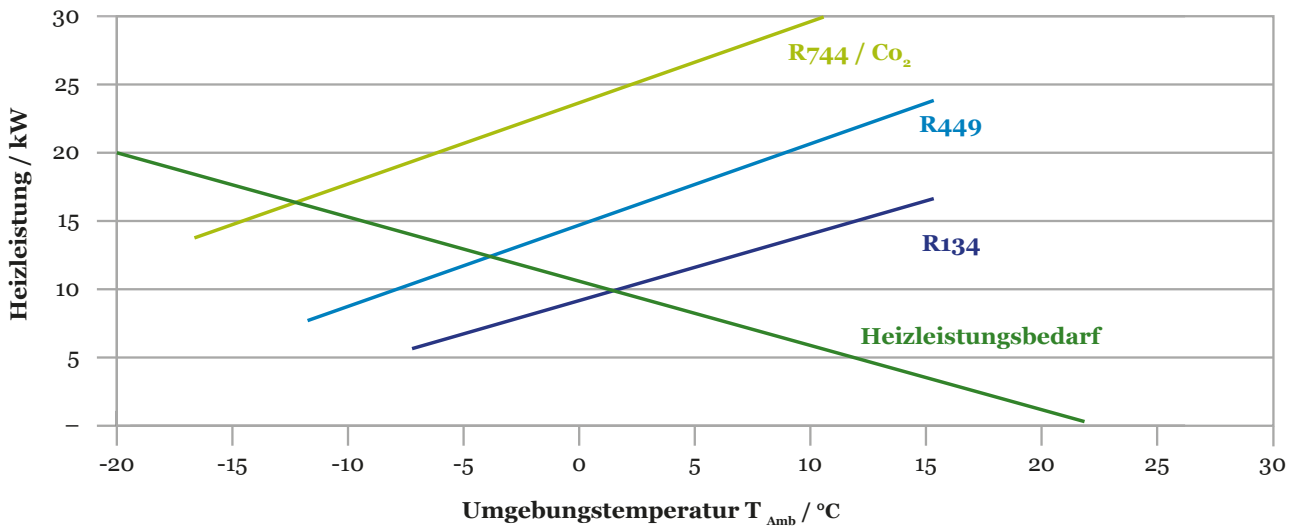


Abbildung 72: Heizleistung im Wärmepumpenbetrieb in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Quelle: eigene Darstellung nach (Valeo 2018)

Eine weitere positive Eigenschaft des Umstiegs vom Kältemittel R134a auf CO_2 liegt in dem um den Faktor 1.430 geringeren Treibhauspotenzial (GWP100 – global warming potential) (GHG Protocol 2016; Konvekta 2016). Seit dem 1. Januar 2017 darf in Klimaanlage von Kraftfahrzeugen der Klassen M1 und N1 außerdem kein Kältemittel mehr mit einem Treibhauspotenzial über 150 eingesetzt werden. Dies trifft jedoch bisher noch nicht für Busse mit einer Kapazität von mehr als 8 Sitzplätzen zu (Fahrzeugklassen M2 und M3). Trotzdem wird die verfügbare Menge an R134a und weiteren teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) durch die im Jahr 2015 in Kraft gesetzte Verordnung (EU) Nr. 517/2014 („F-Gas-Verordnung“) in den kommenden Jahren sinken. Die in der EU in den Verkehr gebrachten Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen sollen demnach bis

zum Jahr 2030 schrittweise auf ein Fünftel gegenüber 2015 reduziert werden (Phase-down). Deshalb suchen Komponentenhersteller verstärkt nach alternativen Kältemittellösungen für künftige Wärmepumpengenerationen.

Neben den beschriebenen Vorteilen weisen aktuelle CO_2 -Wärmepumpen aber auch spezifische Nachteile auf. Aufgrund der hohen benötigten Systemdrücke von bis zu 135 bar (z. B. R134a bis zu 25 bar – relativ) müssen die Anlagen druckbeständig und somit schwer gebaut sein, was zugleich höhere Bauteilkosten mit sich bringt. Außerdem ist der praktische Einsatz bei extrem hohen Umgebungstemperaturen von über 40 °C heutzutage noch eingeschränkt (Abbildung 73).

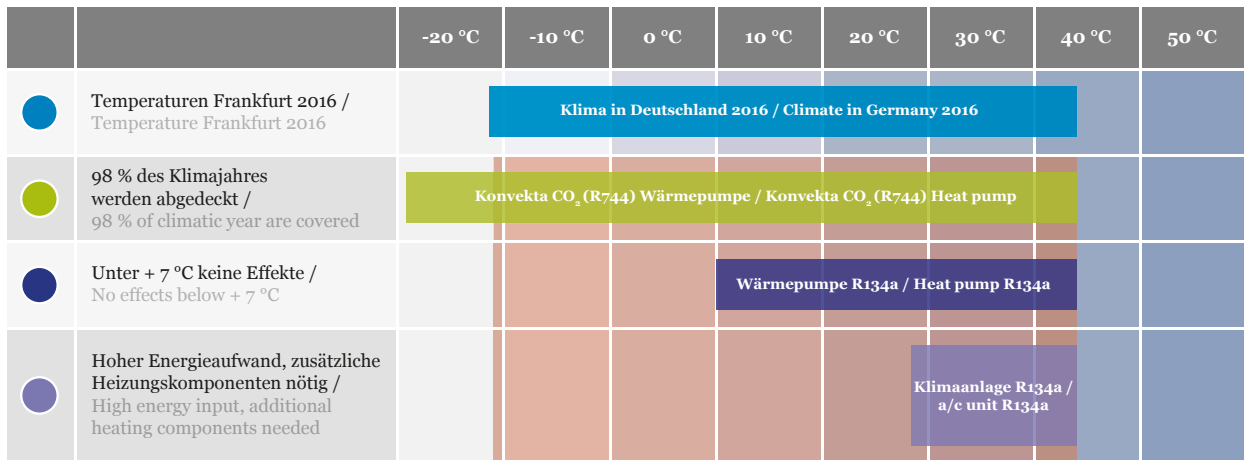


Abbildung 73: Vergleich der Einsatzbereiche von HVAC-Konzepten.

Quelle: eigene Darstellung nach (Konvekta 2018)

Mit dem Einsatz von CO₂ als zukunftsfähigem Kältemittel (R744) und den fortschreitenden Effizienzverbesserungen sind CO₂-Wärmepumpen mittlerweile in Mitteleuropa als ganzheitliches Thermomanagement zum Heizen und Kühlen für Elektrobusse einsetzbar. Je nach Einsatzbedingungen werden Elektrobusse mit modernen Wärmepumpen deshalb auch als Stand-alone-HVAC-System eingesetzt.

Ein beispielhafter Vergleich der Energieverbräuche verschiedener Heizkonzepte in Abhängigkeit von der Außentemperatur eines 12-m-Stadtbusses veranschaulicht die oben beschriebenen Effizienzvor-

teile noch einmal (siehe Abbildung 74). Für den Vergleich wird hierzu eine CO₂-Wärmepumpe mit einer Diesel- und einer Elektroheizung verglichen. Dabei ist zu erkennen, dass die Wärmepumpe über das gesamte Temperaturspektrum von -20 °C bis +5 °C deutliche Effizienzvorteile gegenüber den beiden übrigen Heizkonzepten aufweist. Diese sinken zwar bei niedrigeren Temperaturen, die CO₂-Wärmepumpe weist jedoch auch in diesem Bereich noch eine hohe Energieeffizienz auf (Bünnagel 2020b). Im Vergleich zur klassischen Elektroheizung können mit der CO₂-Wärmepumpe in dem gezeigten Beispiel Einsparungen in Höhe von rund 45 % erreicht werden.

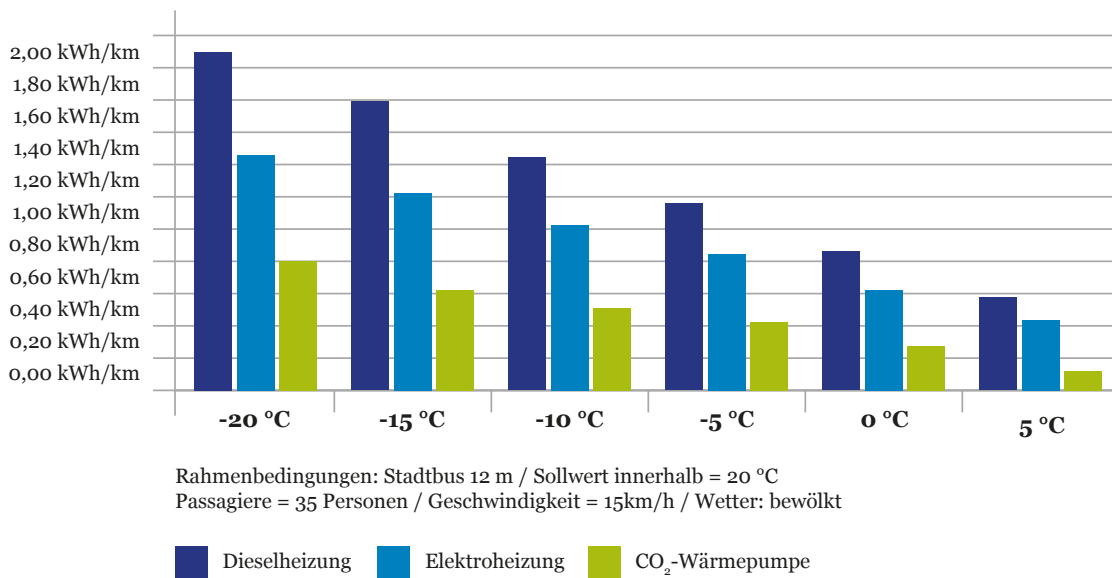


Abbildung 74: Vergleich der Energieverbräuche unterschiedlicher Heizkonzepte.
 Quelle: eigene Darstellung nach (Konvekta 2019)

Ausblick

Die Weiterentwicklung und verbesserte Zuverlässigkeit der Wärmepumpensysteme haben die Einsatzmöglichkeiten in Elektrobussen in den letzten Jahren deutlich erhöht. Zudem sind auch für die kommenden Jahre weitere Verbesserungen angekündigt, insbesondere Effizienz, Platzbedarf, Gewicht und Einsatzmöglichkeit bei niedrigen Temperaturen sollen weiter verbessert werden. Konvekta geht zum Beispiel davon aus, dass in den nächsten drei Jahren ein effizienter Betrieb bei bis zu -30 °C sowie weitere Energieeinsparungen der CO₂-Wärmepumpen möglich sind (Bünnagel 2020b). Deshalb ist davon auszugehen, dass künftig, je nach Betriebsbedingungen der Busse, Wärmepumpen prinzipiell immer häufiger als Stand-alone-Lösungen eingesetzt werden können. Der zusätzliche Bedarf an ineffizienten elektrischen Zuheizern sowie Kraftstoffzusatzheizern sollte dadurch sinken.

Neben den Verbesserungen bei CO₂-Wärmepumpen wird zudem der Einsatz alternativer Kältemittel erforscht. Aktuell wird z. B. die Möglichkeit der Subs-

titution von herkömmlichen Kältemitteln mit Propan untersucht (R290). Vorteile von Propan gegenüber CO₂ sind insbesondere die niedrigeren Kosten aufgrund des niedrigeren Propanpreises sowie die geringeren Bauteilkosten aufgrund des geringen Druckniveaus (max. 20 bar). Dies soll zudem bei ähnlichen nutzbaren Einsatzbereichen und bei einem nur geringfügig höheren GWP von 3 möglich sein. Nachteile von Propan als Kältemittel sind hingegen, dass es leicht entzündlich, explosiv und unter Sonneneinwirkung ozonbildend ist. Dies kann insbesondere bei Unfällen Risiken mit sich bringen, deren Eindämmung Teil der Entwicklung ist (Valeo 2020a).

Neben den Wärmepumpen werden parallel auch Elektroheizungen weiterentwickelt, um die Effizienz der elektrischen Zusatzheizungen weiter zu steigern. Als effiziente Ergänzung der klassischen elektrischen Heizgeräte zur Erwärmung des Fahrer- und Fahrgastinnenraums werden außerdem Infrarotheizer erforscht. Sie sollen die Strahlungswärme direkt an die Hautoberfläche abgeben und somit nicht den gesamten Innenraum beheizen. Dies ermöglicht eine lokale

Steuerung des Energieeinsatzes und bietet zugleich den Vorteil, dass die Wärmeenergie nicht durch das Öffnen der Türen entweicht. Außerdem könnte dadurch die Innenraumsolltemperatur gesenkt werden, was weitere Effizienzvorteile mit sich bringen würde (Büchi 2018).

Mit einem System mit dem Namen „Energy Collect“ nutzt der Hersteller Konvekta in Elektrobussen außerdem die Abwärme der Achsen und der Batterie, um den Fahrzeuginnenraum oder die Batterie zu heizen. Da insbesondere bei der Rekuperation zusätzliche Wärme zurückgewonnen und weiterverwendet werden kann, spricht das Unternehmen von Einsparungen in Höhe von 15 bis 20 %, die künftig noch weiter gesteigert werden sollen (Konvekta 2019).

Ein weiteres Wärmespeichersystem der Firma Konvekta nennt sich „Heat-2-Go“. Das Prinzip beruht auf einer schnellladefähigen modularen Wärmespeicherheizung für elektrische Stadtbusse unter Verwendung von Latent-Wärmespeicher-Materialien. Mit dem System sollen unter anderem beim Opportunity Charging neben dem Batteriespeicher auch die Wärmespeicher innerhalb von wenigen Minuten elektrisch geladen werden. Die gespeicherte Wärmeenergie kann anschließend in den Fahrgastinnenraum oder zur Heizung der Batterie abgegeben werden, ohne Energie aus der Batterie zu nutzen. Außerdem ist eine Vorkonditionierung des thermischen Speichers im Depot möglich. Als Speichermedium wird Paraffinwachs verwendet, das voll aufgeladen über einen Zeitraum von ca. einer Stunde Wärme abgeben kann (Bünnagel 2020a). Die speicherbare Wärmekapazität beträgt 13,5 kWh und kann modular erweitert werden.

Neben den genannten Einzelpotenzialen auf Komponentenebene wird in Zukunft außerdem der Vernetzung der Komponenten sowie den entsprechenden Regelungsstrategien zur Heizung und Kühlung des Innenraums, auch im Zusammenspiel mit dem Thermomanagement der Batterien, eine größere Bedeutung zukommen und zu weiteren Einsparungen führen.

1.1.1.1 Thermomanagement Batterie

In künftigen Busmodellen wird in der integrierten Regelung des Thermomanagements des Innenraums und der Batterie (Battery Thermal Management System – BTMS) weiteres Effizienzpotenzial gesehen. Mit steigender Zuverlässigkeit und abgestimmten Schnittstellen der Wärmequellen und -verbraucher können künftig weitere Effizienzverbesserungen erzielt sowie Bauteilkosten und Gewicht gespart werden.

Wie bereits im Abschnitt Thermomanagement des Innenraums erwähnt, kommt dabei auch der Vorkonditionierung der Batterie eine bedeutende Rolle hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Effizienz und Lebensdauer des Energiespeichers zu. Hersteller staten moderne Elektrobuse deswegen mit Heizungs- und Kühllösungen wie z. B. dem Valeo E-Cooler aus (Valeo 2020b). Das System kann die Batterie je nach Bedarf kühlen oder beheizen, um die Akkutemperatur stets in einem optimalen Temperaturfenster zu halten. Dies spielt insbesondere beim Schnellladen und beim Abruf von hohen Leistungen eine Rolle. Die aktuell erzielbaren Kühlleistungen will Valeo Ankündigungen zufolge in den kommenden Jahren verdoppeln.

Einen ähnlichen Ansatz wie das „Energy Collect“-System zur Nutzung von Abwärme beim Bremsen nutzt das vom DLR entwickelte Wärmespeichersystem „DuoTherm“ (DLR 2020). Das Prinzip wird allerdings zur Energierückgewinnung von Batterieabwärme im Betrieb angewendet. Mit dem System können thermische Verluste, die bei der Schnellladung der Batterie entstehen, zwischengespeichert und während der Fahrt zur Heizung des Innenraums genutzt werden. Das System befindet sich jedoch aktuell noch im Forschungsstadium.

2.4.2.3 Mechanische und elektrische Verbraucher

In diesem Abschnitt werden mechanische und elektrische Verbraucher hinsichtlich unterschiedlicher technischer Lösungsvarianten, möglicher Entwicklungspotenziale für zukünftige Busgenerationen und

möglicher Verbrauchsunterschiede bei den verschiedenen Busbetreibern betrachtet. Relevant sind hier die folgenden Nebenaggregate bzw. -verbraucher (Hochvolt [HV] und Niedervolt [NV]):

Türöffnungsanlagen (NV)

Bei den Türöffnungssystemen für Stadtbusse sind aktuell sowohl elektrische als auch pneumatische Lösungen marktüblich. Zwei typische Hersteller, Schaltbau Bode (Deutschland) und MASATS (Spanien), haben beide Varianten im Portfolio (MASATS 2023; Schaltbau Bode 2023). Schaltbau Bode führt unter anderem die Bushersteller EvoBus, MAN, Solaris und VDL in den Referenzen. Elektrische Türsysteme sind hierbei energieeffizienter als pneumatische, sodass durch den durchgehenden Einsatz elektrischer Türsysteme in neuen Elektrobussen künftig gegenüber den herkömmlichen Systemen Energie eingespart werden kann.

Druckluftkompressor (HV)

Der Druckluftkompressor wird für die Druckluftversorgung des pneumatischen Bremssystems und des luftgefederten Fahrwerks benötigt. Die Energieversorgung der Kompressoren erfolgt dabei über das Hochvoltsystem. Verschiedene Hersteller bieten Kompressoren, die speziell für den Einsatz in Elektrofahrzeugen konzipiert sind (busplaner 2019; Moteg 2021; Wabco 2020). Diese Kompressoren besitzen einen eigenen besonders effizienten E-Motor (beim Verbrennerfahrzeug werden sie vom Fahrzeugmotor angetrieben) und können hochdynamisch betrieben werden, sodass sie nur bei Bedarf eingesetzt werden. Ferner sind sie hinsichtlich Lautstärke und Vibrationen entsprechend der ruhigeren Kulisse im E-Bus optimiert. Aufgrund der Leistungsanforderungen können Druckluftkompressoren in zwei Leistungsklassen für Solo- und Gelenkbusse eingeteilt werden. Die Effizienz des Druckluftsystems kann mittels des Einsatzes eines EMS (Energiemanagementsystem) weiter verbessert werden. ZF erprobt aktuell ein System, das mit GPS-Daten und Routeninformationen arbeitet. Wenn sich der Bus beispielsweise einer Gefällestrecke nähert, wird der Druckluftbehälter erst während der Bergabfahrt gefüllt, sodass die rekuperierte Ener-

gie direkt für den Kompressor genutzt werden kann (ZF 2021). Diese intelligente Steuerung spart Energie und könnte möglicherweise in künftigen Busmodellen eingesetzt werden.

Fahrwerksabsenkung (Kneeling) (HV)

Das Kneeling ist eine Funktion zur Fahrwerksabsenkung, vorzugsweise an Haltestellen, um z. B. mobilitätseingeschränkten Personen den Ein- oder Ausstieg zu erleichtern. Es wird nach aktuellem Stand der Technik vom luftgefederten Fahrwerk mit realisiert. Es wird hier jedoch gesondert aufgeführt, da der Energieaufwand beim Kneeling meist höher ist als bei der automatischen Niveauregulierung des Fahrwerks während der Fahrt und die Funktion im Betrieb und je nach Umlauf in unterschiedlicher Häufigkeit angewandt wird. Die betrachteten Literaturquellen geben kein eindeutiges Bild darüber, wie groß der Anteil der Kneelingvorgänge am Gesamtenergiebedarf ist. Im Schlussbericht des Forschungsvorhabens „Innovative und systematische Ansätze für mehr Energieeffizienz im kommunalen öffentlichen Personennahverkehr“ hat man im Musterverkehrsunternehmen eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bei konventionellen Bussen um 11 % ermittelt, wenn kein „Zwangs-Kneeling“ (Fahrwerksabsenkung bei jedem Halt/jeder Türöffnung) stattfindet, sondern nur im Bedarfsfall abgesenkt wird (Minnich et al. 2019).

Lenkunterstützung (NV)

Bei der Lenkunterstützung von konventionellen und Elektrobussen gilt ein elektrohydraulisches System als Stand der Technik. Die Systeme werden dabei kontinuierlich weiterentwickelt. Bei verbrauchsoptimierten elektrohydraulischen Lenksystemen läuft die Hydraulikpumpe z. B. nur, wenn auch Lenkbewegungen stattfinden. Mercedes-Benz bietet dieses System für den eCitaro in der aktuellen Version z. B. unter dem Namen „Intelligent Eco Steering“ an (Mercedes-Benz 2020).

Beleuchtung Innenraum (NV)

Die Ausführung der Fahrgastraumbeleuchtung in LED-Technik bringt eine relativ geringe Energieeinsparung mit sich, verringert jedoch den Wartungs-

aufwand (Kappus et al. 2014). Diese Variante gehört aber aktuell noch nicht bei allen Herstellern zur Serienausstattung.

Hauptscheinwerfer (NV)

Ein LED-Abblendlicht zählt bei den aktuellen E-Bus-Versionen bereits zur Serienausstattung. Mercedes gibt für den eCitaro an, dass die LED-Lampen gegenüber herkömmlichen Glühlampen etwa zwei- bis dreimal effizienter sind (Mercedes-Benz 2021).

Fahrgastinformationssystem (NV)

Das Fahrgastinformationssystem ist in der Konfiguration der Busse eine Sonderausstattung, die aber bei allen Verkehrsbetrieben in Deutschland üblich ist und mitgeordert wird. Der Verbrauch hängt von Technologie (LED/LCD), Anzahl und Größe der verwendeten Bildschirme ab.

2.4.2.4 Interpretation der Ergebnisse und Ausblick

Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass die Heizung und Kühlung von Elektrobussen eine wichtige Rolle bezüglich des Energieverbrauchs und somit der erzielbaren Reichweiten spielen. In diesem Bereich konnten mit den neuen Fahrzeuggenerationen von Elektrobussen signifikante Einsparungen gegenüber Elektrobussen aus früheren Generationen erreicht werden.

Neben einer Verbesserung der Effizienz von Heiz- und Kühlkonzepten können bereits durch die Konstruktion der Busse (passive Maßnahmen, z. B. wärmeisolierende Karosse und Fenster, separater Fahrerplatz, „air curtain“) und insbesondere durch die Vorkonditionierung der Fahrzeuge vor dem Betriebsbeginn Maßnahmen getroffen werden, die die Reichweite der Fahrzeuge erhöhen.

Bei der eigentlichen Wärme-/Kältebereitstellung bieten Wärmepumpen deutliche Effizienzvorteile gegenüber den herkömmlichen Konzepten (PTC-Heizern, Kraftstoffheizung). Mit dem Markthochlauf der Elektrobusse und der damit steigenden Nachfrage

nach effizienten Lösungen haben die Komponentenhersteller deshalb die F&E-Bemühungen bei Wärmepumpen weiter verstärkt. In den vergangenen Jahren sind somit die ersten praxistauglichen Wärmepumpenkonzepte zum ganzheitlichen Heizen und Kühlen von Elektrobussen in den Markt gekommen und zählen heutzutage zur Serienausstattung. Nach den Ankündigungen der Komponentenhersteller werden die möglichen Einsatzbereiche und die Effizienz in den kommenden Jahren weiter verbessert sowie verstärkt klimafreundliche Kältemittel eingesetzt. Neben Wärmepumpen werden auch die klassischen Elektroheizungen weiter verbessert und Ansätze für zusätzliche Heizlösungen wie z. B. Infrarotheizungen könnten in künftigen Fahrzeuggenerationen womöglich weitere Energieeinsparungen ermöglichen. Es kann also damit gerechnet werden, dass Wärmepumpen immer häufiger ohne Kraftstoffzusatzheizungen auskommen und der Anteil vollelektrischer Systeme sowie deren Energieeffizienz weiter zunehmen wird.

In den nächsten Jahren ist außerdem von Bestrebungen auszugehen, weitere Schnittstellen zur Vernetzung der Wärmequellen und somit ein integriertes Thermomanagement zu schaffen. Dies könnte eine geringere Anzahl an Bauteilen, ein geringeres Fahrzeuggewicht, geringere Kosten und schließlich eine höhere Effizienz der Busse ermöglichen. Eng darin eingebunden ist auch das Thermomanagement der Batterie. Mit der Optimierung der Auslegung des Energiespeichers für den jeweiligen Einsatzzweck der Busse wird die Einbindung des BTMS in das HVAC-Konzept künftig zusätzlich an Bedeutung gewinnen. Außerdem entwickeln und verbessern Hersteller Technologien, die die im Betrieb anfallende Abwärme speichern und weiter nutzen und somit zusätzliche Effizienzpotenziale erschließen können.

Neben dem Thermomanagement haben auch die mechanischen und elektrischen Verbraucher weitere Effizienzpotenziale. Diese liegen insbesondere im Leichtbau, in Wirkungsgradsteigerungen und in stufenlos regelbaren mechanischen und elektrischen Nebenverbrauchern (Pumpen, Lüfter). Mit der Weiterentwicklung der Komponenten und Regelungssys-

teme kann somit weitere Energie eingespart werden. Zudem ist absehbar, dass energiesparende Fahrgastinformationssysteme und LED-Beleuchtung künftig noch häufiger zur Serienausstattung von Elektrobussen zählen werden.

2.4.3 Stand der Technik hinsichtlich der Ladeinfrastruktur

Der Stand der Technik der Ladeinfrastruktur wurde während der Projektlaufzeit stetig fortgeschrieben und orientiert sich an Veröffentlichungen der Hersteller, Forschungsberichten und eigenen Recherchen. Die Ladeinfrastruktur dient bei Elektrobussen der Zuführung der erforderlichen Energie für Antrieb und Nebenverbraucher. Die Aufladung eines Elektrobusses erfolgt dabei in der Regel konduktiv. Am weitesten verbreitet sind Ladestecker (CCS-Standard), aber auch Pantografen bzw. Stromabnehmer kommen aufgrund der Schnellladetechnik vermehrt zum Einsatz. Pantografen sind ausfahrbare Ladeschnittstellen, die entweder auf dem Fahrzeugdach installiert oder als invertierte Ausführung in die Ladestation integriert sind. Induktive, d. h. kontaktlose Ladelösungen sind bzw. waren z. B. in Berlin, Braunschweig und Mannheim in der Erprobung, wiesen jedoch nicht die gewünschte bzw. erforderliche Robustheit und Zuverlässigkeit auf. Aufgrund der hohen Energiespeicherkapazität der in Elektrobussen verwendeten Batteriesysteme erfolgt eine Aufladung, im Gegensatz zu Pkw, ausschließlich mittels Gleichstromladung. Die Batterie wird ohne zusätzliche Leistungselektronik im Fahrzeug (Gewicht) direkt durch die Ladestation geladen. Im Pkw-Bereich wird die Gleichstromladung in der Regel als „Schnellladetechnik“ bezeichnet, was im Bereich der Elektrobusse irreführend wirken kann, da hier sowohl Schnell- als auch Langsamladung über einen Gleichstromkreis umgesetzt werden. Die Unterscheidung geht im Bereich der Elektrobusse letztlich auf die Leistungsklasse zurück.

Ebenfalls im Gegensatz zur Pkw-Technik werden im Bereich der Elektrobusse verschiedene Ladestrategien umgesetzt:

- **Voll-/Depotladung:** (Voll-)Laden im Depot, oder auch Overnight Charging, bezeichnet grundsätzlich eine zentral organisierte Ladestrategie. Hierbei wird der größte Anteil an elektrischer Traktionsenergie an einer Stelle oder an wenigen zentralen Stellen in die Batterien der Elektrobusse geladen. Im Allgemeinen sind diese zentralen Stellen Depotflächen, auf denen die Busse längerfristig geparkt werden. Möglich sind hier aber auch spezielle „Ladeparks“ oder Ähnliches. Gegenüber dem Laden auf Linie wird hier üblicherweise mit reduzierter Leistung geladen. Abhängig von der Konzeption sind Ladeleistungen von ca. 50 bis 150 kW üblich, was der Leistungsfähigkeit eines Plug-in-Ladesystems nach CCS-Standard entspricht. Jedoch gibt es auch hier Ausführungen, bei denen mit höherer Leistung geladen wird, was den Einsatz leistungsstarker Ladeschnittstellen wie Pantografen bedingt. Aus der Praxis sind Ansätze und Planungen bekannt, die Leistungswerte bis zu 300 kW vorsehen, wobei hier auch größere Leistungswerte denkbar und möglich sind. Depotladesysteme zeichnen sich dadurch aus, dass üblicherweise alle Stellplätze über eine eigene Ladeschnittstelle verfügen. Busse werden in Betriebspausen geparkt und ohne weitere Eingriffe des Personals geladen, nachdem der Ladekontakt geschlossen wurde. Die erforderliche Leistungselektronik wird sinnvollerweise aus Platzgründen nicht an den Stellflächen installiert, sondern an einer zentralen Stelle zusammengeführt. Dies birgt Vorteile für den Betrieb und die Wartung der Anlagen. Allerdings ist die Ausführung sorgfältig zu planen, um den Netzanschluss (Energieversorgung) nicht zu überlasten und gleichzeitig sicherzustellen, dass alle Fahrzeuge rechtzeitig zum Einsatzzeitpunkt geladen sind. Bei größeren Flotten erfordert der Depotladeansatz eine genaue Systemplanung und häufig den Einsatz einer steuernden IT-Infrastruktur (Lademanagementsystem).

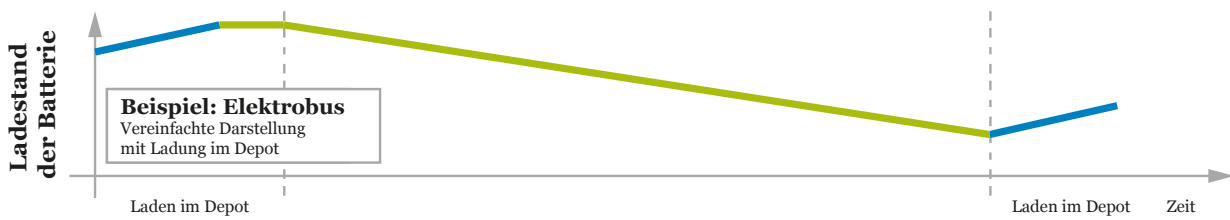


Abbildung 75: Vereinfachte Darstellung Betriebstag mit „Overnight Charging“

- **Gelegenheitsladen:** Bei dieser Ladestrategie, die auch als Opportunity Charging oder Unterwegsladung bezeichnet wird, erfolgt die Ladung der Fahrzeuge primär direkt am Einsatzort. Mehrere ausgewählte Haltestellen, häufig Wende- oder Endhaltestellen, werden dezentral mit Ladeinfrastruktur ausgestattet, um die Fahrzeuge mit hoher Leistung in kurzzeitigen Betriebsunterbrechungen schnell zu laden. Als Ladeschnittstelle kommen hier nur sehr leistungsfähige Ansätze infrage, um die erforderlichen Ladeleistungen von 300–500 kW zu erbringen. Perspektivisch sind hier durchaus auch höhere Leistungswerte denkbar. Aktuell sind Pantografensysteme die vorherrschende Ausführungsvariante, um den Leistungsbedarf

zu decken. Durch den automatischen Kontaktschluss wird die Zeitspanne zwischen Parken und Laden gegenüber manuellen Plug-in-Systemen stark verkürzt. Für den Erfolg dieser Strategie ist es entscheidend, die Nettoladezeit pro Halt zu maximieren. Anwendungen mit anderen Ansätzen, wie roboterartigen Ladearmen, konnten mehrfach in Pilotanwendungen beobachtet werden. Jedoch hat sich das bewährte Pantografensystem bisher als praktikabler erwiesen und die alternativen Systeme verdrängt. Aktuell ist keine Schnellladungsanwendung im Praxiseinsatz in Deutschland bekannt, die nicht auf der Pantografentechnik beruht.

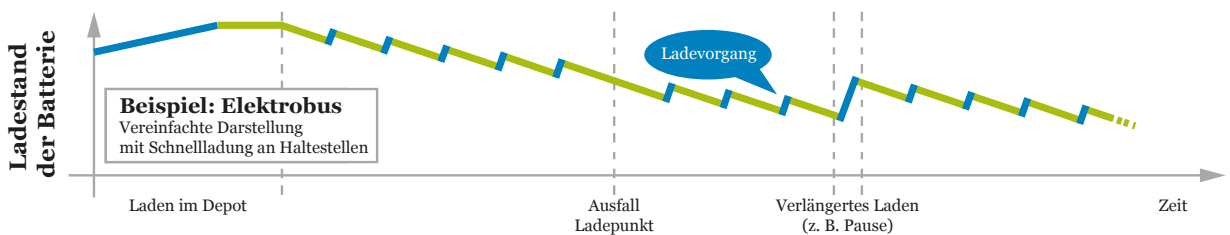


Abbildung 76: Vereinfachte Darstellung Betriebstag mit „Opportunity Charging“

Fahrzeuge für Gelegenheitsladungs-Anwendungen werden mit kleiner dimensionierten sogenannten Leistungsbatterien (typischerweise 80–180 kWh) ausgerüstet, die eine elektrische Fahrstrecke in einer Größenordnung von weniger als 100 km ermöglichen. Der grundsätzliche Ansatz der Ladestrategie ist es,

Elektrobusse bei jeder Gelegenheit schnell nachzuladen. Für einen erfolgreichen Betrieb ist jedoch eine ausreichende Verweildauer an den Lade-Haltestellen oder eine adäquate Anzahl von Lade-Haltestellen zu gewährleisten, um den Energiebedarf zu decken. Bei Ansätzen nach der Gelegenheitsladestrategie wird

das gelegentliche Auslassen eines Ladepunktes im Systementwurf berücksichtigt. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass Warte- und Wendezeiten bei Verspätungen nicht beliebig verkürzt werden können, da eine Mindestenergiemenge für den Betrieb bereitgestellt werden muss. Die Fahrzeuge können im Liniennetz vollkommen flexibel eingesetzt werden, sofern Lade-Haltestellen in ausreichender Frequenz angefahren werden.

Die dezentrale Platzierung von Ladesystemen macht es in der Regel erforderlich, Infrastruktur im innerstädtischen Bereich zu installieren und an das Energienetz anzubinden. Aufgrund der dichten Bebauung und fehlender Energienetzkapazitäten kann dies eine besondere Herausforderung darstellen. Vorteilhaft sind hier Installationsorte, bei denen Oberleitungsnetze von Stadtbahnen (oder Trolleybussen) erreichbar sind. Die Anschlusskapazität derartiger Netze verfügt häufig über ausreichende Reserven, um die Ladeleistung auch für die Elektrobusse erbringen zu können (siehe z. B. Realisierungen in Oberhausen, Braunschweig, Hannover, Luzern).

Theoretisch ist die Einrichtung von Schnellladesystemen auf Linien im Gelegenheitsladungsansatz ausreichend. In der Praxis ist die zusätzliche Installation eines zumindest klein dimensionierten Depotladesystems notwendig. Beispielweise können in Betriebspausen ‚über Nacht‘ spezielle Ladekurven und Batteriemanagementfunktionen durchlaufen werden, um Lebensdauer und Funktion der Traktionsbatterie zu maximieren (z. B. sogenanntes Zell-Balancing, SOC-Kalibrierung oder Ähnliches). Darüber hinaus ermöglicht die Anbindung an einen Ladepunkt das Vorheizen der Fahrzeuge vor Betriebsaufnahme, ohne Energie aus der Traktionsbatterie zu beziehen.

- **Dynamisches Laden:** Eine Abwandlung der Gelegenheitsladestrategie stellen partielle Oberleitungen dar. Hierbei werden die Fahrzeuge direkt während des Fahrbetriebs über ein Oberleitungsnetz geladen. Dies wird auch In-Motion-Charging genannt oder mit den Begriffen partielle Oberleitung beziehungsweise Batterie-Oberleitungsbus

gekennzeichnet. Der Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien ermöglicht es, im Gegensatz zum klassischen Trolleybus-Ansatz, dass nur ein Teil der Fahrstrecke mit Oberleitungen ausgerüstet werden muss. Aus technischer Sicht stellt diese Variante einen sehr leistungsfähigen Ansatz dar, der es ermöglicht, Elektrobusse mit minimalem Einfluss auf den Betriebsablauf zu laden, da die Nachladung parallel zum Fahrbetrieb erfolgt. Kosten und Aufwand für die Installation des Oberleitungsnetzes sowie die besondere Fahrzeugausführung (doppelte Isolation) stellen hier jedoch ein großes Hemmnis dar.

- **Mischsysteme:** Unterwegs- und Depotladung sind keine streng voneinander abgegrenzten und definierten Ansätze. Im Sinne eines Mischsystems können beide Ansätze in variierender Ausprägung miteinander kombiniert werden. Ein Beispiel hierfür stellt die Schnellladestraße im Depot dar: Einrückende Fahrzeuge werden vor Abstellung analog zur Unterwegsladung an Schnellladestationen aufgeladen. Am Abstellplatz sind dann lediglich Ladesysteme mit stark reduzierter Leistung für das Batterie-Balancing und das elektrische Vorheizen erforderlich. Umgekehrt können typische Depotladestrategien durch wenige ausgewählte Zwischenladungspunkte im Liniennetz ergänzt und somit eine größere Reichweite des Fahrzeugs erreicht werden. Insbesondere der zweite Fall, mit ergänzender Zwischenladung an Wendestellen, wird aktuell in Umstellungsplanungen vielfach diskutiert.

Leistungen und Ladezeiten

Die erforderlichen Ladeintervalle für Elektrobusse reichen von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden, abhängig vom Systemansatz und den Leistungskapazitäten von Fahrzeugen und Infrastruktur. Typische Zeitwerte bewegen sich, abhängig von der Ladeleistung, aktuell in den in Tabelle 13 dargestellten Größenordnungen. Es gilt hier zu berücksichtigen, dass die Ladedauer von der Entladetiefe der Batterie (Energiebedarf) und möglichen Leistungsbegrenzungen der Batterie abhängt. In der Regel weisen kleine

Batteriegrößen geringere Leistungsgrenzwerte auf, sodass im Vergleich zur Nachladung einer größeren Batterie dieselbe Energiemenge in unterschiedlichen

Zeitintervallen an demselben Ladegerät umgesetzt wird.

Leistung Ladegerät	Typische Zeitdauer
50 kW	5 bis 8 Stunden für Vollladung
120 kW	3 bis 4 Stunden für Vollladung
300 kW	6-15 Minuten für Unterwegsladung
500 kW	4-10 Minuten für Unterwegsladung

Tabelle 13: Ladedauer nach Leistung des Ladegeräts

Verbreitete Ladeschnittstellen

Am weitesten verbreitet ist die Combined Charging System-(CCS-)Schnittstelle in der Variante Combo-2 (europäische Variante). Die international normierte Schnittstelle erlaubt, je nach Ausführung, sowohl Gleichstrom- als auch Wechselstromladung von Fahrzeugen. Aufgrund der benötigten Energiemengen im ÖPNV werden für elektrisch angetriebene Busse ausschließlich Gleichstromladungen angewendet. Die Ladeschnittstelle selbst ist als Stecker ausgeführt, wobei im Bussektor die Combo-2-Gleichstromfahrzeugkupplung eingesetzt wird. Die Schnittstelle ist in der EU als Standardsteckverbindung für Gleichstromladungen über 22 kW auch in der Ladesäulenverordnung festgelegt. Ungekühlt ist der Ladestrom auf 200 A Dauerstrom limitiert, was bei gängigen Systemspannungen der Fahrzeuge etwa 130 bis 150 kW Ladeleistung entspricht. In gekühlter Ausführung sind Ströme bis zu 500 A mit marktverfügbaren Systemen möglich, jedoch muss auch die Fahrzeuggegenseite für diese Ströme ausgelegt sein.

Pantografensysteme ähneln den im Bahnbereich eingesetzten Stromabnehmern. Im Gegensatz dazu erfolgt die Anbindung nicht während der Fahrt an ein Oberleitungssystem, sondern im Stand an ein ortsfestes Gegenstück. Pantografensysteme unterliegen keiner Norm. Vielmehr werden Pantograf und Gegen-

stück („Ladehaube“) üblicherweise von demselben Hersteller geliefert. Um eine reibungslose Integration der Systeme in Fahrzeuge verschiedener Hersteller zu ermöglichen, hat sich als Quasistandard die Kommunikationsstruktur des CCS-Standards im Markt durchgesetzt. Abgesehen von der mechanischen Schnittstelle und den übertragenen Ladeleistungen erfolgt der Ladevorgang nach den Kommunikationsabläufen, Protokollen und Routinen des CCS-Standards.

Mechanisch können zwei Grundvarianten differenziert werden, die wiederum abhängig von Ausführungsdetails weiter unterschieden werden können. Am weitesten verbreitet ist die Schnittstelleninstallation auf dem Fahrzeugdach, bei der der Pantografenarm von unten nach oben in die Ladehaube ausgefahren wird. Daneben sind Systeme im Einsatz, die umgekehrt am Ladepunkt vom ortsfesten System nach unten auf das Fahrzeugdach abgesenkt werden. Beide Ansätze haben gegensätzliche Vor- und Nachteile. Im ersten Ansatz sind die Kosten pro Fahrzeug höher, da das mechanisch aufwendige System auf jedem Fahrzeug installiert wird. Gleichzeitig bedingt dies ein leicht höheres Fahrzeuggewicht sowie größere Installationsflächen auf dem Fahrzeugdach. Dem entgegen steht die Ausfallsicherheit des Systems. Bei Ausfall der Mechanik fällt nur ein einziges Fahrzeug

aus, während im zweiten Ansatz der gesamte Ladepunkt außer Betrieb genommen werden muss.

Stangenstromabnehmer sind bekannt aus dem Trolley- oder Oberleitungsbuseinsatz. Hier wird der Kontakt zur Energiequelle (Oberleitungen) durch nachgezogene Stromabnehmer erbracht, die mit Schleifkontakten ausgestattet sind. Da diese Variante kein Ladesystem im eigentlichen Sinne darstellt, ist es hier nur der Vollständigkeit halber angeführt.

Auch wenn alternative Ladeschnittstellen denkbar sind und bereits in Erprobung waren, sind diese aktuell nicht am Markt präsent. Insbesondere die Faktoren Robustheit, Komplexität, Effizienz und Kosten haben bisher abweichende Ansätze vom Markt im Bus-ÖPNV verdrängt.

Ausblick: Megawatt Charging System

Das Megawatt Charging System (MCS) basiert auf dem Combined Charging System (CCS), das aktuell die Rolle der Standardladeschnittstelle für batterieelektrische Busse einnimmt. Das MCS-System befindet sich seit 2018 in der Entwicklung, wobei im Oktober 2023 ein erster Normentwurf vorgelegt wurde. Im Gegensatz zum CCS-System mit 200 A (ungekühlt) verspricht das MCS-System Stromstärken von bis zu 350 A (ungekühlt). Abhängig vom Kühlkonzept sollen im MCS-System Stromstärken bis zu 3.000 A bei einem Spannungslevel von maximal 1.250 V möglich sein. Die MCS-Schnittstelle ist ebenfalls als Lade-stecker ausgeführt, wobei sowohl Kabel als auch Kontakte aufgrund der höheren Stromstärken größer ausgeführt sind. Der avisierte Einsatzbereich für die MCS-Schnittstelle liegt im Feld der Lastkraftwagen. Ziel ist die Zuführung sehr hoher Energiemengen in kurzer Zeit, vergleichbar mit einem Tankstopp für konventionelle Kraftstoffe. Für den Einsatz in Busdepotladesystemen ist die Ladeschnittstelle, insbesondere im Kontext aktueller Batteriegrößen, tendenziell

überdimensioniert. Für das oben beschriebene Gelegenheitsladen ist der manuell durchzuführende Kontaktschluss im Gegensatz zum Pantografensystem ungünstig, da wertvolle Ladezeit in diesem hochfrequenten Ladekonzept während des Kontaktschlusses verloren geht. Dennoch wird der MCS-Schnittstelle eine wesentliche Bedeutung für die Elektromobilität im Bus-ÖPNV eingeräumt. Es ist beispielsweise denkbar, an Wendestellen MCS-Ladepunkte vorzusehen, oder MCS-Ladehubs für räumlich weit verteilte Einsatzgebiete vorzusehen. Darüber hinaus kann eine geringe Anzahl MCS-Ladepunkte im Umfeld des Depots als Notladepunkte vorgehalten werden. Letztlich ist der Einsatz abhängig von der fahrzeugseitigen Möglichkeit, die Schnittstelle zu implementieren. Sofern diese baulich als zusätzliche Schnittstelle ohne wesentliche Mehrkosten verfügbar gemacht werden kann, kann diese als Ladebuchse für Sonderfälle sehr wertvoll sein. Vorausgesetzt ist dabei, dass die hohe Ladeleistung, oder zumindest ein wesentlicher Anteil davon, vom Bordsystem des Fahrzeugs genutzt werden kann, ohne die fahrzeuginterne Stromtragfähigkeit zu überschreiten.

Aufbau der Ladeinfrastruktur

Grundsätzlich kann die Ladeinfrastruktur in folgende Funktionsblöcke eingeteilt werden:

- Ankopplung an das öffentliche Stromnetz
- galvanische Trennung zwischen Stromnetz und Fahrzeug
- Umwandlung des Drehstroms in Gleichstrom variabler Spannung
- Kommunikations- und Überwachungsfunktionen zugehöriger Managementsysteme.

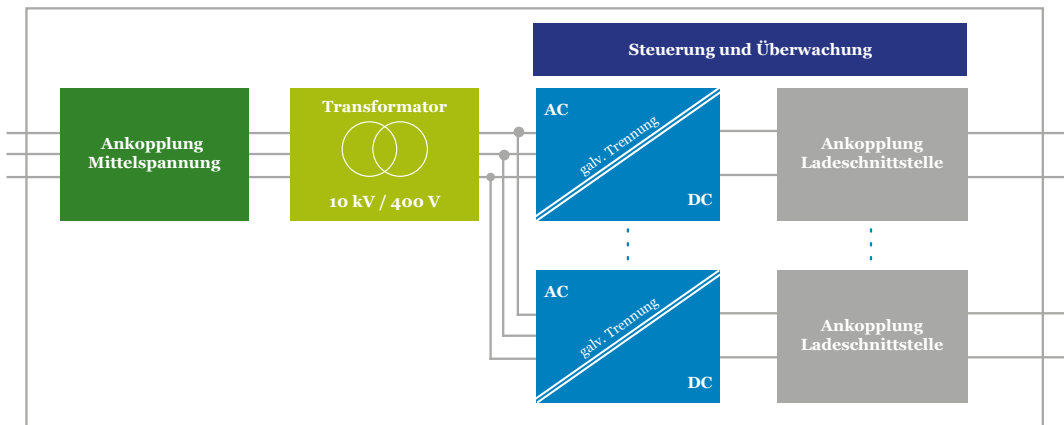


Abbildung 77: Blockschaltbild Ladeinfrastruktur

Die Ankopplung an das öffentliche Stromnetz erfolgt über das Mittelspannungsnetz (10/20 kV) bzw. bei sehr großen Elektrobussenflotten über das Hochspannungsnetz (110 kV). Die direkte Anbindung an das Niederspannungsnetz (400 V) ist nur für einzelne Ladestationen sinnvoll. Notwendige Schaltanlagen und Transformatoren müssen an den Ladestandorten installiert werden, um die Spannungsniveaus für die Ladeinfrastruktur bereitzustellen und gleichzeitig Übertragungsverluste zu minimieren. Die teilweise sehr großen Energiemengen müssen durch den Netzbetreiber, passend zum Ladeplan, bereitgestellt werden. Lade- und Energiemanagementsysteme, ggf. ergänzt durch stationäre elektrische Zwischenspeicher, können hilfreich sein, um die Netzlast zeitlich zu optimieren und Netzausbaukosten zu minimieren. Die vorgeschriebene galvanische Trennung zwischen Drehstromnetz und einzeltem Fahrzeug kann dabei, wie dargestellt, entweder direkt im Netztransformator erfolgen oder auch in den Leistungselektronik-Baugruppen selbst. Die bevorzugte Ausführung ist dabei abhängig vom Anwendungsfall und der Anzahl parallel ladender Fahrzeuge.

Ein elektronischer Stromrichter wandelt die Netzspannung (Drehstrom) in Gleichspannung um. Die Vorgabe der Spannungshöhe bzw. des zulässigen Ladestroms erfolgt dabei vom Fahrzeug über die Kom-

munikationsverbindung in der Ladeschnittstelle. Die vom Fahrzeug angeforderten Werte werden von der Elektronik automatisch ausgegelt, sofern diese innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte für Strom und Spannung liegen. Diese Grenzwerte können entweder technischer Natur sein (z. B. die zulässigen Maximalwerte für Ladestrom der Schnittstelle) oder von außen vorgegeben werden. Von außen werden beispielsweise temporäre Maximalwerte durch Managementsysteme definiert, um das Ladeverhalten mehrerer Ladestationen zu steuern.

Das Ladesystem ist über standardisierte Ladeschnittstellen an das Fahrzeug und typischerweise auch an ein Back-End-System angebunden. Die Fahrzeug-Kommunikationsschnittstelle ist dabei physisch in die Ladeschnittstelle integriert. Die Back-End-Anbindung erfolgt über Netzwerkprotokolle (Ethernet). Der Informationsaustausch erfolgt direkt zwischen Fahrzeug und Ladepunkt (Sollwerte Ladung) bzw. zwischen Ladepunkt und Back-End (externe Grenzwerte und Freigaben). Darüber hinaus übernimmt die Ladestation aufgrund der zentralen Position die Informationsübermittlung zwischen Back-End-System und Fahrzeug (z. B. Statusinformationen).

Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen sind durch Normen und Richtlinien vorgegeben. Über-

wacht werden sicherheitsrelevante Parameter wie Stromwerte, Isolationswerte, Abriss der Kommunikationsverbindung und Ähnliches, um den Ladevorgang und den Betrieb als fehlerfrei zu identifizieren. Bei kritischen Fehlern wird ein Ladevorgang umgehend unterbrochen und das Ladesystem in einen sicheren Zustand gebracht (vergleichbar mit einer Not-Aus-Routine). Darüber hinaus sind Ladesysteme gesamtheitlich so ausgeführt, dass keine spannungsführenden Teile berührt werden können. Ladestecker sind während des Ladevorgangs verriegelt, sodass ein versehentliches Abziehen des Kontakts unmöglich ist. Selbst wenn mutwillig der Stecker herausgebrochen wird, führt der Abriss der Kommunikationsverbindung zu einer sofortigen Systemabschaltung.

Das Funktionspotenzial von Managementsystemen geht über die reine Netzlastoptimierung hinaus. Die Anforderungen, die von einer größeren Elektrobussflotte an die Betriebssteuerung ausgehen, reichen in viele Belange des bisherigen Betriebswesens hinein. Fahrzeugdisposition, Werkstattmanagement und Abstellreihenfolge auf dem Betriebshof sind nur einige Aspekte, die durch die Notwendigkeit von Ladezeiten beeinflusst werden. Bei großen Flotten ist die manuelle Abfertigung nur schwer oder gar nicht umsetzbar. Dedizierte Managementsysteme sorgen nicht nur dafür, dass Netzlastgrenzwerte eingehalten werden, sondern auch, dass Fahrzeuge zum einen rechtzeitig geladen sind und zum anderen ohne Rangieraufwand für den Einsatz zur Verfügung stehen. Die besondere Herausforderung liegt hier nicht allein darin begründet, dass das Ladeintervall beim Elektrobuss länger ist als das Betankungsintervall beim Dieselbus. Vielmehr ist die Ladezeit selbst eine variable Größe, abhängig vom vorherigen Einsatz und dem resultierenden Energiebedarf.

Mehrfachnutzung von Ladeinfrastruktur

Aufgrund der bisher tendenziell kleinen Elektrobuss- (und auch E-Pkw-)Flotten wird häufig das Ladesystem als Komplettsystem einem Fahrzeug zugeordnet. Jedes Fahrzeug (bzw. jeder Ladeplatz) verfügt dabei über ein eigenes, vollständig autarkes Ladesystem.

Mit wachsender Flottengröße fällt der einhergehende Kosten- und Platzaufwand dieses Ansatzes jedoch immer stärker ins Gewicht. Gleichzeitig weist dieser Ansatz einen ungünstigen Ausnutzungsgrad auf, da das Ladesystem nur verwendet wird, wenn das angebundene Fahrzeug geladen wird. Anschließend bleibt es für einen langen Zeitraum inaktiv.

Bei einer Mehrfachnutzung wird Ladeinfrastruktur für mehrere Ladepunkte genutzt. Diese Systeme sind am Markt nicht einheitlich bezeichnet, werden jedoch vielfach unter den Begriffen Matrix-Ladesystem, Multiladepunkt-System oder schlicht Flottenladesystem geführt. Bedarfsabhängig wird die Ladeelektronik auf verschiedene mögliche Ladeplätze umgeschaltet, um mehrere Fahrzeuge in der Regel nacheinander zu laden. Die Nachladung muss dabei nicht zwingend sequenziell erfolgen, sondern kann auch parallel ausgeführt werden. Dabei wird die Systemleistung einer Leistungselektronikgruppe gleichzeitig oder nacheinander auf mehrere Ladepunkte verteilt.

Kernaspekt dieser Ladesysteme ist die kooperative Arbeitsweise einer Vielzahl einzelner Leistungsmodule mit geringer Leistungsklasse. Aktuell bewegt sich die Modulgröße zwischen 10 kW und 50 kW. Das Ladesystem besteht dabei aus einer Vielzahl von Lademodulen. Abhängig von den aktuellen Ladeanforderungen an allen angebotenen Ladepunkten werden die Lademodule zu Gruppen verschaltet und stellen die summierte Gruppenleistung einem Ladepunkt zur Verfügung. Bei geänderten Anforderungen, zum Beispiel aufgrund eines neu ankommenden Fahrzeugs, wird die Gruppenverschaltung automatisch optimiert und bei Bedarf neu zugeordnet.

Pro Fahrzeug sinkt so im Schnitt der Aufwand für die zu installierende Leistungs- oder Ladeelektronik, ohne die Ladeperformance selbst negativ zu beeinflussen (adäquate Systemauslegung und Ablaufsteuerung vorausgesetzt). Am Markt lässt sich ein verstärkter Einsatz derartiger Mehrfachladesysteme beobachten. Vielfach stellt diese Produktlinie die Basis für die herstellereigenspezifische Produktentwicklung dar. Der modulare Ansatz wird auch in Kompakt-

ladestationen der Hersteller verwendet, auch wenn dies technisch nicht erforderlich ist. Der Einsatz von Gleichteilen weist in erster Linie Wartungs- und Produktionsvorteile auf. Insgesamt kann beobachtet werden, dass die eingesetzten Leistungsmodule kleiner dimensioniert werden. Während vor wenigen Jahren Modulgrößen zwischen 50 kW und 75 kW üblich waren, sind heute auch sehr kleine Modulgrößen zwischen 20 kW und 50 kW sehr stark am Markt vertreten.

Marktteilnehmer in Deutschland

Der Markt für Elektrobus-Ladeinfrastruktur in Deutschland ist derzeit hauptsächlich europäisch geprägt. Im Gegensatz zum Fahrzeugmarkt ist die Dominanz von Konzernen weniger ausgeprägt. Kleine und mittelständische Hersteller konkurrieren hier auf Augenhöhe mit Konzernen aus der Elektronikindustrie. Auch wenn der lokale Markt bisher primär durch europäische Unternehmen bedient wird, ist zu verzeichnen, dass erste Aufträge bereits an asiatische Unternehmen vergeben wurden. Die wichtigsten Hersteller für Ladeinfrastruktur im ÖPNV-Bereich in Deutschland sind:

- ABB
- EkoEnergetyka-Polska
- Heliox (Ende 2023 durch Siemens akquiriert)
- Kempower
- SBRS GmbH
- Siemens

Alle aufgeführten Unternehmen bieten sowohl Depotladesysteme mit kleiner bis mittlerer Leistung als auch Streckenladesysteme mit hoher Leistung an. Darüber hinaus werden vielfach kundenspezifische Lösungsansätze angeboten, die über ein Baukastenprinzip an wechselnde Anforderungen angepasst werden können. Neben den aufgeführten Herstellern ist ein weites Spektrum von Unternehmen zu verzeichnen, die bisher nur wenige Aufträge in Deutschland abgewickelt haben.

Es ist anzunehmen, dass der Markthochlauf die Konstellation der Hersteller weiter verschieben wird. Im

Bereich der Ladeinfrastruktur liegen auf Anwenderseite keine Erfahrungswerte vor, was den Einstieg neuer Akteure mit neuen technologischen Ansätzen erleichtert. Es ist insbesondere damit zu rechnen, dass mit dem Ausbau der Schnellladeinfrastruktur für Pkw in Deutschland auch weitere Unternehmen Lösungen für den ÖPNV anbieten werden.

Interpretation der Ergebnisse und Ausblick

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Ausbreitung der E-Mobilität im Pkw- und Nutzfahrzeugsektor einen starken positiven Einfluss auf die Standardisierung der Ladeschnittstellen hat. Im Gegensatz zu früheren Pilotprojekten sind Ladesysteme barrierefrei für Fahrzeuge verschiedener Hersteller nutzbar, sofern diese denselben Schnittstellenstandard aufweisen. Durch die umfassende Normierung der Kommunikationsschnittstellen ist eine Kompatibilität sichergestellt. Aufgrund gewisser Freiheitsgrade in den Normtexten können bei Erstnutzung kleinere Kommunikationsprobleme auftreten, die sich jedoch durch ein Software-Update schnell ausräumen lassen. Der problemlose Betrieb von Bussen mehrerer Hersteller an einer Ladesäule stellt heute bereits den gelebten Betriebsalltag dar.

Auch wenn die zu erwartende technische Entwicklung, bezogen auf die Ladeelektronik selbst, als vernachlässigbar gering eingeschätzt wird, verspricht der Fokus auf Ladesysteme ein großes Entwicklungspotenzial im Vergleich zur typischen „Ladesäule“. Der Schlüssel liegt hier nicht in der Ausführung selbst, sondern im optimierten und effizienzmaximierten Nutzen der bekannten Systemkomponenten. Im Zuge des Markthochlaufs entwickeln sich auch die Ladesysteme am Markt von Kompaktladestationen hin zu Flottenladesystemen. Im subjektiven Eindruck aus dem Planungsgeschäft scheinen die Mehrfachladesysteme für Elektrobusflotten aktuell stark im Fokus der Anwender zu stehen. Dieser Eindruck kann jedoch auch dadurch verfälscht werden, dass Kompaktladestationen ohne großen Planungsaufwand verbaut werden können und entsprechend ohne die Einbindung von externen Planern etabliert werden.

Am Markt ist zu beobachten, dass eine Vielzahl von Herstellern die Modulgröße der Leistungsmodule, als Baustein des Ladesystems, verkleinern. Da kleine Modulgrößen für Mehrfach-Ladeinfrastrukturen von Vorteil sind, liegt der Rückschluss nahe, dass die Produktentwicklung der Hersteller auf diese Systeme ausgerichtet ist.

Es kann angenommen werden, dass die Bedeutung von Lademanagementsystemen zukünftig eine größere Rolle einnimmt. Mit anwachsenden Flotten sind einzelne Funktionen, wie die Begrenzung der Lastspitzen, bereits für die Systemauslegung essenziell. Darüber hinaus steht die Nachladung von Fahrzeugen (variable Ladezeiten) in direktem Zusammenhang mit der Umlaufplanung, Fahrzeugdisposition und ähnlichen Betriebsbereichen im ÖPNV. Für einen effizienten Betrieb des Gesamtsystems müssen die einzelnen Betriebsbereiche aufeinander abgestimmt werden. Während dies in Kleinflotten manuell erfol-

gen kann, erfordert die Fehleranfälligkeit und Komplexität dieser Aufgabe den Einsatz automatisierter Systeme. Aktuell ist nicht absehbar, wie Schnittstellen und Systemgrenzen zukünftig gestaltet sind. Aktuell sind Ansätze zu beobachten, entsprechende Funktionen im Back-End der Ladegeräte selbst zu integrieren. Gleichzeitig werden Ansätze entwickelt, die Routinen übergeordnet in externen Systemen im Sinne eines komplexen Betriebshofmanagementsystems anzusiedeln.

Zukünftig ist anzunehmen, dass Megawatt-Charging einen Einfluss auf die Auslegung von Ladesystemen haben kann. Der Einsatz einer sehr leistungsstarken Ladeschnittstelle erlaubt beispielsweise Mehrfach-Ladeinfrastrukturen höhere Freiheitsgrade bei der Planung von Ladevorgängen. Es kann angenommen werden, dass im Zuge wachsender Batteriespeichergrößen auch die Leistungsfähigkeit von Ladeschnittstellen eine höhere Bedeutung erhält.

3. Die Elektrobüsforöderung des BMWK und ihre Wirkungen

Nachdem im vorherigen Kapitel intensiv auf den gesamten E-Bus-Markt in Deutschland eingegangen wurde, fokussiert sich dieses Kapitel auf die Elektrobüsforöderung des BMWK und die daraus resultierenden Effekte. Hierzu werden zunächst die Förderprojekte intensiv ausgewertet. Dafür werden einerseits die Stammdaten der Fahrzeuge (u. a. Batteriekapazität, Anschaffungskosten) und andererseits die Betriebsdaten der Fahrzeuge (u. a. Laufleistung, technische Verfügbarkeit) analysiert.

Anschließend wird die ökologische Bewertung der Förderprojekte vorgenommen. Dazu wird zunächst die Klimabilanz verschiedener Antriebstechnologien verglichen und darauf aufbauend die ökologische Wirkung der geförderten Busse ermittelt. Diese Ermittlung bildet die Basis für die Hochrechnung der ökologischen Wirkung von Elektrobussen auf den Gesamtmarkt, bei der vier Szenarien zum Markthochlauf angesetzt werden.

Nach der ökologischen erfolgt die ökonomische Bewertung der Förderung. Es werden zunächst die Vollkosten verschiedener Antriebskonzepte (Diesel-, Batterie- und Brennstoffzellenbus) auf Ebene einzelner Fahrzeuge verglichen. Diese Ergebnisse werden anschließend prämissenbasiert auf die gesamtdeutsche Flotte hochgerechnet.

Abschließend wird auf Basis der umfassenden Betrachtungen im Rahmen der Begleitforschung in Kapitel 3.3 ein Fazit zur E-Büsforöderung des BMWK gezogen. Hierbei stehen neben ihrer Hebelwirkung und der Bedeutung für den Markthochlauf bei Elektrobussen (Kapitel 3.3.1) auch die daraus abzuleitenden Implikationen hinsichtlich des möglichen weiteren Förderbedarfes und potenzieller weiterer Fördermöglichkeiten des Bundes im Fokus (Kapitel 3.3.2).

3.1 Auswertung der Förderprojekte anhand des Minimaldatensets

Die Begleituntersuchung bietet die einmalige Möglichkeit, umfassende Daten aus den geförderten Projekten zu erheben und auszuwerten. Der Datensatz ermöglicht es dabei, Informationen über einen großen Teil der in Deutschland beschafften Elektrobusse zu erhalten. Mit der Erhebung können somit sowohl Rückschlüsse auf die geförderten Projekte (z. B. Verortung, Anzahl, Losgröße, Konzepte) als auch die eingesetzten Busse und Ladeinfrastruktur (z. B. Marke, Modell, Gefäßgröße, technische Daten) sowie Informationen über deren Einsatz (z. B. Fahrleistung, Energieverbräuche, Ausfalltage) gewonnen werden. Wichtige Erkenntnisse und Annahmen der

Begleituntersuchung in anderen Bereichen, z. B. bei der ökologischen und ökonomischen Bewertung, können zusätzlich anhand quantitativer Auswertungen abgeleitet und untermauert werden. Die Begleituntersuchung gibt zudem wichtige Hinweise über die Herausforderungen in der frühen Marktphase der Elektrobusse. Die Ergebnisse sind somit ein wichtiger Baustein bei der Evaluation des Förderprogramms.

Ziel der Auswertung des Minimaldatensets in diesem Projekt ist es dabei, einerseits Inputdaten für die Berechnung der ökologischen Wirkung (Kapitel 3.2.1) und die wirtschaftliche Bewertung (Kapitel 3.2.2) zu

erheben und andererseits auch Datenauswertungen hinsichtlich weiterer wissenschaftlich/technisch besonders relevanter Fragestellungen vorzunehmen. Die Grundlage für die Datenerhebung bildet das von der NOW veröffentlichte Dokument „Minimaldatensets zur Erhebung von Forschungsdaten in der Elektromobilität“ vom Februar (NOW GmbH 2017). Das Dokument definiert die Struktur der zu erhebenden Datensets und soll damit eine einheitliche Grundlage für Forschungsarbeiten und Förderungen des Bundes bzw. der Bundesressorts bieten. Die Minimaldatensets sind verpflichtende Vorgaben für laufende Förderprogramme, die Förderprojekte sind also prinzipiell zur Bereitstellung der Forschungsdaten und Kooperation bei der Datenerhebung verpflichtet.

Aufgrund der Vielfalt an Daten, die im Minimaldatenset aufgeführt sind, und Herausforderungen in der Datenerhebung seitens der Betreiber war eine Fokussierung auf wissenschaftlich/technisch besonders relevante Fragestellungen sowie belastbare Daten notwendig. Das methodische Vorgehen dabei ist umfangreich im Kapitel 5.6.5 des Anhangs beschrieben. Die Ergebnisse der Auswertung sind anschließend nach den drei prinzipiellen Datentypen dokumentiert:

- Stammdaten der Projekte, Busse und Ladestationen (Kapitel 3.1.1.3): Mit den einmalig erhobenen Stammdaten können Aussagen über die Struktur der Projekte (z. B. Anzahl, Größe) aber auch über die technischen Spezifikationen der geförderten Busse und Ladestationen getroffen werden (z. B. Gefäßgröße, Akkukapazität).
- Betriebsdaten der Busse und Ladestationen (Kapitel 3.1.2.1): Hier wurden die Daten aus den Projekten kontinuierlich erhoben, um daraus Erkenntnisse über den täglichen Betrieb abzuleiten (z. B. Fahrleistung, Energieverbrauch).
- Verfügbarkeitsdaten der Busse und Ladeinfrastruktur (Kapitel 3.1.3): Aus diesen lassen sich Rückschlüsse über die Ausfalltage und damit die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur ableiten.

Die Stamm-, Betriebs- und Verfügbarkeitsdaten wurden während des Projektverlaufes kontinuierlich erfasst. Weitere Informationen zum methodischen Vorgehen finden sich im Anhang (Kapitel 5.6.5).

3.1.1 Stammdatenauswertung – Struktur und technische Spezifikationen der geförderten Projekte

3.1.1.1 Stammdaten der Förderprojekte

Die Erhebung der Stammdaten der Förderprojekte ermöglicht es, eine Vielzahl an nützlichen Informationen über die Förderprojekte zu erhalten. Bei der Auswertung der Daten können unter anderem Erkenntnisse über die Verortung, Projektlaufzeit, Losgröße und gewählte Ladekonzepte der Projekte gewonnen werden. In der Gesamtschau können somit Rückschlüsse über die Struktur der Förderprojekte und den Einsatz der Elektrobuse und der Ladestationen getroffen werden. In der Auswertung der Betriebsdaten (Abschnitt 3.1.2.1) ermöglichen diese Informationen eine detaillierte Unterscheidung zwischen verschiedenen Ladekonzepten und Erfahrungen in einzelnen Verkehrsunternehmen.

Einen Gesamtüberblick über die geförderten Projekte gibt die Projektdatenbank des Projektträgers VDI/VDE-IT, die mit Stand zum 1. November 2023 ausgewertet wurde. Insgesamt wurden demnach 65 Verkehrsunternehmen in 50 Projekten gefördert. Die höhere Zahl an Verkehrsunternehmen im Vergleich zu den Förderprojekten ist darin begründet, dass sich Verkehrsunternehmen teilweise zu gemeinsamen Verbundprojekten zusammengeschlossen haben. Es gibt Projekte in 13 Bundesländern, wobei die Mehrzahl der Projekte in den bevölkerungsreichen Flächenländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Nordrhein-Westfalen verortet sind (siehe Abbildung 78). In den ostdeutschen Bundesländern Thüringen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg gibt es dagegen keine vom BMWK geförderten Elektrobussprojekte.

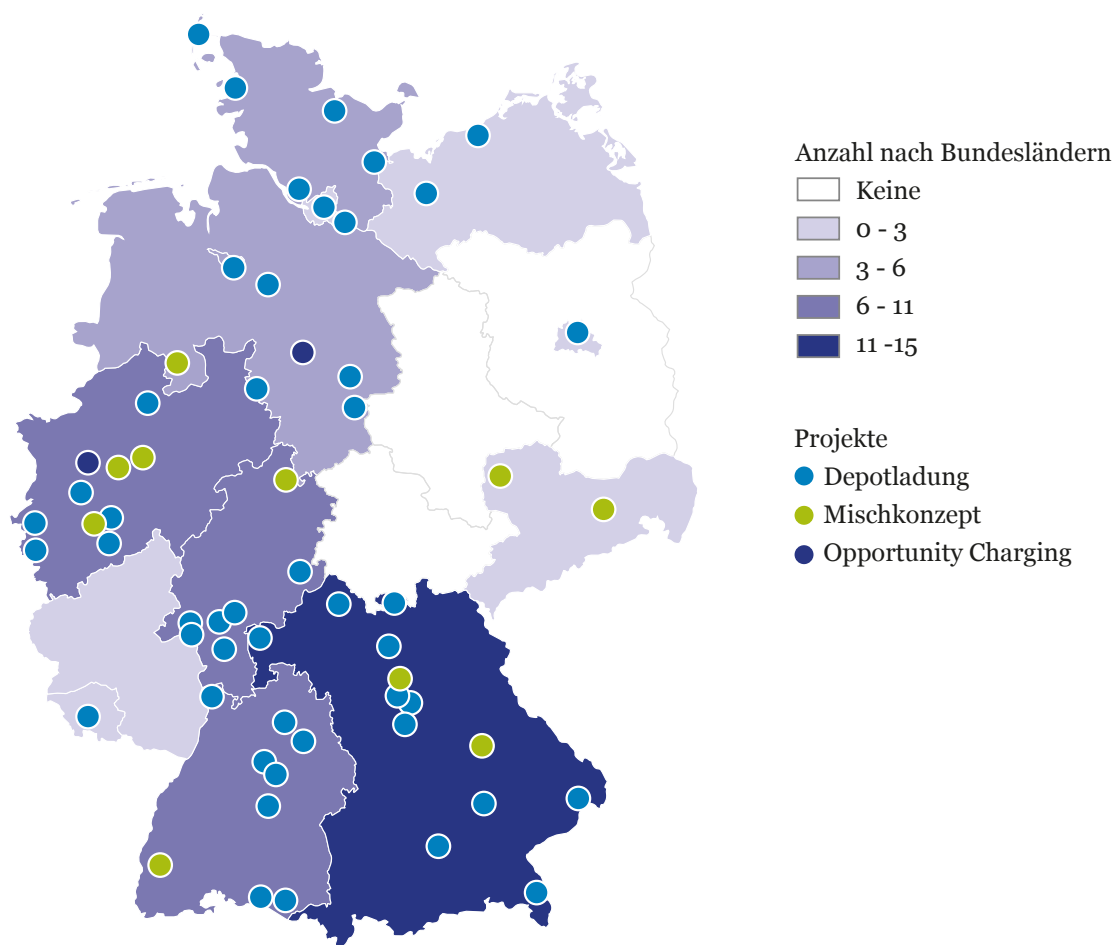
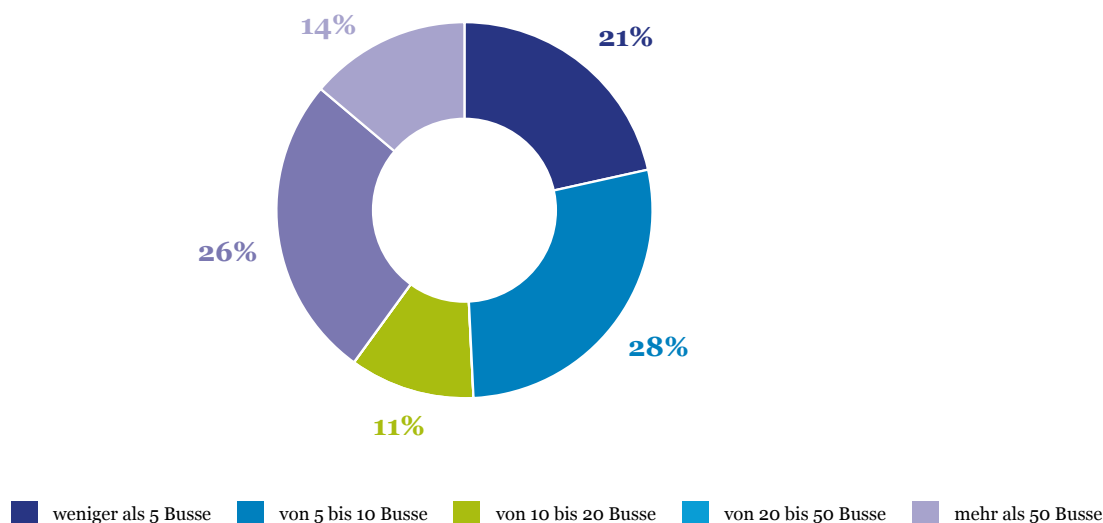


Abbildung 78: Standorte der geförderten Verkehrsunternehmen (Stand 1. November 2023)

Die Anzahl der jeweils geförderten Busse pro Verkehrsunternehmen variiert stark (siehe Abbildung 79). Sie liegt zwischen 1 und 120 Bussen pro Verkehrsunternehmen. Bei rund der Hälfte der Verkehrsunternehmen (49 %) wird nur eine kleine Flotte im Umfang von weniger als 10 Bussen gefördert. Insgesamt haben diese Verkehrsunternehmen jedoch nur einen

Anteil von rund 10 % an den im Zuge des Förderprogramms insgesamt geförderten Bussen. Demgegenüber stellen 14 % der geförderten Verkehrsunternehmen mit größeren Flotten (jeweils mehr als 50 Busse) fast die Hälfte der insgesamt vom BMWK geförderten Busse (45 %).

Anteil der Verkehrsunternehmen nach Anzahl geförderter Busse



Anzahl an geförderten Bussen je Verkehrsunternehmen

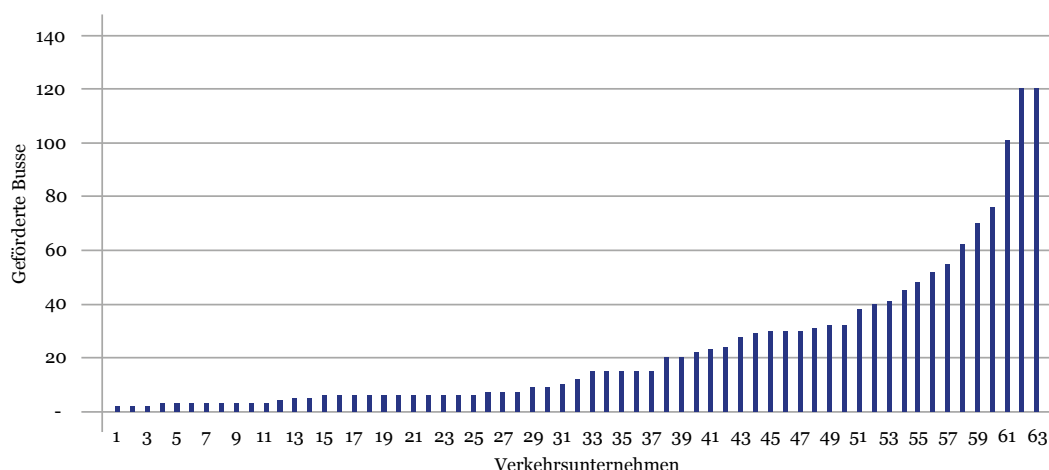
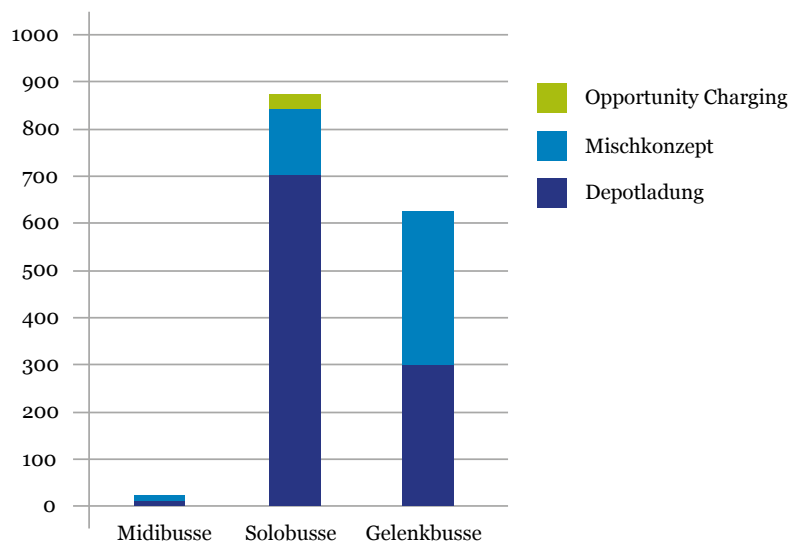


Abbildung 79: Verteilung und Anzahl der geförderten Busse

Mit Blick auf die Gefäßgrößen der Busse zeigt sich, dass überwiegend Solo- und Gelenkbusse gefördert werden (872 bzw. 626 Busse), jedoch nur wenige Midibusse (22 Busse). Damit sind gegenüber dem Fahrzeugangebot die Midibusse deutlich unterrepräsentiert (vergleiche Kapitel 2.2.2). Auffällig ist zudem, dass die Solobusse überwiegend (81 %) als Depotlader eingesetzt werden, während Gelenkbusse häufiger (52 %) auch als Mischkonzept betrieben werden. Das reine Opportunity Charging (Gelegenheitsladen)

spielt in den geförderten Projekten dagegen nur eine untergeordnete Rolle und wird bei weniger als 3 % der Solobusse angewendet (siehe Abbildung 80). Bezüglich der geförderten Ladeinfrastruktur zeigt sich eine deutliche Dominanz der Normalladepunkte. Nur knapp 7 % der Ladepunkte sind als Schnellladepunkte vorgesehen. Sie werden mehrheitlich (82 %) bei den Mischkonzepten eingesetzt, während bei den Normalladepunkten die Depotladung mit knapp 82 % dominiert.

Anzahl Busse nach Größenklasse und Konzept



Anzahl Ladepunkte nach Typ und Konzept

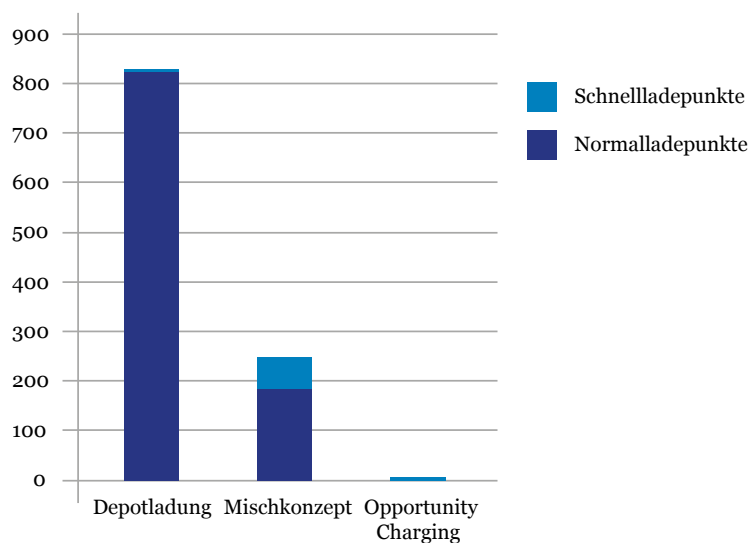


Abbildung 80: Anzahl geförderter Busse und Ladepunkte nach Ladekonzept

Abbildung 81 zeigt, dass die ersten geförderten Projekte in den Jahren 2018 und 2019 gestartet sind. Eine große Anzahl weiterer Projekte wurde aber erst im Laufe des Jahres 2020 begonnen. Nach den Plan-

daten wurden einige Projekte bereits in den Jahren 2022 und 2023 abgeschlossen. Einige Projekte laufen dagegen auch noch über das Jahr 2023 hinaus und werden erst 2024 beendet.

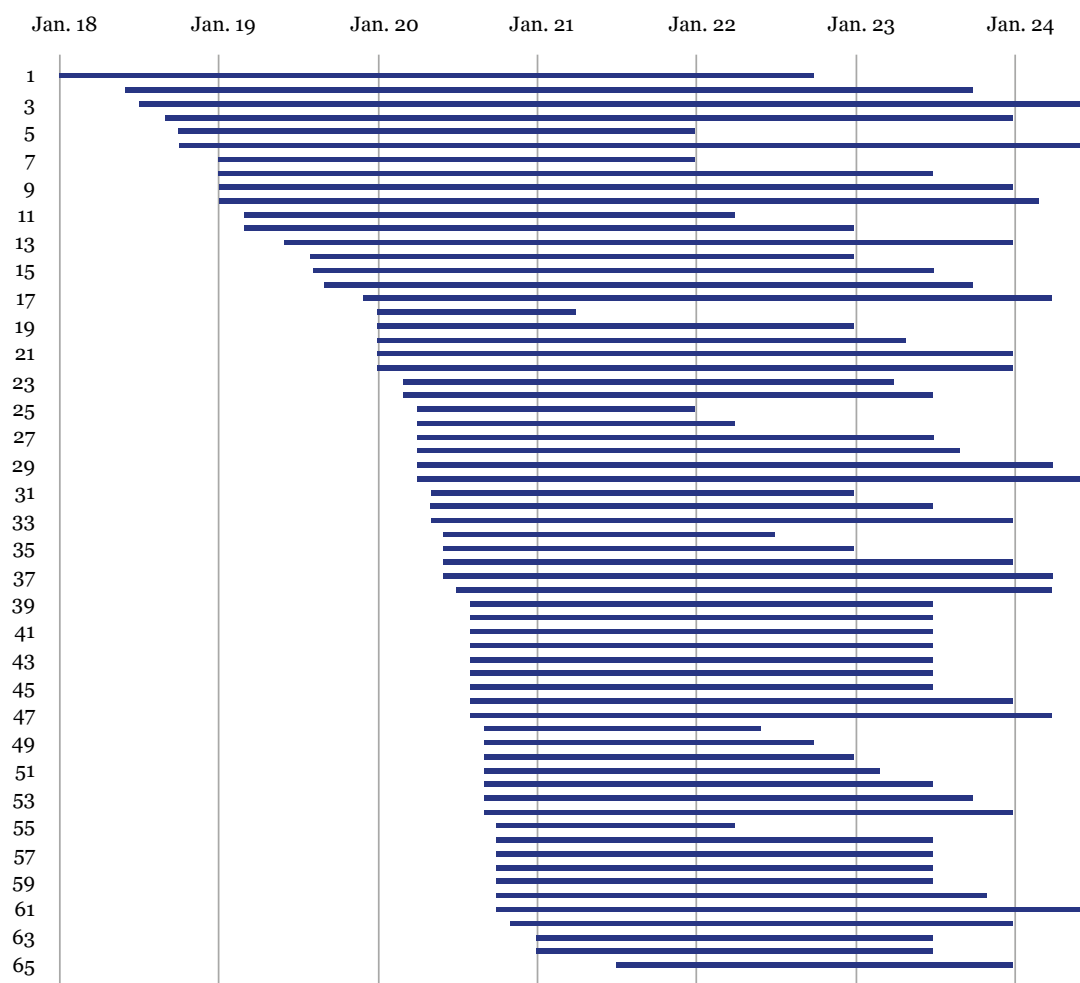


Abbildung 81: Projektlaufzeiten nach Verkehrsunternehmen

3.1.1.2 Stammdaten der Busse

Neben den Stammdaten der Projekte wurden zudem auch die Stammdaten der Busse erhoben. Zusätzlich zu Informationen über die Hersteller und Modelle wurde eine große Bandbreite an technischen Daten erhoben (z. B. Akkukapazität, Zellchemie, Ladekonzept, max. Ladeleistung). Die Daten geben eine gute Übersicht der aktuellen Betriebspraxis, insbesondere zu Konfiguration und Ausstattung der Elektrobusse. Zusätzlich sind die Informationen eine wichtige Grundlage für die Auswertung der Betriebsdaten (Kapitel 3.1.2.1), die damit detailliert nach Bustyp, Batteriekapazität und technischen Eigenschaften

untersucht werden können, und fließen teilweise als Eingangsparameter in die ökologische Bewertung ein (Kapitel 3.2.1).

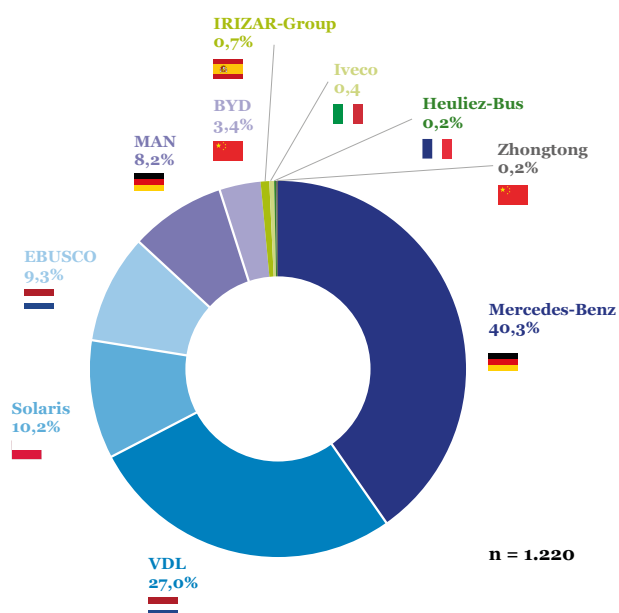
Zu den Stammdaten der geförderten Busse und Ladeinfrastruktur haben zum 1. Dezember 2023 insgesamt 50 Verkehrsunternehmen Daten zu insgesamt 1.220 Bussen und 1.012 Ladepunkten bereitgestellt. Die nachfolgenden Auswertungen zu den Stammdaten beruhen allein auf Basis des genannten Teilausschnittes. Sie repräsentieren damit einen Großteil der geförderten Busse, stellen jedoch keine Vollerhebung dar.

3.1.1.2.1 Hersteller und Modelle

Die geförderten Busse kommen von insgesamt zehn Busherstellern aus sieben Ländern (siehe Abbildung 82). Solobusse dominieren die Stichprobe mit einem Anteil von 56 % gegenüber den Gelenkbussen mit einem Anteil von 43 % und den Midibussen mit 1 %. Die Hersteller Mercedes-Benz (EvoBus) und VDL stellen den größten Anteil der Flotte mit insgesamt 492 bzw. 330 Bussen (40 % bzw. 27 %). Mercedes-Benz (EvoBus) dominiert dabei das Segment der Solobusse, während VDL eine höhere Anzahl an Gelenkbussen

in der Stichprobe stellt. Mit Ausnahme weniger Fahrzeuge der beiden chinesischen Hersteller BYD und Zhongtong (Gesamtanteil 4 %) stammen alle weiteren Busse ausschließlich von europäischen Herstellern (Gesamtanteil 96 %). Die beiden deutschen Hersteller MAN und Mercedes-Benz (EvoBus) kommen in Summe auf rund 49 % und stellen somit gut die Hälfte der Stichprobe. Im Vergleich mit dem aktuellen Fahrzeugangebot sind die deutschen und europäischen Hersteller in der Förderung damit deutlich überrepräsentiert (vergleiche dazu Kapitel 2.2.2.2).

Verteilung der Busse nach Hersteller



Anzahl der Busse nach Hersteller und Segment

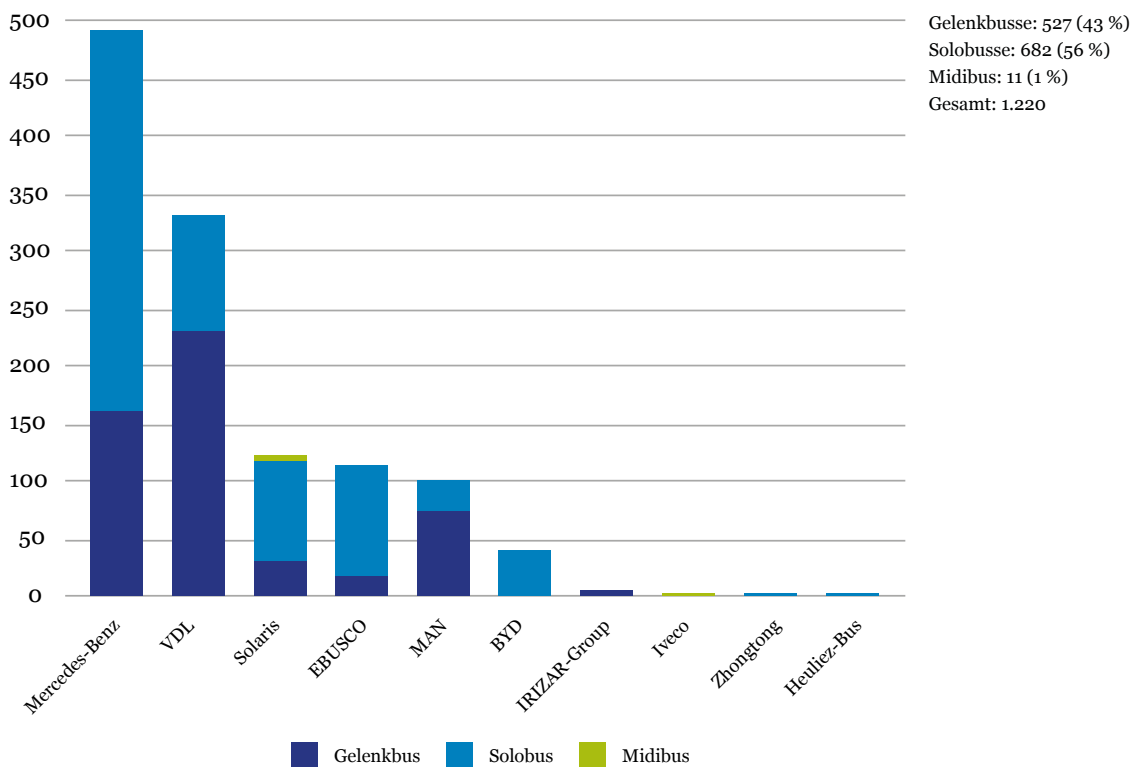


Abbildung 82: Verteilung und Anzahl der Busse nach Hersteller und Segment

Innerhalb der zehn Bushersteller liegen Stammdaten zu insgesamt 22 Busmodellen vor (siehe Abbildung 83). Das verbreitetste Modell ist der Mercedes-Benz (EvoBus) eCitaro in der Ausführung als Solobus mit insgesamt 332 Bussen innerhalb der Strichprobe.

Unter den vier Herstellern mit der aktuell höchsten Anzahl an Bussen (EvoBus, VDL, Solaris, Ebusco) haben alle Hersteller jeweils mindestens ein Solo- und ein Gelenkbusmodell im Produktportfolio.

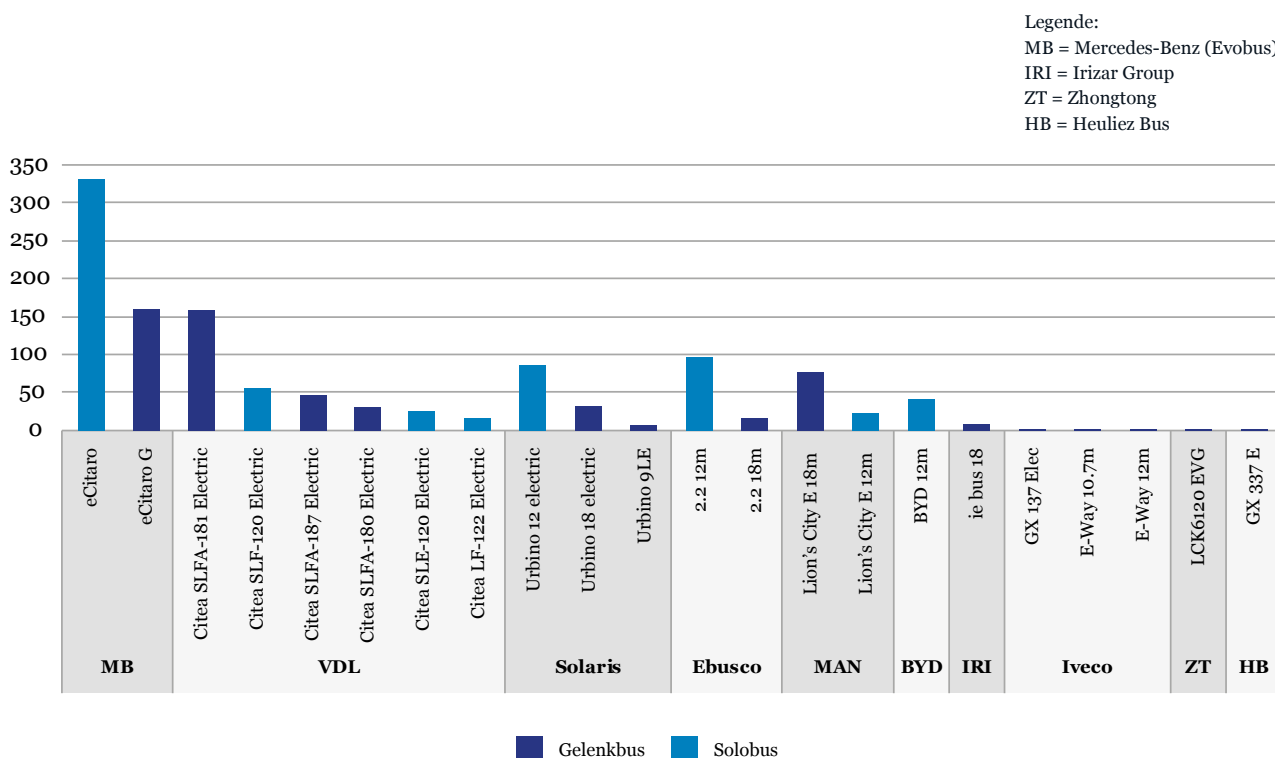


Abbildung 83: Anzahl der Busse nach Hersteller, Modell und Segment

Bei Betrachtung der Anzahl der Busse nach Ladekonzept und Hersteller ist zu erkennen, dass die Busse des Herstellers Mercedes-Benz (EvoBus) überwiegend als Depotlader eingesetzt werden (80 %). Ein weit aus kleinerer Anteil wird hingegen im Mischbetrieb (17 %) und nur wenige Busse als Gelegenheitslader (3 %) betrieben. Beim Hersteller VDL zeigt sich ein

umgekehrtes Bild. Hier wird ein Großteil der Busse im Mischkonzept eingesetzt (81 %) und ein kleinerer Teil als Depotlader (19 %). Bei 6 der 10 Hersteller sind in der Stichprobe ausschließlich Busse enthalten, die als Depotlader zum Einsatz kommen.

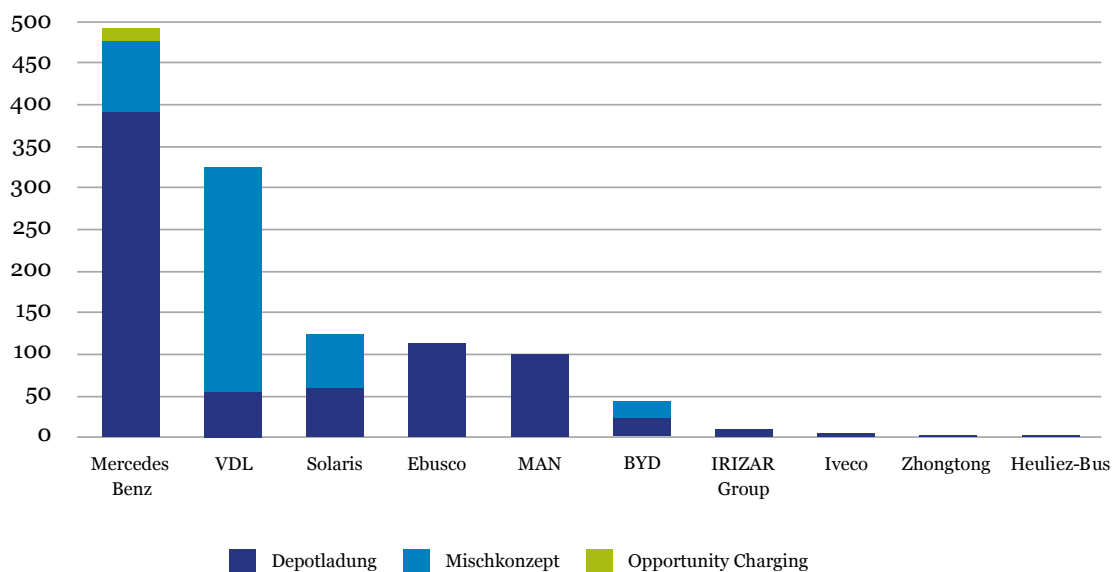


Abbildung 84: Anzahl der Busse nach Ladekonzept und Hersteller

3.1.1.2.2 Ladekonzepte und Akkus

Die Akkukapazität der Busmodelle liegt bei den Midibussen zwischen 278 kWh und 294 kWh, bei den Solobussen zwischen 152 kWh und 525 kWh und bei den Gelenkbussen zwischen 169 kWh und 640 kWh (siehe Abbildung 85). Der Mittelwert bei den Gelenkbussen ist dabei mit 413 kWh etwas höher als bei den Solobussen mit 390 kWh und den Midibussen mit 282 kWh. Zum Datenstand im Dezember 2021 lagen die mittleren Akkukapazitäten für Solobusse mit 350 kWh etwas niedriger und bei Gelenkbussen mit

422 kWh etwas höher als zum aktuellen Berichtszeitpunkt. Dort wo Busmodelle mit verschiedenen Akkukapazitäten in der Datenbank hinterlegt sind, wurden diese in der Abbildung zusätzlich als Spannbreiten dargestellt. Die Stichprobe zeigt, dass inzwischen viele Marktsegmente von verschiedenen Busmodellen abgedeckt werden. Mit der großen Spannbreite der Akkukapazitäten sind zudem auch innerhalb der Solo- und Gelenkbusse heute bereits Elektrobusse für ein breites Einsatzspektrum verfügbar.

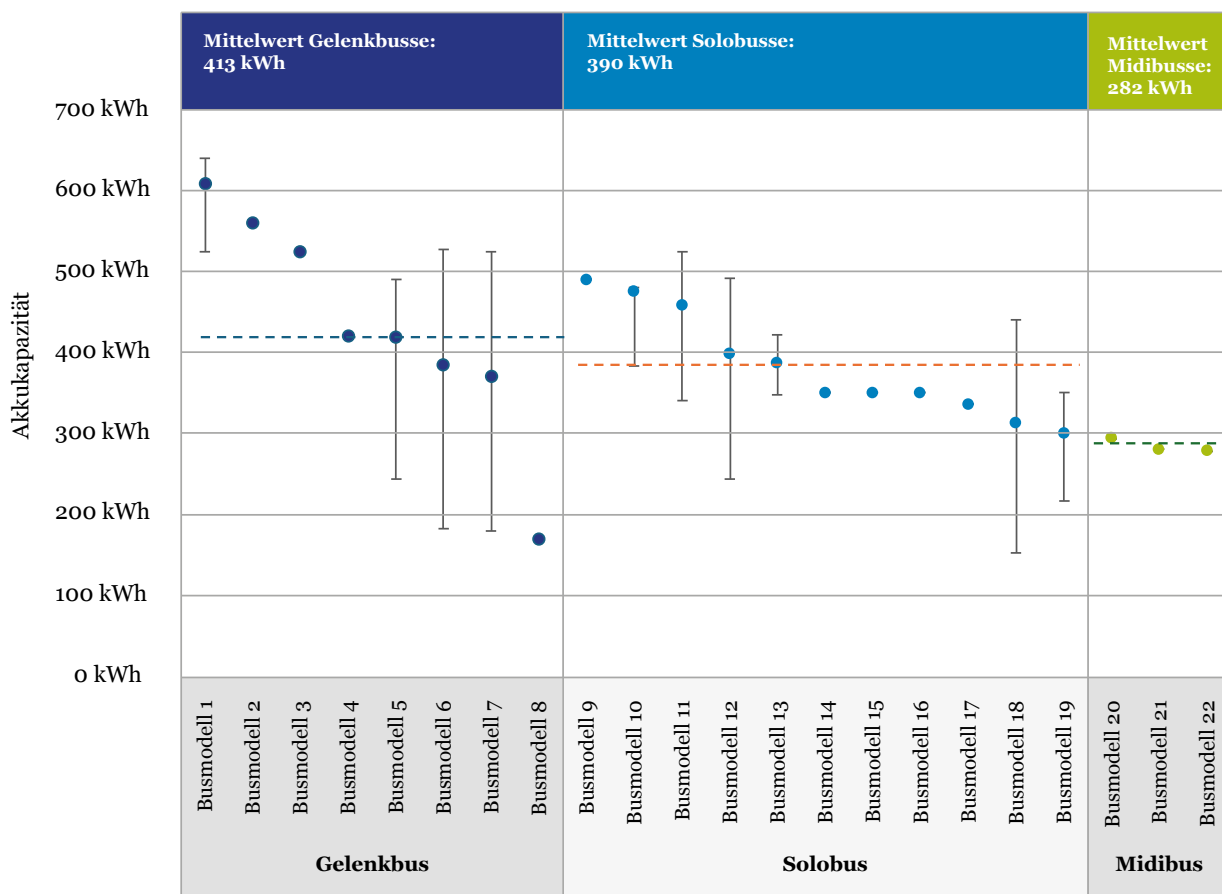


Abbildung 85: Akkukapazität der Busse nach Busmodell

Mit Blick auf die Akkukapazität nach dem Ladekonzept fällt auf, dass bei den Depotladern im Durchschnitt deutlich größere Akkus verbaut werden als bei Bussen, die im Mischkonzept oder als Gelegenheitslader eingesetzt werden. Im Mittel sind die Akkus der Depotlader bei Gelenkbussen rund 230 kWh

und bei den Solobussen rund 109 kWh größer als die der Mischkonzepte. Das Zwischenladen, z. B. an den Haltestellen, ermöglicht es hier den Verkehrsunternehmen wahrscheinlich, Busse mit deutlich kleineren Akkus einzusetzen.

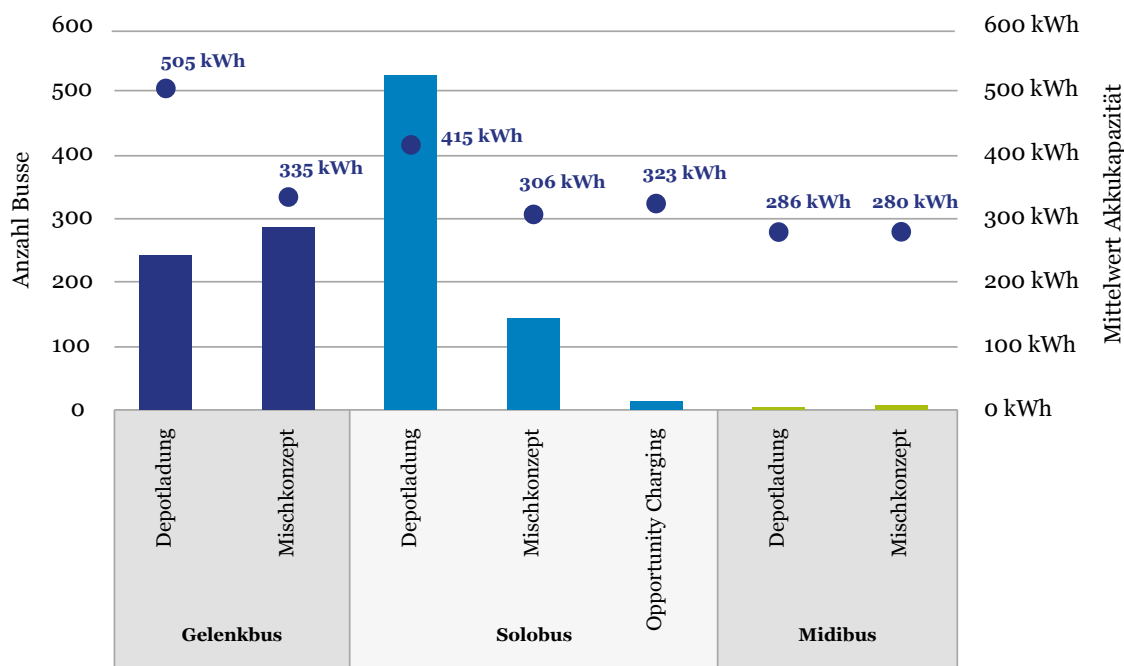


Abbildung 86: Akkukapazität nach Ladekonzept und Bussegment

Die überwiegende Anzahl der Busse in der Stichprobe (57 %) ist mit einem Plug-in-System (typischerweise CCS) als primärem Ladesystem ausgestattet (siehe Abbildung 87). Ein etwas geringerer Anteil (43 %) hat dagegen ein Dockingsystem (typischerweise Schunk), das z. B. auch Opportunity Charging ermöglicht. Da-

bei sind Depotlader häufiger mit Plug-in-Systemen (88 %) und Mischkonzepte häufiger mit Dockingsystemen (96 %) ausgestattet. Beim Gelegenheitsladen kommen in der Stichprobe hingegen ausschließlich Dockingsysteme zum Einsatz.

Verteilung der Busse nach primärem Ladesystem



Verteilung der Busse nach primärem Ladesystem und Ladekonzept

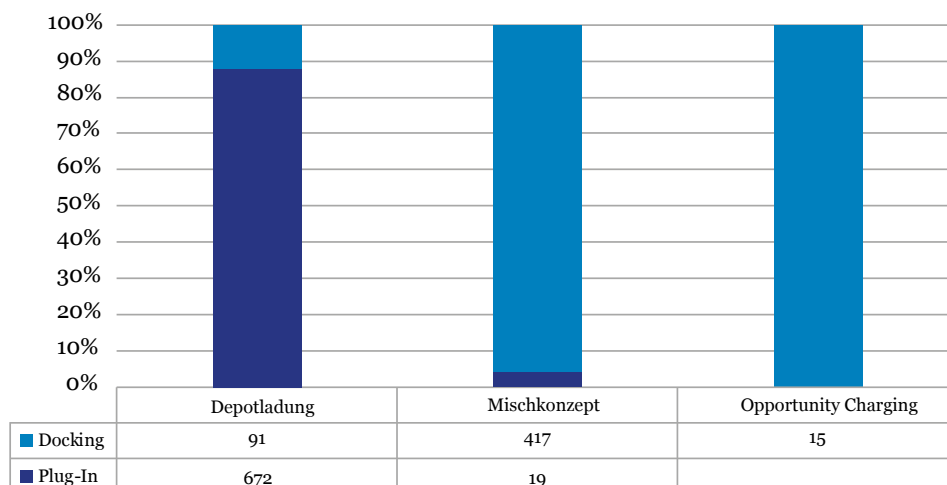


Abbildung 87: Verteilung und Anzahl der Busse nach primärem Ladesystem

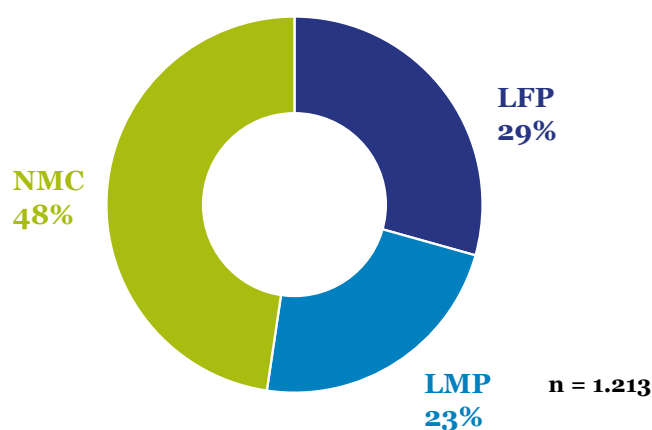
Mit Blick auf die verwendete Zellchemie der Akkus fällt auf, dass die Akkus innerhalb der Stichprobe (Abbildung 88) bei knapp der Hälfte aller Busse NMC-Akkus sind (Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt) (48 %), die andere Hälfte teilen sich LFP- (Lithium-Eisen-Phosphat) und LMP-Akkus (Lithium-Metall-Polymer) mit Anteilen von 29 % bzw. 23 %. Die LMP-Akkus kommen dabei aktuell nur bei Mercedes-Benz (EvoBus) eCitaros zum Einsatz und dieses Fahrzeugmodell macht sowohl bei den Solo- als

auch bei den Gelenkbussen einen großen Teil der Stichprobe aus. In den Stammdaten vom Dezember 2021 lagen die Anteile auf einem ähnlichen Niveau wie zum aktuellen Berichtszeitpunkt (12/2021: NMC 50 %, LFP 31 %, LMP 19 %). Das Verhältnis zwischen NMC- und LFP-Akkus blieb dabei nahezu konstant. Lediglich der Anteil der LMP-Akkus ist von rund 18 % in 2021 auf nun 23 % leicht gestiegen. Dies kann durch die etwas spätere Einführung der LMP-Akkus beim Mercedes-Benz (EvoBus) eCitaro zum Ende

des Jahres 2020 verursacht sein. Bei der Aufteilung der Zellchemie nach dem Ladekonzept zeigt sich, dass beim Depotladen sowohl NMC- (39 %) als auch LMP- (35 %) sowie LFP- (26 %) Akkus zum Einsatz kommen. Bei Bussen, die im Mischkonzept eingesetzt werden, sind hingegen kaum LMP-Akkus im Einsatz (3 %). Dies könnte durch ihre begrenzte Schnellladefähigkeit und den Bedarf der Vorkonditionierung im Depot aufgrund höherer Betriebstemperaturen des Akkus bedingt sein. Dafür bieten sie die höchste Energiedichte unter den drei Akkutypen (Fraunhofer ISI 2022). Bei den Mischkonzepten dominieren dafür die NMC-Akkus (61 %), wobei auch eine große Anzahl

an Bussen mit LFP-Akkus ausgestattet ist (36 %). NMC bezeichnet die Kathodenmaterialien, die hier einen guten Kompromiss aus Leistungsfähigkeit, Energiedichte und Kosten darstellen. LFP-Kathoden haben die beste thermische und chemische Stabilität unter den drei Varianten und sind damit in allen Betriebszuständen sehr sichere Batterien. Der Nachteil ist dagegen die im Vergleich niedrigste Energiedichte (Batterieforum Deutschland 2023). Bei der geringen Anzahl an Bussen, die als Gelegenheitslader eingesetzt werden (15 Busse), sind ausschließlich NMC-Akkus verbaut.

Verteilung der Busse nach Zellchemie



Verteilung der Busse nach Zellchemie und Ladekonzept

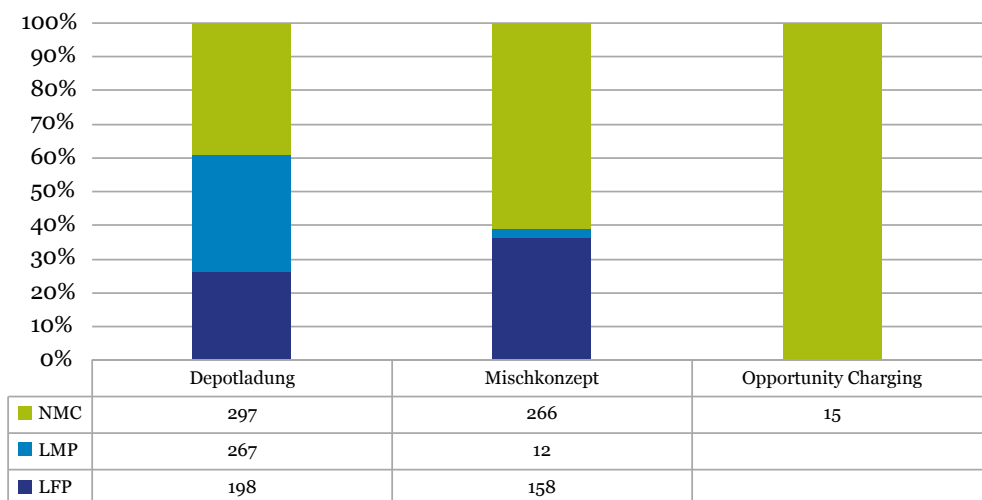


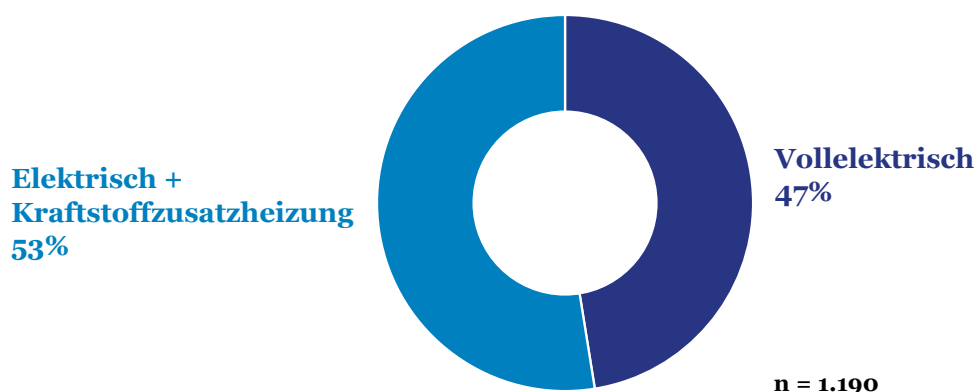
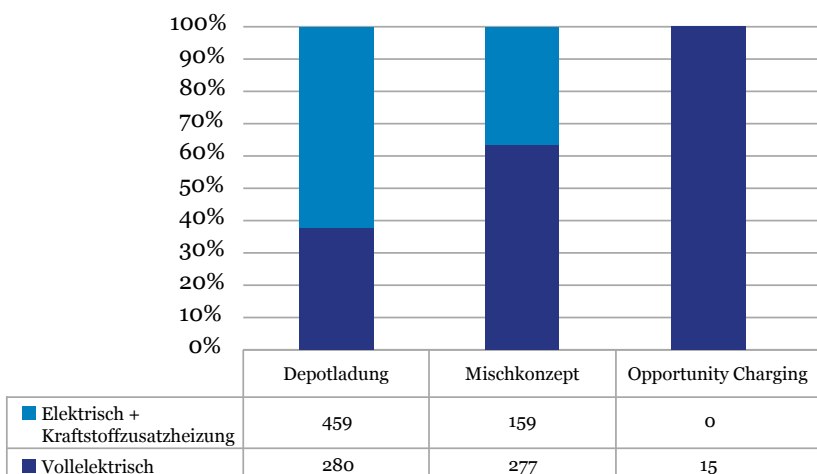
Abbildung 88: Verteilung und Anzahl der Busse nach Zellchemie

3.1.1.2.3 Heizkonzepte

Für die Auswertung der eingesetzten Heizkonzepte der Busse wurde zunächst eine Aggregation der Angaben in die beiden Kategorien vollelektrische Heizsysteme und elektrische Heizsysteme mit Kraftstoffzusatzheizung vorgenommen. Unter den vollelektrischen Heizsystemen sind dabei alle verfügbaren Kombinationen der Technologien Wärmepumpen, Widerstands- und/oder PTC-Heizungen zusammengefasst. Mit Ausnahme von 15 Bussen sind alle übrigen in der Stichprobe enthaltenen 1.175 Busse jedoch bereits heute mit einer Wärmepumpe ausgestattet. Unter der Kategorie elektrische Heizsysteme mit Kraftstoffzusatzheizung werden alle Systeme zusammengefasst, die zu den elektrischen Technologien zusätzlich noch über eine Kraftstoffzusatzheizung verfügen. 47 % der Busse der Stichprobe verfügen nach dieser Differenzierung über ein vollelektrisches Heizsystem und

53 % der Busse sind zusätzlich noch mit einer Kraftstoffzusatzheizung ausgestattet (siehe Abbildung 89). Im Vergleich zu den Auswertungen im Dezember 2021 ist allenfalls eine sehr leichte Tendenz hin zu vollelektrischen Heizsystemen zu erkennen, da der Anteil im Jahr 2021 mit 45 % nur um 2 Prozentpunkte niedriger als zum aktuellen Berichtszeitpunkt lag.

Zudem ist der Anteil an Bussen mit vollelektrischen Heizsystemen bei Mischkonzepten mit 64 % etwas höher als bei Depotladern mit 38 %. Durch die Nachlademöglichkeit auf der Strecke im Mischkonzept sind die Busse im Vergleich zur reinen Depotladung also weniger stark auf eine Kraftstoffzusatzheizung angewiesen. Bei einer zusätzlichen Betrachtung der Heizkonzepte nach Bussegment liegt der Anteil der Busse mit vollelektrischen Heizsystemen bei Solo- wie auch bei Gelenkbussen mit jeweils 48 % gleichauf.

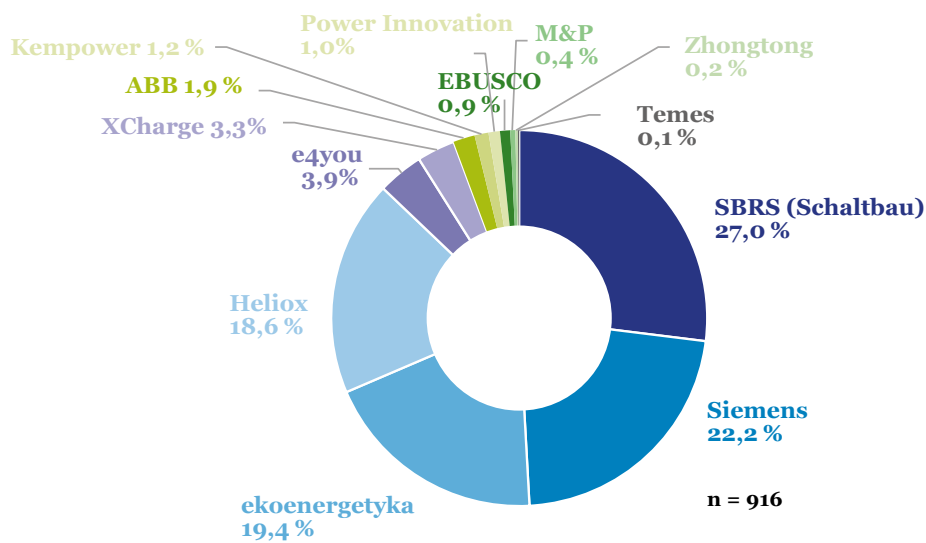
Verteilung der Busse nach Heizkonzept**Anzahl und Verteilung der Busse nach Heiz- und Ladekonzept****Abbildung 89: Verteilung und Anzahl der Busse nach Heizkonzept****3.1.1.3 Stammdaten der Ladestationen**

Zum 1. Dezember 2023 lagen die Stammdaten von 916 Ladestationen mit insgesamt 1.012 Lade-punkten vor. Dabei sind 820 Ladestationen nur mit einem Ladepunkt und weitere 96 Ladestationen jeweils mit zwei Ladepunkten ausgestattet. Die Stichprobe umfasst 56 verschiedene Modelle von 13 Herstellern.

Die Hersteller der Ladestationen innerhalb der Stichprobe stammen aus sechs Ländern, wobei knapp die Hälfte der Hersteller aus Deutschland stammt (siehe

Abbildung 90). Die vier Hersteller SBRS (Schaltbau), Siemens, ekoenergetyka und Heliox liefern zusammen insgesamt 87 % der Ladestationen. Die übrigen zehn Hersteller haben jeweils einen Anteil von unter 5 %. Insgesamt 97 % der Ladestationen werden von Herstellern aus Europa hergestellt, die übrigen 3 % der Ladestationen von Herstellern aus China. Deutsche Hersteller liefern aktuell rund 55 % der in den Stammdaten erfassten Ladestationen. Der niederländische Hersteller Heliox wurde jedoch im Januar 2024 von Siemens übernommen (Siemens AG 2024).

Verteilung der Ladestationen nach Hersteller



Anzahl Ladeinfrastruktur nach Hersteller

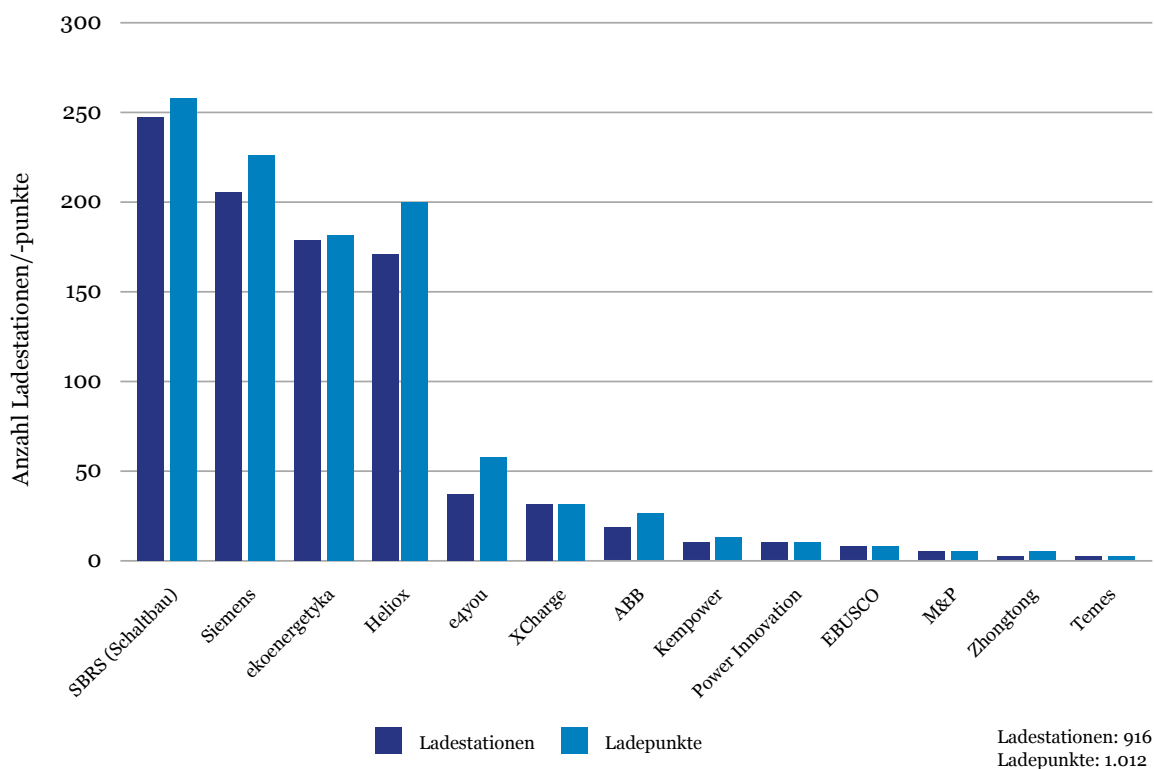
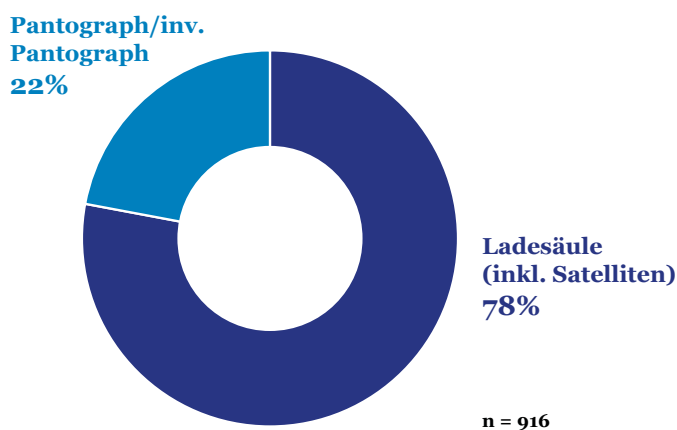


Abbildung 90: Verteilung und Anzahl der Ladeinfrastruktur nach Hersteller

Abbildung 91 zeigt, dass Ladesäulen mit 78 % den größten Anteil ausmachen, während Ladestationen mit Pantograf einen deutlich geringeren Anteil haben. Da Pantografen gegenüber Ladesäulen häufig auch zum kurzen Zwischenladen auf der Strecke eingesetzt werden, liegt die maximale Ladeleistung der Ladestationen mit Pantografen im Durchschnitt mit

knapp 200 kW höher als bei Ladesäulen mit durchschnittlich rund 140 kW. Pantografen decken dabei auch eine deutlich größere Bandbreite und Ladeleistung zwischen 60 kW und 600 kW ab, während diese bei Ladesäulen mit Werten zwischen 40 kW und 320 kW begrenzt bleibt (siehe Abbildung 92).

Verteilung der Ladestationen nach Segment



Anzahl und Ladeleistung der Ladestationen nach Segment

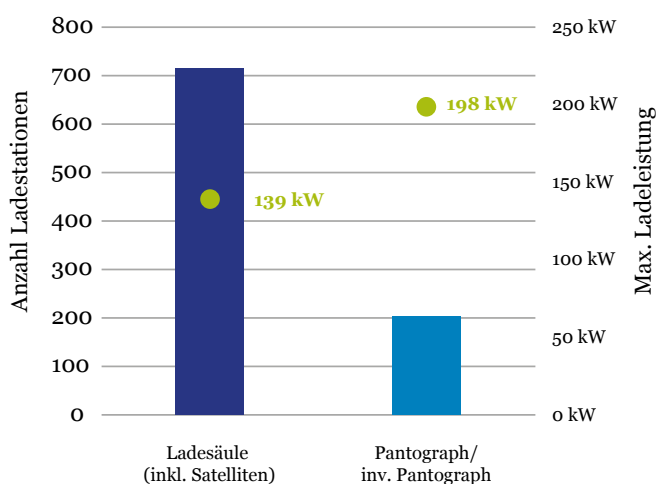


Abbildung 91: Verteilung und Anzahl der Ladestationen nach Segment

Die Ladestationen mit Pantografen kommen dabei von insgesamt sechs Herstellern, die Ladesäulen von insgesamt 11 Herstellern (siehe Abbildung 92). Die vier Hersteller SBRS (Schaltbau), ekoenergetyka,

e4you und Siemens bieten aktuell für beide Segmente Ladestationen an. Alle weiteren Hersteller kommen nur innerhalb eines Segments vor.

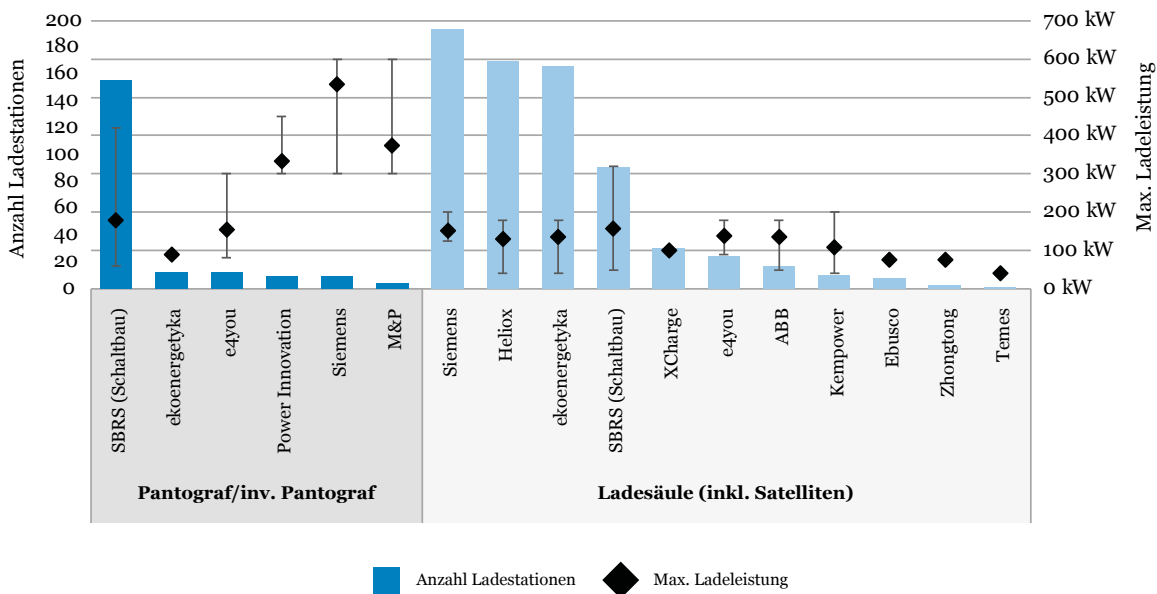


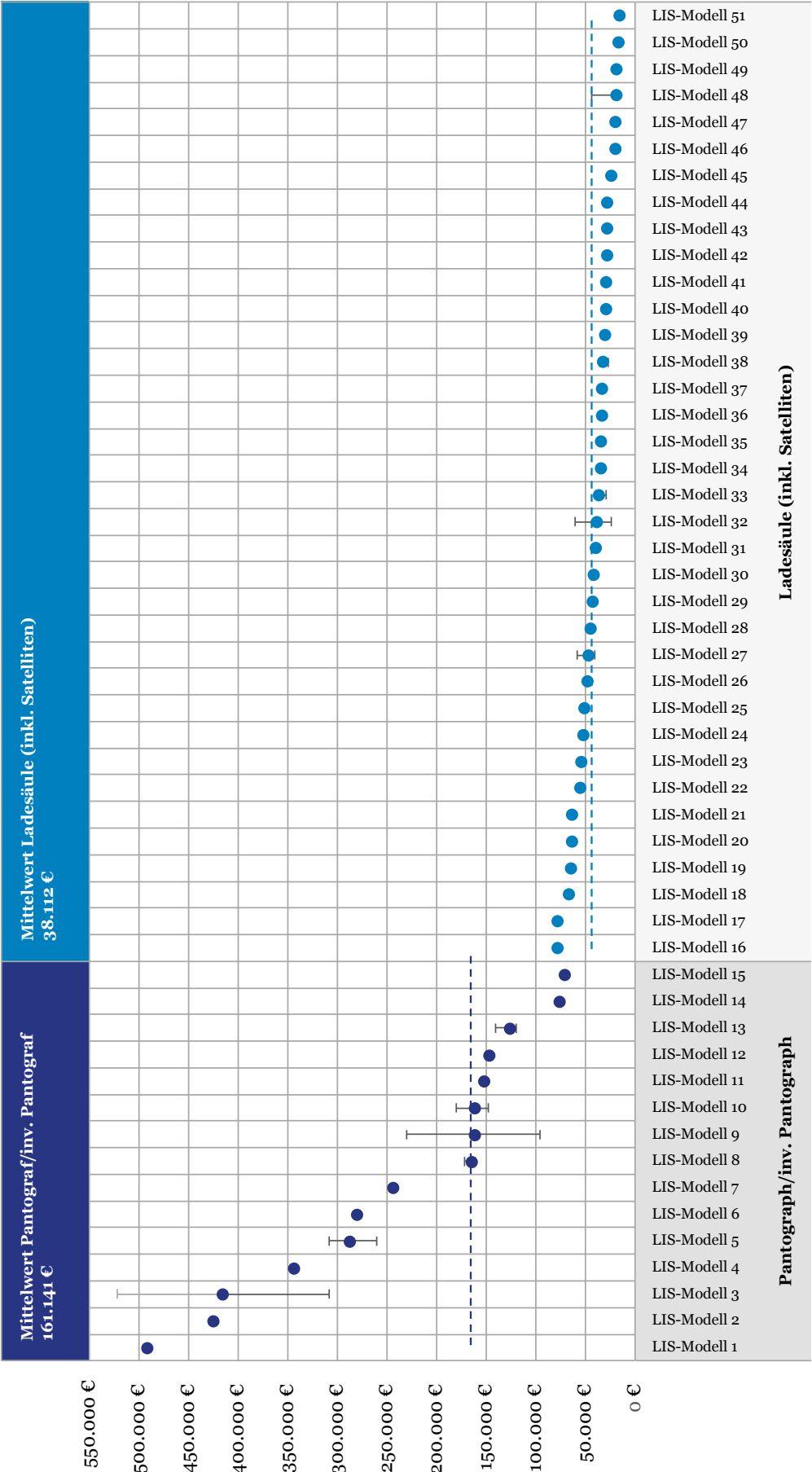
Abbildung 92: Anzahl der Ladestationen nach Hersteller und Segment

In Abbildung 93 sind die Anschaffungskosten der Ladestationen nach Segment und Modell dargestellt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich lediglich um die Kosten der Ladestation selbst handelt. Zusätzliche Kosten, z. B. für Tiefbauarbeiten, Inbetriebnahme und Netzanschluss oder Wartungsverträge, sind darin in der Regel nicht enthalten. Wie auch bei den Bussen variieren die Preise zwischen den Modellen teilweise sehr stark, weshalb neben der technischen Ausstattung, wie z. B. max. Ladeleistung und Anzahl an Ladepunkten, vermutlich zusätzliche Faktoren wie z. B. die Ausstattung oder die Losgröße einen starken Einfluss auf die Preisgestaltung haben.

Die Kosten für Ladestationen mit Pantografen liegen im Bereich zwischen rund 70.000 € und rund 520.000

€, mit einem Mittelwert von rund 160.000 €. Die Ladestationen mit den höchsten Kosten weisen dabei teilweise zwei Ladepunkte auf. Die Kostenunterschiede innerhalb der Ladestationen mit Pantografen können zudem durch die unterschiedlich hohe maximale Ladeleistung erklärt werden. Bei den Ladesäulen liegen die Anschaffungskosten zwischen rund 16.000 € und knapp 80.000 €, mit einem Mittelwert von rund 38.000 €. Sie liegen damit bis auf wenige Ausnahmen unter den Kosten der Ladestationen mit Pantografen und sind im Mittel rund 120.000 € günstiger. Im Vergleich zu den Kosten im aktuellen Erhebungszeitraum lagen die durchschnittlichen Kosten bei den Auswertungen im Dezember 2021 bei den Ladesäulen mit rund 38.000 € auf demselben Niveau, bei den Pantografen hingegen mit 253.000 € noch höher.

Abbildung 93: Anschaffungskosten der Ladestationen nach Segment



3.1.2 Betriebsdatenauswertung – Erkenntnisse über den Betrieb und Einsatz der geförderten Busse und Ladeinfrastruktur

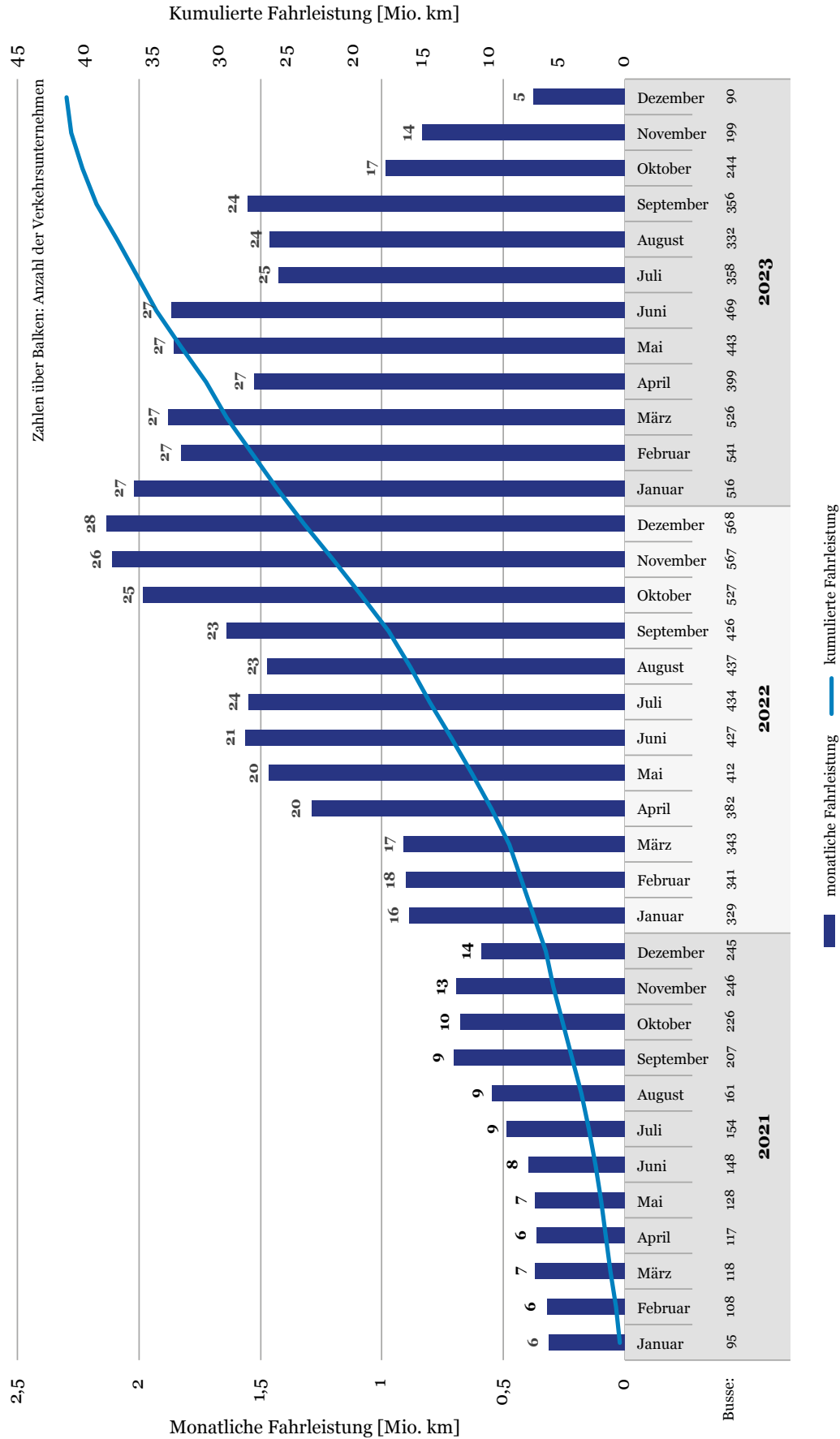
Für die Auswertung der Betriebsdaten lagen bis Ende 2023 insgesamt Daten von 37 Verkehrsunternehmen und von insgesamt 901 Bussen vor. Aufgrund der Hemmnisse bei der Datenauswertung (siehe auch Kapitel 3.1.2.3 und 5.6.5) konnte von den 901 Bussen jedoch in den folgenden Auswertungen jeweils nur eine wechselnde Teilmenge berücksichtigt werden. Bei den Betriebsdaten der Ladesäulen haben 15 Förderprojekte Datensätze zu 586 Ladepunkten in unterschiedlicher Qualität geliefert, sodass eine belastbare Auswertung nur für einen Teil der Daten möglich ist. Allerdings bietet auch die verbleibende Teilmenge eine bisher einmalige Datenbasis für wertvolle Auswertungen zur Einführung von E-Bussen. Im Vergleich zur ersten Begleitforschung im Auftrag des BMDV zur Einführung emissionsfreier Antriebe im ÖPNV 2019–2021 (NOW GmbH 2021a) kann auf Betriebsdaten von fast siebenmal so vielen Bussen mit mehr als dem Siebenfachen an Fahrzeugkilometern zurückgegriffen werden. Besonders die Betriebsdaten für die Ladeinfrastruktur stellen eine Neuerung dar und ermöglichen wichtige Rückschlüsse auf den Fahrzeugeinsatz.

3.1.2.1 Betriebsdaten der Busse

3.1.2.1.1 Laufleistungen

Aus den zurückgelegten Kilometern lassen sich wichtige Schlüsse zum Einsatz der Elektrobusse im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ziehen. Dies soll die Frage beantworten, ob sich durch den Technologiewechsel auch langfristige Änderungen im Betrieb der Verkehrsunternehmen ergeben, bspw. durch einen Fahrzeugmehrbedarf. Ausgewertet werden konnten die Betriebsdaten von 901 Bussen in 37 Verkehrsbetrieben mit einer Gesamtleistung von 41,4 Mio. km, wovon 26,4 Mio. km von Solobussen, 13 Mio. km von Gelenkbussen und 37.000 km von Midibussen zurückgelegt wurden. Für die verbleibenden 1,9 Mio. km lag keine Information zum Bustyp vor. 27,9 Mio. km gehen dabei auf Fahrzeuge zurück, die ausschließlich im Depot geladen werden, und 13,4 Mio. km auf Gelegenheitslader, denen per Pantograf auch an Endhaltestellen Energie zugeführt werden kann. Abbildung 94 zeigt, dass die Datengrundlage bis Ende 2022 stetig gewachsen ist, für das Jahr 2023 insgesamt aber wieder weniger Betriebsdaten zur Verfügung gestellt wurden. Die Daten der 901 Busse sind allerdings nie für den gleichen Zeitraum verfügbar. Maximal standen Daten von 568 Bussen in einem Monat zur Verfügung (Dezember 2022), was die Heterogenität der bereitgestellten Daten zeigt.

Abbildung 94: Entwicklung der Fahrleistung, der Anzahl der Busse und Verkehrsunternehmen in der E-Bus-Betriebsdatenbank ifeu



Die ausgewerteten Betriebsdaten stammen dabei zum Großteil von Mercedes-Benz (eCitaro) (Abbildung 95), da diese Busse auch am häufigsten in der Gesamtflotte vorkommen (siehe auch Abbildung 82).

Weiterhin konnten noch viele Betriebsdaten von Bussen der Hersteller VDL und Solaris im Umfang von knapp 15 Mio. Fahrzeugkilometer ausgewertet werden.

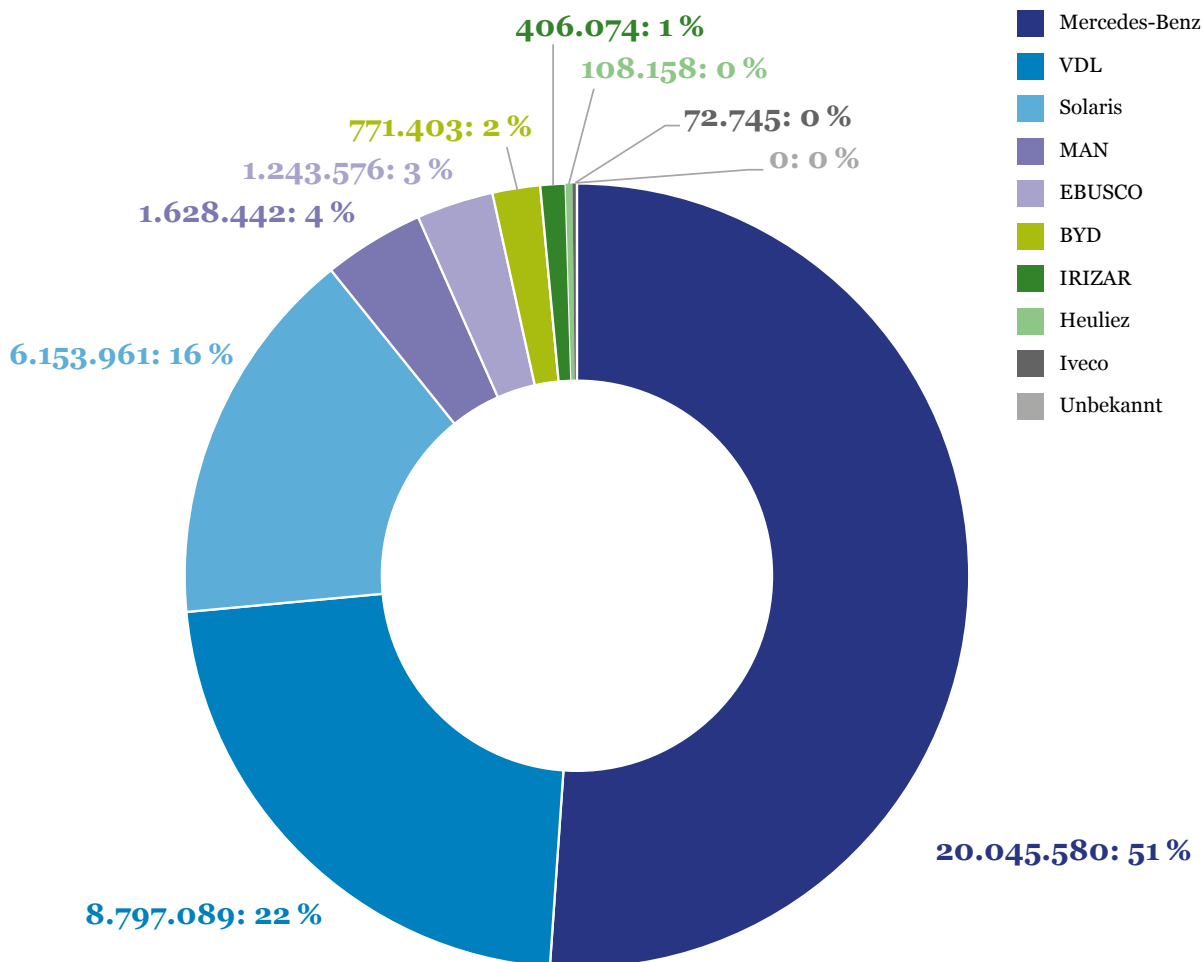


Abbildung 95: Gesamtlauflängen nach Hersteller in der E-Bus-Betriebsdatenbank ifeu

Da die Ausgangsdaten teilweise nicht nach Betriebstagen, sondern nach einzelnen Fahrten aggregiert sind, wurden zur Ermittlung einer mittleren Tagesfahrleistung (Abbildung 96) die Fahrdistanzen eines Monats addiert und dann durch die Anzahl der Betriebstage geteilt. Die Minimal-/Maximalwerte¹⁷²

jedes Monats entsprechen damit nicht dem niedrigsten bzw. höchsten Tageswert eines Busses, sondern zeigen den Wert des Busses mit dem höchsten/niedrigsten Tagesdurchschnitt über einen Monat. Um keine Busse außerhalb des Regelbetriebs auszuwerten, wurden nur Busse berücksichtigt, bei denen

aus mindestens 6 Tagen Daten vorlagen. Bei weniger Aktivitätstagen wurde davon ausgegangen, dass kein Regelbetrieb stattfand.

Die durchschnittliche Tageslaufleistung der Busse liegt im Mittel bei 152 km und steigt jährlich an: Von 135 km im Jahr 2021 über 149 km (2022) auf 172 km im Jahr 2023. Im Jahr 2022 gab es die geringsten jahreszeitlichen Schwankungen, die 2023 wieder zugenommen haben. Auffallend ist die große Bandbreite: Einige Busse haben Tageslaufleistungen

von weniger als 50 km, während andere, vor allem im Jahr 2023, zwischen 250 und 350 km erreichen. Der Einsatz der neuen Busse nimmt also über die Zeit mit wachsender Erfahrung zu und die täglichen Umläufe nähern sich denen von Dieselmotoren (ca. 150 km¹⁷³) an oder übertreffen diese sogar, wie im Jahr 2023.¹⁷⁴ Diese Beobachtung deckt sich auch mit der rückläufigen Unsicherheit der Akteure mit den technischen Eigenschaften der neuen Antriebstechnologie (Abschnitt 2.2.8.2).

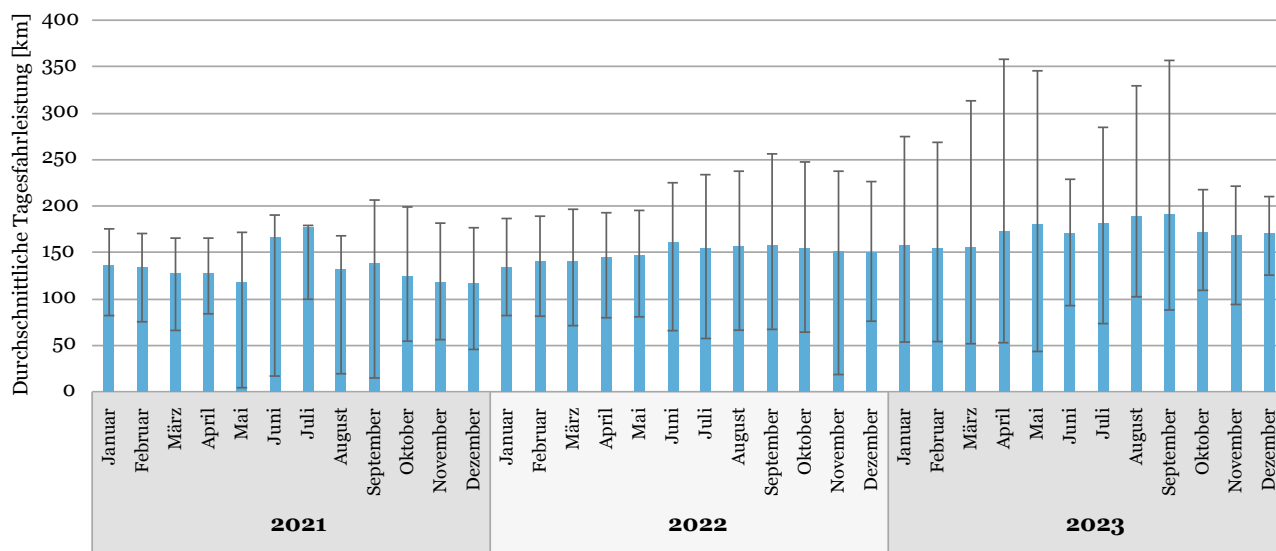


Abbildung 96: Durchschnittliche tägliche Fahrleistung je Bus mit 5. und 95. Perzentil

Für einen besseren Eindruck der täglichen Fahrleistung sind in Abbildung 97 die durchschnittlichen täglichen Fahrleistungen eines einzigen Busmodells aufgetragen, für das in der Datenbank viele Fahrten über einen langen Zeitraum existieren. Hier wird der Anstieg der täglichen Fahrleistungen noch deutlicher: Diese steigt von 104 km (2021) über 143 km (2022) auf 164 km (2023). Zum Vergleich: Bei einer Netto-

Akkukapazität von 80 % und einem durchschnittlichen Verbrauch ergäbe sich für dieses Modell eine rechnerische Reichweite von durchschnittlich 270 km, die im Vergleich zur durchschnittlichen Tagesfahrleistung selten ausgeschöpft wird. Die jahreszeitlichen Schwankungen werden bei der isolierten Betrachtung dieses Busmodells ebenfalls deutlicher.

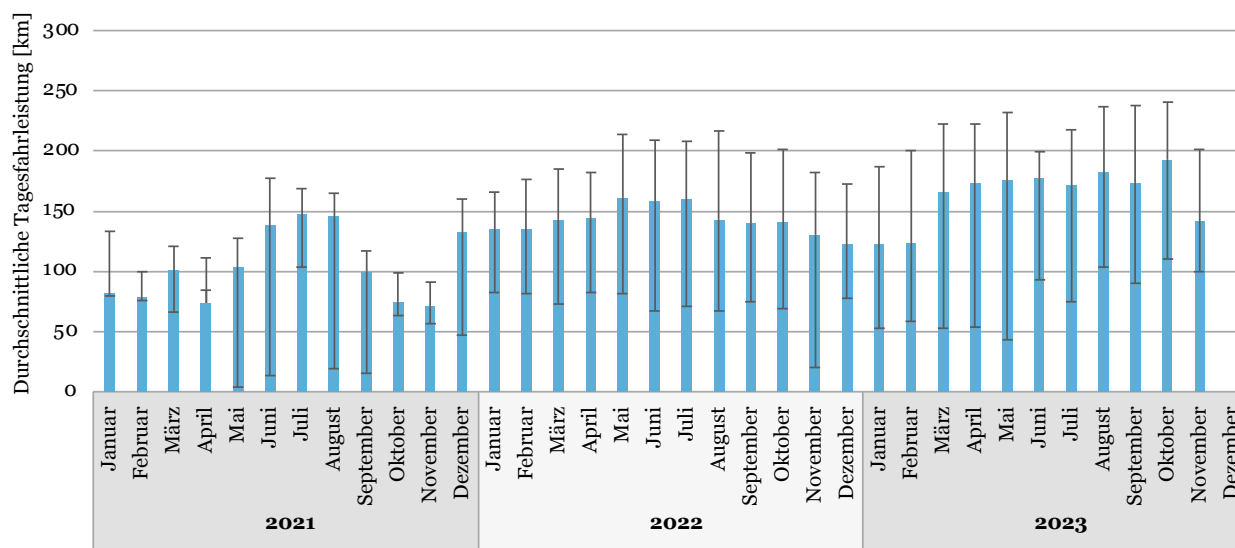


Abbildung 97: Durchschnittliche tägliche Fahrleistung eines Busmodells (ca. 270 km Reichweite) mit 5. und 95. Perzentil

Rückschlüsse auf die tatsächlichen Jahresfahrleistungen auf Basis aller Busse lassen sich nur begrenzt ziehen, da nur für einen Teil der 901 Busse Daten für volle Kalenderjahre vorliegen (siehe Abbildung 94). Daher wurde für die Ermittlung einer repräsentativen mittleren Jahresfahrleistung der monatliche Durchschnitt der jeweils verfügbaren Busse für jeden Monat eines Kalenderjahres gebildet und dieser wiederum über die jeweiligen Kalenderjahre gemittelt. Die sich daraus ergebende mittlere Jahresfahrleistung lag hier im Jahr 2021 bei etwa 40.600 km mit einer Bandbreite zwischen 20.000 km und 50.000 km, im Jahr 2022 bei 36.240 km mit einer Bandbreite zwischen 15.000 km und 57.000 km und im Jahr 2023

bei gut 55.000 km mit einer Bandbreite zwischen 35.000 km und 65.000 km. Um unplausible Ausreißer herauszunehmen, wurden wieder das 5. und das 95. Perzentil betrachtet. Die Stichprobe unterscheidet sich dabei jedoch zwischen den Jahren, sodass die Werte nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Es lässt sich vor allem in 2023 der Trend zu einer höheren Fahrleistung der Busse beobachten. Auch wenn nicht ganz auszuschließen ist, dass in 2023 vor allem Daten von einzelnen Verkehrsunternehmen mit tendenziell höherer Fahrleistung vorliegen, nähern sich die Jahresfahrleistungen der E-Busse mit der Zeit denen konventioneller Busse an, die zwischen 50.000 und 60.000 km liegen.

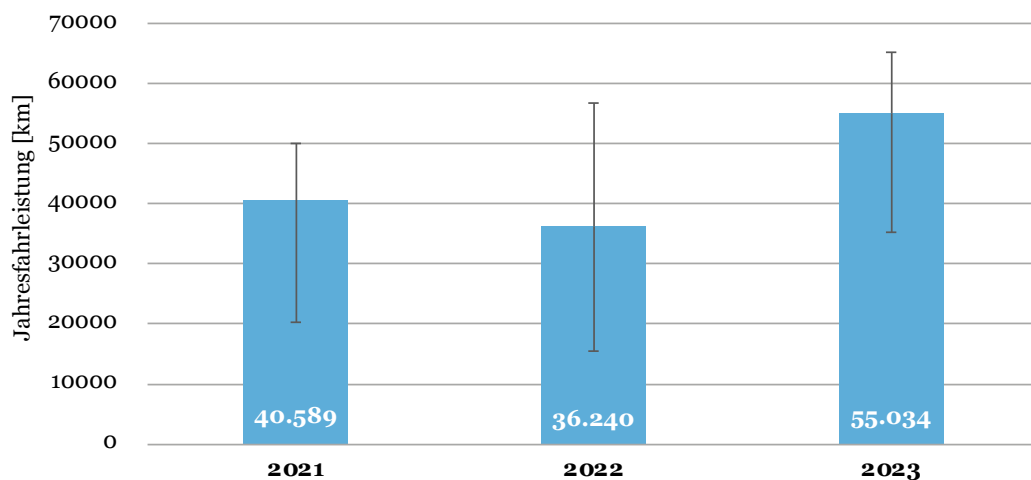


Abbildung 98: Durchschnittliche Jahresfahrleistung der Busse mit 5. und 95. Perzentil

Die Jahresfahrleistungen unterscheiden sich zwischen den Bustypen nicht sehr stark, wobei Solobusse eine etwas niedrigere Jahresfahrleistung als Gelenkbusse haben (Abbildung 99). Die beiden Midibusse in

der Datenbank kommen in 2023 auf eine geschätzte Jahresfahrleistung von ca. 40.000 km. Für 60 Busse lagen keine Informationen über die Spezifikationen (Bustyp, Batterie, Heizsystem etc.) vor.

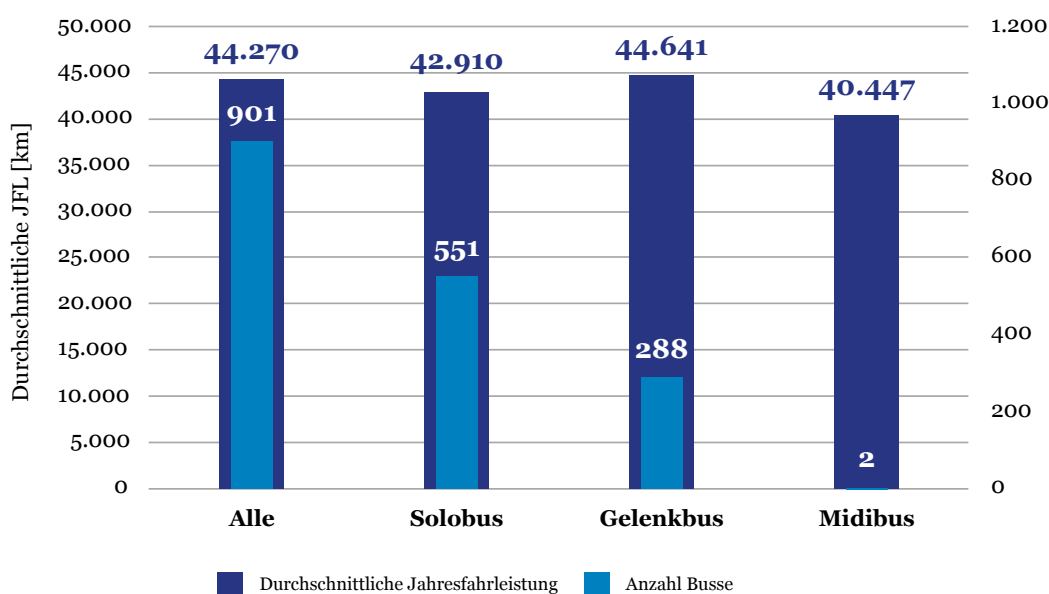


Abbildung 99: Durchschnittliche Jahresfahrleistung nach Bustyp

3.1.2.1.2 Verbrauch

Für die Auswertung des Energieverbrauchs im Fahrbetrieb standen Daten von 899 Bussen aus 37 Verkehrsbetrieben zur Verfügung. Dies ermöglicht wichtige Auswertungen zum realen Energieverbrauch von E-Bussen, die als Grundlage für zentrale Instrumente der Antriebswende, wie die Treibhausgasquote¹⁷⁵, oder die Abschätzung ökologischer Wirkungen, beispielsweise zur Emissionsberichterstattung, dienen. Zusätzlich fließen die Ergebnisse in die ökologische und ökonomische Bewertung ein (Kapitel 3.2.1 und 3.2.2). Sinnvoll ausgewertet werden konnte vor allem die aus der Batterie entnommene Energiemenge. Verluste zwischen Ladestecker und Batterie sind dabei jedoch nicht berücksichtigt. Etwa die Hälfte der ausgewerteten Busse ist mit einer Kraftstoffzusatzheizung ausgestattet. Die Diesel- bzw. Ethanolverbräuche dieser Busse werden jedoch nur von ein-

zelnen Betrieben gemeldet und konnten daher nicht systematisch ausgewertet werden. Bei 60 Bussen lagen keine Stammdaten, beispielsweise zum Heizsystem, vor.

Abbildung 100 zeigt die Durchschnittsverbräuche der Gelenk- und Solobusse, getrennt nach Heizsystem. Der Verbrauch liegt bei Solobussen demnach zwischen 1,18 und 1,43 kWh/km (Jahresmittelwert 1,32 kWh/km) und bei Gelenkbussen zwischen 1,59 und 1,78 kWh (Jahresmittelwert 1,7 kWh/km). Erwartungsgemäß zeigt sich bei den Solobussen mit Kraftstoffzusatzheizung ein niedrigerer Stromverbrauch als bei den Solobussen ohne Kraftstoffzusatzheizung, die ausschließlich elektrisch beheizt werden. Dieser Unterschied konnte bei den Gelenkbussen nicht festgestellt werden, was auf andere Einflussfaktoren wie Batteriegrößen oder Einsatzzweck hinweist.

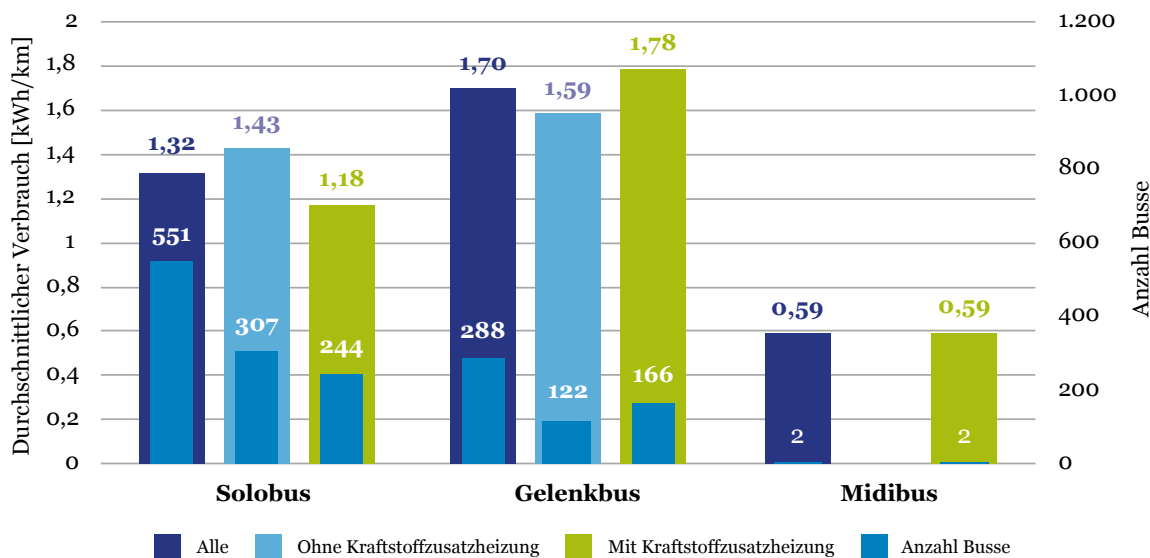


Abbildung 100: Verbrauch nach Segment (durchschnittlicher Bus)

Im Jahresgang (siehe Abbildung 101) zeigt sich insbesondere der zusätzliche Energieverbrauch für das Heizen im Winter. Dieser Energiebedarf ist bei Elektrobussen wegen der Gefäßgröße und der sich regel-

mäßig öffnenden Türen deutlich höher als bei Pkw. So schwanken die monatlichen Mittelwerte beim Solobus zwischen 1,1 kWh/km im Sommer und 1,5 kWh/km im Winter und beim Gelenkbus zwischen

1,3 kWh/km im Sommer und 1,9 kWh/km im Winter. Eine Auswertung der gesamten Wirkungsgradkette war auf Basis der verfügbaren Betriebsdaten nicht möglich. Die nachgeladene Energiemenge sollte wegen der Lade- und Entladeverluste in der Batterie et-

was höher ausfallen. Ab Ladestation ist von nochmals höheren Werten auszugehen, da noch Ladeverluste hinzukommen, die in Abschnitt 3.1.2.2 quantifiziert werden.

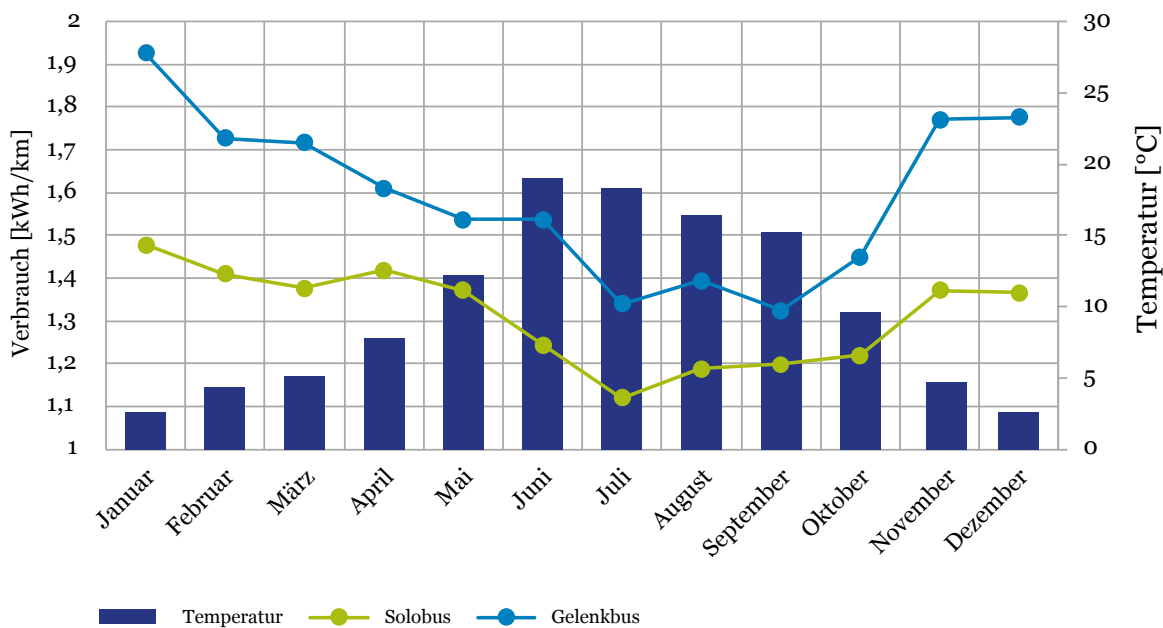


Abbildung 101: Verbrauch im Jahresverlauf (durchschnittlicher Kilometer) und monatliche Durchschnittstemperatur in Deutschland von Juli 2021 bis Juli 2022 (Statista 2024)

3.1.2.1.3 Batterie

Es konnten Daten über den genutzten Kapazitätsbereich der Batterien (SOC: State of Charge) von insgesamt 654 Bussen von 7 verschiedenen Herstellern aus 30 Betrieben ausgewertet werden. Der genutzte Kapazitätsbereich wird als Bandbreite des SOC (State of Charge) angegeben. Die Mittelwerte aller maximalen und minimalen Ladestände während der aufgezeichneten Fahrten liegen bei 87 % (SOCmax) und 60 % (SOCmin). An vielen Tagen wird also nur ein geringer Teil der Batteriekapazität tatsächlich genutzt und es findet nur selten eine Tiefentladung statt. Im Jahresgang (siehe Abbildung 102) zeigen sich im Monatsmittel im Winter aufgrund des dann höheren Energiebedarfs der Busse etwas niedrigere durchschnittliche Minimalwerte, die jedoch immer noch über 50 % SOC liegen.

Die Betrachtung des 10. Perzentils zeigt, dass nur 10 % der Fahrten im Durchschnitt des Betrachtungszeitraumes unter 30 % SOCmin kommen, im Winter sind es mit Ausnahme von November 2023 nicht weniger als 20 % SOCmin für 10 % der Fahrten. Die vorhandene Batteriekapazität wird also nur in wenigen Fällen umfänglich genutzt. Auch hier zeigt sich über den Betrachtungszeitraum ein Trend zu einer verstärkten Nutzung der Fahrzeuge bzw. des Kapazitätsbereichs, was sich in geringeren SOCmin-Werten zeigt. Dieser Befund passt gut zu den im vorherigen Abschnitt festgestellten zunehmenden Fahrleistungen.

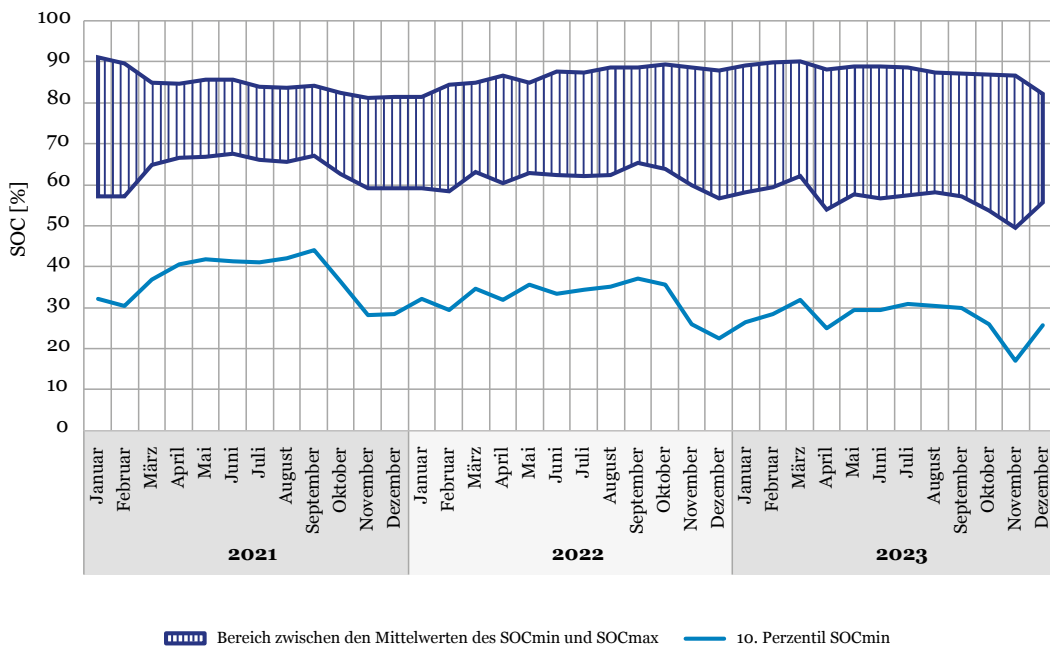


Abbildung 102: SOC (State of Charge) – genutzte Spanne der Batteriekapazität

Die Temperatur der Antriebsbatterie stellt einen weiteren zentralen Batterieparameter mit Einfluss auf die Lebensdauer dar. Sie ist auch ein wichtiger Faktor im Heiz-/Kühlsystem der Batteriebusse. Abbildung 103 zeigt die Spanne zwischen den höchsten und niedrigsten aufgezeichneten Durchschnittstemperaturen nach Batterietypen. Da sich die Batterie im Fahrbetrieb erwärmt, ist bei längeren Fahrten kein Rückschluss auf die Ausgangstemperatur der Batterie möglich.¹⁷⁶ Prinzipiell gibt es aber keinen Hinweis darauf, dass die Heiz- und Kühlsysteme der Hersteller nicht effektiv arbeiten würden. Im Mittel bewegen sich die Batterietemperaturen überwiegend im Bereich der idealen Betriebstemperaturen zwischen etwa 10 und 35 °C (Batterieforum Deutschland 2023). Ob die Betreiber ihre Busse in Hallen abstellen oder von einer Vorkonditionierung Gebrauch machen, ist nicht bekannt.

Die Temperatur der Antriebsbatterie stellt einen weiteren zentralen Batterieparameter mit Einfluss auf die Lebensdauer dar. Sie ist auch ein wichtiger Faktor im Heiz-/Kühlsystem der Batteriebusse. Abbildung 103 zeigt die Spanne zwischen den höchsten und niedrigsten aufgezeichneten Durchschnittstemperaturen nach Batterietypen. Da sich die Batterie im Fahrbetrieb erwärmt, ist bei längeren Fahrten kein Rückschluss auf die Ausgangstemperatur der Batterie möglich.¹⁷⁶ Prinzipiell gibt es aber keinen Hinweis darauf, dass die Heiz- und Kühlsysteme der Hersteller nicht effektiv arbeiten würden. Im Mittel bewegen sich die Batterietemperaturen überwiegend im Bereich der idealen Betriebstemperaturen zwischen etwa 10 und 35 °C (Batterieforum Deutschland 2023). Ob die Betreiber ihre Busse in Hallen abstellen oder von einer Vorkonditionierung Gebrauch machen, ist nicht bekannt.

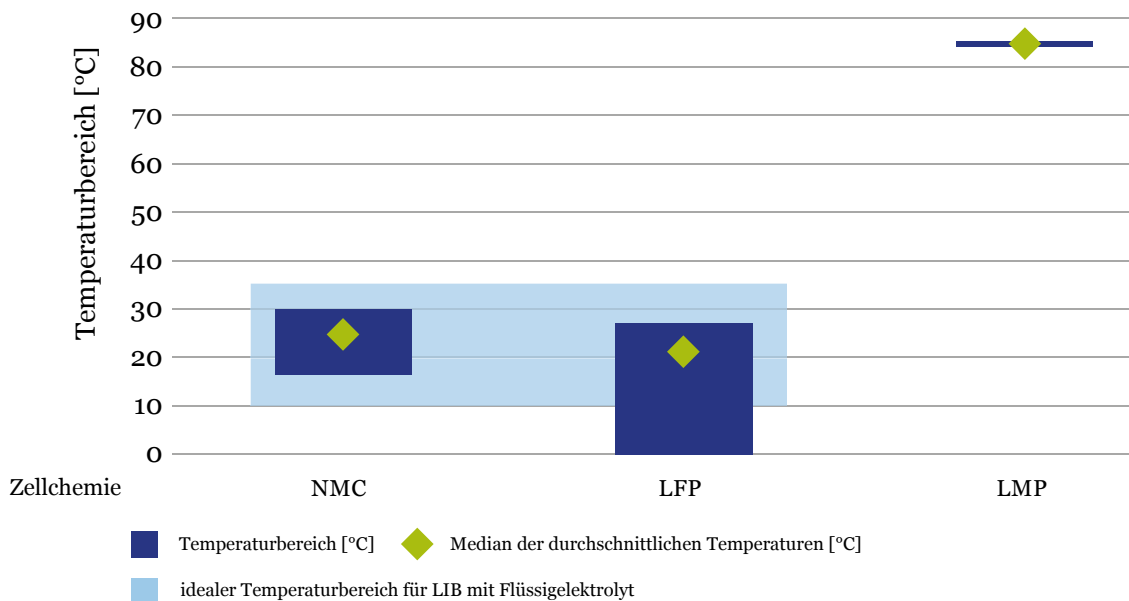


Abbildung 103: Temperaturbereiche der Batterien im Betrieb nach Zellchemie und Kapazität

Auffallend ist die sehr hohe mittlere Temperatur bei den LMP-Batterien (Feststoffbatterie), die jedoch bauartbedingt ist (Jendrischik 2019). Hohe Temperaturen von über 35 °C bei Bussen mit NMC-Zellen traten nur bei 5.000 der rund 260.000 aufgezeichneten Fahrten auf. Bei den übrigen Fahrten konnte die Temperatur unterhalb von 35 °C gehalten werden. Die Batterietemperatur stellt damit wahrscheinlich keinen limitierenden Faktor dar, um die Busse unter erweiterten Bedingungen, beispielsweise längeren Umläufen, einzusetzen.

3.1.2.2 Betriebsdaten der Ladeinfrastruktur

Die Auswertung der Betriebsdaten der Ladeinfrastruktur ermöglicht einen noch differenzierteren Blick auf den Einsatz der E-Busse, da nun einzelne Fahrten zwischen den Ladevorgängen anstelle von oftmals auf ganze Tage aggregierten Daten vorliegen. Insgesamt lagen Daten über 741.556 Ladevorgänge

vor, von denen allerdings mehr als die Hälfte einen SOC-Hub von weniger als 5 Prozentpunkten oder unplausible SOC-Werte (bspw. über 100 %) zeigten. Bei den Ladevorgängen mit geringer SOC-Differenz kann es sich um die Vorkonditionierung der Batterie oder fehlgeschlagene Ladevorgänge handeln. Diese wurden aus der folgenden Analyse ausgeschlossen. Ausgewertet werden konnten dann 292.393 Ladevorgänge von 11 Verkehrsunternehmen mit einer kumulierten Ladeenergie von ca. 32 GWh.¹⁷⁷ Abbildung 104 zeigt die monatlich geladene Energie, die Anzahl der Verkehrsunternehmen und die kumulierte Ladeenergie im Zeitverlauf. Dabei fallen vor allem im dritten Quartal 2022 und Ende 2023 Datenlücken auf, die auf wenige Verkehrsunternehmen mit vielen Bussen zurückgehen. Auch liegen die Daten der elf Verkehrsunternehmen nie für den gleichen Zeitraum vor. Maximal sind Betriebsdaten der Ladeinfrastruktur für acht Verkehrsunternehmen gleichzeitig verfügbar.

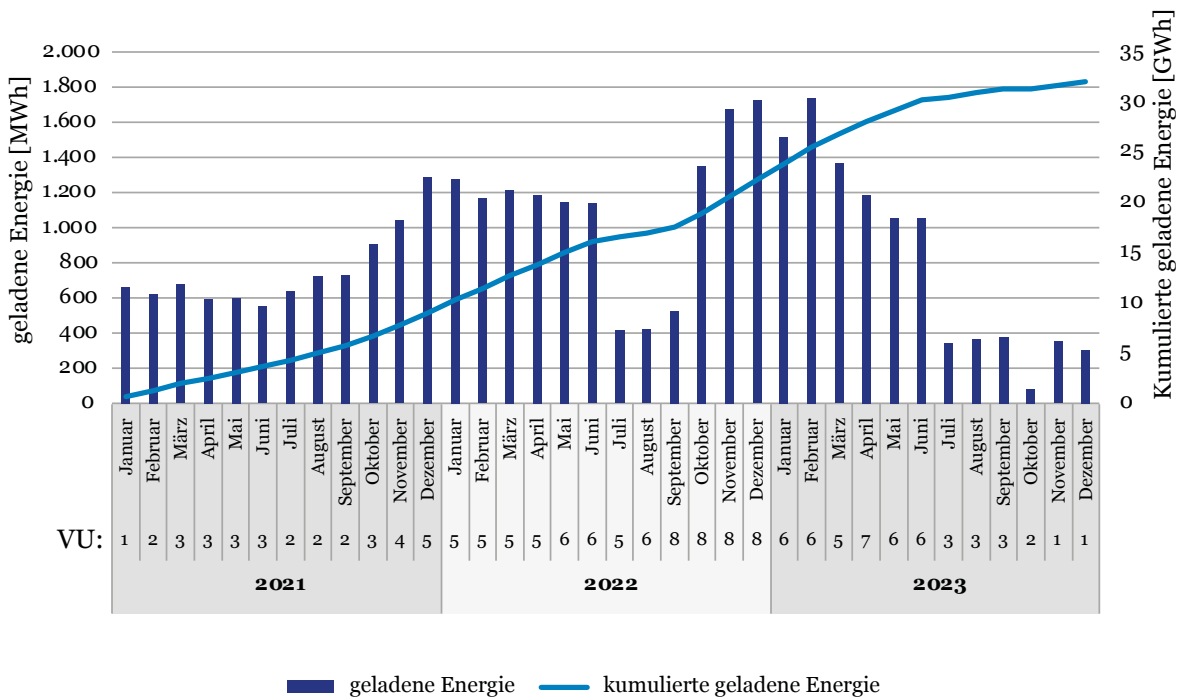


Abbildung 104: Geladene Energie in ifeu Betriebsdatenbank

3.1.2.2.1 Ladevorgänge

Bei den Startzeiten der Ladevorgänge lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Verkehrsunternehmen mit reiner Depotladung und denen mit einem Mischkonzept aus Depotladen und Opportunity Charging feststellen (Abbildung 105). Bei Ersterem beginnen 59 % der Ladevorgänge nach 18

Uhr bzw. vor 8 Uhr, bei Letzterem sind es 44 % der Ladevorgänge, die in dieser Zeit starten, was auf die deutlich höhere Zahl an Ladevorgängen während des Betriebes im Mischkonzept zurückzuführen ist. Leider lagen keine Betriebsdaten zur Ladeinfrastruktur von Verkehrsunternehmen mit reinem Opportunity-Charging-Konzept vor.

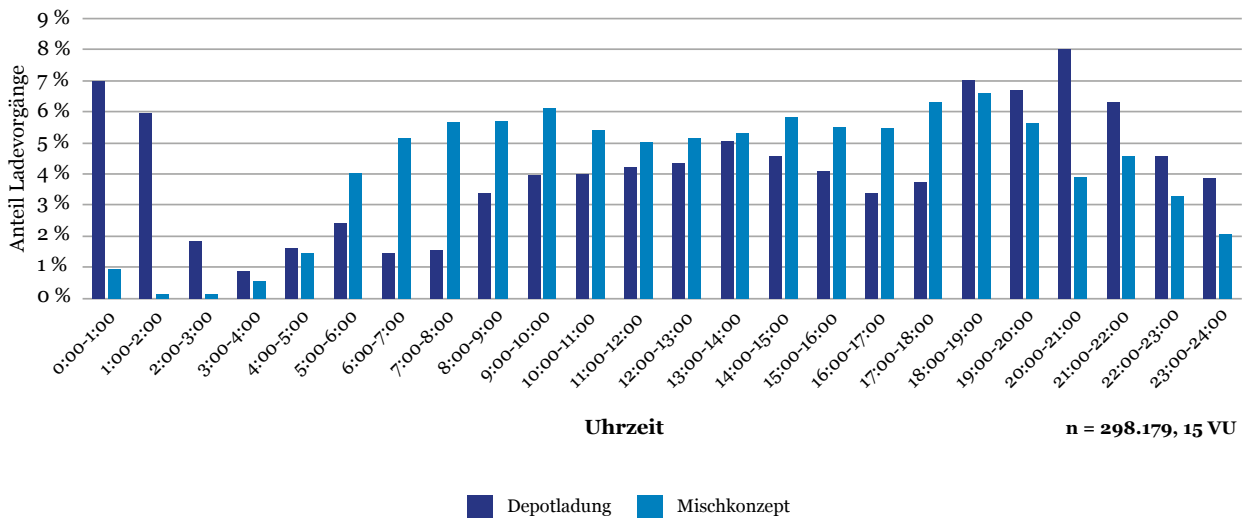
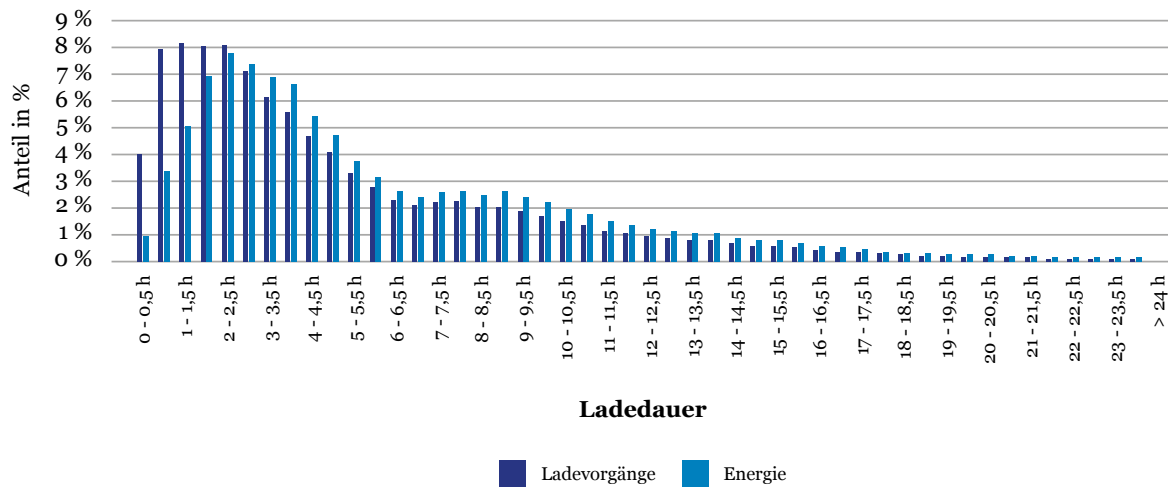


Abbildung 105: Anteil der Ladevorgänge nach Uhrzeit zum Ladebeginn (Depotladung und Mischkonzept)

In der Verteilung der Ladevorgänge nach Ladedauer (Abbildung 106) ist ebenfalls ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Ladekonzepten erkennbar. Während die Ladevorgänge beim Depotladen deutlich länger sind und die meiste Energie bei Ladevorgängen von einigen Stunden geladen wird, dominieren beim Mischkonzept die kurzen Ladevorgänge von unter einer halben Stunde, beispielsweise, an der Endhaltestelle. Bei diesen kurzen Ladevorgängen werden zwei Drittel der Gesamtenergie der betrachteten Ladevorgänge geladen. Mehr als die Hälfte der Ladevorgänge dieser vier Verkehrsunternehmen geht jedoch auf ein VU zurück, die Repräsentativität ist daher eingeschränkt.

Die durchschnittliche mittlere Ladeleistung bei Depotladern beträgt 55 kW, bei Ladevorgängen mit Mischkonzept ist sie dagegen mit 168 kW mehr als dreimal so hoch. Über alle Ladevorgänge wurde ein mittlerer Ladewirkungsgrad der Ladestationen (ohne Verluste im Fahrzeug) von 85,9 % ermittelt, der sich zwischen verschiedenen Modellen allerdings stark unterscheidet. Außerdem wurden nur von fünf Verkehrsunternehmen verwendbare Daten zur aufgenommenen Energie der Ladestationen geliefert (82.000 Ladevorgänge).

Depotladung (n = 197.003, 7 VU)



Mischkonzept (n = 89.668, 4 VU)

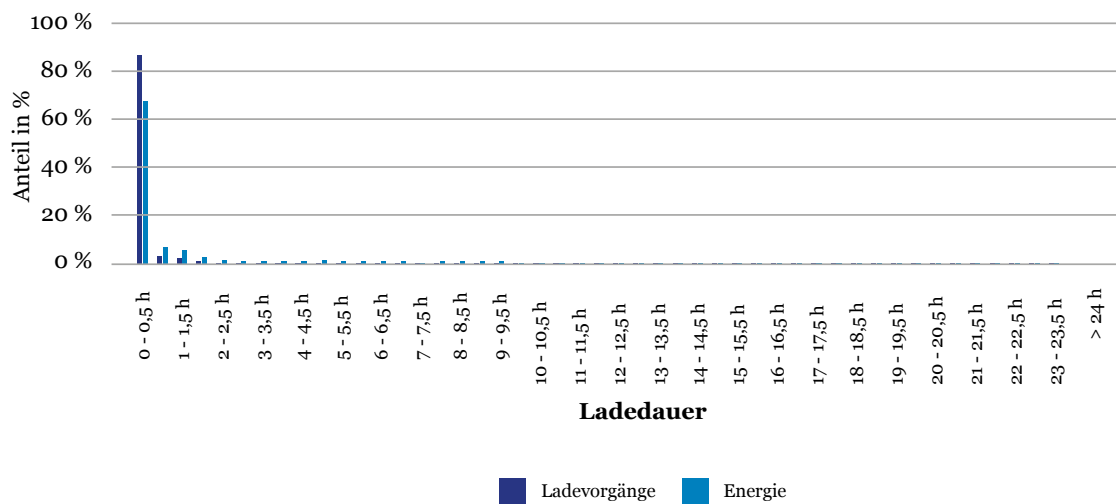


Abbildung 106: Verteilung der Ladevorgänge und Energieabgabe nach Ladedauer (Depotladen [oben] und Mischkonzept [unten])

3.1.2.2.2 SOC-Bereich

In Abschnitt „Batterie“ wurde bereits auf den genutzten SOC-Bereich der Busse eingegangen. Diese Auswertung basierte auf den Betriebsdaten der Fahrten, also mit welchem SOC diese begonnen bzw. beendet wurden. Dabei ist es möglich, dass ein Zwischenladen während der Fahrt stattfand, was aus den Betriebsdaten der Busse allerdings nicht hervorgeht. Die Auswertung der Ladevorgänge liefert dagegen Infor-

mationen darüber, bei welchem Ladezustand nachgeladen bzw. weitergefahren wurde. Abbildung 107 zeigt die durchschnittlichen SOC-Stände zu Beginn und Ende der Ladevorgänge in den Monaten des Betrachtungszeitraumes. Der durchschnittliche SOC bei Beginn des Ladevorgangs lag bei 56,8 %, am Ende des Ladevorgangs bei 94,1 %. Die saisonalen Schwankungen durch den zusätzlichen Energiebedarf im Winter sind auch hier deutlich.

Alle Ladevorgänge (n = 331.703, 13 VU)

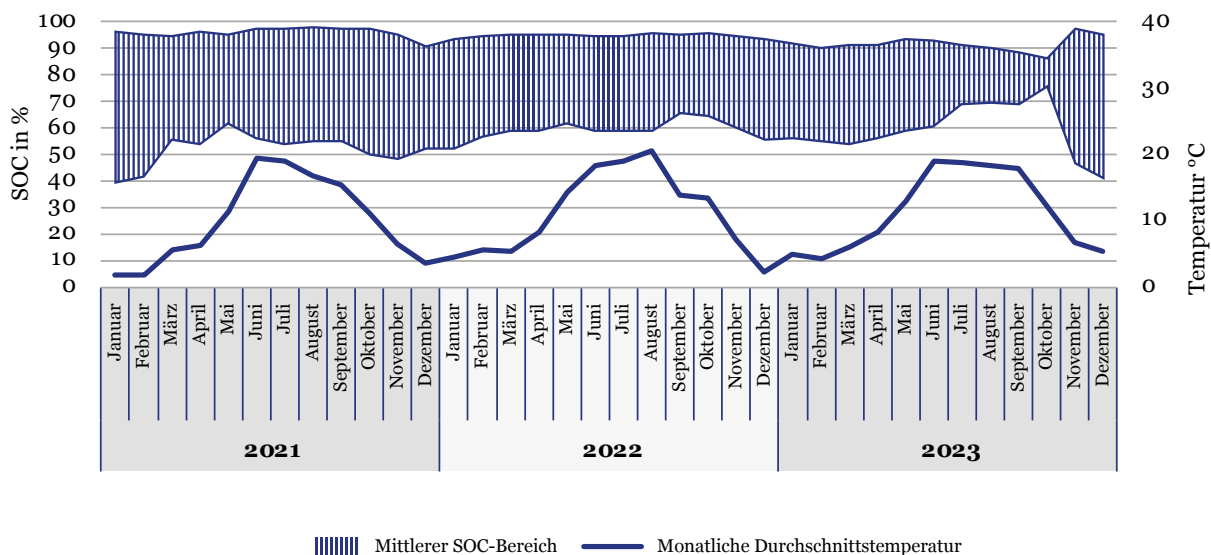


Abbildung 107: Durchschnittlicher SOC zu Beginn und Ende des Ladevorgangs über den Zeitraum der Datenerhebung

Wenn man die jahreszeitlichen Verläufe des SOC-Bereichs für die beiden verfügbaren Ladekonzepte (Depotladen und Mischkonzept) separat betrachtet, werden allerdings deutliche Unterschiede sichtbar. In Abbildung 108 ist neben den mittleren SOC-Bereichen auch das 10. Perzentil des SOC zu Beginn der Ladevorgänge aufgetragen. Dies bedeutet, dass 10 % bzw. 90 % der Ladevorgänge unter bzw. über diesem SOC beginnen. Im Vergleich zum Durchschnitt aller Ladevorgänge liegt der durchschnittliche SOC-Start beim Depotladen mit 52,5 % ca. 4 Prozentpunkte

unter dem Gesamtdurchschnitt, beim Mischkonzept dagegen mit 73,1 % deutlich darüber, was wieder auf Opportunity Charging, beispielsweise an Endhaltestellen, zurückzuführen ist. Das durchschnittliche 10. Perzentil liegt bei Depotladekonzepten bei 28 %, beim Mischkonzept bei 54 %. Die Batteriekapazitäten werden beim Depotladen also weitgehend ausgenutzt, vor allem in den Wintermonaten, während beim Mischkonzept dagegen tendenziell noch Reserven sind bzw. die Batteriekapazität etwas kleiner ausgelegt werden könnte.¹⁷⁸

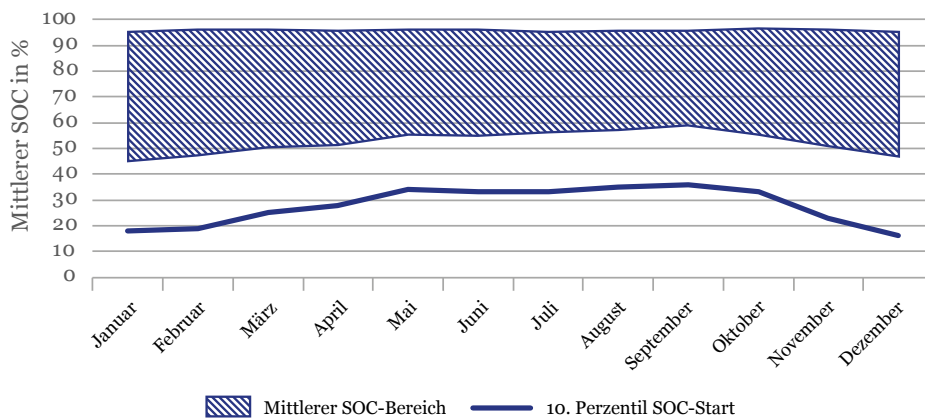
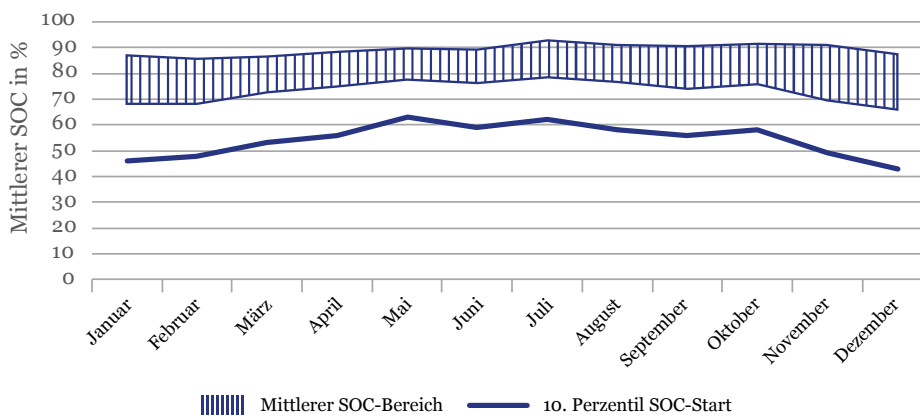
Depotladen (n = 241.973, 9 VU)**Mischkonzept (n = 89.730, 4 VU)**

Abbildung 108: Durchschnittlicher SOC zu Beginn und Ende und 10. Perzentil des SOC zu Beginn der Ladevorgänge nach Monaten

3.1.2.3 Herausforderungen und Grenzen der Betriebsdatenauswertung

Bereits im Vorfeld der Datenerhebung und im Zuge der ersten Gespräche mit ausgewählten Verkehrsbetrieben zu Beginn der Begleitforschung war absehbar, dass möglicherweise nicht alle Parameter der Betriebsdatenerhebung vollständig und in guter Datenqualität von den Projekten bereitgestellt werden können. Nach den Auswertungen der Betriebsdaten im Zuge der Berichterstellung kann dies bestätigt wer-

den. Dabei hat sich gezeigt, dass der Datenumfang und die Datenqualität je nach Hersteller und Förderprojekt stark variieren. In Summe konnten von vielen Betrieben umfangreiche Daten für eine breite und belastbare Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Am Ende konnte aber auch kein Verkehrsbetrieb oder Hersteller die im Minimaldatenset geforderten Parameter in vollem Umfang bereitstellen. Deshalb sind nicht zu allen Parametern und Themenfeldern innerhalb des Minimaldatensets belastbare Auswertungen möglich.

Bei einigen Herstellern bestanden dabei technische Herausforderungen bei der Datenerfassung, Datenqualität und Übermittlung an die Verkehrsunternehmen. Deshalb konnten Verkehrsunternehmen meist nur einen Ausschnitt der geforderten Parameter und diesen häufig auch erst Monate nach der eigentlichen Inbetriebnahme bereitstellen. In den meisten Fällen konnten die Herausforderungen jedoch nicht direkt von den Projekten gelöst werden, sondern nur in Zusammenarbeit mit den Herstellern. Dies hat sich auch im Rahmen der Akteursbefragung und im direkten Austausch mit Herstellern bestätigt.

Neben der Verfügbarkeit belastbarer Daten bestanden bei der anschließenden Datenaufbereitung zusätzliche Herausforderungen, da die Hersteller keine einheitlichen Datenformate (Aufbau, Struktur, Einheiten) haben. Im Minimaldatenset sind zwar die zu erhebenden Parameter aufgeführt, zu den Datenformaten macht das Minimaldatenset allerdings keine Vorgaben. Dadurch entwickeln Hersteller meist eigene Lösungen, was wiederum eine einheitliche und weitgehend automatisierte Datenaufbereitung erschwert.

Auch bei der Erhebung der Betriebsdaten der Ladestationen bestanden Herausforderungen. Hier scheinen die Lösungen zur Datenerhebung häufig noch in einem früheren Entwicklungsstadium, was sich wiederum auch im zum Berichtszeitpunkt vorliegenden Datenumfang widerspiegelt. Hier lagen deshalb nur von wenigen Förderprojekten Daten vor.

Problematisch war die Zuordnung der angegebenen Bus- und Ladestations-IDs, da sich diese häufig zwischen den Datenlieferungen geändert haben oder gar nicht zuordenbar waren. Neben den technischen Aspekten kam es auch zu Verzögerungen bei der Datenbereitstellung, da die Verpflichtung zur kontinuierlichen Datenlieferung bei manchen Verkehrsunternehmen nicht dauerhaft präsent war. Um Datenlücken zu vermeiden, bedurfte es daher kontinuierlicher Erinnerungen zur Verpflichtung der Da-

tenbereitstellung durch das ifeu. Von den Verkehrsunternehmen wurde der Wunsch geäußert, die OEMs stärker in die Datenerhebung und -aufbereitung einzubeziehen und einen organisierten Austausch zwischen den Busbetreibern bezüglich der Betriebsdaten zu initiieren (siehe auch Kapitel 2.2.8.1). Diese Ideen könnten dazu beitragen, die Datenqualität in Zukunft weiter zu verbessern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei den Betriebsdaten der Busse im vorliegenden Bericht zentrale Aspekte beleuchtet werden können und die Datenmenge ausreichend groß war, um die wichtigsten Unterschiede zwischen Bustypen, Ladekonzepten und weiteren technischen Spezifikationen zu untersuchen. Bei den Ladestationen war die Anzahl der Verkehrsunternehmen und die Breite der verfügbaren Daten allerdings deutlich geringer, weshalb nicht alle Aspekte abschließend analysiert werden konnten. Die Ergebnisse liefern dennoch zufriedenstellende und mit den Ergebnissen der Betriebsdaten der Busse übereinstimmende Einsichten. Die einzelnen Schwierigkeiten mit der Datengrundlage wurden in den vorhergehenden Abschnitten an den entsprechenden Stellen dokumentiert.

3.1.3 Ergebnisse der Verfügbarkeitsdatenauswertung

Neben den technischen Eigenschaften der Betriebsdaten wurden auch Informationen zur Verfügbarkeit der Busse übermittelt. Dies ermöglicht Aussagen über etwaige Herausforderungen bei der Einführung der neuen Technologie und der Einsatzfähigkeit im Vergleich zu konventionellen Bussen. Im Rahmen der Verfügbarkeitsdatenerhebung übermittelten die Verkehrsunternehmen, an wie vielen Tagen pro Monat die Busse nicht einsatzfähig waren. Hierbei wurde nach den folgenden Gründen unterschieden: Defekt im Antriebsstrang, Wartung, Unfall/Vandalismus, Defekt der Ladeinfrastruktur und sonstiger Defekt. Es haben jedoch nur 19 Verkehrsunternehmen auswertbare Verfügbarkeitsdaten übermittelt und dabei wurden oft nicht für alle Monate Daten bereitgestellt. Im Gegensatz zu den Betriebsdaten wurden

die Verfügbarkeitsdaten manuell erhoben. Da sich nicht alle Verkehrsunternehmen an die vorgegebene Datenstruktur des Minimaldatensets gehalten haben, liegen die Daten in heterogenen Formaten und Abgrenzungen vor, was eine manuelle Auswertung notwendig machte. Dabei musste die Anzahl der Busse, auf die sich die Verfügbarkeitsdaten beziehen, teilweise aus den Stamm- und Betriebsdaten abgeleitet werden.

Über alle Verkehrsunternehmen und den gesamten Studienzeitraum hinweg lag die Verfügbarkeit der Elektrobusse bei 86 %, die Elektrobusse standen also 4,3 Tage pro Monat nicht zur Verfügung. Die Verfügbarkeit nach einzelnen Verkehrsunternehmen ist in Abbildung 109 dargestellt. In den meisten Verkehrsunternehmen beträgt sie zwischen 80 % und 95 %. Vier Verkehrsunternehmen stechen mit einer besonders niedrigen Verfügbarkeit zwischen 50 % und 70 % heraus. In allen vier Verkehrsunternehmen sind die Ausfallraten durchgängig hoch, d. h., die geringen Verfügbarkeiten sind nicht auf ein kurzfristiges Einzelereignis zurückzuführen. Aus den vorliegenden Daten kann jedoch nicht auf den Ursprung der vergleichsweise geringen Verfügbarkeiten in diesen vier Verkehrsunternehmen geschlossen werden, weshalb bei den Unternehmen noch einmal direkt nachge-

fragt wurde: Bei einem VU lag die geringe Verfügbarkeit hauptsächlich an Problemen mit der Ladeinfrastruktur, bei zwei VU waren überwiegend nicht e-Bus-spezifische Gründe die Ursache (z. B. Klimatisierung, Elektronikstörungen, Reifenventile). Beim vierten VU wurden anfängliche Probleme mit einer bestimmten Generation von LMP-Batterien und mit elektrischen Antriebsachsen eines bestimmten Zulieferers genannt, die inzwischen größtenteils behoben werden konnten (siehe auch Kapitel 2.2.8). Klammert man diese vier Verkehrsunternehmen aus der Mittelwertbildung aus, so ergibt sich eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 90 % bzw. 3 Ausfalltage pro Monat. Im Projektrahmen wurde keine parallele Erhebung der Ausfalltage von Dieselmussen durchgeführt, um die vorliegenden Ausfalltage von Elektrobussen einordnen zu können. Nach älteren Untersuchungen zu Dieselmussen von (NOW GmbH 2021a) sind diese in 93 % der Zeit verfügbar, d. h., sie fallen durchschnittlich an 2,1 Tagen pro Monat aus. Unklar ist jedoch, ob hier die gleichen Abgrenzungen und Erhebungsmethoden zugrunde liegen. Die Werte sind daher nicht unbedingt direkt miteinander vergleichbar, deuten aber auf eine ähnliche Größenordnung zwischen dem hier ermittelten Wert und der Verfügbarkeit konventioneller Busse hin.

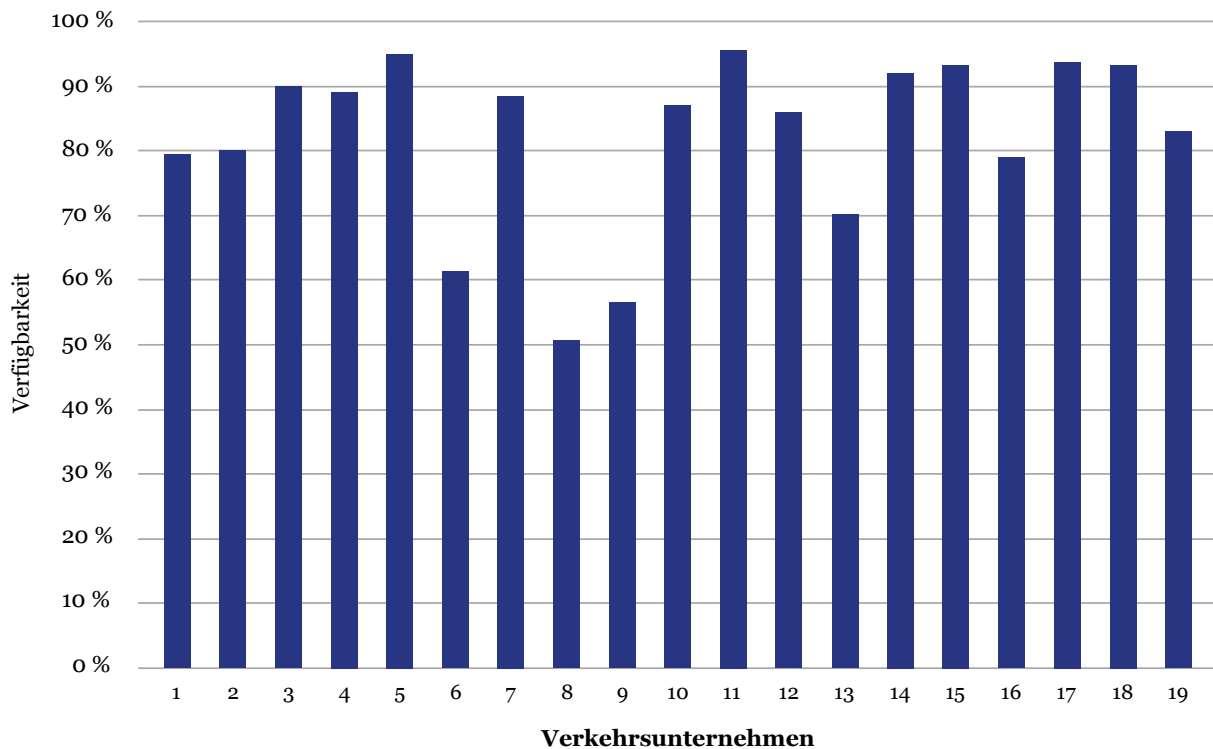


Abbildung 109: Verfügbarkeit der Busse je Verkehrsunternehmen

Abbildung 110 zeigt die Verteilung der Ausfälle auf die verschiedenen Ausfallgründe. Die Zuordnung der Ausfälle zu den Ausfallgründen wurde durch die Verkehrsunternehmen vorgenommen und unterliegt damit einem gewissen Interpretationsspielraum. Daher ist die Auswertung nach Ausfallgründen vorsichtig zu interpretieren. In der Hälfte der Fälle wurden von den Verkehrsunternehmen unspezifische sonstige Defekte angegeben. Diese beinhalten z. B. Defekte der Klimaanlage, der Türen oder der Zielbeschilderung, die auch bei konventionellen Antrieben vorkommen können. Inwieweit hier antriebsspezifische Ausfallgründe beigetragen haben, ist nicht bekannt. 29 % der Ausfalltage wurden dagegen direkt als Defekte im Antriebsstrang bezeichnet, hängen also auf irgendeine Weise mit dem elektrischen Antriebsstrang zusammen. Defekte im Antriebsstrang können auch bei konventionellen Dieselnissen auftreten, sodass es sich hierbei sicher nicht in allen Fällen um

gegenüber Dieselnissen zusätzliche Ausfalltage handelt. Eindeutiger ist die Lage bei Ausfällen aufgrund von Defekten der Ladeinfrastruktur (8 %), die im Vergleich zu Dieselnissen sicher zusätzlich sind. Wartungen (8 %) und Unfälle bzw. Vandalismus (5 %) spielten eine vergleichsweise geringe Rolle und werden in erster Näherung als antriebsunspezifisch aufgefasst – Elektrobussen gelten sogar als besonders wartungsarm.

Insgesamt sind damit bei den geförderten Elektrobussen systematisch leicht höhere Ausfalltage als bei Dieselnissen zu beobachten. Quantitativ kann die mögliche Größenordnung zusätzlicher Ausfalltage auf Basis der Ausfallgründe grob im Bereich zwischen 8 % (nur Defekte in der Ladeinfrastruktur) und 37 % (alle Defekte im Antriebsstrang und der Ladeinfrastruktur) aller Ausfalltage eingeordnet werden. Das entspricht einer zusätzlichen Ausfallzeit von Elekt-

robussen zwischen wenigen Stunden und 1,6 Tagen pro Monat und liegt damit im Bereich der oben festgestellten, um 3 Prozentpunkte geringeren durch-

schnittlichen Verfügbarkeit im Vergleich zu Diesebussen.

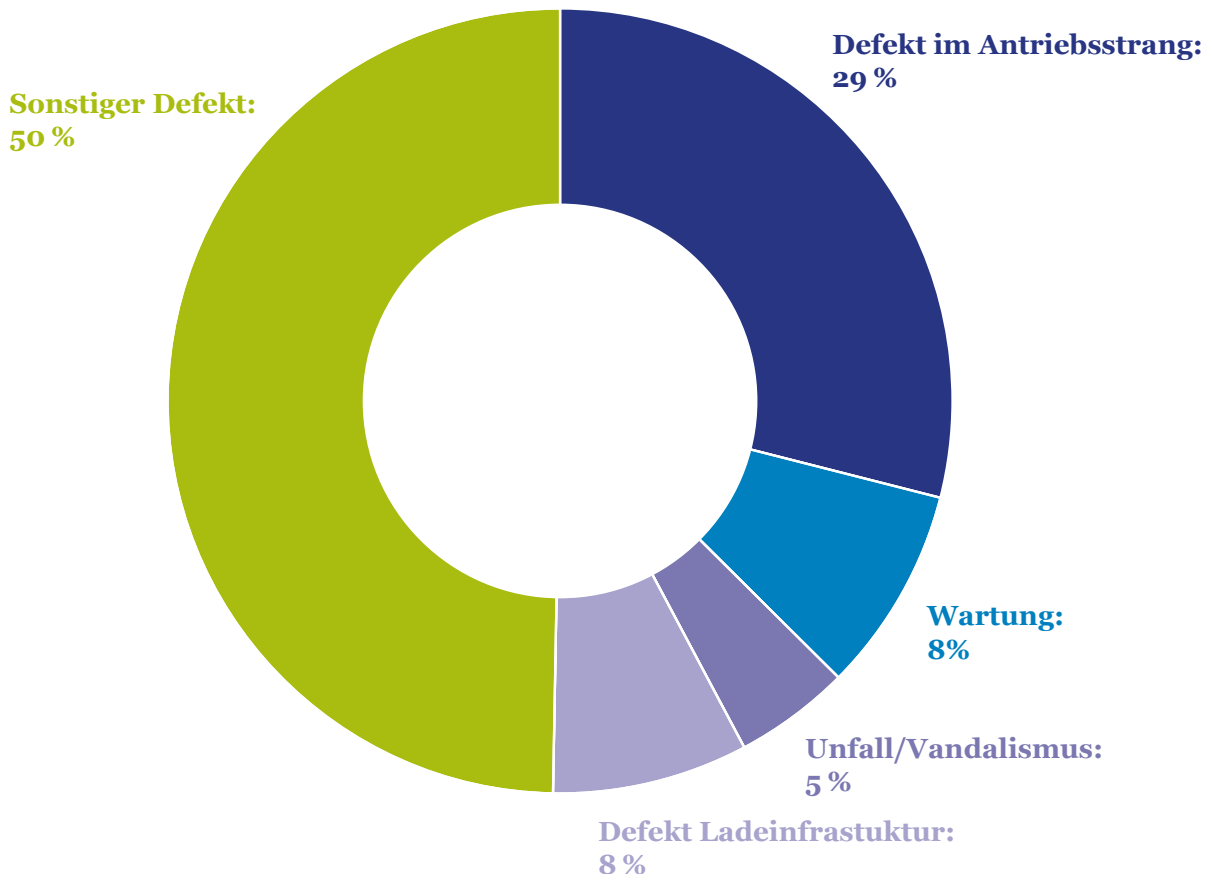


Abbildung 110: Verteilung der Ausfalltage auf die verschiedenen Ausfallgründe

Im Zeitverlauf (siehe Abbildung 111) liegt die durchschnittliche Verfügbarkeit der geförderten Busse fast durchgängig zwischen 80 % und 90 %. Es kann weder ein Trend zur Zu- oder Abnahme über den Projektzeitraum hinweg noch eine saisonale Abhängigkeit festgestellt werden. Dasselbe gilt, wenn nur Ausfalltage betrachtet werden, deren Gründe spezifisch für Elektrobusse sind. Die größten Sprünge in der Verfügbarkeit korrelieren mit größeren Änderungen in der Datengrundlage, d. h., dass mehr bzw. weniger Verkehrsunternehmen Verfügbarkeitsdaten übermit-

telt haben. Auch in Abhängigkeit von der seit der ersten Meldung des Verkehrsunternehmens vergangenen Zeit ergibt sich kein Trend zur Zu- bzw. Abnahme der Verfügbarkeit. Die Ausfalltage gehen demnach derzeit noch nicht allein auf „Kinderkrankheiten“ oder anfänglich mangelnde Erfahrung im Umgang mit den Bussen zurück. Die Ausfalltage von Elektrobussen liegen jedoch bereits in einer ähnlichen Größenordnung wie bei vergleichbaren Dieselbussen, der Umfang der zusätzlichen Ausfalltage ist daher wahrscheinlich gering.

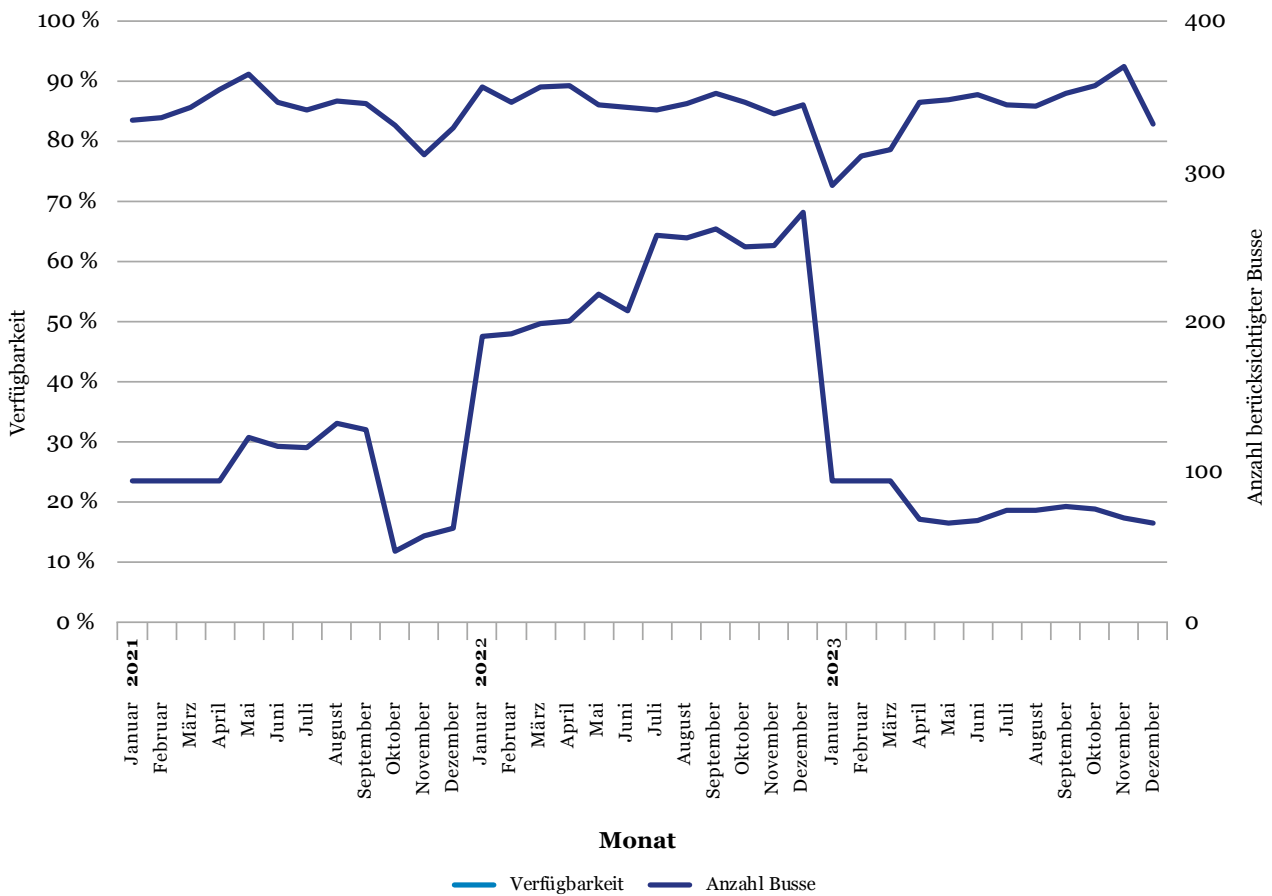


Abbildung 111: Verfügbarkeit aller Busse sowie Anzahl berücksichtigter Busse im Zeitverlauf

Insgesamt ist also eine etwas geringere Verfügbarkeit der geförderten Elektrobusse im Vergleich zu Dieselnissen wahrscheinlich, auch wenn die Differenz nicht genau quantifizierbar ist. Über die Projektlaufzeit hinweg konnte dabei in den Verfügbarkeitsdaten kein Anstieg der Verfügbarkeit beobachtet werden. In der zweiten Runde der Interviews zur Akteursanalyse wurde dagegen qualitativ von einer starken Zunahme der Zuverlässigkeit im Vergleich zu den Jahren davor berichtet (siehe Kapitel 2.2.8.2). Auch zeigen die Betriebsdaten über den Verlauf des Projekts eine Zu-

nahme der Jahresfahrleistung der geförderten Busse, welche sich 2023 bereits derjenigen von Dieselnissen annähert. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass die Unterschiede in der Verfügbarkeit tendenziell abnehmen und mit Elektrobussen zunehmend ein Betrieb möglich ist, der dem mit Dieselnissen ähnlich ist, insbesondere wenn in den kommenden Jahren neue Elektrobuss-Generationen auf den Markt kommen und Erfahrungen mit Wartung und Reparatur (inkl. Ersatzteilverfügbarkeit vor Ort) zunehmen.

3.2 Bewertung der BMWK-Elektrobüsforöderung

In diesem Abschnitt wird die Bewertung der Effekte aus der BMWK-Elektrobüsforöderung vorgenommen. Diese Bewertung erfolgt dabei sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten.

Für die ökologische Bewertung werden zuerst die Klimabilanzen der verschiedenen Antriebstechnologien verglichen. Anschließend wird die ökologische Wirkung der geförderten Busse untersucht. Dazu werden die Tank-to-Wheel-Betrachtung, die Well-to-Wheel-Betrachtung und die Lebenswegbetrachtung vorgenommen. Darauf aufbauend erfolgt abschließend die Hochrechnung der ökologischen Effekte auf den Gesamtmarkt.

Die ökonomische Bewertung erfolgt anhand einer ähnlichen Vorgehensweise. Es werden zunächst die Vollkosten verschiedener Antriebskonzepte für die Basisjahre 2023 und 2030 für ein einzelnes Fahrzeug ermittelt. Anschließend wird anhand dessen eine Hochrechnung auf die gesamte deutsche Flotte vorgenommen, was die Basis für die Abschätzung des weiteren Förderbedarfs in Kapitel 4 bildet.

3.2.1 Ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung der Förderung wird zunächst ein allgemeiner Vergleich der Klimabilanz verschiedener Antriebstechnologien für Nahverkehrsbusse durchgeführt, um die vorwiegend eingesetzte Technologie der batterieelektrischen Solo- und Gelenkbusse einordnen zu können (Kapitel 3.2.1.1). Dabei wurde auf die im Rahmen der Stamm- und Betriebsdatenauswertung ermittelten Fahrzeug- und Nutzungsparameter zurückgegriffen, sodass die Bilanz der batterieelektrischen Busse weitgehend die geförderten Busse abbildet. Anschließend wird die gesamte ökologische Wirkung der geförderten Busse über ihren Lebensweg ermittelt (Kapitel 3.2.1.2) und abschließend erfolgt eine Hochrechnung der ökologischen Effekte auf mögliche Entwicklungen im Gesamtmarkt (Kapitel 3.2.1.3)

3.2.1.1 Allgemeiner Vergleich der Klimabilanz verschiedener Antriebstechnologien für Nahverkehrsbusse

Methodisches Vorgehen

Bilanziert werden generische Stadtbusse mit verschiedenen Antriebstechnologien, keine konkreten Modelle eines konkreten Herstellers. Im Vordergrund steht vielmehr der Klimavergleich verschiedener Antriebsoptionen. Neben den batterieelektrischen Konzepten, die Gegenstand der Förderung sind, werden daher auch andere alternative Antriebs- und Kraftstoffoptionen für den Nahverkehr der Dieselreferenztechnologie gegenübergestellt. Untersucht werden die folgenden Antriebsvarianten:

- Verbrenner (Diesel), die mit konventionellem (also überwiegend fossilem) Diesekraftstoff betrieben werden (Referenztechnologie)
- Erdgasbusse (Compressed Natural Gas = CNG), die mit konventionellem (also überwiegend fossilem¹⁷⁹) Erdgas betrieben werden
- Batterieelektrische Busse (Battery Electric Vehicles = BEV) mit großer Batterie (Schwerpunkt der Förderung)
- Oberleitungsgeführte Elektrobuse (O-Bus) mit kleiner Batterie für kurze Strecken abseits der Oberleitung
- Brennstoffzellenbusse (Fuel Cell Electric Vehicles = FCEV), die mit Wasserstoff aus Erdgasdampfreförmierung (heute vorherrschend) und Elektrolyse (Zukunftsoption) betrieben werden
- Verbrenner, die als Zukunftsoption mit synthetischem Kraftstoff (Power-to-Liquid = PtL-Diesel) betrieben werden.

Das bewertete Produktsystem ist jeweils ein 12-m-Solobus mit einem Leergewicht von 11,5 t in der Dieselvariante und ein 18-m-Gelenkbus mit einem Leergewicht von 17,1 t in der Dieselvariante. Die Modellierung der alternativen Buskonzepte baut auf demselben Basisfahrzeug auf, resultiert aufgrund der Batterie bzw. der Brennstoffzelle und des Wasserstoff- oder CNG-Tanks in etwas anderen Leergewichten. Die Auslegungen und Nutzungsmuster werden so weit möglich und sinnvoll auf Basis der Stammdaten der geförderten Busse festgelegt. Damit kann auch der Klimabeitrag der Förderung gut ermittelt werden. Zusätzlich erfolgte eine Literatur- und Marktrecherche, insbesondere für Antriebsoptionen, die nicht Gegenstand der Förderung waren.

Basierend auf Marktdaten wird die Motorleistung für alle Konzepte beim Solobus mit 240 kW und

beim Gelenkbus mit 270 kW angenommen, während die Brennstoffzelle mit 150 kW ausgelegt wird. Der Tankinhalt der CNG-Busse wird mit 200 kg beim Solo- und 250 kg beim Gelenkbus angesetzt. Der bilanzierte Wasserstofftank umfasst jeweils 30 kg. Die Batteriekapazität beim BEV wird entsprechend dem Durchschnitt der geförderten Busse beim Solobus mit 390 kWh und beim Gelenkbus mit 413 kWh angesetzt, beim Oberleitungsbus werden jeweils 70 kWh angenommen. Bei batterieelektrischen Bussen wird davon ausgegangen, dass die Batteriekapazität bis 2030 um 50 % ansteigt, dann aber auch keinerlei Reichweiteinschränkungen mehr bestehen, also kein Mehrbedarf kalkuliert werden muss. Da keine detaillierten Daten für einen Stromabnehmer für O-Busse vorlagen, wird ein Lkw-Pantograf als Näherungswert bilanziert.

	Solobusse	Gelenkbusse
Motorleistung	240 kW	240 kW
Leistung Brennstoffzelle	150 kW	150 kW
Tankinhalt CNG	200 kg	250 kg
Tankinhalt H ₂	30 kg	30 kg
Batteriekapazität O-BEV	70 kWh	70 kWh
Batteriekapazität FCEV	50 kWh	50 kWh
Batteriekapazität BEV 2023	390 kWh	413 kWh
Batteriekapazität BEV 2030	615 kWh	741 kWh

Tabelle 14: Technische Fahrzeugparameter der bilanzierten Busse

Bei der Bewertung handelt es sich im Wesentlichen um einen technischen Vergleich von Fahrzeugen ähnlicher Größe und Nutzbarkeit, die in diesem Fall weitgehend durch den Fahrzeugtyp (12-m-Solobus bzw. 18-m-Gelenkbus) als funktionelle Einheit definiert sind. Für alle Antriebskonzepte wird eine gleiche Be-

förderungskapazität und Auslastung unterstellt. Vergleichlich wird daher die Klimawirkung eines Busses über den gesamten Lebensweg. Die Lebensdauer der Busse wird dabei mit 12 Jahren angenommen. Bei batterieelektrischen Bussen kann über diese Lebensdauer für die heutigen Inbetriebnahmen (2023) ein

Batteriewechsel notwendig werden, der aber in den Ergebnissen gesondert ausgewiesen wird. Für die Wechselbatterie wird dann eine Herstellung 2030 unterstellt, die von verbesserten Produktionsbedingungen, neuerer Zellchemie und einer höheren Energiedichte ausgeht.

Zur Jahresfahrleistung der Busse liegen unterschiedliche Daten vor. Während Dieselbusse als Referenztechnologie eine Jahresfahrleistung zwischen 50.000 und 60.000 km zurücklegen, lag die durchschnittliche Jahresfahrleistung der geförderten Elektrobusse in den Jahren 2021 und 2022 noch im Bereich von 36.000 bis 40.000 km und damit deutlich niedriger. 2023 wurde dann jedoch bereits eine durchschnittliche mittlere Jahresfahrleistung von 55.000 km erreicht. Dies entspricht grob den für Dieselbusse erwartbaren Werten und wird daher für alle Antriebskonzepte zugrunde gelegt.

Erfahrungen bei der Elektrifizierung von Busflotten zeigen jedoch, dass je nach Routenwahl, verfügbarer Infrastruktur und anderen Gegebenheiten mehr E-Busse notwendig sein können als in der ursprünglichen Dieselflotte. Ältere Quellen (Jefferies & Göhlich, 2020) beziffern den Mehrbedarf noch im Bereich von 12 % bei Depot- und 8 % bei Gelegenheitsladern, jüngere Schätzungen im Rahmen der Förderung gehen heute von nur noch 7,5 % bei den in der Förderung dominierenden Depotladern aus, was für eine konservative Betrachtung der Elektrobusse übernommen wird.

Bilanziert werden die Klimagasemissionen als CO₂-Äquivalent-Emissionen (CO₂e) unter Verwendung der Faktoren für das Erderwärmungspotenzial nach dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nach dem Fifth Assessment Report (IPCC 2014) für einen Zeithorizont von 100 Jahren und ohne Klimakohlenstoff-Rückkopplung. Da die Antriebstechnologien fahrzeugseitig unterschiedliche Komponenten erfordern (insbesondere Batterie, Brennstoffzelle und Wasserstofftank), wird eine ökobilanzielle Lebenswegbetrachtung durchgeführt. Die Systemgrenze umfasst den gesamten Lebenszyklus

der Fahrzeuge selbst, von der Herstellung des Fahrzeugs über die Bereitstellung von Kraftstoffen und Strom für die Nutzungsphase bis hin zum Ende der Lebensdauer (einschließlich Batterierecycling). Die Wartung der Busse konnte nicht berücksichtigt werden, da für alternative Antriebskonzepte bisher kaum belastbare Daten vorliegen.

Die Infrastruktur für die Energieerzeugung wird aufgrund der Bedeutung für erneuerbare Energien (z. B. Solarenergie) einbezogen, da hier die Auswirkungen allein von der Infrastruktur ausgehen. Da alle untersuchten Fahrzeuge den weitgehend gleichen Bedarf an Straßeninfrastruktur haben, wurden diese Elemente weggelassen. Dennoch kann es aufgrund des unterschiedlichen Fahrzeuggewichts zu Unterschieden bei der Straßenabnutzung kommen, die jedoch insgesamt nur geringe Auswirkungen haben dürften. Lade- und Betankungsinfrastruktur (z. B. Schnellladung, Wasserstofftankstellen-Infrastruktur, Elektrifizierung der Straße) ist bei einer vergleichenden Bewertung alternativer Antriebe prinzipiell von Bedeutung. Erste Untersuchungen des Beitrags dieser Komponenten zur Gesamtbilanz für schwere Nutzfahrzeuge im Güterverkehr zeigen jedoch einen nur geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz (Helms et al. 2022).

Der räumliche Bezugsrahmen ist die Situation in Deutschland, insbesondere hinsichtlich der Strombereitstellung für den Betrieb direktelektrischer Konzepte sowie die Herstellung elektrobasierter Kraftstoffe (Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe). Dabei wird jeweils der deutsche Strommix angenommen. Zeitlich wird neben der aktuellen Situation (Inbetriebnahme 2023) auch ein Szenario für Busse betrachtet, die 2030 in Betrieb genommen werden. Die wichtigsten zeitlichen Anpassungen im Vergleich zur aktuellen Situation sind Änderungen im deutschen Strommix gemäß den aktuellen politischen Rahmenbedingungen (Szenario GreenLate in [Purr et al. 2019]), Verbesserungen im Energiebedarf der Fahrzeuge, Änderungen in der Versorgung mit fossilen und erneuerbaren Kraftstoffen und Verbesserungen in der Brennstoffzellen- und Batterieherstellung

(z. B. Materialzusammensetzung, Energiedichte, Energiebedarf für die Produktion und Produktionsstrom). Über die angenommene Lebensdauer von 12 Jahren erwartete Verbesserungen im deutschen Strommix werden in beiden Fällen berücksichtigt.

Potenziell ist 2030 auch die Nutzung von erneuerbaren Importkraftstoffen denkbar (H_2 und PtL) und wird daher zusätzlich dargestellt, auch wenn die Verfügbarkeit und Preisentwicklung noch unsicher sind. Diese Importoptionen setzen voraus, dass in den potenziellen Herkunftsländern nicht nur ein hohes Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarem Strom besteht, sondern auch die entsprechenden Produktionskapazitäten sowie verlässliche, effiziente Transportwege für H_2 und PtG/PtL bis 2030 aufgebaut werden können. Das Exportpotenzial ist zwar theoretisch groß, allerdings ist dieser Ansatz mit erheblichen geopolitischen Herausforderungen und neuen Abhängigkeiten verbunden. Zudem muss sichergestellt werden, dass neben dem wirtschaftlich und technisch anspruchsvollen Technologiehochlauf auch Nachhaltigkeitskriterien hinsichtlich politischer, sozialer und ökologischer Anforderungen eingehalten werden. Hierzu sollte insbesondere das Potenzial zur heimischen Nutzung des erneuerbaren Stroms im Produktionsland bereits genutzt werden, um die lokale Energieversorgung zur Treibhausgasneutralität zu transformieren, bevor der Strom unter Energieverlusten in Wasserstoff oder PtL umgewandelt und exportiert wird.

Eine umfassende Erläuterung der Datengrundlagen der Analyse findet sich im Anhang in Kapitel 5.6.6.

Ergebnisse der Klimabilanz

Abbildung 112 zeigt zunächst die Klimagasemissionen eines 2023 in Betrieb genommenen 12-m-Standardbusses sowie eines 18-m-Gelenkbusses über einen Lebensweg von 12 Jahren in Deutschland. Für batterieelektrische Busse (BEV) und oberleitungsgebundene Busse (O-BEV) sowie die Bereitstellung von elektrolytisch hergestelltem Wasserstoff (FCEV [El. DE]) wurde der deutsche Strommix angenommen, der sich entsprechend dem angenommenen Szenario (siehe oben) weiter dekarbonisiert.

Damit werden die Klimagasemissionen durch die Inbetriebnahme von Bussen mit direktelektrischen Konzepten, also BEV und O-BEV, gegenüber der Dieselreferenz bereits heute mehr als halbiert. Der Klimavorteil ist beim oberleitungsgebundenen O-BEV mit 62 % bzw. 63 % (Solo- bzw. Gelenkbus) aufgrund der kleiner ausgelegten Batterie sogar noch etwas größer als beim rein batterieelektrischen Bus (54 % bzw. 57 % Minderung). Im Rahmen der Unsicherheiten lassen sich aus diesem Unterschied aber keine abschließenden Aussagen für den Vergleich von reinen BEV und oberleitungsgebundenen BEV treffen. Hier fehlen unter anderem Praxiswerte zum Verbrauch von vergleichbaren Oberleitungsbussen, da diese nicht im Rahmen der Förderung beschafft wurden. Zudem kann hier auch die Berücksichtigung der Lade- bzw. Oberleitungsinfrastruktur zu einer Verschiebung in der Bewertung führen.

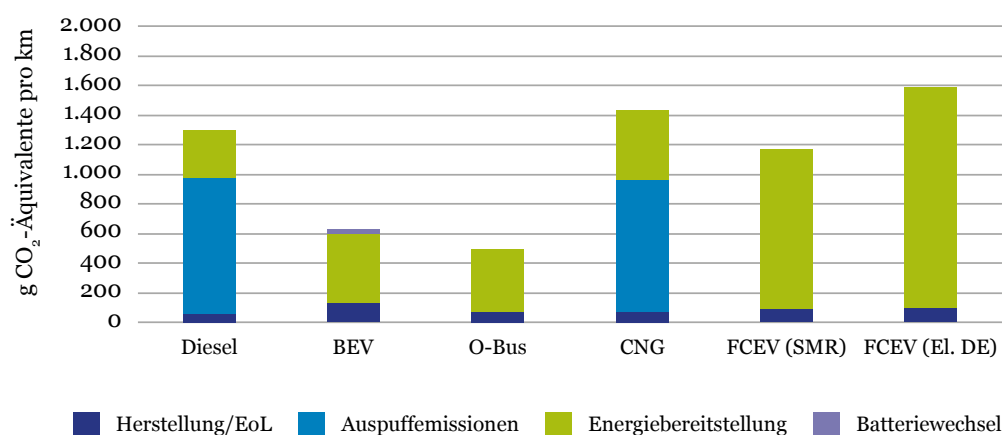
Erdgasbusse (CNG) haben heute gegenüber Dieselnissen keinen Klimavorteil, da sie physisch mit überwiegend fossilem Kraftstoff betrieben werden – nur bilanziell wird ihnen jedoch ein größerer Anteil Biomethan zugerechnet, der hier aber nicht berücksichtigt ist. Auf der anderen Seite bestehen hier noch Unsicherheiten bezüglich eines Methanschlupfes, der die Bilanz verschlechtern könnte, dies würde dann den Klimavorteil grundsätzlich infrage stellen.

Etwas günstiger schneiden demgegenüber Brennstoffzellenbusse ab, die mit Wasserstoff aus der heute üblichen Erdgasdampfpreformierung (SMR) betrieben werden, der heute übliche Herstellungspfad. Hier entsteht immerhin ein leichter Klimavorteil von 10 % bzw. 5 % (Solo- bzw. Gelenkbus). Bei dieser Herstellungsrouten von Wasserstoff lassen sich weitere Klimavorteile allerdings nur über den Einsatz von Biomethan realisieren, die Potenziale hier sind jedoch begrenzt. Perspektivisch ist der vermehrte Einsatz von elektrolytisch hergestelltem Wasserstoff wahrscheinlich, bei dem auch erneuerbarer Strom zur Herstellung eingesetzt werden kann. Hier ist der überwiegende Einsatz erneuerbaren Stroms jedoch zwingend notwendig, denn: Wird Wasserstoff bereits heute national mit deutschem Strommix hergestellt,

liegen die Emissionen sogar gut 23 % bzw. 30 % (Solo- bzw. Gelenkbus) höher als bei der Dieselreferenz. Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED) verlangt

zur Anrechnung daher auch eine mindestens 70%ige Minderung gegenüber dem fossilen Komparator.

12-m-Standardbus, Inbetriebnahme 2023



18-m-Gelenkbus, Inbetriebnahme 2023

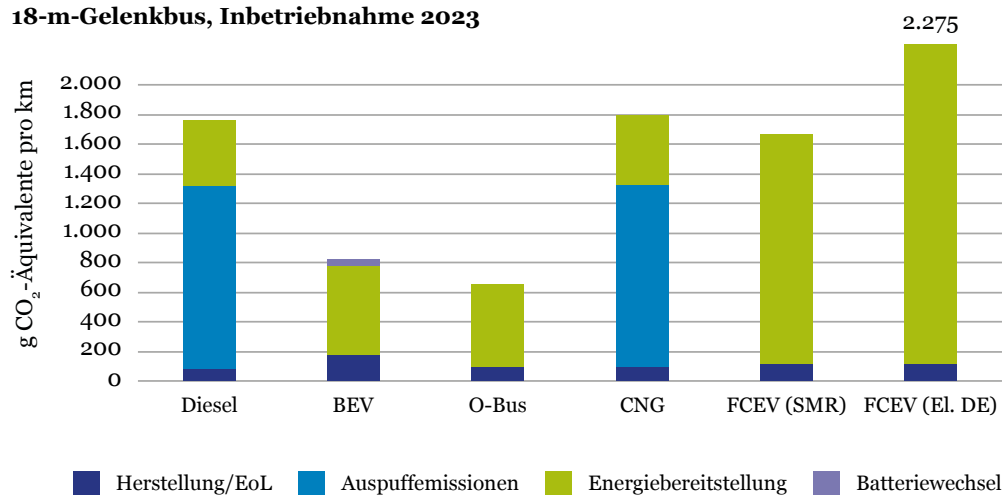


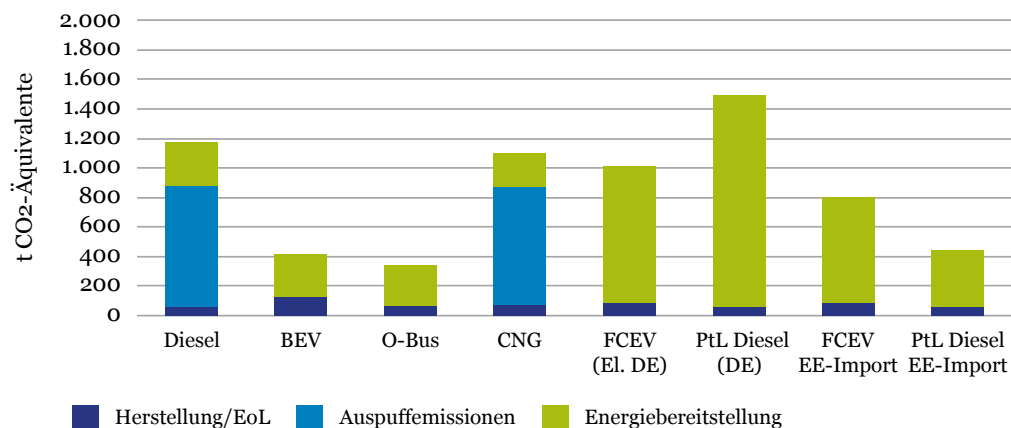
Abbildung 112: Klimagasemissionen eines 12-m-Standardbusses und 18-m-Gelenkbusses über den Lebensweg in Deutschland bei Inbetriebnahme 2023 in der Einführungsphase (12 Jahre, 480.000 km) in einem Standardbetrieb (12 Jahre, 660.000 km). Deutscher Strommix für alle strombasierten Konzepte und Energieträger.

BEV = batterieelektrisch, O-BEV = oberleitungsgebunden mit Batterie, CNG = Erdgas, FCEV = Brennstoffzelle (SMR = Steam Methane Reforming, El = Elektrolyse)

Zukünftig ist mit steigenden Batteriekapazitäten und wachsender Erfahrung im Umgang mit den Bussen wahrscheinlich kein Mehrbedarf mehr zu erwarten. Abbildung 113 zeigt die Klimabilanz als Szenario für eine Inbetriebnahme 2030. Neben Verbesserungen in der Herstellung von Batterien und Brennstoffzellen wurde vor allem eine weitere Dekarbonisierung der Strombereitstellung unterstellt (siehe oben). Durch den nach 2030 deutlich stärker dekarbonisierten Strommix haben die Konzepte mit direkter Stromnutzung (BEV und O-BEV) dann einen noch größeren Klimavorteil als heute, der bei BEV gut 65 % und bei O-BEV gut 70 % beträgt. Wird der Wasserstoff für Brennstoffzellenbusse national über Elektrolyse mit deutschem Strommix hergestellt, entsteht dann zwar ein Klimavorteil, der allerdings mit 13 % bzw. 17 % (Solo- bzw. Gelenkbus) immer noch begrenzt ist. Würde synthetischer Diesel (PtL) eingesetzt, der national mit deutschem Strommix hergestellt wird, entsteht sogar ein deutlicher Klimanachteil von knapp 30 % gegenüber der Nutzung des heute üblichen, weitgehend fossilen Dieselmotors.

2030 könnten jedoch auch bereits erneuerbare Importkraftstoffe verfügbar sein. Bei erneuerbarem Importwasserstoff bleibt der Klimavorteil mit gut 30 % aufgrund des aufwendigen Transports jedoch deutlich hinter dem Vorteil direktelektrischer Konzepte, die mit nationalem Strommix betrieben werden, zurück. Etwas besser sieht es dann trotz höherer Konversionsverluste für den Import erneuerbarer synthetischer Kraftstoffe aus. Mit einem Klimavorteil von gut 60 % wäre diese Option dann jedoch auch nur näherungsweise vergleichbar mit dem Einsatz von BEV. Zusätzlich setzen diese Importoptionen voraus, dass in den potenziellen Herkunftsländern nicht nur ein hohes Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarem Strom besteht, sondern auch die entsprechenden Produktionskapazitäten sowie verlässliche, effiziente Transportwege für H₂ und PtG/PtL bis 2030 aufgebaut werden können.

12-m-Standardbus, Perspektive 2030



18-m-Gelenkbus, Perspektive 2030

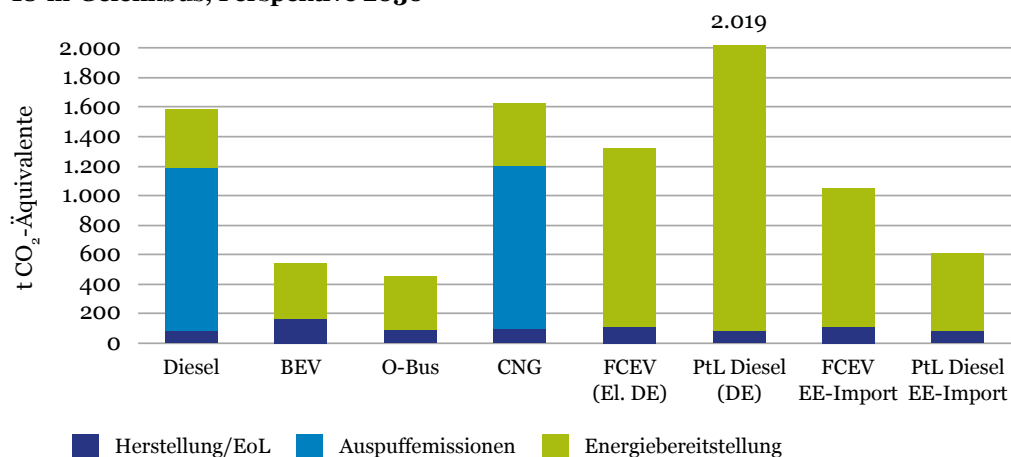


Abbildung 113: Klimagasemissionen eines 12-m-Standardbusses und 18-m-Gelenkbusses über den Lebensweg (12 Jahre, 660.000 km) in Deutschland bei Inbetriebnahme 2030. Deutscher Strommix (DE) bzw. erneuerbarer Strommix (EE-Import) für alle strombasierten Konzepte und Energieträger.

BEV = batterieelektrisch, O-BEV = oberleitungsgebunden mit Batterie, FCEV = Brennstoffzelle, PtL = synthetischer Kraftstoff

Abbildung 114 vergleicht die hier erstellte Klimabilanz von Elektrobussen mit Ergebnissen anderer Studien. Die hier für elektrische Solobusse ermittelten absoluten Klimagasemissionen liegen für die heutige Situation in einem ähnlichen Bereich von etwa 600 g CO₂-Äquivalenten pro gefahrenen Kilometer, wie auch in jüngeren Studien für den Einsatz in Deutschland bilanziert (Hill et al. 2020). Die Klimawirkung

der Dieselfbusse wurde hier jedoch etwas niedriger bilanziert, sodass die relative Minderung gegenüber Dieselfbussen hier mit 54 % etwas niedriger ausfällt. Die Größenordnungen werden damit jedoch gut bestätigt. Für eine Inbetriebnahme 2030 wurden hier ebenfalls ähnliche Klimagasemissionen wie in (Hill et al. 2020) bilanziert.

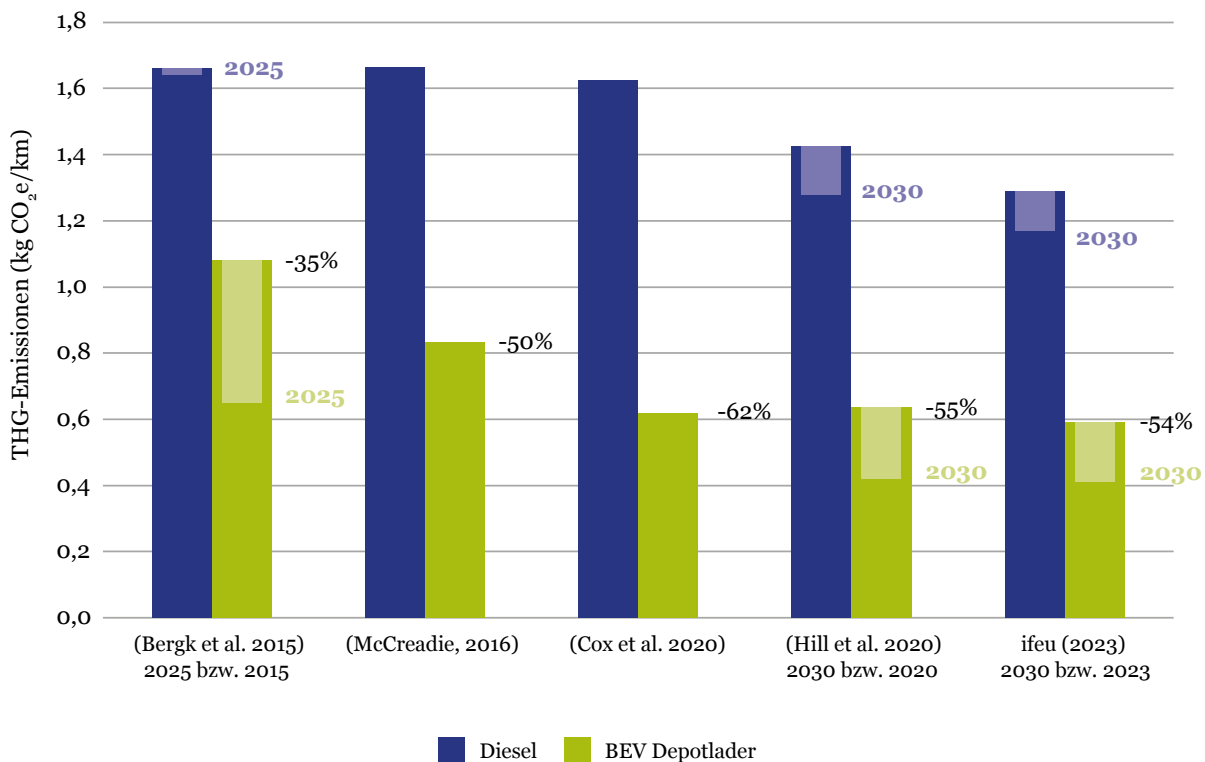


Abbildung 114: Die Klimabilanz von Elektrobussen im Vergleich mit Ergebnissen in anderen Studien. Quellen: (Bergk et al. 2015); (McCreadie 2016); (Cox et al. 2020); (Hill et al. 2020) sowie diese Studie als ifeu (2023), THG-Emissionen (kg CO₂e/km)

3.2.1.2 Ökologische Wirkung der geförderten Busse

Auf Basis der Klimabilanz von Elektrobussen im Vergleich mit der Dieselreferenztechnologie kann nun eine erste Berechnung des ökologischen Beitrags der Förderung erfolgen. Der Fokus liegt emissionsseitig einerseits auf den zuvor auf Einzelfahrzeugebene bilanzierten Klimagasemissionen und andererseits auf den heute vor allem in städtischen Gebieten relevanten Stickoxid- (NO_x) und Partikelemissionen (Particulate Matter = PM). Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Wirksamkeit der betrachteten Wirkungen (lokal, regional und global) wird eine dreistufige Berechnung und Analyse durchgeführt:

- **Tank-to-Wheel-Betrachtung (TtW):** Berechnung der vermiedenen direkten Auspuffemissionen der Referenzfahrzeuge. Hier stehen vor allem die in dicht besiedelten Gebieten wirksamen Schadstoffemissionen NO_x und PM) im Vordergrund. Klimaseitig gehen hier Elektrobusse als Nullemissionsfahrzeuge ein.
- **Well-to-Wheel-Betrachtung (WtW):** Berechnung der vermiedenen Klimagasemissionen am Fahrzeug und in der Energiebereitstellung. Über die direkten Auspuffemissionen hinaus werden also auch die Emissionen der Stromerzeugung und Kraftstoffbereitstellung berücksichtigt.
- **Lebenswegbetrachtung (LCA):** Berechnung der vermiedenen Klimagasemissionen (WtW) zuzüglich der Emissionen der Fahrzeugherstellung auf Basis der bereits abgeleiteten Ergebnisse.

Im Rahmen des Projektes werden nach letztem Kenntnisstand 872 Solobusse und 626 Gelenkbusse mit batterieelektrischem Antrieb gefördert. Die Zahl der Midibusse ist mit 22 vernachlässigbar klein. Als Referenz wird davon ausgegangen, dass die Elektrobusse jeweils die Neuanschaffung eines Dieselbusses ersetzen, wobei ein Mehrbedarf von 7,5 % für die überwiegend eingesetzten Depotlader angenommen wird.

Die Berechnung des ökologischen Beitrags erfolgt klimagasseitig basierend auf der zuvor dargestellten Klimabilanz für den Solo- und Gelenkbus. Dabei wurden bereits die im Rahmen der Begleitforschung erfassten technischen Parameter, Verbrauchsdaten und Nutzungsmuster der geförderten Busse berücksichtigt. Für die Schadstoffemissionen der ersetzten Dieselbusse werden Emissionsfaktoren für neue Linienbusse aus dem ifeu Emissionsmodell TREMOD verwendet (Allekotte et al. 2022).

Im Ergebnis werden durch die etwa 1.500 geförderten vollelektrischen Solo- und Gelenkbusse über deren Lebensweg voraussichtlich etwa 920 kt CO₂-Äquivalente an Klimagasemissionen am Auspuff von Dieselbussen eingespart (TtW-Betrachtung), das entspricht knapp 77 kt pro angenommenes Betriebsjahr (siehe Abbildung 115). Diese Einsparung über das Leben der geförderten Fahrzeuge entspricht etwa 39 % der direkten Klimagasmissionen der Diesellinienbusse im Jahr 2021 nach TREMOD, wird aber erst über den gesamten Lebensweg der geförderten Busse von 12 Jahren erreicht.

Berücksichtigt man auch die Energiebereitstellung (WtW-Betrachtung), sinkt dieser Wert trotz des angenommenen deutlichen Ausbaus erneuerbarer Energien über den Lebensweg der Fahrzeuge auf gut 800 kt, was immer noch 27 % der direkten Emissionen aller Diesellinienbusse im Jahr 2021 nach TREMOD entspricht. Die zusätzliche Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung (LCA-Betrachtung) senkt die Minderungswirkung dann nur noch geringfügig auf gut 720 kt Gesamtminderung bzw. etwa 60 kt jährliche Minderung.

Der geringe Unterschied zwischen WtW- und LCA-Betrachtung liegt daran, dass die gegenüber den Dieselbussen zusätzlichen Herstellungsemissionen bei Elektrobussen, die im Wesentlichen auf die Batterien zurückgehen, über eine im Vergleich zu Pkw recht hohe Lebensfahrleistung abgeschrieben werden. Wird eine zweite Batterie über den Lebensweg benötigt, kann dies die Bilanz jedoch negativ beeinflussen. Dabei ist jedoch davon auszugehen, dass die mit der

Batterieherstellung verbundenen Klimagasemissionen künftig tendenziell sinken. Haupttreiber dürften hier effizientere Prozesse (durch Skalen- und Lernkurveneffekte), mehr Einsatz erneuerbarer Energien und höhere Energiedichten (und damit geringerer Materialeinsatz) sein.

Zusätzlich werden durch den Einsatz der geförderten Elektrobusse auch noch erhebliche Mengen an Schadstoffemissionen eingespart. Hier werden die direkten Auspuffemissionen der Dieselmotoren im Straßenraum komplett vermieden. Die Einsparungen der geförderten Elektrobusse betragen unter Berücksichtigung eines Mehrbedarfs an Elektrobussen von 7,5 % über einen angenommenen Lebensweg von 12 Jahren gut 400 kg NO_x-Emissionen und etwa 40 kg PM-Emissionen. Davon gehen etwa 43 % (NO_x) bzw. 37 % (PM) auf die Solobusse zurück, der Rest auf die Gelenkbusse.

Die aktuelle Förderung adressiert jedoch direkt nur einen Teil des Gesamtmarktes. Derzeit sind nach TREMOD knapp 60.000 Linienbusse in Deutschland im Betrieb und das TREMOD Trendszenario geht für die nächsten Jahre von gut 4.000 Neuzulassungen jährlich aus (Allekotte et al. 2022). Der direkte Klimaschutzbeitrag allein der geförderten Busse bleibt damit begrenzt. Dabei dient die Förderung jedoch auch dem gesamten Markthochlauf elektrischer Antriebe, sodass die mittelfristig erwarteten Umweltwirkungen von Elektrobussen im Gesamtmarkt im nächsten Kapitel das Gesamtbild der ökologischen Bewertung vervollständigen sollen.

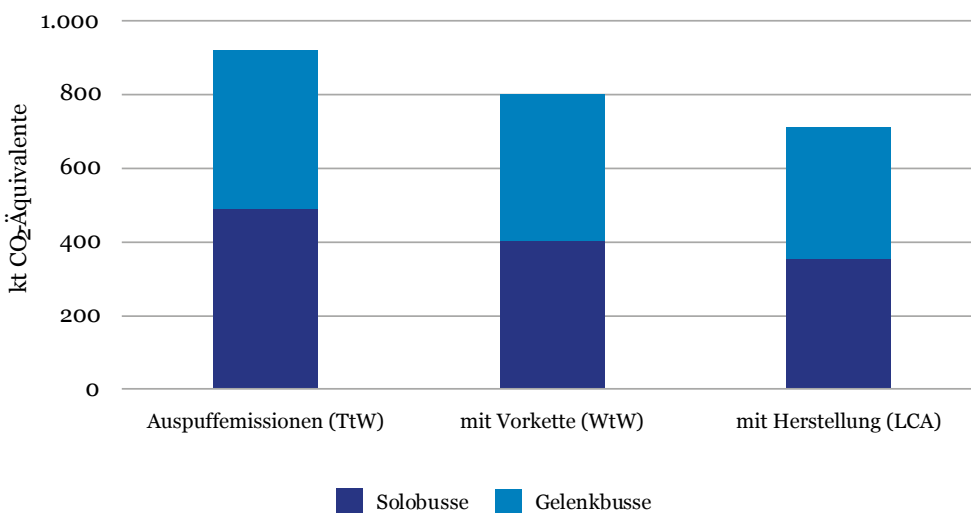


Abbildung 115: Klimagaseinsparungen der geförderten Elektrobusse über ihren gesamten Lebensweg

3.2.1.3 Hochrechnung der ökologischen Effekte auf den Gesamtmarkt

Ein wesentliches Ziel der Förderung ist nicht nur der direkte ökologische Beitrag, sondern die Unterstützung eines breiteren Markthochlaufs von Elektrobussen im öffentlichen Verkehr. So werden im Rahmen der Projekte wertvolle Erfahrungen gesammelt, Infrastrukturen aufgebaut und betriebliche Hemmnisse für den Einsatz von Elektrobussen abgebaut. Zusätzlich wird insbesondere mit der Clean Vehicles Directive und den Vorgaben zu den CO₂-Flottengrenzwerten auf EU-Ebene ein politischer Rahmen hin zu klimafreundlichen Bussen geschaffen. Daher ist es sinnvoll, zusätzlich eine Hochrechnung der möglichen Klimagas-, Stickoxid- (NO_x) und Partikeleinsparungen (PM_{2,5}) in einem zukünftig von Elektrobussen stärker durchdrungenen Gesamtmarkt durchzuführen.

Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit dem TREMOD-Modell in der Version 6.43 (ifeu 2024) und anhand von vier unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. TREMOD bildet dabei zum einen die realen Entwicklungen bei Linienbussen hinsichtlich Fahrleistung und Emissionen von 1990 bis 2022 ab. Diese Ergebnisse werden auch für die Berichtspflichten der Bundesregierung verwendet. Zum anderen können zukünftige Hochlaufszszenarien definiert und deren Umweltwirkungen berechnet werden.

Als gemeinsame Basis für alle Szenarien wurden die gleichen Rahmendaten aus TREMOD verwendet. Diese umfassen z. B. neben den Verbrauchsdaten und Emissionsfaktoren auch die Entwicklung der Gesamtfahrleistung der Linienbusse sowie die angenommenen jährlichen Neuzulassungen. Die Entwicklung der Fahrleistung von Linienbussen wurde dabei aus der gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose 2022 (intraplan 2023) abgeleitet. Es wird darin von einer steigenden Gesamtfahrleistung von rund 2,6 Mrd. Fahrzeugkilometern im Jahr 2022 auf rund 3,2 Mrd. km in 2050 ausgegangen. Bei den jährlichen Neuzulassungen der Linienbusse wird von der Annahme ausgegangen, dass diese in allen Szenarien von rund 4.000 Linienbussen im Jahr 2022 auf rund 4.600

Busse im Jahr 2050 ansteigen. Darüber hinaus wird die Entwicklung des deutschen Strommix des Szenarios GreenLate in (Purr et al. 2019) analog zu Kapitel 3.2.1.1 angenommen. Neben den für alle Szenarien gleichen Rahmendaten unterscheiden sich die Szenarien insbesondere bezüglich der Neuzulassungsanteile der batterieelektrischen Linienbusse.

Im Trend-Szenario wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Neuzulassungen batterieelektrischer Linienbusse von rund 16 % im Jahr 2022 auf 64 % im Jahr 2030 und schließlich 100 % im Jahr 2050 ansteigt (siehe Abbildung 116). Die Annahmen im Trend-Szenario werden zum einen durch die in Kapitel 2.2.5 ermittelten angekündigten Anschaffungen an neuen E-Bussen bis zum Jahr 2030 und zum anderen durch eine Abschätzung der Wirkung der CO₂-Flottenzielwerte gestützt. Die angekündigten Anschaffungen werden dabei mit rund 11.000 neuen E-Bussen im Zeitraum 2024 bis 2030 beziffert. Diese sind auch im Trend-Szenario abgebildet. Die Beschaffungen können jedoch durch weitere noch nicht verkündete Bestellungen weiter ansteigen.

Die Annahmen des Trend-Szenarios bilden dabei näherungsweise die CO₂-Flottenzielwerte ab. Mit der Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge vom Juni 2024 haben der Europäische Rat und das Parlament eine Zielvorgabe von 100 % emissionsfreien Neuzulassungen bei Stadtbussen ab dem Jahr 2035 beschlossen. Zusätzlich wird dabei ein Zwischenziel von 90 % im Jahr 2030 festgelegt (Europäische Union 2024). Mit der Annahme aus Kapitel 2.2.4, dass rund 65 % (35.000 Busse) der aktuell rund 54.000 Linienbusse in Deutschland Stadtbusse sind und dieser Anteil auch in 2030 gilt, würde sich mit der Zielvorgabe von 90 % elektrischer Stadtbusse in 2030 ein Mindestneuzulassungsanteil von 59 % über alle Linienbusse ergeben. Sollte dann nur jeder fünfte Bus (20 %) der verbleibenden Linienbusse (Anteil von 35 %) ein Elektrobus sein, würde sich über alle Linienbusse bereits ein Neuzulassungsanteil elektrischer Linienbusse von rund 65 % im Jahr 2030 ergeben, wie im Trend-Szenario abgebildet.

Zusätzlich zum Trend-Szenario werden mit dem „80 % 2030“- und „100 % 2030“-Szenario zwei gegenüber dem Trend-Szenario ambitioniertere Szenarien dargestellt. Darin wird von einem stärkeren Anstieg des Anteils batterieelektrischer Linienbusse auf 80 % bzw. 100 % im Jahr 2030 und damit einer schnelleren Marktdurchdringung ausgegangen. Ab dem Jahr 2040 werden in den beiden Szenarien ausschließlich Elektrobusse angeschafft.

Das Diesel-Szenario dient dagegen als Referenzszenario und bildet eine hypothetische Entwicklung ohne elektrische Antriebe ab. Die real bereits erfolgte

Einflottung von E-Bussen ist hier nicht abgebildet. Im Diesel-Szenario wird die Annahme getroffen, dass auch die Fahrleistung aller ab 2018 neu zugelassenen Batteriebusse durch Dieselfahrzeuge erbracht wird. Das Diesel-Szenario stellt demnach kein realistisches Szenario dar, sondern dient allein der Berechnung einer Minderungswirkung durch die zunehmende Elektrifizierung. In der nachfolgenden Abbildung 116 sind die angenommenen BEV-Neuzulassungsanteile der einzelnen Szenarien noch einmal zusammengefasst dargestellt.

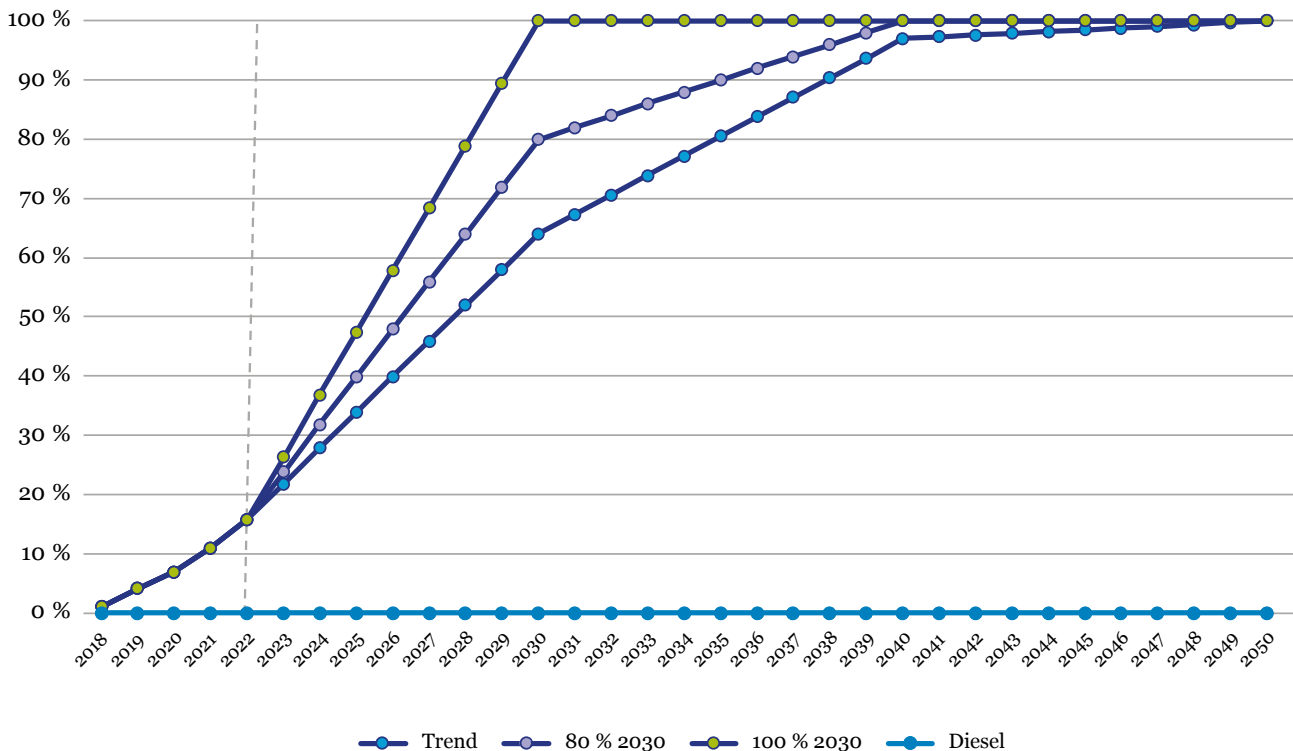


Abbildung 116: Neuzulassungsanteil BEV

Aufgrund der über den Betrachtungszeitraum zunehmenden BEV-Neuzulassungen steigt auch der Anteil an batterieelektrischen Bussen im Linienbusbestand an. Im Trend-Szenario steigen die BEV-Anteile von 2,6 % im Jahr 2022 auf 20,9 % im Jahr 2030 und erreichen schließlich einen Anteil von 91,5 % im Jahr 2050 (siehe Abbildung 117). In den beiden ambitio-

nierteren BEV-Szenarien verläuft die Marktdurchdringung etwas schneller. Im 100 % 2030-Szenario wird z. B. im Jahr 2030 bereits ein Anteil von 29,6 % und im Jahr 2050 von nahezu 100 % erreicht. Im Diesel-Szenario werden als Referenz dagegen keine BEV abgebildet.

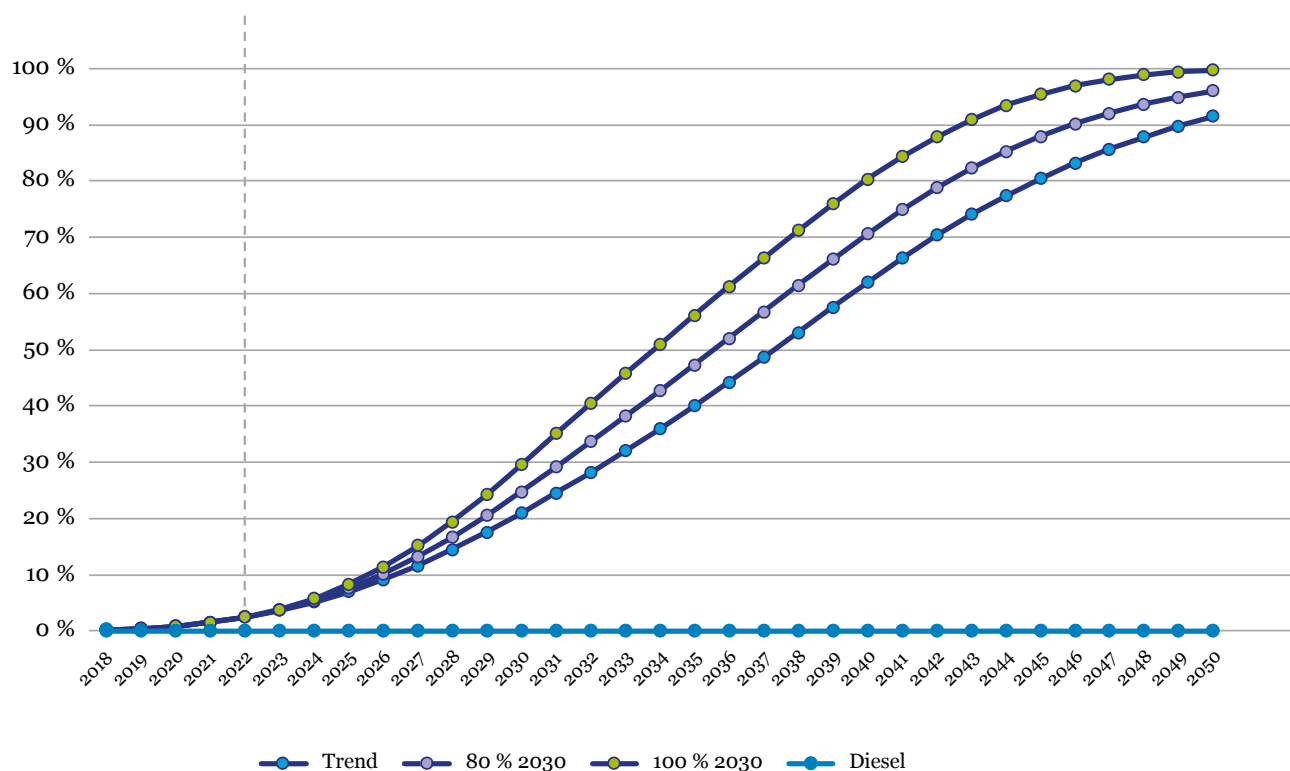


Abbildung 117: Anteil BEV im Bestand

In Abbildung 118 ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen (WTW) der unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Diese umfassen die direkten Auspuffemissionen und die Vorkettenemissionen für die Kraftstoff- und Strombereitstellung. Im Diesel-Szenario steigen die Emissionen aufgrund der ansteigenden Gesamtfahrleistung von rund 3 Mt CO₂äq im Jahr 2018 auf ca. 3,4 Mt CO₂äq im Jahr 2050 an, also um rund 14 %. Die Umschichtung der Dieselflotte auf immer effizientere Busse hat im Diesel-Szenario nur einen leicht dämpfenden Einfluss auf den Anstieg der Gesamtemissionen infolge der steigenden Gesamt-

fahrleistung. Durch die Wirkung der hauptsächlich im Rahmen von Förderprogrammen beschafften Elektrobusse liegen die THG-Emissionen bereits im Realjahr 2022 im Vergleich zum Diesel-Szenario um rund 1 % niedriger. Die in den Folgejahren angenommenen BEV-Neuzulassungen führen in allen BEV-Szenarien zu deutlichen Emissionseinsparungen. Bis zum Jahr 2050 können die THG-Emissionen damit bereits im Trend-Szenario um rund 89 % auf 0,38 Mt CO₂äq und im „100 % 2030-Szenario“ um 97 % auf 0,09 Mt CO₂äq gesenkt werden.

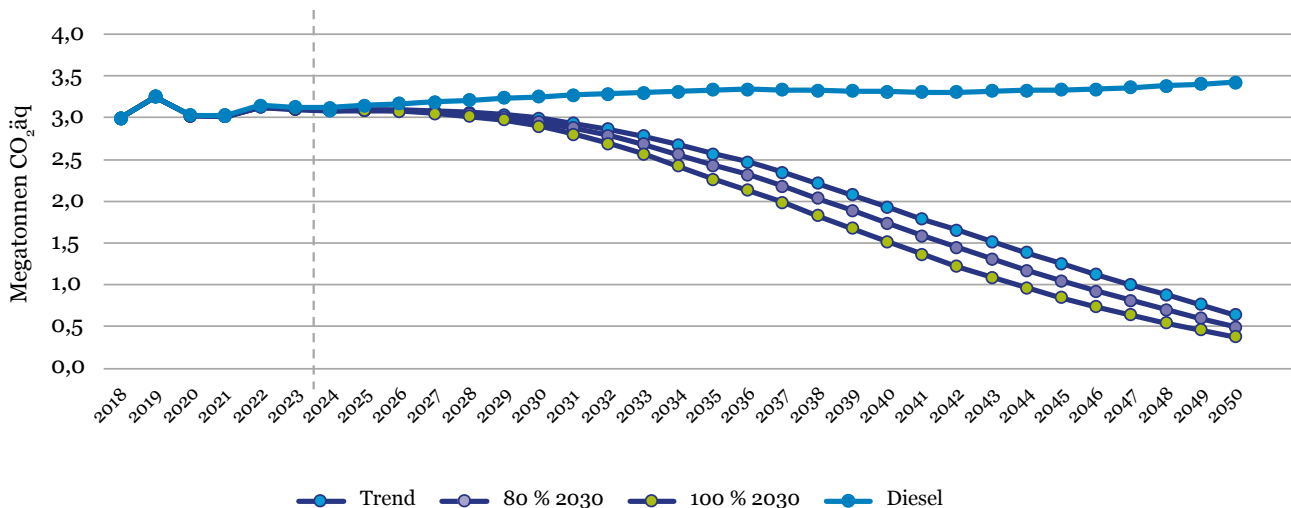


Abbildung 118: Treibhausgasemissionen WTW

Mit Blick auf die Stickoxidemissionen ist bereits im Diesel-Szenario eine starke Reduktion, insbesondere in den vergangenen Jahren, zu erkennen. Dies ist die Folge der immer stärkeren Flottendurchdringung von emissionsarmen Dieseln, die jedoch in den Jahren um 2040 weitgehend abgeschlossen ist. Im Vergleich zum Jahr 2018 sinken die gesamten NO_x-Emissionen der Linienbusse im Diesel-Szenario bereits von 13,1 kt um rund 76 % auf 3,1 kt im Jahr 2050. Im Zeitraum 2018 bis 2022 konnten aufgrund

des geringen Anteils der BEV-Busse im Bestand nur rund 0,5 % der NO_x-Emissionen eingespart werden. Im Trend-Szenario können die im Diesel-Szenario auch langfristig verbleibenden NO_x-Emissionen über den Betrachtungszeitraum bis 2050 jedoch insgesamt um noch mal 94 % auf 0,75 kt und im 100 % 2030-Szenario um 97 % auf 0,37 kt gesenkt werden, was langfristig einen erheblichen Beitrag zur Luftqualität leisten kann.

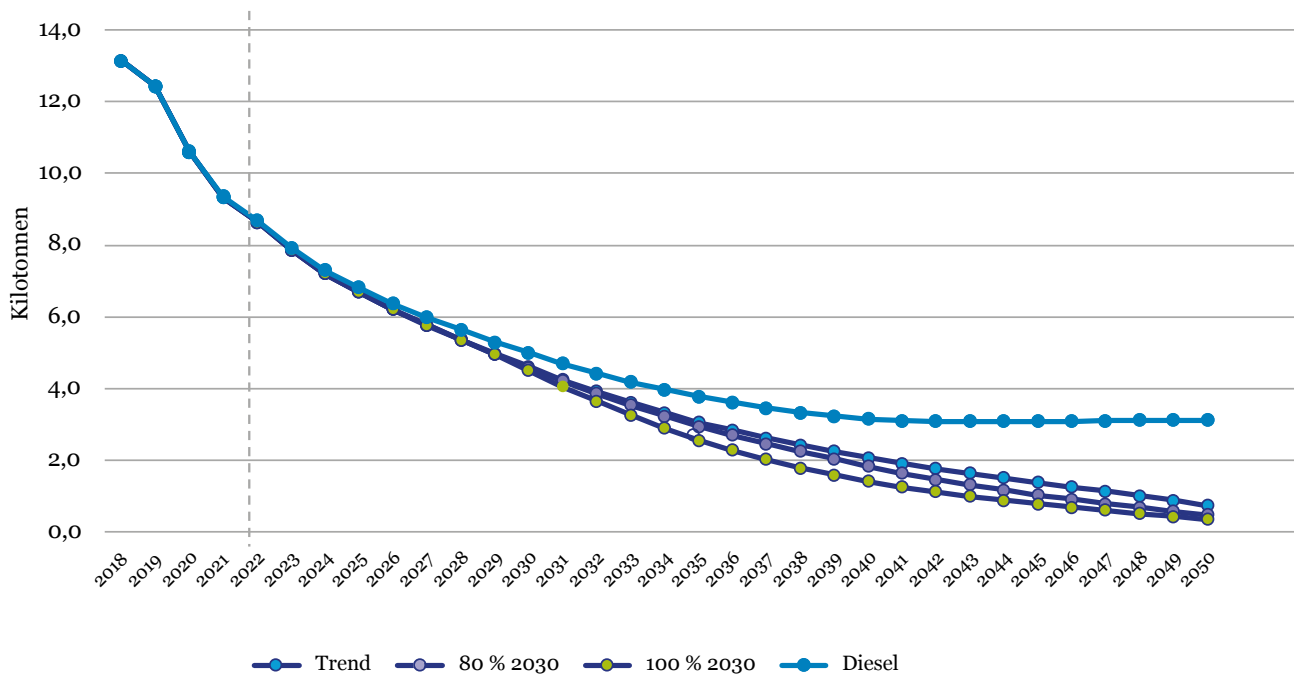


Abbildung 119: Stickoxidemissionen WTW

Ein relativ ähnliches Bild zeigt sich auch beim Blick auf die Partikelemissionen (PM_{2,5}). Sind die Emissionen im Diesel-Szenario in den Jahren 2018–2022 von 126 t auf 72 t noch stark gesunken, sind die zusätzlichen Einsparungen in den Folgejahren nur noch relativ gering und fallen bis auf einen Wert von 46 t im Jahr 2050. Dies entspricht einer Einsparung im

Zeitraum 2018–2050 von rund 64 %. Im Vergleich dazu können durch die steigenden Anteile an batterieelektrischen Bussen im selben Zeitraum deutlich stärkere Reduktionen von rund 92 % auf 10 t im Trend-Szenario und eine fast vollständige Reduktion im 100 % 2030-Szenario erreicht werden.

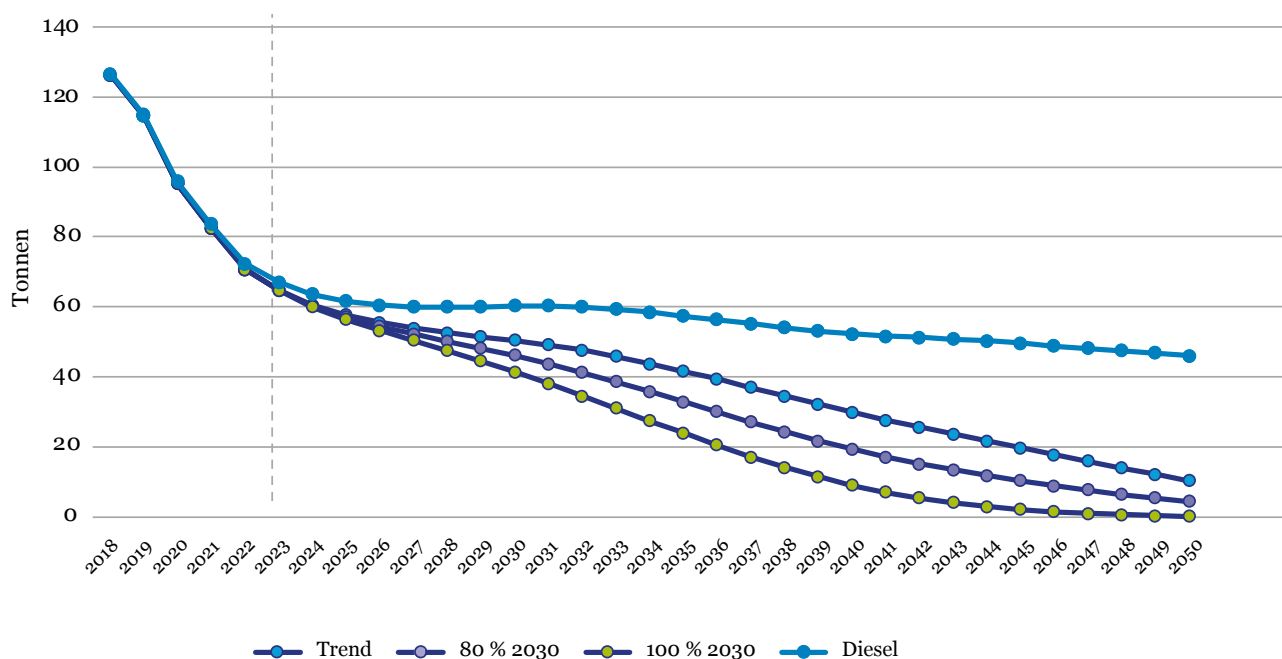


Abbildung 120: Partikelemissionen

In Abbildung 121 sind die kumulierten Emissionen für den Zeitraum 2018–2050 dargestellt. In den drei BEV-Hochlauf-Szenarien können gegenüber der Dieselreferenz kumulierte THG-Einsparungen zwischen 31 % im Trend-Szenario (34 Mt) und 38 % im 100 % 2030-Szenario (41 Mt) erreicht werden. Bei den Stickoxidemissionen fallen die möglichen Einsparungen geringer aus, da moderne Dieselbusse bereits relativ geringe Emissionen aufweisen und die Emissionen

also auch im Diesel-Szenario bereits stark zurückgehen. Die Einsparungen liegen zwischen 16 % im Trend-Szenario (27 kt) und 22 % im 100 % 2030-Szenario (38 kt). Bei den kumulierten Partikelemissionen sind die Einsparungen hingegen etwas höher und unterscheiden sich stärker zwischen den einzelnen Szenarien. Sie liegen zwischen 25 % (518 t) im Trend-Szenario und 43 % im 100 % 2030-Szenario (885 t).

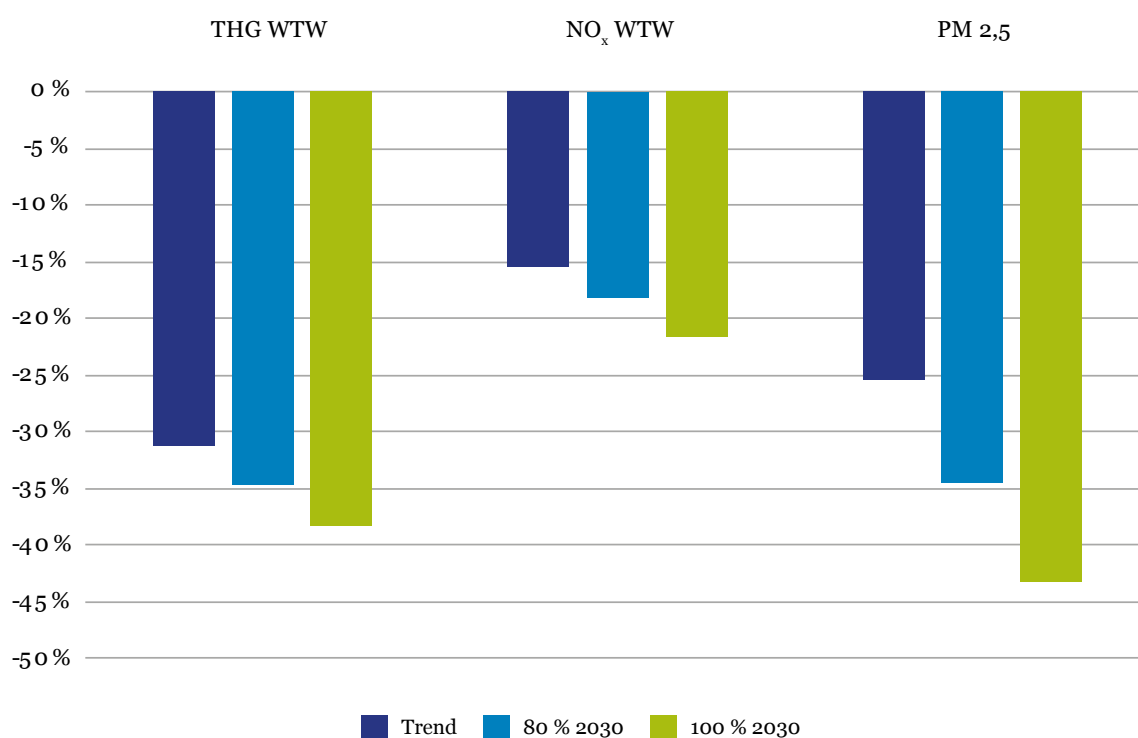


Abbildung 121: Kumulierte Emissionen im Zeitraum 2018–2050

3.2.2 Ökonomische Bewertung

Wirtschaftliche Vergleichsrechnung verschiedener Antriebstechnologien für Nahverkehrsbusse

Mit der steigenden Nachfrage nach nachhaltigen und emissionsfreien Verkehrslösungen steigt auch das Interesse an Elektrobussen. Allerdings sind die Anschaffungs- und Betriebskosten für E-Busse nach wie vor höher als für konventionelle Dieselflotten. Daher ist eine finanzielle Förderung für die Anschaffung und den Betrieb von E-Bussen unerlässlich, um den Umstieg auf diese umweltfreundlichere Technologie zu beschleunigen.

In der Finanzierungsdebatte im ÖPNV wird oft argumentiert, dass die höheren Kosten für E-Busse durch Einsparungen bei den Betriebskosten ausgeglichen werden können. Dies ist jedoch nur teilweise der Fall, da die Einsparungen bei den Betriebskosten oft nicht ausreichen, um die höheren Anschaffungskosten vollständig zu kompensieren. Deshalb wurden in diesem Kapitel betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnungen durchgeführt, um die Kosten verschiedener Bustypen und Antriebskonzepte zu vergleichen. Durch die Hochrechnung auf die gesamte deutsche Busflotte entsteht ein Überblick zum Potenzial für Einsparungen und Effizienzsteigerungen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Aussagen nicht allgemeingültig sind beziehungsweise die spezifischen Bedingungen und Anforderungen der verschiedenen Regionen und Verkehrsbetriebe zu berücksichtigen sind.

In der vorliegenden wirtschaftlichen Vergleichsrechnung werden ausgewählte Buskonzepte anhand der Vollkosten (Total Cost of Ownership [TCO]) miteinander verglichen. Dabei werden sowohl aktuell verfügbare Fahrzeuge (Jahr 2023) als auch ex-ante für das Jahr 2030 betrachtet, da bei einigen Kostenbestandteilen von emissionsfreien Antrieben deutliche Kostendegressionen erwartet werden. Dadurch werden die heutigen und zukünftigen Kostenunterschiede der verschiedenen Technologiekonzepte in Abhängigkeit von der Einsatzart erfasst und anschließend präsentiert. Die zu vergleichenden Buskonzepte unterscheiden

sich einerseits im Bustyp und andererseits im Antriebs- bzw. Ladekonzept. Bei den verglichenen Bustypen handelt es sich um Solobusse sowie Gelenkbusse, die in Deutschland die beiden häufigsten Bustypen darstellen. Bei den Antrieben wurde zwischen Dieselantrieb, batterieelektrischem Antrieb (BEV) und wasserstoffbasiertem Brennstoffzellenantrieb (FCEV) unterschieden. Beim batterieelektrischen Antrieb wurde zudem zwischen Depotladern und Gelegenheitsladern differenziert. Zusätzlich wurde innerhalb dieser Konzepte zwischen einer Variante mit Batteriewechsel nach sechs Jahren und einer Variante ohne Batteriewechsel unterschieden. Als Referenz für die vorliegende Untersuchung dient jeweils die Dieselvariante des Solo- bzw. Gelenkbus. Eine Betrachtung des Einsatzes von eFuels wurde nicht vorgenommen, da diese Kraftstoffe heute noch nicht verfügbar sind. Auch im Jahr 2030 ist die Verfügbarkeit noch fraglich und die Unsicherheiten bezüglich möglicher Preise sind deutlich größer als bei den anderen Energieträgern, für die zumindest heutige Vergleichswerte vorliegen.

Um die Kosten der verschiedenen Buskonzepte angemessen zu vergleichen, wurden die Vollkosten (TCO) über eine definierte Laufzeit von 12 Jahren für ein Fahrzeug berechnet. Die Vollkosten setzen sich zusammen aus den Investitionskosten für Fahrzeug und Infrastruktur sowie den jährlichen Kosten für Betrieb, Wartung und Energie. Die jährlichen Kosten werden dabei über die Laufzeit diskontiert. Die Angabe der Vollkosten erfolgt pro Fahrzeug sowie in Vollkosten pro Kilometer für das jeweilige Buskonzept.

Für die Berechnung der Kosten zur vollständigen Elektrifizierung der deutschen Busflotte wurden die Resultate der betriebswirtschaftlichen Betrachtung hochgerechnet auf den Teil der gesamtdeutschen Busflotte, der derzeit noch nicht elektrifiziert ist. Folglich entsprechen diese den gesamtdeutschen Vollkosten für die Elektrifizierung der derzeitigen Dieselflotte.

3.2.2.1 Daten und Annahmen

Die dieser Analyse zugrunde liegenden Daten und Annahmen sind im Anhang unter Kapitel 5.6.7 detailliert aufgeführt. Ausgewählte zentrale Parameter und Annahmen werden zum besseren Verständnis in diesem Kapitel genauer ausgeführt.

Als Prämisse für die Haltedauer wird ein Wert von 12 Jahren für alle Fahrzeugvarianten (nach Größe und Antriebsart) angesetzt, welcher jeweils in den beiden Basisjahren 2023 und 2030 beginnt. Zur Hälfte der Haltedauer wird bei Bussen mit batterieelektrischem Antrieb ein notwendiger Batteriewechsel angesetzt. Bei Bussen mit Brennstoffzellenantrieb wird ein Wechsel der Brennstoffzellen ebenfalls nach sechs Jahren unterstellt. Als Jahresfahrleistung wird ein Durchschnitt von 55.000 km angenommen, basierend auf den Erhebungen im Rahmen der Betriebsdatenauswertung. Für die Diskontierung in der Vollkostenberechnung wird eine Diskontrate von 2 % angesetzt. Allfällige Förderbeiträge werden in dieser Analyse nicht miteinbezogen, da dies den Vergleich verzerren würde. Personalkosten werden im Rahmen der Untersuchung nicht betrachtet und sind somit nicht in den Vollkosten enthalten.

Erfahrungen bei der Elektrifizierung von Busflotten zeigen, dass je nach Grad der Elektrifizierung, Routenwahl, Umweltbedingungen und anderen Gegebenheiten mehr E-Busse notwendig sein können als in der ursprünglichen Dieselflotte (Jefferies & Göhlich, 2020). Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird im Basisjahr 2023 bei den batterieelektrischen Depotladern ein Mehrbedarf von 7,5 % und bei Gelegenheitsladern von 5 % angesetzt. Diese Werte basieren sowohl auf Experteneinschätzungen als auch auf Literaturdaten. Die Abweichungen sind hier aber von Projekt zu Projekt sehr unterschiedlich, womit keine allgemeingültigen Werte gewählt werden können. Basierend auf Experteneinschätzungen wird im Basisjahr 2030 allerdings kein nennenswerter Mehrbedarf mehr zu verzeichnen sein. Dementsprechend entfällt dieser für die Berechnung im Basisjahr 2030.

Bei den Kosten der Diesel-Tankinfrastruktur wird die Annahme getroffen, dass keine weiteren Kosten anfallen, da hier in den meisten Fällen auf eine bereits abgeschriebene Infrastruktur zugegriffen werden kann. Bei der konkreten Planung von E-Bus-Projekten wird somit wahrscheinlich nur aufseiten der E-Busse mit Investitionen bezüglich Infrastruktur gerechnet.

Bei der Ladeinfrastruktur der batterieelektrischen Busse wird zwischen Depot- und Schnellladepunkten unterschieden. Gelegenheitslader werden sowohl im Depot als auch über Schnellladepunkte mit hoher Leistung geladen, während Depotlader ausschließlich im Depot geladen werden. Folglich benötigen Depotlader jeweils einen Depotladepunkt, während Gelegenheitslader pro Fahrzeug weniger Depotladepunkte und dafür zu einem kleinen Teil Schnellladepunkte benötigen.

Als Basis für die diesjährigen und zukünftigen Energieträgerpreise werden die im Dezember 2023 aktualisierten Preispfade der Prognos verwendet. Die Strompreise beinhalten somit die angepasste EEG-Umlage und berücksichtigen die Hochpreisphase 2021/22.

Um zukünftige technologische Fortschritte in der Vollkostenberechnung der E-Busse einzubeziehen, wird eine Degression der Batterie- und Brennstoffzellenkosten angesetzt für den Beobachtungszeitraum. Diese stützt sich auf Experteneinschätzungen des Projektkonsortiums für die Batteriekosten der jeweiligen Technologien und auf einen Preisentwicklungspfad, der von Prognos für Modellierungen verwendet wird. Die Degression der Batteriepreise führt zu einer Verringerung der Anschaffungskosten (CAPEX) der E-Busse. Bei den Anschaffungskosten der Dieselsebusse wird eine Kostensteigerung entsprechend der gesamtwirtschaftlichen Teuerung angenommen. Die BIP-Prognosen stammen dabei aus Prognos-internen volkswirtschaftlichen Modellrechnungen.

Für die übrigen Parameter, wie Infrastruktur-, Betriebs- oder Wartungskosten, werden keine Veränderungen über den Beobachtungszeitraum angenommen, da die Datenlage hier unsicher ist. Daher bleiben diese Kostensätze über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass insbesondere bei Betrieb und Anschaffung der Infrastruktur in Zukunft durch Lern- und Skaleneffekte auch Kostensenkungen möglich sein werden.

3.2.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Vergleichsrechnung präsentiert. Dargestellt werden in den nachfolgenden Abbildungen jeweils die Vollkosten nach Komponenten für Solobusse und Gelenkbusse für das Basisjahr 2023 und 2030.

In der Abbildung 122 werden die Vollkosten nach Komponenten für Solobusse im Basisjahr 2023 und in Abbildung 123 für das Jahr 2030 dargestellt. Die Kosten beziehen sich hierbei jeweils auf ein einzelnes Fahrzeug, ergänzt um die Anschaffungskosten, die ein etwaiger Fahrzeugmehrbedarf bedingt. Im Vergleich zu der Dieselreferenz zeigen die betrachteten elektrischen Buskonzepte in beiden Basisjahren höhere Vollkosten. Haupttreiber dieses Kostenunterschieds sind die mehr als doppelt so hohen Anschaffungskosten für den Bus bei den untersuchten elektrischen Alternativen. Die Kosten für Energie sind allerdings bei

den batterieelektrischen Buskonzepten nur etwa halb so hoch wie bei der Dieselreferenz. Bei wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen sind diese allerdings sogar höher als bei der Dieselreferenz.

Die batterieelektrischen Depotlader (DL) weisen unter den elektrischen Varianten die niedrigsten Vollkosten aus. Dies ist zurückzuführen auf geringere Anschaffungskosten der Infrastruktur und des Busses sowie geringere Wartungskosten des Fahrzeugs im Vergleich zu batterieelektrischen Gelegenheitsladern (GL) und Brennstoffzellenantrieb (FCEV). Solobusse mit Brennstoffzellenantrieb weisen die höchsten Vollkosten aus, welche in erster Linie durch die hohen Energiekosten für Wasserstoff getrieben werden.

Die Kosten aller untersuchten E-Busse sinken im Basisjahr 2030 im Vergleich zu 2023. Dies ist zurückzuführen auf die erwartete Kostendegression der notwendigen Batterie- und Brennstoffzellentechnologien, die somit zu einer Senkung der Anschaffungskosten des Busses führen. Trotz dieser Entwicklung werden die untersuchten Buskonzepte die Vollkostenparität mit der Dieselreferenz laut dieser Analyse nicht erreichen bis 2030. Bei einer stärkeren Absenkung der Busanschaffungskosten und weiteren Fortschritten der verwendeten Batterietechnologien, die einen Batterieersatz obsolet machen würden, wäre das Erreichen der Kostenparität bis 2030 denkbar.

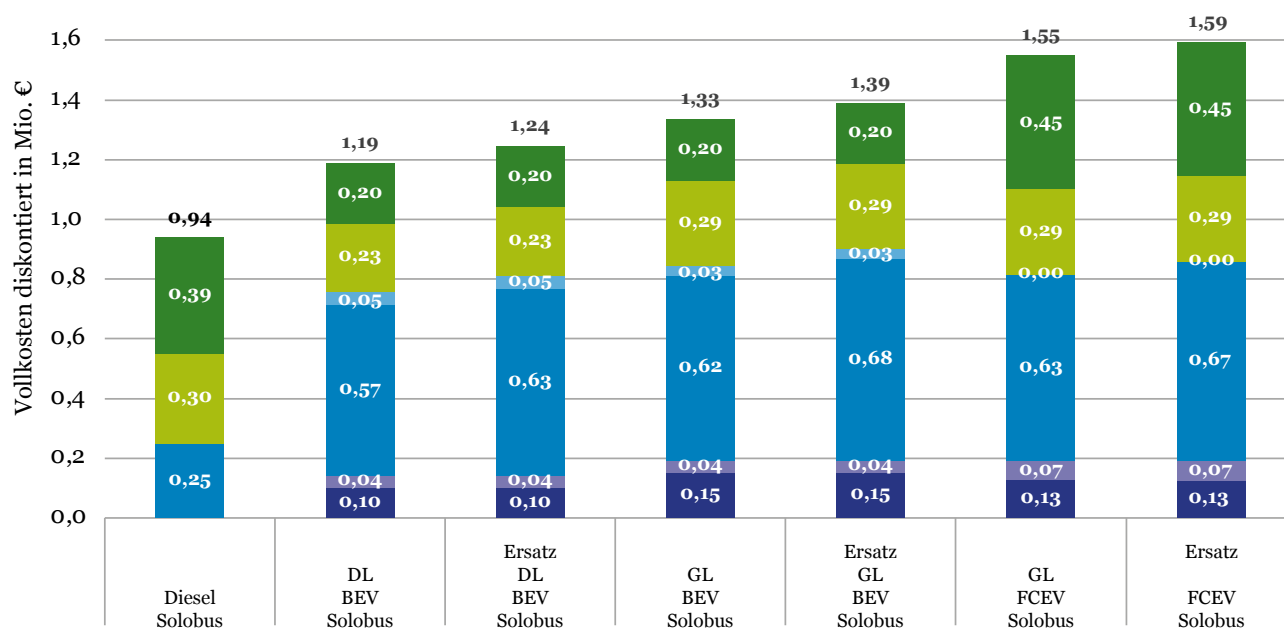


Abbildung 122: Kumulierte Vollkosten bei Solobussen nach Kostenkomponenten für das Basisjahr 2023

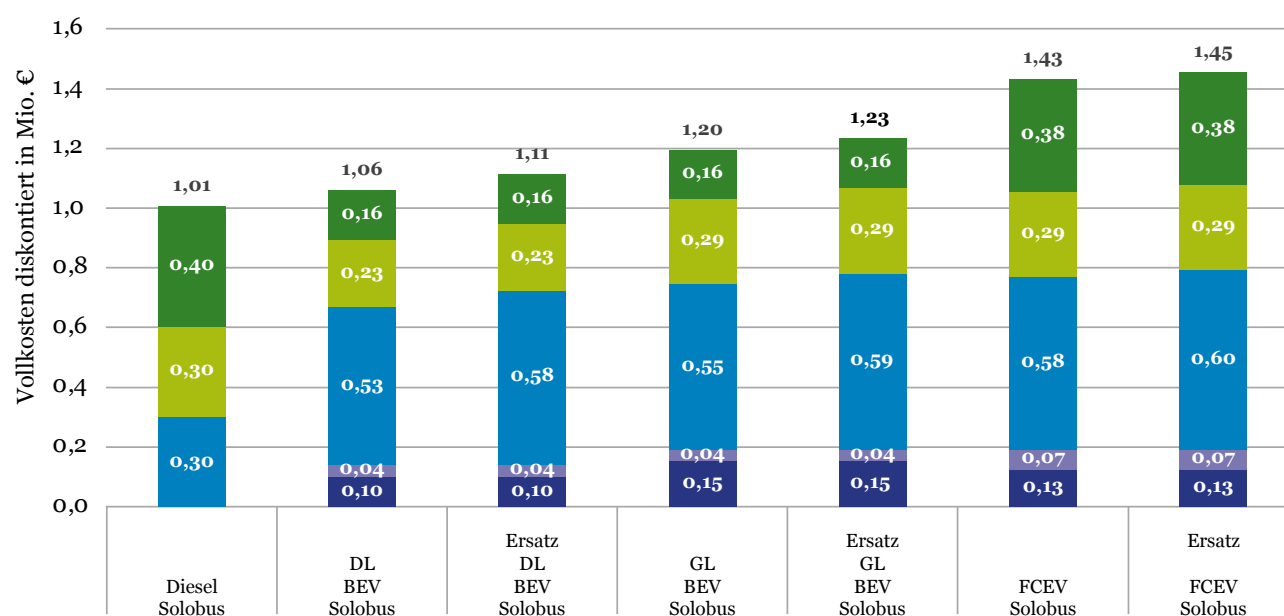
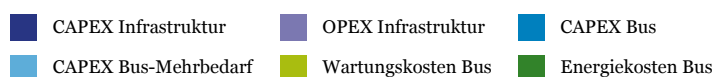


Abbildung 123: Kumulierte Vollkosten bei Solobussen nach Kostenkomponenten für das Basisjahr 2030



CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

Die Abbildung 124 zeigt die Vollkosten nach Komponenten für Gelenkbusse im Basisjahr 2023, während Abbildung 125 diese für das Jahr 2030 darstellt. Die Kosten beziehen sich jeweils auf ein einzelnes Fahrzeug, ergänzt um die Anschaffungskosten, die ein etwaiger Fahrzeugmehrbedarf bedingt. Auch hier weisen alle verglichenen Buskonzepte in beiden Analysejahren höhere Vollkosten aus im Vergleich zu der fossilen Dieselreferenz. Analog zu den Solobussen sind hier die wesentlich höheren Anschaffungskosten des Fahrzeugs der primäre Treiber des Kostenunterschieds. Im Vergleich zu den Solobussen fallen die Anschaffungskosten allerdings noch höher aus, wodurch auch der Vollkostenunterschied zur Dieselreferenz absolut sowie relativ höher ist.

Innerhalb der elektrischen Buskonzepte zeigt sich eine ähnliche Dynamik wie bei den Solobussen. Auch bei Gelenkbussen sind somit batterieelektrische Depotlader die günstigste Alternative, gefolgt von Gelegenheitsladern, während Brennstoffzellenbusse aufgrund der hohen Energiekosten bei Weitem die höchsten Vollkosten aufweisen.

Die Reduktion der Vollkosten im Jahr 2030 verglichen mit dem Basisjahr 2023 ergibt sich aufgrund der unterstellten Batterie- und Brennstoffzellen-Kostendegression. Diese fällt aber im Vergleich zu den Solobussen relativ betrachtet geringer aus, da die Batteriekosten bei Gelenkbussen einen kleineren Anteil an den Anschaffungskosten ausmachen. Folglich besteht 2030 auch noch eine größere Kostenlücke als bei den Solobussen zwischen dem günstigsten elektrischen Bustyp (Depotlader) und der Dieselreferenz.

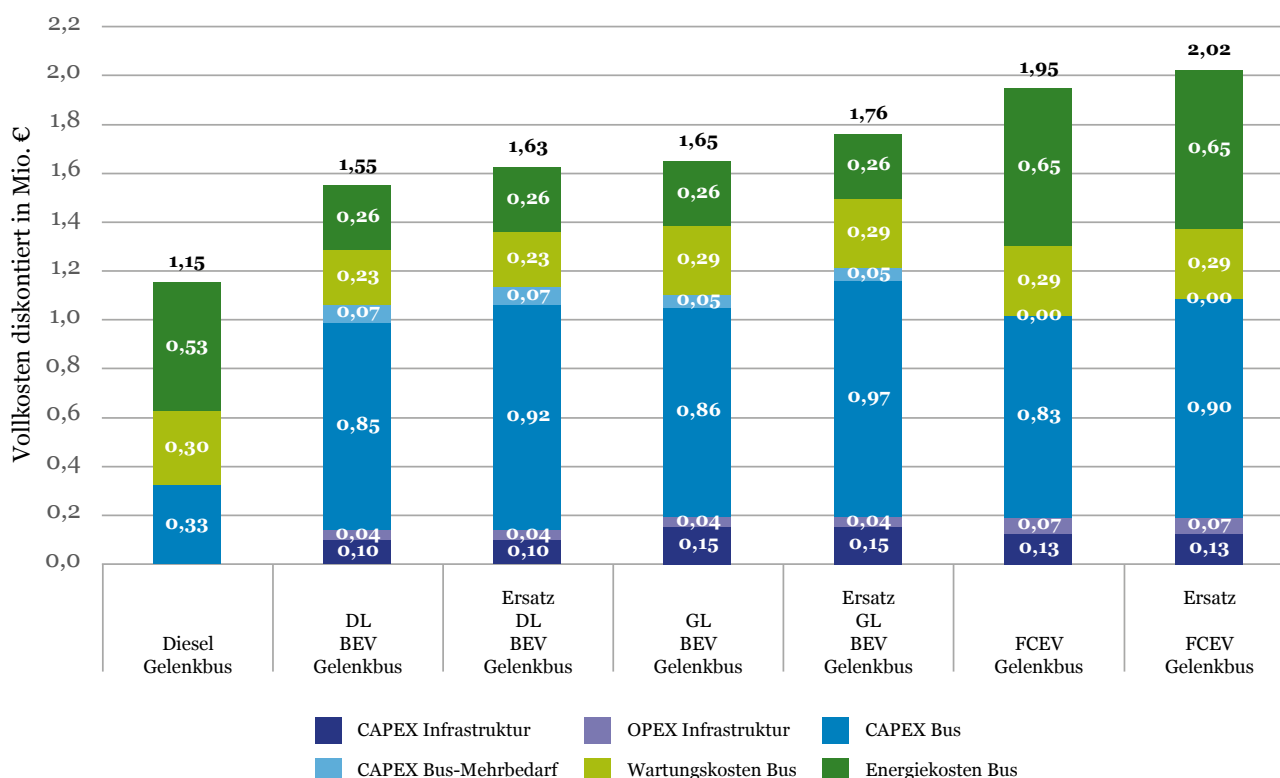


Abbildung 124: Kumulierte Vollkosten bei Gelenkbussen nach Kostenkomponenten für das Basisjahr 2023

CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

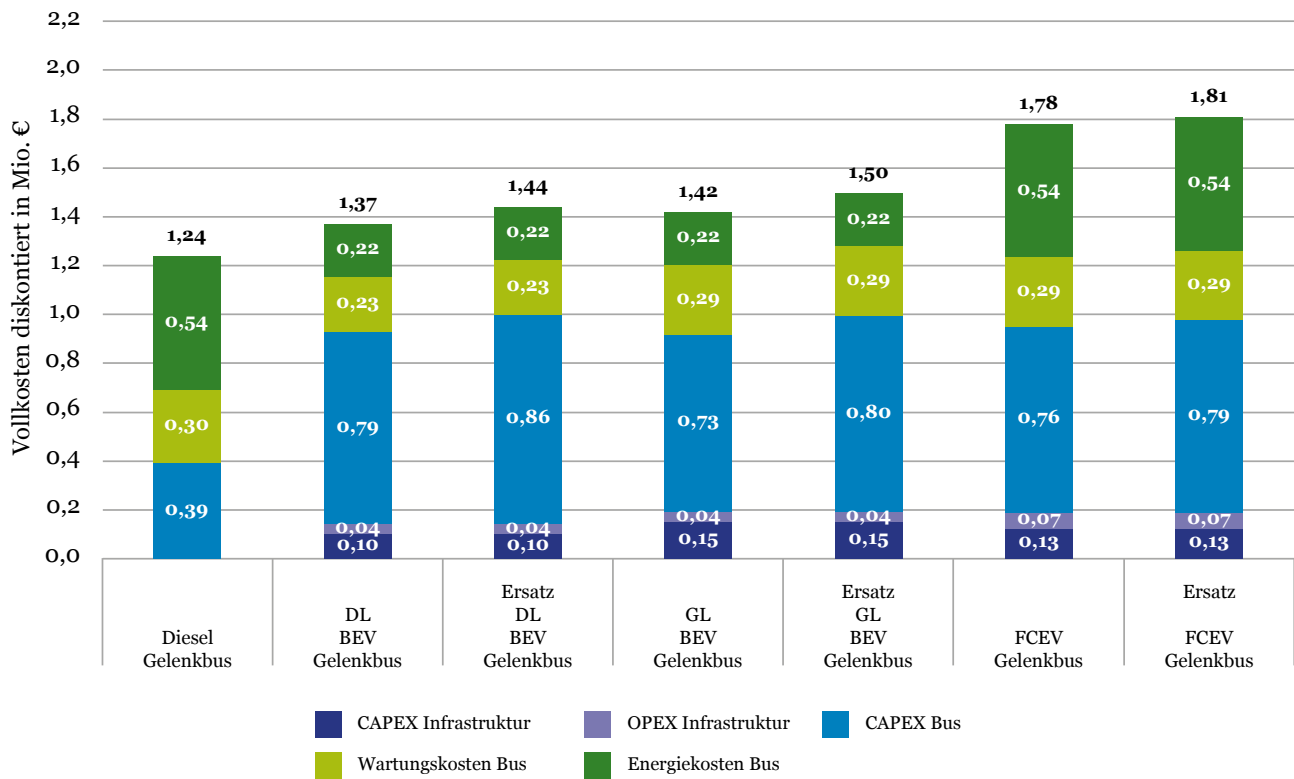


Abbildung 125: Kumulierte Vollkosten bei Gelenkbussen nach Kostenkomponenten für das Basisjahr 2030

CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

Die Abbildung 126 zeigt die Vollkosten pro Kilometer für Solobusse und Abbildung 127 jene für Gelenkbusse. Diese Darstellung spiegelt die oben beschriebene Dynamik wider und verdeutlicht die bestehende Vollkostendifferenz zwischen den elektrischen Buskonzepten und der Dieselreferenz. Der leichte An-

stieg der Vollkosten der Dieselreferenz im Jahr 2030 im Vergleich zum Basisjahr 2023 resultiert aus dem angenommenen Dieselpreispfad und den durch die Teuerung bedingten Kostensteigerungen bei den Busanschaffungskosten.

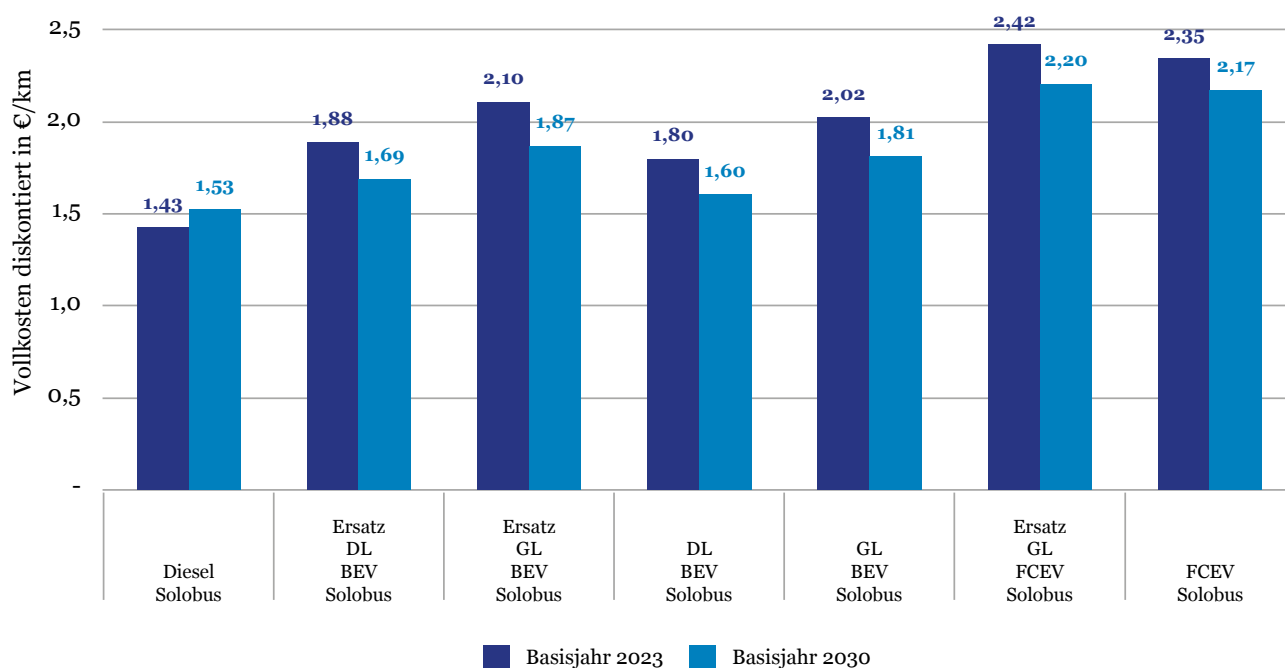


Abbildung 126: Vollkosten pro Kilometer bei Solobussen im Basisjahr 2023 und 2030

CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

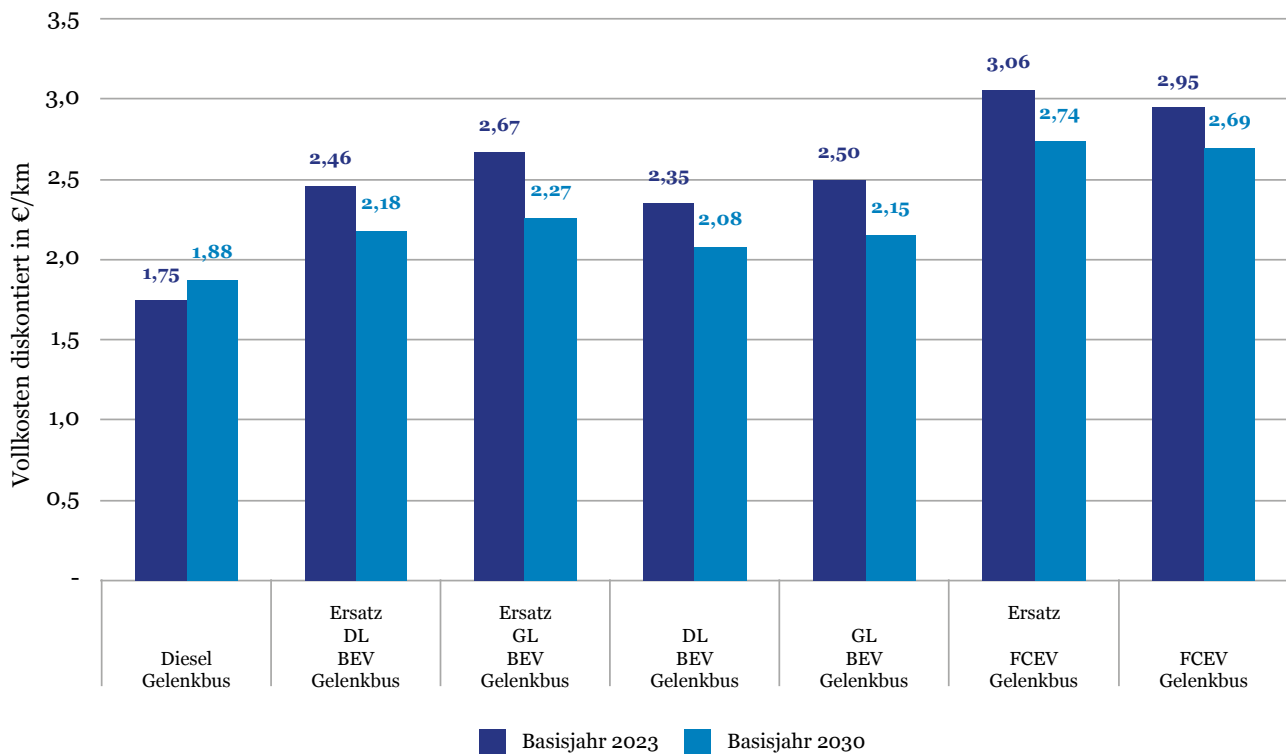


Abbildung 127: Vollkosten pro Kilometer bei Gelenkbussen im Basisjahr 2023 und 2030

CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

Die Ergebnisse der gesamtdeutschen Hochrechnung der Vollkosten sind für das Basisjahr 2023 in Abbildung 128 und für das Basisjahr 2030 in Abbildung 129 dargestellt. Diese Kosten beziehen sich auf den nationalen Bestand an Bussen mit fossilen Antrieben. Laut dem E-Bus-Radar¹⁸⁰ umfasst die ÖPNV-Busflotte im Jahr 2023 ungefähr 54.000 Fahrzeuge, wovon 1.884 E-Busse sind. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die Kosten berechnet, die angefallen wären, wenn die Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten beschafft und betrieben worden wären. Dabei wurde ein Anteil von etwa 29 % Gelenkbussen und 71 % Solobussen angenommen.

Die Resultate zeigen ein ähnliches Bild wie bereits im betriebswirtschaftlichen Vergleich beschrieben. Auch hier sind die batterieelektrischen Buskonzepte noch teurer als die Dieselreferenz, was hauptsächlich auf die höheren Anschaffungskosten des Fahrzeugs zurückzuführen ist. Die Energiekosten fallen allerdings geringer aus, was unter anderem auf die höhere Energieeffizienz des Antriebs zurückzuführen ist. Die Differenzkosten zwischen der Dieselreferenz und der günstigsten elektrischen Option (Depotlader ohne Batterieersatz) entsprechen ungefähr 15 Mrd. € im Basisjahr 2023 bzw. rund 4 Mrd. € im Basisjahr 2030.

Die Resultate zeigen ein ähnliches Bild wie bereits im betriebswirtschaftlichen Vergleich beschrieben. Auch hier sind die batterieelektrischen Buskonzepte noch teurer als die Dieselreferenz, was hauptsächlich auf die höheren Anschaffungskosten des Fahrzeugs zurückzuführen ist. Die Energiekosten fallen allerdings geringer aus, was unter anderem auf die

höhere Energieeffizienz des Antriebs zurückzuführen ist. Die Differenzkosten zwischen der Dieselreferenz und der günstigsten elektrischen Option (Depotlader ohne Batterieersatz) entsprechen ungefähr 15 Mrd. € im Basisjahr 2023 bzw. rund 4 Mrd. € im Basisjahr 2030.

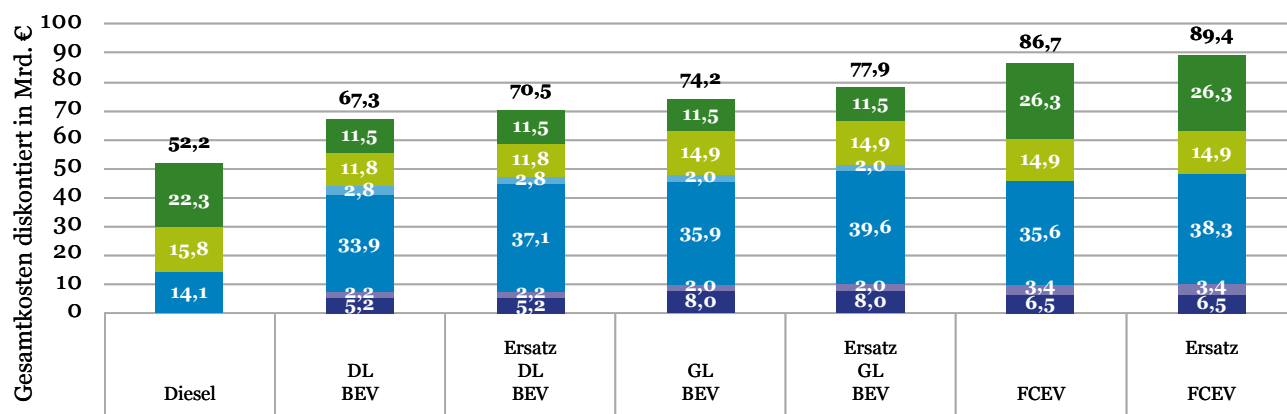


Abbildung 128: Gesamtkosten nach Kostenkomponente für gesamtdeutsche Busflotte im Basisjahr 2023

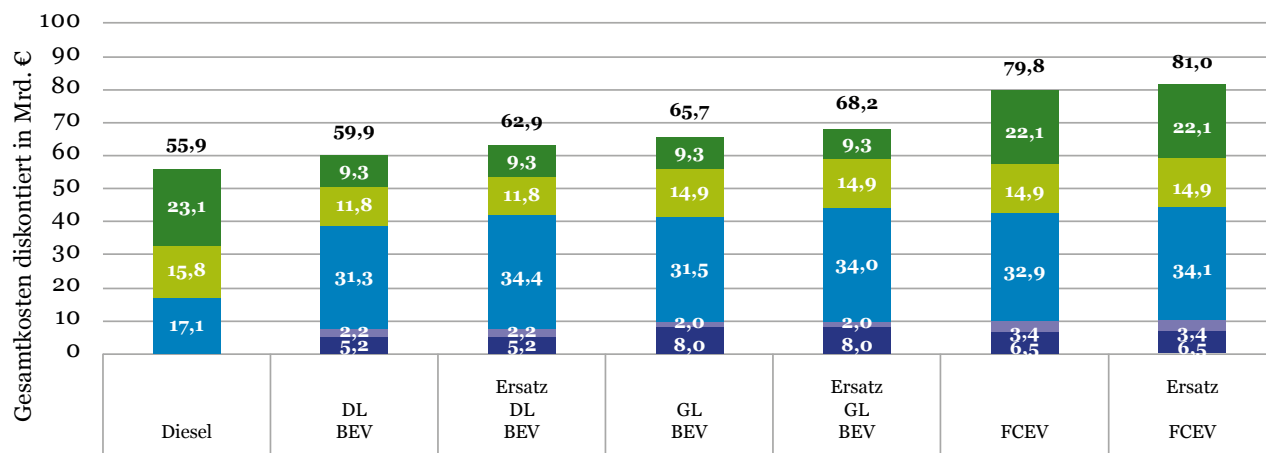
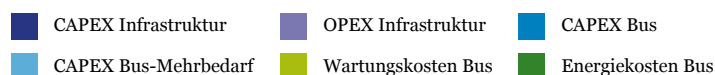


Abbildung 129: Gesamtkosten nach Kostenkomponente für die gesamtdeutsche Busflotte im Basisjahr 2030



CAPEX = Anschaffungskosten, OPEX = Betriebskosten, BEV = batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug, DL = Depotlader, GL = Gelegenheitslader, Ersatz = inkl. Batterie-/Brennstoffzellenwechsel

Abschließend lässt sich aus der Analyse festhalten, dass heute sowie im Jahr 2030 E-Busse höhere Vollkosten aufweisen als Dieselbusse. Batterieelektrische Depotlader verfügen dabei unter den elektrischen Buskonzepten über die tiefsten Vollkosten. Neben der in der Untersuchung unterstellten Reduktion der Batterie- und Brennstoffzellenkosten in der Zukunft wären auch Kostensenkungen anderer Komponenten (z. B. Elektromotor, Wärmepumpe usw.) möglich, was die Wettbewerbsfähigkeit der betrachteten E-Bus-Konzepte erhöhen würde. Da die Unsicherheit bezüglich solcher weiterer Kostenreduktionen derzeit allerdings noch sehr hoch ist, wurden diese nicht in der Untersuchung miteinbezogen. Ferner ermöglichen auch längere Haltedauern und höhere Fahrleistungen der Busse eine relative Verbesserung

der Vollkosten der batterieelektrischen Busse im Vergleich zur Dieselreferenz, da die Kosten für den Betrieb (Energie und Wartung) geringer sind.

Des Weiteren sollte bei der Betrachtung und Interpretation der Resultate beachtet werden, dass bezüglich mehrerer entscheidender Parameter Unsicherheiten bestehen. Diese umfassen unter anderem die Anschaffungskosten der Infrastruktur, die Entwicklung der E-Bus-Anschaffungskosten, die Energieträgerpreisentwicklung sowie den bereits diskutierten Fahrzeugmehrbedarf. Es ist zu erwarten, dass durch Entwicklung und Hochlauf der entsprechenden Technologien die Datenlage diesbezüglich wesentlich verbessert werden wird.

3.3 Hebelwirkung der Förderung, weiterer Förderbedarf und Fördermöglichkeiten

Ausgehend von den vorherigen Analysen werden nun abschließend die Förderprojekte betrachtet und deren Effekt für den durch das Förderprogramm angestrebten Markthochlauf bewertet. Darauf aufbauend wird der weitere Förderbedarf diskutiert und es werden Vorschläge für eine wirkungsvolle Fortführung der Elektrobüs-förderung unterbreitet.

3.3.1 Analyse der Förderprojekte und Bewertung der Förderung für den Markthochlauf

Vom BMWK wurden 65 Projekte gefördert (64 Teilprojekte mit Bussen und Ladeinfrastruktur, ein Teilprojekt nur mit Ladeinfrastruktur), in denen 1.489 Busse (davon 807 Solo-, 661 Gelenk- und 21 Midi-busse) sowie Ladeinfrastruktursysteme mit über 800 Ladepunkten in den Markt gebracht wurden. Die Anzahl der geförderten Busse pro Förderprojekt unterscheidet sich dabei jedoch stark (siehe Abbildung 79). Bei rund der Hälfte der Projekte (47 %) wurde nur eine kleine Flotte im Umfang von weniger als 10 Bussen gefördert. Insgesamt haben diese Projekte deshalb nur einen Anteil von rund 15 % an den im Zuge des Förderprogramms insgesamt geförderten Bussen. Dem gegenüber stehen 13 % der Förderprojekte mit größeren Flotten (jeweils mehr als 50 Busse), die fast die Hälfte (45 %) der insgesamt vom BMWK geförderten Busse ausmachen.

Die Förderung soll hier anhand von drei Kriterien bewertet werden: a) der finanziellen Bedeutung der Förderung in der betrieblichen Kostenkalkulation, b) der quantitativen Bedeutung der geförderten Busse für den Gesamtmarkt und c) der Einordnung der Förderung für Investitionsentscheidungen seitens der Akteure.

Die aktuelle finanzielle Bedeutung der Förderung kann auf Basis der in Kapitel 3.2.2 aufgestellten Kostenkalkulation dargestellt werden. Diese zeigt in einer betrieblichen Vollkostenperspektive (TCO = Total Cost of Ownership), dass heute neu zugelassene Elektrobusse als Depotlader über 12 Jahre und mit einer Jahresfahrleistung von 55.000 km ohne Förderung zu Mehrkosten für Solobusse von 26 % und für Gelenkbusse von 34 % führen (siehe Abbildung 130). Ein Mehrbedarf an Elektrobussen in Höhe von 7,5 % ist dabei bereits berücksichtigt, jedoch kein möglicherweise notwendiger Batteriewechsel. Eine rein betriebswirtschaftliche Entscheidung würde daher heute wahrscheinlich noch durchweg für den Dieselbus ausfallen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Kostenlücke zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Förderrichtlinie noch deutlich größer war als für die aktuelle Situation analysiert.

Die Förderung schloss nach den Berechnungen der Begleitforschung ziemlich genau diese Lücke. Mit einer Förderung von 80 % der Investitionsmehrkosten der Elektrobusse und 40 % der Investitionskosten der Ladeinfrastruktur führt der Betrieb der Elektrobusse im Rahmen der Unsicherheiten zu etwa vergleichbaren Kosten oder sogar zu einem leichten Kostenvorteil (– 6 % bei Solobussen und – 7 % bei Gelenkbussen).

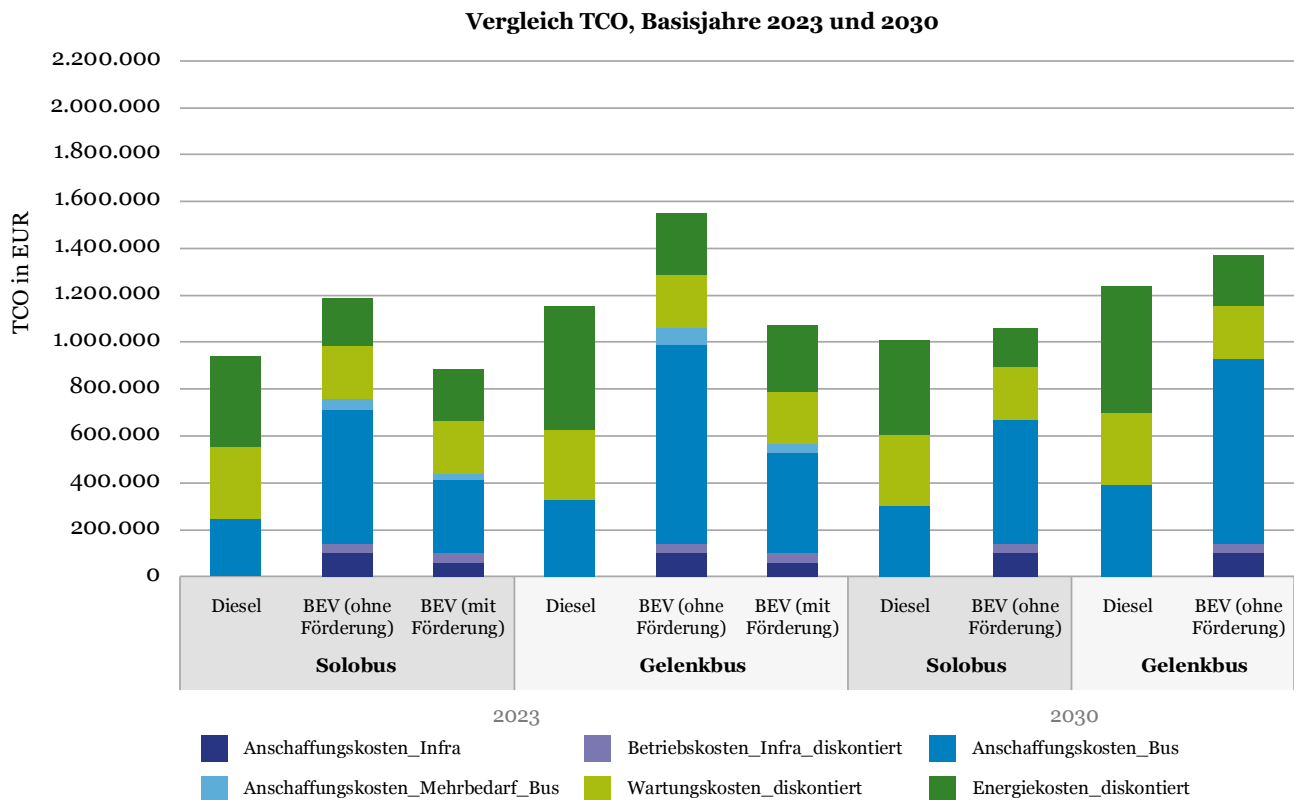


Abbildung 130: Gesamtbetriebskosten (TCO = Total Cost of Ownership) für Depotlader (12 Jahre mit 55.000 km Jahresfahrleistung, kein Batteriewechsel)

Die Förderung war eine zentrale Grundlage für den derzeitigen Markthochlauf. Dies zeigt sich anhand des Verhältnisses von geförderten Bussen zum Gesamtbestand der Linienbusse im Markt. Während der E-Bus-Bestand in Deutschland vor Beginn der Förderung im Jahr 2018 noch bei lediglich 204 Fahrzeugen lag, ist dieser bis zum Jahr 2023 stark auf 2.640 Fahrzeuge angestiegen, wovon deutlich mehr als die Hälfte alleine durch das BMWK-Förderprogramm gefördert wurde (siehe Kapitel 2.2.4). Das bewertete Förderprogramm hat damit also einen zentralen Anteil am Markthochlauf der Elektrobusse in den letzten Jahren. Für das Segment der CVD-relevanten Busse der Zulassungsklassen M3 I und A, die sogenannten „Stadtbusse“, kann aktuell von einer Flotte von rund 35.000 Fahrzeugen ausgegangen werden. Unter der Annahme, dass die aktuelle E-Bus-Flot-

te zu sehr großen Teilen im Stadtverkehr eingesetzt wird, dürfte der CVD-relevante Flottenelektrifizierungsgrad bei ca. 7,5 % liegen (siehe Kapitel 2.2.4). Bezogen auf den Gesamtbestand von 54.000 ÖPNV-Bussen (einschließlich Überlandbussen) läge dieser bei knapp 5 %. Betrachtet man die Gesamtheit der jährlichen Neuzugänge, die bei Linienbussen im langjährigen Durchschnitt bei gut 4.000 Fahrzeugen pro Jahr liegt, ist bereits heute fast jeder fünfte neue Linienbus ein Elektrobus.

Während die unmittelbare Wirkung eines investiven Förderprogramms aus haushalterischen Gründen notwendigerweise begrenzt ist und sich der Erfolg vor allem in der über die erfolgten Anschaffungen hinaus erfolgten Marktaktivierung bemisst, wurde im Zuge der Akteursanalyse auch eine Reihe von Punkten

identifiziert, die die Wirkung der Förderung mindern bzw. deren Inanspruchnahme erschweren:

- Es gibt starke Anhaltspunkte dafür, dass die Fahrzeugpreise sich in erheblichem Maße auch an den Förderbedingungen orientieren; die Förderung wird durch die Hersteller also „eingepreist“. Die Förderung diene damit zumindest indirekt auch der Subventionierung der Hersteller, mit der Folge, dass industrieseitig der Umstieg auf Elektrobusse erleichtert wurde. Auf der anderen Seite werden Preisunterschiede bei den E-Bussen durch die hohe Förderquote von 80 % in der Kalkulation der Busbetreiber stark abgedämpft. Seitens der Betreiber ergeben sich somit nur geringe Anreize für eine kosteneffiziente Beschaffung der E-Busse. Die Folge sind im weiteren Markthochlauf wahrscheinlich ein nicht optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis beim Einsatz staatlicher Fördermittel und geringe Anreize in Richtung der Bushersteller, Spielräume zur Kostensenkung auszunutzen („Mitnahmeeffekte“).
- Wenn Busbetreiber neu in die Elektromobilität einsteigen, haben sie angesichts möglicher „Kinderkrankheiten“ der Technologie naturgemäß ein hohes Sicherheitsbedürfnis. Dies führt oftmals zu relativ umfangreichen Anforderungen bei Ausschreibungen (beispielsweise Lebensdauergarantien für die Traktionsbatterie), die sich kostensteigernd auswirken. Das Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage verstärkt sich dadurch.
- Für Busbetreiber und Aufgabenträger als Besteller des ÖPNV ist die zeitliche Koordination der notwendigen technischen, organisatorischen und administrativen Vorgänge eine große Herausforderung. Dies kann mitunter die Inanspruchnahme von Förderung verhindern, weil die Planung von Ladeinfrastruktur nicht schnell genug erfolgt oder wenn Personalengpässe die Einhaltung kurzer Antragsfristen verhindern. Insgesamt entsteht dadurch in erheblichem Maße Planungsunsicherheit bei Verkehrsunternehmen und Aufgabenträgern.
- Für Förderanträge müssen verschiedene Indikatoren (insbesondere die erwartete Laufleistung und Kostenparameter) zusammengetragen werden, um die Effektivität der Förderung beurteilen zu können. Diese Parameter können oftmals nur grob geschätzt werden und eröffnen für die Antragstellenden Gestaltungsspielräume, was Auswirkungen auf die Bewertung durch den Projektträger haben kann.
- Der administrative Aufwand seitens der Busbetreiber zur Inanspruchnahme der Förderung ist erheblich (oftmals müssen externe Dienstleister für die Beantragung eingebunden werden) und lohnt sich vor allem bei Beschaffung größerer Stückzahlen. Infolge einer Abstimmung mit dem BMVI (bzw. BMDV) konzentrierte sich das BMU (bzw. BMWK) auf Förderungen von mindestens sechs Bussen pro Förderantrag, während das BMVI Förderanträge für fünf Busse und weniger annahm. Dies dürfte mit dazu beigetragen haben, dass über die Förderung des BMU bzw. BMWK viele Busse von wenigen Betreibern größerer Busflotten in Großstädten angeschafft wurden. Zudem bestehen bei kleineren Kommunen und Verkehrsunternehmen oftmals noch Wissensdefizite beim Thema Elektromobilität, was den Einstieg zusätzlich erschwert.

Bei der Weiterentwicklung der Förderlandschaft sollten diese Punkte berücksichtigt werden, um einen Markthochlauf in der gesamten Bandbreite der Einsatzgebiete und eine effiziente Allokation öffentlicher Mittel sicherzustellen.

3.3.2 Weiterer Förderbedarf und Weiterentwicklung des Fördermodells

Mittelfristig werden die Mehrkosten des Elektrobusbetriebs voraussichtlich deutlich zurückgehen. Als Hauptgründe dafür wurden neben Skaleneffekten des Markthochlaufs in Bezug auf die Produktion der Fahrzeuge die sinkenden Batteriepreise und ein mit steigenden Batteriekapazitäten sinkender Mehrbedarf an Elektrobussen gegenüber Dieselnissen identifiziert (Kapitel 3.2.2). Bei den Depotladern ist nach der Kostenkalkulation im Rahmen der Begleitforschung für Neuzulassungen 2030 dann nur noch mit TCO-Mehrkosten von 5 % bei Solobussen und 11 % bei Gelenkbussen zu rechnen. Dabei ist dann kein Fahrzeugmehrbedarf mehr unterstellt. Die Kostenlücke geht damit deutlich zurück, wird aber bei Investitionsentscheidungen im Jahr 2030 voraussichtlich noch nicht vollständig geschlossen sein. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass mit Blick auf die notwendige Dekarbonisierung des Verkehrs ein Dieselbus im Jahr 2030 nicht länger als praktikable Alternative, sondern nur als theoretische Referenz taugt. Für die Übergangszeit wäre daher in den nächsten Jahren eine weitere Förderung hilfreich, um den begonnenen Markthochlauf industriepolitisch und mit Blick auf den ÖPNV zu verstetigen. Zwar gibt es mit den Flottenzielwerten für Stadtbusse mittlerweile auch ein ordnungsrechtliches Instrument für den weiteren Markthochlauf, die Herausforderungen der Finanzierung werden damit jedoch nicht adressiert. Eine Förderung als Investitionskostenzuschuss erscheint in der bisherigen Höhe jedoch für die nun folgende Marktphase wenig sinnvoll und böte auch weiterhin keinen Anreiz für die Hersteller, besonders günstige Fahrzeugmodelle auf den Markt zu bringen. Wichtiger wird es daher sein, auch die Hersteller der Busse im Sinne wettbewerbsfähiger Preise in die Pflicht zu nehmen.

Ein weiterer wesentlicher Grund für die derzeit noch immer hohen Mehrkosten von Elektro- gegenüber Dieselnissen ist die unvollständige Internalisierung der Klimafolgekosten durch den Betrieb der Dieselnisse. Während kostendeckende CO₂-Preise nach Berechnungen des UBA (UBA 2023b) im Bereich von 200–700 €/t liegen, wird im Rahmen des BEHG

im Jahr 2024 lediglich ein CO₂-Preis von 45 €/t auf fossile Kraftstoffe erhoben. Für die zweite Hälfte des Jahrzehnts wird ein steigender Preis erwartet, der genaue Pfad ist derzeit allerdings noch nicht absehbar, da ab 2026 eine marktbasierte Preisbildung im BEHG und ab dem Jahr 2027 der Einstieg in den ETS-II vorgesehen ist. Aufgrund der hohen Bedeutung der Energiekosten in der TCO-Kalkulation der Busbetreiber ist der CO₂-Preis eine wirkungsvolle Stellschraube, um Elektrobuse finanziell attraktiv zu machen, die gleichzeitig hilft, „Kostenwahrheit“ im Vergleich der Antriebssysteme herzustellen. Damit ergeben sich dann relative Vorteile für Elektrobuse, ohne dass jedoch das Grundproblem der ÖPNV-Finanzierung bei steigenden Fahrzeugpreisen gelöst wäre. Dies könnte z. B. durch den Einsatz von Einnahmen aus dem CO₂-Preis für die ÖPNV-Finanzierung angegangen werden („revenue recycling“).

Da der Markthochlauf elektrischer Fahrzeuge im Pkw-Bereich demjenigen im Nutzfahrzeugbereich um einige Jahre voraus ist, lässt sich dort einiges über die Zusammenhänge des Markthochlaufs lernen. Die CO₂-Flottenzielwerte sind hier ein zentrales Instrument, da es Richtungssicherheit über die benötigten Mengen (Produktionskapazitäten) für die Hersteller gewährleistet und sich damit auch die Betreiber auf einen weiteren Markthochlauf einstellen können. Nach Beschluss der Verordnung (EU) 2024/1610 zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1242 hinsichtlich der CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge ist im Segment der Stadtbusse ein Anteil von 90 % emissionsfreier Neuzulassungen ab dem Jahr 2030 vorgegeben, ab dem Jahr 2035 dürfen nur noch lokal emissionsfreie Stadtbusse neu zugelassen werden (Europäischer Rat 2024a). Im Vergleich zum derzeitigen Stand von etwa 20 % emissionsfreien Neuzulassungen unter allen ÖPNV-Bussen wird das Ambitionsniveau zukünftig noch einmal deutlich verschärft, sodass von einer erheblichen Steuerungswirkung auszugehen ist.

Die vorgenannten Punkte sprechen für eine deutliche Degression des Förderbedarfs für E-Busse. Ein Stopp weiterer Förderaufrufe, wie er aktuell durch die

Bundesregierung beschlossen wurde, birgt nichtsdestotrotz das Risiko gravierender Verwerfungen, insbesondere durch den Verlust von Wissen und Vertrauen. Eine weitere Unterstützung des Markthochlaufs ist daher prinzipiell sinnvoll. Soll dies weiterhin über eine investive Förderung geschehen, sind für die nun folgende Phase des Markthochlaufs jedoch deutliche Modifizierungen zu empfehlen:

- Absenkung der Förderquote (derzeit 80 %) ¹⁸¹. Dies reduziert den staatlichen Mitteleinsatz je gefördertes Fahrzeug, sodass mit gleichem Budget mehr Fahrzeuge gefördert werden können. Die Absenkung führt zudem dazu, dass Busbetreiber stärkere Anreize zur kostengünstigen Beschaffung erhalten. Denkbar wäre auch die Festsetzung eines festen Förderbetrags pro Fahrzeug (ähnlich wie bei dem bisherigen Umweltbonus bei Pkw).
- Entbürokratisierung des Antragsverfahrens, so dass (a) die Antragstellung auch für kleinere Flotten attraktiver wird und (b) fortlaufend eine Beantragung und Bewilligung von Anträgen möglich wird, um zeitliche Synchronisationsprobleme zu vermeiden. Würde die Förderung allen Antragstellenden gewährt, die gewisse Kriterien erfüllen (siehe Punkt 1), so würde sich allein daraus eine erhebliche Vereinfachung des Verfahrens ergeben. Je mehr auf eine Dekarbonisierung der gesamten Busflotte abgestellt wird, desto weniger sinnvoll erscheint überdies die Auswahl von Förderanträgen anhand der erzielbaren THG-Minderung.
- Zur weiteren Vereinfachung des Verfahrens zur Förderung von Bussen ist die Trennung der Förderung von Ladeinfrastruktur und Fahrzeugen empfehlenswert. Die Beantragung, Vergabe und Nachweisführung zu Fördermitteln für die Beschaffung von Fahrzeugen kann im Idealfall automatisch erfolgen, da auf viele standardisierte Dokumente zurückgegriffen werden kann (unter anderem Zulassungsschein, Rechnung des Herstellers) und keine Abgrenzungsproblematiken bestehen. Bei Ladeinfrastruktur hingegen ergeben sich in der Praxis immer wieder Herausforderungen bei der

konkreten Abgrenzung von förderfähigen Ausgaben und nicht förderfähigen Ausgaben (beispielsweise notwendige Tiefbauarbeiten).

Prinzipiell wäre auch ein generelles Abrücken von einer investiven Förderung denkbar, zumal dieses Instrument derzeit ohnehin schon stark zurückgefahren wurde. Zwar wird der Markthochlauf mittelfristig auch durch die politischen Ziele und Instrumente wie die Flottenzielwerte weiterhin angereizt, vor dem Hintergrund von weiterhin erwartbaren Mehrkosten von Elektro- gegenüber Dieselnissen sollten diese Instrumente dann vor allem verhindern, dass der Umstieg zulasten des ÖPNV-Angebots geht. Vor dem Hintergrund der grundsätzlichen Zuständigkeit von Städten und Kommunen für die Finanzierung des straßengebundenen ÖPNV ist es ein nicht unrealistisches Szenario, dass diese bei angespannten Haushaltslagen ihr ÖPNV-Angebot reduzieren, um den Ausgleichsbedarf auch bei gestiegenen Kosten auf ein für sie realisierbares Niveau zu begrenzen. Um dies zu vermeiden, wären hier konsumtive Förderungen durch Bund oder Länder denkbar, z. B. Zuschüsse je emissionsfrei gefahrenen Kilometer oder eine gezielte Strompreissubventionierung. Die Ausreichung dieser Förderungen könnte an die ÖPNV-Aufgabenträger erfolgen, die diese Mittel wiederum beihilfeunschädlich mittels der bestehenden öffentlichen Dienstleistungsaufträge mit den Verkehrsunternehmen weiterleiten. International werden hier ebenfalls konsumtive Instrumente eingesetzt, die ggf. als Vorbild dienen könnten. Im Falle von Wettbewerbsvergaben könnte dies z. B. die Anwendung des sogenannten „Maximalprinzips“ wie bei der E-Bus-Einführung in der niederländischen Konzession Amstelland-Meerlanden (AML) sein. Die Vergabe der Konzession zeichnet sich durch die Besonderheit der fehlenden Preiskomponente in der Bewertung wieder. Im Sinne des Maximalprinzips wurde die zeitlich schnellste Flottendekarbonisierung (und damit auch größte Flotte mit emissionsfreien Antrieben) unter gegebenen zur Verfügung stehenden Mitteln (jährlich 100 Mio. €) für die Konzession AML am vorteilhaftesten bewertet. Der langfristige Konzessionsvertrag (15 Jahre) sichert dabei in Verbindung mit den politischen Vorgaben die materielle und finanzielle Planbarkeit

für alle Akteure. Es ist somit insbesondere bei wettbewerblich vergebenen Verkehren – dies entspricht etwa einem Viertel des deutschen ÖPNV-Gesamtmarkts mit Bussen – zielführend, eine möglichst lange Vertragslaufzeit anzubieten, die zumindest die zu erwartende Lebensdauer der einzusetzenden emissionsfreien Busse abdeckt. Dies reduziert die Risiken für den Aufgabenträger wie auch für das ausführende Verkehrsunternehmen.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung der Flottentransformation ist die Bereitstellung von zinsgünstigen Krediten, beispielsweise über die KfW. Es ist davon auszugehen, dass die Finanzierungsbedingungen, die der Bund erhält, insgesamt günstiger sind als die entsprechenden Finanzierungen bei öffentlichen bzw. privaten Verkehrsunternehmen. Insgesamt ist von derartigen Programmen jedoch ein bedeutend geringerer Effekt zu erwarten als von anderen Zuschüssen.

Denkbar wäre zudem, Risiken für Busbetreiber über separate Instrumente abzufedern. In der chinesischen Stadt Shenzhen erfolgte vor dem Hintergrund der Risikoteilung eine Trennung von Fahrzeug- und Ladeinfrastrukturbetrieb. Im Rahmen dieses Modells wurden die technischen und wirtschaftlichen Risiken zwischen Busunternehmen, Fahrzeugherstellern, Drittfinanzierungs-Leasingunternehmen und Betreibern von Ladeeinrichtungen aufgeteilt. Durch die Einbindung dieser unterschiedlichen Akteure erfolgte eine Trennung von Kapitalkosten und Betriebskosten und die Fahrzeuge wurden von Batterien und Antriebsstrang sowie der Ladeinfrastruktur kostenseitig entkoppelt (siehe Fallbeispiel Shenzhen Kapitel 5.5.1). Durch festgeschriebene Garantieverträge sind die Fahrzeughersteller für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen verantwortlich. Die Hersteller erhielten so Anreize zur Verbesserung der Fahrzeugqualität und zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Hinblick auf Haltbarkeit und Wiederverwendung. Das Konzept der eigenständigen Ladeinfrastrukturdienstleister erlaubt Überlegungen hinsichtlich eines ähnlichen Konzepts auf kommunaler Ebene in Deutschland. Denkbar wäre hier ein stärkerer Fokus auf die Trennung zwischen E-Bus-Betrieb bei den öf-

fentlichen Verkehrsunternehmen sowie der Errichtung und dem Betrieb der Ladeinfrastruktur für das Laden der E-Busse.

Im Rahmen der Analyse der internationalen E-Bus-Projekte (Fallbeispiele) konnten weitere Förder- und Finanzierungsmodelle identifiziert werden, die sich teilweise deutlich von einer rein investiven Förderung der Fahrzeug- und Infrastrukturananschaffung unterscheiden. Ein PPP-Modell in Santiago de Chile sieht in Kombination mit einem Leasingmodell die Trennung von Eigentum und Betrieb bzw. Wartung der E-Busse vor. Um den Leasinggebern der E-Busse Sicherheit vor möglichen Zahlungsausfällen der Busbetreiber zu geben, wurde eine staatliche Zahlungsgarantie für die Leasingraten vereinbart. Der Staat entrichtet dabei die anfallenden Leasingraten direkt an die Leasinggeber. Auch das Restwertrisiko der E-Busse wurde durch Rückstellungsverträge des chilenischen Staates minimiert. Ähnliche Mechanismen könnten bei wettbewerblichen Vergaben in Deutschland umgesetzt werden, indem die vergebende Stelle, ähnlich wie im schienengebundenen Nahverkehr, Wiedereinsatzgarantien und garantierte Restwerte für die Fahrzeuge anbietet. Dies kann insbesondere in einem eher mittelständisch geprägten Markt zu einer dynamischeren Wettbewerbssituation führen.

In der indischen Großstadt Ahmedabad wurde mit der Einführung von E-Bussen ein spezifisches Finanzierungsmodell – „Gross Cost Contract“-Modell genannt – eingeführt. Dieses beinhaltet im Gegensatz zur Investitionsförderung einen konsumtiven Förderansatz, bei dem die Vollkosten des E-Bus-Betriebs berücksichtigt werden.

Um bei geringerer investiver Förderung dennoch ein starkes Momentum für die elektrische Flottenumstellung zu erzielen, ist es auch denkbar, auf nationaler Ebene über das EU-Recht hinausgehende Vorgaben für die Neufahrzeugflotte zu machen bzw. entsprechende Vereinbarungen zu treffen. In den Niederlanden sollen auf diese Weise beispielsweise bereits ab dem Jahr 2025 ausschließlich emissionsfreie Busse neu in die Flotte gelangen. Mögliche

Wechselwirkungen mit der Aufrechterhaltung des ÖPNV-Angebots sind dann jedoch zu prüfen, wenn nicht gleichzeitig auch eine Ausweitung der ÖPNV-Finanzierung erfolgt.

Weiterer Handlungsbedarf besteht aufseiten der Ladeinfrastruktur. Aus der Akteursanalyse ging klar hervor, dass diese einen entscheidenden Flaschenhals für die Elektrifizierung darstellt und die meisten Akteure bislang das Bewusstsein der Politik dafür vermissen. Da der Rückgang der investiven Förderung auch die Ladeinfrastruktur betrifft, vergrößert sich bei rein ordnungsrechtlichen Anreizen für den weiteren Markthochlauf die Lücke in der ÖPNV-Finanzierung. Bereits in der bisherigen Förderung wurde durch die Akteure gefordert, das Förderniveau für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur anzugleichen (Ladeinfrastruktur erhielt lediglich die halbe Förderquote der Fahrzeuge). Hier ist eine fortgesetzte Förderung auch deshalb wichtig, da Infrastrukturinvestitionen über das Tagesgeschäft der Betriebe hinausgehen. Auch wurde die zeitliche Abfolge kritisiert und eine der Fahrzeugbeschaffung vorauslaufende Förderung von Ladeinfrastruktur gewünscht. Dies ist nicht zuletzt deshalb wichtig, weil die Investitionszyklen von Fahrzeugen und Infrastruktur zukünftig zwangsläufig auseinanderlaufen werden. Zusätzlich gibt es auch eine Reihe heute noch zentraler Hemmnisse über die Mehrkosten hinaus, die beseitigt werden sollten und teilweise staatlich beeinflussbar sind. So könnten Ausschreibungsverfahren standardisiert werden (z. B. durch Bereitstellung entsprechender Portale), sodass die Erstellung von Angeboten durch die Bushersteller effizienter möglich ist und auf diese Weise der Wettbewerb auf Angebotsseite gefördert wird. Zudem kann die Markttransparenz verbessert werden, indem essenzielles Wissen zentral bereitgestellt wird. Dies können beispielsweise Onlineportale, Broschüren oder Veranstaltungen sein, bei denen Neueinsteiger im E-Bus-Markt erfahren, welche Schritte in welcher Reihenfolge bei der Elektrifizierung der Busflotte zu gehen sind. Im Rahmen der untersuchten Förderung wurde dem über Veranstaltungen wie der AG Bus und der Begleitforschung bereits Rechnung getragen. Denkbar wäre auch ein Register

mit relevanten Daten aktuell am Markt erhältlicher E-Bus-Modelle, das von einer unabhängigen Stelle gepflegt wird. Gleichzeitig gibt es aber auch aufseiten der Betreiber Möglichkeiten, die Beschaffungskosten zu senken, z. B. über gemeinsame Beschaffungen und einen Verzicht auf individuelle Ausstattungsmerkmale. Ein vom VDV definierter „Standardbus“ könnte hier preisdämpfend wirken.

Generell stellt sich die Frage, welche Rolle zukünftig industrie- und standortpolitische wie auch nachhaltigkeitsbezogene Aspekte bei der Gestaltung des staatlichen Rahmens spielen sollen. Bisher wurden in Deutschland fast ausschließlich E-Busse europäischer Hersteller angeschafft, was wahrscheinlich einerseits durch die Förderquote ermöglicht wurde, aber andererseits zumindest teilweise auch auf die Anforderungen in den Ausschreibungen der Busbetreiber zurückgeht (z. B. Servicenetz). Für die Zukunft ist allerdings zu erwarten, dass auch Hersteller aus Fernost ihren Markteintritt fortsetzen und entsprechend wettbewerbsfähige Angebote machen werden. Ein kompetitiver Vorteil europäischer OEMs könnte sich dann beispielsweise aus der Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards (ökologisch, sozial) ergeben. Das zuvor angeregte Register für Busmodelle könnte dann genutzt werden, um solche Vorgaben zu überprüfen (und ggf. bei der Vergabe von Förderung zu berücksichtigen).

Wenn auch Mitnahmeeffekte der Fahrzeugindustrie durch eine zukünftige Absenkung der Förderung reduziert werden können, so ist in der Gesamtschau dennoch mittelfristig mit einer steigenden finanziellen Belastung der Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger durch die Flottenumstellung zu rechnen. Gleichzeitig wird politisch eine starke Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den ÖPNV angestrebt (vor allem in urbanen Gebieten), was entsprechende Zuwächse bei der ÖPNV-Verkehrsleistung zur Folge hätte. Diesen muss ein entsprechendes Angebot gegenüberstehen und auch finanziert werden. Ein erheblicher Mittelaufwuchs für den ÖPNV insgesamt wird daher dringend notwendig sein, um sowohl die Elektrifizierung der Busflotten als auch

eine Ausweitung des Angebots zu ermöglichen. Es erscheint fraglich, ob die für die Marktaktivierung notwendige Technologieförderung weiterhin das geeignete Mittel ist, um eine strukturelle Unterfinanzierung des öffentlichen Verkehrs zu kompensieren. Eine hinreichende ÖPNV-Finanzierung langfristig zu

sichern (und damit Planbarkeit für alle Akteure zu schaffen), bleibt somit eine prioritäre politische Aufgabe. Hierbei können auch neuartige Konzepte zum Einsatz kommen wie beispielsweise die Drittnutzerfinanzierung („Mobilitätspass“), wie sie in Baden-Württemberg etabliert werden soll.

4. Beitrag der BMWK-Förderung zur Transformation des Sektors

Vom BMWK wurden im Rahmen der Förderung ab dem Jahr 2018 insgesamt 1.489 Busse (davon 807 als Solo-, 661 als Gelenk- und 21 als Midi-Bauart) sowie Ladeinfrastruktursysteme mit insgesamt 823 Ladepunkten in den Markt gebracht. Die Förderprojekte verteilen sich dabei über 13 Bundesländer, wobei die Mehrzahl der Projekte in den bevölkerungsreichen Flächenländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Nordrhein-Westfalen verortet sind. Nur in den ostdeutschen Bundesländern Thüringen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg gibt es keine vom BMWK geförderten Elektrobustprojekte.

Der zentrale direkte Effekt der Förderung ist die Minderung der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen im ÖPNV. Hier zählt sich der Fokus auf batterieelektrische Fahrzeuge aus, die schon bei heutiger Inbetriebnahme die Klimagasemissionen über den Lebensweg gegenüber der Dieselreferenz mehr als halbieren. Von Erdgas- (CNG) und Brennstoffzellenbussen wäre bei heutiger Inbetriebnahme kein vergleichbarer Klimaeffekt zu erwarten.

Über ihren gesamten Lebensweg (angenommen werden 660.000 km Lebensfahrleistung) werden die geförderten Busse voraussichtlich 920 kt CO₂-Äquivalente von Klimagasemissionen am Auspuff von Dieselnbussen (TtW-Betrachtung) und damit im Verkehrssektor einsparen. Berücksichtigt man auch die Energiebereitstellung (WtW-Betrachtung), beträgt die Einsparung immer noch gut 800 kt. Die zusätzliche Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung (LCA-Betrachtung) senkt die Minderungswirkung dann nur noch geringfügig auf gut 720 kt Gesamtminderung. Mindestens ebenso wichtig ist jedoch die langfristige Bedeutung der Förderung für den allgemeinen Markthochlauf von Elektrobussen und die Bereitstellung von serien- und praxistauglichen Fahrzeugen durch die Fahrzeughersteller, also für die umfassende Transformation des Sektors. Denn in den vergangenen Jahrzehnten war der Dieselnbus für alle

relevanten Akteure (Kommunen bzw. ÖPNV-Aufgabenträger, Verkehrsunternehmen und OEMs) der eindeutige Branchenstandard im straßengebundenen ÖPNV. Andere Antriebsarten haben bis Mitte des letzten Jahrzehnts nur eine untergeordnete Rolle gespielt und bestanden vor allem in erdgasbetriebenen Bussen. So lag der Anteil an alternativen Antrieben bei Bussen im Jahr 2015 bei lediglich 3,3 %, und dies mit rückläufiger Tendenz (2008: 4,6 %) (VDV 2015). Durch die klimapolitischen Ziele ergab sich in den letzten Jahren jedoch ein zunehmender Handlungsdruck für den ÖPNV in zwei Richtungen: Erstens zur Ausweitung des ÖPNV-Angebotes, um die positiven Klimaeffekte einer Verlagerung vom Pkw auf den ÖPNV zu heben. Zweitens ergab sich aus dem Ziel der Treibhausgasneutralität aber auch innerhalb des Busbereichs eine Notwendigkeit zur Defossilisierung der Fahrzeugantriebe. Während der schienengebundene ÖPNV bereits durch die direkte Verbindung zu einer Stromführung unmittelbar von der fortschreitenden Defossilisierung der Stromerzeugung in Deutschland profitiert, gibt es für den heutigen Dieselnbus kaum nachhaltige und skalierbare Möglichkeiten zur Defossilisierung. Zwar lassen sich prinzipiell bei ausreichender Verfügbarkeit auch Biokraftstoffe, bzw. in Erdgasbussen Biomethan, einsetzen. Dies ist jedoch mit zum Teil negativen Folgen in anderen Bereichen verbunden, insbesondere da bei der Verbrennung weiterhin Luftschadstoffe entstehen und zudem die Gefahr von Landnutzungsänderungen besteht. Und im gesamten Verkehrsbereich lassen sich mit nachhaltigen Biokraftstoffen mengenmäßig ohnehin nur Nischen defossilisieren. E-Fuels stehen absehbar hingegen nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung und sind aufgrund der geringen Effizienz auch künftig verhältnismäßig teurer. Prinzipiell eignet sich daher vor allem erneuerbarer Strom, der möglichst direkt genutzt wird, als skalierbarer Energieträger, der auch im Busbereich eingesetzt werden kann. Die Transformation hin zu umfassenden Elektrobustflotten bedurfte dabei jedoch externer Impulse zur Überwindung

von bestehenden Pfadabhängigkeiten und technologischen Lock-ins, da keiner der Akteure einen eigenen Antrieb hatte, den langjährig eingeschwungenen Zustand des etablierten Systems Dieselbus zu verlassen. Die Kommunen (in ihrer Rolle als ÖPNV-Besteller) waren aufgrund begrenzter Haushaltsmittel gezwungen, am Dieselbus festzuhalten, wenn sie aufgrund der deutlich höheren Anschaffungspreise der Elektrobusse und der erforderlichen Infrastrukturen keine Reduktion des Angebots vornehmen wollten, die der anderen klimapolitischen Zielrichtung (Verlagerung vom MIV auf den ÖPNV) widersprochen hätte. Die Busbetreiber selbst fanden zunächst zudem keine ihren Ansprüchen genügenden Fahrzeugangebote vor, die ihre Anforderungen bezüglich Reichweite, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit gedeckt hätten. Zudem fehlte ihnen umfassende Erfahrung mit der neuen Technologie, die zusätzlich einen umfassenden Infrastrukturaufbau erfordert. Mit der parallelen Diskussion um den Brennstoffzellenantrieb als mögliche emissionsfreie Antriebsalternative entstand zudem Unsicherheit über die „richtige“ Technologie vor dem Hintergrund der langfristigen Ausrichtung von Investitionsentscheidungen. Seitens der deutschen und europäischen Hersteller gab es auf der anderen Seite ebenfalls – auch aufgrund mangelnder Nachfrage auf dem Heimatmarkt – wenig Motivation, das einträgliche Geschäft mit konventionellen Verbrennungsantrieben zu verlassen, auf dem ein hoher Entwicklungsstand und Innovationsvorsprung erreicht war und das zudem Synergien in der Produktion mit anderen Fahrzeugsegmenten schaffte. Der Umstieg auf Elektrobusse erforderte dagegen zunächst hohe Entwicklungskosten in einem unsicheren Marktumfeld.

Der Staat als Initiator und Koordinator einer erfolgreichen nachhaltigen Sektorenttransformation

Um das verfestigte System des Dieselbusses zu verlassen, bedurfte es daher externer Impulse, um die Transformation anzustoßen. Dabei hat zunächst der sogenannte „Abgasskandal“ zur Einführung des Förderprogramms „Saubere Luft“ geführt. Vor dem Hintergrund eines steigenden öffentlichen Bewusstseins

für Klima- und Umweltschutz hat das BMU bzw. BMWK so die Verantwortung für die notwendige Transformation wahrgenommen. Neben den ab dem Jahr 2021 in Kraft getretenen regulatorischen Vorgaben des Gesetzgebers für verbindliche Mindest-Beschaffungsquoten sauberer bzw. emissionsfreier Busse durch die nationale Umsetzung der CVD wurde dabei auch der Weg einer Förderung gewählt. Allein (harte) regulatorische Vorgaben bergen dabei in der Frühphase der Transformation – abhängig vom Adressaten und vom Ambitionsniveau – aufgrund der schwierigen kommunalen Finanzsituation das Risiko einer politisch schwer vermittelbaren und klimapolitisch kontraproduktiven Reduktion des ÖPNV-Angebotes. Dieses Risiko wurde durch die umfangreiche wirtschaftliche Unterstützung der Bundesministerien (BMU bzw. BMWK sowie BMVI bzw. BMDV) sowie flankierende Maßnahmen für die ÖPNV-Branche vermieden und eine weitgehend risikoarme Transformation unter Beibehaltung des bestehenden Angebots ermöglicht. Einer zukunftsfähigen und ökologischen Aufstellung des gesamten ÖPNV-Sektors wurde damit der Weg geebnet. Zudem konnte wirtschaftspolitisch erreicht werden, dass die europäische und insbesondere auch die deutsche Nutzfahrzeugindustrie durch die Nachfrage nach emissionsfreien Bussen sich erfolgreich für einen zentralen Zukunftsmarkt aufstellen und ihr Produktportfolio entsprechend weiterentwickeln konnte. In Bezug auf emissionsfreie Antriebstechnologien befinden sich die deutschen und europäischen Hersteller nun in einer chancenreichen Ausgangsposition, um weiterhin eine zentrale Rolle im Busmarkt zu spielen. Wohin dieser Weg führen kann, zeigt eindrucksvoll das Beispiel China. Dort wurde der Transformationsprozess politisch früher als hierzulande angestoßen, was die dort ansässigen Bushersteller nun dazu befähigt, sich auf dem Weltmarkt große Marktanteile zu sichern.

Maßgeblich für den bisherigen Fortschritt in der Transformation war dabei der ganzheitliche, kombinierte und gebündelte Einsatz von verschiedenen Instrumenten durch den Bund. Neben der Schaffung der erforderlichen wirtschaftlichen Voraussetzungen geht es dabei auch darum, Unsicherheiten, beispiels-

weise hinsichtlich der Frage, welche Technologie sich zukünftig durchsetzen wird, abzubauen sowie die für den Wandel erforderliche Kompetenz vor Ort aufzubauen und durch Netzwerkbildung und Wissensaufbau die relevanten Akteure zu befähigen. Die von staatlicher Seite zur Stimulierung der ökologischen Sektorentransformation eingesetzten Instrumente lassen sich grundlegend den drei folgenden Kategorien zuordnen:

- regulatorische Vorgaben,
- wirtschaftliche Anreize sowie
- flankierende Maßnahmen.

Hierbei hat die Förderung als wirtschaftliches Anreizinstrument zum Zeitpunkt der Einführung des hier betrachteten Förderprogramms auch deshalb eine herausragende Bedeutung, da bis dato andere Instrumente noch nicht in nennenswertem Umfang vorhandenen waren und erst nach Beginn der Förderung verstärkt hinzugekommen sind.

Setzung eines regulatorischen Rahmens

Die regulatorischen Vorgaben zielen dabei insbesondere auf eine Mengensteuerung des (zukünftigen) Fahrzeugbestandes und damit des Anteils an emissionsfrei angetriebenen Bussen, der sich unter anderem am übergeordneten klimapolitischen Zielrahmen orientieren muss. Hier ist insbesondere das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz anzuführen, das für die im straßengebundenen ÖPNV dominierende öffentliche Auftragsvergabe verbindliche Vorgaben des Anteils sauberer bzw. emissionsfreier Fahrzeuge enthält. Hierdurch wurde der gesamten ÖPNV-Branche spätestens ab dem Jahr 2021 die gegen Ende der 2010er-Jahre vorherrschende grundlegende Unsicherheit genommen, ob überhaupt und, sofern ja, in welchem Umfang zukünftig Elektrobuse einzusetzen sind. Auch wenn durch Vergabe von langfristigen Rahmenverträgen oder öffentlichen Dienstleistungsaufträgen vor Beginn der Referenzzeiträume des Gesetzes zum 2. August 2021 noch Spielräume zur Umgehung genutzt werden konnten, war dennoch die grundlegende Frage verbindlich beantwortet, dass im Bereich der Stadtbusse zukünftig

kein Weg an emissionsfreien Antrieben vorbeiführt. Durch die steigenden Beschaffungsquoten sauberer bzw. emissionsfreier Busse für den zweiten Referenzzeitraum von 2026 bis 2030 war ein Markthochlauf dieser Antriebe bereits im SaubFahrzeugBeschG verbindlich angelegt.

Während dieses Instrument auf die Nachfrageseite des ÖPNV-Busmarktes abzielte, nehmen die durch die Europäische Union parallel novellierten CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge zusätzlich die Herstellerseite ins Visier. Im Jahr 2030 müssen 90 % der neuen Stadtbusse emissionsfrei sein und ab dem Jahr 2035 gilt dies für alle Stadtbusse. Auch wenn diese Regulierung nicht alle ÖPNV-Busse direkt betrifft, schafft sie endgültig Klarheit hinsichtlich der zukünftigen Antriebsalternativen für Busse, insbesondere für das Segment der Stadtbusse. Zudem verringern die etwas weniger strengen Vorgaben für sonstige Busse den derzeit noch vorherrschenden Ausnahmetatbestand des SaubFahrzeugBeschG für Überlandbusse. Somit sind auch im Regionalverkehr zunehmend die Weichen in Richtung Defossilisierung gestellt.

In den 2030er-Jahren dürften somit, bei entsprechend scharfer Sanktionierung, die deutlich strengeren europäischen Vorgaben hinsichtlich der CO₂-Flottengrenzwerte die bisherigen Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG weitestgehend überdecken. Der Vollständigkeit halber erwähnt werden sollten hier zudem weitere regulatorische Vorgaben, die zum Teil auf niedrigeren staatlichen Ebenen, insbesondere von Bundesländern, gemacht werden. So hat beispielsweise das Land Berlin im Mobilitätsgesetz verankert, dass ab dem Jahr 2030 der gesamte ÖPNV durch alternative, nicht-fossile Antriebe erbracht werden soll. Auch diese Vorgaben haben dazu beigetragen, durch indirekte regulatorische Anreize inhaltlich Klarheit hinsichtlich der unmittelbar bevorstehenden Antriebswende zu schaffen.

Auch bezüglich Wirtschaftlichkeit und Technologiewahl hat die Förderung eine klare Richtung vorgegeben.

Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit

Die gezielten finanziellen Anreize waren hier also ein Weg, um die Antriebswende zu ermöglichen, ohne das ÖPNV-Angebot – und damit die Verkehrswende – zu gefährden.

Hierbei ist nicht zuletzt zu berücksichtigen, dass die Bundesrepublik Deutschland auf staatsrechtlicher Ebene durch die CVD verpflichtet ist, für die Einhaltung der Vorgaben zur Beschaffung sauberer Busse zu sorgen und damit ein ansonsten drohendes Vertragsverletzungsverfahren der EU zu vermeiden, während die Finanzierungsverantwortung für den ÖPNV auf kommunaler Ebene liegt.

Der so initiierte Transformationspfad ermöglichte eine Transmission zwischen der Ausgangssituation vor Beginn der Förderung, die durch eine frühe Marktphase mit vergleichsweise noch weniger leistungsfähigen, nur sehr eingeschränkt verfügbaren und teuren Produkten gekennzeichnet war, und den verbindlichen Zielsetzungen hinsichtlich der Dekarbonisierung der Busflotten, die nicht zuletzt auch im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ihren Niederschlag finden. Vor diesem Hintergrund stellt sich als logische Konsequenz auch die Frage, inwiefern die infolge des KTF-Urteils beendete Förderung des Bundes den weiteren Verlauf des erfolgreich eingeschlagenen Transformationspfades beeinflusst, verlangsamt und damit auch die Erreichung der dargestellten Zielsetzungen verzögert. Gleichzeitig verstärkt sich der Druck auf die Fahrzeughersteller, ihrerseits preislich attraktivere Angebote zu machen, der vorher aufgrund der umfassenden Förderung potenziell moderiert war. Bisher ist eine solche Reaktion am Markt jedoch nicht zu beobachten.

Neben den unmittelbaren wirtschaftlichen Folgen stehen die bisherigen Vorreiter der Transformation nun vor der Ungewissheit, ob die von ihnen verfolgte Strategie der Flottendekarbonisierung zumindest vorübergehend revidiert oder ggf. zumindest auf die gesetzlichen Mindestanforderungen zurückgefahren werden muss. Während das bislang eingesetzte Instrument der Investitionsförderung in Form von „Kauf-

prämien“ zwar die Total Cost of Ownership für die E-Bus-Betreiber in einen mit der bisherigen Dieseltechnologie kompetitiven Bereich abgesenkt hat, kam es gleichzeitig jedoch zu direkten Rückwirkungen auf die Preissetzung durch die Fahrzeughersteller. Im Endeffekt ergab sich eine verminderte Anreizsetzung für Preissenkungen, sodass der hohe staatliche Mitteleinsatz auch als mittelbare Förderung der Fahrzeugindustrie gesehen werden kann und nicht nur vordergründig ausschließlich als ÖPNV-Förderung. Es wird dabei wirtschaftspolitisch von Interesse sein, zu beobachten, ob ein steigender Preiswettbewerb zukünftig auch zu einem verstärkten Markteintritt von Fahrzeugherstellern insbesondere aus China führen wird, die durch ihre stückzahlenmäßige Dominanz auf dem Weltmarkt entsprechende Skaleneffekte hebeln können.

Aufgrund dieser Zusammenhänge kann durchaus abgeleitet werden, dass Kaufprämien allein, schon von der Wirkmechanik her, nicht in der Lage sein werden, den gesamten Markthochlauf zu tragen. Gleichwohl waren Kaufprämien und nicht zuletzt auch die hierdurch klar ausgedrückte Zusage der Politik für die Defossilisierung des Stadtbusverkehrs gerade in der frühen Marktphase ein geeignetes und effektives Mittel, um den Markthochlauf durch die klare Kursvorgabe zu stimulieren und durch einen Pull-Effekt angebotsseitig die Entwicklung anforderungsgerechter, zuverlässiger und konkurrenzfähiger Produkte deutscher OEMs zu ermöglichen. Um diese positive Entwicklung nun in den Flächenrollout und zunehmend auch in ein nicht staatlich gefördertes Marktumfeld zu überführen, wäre im Rahmen einer fortgeführten Investitionsförderung zumindest ein belastbarer Gleitpfad für die Förderung, der gleichzeitig Anreize für einen zunehmenden Preiswettbewerb in der Fahrzeugindustrie setzt, ein weiterhin hilfreiches Instrumentarium. Dies könnte beispielsweise durch ein sukzessives Absenken der Förderquoten oder aber auch einen auf eine niedrigere Förderung abzielenden Wettbewerb um Fördermittel erreicht werden.

Teilweise wird dies nun in der Praxis auch schon dadurch erreicht, dass zunehmend Investitionsför-

derprogramme auf Landesebene in den Fokus der ÖPNV-Betreiber geraten. Diese weisen in der Regel niedrigere Förderquoten als die bisherige Bundesförderung auf und waren daher bislang häufig nur zweite Wahl bei der Fördermittelakquise. Auch wenn hierdurch nun die Fördereffizienz (staatlicher Mittelausatz je geförderten Bus) tendenziell steigt, muss dennoch kritisch angemerkt werden, dass es weder flächendeckend Landesförderprogramme gibt, noch dass diese von der Mittelausstattung her die Bundesförderung ersetzen können. Insofern steht absehbar weniger Geld für die Unterstützung der Elektrifizierung der Busflotten zur Verfügung.

Ein flächendeckender Markthochlauf könnte alternativ auch durch konsumtiv wirkende Unterstützungsinstrumente oder zusätzliche Erlösmöglichkeiten erreicht werden. Einen Ansatz dafür stellen die THG-Quote und die Möglichkeit zur Anrechnung der durch die Elektrobusse im Straßenverkehr genutzten Strommenge dar, die für die Betreiber von Elektrobussen zumindest kurz- und mittelfristig zu zusätzlichen Erlösen führen und die Wirtschaftlichkeit emissionsfreier Busse verbessern. Da dieses Instrument aufgrund seiner Schwankungen sowohl des finanziellen Ertrags für die Busbetreiber als auch im Zeitverlauf jedoch nicht belastbar kalkuliert werden kann, ist seine Wirkung für den Markthochlauf und langfristige Technologieentscheidungen allerdings eingeschränkt.

Grundsätzlich sollte bei der Energiewende ein Perspektivenwechsel weg von der Konzentration auf die statischen Kosten der Emissionsminderung hin zur dynamischen Ökonomie der Beschleunigung von Investitionen in kohlenstofffreie Systeme einschließlich der sich daraus ergebenden Chancen und Risiken erfolgen (siehe Grubb et al. 2023). Dieser Gedanke lässt sich gut auf die Antriebswende im Verkehr und damit auch auf die Dekarbonisierung der Busflotten übertragen.

Klarheit in der technologischen Ausrichtung

Der zweite Aspekt, die Technologieunsicherheit, wurde durch den ausschließlichen Fokus des BMWK-

Förderprogramms auf die batterieelektrische Antriebstechnologie frühzeitig adressiert. Da diese Technologie gegenüber den von den Einsatzmöglichkeiten (vor allem hinsichtlich der Reichweite) in den Anfangsjahren zumindest teilweise überlegenen Brennstoffzellenbussen insbesondere aufgrund ihrer Energieeffizienz sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile versprach (vgl. Kapitel 3.2), wurde hier eine wesentliche Weichenstellung für den erfolgreichen Markthochlauf gelegt. So wurde frühzeitig die Nachfrage nach batterieelektrischen Fahrzeugen stimuliert und so auch für die Fahrzeughersteller eine klare – und mit Blick auf den Weltmarkt sinnvolle – Entwicklungsrichtung vorgegeben.

Gleichwohl erfordert eine solche staatliche Einflussnahme auf die Märkte und die einhergehende Abkehr vom oft postulierten Prinzip der absoluten Technologieutralität eine sorgsame und belastbare Prüfung der zur Verfügung stehenden Alternativen, um Fehlentwicklungen zu vermeiden. Ziel ist dabei eher, eine echte Technologieoffenheit herzustellen. Während technologie neutrale Regulierung auf jegliche Unterscheidung zwischen den verfügbaren technologischen Alternativen verzichtet, verlangt die Überwindung von Pfadabhängigkeiten im Straßenverkehr hingegen auch technologiespezifische Regulierung, um diese Technologieoffenheit zu gewährleisten (siehe (Lehmann et al. 2020)). Gerechtfertigt ist dies insbesondere dann, wenn die Rahmenbedingungen, wie seinerzeit im durch Pfadabhängigkeiten geprägten, stabilen ÖPNV-Busmarkt, keine Transformation ermöglichen und gleichzeitig ein hoher Handlungsdruck aufgrund von (klimapolitischen) Zielsetzungen und eine hohe Unsicherheit über den weiteren Entwicklungspfad in einer frühen Marktphase zusammentreffen. So hat der Fokus auf eine Technologie (BEV) letztendlich verhindert, dass die zur Verfügung stehenden Mittel fragmentiert eingesetzt wurden und damit ggf. nicht zum Ziel eines Markthochlaufes und der Bereitstellung alltagstauglicher Produkte geführt hätten.

Nachdem die dargestellten Instrumente nun zu einem erfolgreichen Abschluss der ersten Transformationsphase, die insbesondere auf den industrieseiti-

gen Markthochlauf und die Marktaktivierung zielte, geführt haben, stellt sich nun die Frage, welche Maßnahmen auch den flächendeckenden Hochlauf der Nachfrageseite durch die ÖPNV-Betreiber wirksam unterstützen könnten. Im Zentrum sollte hier eine ÖPNV-Finanzierung stehen, die eine Antriebswende ermöglicht und gleichzeitig einen Ausbau des ÖPNV-Angebots erlaubt, um parallel auch die Verkehrswende weiterzutreiben. Insbesondere die Einführung des Deutschlandtickets führt hier einerseits zu neuen Herausforderungen, birgt aber gleichzeitig auch die Chance, die ÖPNV-Finanzierung generell neu zu ordnen.

Bezüglich der Antriebswahl könnten auch zielgerichtete Interventionen mit Wirkung auf den Energiepreis eine Rolle spielen. So führt jede Verteuerung des Dieselpreises, z. B. durch einen steigenden CO₂-Preis, mittelbar zu einem relativen Preisvorteil für elektrische Antriebe. Umgekehrt kann eine zumindest temporäre Absenkung des Beschaffungspreises für Traktionsstrom ein wirksames konsumtives Instrument darstellen. Hierdurch würde aufseiten der Fahrzeug- bzw. Infrastrukturhersteller, die mittlerweile über weltmarktfähige Produkte verfügen, sowohl ein starker Preiswettbewerb ermöglicht, der zu sinkenden Investitionskosten führen dürfte, als auch ein Anreiz zum intensiven Einsatz von Elektrobussen durch die Betreiber gesetzt, da jeder zusätzliche gefahrene elektrische Kilometer unmittelbar nicht nur ökologische, sondern auch wirtschaftliche Vorteile mit sich brächte. Analog würde sich eine direkte Subventionierung eines emissionsfrei erbrachten Fahrplankilometers im ÖPNV mit Bussen auswirken, die ggf. beihilfenfrei über die ÖPNV-Aufgabenträger ausgereicht werden könnte.

Insgesamt hat die E-Bus-Förderung des BMWK vergleichsweise schnell durch den erreichten (auch industrieseitigen) Markthochlauf einen bahnbrechenden Erfolg bewirkt. Die Fahrzeughersteller haben in kurzer Zeit für den großflächigen Alltagseinsatz taugliche Produkte entwickelt und auf den Markt gebracht. Die dazu erforderlichen Investitionskosten konnten mittelbar auf den Staat umgelegt werden,

sodass in der Praxis auch eine Förderung der Fahrzeugindustrie resultierte. Profitiert haben herstellerseitig hier vor allem europäische Fabrikate, von denen 96 % der geförderten Busse, stammen, und insbesondere deutsche Hersteller (48 % der geförderten Busse). Die europäische und die deutsche Fahrzeugindustrie konnten so den technologischen Rückstand auf chinesische Hersteller egalisieren und haben klare Zukunftsaussichten hinsichtlich der Bedeutung emissionsfreier Busse erhalten, auf die sie ihre Serienproduktion ausrichten konnten. Der begleitende Industriedialog mit den Busbetreibern wurde hierbei intensiviert.

Für die ÖPNV-Betreiber wurde das wirtschaftliche Risiko deutlich reduziert, sodass neben ersten Vorreitern nun eine großflächigere Transformation, vor allem in Städten, teilweise aber auch schon in ländlichen Räumen, angestoßen wurde. Insgesamt wurden 65 Projekte in 13 Bundesländern gefördert, vor allem in den bevölkerungsreichen Flächenländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Nordrhein-Westfalen. Langfristige Sicherheit wurde dabei sowohl hinsichtlich der Technologiewahl als auch durch die ausdrücklich mögliche Anteilsförderung von Lebensdauer garantien auf Batterien gegeben. Auch der Infrastrukturaufbau mit einer entsprechend längeren Nutzungsperspektive wurde unterstützt. Zudem konnte umfassendes technisches Wissen aufgebaut werden, indem der intensive Erfahrungsaustausch mit „Gleichgesinnten“, beispielsweise durch die Fortführung der AG Bus, und der intensive Datenaustausch durch die Verpflichtung zur Bereitstellung von Daten des „Minimaldatensets“ forciert wurde.

Den Kommunen als ÖPNV-Besteller wurde ermöglicht, ihre umweltbezogenen („saubere Luft“ und Lärmvermeidung) und klimabezogenen Bilanzen zu verbessern. Zudem konnten sie die Attraktivität des ÖPNV für ihre Bürgerinnen und Bürger erhöhen, ohne Antriebs- und Verkehrswende gegeneinander auszuspielen, sprich die technologiebedingten Mehrkosten von Elektrobussen durch Abbestellung von Verkehren oder andere cross-sektorale Einsparungen gegenzufinanzieren.

Erkenntnisse und Lehren für die weitere Sektorentransformation und den schrittweisen Ausstieg des Staates aus dem sich beschleunigenden Markthochlauf

Abschließend lassen sich neben der weitgehend positiven Bewertung des Förderprogramms in der Frühphase der Transformation eine Reihe von teilweise übergreifenden Erkenntnissen festhalten, die nicht nur den weiteren Erfolg dieser Transformation im Bussektor beeinflussen können, sondern die sich gegebenenfalls auch abstrahiert auf andere Sektoren übertragen lassen.

Durch die umfassende Förderkulisse mit klarem technologischem Fokus hat der Bund Rahmenbedingungen geschaffen, durch die sich sowohl Hersteller als auch ÖPNV-Betreiber auf diesen erforderlichen Transformationsweg begeben haben. Um den technologischen Lock-in des Dieselbusses zu durchbrechen, waren zunächst höhere Anfangsinvestitionen notwendig – ohne diese wäre das Anstoßen der Sektortransformation allerdings nicht möglich gewesen. Verbunden war dies mit einem Vertrauen auf die langfristige politische bzw. staatliche Unterstützung, mit der die zunehmend etablierten regulatorischen Vorgaben flankiert werden. So haben bereits zahlreiche Verkehrsunternehmen durch den Aufbau von eigenen Kompetenzen und Infrastrukturen, die Implementierung von neuen Softwaresystemen sowie die Anpassung ihrer Betriebsorganisation den Wandel der internen Aufstellung vom Bus- zum Systembetreiber vollzogen. Auf Herstellerseite gab es zugleich jedoch wenig Anreize für einen intensiven Wettbewerb über den Preis, die für eine fortgesetzte Transformation ohne oder mit reduzierter Förderkulisse notwendig sind.

Gleichzeitig ist zu beobachten, dass der ÖPNV-Betrieb in jüngerer Zeit unabhängig von der Antriebshematik deutlich teurer wurde. Maßgeblich dafür sind auch externe Einflüsse, exemplarisch seien der zunehmende Personalmangel und steigende sowie volatilere Energiekosten genannt. Durch den abrupten Stopp der Bundesförderung emissionsfreier Busse droht nun zunächst einmal das bisherige Vertrau-

en auf staatliche Unterstützung bei der Abfederung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Antriebswende zu schwinden. Praktisch stehen die ÖPNV-Betreiber nun zusätzlich vor gravierenden wirtschaftlichen Herausforderungen. Mögliche und derzeit auch nicht am Markt beobachtbare Preissenkungen bei den Herstellern infolge des Wegfalls der Förderung können zudem die Wirtschaftlichkeit derzeit noch nicht allein sicherstellen.

Aber auch weitere aktuelle Entwicklungen, wie die kontroverse politische Diskussion um die CO₂-Flottengrenzwerte oder die Zulassung von synthetischen oder biogenen Kraftstoffen (PtL- bzw. HVO100) als alternative Technologien, können dazu führen, dass das Vertrauen in den bislang sehr klaren Weg des Staates und das politische Commitment in eine schnelle Sektorentransformation hin zur Elektromobilität letztlich reduziert würden. Insbesondere die „mutige Entscheidung“ der Vorreiter der Flottentransformation könnte so infrage gestellt werden und womöglich zu einer kurzfristigen Investitionsumlenkung in langfristig möglicherweise teurere „Umgehungstechnologien“ wie führen, deren Klimaschutzbeitrag und langfristige Wettbewerbsfähigkeit zumindest fraglich ist. Denn jeder heute nicht emissionsfrei beschaffte Bus wird aufgrund der langfristigen Investitionszyklen noch mehr als ein Jahrzehnt eingesetzt werden.

Ein weiterer Faktor für den Erfolg der Transformation ist die akteurs- und sektorübergreifende Verzahnung der Transformationsprozesse und die Berücksichtigung der jeweiligen Interdependenzen. Hier hat der begleitende Aufbau eines Netzwerks und der einhergehende Wissensaustausch zwischen den Akteuren im Rahmen der AG Bus bereits wichtige Impulse gesetzt. Dennoch gibt es insbesondere an der Schnittstelle von Energiewirtschaft – und dem nicht minder ambitionierten Vorhaben der Energiewende – und der parallel erfolgenden Antriebswende im Verkehr weiterhin Abstimmungs- und Harmonisierungsbedarf. Exemplarisch sei hier neben dem Ausbau der Energienetze insbesondere auch eine stärkere Verzahnung der Regulatorik genannt, für die der Bund

eine zentrale Rolle innehat. So sind Verkehrsunternehmen im Rahmen von Systementscheidungen und der Erarbeitung ihrer Umstellungsplanungen davon abhängig, ob und wann Netzanschlüsse in erforderlichem Leistungsumfang bereitgestellt werden können. Hier gibt bislang keine Verpflichtung der Netzbetreiber, indikative Auskünfte ohne formalen Antrag auf Netzanschluss in kürzerer Zeit bereitzustellen. Somit sind Systementscheidungen im Verkehr häufig noch mit Unsicherheiten behaftet. Um dieses Problem zu lösen, werden auf Bundesebene bereits entsprechende erste politische Aktivitäten unternommen. Abhilfe könnte darüber hinaus zukünftig auch die Bildung eines erweiterten „Sektorennetzwerks“ schaffen, in dem auch unter Einbindung der Energiewirtschaft ein enger Austausch forciert wird. Als Beispiel für eine ressortübergreifende Gesamtstrategie kann hier der Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung angeführt werden.

Nach dem erfolgreichen Handeln des Staates in der Frühphase der Transformation müssen nun auch Wege für den Übergang zum Ausstieg aus der Förderung und somit in die noch stärker marktwirtschaftlich geregelte Transformationsphase gefunden und unter Beweis gestellt werden. Dies kann durchaus als Balanceakt verstanden werden, der sich zwischen einem kurzfristigen Vollausstieg aus der Förderung mit entsprechenden Rückfallrisiken in das alte System und einem nun nicht mehr notwendigen und damit unnötig teuren Weiterfördern auf dem anfangs sinnvollen Niveau bewegt. Der Ausstieg sollte daher idealerweise vorhersehbar und auf die Erfordernisse adaptiert

umgesetzt werden. Es ist daher empfehlenswert, über die verschiedenen Phasen des Transformationsprozesses hinweg die Förderkulisse weiterhin und vertieft hinsichtlich ihres Bedarfes, ihrer Wirkung und ihrer Ausgestaltung zu überprüfen. Somit könnte auch ein mehrstufiger Pfad in Richtung des vollständigen Ausstiegs aus der Förderung eingeschlagen werden, der den momentanen abrupten faktischen Ausstieg des Bundes aus der Förderung ersetzt. Eine abschmelzende Förderintensität sollte dabei dem Bedarf nach langfristiger Plan- und Belastbarkeit Rechnung tragen. In der Praxis war dies bereits im Zuge der anschließenden BMDV-Förderung zu erkennen, wo der Wettbewerb um Fördermittel zur Beantragung geringerer Förderquoten als der maximal möglichen Förderquote durch die Antragsteller geführt hat. Zudem könnte bei zunehmendem Markthochlauf ein Wechsel des Fördermechanismus von investiver (nicht zuletzt auch auf die Industrie abzielender) Förderung hin zu einer konsumtiven, auf den großflächigen Einsatz der Technologie und somit deren Betreiber abzielenden Förderung ein sinnvolles Instrument sein, um den Preiswettbewerb herstellerseitig zu stimulieren. Dies würde die Wettbewerbsfähigkeit der umwelt- und klimafreundlichen Elektrobusse potenziell weiter verbessern und letztlich helfen, die derzeit noch festzustellende Wirtschaftlichkeitslücke zu schließen. Somit würde ein nahtloser Übergang in den anzustrebenden „Ausstieg des Staates“ aus dem sich beschleunigenden Markthochlauf in ein weitgehend interventionsfreies marktwirtschaftliches Umfeld ermöglicht und die Weichen für die notwendige Emissionsfreiheit des ÖPNV erfolgreich gestellt.

5. Anhang

5.1 Über die Begleitforschung

Vor dem Hintergrund der beabsichtigten Förderziele hat das BMU im Mai 2020 die PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) mit einer Begleituntersuchung zur Förderung von Elektrobussen im ÖPNV beauftragt, um zum einen das Förderprogramm zu evaluieren und andererseits eine Wirkungskontrolle vorzunehmen. In die Bearbeitung des Projekts sind als Unterauftragnehmer von PwC das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), die CP/COMPARTNER Agentur für Kommunikation GmbH (CP/COMPARTNER), die Prognos AG (Prognos) sowie die EEBC European Electrical Bus Company GmbH (eebc) eingebunden. Das Beratungsteam arbeitet interdisziplinär und kombiniert insbesondere die folgenden Expertisen:

- Verkehrswirtschaft im ÖPNV und Umstellung auf alternative Antriebsformen,
- Bewertung von Umwelteffekten, Ökobilanzierung und technologischen Entwicklungen,
- volks- und betriebswirtschaftliche Analysen sowie Bewertungen von Wertschöpfungsketten,
- Elektrobustechnik und Ladeinfrastruktur,
- Kommunikation und Veranstaltungsmanagement sowie Medienanalyse.

Der Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH begleitete den Auftrag fachlich und administrativ im Rahmen der Projektträgerschaft zur Abwicklung der BMWK-Elektrobusförderung.

Die Durchführung der Begleitforschung erfolgte von Juli 2020 bis Juni 2024. Bei den Arbeiten wurden neben Daten aus den Förderprojekten (Auswertungen des Minimaldatensets¹⁸²) auch weitere Recherchen zum Marktumfeld vorgenommen. Dazu zählen unter anderem die Erhebung des verfügbaren Fahrzeugangebots, die Erhebung des E-Bus-Bestandes (national und international) sowie die voraussichtliche Entwicklung des Bestands in Deutschland. Darüber hinaus wurden nationale und internationale Fallbeispiele recherchiert und umfassend analysiert, um daraus „good practices“ abzuleiten und Schlussfolgerungen für die weitere Entwicklung des E-Bus-Marktes zu ziehen.

Die Arbeiten im Rahmen der Begleitforschung gliederten sich wie folgt:

- Es erfolgte zunächst eine strukturierte Aufnahme und Analyse des Elektrobusmarktes, indem insbesondere die am Markt verfügbaren europäischen Serienfahrzeugmodelle im Zeitverlauf erhoben wurden. Dabei wurden auch die Hersteller und deren Produktionsstandorte erfasst. Des Weiteren wurden eine Ermittlung der Mehrkosten von Elektrobussen und der Kosten der Ladeinfrastruktur, eine Analyse der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung der Elektrobusproduktion sowie die Darstellung der Technologieentwicklung für Nebenaggregate vorgenommen.
- Anschließend wurde eine aktuelle und umfassende Bestandsübersicht über E-Busse sowie deren absehbare Entwicklung in Deutschland erstellt. Dazu wurde der Elektrobusbestand in Deutschland seit 2010 nach Verkehrsunternehmen bzw. Städten und insgesamt, sowohl in absoluten Zahlen als auch relativ in Bezug auf die gesamte ÖPNV-Busflotte, strukturiert erfasst.

- Neben der Betrachtung des deutschen Markts erfolgte zudem eine globale Betrachtung des Elektrobustmarktes. Im Fokus stand zum einen die Erfassung und Darstellung des Elektrobustbestandes in Asien, Europa, Nord- und Südamerika sowie Ozeanien und seiner zukünftigen Entwicklung. Zum anderen wurden die Marktanteile einzelner Hersteller erfasst. Ziel war es, unter anderem Unterschiede und Gemeinsamkeiten mit der Situation in Deutschland zu identifizieren. Ergänzend wurde eine Analyse von internationalen Fallbeispielen zur Elektrifizierung größerer Busflotten durchgeführt.
- Abschließend wurde die Förderung selbst umfassend analysiert, sowohl hinsichtlich der klima- und umweltbezogenen Effekte als auch der Wirkung auf den Markthochlauf. Datengrundlagen zur Analyse der Effekte und Hebelwirkungen waren insbesondere das Minimaldatenset Bus, das seitens der Zuwendungsempfänger erhoben wurde, eigene Leitfadenterviews mit Akteuren der Angebots- und Nachfrageseite sowie eine kontinuierliche Medienanalyse. Die Analyse des Förderprogramms hatte somit vier inhaltliche Schwerpunkte:
 - Stand und Wirkung der Elektrobustförderung in Deutschland auf den Markthochlauf,
 - technische und ökologische Analyse und Bewertung der Förderung, insbesondere Ermittlung der eingesparten THG-Emissionen
 - Wahrnehmung von Elektrobussen und ihrer Förderung sowie
 - wirtschaftliche Bewertung der Förderung und weiterer Handlungsbedarf.

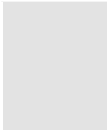
Während der Bearbeitungszeit wurden regelmäßig Zwischenstände in Form von Zwischenberichten an den Auftraggeber kommuniziert. Darüber hinaus

fand am 25. Juni 2021 die Zwischenkonferenz zur Begleituntersuchung unter dem Titel „In Zukunft E-Bus!“ statt. Die Veranstaltung wurde vor dem Hintergrund der pandemischen Situation als hybride Veranstaltung in Berlin und virtuell durchgeführt. Bei der Veranstaltung sprach die damalige Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit Svenja Schulze und es wurden dem Publikum die ersten Ergebnisse aus der Untersuchung präsentiert. Komplettiert wurde die Veranstaltung durch Berichte aus der Praxis und eine Podiumsdiskussion zum Thema „Perspektiven der E-Mobilität im ÖPNV“, bei der Vertreter von Verkehrsunternehmen, Politik und Verbänden diskutierten.

5.2 Unternehmenssteckbriefe E-Bus-Hersteller

Ergänzend zur Branchenanalyse (Kapitel 2.2.1) finden sich nachfolgend Unternehmenssteckbriefe der E-Bus-Hersteller Alexander Dennis, BYD, Daimler EvoBus (inzwischen Daimler Buses), MAN Truck & Bus, Scania, Solaris sowie VDL Bus & Coach.

Alexander Dennis Ltd.			
 Firmenzentrale	Larbert (GBR)		
 Absatz Busse	k. A.		
 Produkte	Busse, Doppeldeckerbusse (größter Bushersteller in Großbritannien)		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	-	2.156 (2020)	-
 Umsatz	-	-	678 Mio. € (2019)
 Produktionsstandorte	Guildford (GBR), Falkirk (GB-SCT)		

BYD Europe B.V.				
 Firmenzentrale (europ.)	Schiedam (NLD)			
 Absatz Busse	1.800 E-Busse in Europa (2021)			
 Produkte	Busse, Pkw, Lkw, Züge etc.			
	Deutschland	Europa	weltweit	
 Beschäftigte	-	-	570.000 (2022)	
 Umsatz	-	-	57 Mrd. € (2022)	
 Produktionsstandorte	Komárom (HUN)			

Daimler Buses GmbH (Daimler Truck AG)			
 Firmenzentrale	Leinfelden-Echterdingen (bei Stuttgart) (DEU)		
 Absatz Busse	4.853 Fahrzeuge in Westeuropa, davon 1.547 in Deutschland (2015)		
 Produkte	Stadt-, Überland- und Reisebusse		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	3.955 (2015)	10.363 (2015)	15.184 (2022)
 Umsatz	-	2,5 Mrd. € (2022)	3,7 Mrd. € (2022)
 Produktionsstandorte	Mannheim, Neu-Ulm, Dortmund (DEU), Ligny-en-Barrois (FRA), Holysov (CZE), Sámano (ESP)		

VDL Bus & Coach bv			
 Firmenzentrale	Eindhoven (NLD)		
 Absatz Busse	k. A. / 454 Mio. € Umsatz mit Bussen (2022)		
 Produkte	Busse, Transporter		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	-	14.999 (2022)	16.585 (davon 1.783 Bus; 2022)
 Umsatz	2,5 Mrd. € (2022)	3,2 Mrd. € (2022)	5,8 Mrd. € (2022)
 Produktionsstandorte	Eindhoven, Born (NLD)		

MAN Truck & Bus SE			
 Firmenzentrale (europ.)	München (DEU)		
 Absatz Busse	263 Batteriebusse (2022)		
 Produkte	Busse, Lkw, Transporter		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	-	-	35.230 (2022)
 Umsatz	-	-	11,3 Mrd. € (2022)
 Produktionsstandorte	Nürnberg, Salzgitter (DEU), Starachowice (POL), Ankara (TUR)		

Scania AB			
 Firmenzentrale	Södertälje (SWE)		
 Absatz Busse	5.430 E-Busse, überwiegend Hybrid (2020)		
 Produkte	Busse, Lkw		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	-	36.561 (2022)	56.927 (2022)
 Umsatz	-	-	15,9 Mrd. € (2022)
 Produktionsstandorte	Oskarshamn, Södertälje, Luleå (SWE), St. Petersburg (RUS), Angers (FRA), Meppel, Zwolle (NLD), Stupsk (POL)		

Solaris Bus & Coach sp. z o.o			
 Firmenzentrale	Bolechow (POL)		
 Absatz Busse	400 Batterie- und H ₂ -Busse (2021)		
 Produkte	Busse, Straßenbahnen		
	Deutschland	Europa	weltweit
 Beschäftigte	-	-	2.759 (2022)
 Umsatz	-	-	704 Mio. € (2022)
 Produktionsstandorte	Bolechow (POL)		

5.3 Ergänzende Auswertungen zum Kapitel Medienanalyse

5.3.1 Ergänzende Medienbeobachtung

Ab November 2020 wurden zusätzlich in unregelmäßigen Abständen zahlreiche weitere Tages-, Wirtschafts- und Fachmedien ausgewertet, die nicht unmittelbar in die Analyse einfließen. Diese parallele Beobachtung trug dazu bei, relevante Entwicklungen in der Berichterstattung nicht zu übersehen. Die ergänzend beobachteten Medien (insbesondere Tageszeitungen auf regionaler Ebene) wurden zudem zur Unterfütterung der Exkurse zu Depotbränden und zum Thema Wasserstoff herangezogen.

Zu den im Rahmen dieser ergänzenden Beobachtung berücksichtigten Medien zählten unter anderem:

Berliner Morgenpost, Berliner Zeitung, Bild, Bremer Nachrichten, Bus & Bahn, Bus Blickpunkt,

Busmagazin, Die Welt, emobilität.de, Focus, Frankfurter Rundschau, General-Anzeiger Bonn, Hamburger Abendblatt, Hannoversche Allgemeine Zeitung, Heilbronner Stimme, Hessische Allgemeine, HNA, Internationales Verkehrswesen, Kieler Nachrichten, Kölner Stadt-Anzeiger, Leipziger Volkszeitung, Magdeburger Volksstimme, Mannheimer Morgen, Mitteldeutsche Zeitung, n-tv online, newstix, Nordwest-Zeitung, Nürnberger Zeitung, Rheinische Post, RuhrNachrichten, Saarbrücker Zeitung, Sächsische Zeitung, Stuttgarter Nachrichten, Stuttgarter Zeitung, Südkurier, tagesschau.de, Thüringer Allgemeine, VDI Nachrichten, Verkehr und Technik, vision-mobility.de, Weser Kurier, Westdeutsche Allgemeine Zeitung, Wirtschaftswoche, Zeitung für kommunale Wirtschaft

5.3.1.1 Tages- und Wirtschaftsmedien: Häufigkeiten im Detail

Untersuchungszeitraum Januar 2018 bis Dezember 2020

Tages- und Wirtschaftsmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMW	Anzahl Texte Elektrobus Test, Beschaffung	davon mit Erwähnung Förderung (inkl. BMW)	davon Erwähnung Förderung durch BMW	davon als Meldung oder Bericht
Die Zeit	16	2 (13 %)	3 (19 %)	1 (33 %)	1 (33 %)	3 (100 %)
Handelsblatt	19	5 (26 %)	2 (11 %)	1 (50 %)	1 (50 %)	2 (100 %)
Der Spiegel	15	3 (20 %)	4 (27 %)	3 (75 %)	1 (25 %)	4 (100 %)
Tagesspiegel	12	3 (25 %)	4 (33 %)	3 (75 %)	2 (50 %)	4 (100 %)
Die Tageszeitung	21	4 (19 %)	14 (67 %)	7 (50 %)	3 (21 %)	14 (100 %)
Süddeutsche Zeitung	76	19 (25 %)	37 (49 %)	26 (70 %)	10 (27 %)	36 (97 %)
Gesamt	159	36 (23 %)	64 (40 %)	41 (64 %)	18 (28 %)	63 (98 %)

Tabelle 15: Auswertung nach Tages- und Wirtschaftsmedien für den Zeitraum 1. Januar 2018 bis 31. Dezember 2020 (Quelle: eigene Analyse)

In diesem Zeitraum spielte das Thema Beschaffung bzw. Test von Elektrobussen in 40 % aller ausgewerteten Texte eine Rolle. Die untersuchten Tages- und Wirtschaftsmedien verfolgten die konkreten Anschaffungen, Tests und Indienststellungen von Elektrobussen eher sporadisch – es sei denn, diese betrafen eine Zeitung mit Regionalteil wie bei der Süddeutschen Zeitung mit Bayern. Ebenso wurde die jeweilige Technik nur selten und fachlich eher oberflächlich beschrieben. Dafür waren in diesen Titeln eher Beiträge zu finden, die die Beschaffungen, aber auch die Förderpolitik in größere Zusammenhänge wie Umweltschutz und Mobilitäts-/Verkehrswende oder ÖPNV generell einordneten oder sie in diesem Kontext bewerteten und kommentierten.

Die Übersicht verdeutlicht, dass die Themen Test und/oder Beschaffung von Elektrobussen im Betrachtungszeitraum vor allem in Meldungen und Berichten und selten in Meinungsbeiträgen behandelt wurden. Die Meldungen beruhten häufig – soweit sich die Quellen identifizieren ließen – auf Pressemitteilungen von Verkehrsunternehmen, Fahrzeugherstellern, Branchenverbänden oder auch des BMWK selbst. Nachrichtenagenturen wie dpa wurden ebenfalls als Basis für die Berichterstattung genutzt.

In zwei Dritteln der Texte über Beschaffung bzw. Test wurde eine Förderung genannt, in 28 % konkret die Förderung durch das BMWK. Betrachtet man die Gesamtheit aller 159 ausgewerteten Beiträge für diesen Zeitraum, wird das Ministerium in 23 % aller Fälle erwähnt.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2021

Tages- und Wirtschaftsmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte Elektrobus Test, Beschaffung	davon mit Erwähnung Förderung (inkl. BMWK)	davon Erwähnung Förderung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Die Zeit	15	0	7 (47 %)	6 (86 %)	0	7 (100 %)
Handelsblatt	20	0	1 (5 %)	1 (100 %)	0	1 (100 %)
Der Spiegel	3	0	0	0	0	0
Tagesspiegel	9	1 (11 %)	1 (11 %)	0	0	1 (100 %)
Die Tageszeitung (taz)	2	0	0	0	0	0
Süddeutsche Zeitung	58	1 (2 %)	24 (41 %)	17 (71 %)	1 (4 %)	22 (92 %)
Frankfurter Allgemeine Zeitung	12	3 (25 %)	6 (50 %)	4 (67 %)	3 (50 %)	5 (83 %)
Gesamt	119	5 (4 %)	39 (33 %)	28 (72 %)	4 (10 %)	36 (92 %)

Tabelle 16: Auswertung nach Tages- und Wirtschaftsmedien für den Zeitraum 1. Januar 2021 bis 31. Dezember 2020 (Quelle: eigene Analyse)

Der Themenkomplex Beschaffung bzw. Test wurde hier in 33 % aller ausgewerteten Texte thematisiert, also seltener als in der rückwirkenden Analyse, dies aber erneut hauptsächlich im Regionalteil der Süddeutschen Zeitung. Auch die Frankfurter Allgemeine Zeitung thematisierte Flottenumstellungen ausschließlich auf regionaler Ebene (Frankfurt, Darmstadt, Wiesbaden). Die Zeit berichtete über Anschaffungen und Tests vor allem dann, wenn Wasserstoff zum Einsatz kam, so zum Beispiel über den landesweit ersten Test eines Wasserstoffbusses in Güstrow. Auch die Förderung durch das Umweltministerium Thüringen fand Aufmerksamkeit. Die Übersicht verdeutlicht außerdem, dass die Themen

Beschaffung und/oder Test von Elektrobussen auch 2021 vor allem in Meldungen und Berichten behandelt wurden.

In 72 % der Texte, die Beschaffung und/oder Test von Elektrobussen thematisierten, wurde eine Förderung erwähnt. Das BMWK hingegen wurde seltener genannt (10 % dieser Beiträge). Das lag einerseits daran, dass häufig allgemein der „Bund“ als Fördergeber angegeben wurde oder die Finanzierung über andere Fördergeber erfolgt ist. In allen 119 für diesen Zeitraum untersuchten Beiträgen findet das Ministerium in nur rund 4 % der Artikel Erwähnung.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2022

Tages- und Wirtschaftsmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte mit Nennung Wasserstoff	Anzahl Texte Elektrobustest, Beschaffung	davon mit Erwähnung Förderung (inkl. BMWK)	davon Erwähnung Förderung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Die Zeit	5	0	0	3 (60 %)	3 (100 %)	0	3 (100 %)
Handelsblatt	5	0	3 (60 %)	0	0	0	0
Der Spiegel	2	0	0	0	0	0	0
Tagesspiegel	7	0	0	2 (29 %)	2 (100 %)	0	2 (100 %)
Die Tageszeitung	1	0	1 (100 %)	0	1	0	0
Süddeutsche Zeitung	20	1 (5 %)	3 (15 %)	5 (25 %)	3 (60 %)	1 (20 %)	4 (80 %)
Frankfurter Allgemeine Zeitung	11	1 (9 %)	8 (83 %)	4 (36 %)	4 (100 %)	0	4 (100 %)
Gesamt	51	2 (4 %)	15 (29 %)	14 (27 %)	12 (86 %)	1 (7 %)	13 (93 %)

Tabelle 17: Auswertung nach Tages- und Wirtschaftsmedien Januar bis Dezember 2022
(Quelle: eigene Analyse)

Die untersuchten Tages- und Wirtschaftsmedien thematisierten in diesem Zeitraum in knapp einem Drittel aller Beiträge (27 %) die Beschaffungen und Tests von Elektrobussen. Der Trend, dass viele dieser Beiträge im Regionalteil der Süddeutschen Zeitung in Bayern veröffentlicht wurden, setzte sich fort. Auch die Frankfurter Allgemeine Zeitung berichtete über Beschaffungen etc. ausschließlich im Regionalteil. Dabei ging es insbesondere darum, dass die Verkehrsgesellschaft ESWE in Wiesbaden von einer bereits begonnenen Umrüstung auf Wasserstoffbusse Abstand genommen hat. Auch Die Zeit berichtete über Beschaffungen auf regionaler Ebene, hier insbesondere im Norddeutschen Bereich (Hamburg und Bremen). Darauf zählt sicherlich auch eine monatlich publizierte Regionalausgabe für Hamburg ein. Beschaffungen und Tests von Elektrobussen wurden weiterhin überwiegend in Meldungen und Berichten erwähnt. Kommentierungen blieben die Ausnahme.

Die Auswertung verdeutlicht auch, dass Beschaffungen und Tests nur selten ohne Förderhintergrund

thematisiert wurden (Nennung Förderung in rund 86 % der Beiträge). Die Förderung durch das BMWK spielte allerdings in nur einem untersuchten Beitrag eine Rolle. Gründe dafür waren, dass die Förderung aus anderen Quellen stammte (nunmehr beispielsweise aus der eigenen Förderrichtlinie des BMDV) oder der Fördergeber allgemein als „Bund“ angegeben wurde.

Neu war für den Untersuchungszeitraum die gesonderte Betrachtung des Themas Wasserstoff bzw. Wasserstoffbusse, das in mehr als jedem vierten der betrachteten Artikel aufgegriffen worden ist (29 %). Gemessen an der eher geringen Zahl von Anschaffungen von Wasserstoffbussen gegenüber der deutlich höheren Zahl an bundesweit in Betrieb genommenen batterieelektrischen Bussen ist diese Quote sehr hoch. Ein Grund dafür scheint zu sein, dass der Themenkomplex Wasserstoff für viele Tages- und Wirtschaftsmedien relativ neu war.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2023

Tages- und Wirtschaftsmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte mit Nennung Wasserstoff	Anzahl Texte Elek- trobus Test, Beschaffung	davon mit Erwähnung Förde- rung (inkl. BMWK)	davon Er- wähnung Förderung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Die Zeit	2	0	1 (50 %)	0	0	0	0
Handelsblatt	2	0	0	0	0	0	0
Der Spiegel	0	0	0	0	0	0	0
Der Tagesspiegel	12	0	2 (17 %)	1 (8 %)	1 (100 %)	0	1 (100 %)
Die Tageszeitung	0	0	0	0	0	0	0
Süddeutsche Zeitung	12	0	4 (33 %)	6 (50 %)	5 (83 %)	0	6 (100 %)
Frankfurter Allgemeine Zeitung	8	0	5 (63 %)	3 (63 %)	2 (67 %)	0	3 (100 %)
Gesamt	36	0	12 (33 %)	10 (28 %)	8 (80 %)	0	10 (100 %)

Tabelle 18: Auswertung nach Tages- und Wirtschaftsmedien Januar bis Dezember 2023
(Quelle: eigene Analyse)

Auch in diesem Untersuchungszeitraum behandelte etwa ein Drittel aller betrachteten Beiträge (28 %) das Thema Beschaffung bzw. Test von Elektrobussen.

Neben der Süddeutschen Zeitung fiel dabei die Frankfurter Allgemeine Zeitung durch eine intensive Berichterstattung auf. Erneut thematisierten beide Medien hauptsächlich die regionalen Bemühungen um emissionsfreie Busflotten. In der FAZ war insbesondere die Entscheidung des Verkehrsunternehmens ESWE Wiesbaden gegen die Fortführung der bereits begonnenen Umstellung auf Wasserstoffbusse ein Thema, dass immer wieder aufgegriffen und in den Kontext bundesweiter Entwicklungen gestellt worden ist. Erstmals war auch im Tagesspiegel eine intensivere Befassung mit Themen der Antriebswende im ÖPNV zu beobachten. Darunter unter anderem zahlreiche Beiträge zu regionalen Elektrobustategien, so zum Beispiel zu Potsdams Plänen, autonom

fahrende E-Busse einzusetzen, oder Brandenburgs Bemühungen, die Busflotten auf emissionsfreie Antriebe umzustellen.

Nahezu alle Beiträge zum Thema Beschaffung/Test waren als neutrale Meldungen oder Berichte abgefasst. In 80 % der Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex wurden Förderungen erwähnt, allerdings gänzlich ohne Erwähnung von BMWK. Auch in der Gesamtheit aller Beiträge aus dem Untersuchungszeitraum 2023 wurde das Ministerium nicht genannt.

Dagegen hat das Thema Wasserstoff in den Tages- und Wirtschaftsmedien leicht hinzugewonnen (in 33 % aller Beiträge thematisiert). Dazu trug auch die bereits erwähnte Entwicklung in Wiesbaden bei, die ein bundesweites Medienecho gefunden hat.

5.3.1.2 Fachmedien: Häufigkeiten im Detail

Untersuchungszeitraum Januar 2018 bis Dezember 2020

Fachmedien	Zahl Texte gesamt	Zahl Texte mit BMWK	Zahl Texte E-Bus Test, (Plan) Beschaffung	Davon mit Erwähnung Förderung (inkl. BMWK)	Davon mit Erwähnung Förderung durch BMWK	Davon als Meldung oder Bericht
Der Nahverkehr	31	8 (26 %)	17 (55 %)	10 (59 %)	3 (18 %)	17 (100 %)
NahverkehrsNachrichten	198	20 (10 %)	148 (75 %)	92 (62 %)	18 (12 %)	147 (99 %)
NaNa-Brief	19	5 (26 %)	2 (11 %)	2 (100 %)	2 (100 %)	2 (100 %)
Nahverkehrspraxis	131	17 (13 %)	86 (66 %)	35 (41 %)	15 (17 %)	84 (98 %)
Omnibusspiegel	19	3 (16 %)	6 (32 %)	3 (50 %)	1 (17 %)	6 (100 %)
Urban Transport Magazine	28	1 (4 %)	22 (79 %)	13 (59 %)	7 (32 %)	20 (91 %)
Intelligent Transport	4	1 (25 %)	1 (25 %)	0	0	1 (100 %)
Sustainable Bus	20	8 (40 %)	15 (75 %)	4 (27 %)	1 (7 %)	15 (100 %)
EuroBus	35	1 (3 %)	19 (54 %)	0	0	19 (100 %)
Gesamt	485	64 (13 %)	316 (65 %)	159 (50 %)	47 (15 %)	311 (98 %)

Tabelle 19: Auswertung nach Fachmedien Januar 2018 bis Dezember 2020
(Quelle: eigene Analyse)

Hinweis: Bei folgenden Medien reicht das Archiv nicht bis Januar 2018 zurück: Urban Transport Magazine online und EuroBus print.

In den mit ÖPNV-Themen befassten Fachmedien waren im Zeitraum der rückwirkenden Medienanalyse zusätzlich zu Messe- und Veranstaltungsberichten deutlich mehr technisch orientierte Texte zu E-Bussen und Ladeinfrastruktur zu finden als in untersuchten Tages- und Wirtschaftsmedien. Aus dem Bereich der Fachmedien berichteten vor allem die Titel NahverkehrsNachrichten und Nahverkehrspraxis kontinuierlich über aktuelle Entwicklungen bei Elektrobussen.

Über alle untersuchten Fachmedien hinweg ist eine aktuelle und kontinuierliche Berichterstattung über Beschaffungspläne oder Inbetriebnahmen festzu-

halten. In insgesamt knapp 65 % aller ausgewerteten Texte spielte das Thema Beschaffung/Test eine Rolle. Zum Vergleich: Bei Tages- und Wirtschaftsmedien lag dieser Wert bei 40 %. Die Übersicht verdeutlicht aber auch, dass selbst in Fachmedien so gut wie keine Kommentierungen der Entwicklungen im Bereich der E-Busse erfolgt sind.

In 50 % der Beiträge zu Beschaffung/Tests wurde eine Förderung erwähnt, doch nur 15 % nannten das BMWK als Fördermittelgeber. Analog zu den Tages- und Wirtschaftsmedien war stattdessen vielfach allgemein von einer Förderung durch den „Bund“ die Rede. Bezogen auf die Gesamtheit der in den Fachmedien für diesen Untersuchungszeitraum betrachteten 485 Beiträge fand das BMWK immerhin in 13 % Erwähnung.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2021

Fachmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte Elektrobus Test, (Plan) Beschaffung	davon mit Erwähnung Förderung (inkl. BMWK)	davon Er- wähnung För- derung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Der Nahverkehr	27	5 (19 %)	8 (30 %)	8 (100 %)	3 (38 %)	6 (75 %)
NahverkehrsNachrichten	76	10 (13 %)	40 (53 %)	22 (55 %)	7 (18 %)	40 (100 %)
NaNa-Brief	16	7 (44 %)	3 (19 %)	3 (100 %)	2 (67 %)	3 (100 %)
Nahverkehrspraxis	37	4 (11 %)	6 (16 %)	2 (33 %)	2 (33 %)	6 (100 %)
Urban Transport Magazine	34	5 (15 %)	27 (79 %)	9 (33 %)	4 (15 %)	27 (100 %)
Sustainable Bus	47	1 (2 %)	30 (64 %)	6 (20 %)	2 (7 %)	30 (100 %)
EuroBus	14	1 (7 %)	0	0	0	0
Omnibusrevue	43	5 (12 %)	16 (37 %)	9 (56 %)	2 (13 %)	16 (100 %)
Gesamt	296	38 (13 %)	130 (44 %)	59 (45 %)	22 (17 %)	128 (98 %)

Tabelle 20: Auswertung nach Fachmedien Januar bis Dezember 2021 (Quelle: eigene Analyse)

Hinweis: Im Vergleich zur rückwirkenden Medienanalyse konnten folgende Medien aufgrund von Zugriffsbeschränkungen ab November 2020 nicht mehr berücksichtigt werden: Omnibusspiegel und Intelligent Transport. Dafür wurde die Omnibusrevue als adäquater Ersatz hinzugefügt.

Bei den untersuchten Fachmedien wurde erneut vor allem in NahverkehrsNachrichten und Nahverkehrspraxis kontinuierlich über Elektrobusse berichtet. Nahezu keine Ausgabe ohne einen Beitrag rund um diesen Themenkomplex. Die ab 2021 neu in die Analyse aufgenommene Omnibusrevue zeichnete sich ebenfalls durch intensive Berichterstattung aus. Und auch das Fachportal Sustainable Bus trat mit überdurchschnittlich vielen Beiträgen hervor.

Der Anteil der Beiträge, die Test und Beschaffung von Elektrobussen thematisierten, ging gegenüber der

rückwirkenden Medienanalyse auf 44 % zurück. Die Übersicht verdeutlicht ebenfalls, dass auch für diesen Untersuchungszeitraum die Themen Beschaffung/ Test von Elektrobussen vor allem in Form von Meldungen und Beiträgen behandelt wurden. Im Kontext größerer Beschaffungsvorhaben zeichneten sich insbesondere Fachpublikationen durch eine inhaltlich detaillierte Berichterstattung aus.

In 45 % der ausgewerteten Texte wurde eine Förderung erwähnt, in 17 % wurde das BMWK als konkreter Fördergeber genannt. Im Vergleich zu Tages- und Wirtschaftszeitungen eine deutlich bessere Quote. Über alle 296 ausgewerteten Beiträge hinweg ist das BMWK in 13 % der Fälle erwähnt worden. Eine konstante Entwicklung im Vergleich zur rückwirkenden Medienanalyse.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2022

Fachmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte mit Nennung Wasserstoff	Anzahl Texte Elek- trobus Test, (Plan) Be- schaffung	davon mit Erwähnung Förde- rung (inkl. BMWK)	davon Er- wähnung Förderung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Der Nahverkehr	26	2 (8 %)	7 (27 %)	5 (19 %)	2 (40 %)	0	5 (100 %)
NahverkehrsNachrichten	50	4 (8 %)	6 (12 %)	23 (46 %)	15 (65 %)	4 (17 %)	23 (100 %)
NaNa-Brief	15	0	3 (20 %)	4 (27 %)	2 (50 %)	0	3 (75 %)
Nahverkehrspraxis	19	1 (5 %)	4 (21 %)	9 (47 %)	1 (11 %)	1 (11 %)	7 (78 %)
Urban Transport Magazine	36	4 (11 %)	9 (25 %)	21 (58 %)	7 (33 %)	4 (19 %)	21 (100 %)
Sustainable Bus	32	0	5 (16 %)	18 (56 %)	5 (28 %)	0	18 (100 %)
EuroBus	9	0	0	1 (11 %)	0	0	1 (100 %)
Omnibusrevue	39	1 (3 %)	10 (26 %)	13 (33 %)	9 (69 %)	1 (18 %)	13 (97 %)
Gesamt	226	12 (5 %)	44 (19 %)	94 (42 %)	41 (44 %)	10 (11 %)	91 (97 %)

Tabelle 21: Auswertung nach Fachmedien Januar bis Dezember 2022 (Quelle: eigene Analyse)

Unter den Fachmedien war erneut Nahverkehrs-Nachrichten das Medium mit den zahlenmäßig meisten Beiträgen zu Elektrobussen, während Nahverkehrspraxis deutlich seltener als im Vorjahr berichtete. Dafür gab es erneut zahlreiche Beiträge in der Omnibusrevue, dem Fachportal Sustainable Bus und auch im Fachportal Urban Transport Magazine.

Kaufabsichten, Bestellungen und Inbetriebnahmen, ob zu Testzwecken oder für den Regeleinsatz, machten in diesem Zeitraum 42 % aller untersuchten Beiträge aus. Mehrheitlich kurze Meldungen, dazu jedoch auch zahlreiche fachlich detailliertere Berichterstattungen zu technischen Aspekten wie Ladeinfrastruktur oder Umbau von Betriebshöfen. Auch waren vermehrt Erfahrungsberichte von Verkehrsunternehmen mit E-Bussen zu finden.

Anders als in den Tages- und Wirtschaftsmedien, wo 86 % der Beiträge zum Thema Beschaffung/Test einen Förderhintergrund thematisierten, waren es bei den Fachmedien nur 44 %. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Zielgruppe der Fachmedien die Förderkulisse bekannt und daher für die Themenplanung weniger relevant war. In 5 % der Beiträge wurden das BMWK als Fördergeber benannt.

Das Thema Wasserstoff, das in diesem Zeitraum erstmals betrachtet wurde, fand in Fachmedien eine geringere Relevanz als in Tages- und Wirtschaftsmedien. Nur 19 % der untersuchten Beiträge befassten sich damit. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im Vergleich zum Hochlauf von E-Bussen 2022 deutlich weniger Brennstoffzellenbusse im Einsatz waren und Fachzeitschriften diese Entwicklung in ihrer Themenplanung berücksichtigten.

Untersuchungszeitraum Januar bis Dezember 2023

Fachmedien	Anzahl Texte gesamt	Anzahl Texte mit Nennung BMWK	Anzahl Texte mit Nennung Wasserstoff	Anzahl Texte Elek- trobus Test, (Plan) Beschaffung	davon mit Erwähnung Förde- rung (inkl. BMWK)	davon Erwähnung Förderung durch BMWK	davon als Meldung oder Bericht
Der Nahverkehr	28	1 (4 %)	13 (46 %)	4 (14 %)	2 (50 %)	1 (25 %)	4 (100 %)
NahverkehrsNachrichten	8	0	2 (25 %)	6 (75 %)	2 (33 %)	0	6 (100 %)
NaNa-Brief	19	0	9 (47 %)	7 (37 %)	3 (43 %)	0	6 (86 %)
Nahverkehrspraxis	22	0	9 (41 %)	3 (14 %)	2 (67 %)	0	3 (100 %)
Urban Transport Magazine	49	2 (4 %)	24 (49 %)	38 (78 %)	18 (47 %)	2 (5 %)	38 (100 %)
Sustainable Bus	32	1 (3 %)	11 (34 %)	23 (72 %)	4 (17 %)	1 (4 %)	23 (100 %)
EuroBus	0	0	1	0	0	0	0
Omnibusrevue	40	3 (8 %)	15 (38 %)	21 (53 %)	16 (76 %)	3 (14 %)	21 (100 %)
Gesamt	198	7 (4 %)	83 (42 %)	102 (52 %)	47 (46 %)	7 (7 %)	101 (99 %)

Tabelle 22: Auswertung nach Fachmedien Januar bis Dezember 2023 (Quelle: eigene Analyse)

In diesem Zeitraum fielen die Titel Omnibusrevue, Urban Transport Magazine und Sustainable Bus mit besonders intensiver Berichterstattung auf. Dagegen reduzierte NahverkehrsNachrichten die Berichterstattung zu diesem Themenkomplex deutlich. Beschaffung/Test von Elektrobussen wurden in 52 % der untersuchten Beiträge aufgegriffen, die fast ausnahmslos (99 %) Meldungen und Berichte umfassten.

Knapp die Hälfte der Beiträge über Beschaffungen/Tests (46 %) erwähnten einen Förderhintergrund, immerhin 7 % eine Förderung durch das BMWK. Damit waren es prozentual zwar weniger Beiträge als unter den Tages- und Wirtschaftsmedien, die eine Förderung erwähnten, aber wesentlich mehr Beiträge, die als Fördergeber das Ministerium benannten. In Hinblick auf die Gesamtheit aller 198 für die Untersuchung relevanten Beiträge machen solche mit konkreter Nennung des Ministeriums allerdings nur knapp 4 % aus. Festzuhalten bleibt, dass ein Zusammenhang zwischen dem Markthochlauf von E-Bussen in Deutschland und der dafür ausschlaggebenden Förderung zwar häufiger erwähnt, aber auch in Fachzeitschriften eher selten detaillierter erläutert wurde.

Das Thema Wasserstoff wurde in 42 % der Beiträge erwähnt. Hier ist also eine deutliche Zunahme der Relevanz dieses Themenkomplexes gegenüber dem Vorjahr zu erkennen. Hervorzuheben sind Beiträge, in denen es um Elektrobusse mit Brennstoffzellen als Range-Extendern ging – eine technische Entwicklung, die in der medialen Diskussion um die Antriebswende eine zunehmende Rolle spielt.

5.3.2 Exkurs: Bewertung der BMWK-Förderung durch Verbände

Ein Faktor, der die öffentliche Wahrnehmung von Themen des ÖPNV maßgeblich mitprägt, sind die Positionierungen der großen Branchenverbände. Ihre Pressemitteilungen und Stellungnahmen, die sowohl in Fachmedien als auch den Tages- und Wirtschaftsmedien regelmäßig auf große Resonanz stoßen, wurden daher explizit in die Medienanalyse mit aufgenommen. Grundsätzlich müssen diese Posi-

tionierungen immer als interessengeleitet betrachtet werden, da die Branchenverbände naturgemäß die Interessen ihrer Mitglieder vertreten.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)

Als der mit rund 700 Unternehmen des öffentlichen Personenverkehrs (ÖPV) und Schienengüterverkehrs (SGV) größte und politisch einflussreichste Branchenverband thematisierte der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) im Betrachtungszeitraum kontinuierlich die Umrüstung von Busflotten hin zur Elektromobilität und die dazu nötige Förderkulisse. Zu Beginn der Analyse im Jahr 2018 wurde die Umstellung mit Hinweis auf technisch noch nicht ausgereifte Fahrzeuge, fehlende Infrastruktur und hohe Kosten kritisch hinterfragt. „Wir brauchen mehr Engagement bei der Weiterentwicklung von Elektrobussen“, lautete eine VDV-Forderung von Anfang des Jahres 2018.¹⁸³ Auch wies der Verband seinerzeit darauf hin, dass es trotz Förderung durch den Bund wirtschaftlich noch keinen Sinn ergebe, kurzfristig die Busflotten in Gänze auf Elektrobusse umzustellen. Der VDV begründete seine kritische Haltung damit, dass dazu benötigte Stückzahlen von den Fahrzeugherstellern nicht geliefert werden könnten (bzw. teils noch nicht einmal zu bestellen wären) und auch die passende Infrastruktur erst aufgebaut werden müsse.¹⁸⁴ Entsprechend konstatierte der VDV im Herbst 2018: „Für kurzfristig messbare Effekte mit Blick auf die Luftreinhaltung erscheint es vielmehr sinnvoll, parallel zum Markthochlauf der Elektromobilität die Beschaffung von modernen und emissionsarmen Euro-VI-Dieselnissen voranzutreiben.“¹⁸⁵ Diese Sichtweise vertrat der Verband auch noch anlässlich eines größeren Interviews mit dem Handelsblatt Anfang des Jahres 2019, um gleichzeitig eine langfristige Förderungssicherheit zu fordern.¹⁸⁶ Die vom VDV auch anlässlich eigener Termine wie der Jahrespressekonzferenz thematisierten Beschaffungsprobleme seiner Mitgliedsunternehmen wurden in der Folge von verschiedenen Medien aufgegriffen.¹⁸⁷

Im Zeitverlauf veränderte sich der Tenor und der VDV thematisierte deutlich seltener Lieferengpäs-

se oder technische Probleme, sondern konzentrierte sich zunehmend auf die Forderung nach besseren Rahmenbedingungen für den Transformationsprozess im ÖPNV. Dazu gehörten die Aufstockung und Verstetigung von Fördermitteln für eine langfristige Planungssicherheit sowie die zusätzliche Förderung entsprechender Ladeinfrastrukturen. Im Juli 2019 bezeichnete der VDV die hier untersuchte Förderung durch das BMU als wichtigen Meilenstein, wies aber zugleich auf die immensen Kosten für notwendige Ladeinfrastruktur hin.¹⁸⁸ Im Februar 2020 lobte der Verband die Fortschritte der Fahrzeugindustrie, forderte aber ein noch stärkeres Engagement der Hersteller und wiederholte seine Kritik an der finanziellen Ausstattung aktueller Förderprogramme.¹⁸⁹ Die zentralen Forderungen des VDV im Jahr 2020 lassen sich auf folgenden Nenner bringen: eine höhere Fördersumme, um mehr Förderanträge zu bewilligen, eine nachhaltige Verstetigung der Förderung, die Möglichkeit, auch die Kosten für Ladeinfrastrukturen bezuschusst zu bekommen und eine verbesserte Fahrzeug- und Batterieentwicklung durch die Industrie.¹⁹⁰ Im Kontext der nationalen Umsetzung der Clean Vehicles Directive (CVD) betonte der VDV auch im Jahr 2021 die Notwendigkeit einer zuverlässigen Förderung zur Anschaffung neuer Fahrzeuge.¹⁹¹ Ende 2021 wurde die Förderrichtlinie des BMWK durch eine neue Förderrichtlinie seitens des BMDV abgelöst, für die ohnehin schon im Vorfeld geplant war, Aspekte wie die Förderung von Ladestrukturen zu berücksichtigen, die im Förderprogramm des BMWK bewusst noch nicht möglich gewesen war.

Im Jahr 2022 konzentrierten sich die Stellungnahmen des VDV zu den Förderprogrammen des Bundes hauptsächlich auf die Kritik unzureichender Fördermittel. So stellte der Branchenverband anlässlich der Vergabe von Förderbescheiden durch das BMDV fest, dass 1.700 geförderten rund 5.000 beantragte E-Busse gegenüberstünden.¹⁹² Entsprechend fiel die Kritik des VDV im Mai 2022 anlässlich der Haushaltsbe-

reinigungssitzung des Bundestages aus: „Auch die geplante Absenkung der Elektrobüs-förderung wurde bei den Haushaltsberatungen nicht korrigiert, was angesichts von derzeit 5.000 E-Bus-Förderanträgen, die gegenwärtig vorliegen und nicht in Gänze bewilligt werden können, nicht nachvollziehbar ist“, so VDV-Präsident Ingo Wortmann.¹⁹³ Auch die Kommentierung der Beschlüsse für den Bundeshaushalt 2023 (Ingo Wortmann: „4.400 Förderanträgen von Verkehrsunternehmen im Land stehen Fördermittel für 2.500 Fahrzeuge gegenüber“)¹⁹⁴ fand in den Medien großes Echo.

Dafür begrüßte der VDV die Entscheidung des Bundes, im Rahmen der neuen Förderrichtlinie des BMDV auch kleinere Unternehmen zu unterstützen: „Nachdem bereits im April 1.700 Busse vom Bund genehmigt wurden, kommt nun eine große Zahl genau dort hinzu, wo wir sie so dringend brauchen: bei den kleinen und mittleren Verkehrsunternehmen in Deutschland. Das ist ein starkes Signal“, so Werner Overkamp in einer Pressemitteilung.¹⁹⁵ Der VDV-Vizepräsident sah die BMDV-Förderung als Verpflichtung für die Branche, „alle Kraft in die Umrüstung der Infrastruktur und der Flotten zu legen.“¹⁹⁶

Auch im letzten Untersuchungszeitraum folgten die Stellungnahmen des VDV diesem Tenor. So betonte VDV-Vizepräsident Werner Overkamp im Rahmen der VDV-Elektrobuskonferenz 2023: „Wir können die 20er-Jahre zum Jahrzehnt des E-Busses machen, wenn die Politik uns weiter bei dieser Transformation unterstützt.“¹⁹⁷ Im Rahmen der Übergabe von Förderbescheiden lobte Overkamp das Förderprogramm des BMDV: „Kaum eine Förderung ist zielgerichteter und treibt die Entwicklung im gesamten Verkehrssektor so effektiv voran wie dieses Förderprogramm des Bundes. (...) Die Förderung des Bundes ist unverzichtbar, sowohl für die Beschaffung der Fahrzeuge als auch für den Umbau der Infrastruktur.“¹⁹⁸



188 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 01.07.2019, Nahverkehrspraxis vom 05.06.2019.

189 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 04.02.2020.

190 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 21.10.2020.

191 Vgl. VDV Pressemeldung vom 05.03.2021, VDV Pressemeldung vom 17.03.2021.

192 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 08.04.2022.

193 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 23.05.2022.

194 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 14.11.2022.

195 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 12.07.2022.

196 Vgl. VDV-Pressemitteilung vom 12.07.2022.

197 VDV-Pressemitteilung vom 27.03.2023.

198 VDV-Pressemitteilung vom 28.03.2023.

Ausführlich äußerte sich der für die Bus-Sparte des VDV zuständige Vizepräsident im Herbst 2023 zur Novellierung der Regulierung der CO₂-Flottengrenzwerte durch die EU-Kommission, nach der Verkehrsunternehmen ab dem Jahr 2030 ausschließlich emissionsfreie Stadtbusse in Betrieb nehmen sollten. Die Verbandsforderung, diese Regelung erst für das Jahr 2035 anzuvisieren – wie es letztlich nun auch der Fall sein wird –, begründete Werner Overkamp wie folgt: „Die zu schaffende Infrastruktur umfasst neben Ladestationen auch die Umrüstung von Werkstätten und Depots. Dieses für Elektromobilität zu ertüchtigen braucht Zeit – von der Planung zum Abschluss mindestens fünf Jahre, wenn genügend Handwerker und Baudienstleister zur Verfügung stehen.“¹⁹⁹ Für eine größere Resonanz in den führenden Tages- und Wirtschaftsmedien sorgte auch die erneute Forderung an die Politik, weitere Fördermittel zur Verfügung zu stellen: „Die mit der Elektrifizierung verbundenen Kosten können die Verkehrsunternehmen und Kommunen vor Ort nicht allein tragen; die bestehenden Fördermittel sind längst überzeichnet und Ticketpreiserhöhungen, um die Investitionen zu refinanzieren, sind ausgeschlossen. Der Auftrag an die Politik ist also ganz klar: Sie muss nun ohne weitere Verzögerung die Finanzierung auf den Weg bringen, damit wir spätestens 2025 anfangen können zu planen und zu bauen.“²⁰⁰

Der Untersuchungszeitraum der Medienanalyse endet mit dem 31. Dezember 2023. Angesichts der Entscheidungen der Bundesregierung zur künftigen Einstellung der E-Bus-Förderung und der damit verbundenen Auswirkungen auf die öffentliche Wahrnehmung wurde dieser Exkurs um eine kurze Zusammenfassung der Bewertung dieser für alle Branchenakteure überraschenden Entwicklung durch den VDV ergänzt. Direkt zu Beginn des Jahres 2024 überschrieb der Branchenverband eine Pressemitteilung mit „Fordern ohne Fördern funktioniert nicht“²⁰¹ und bezog darin Stellung zu den laufenden Verhandlungen auf EU-Ebene zur Novellierung der Regulierung der CO₂-Flottengrenzwerte von Stadtbussen. VDV-Vizepräsident Werner Overkamp teilte

darin mit, dass der VDV die klimapolitischen Entscheidungen grundsätzlich mittrage, ein möglicher Beschluss, für 2030 nur noch klimaneutrale Stadtbusse zuzulassen, aber nur mit entsprechender Bundesförderung umzusetzen sei: „Gleichzeitig stehen diese Forderungen in einem ausgeprägten Widerspruch zur finanziellen Förderung des Bundes, die erkennbar eingestellt wurde. Gerade kleinere und mittlere Busunternehmen in Deutschland haben so keine Chance, Flotten und Werkstätten umzurüsten.“ Die Kritik des VDV war in zahlreichen Tages- und Fachmedien nachzulesen.²⁰² Nur wenige Tage später erklärte der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen die E-Bus-Förderung in der Folge dieser Kürzung für „faktisch beendet“, obwohl angesichts der verschärften Anforderungen bei den CO₂-Emissionen eher eine Aufstockung der Fördermittel erforderlich sei.²⁰³ Auch diese Pressemitteilung traf auf ein bundesweit großes Medienecho und befeuerte die im Januar 2024 zu beobachtende öffentliche Diskussion über die politischen Rahmenbedingungen der für den Klimaschutz notwendigen Antriebswende im ÖPNV.

Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen (bdo)

Der Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmen (bdo), der die Interessen der privaten und mittelständischen Unternehmen aus dem Bereich Personennahverkehr, Bustouristik und Fernlinienbus vertritt, kritisierte die Förderrichtlinie des BMWK von Beginn an als nicht mittelstandsfreundlich.²⁰⁴ Als Grund wurde unter anderem angegeben, dass die Förderung erst ab einer Bestellung von sechs Elektrobussen möglich sei.²⁰⁵ In der Januar-Ausgabe des Jahres 2020 von EuroBus wurde ein Positionspapier des bdo zitiert, das in Bezug auf die Anforderungen aus der CVD eine bundesweite Quote vorschlägt und Förderung der Infrastruktur fordert.²⁰⁶ Hier ist zu beachten, dass eine Konzentration der Förderrichtlinie des BMWK auf große Bestellmengen durchaus bewusst geplant war, um zunächst für einen möglichst schnellen Markthochlauf der E-Busse zu sorgen, ehe mit der Förderrichtlinie des BMDV dann explizit auch kleine und mittelständische Busunternehmen Berück-

sichtigung finden sollten. In der Konjunkturmfrage 2019/2020 des bdo und der dazu veröffentlichten Pressemitteilung tauchten unter anderem folgende Forderungen der Branche auf: bessere Förderung für Busse und Infrastruktur, Ausbau des Fahrzeugangebots, Bereitstellung erforderlicher Energiemengen.²⁰⁷ In seiner im März 2020 veröffentlichten Broschüre „125 Jahre Busverkehr“ brachte es der bdo wieder auf zwei Kernpunkte: Förderung mittelstandsfreundlich ausbauen, Prozesse vereinfachen.²⁰⁸ Diese Themen wurden in verschiedenen Pressemitteilungen des Verbandes wiederholt aufgegriffen und in erster Linie von Fachmedien zitiert.

Ab dem Jahr 2021 veröffentlichte der bdo zwar keine eigenen Pressemitteilungen mit Bezug zu Förderprogrammen des Bundes zur Anschaffung von E-Bussen, wurde aber in anderen Medien häufiger zitiert. Dabei ging es bis einschließlich des Jahres 2022 zumeist um die Berücksichtigung des Mittelstandes der Busbranche. Nachdem die Förderrichtlinie des BMDV auf Mindestfahrzeugzahlen verzichtete, kritisierte der bdo anlässlich des ersten Förderaufrufs die mangelnde Berücksichtigung kleinerer Mitgliedsunternehmen.²⁰⁹

Ein inhaltlicher Schwerpunkt der Verbandskommunikation im Jahr 2023 war einmal mehr die Forderung einer langfristigen Finanzierungsperspektive der Flottenumstellung. So beispielsweise in einem Gastkommentar von Christiane Leonard in der Fachzeitschrift *Der Nahverkehr*, in dem die Hauptgeschäftsführerin des bdo eine auf mehrere Jahre ausgerichtete Investitionsförderung durch die öffentliche Hand anregte, verbunden mit der Forderung nach einem dauerhaft vergünstigten Fahrstrompreis für E-Busse und einer besseren finanziellen Ausstattung des ÖPNV insgesamt.²¹⁰ Die Kernaussagen dieses Gastbeitrages wurden in der Folge von verschiedenen Fachmedien der Branche aufgegriffen, darunter unter anderem auch der wöchentliche NaNa-Brief.²¹¹ Auch die Novellierung der Regulierung der CO₂-Flottengrenzwerte durch die EU-Kommission kritisierte

der Verband öffentlich und forderte eine stufenweise Regulierung mit einer hundertprozentigen CO₂-Freiheit erst ab 2035.²¹² In diesem Kontext wurde ebenfalls die Forderung erneuert, E-Mobilität durch Ansätze wie subventionierte Preise für den Fahrstrom dauerhaft günstiger zu machen.

Im November 2023 berichtete unter anderem die Omnibusrevue über die Kritik des bdo zur geplanten Kürzung der Elektrobüsfförderung.²¹³ Der inhaltliche Tenor der Verbandskommunikation in den nächsten Wochen war damit vorgegeben: Ohne Förderung der Investitionskosten für Fahrzeuge und notwendige Infrastrukturen drohe die Verkehrswende zu scheitern.

Deutsches Verkehrsforum (DVF)

Auch das Deutsche Verkehrsforum (DVF) als verkehrsträgerübergreifende Wirtschaftsvereinigung des Mobilitätssektors forderte im Jahr 2018 analog zu VDV und bdo eine Erhöhung der Fördersummen für die Umstellung der Busflotten auf Elektromobilität.²¹⁴ Im Unterschied zu anderen Branchenverbänden sprach sich das DVF allerdings wiederholt dafür aus, die Förderung auf synthetische Kraftstoffe auszuweiten. Anlässlich der Tagung des Klimakabinetts Ende Mai 2019 brachte das DVF einen Fonds für Klimaschutz und Innovationen im Mobilitätssektor in die öffentliche Diskussion ein, um eine angesichts hoher Investitionen verlässliche Perspektive für den Transformationsprozess zu schaffen.²¹⁵ Technologieoffene Fahrzeugförderung, die Förderung alternativer Kraftstoffe sowie der Ladeinfrastruktur waren Kernpunkte einer Presseinformation des DVF, die – im Gegensatz zu den Veröffentlichungen anderer Verbände und Interessenvertretungen – auf eine deutlich geringere Resonanz innerhalb der Medienlandschaft stieß.

Zum Auftakt der Beratungen für den Bundeshaushalt 2020 führte das DVF erneut die Einrichtung eines Klima-Fonds an.²¹⁶ Mediale Aufmerksamkeit erzielte das Verkehrsforum im März 2021 im Vorfeld des Kabinettsbeschlusses zum Bundeshaushalt 2022 mit ei-

ner Aufforderung an den damaligen Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer, entschiedener für höhere und gezieltere Verkehrsinvestitionen einzutreten.²¹⁷ So müssten auch im Hinblick auf die Vorgaben der CVD die Förderprogramme für emissionsfreie und emissionsarme Busse deutlich ausgebaut werden. In den Jahren 2022 und 2023 veröffentlichte das DVF keine eigenen Stellungnahmen zur E-Bus-Förderung des Bundes.

5.3.3 Exkurs zum Medienthema Elektrobusbrände: Bundesweite Diskussion über die Sicherheit von Elektrobussen

Ein Thema, das in der öffentlichen und medialen Wahrnehmung der Elektromobilität im Jahr 2021 vorübergehend für Verunsicherung sorgte, war die Frage nach einer erhöhten Brandgefahr bei E-Bussen. Anlass für diese Debatte waren gleich drei Großbrände in den Betriebshöfen von Verkehrsunternehmen, bei denen vor allem Elektrobusse betroffen, aber anders als medial kolportiert nicht immer ursächlich, waren. Die Häufung dieser Unglücksfälle mit Schadenssummen in dreistelliger Millionenhöhe führte spätestens nach dem dritten Ereignis innerhalb weniger Monate zu einem bundesweit zunehmenden Medieninteresse. Obwohl von Elektrobussen nachweislich keine erhöhte Brandgefahr ausgeht, ließen verschiedene Medien zwischenzeitlich Zweifel an der Sicherheit dieser Antriebstechnologie aufkommen.

Im Hinblick auf die Akzeptanz der Elektromobilität innerhalb der Bevölkerung wurden die Ereignisse und ihre Wahrnehmung durch lokale und überregionale Medien zum Anlass einer im Leistungsumfang der Beauftragung nicht vorgesehenen ergänzenden Betrachtung innerhalb dieser Medienanalyse genommen.

Der erste Großbrand ereignete sich am 1. April 2021 auf dem Betriebshof der Rheinbahn in Düsseldorf-Heerdt. Dabei wurden acht Elektrobusse, 30 weitere Dieselbusse sowie die rund 2.500 Quadratmeter große Abstellhalle zerstört. Zehn der ausgebrannten Fahrzeuge waren erst kurz zuvor in Betrieb gegangen. Insgesamt entstand ein Schaden von rund 50

Mio. €.²¹⁸ In den Medien wurden bereits frühzeitig Spekulationen angestellt, ob ein Elektrobus ursächlich für den Brand gewesen sein könnte. So titelte die Rheinische Post einen Beitrag mit der Headline „Lösste ein E-Bus das Feuer im Rheinbahn-Depot aus?“, der in der Folge von verschiedenen anderen Tageszeitungen und Online-Diensten in NRW aufgegriffen wurde.²¹⁹ Den Gutachten der Versicherungen und der staatsanwaltschaftlichen Untersuchung zufolge hatte der Brand eine technische Ursache, die aufgrund des Brandfortschritts sowie des enormen Zerstörungsgrades nicht mehr eindeutig ermittelt werden konnte. Dass die vollständig verbrannten E-Busse im Rahmen der Ermittlungen bereits frühzeitig als Auslöser ausgeschlossen wurden, war Tageszeitungen wie Rheinische Post, NRZ oder Bild NRW allenfalls kurze Meldungen wert, Radio (WDR und Antenne Düsseldorf) und Fernsehen (WDR) gingen darauf nicht mehr ein. Von wenigen Ausnahmen abgesehen blieb der Großbrand bei der Rheinbahn in erster Linie ein regionales Medienereignis. Fachmedien und die ÖPNV-Branche selbst stuften das Feuer als singulären Vorfall ohne negative Auswirkungen auf die Akzeptanz von E-Bussen ein.

Am 5. Juni 2021 folgte ein Großbrand im Betriebshof Mittelfeld der Üstra in Hannover. Zerstört wurden fünf Elektro-, zwei Hybrid- sowie zwei Dieselbusse. Auch die Ladeinfrastruktur für E-Busse und Teile der Fahrzeughalle fielen den Flammen zum Opfer. „Gigantische Rauchwolke über Hannover“ titelte Bild Hannover.²²⁰ „Millionenschaden bei Brand in Depot für Elektrobusse“, hieß es sogar in der Berliner Morgenpost und der Braunschweiger Zeitung.²²¹ Am Tag des Großfeuers schafften es die Bilder von verbrannten Bussen auch in die Nachrichten von ARD, ZDF und privaten Sendern wie RTL, Pro 7 oder ntv. In den Tagen danach konzentrierte sich die Berichterstattung auf regionale Medien wie Hannoversche Allgemeine Zeitung, Neue Presse, Bild Hannover, NDR Niedersachsen und auf Fachmedien wie den wöchentlichen Branchennewsletter NaNa-Brief. Als Ursache für das Großfeuer nannte die Polizei einen nicht näher spezifizierten technischen Defekt, den regionale Medien als Anlass für konkrete Spekulationen

zur Sicherheit der Batterietechnologie nutzten. Dass die Üstra zudem verkündete, bis zum Abschluss der Untersuchungen auf den Einsatz der verbliebenen 17 Elektrobusse verzichten zu wollen, wurde als Beleg dafür gewertet und führte in verschiedenen Onlineforen zu kritischen Kommentaren besorgter Fahrgäste. Erst nachdem sich keine Hinweise darauf ergaben, dass von Elektrobussen aufgrund ihrer Antriebsart eine besondere oder erhöhte Gefahr im Betrieb ausgeht, nahm die Üstra im November 2021 wieder alle E-Busse in den Linienbetrieb auf.²²²

Die Berichterstattung über den Großbrand in Hannover wurde schon frühzeitig in den Kontext des ersten Großbrandes gesetzt. Im Unterschied zum Schadensfall bei der Rheinbahn beschäftigten sich daher auch verstärkt überregionale bzw. nationale Medien mit dem Brand. Zweifel an der Sicherheit der Batterietechnik wurden dabei vor allem in verschiedenen Fachmedien intensiver thematisiert als beim ersten Großbrand in Düsseldorf.

Spätestens mit dem dritten Großbrand in einem Busdepot der Stuttgarter Straßenbahnen (SSB) am 1. Oktober 2021 erregte das Thema eine deutlich größere bundesweite Aufmerksamkeit, wie das enorme Medieninteresse mit einer Vielzahl von Veröffentlichungen zeigte. Zusätzlich zu regionalen Medien (Zeitungen, Radio und TV) berichteten nationale Titel wie Frankfurter Allgemeine Zeitung, Süddeutsche

Zeitung, Welt, die Onlineportale von Spiegel und Fokus sowie öffentlich-rechtliche und private Sender in ihren Nachrichtensendungen – teils zur besten Sendezeit und mit regelmäßigen Updates zum Ereignis. Der Großbrand in Stuttgart war über Tage hinweg ein nationales Medienthema. In den Tagen nach dem Großbrand registrierte der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) einen sprunghaften Anstieg von Medienanfragen zur Sicherheit der Batterietechnologie. Im Umfeld der Ereignisse von Düsseldorf und Hannover gab es keine Anfragen bei der Pressestelle des größten Branchenverbandes.

Bei dem Feuer in Stuttgart brannten 25 Busse komplett aus, darunter auch zwei Elektrobusse vom Typ eCitaro des Herstellers EvoBus. Untersuchungen zufolge könnte der Brand beim Ladevorgang eines E-Busses entstanden sein, berichtete unter anderem die Welt.²²³ Das führte in der weiteren Berichterstattung zu Spekulationen über die grundsätzliche Sicherheit der Fahrzeuge. Schlagzeilen wie „Spekulationen über Elektro-Busse als Ursache: Dritter Bus-Depotbrand in diesem Jahr“²²⁴, „Depotbrände verunsichern die Branche“²²⁵ oder „Elektro-Busse lösen bundesweit schwere Brände aus“²²⁶ dokumentieren beispielhaft die deutlich kritischere Berichterstattung. Ein ebenfalls eigentlich lokales Ereignis wurde damit zu einem nationalen Medienthema. In der Analyse ist jedoch festzuhalten, dass sich die Beiträge dennoch durch eine überwiegend sachliche Tonalität auszeichneten.



Abbildung 131: Beispielhafte Presse-Clippings zu den untersuchten Depotbränden des Jahres 2021 (Quelle: eigene Analyse)

Da im Zusammenhang mit dem Großbrand in Stuttgart ein Ladevorgang bei einem E-Bus als Ursache vermutet wurde, war auch die ÖPNV-Branche besorgt und setzte sich intensiver mit dem Themenkomplex auseinander. Die Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG), das Stadtwerk Regensburg und die Reutlinger Stadtwerke zogen vorsorglich baugleiche Modelle des Herstellers EvoBus aus dem Verkehr, was zu weiterer medialer Aufmerksamkeit führte und Zweifel an der grundsätzlichen Sicherheit dieser Antriebstechnologie befeuerte. Als Reaktion darauf stellte der VDV allen Verkehrsunternehmen mit Elektrobussen geeignete Argumentationshilfen für entsprechende Anfragen der Medien zur Verfügung und initiierte eine Videokonferenz mit den für den deutschen Markt wichtigsten Fahrzeugherstellern. Darüber hinaus versuchte der Branchenverband durch einen mehrseitigen Beitrag in der Fachzeitschrift Der Nahverkehr zur

Aufklärung über das Thema und zur Versachlichung der Debatte beizutragen.²²⁷ In dem Beitrag setzte sich Wolfgang Reitmeier, Fachbereichsleiter Betriebshöfe und Werkstätten sowie Elektromobilität des VDV, detailliert mit den Schadensfällen auseinander und kam zu dem Fazit: „E-Busse sorgen nicht für höhere Brandgefahr“. Der Experte verwies in seiner Analyse unter anderem darauf, dass Fahrzeugbrände ganz unabhängig von der Antriebstechnologie keine Seltenheit sind. So brennen Schätzungen zufolge jährlich 350 bis 400 Busse in Deutschland. Darüber hinaus verzeichnet der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft rund 40.000 Fahrzeugbrände im Jahr. 15.000 Fälle davon sind tatsächliche Brände, der überwiegende Teil Schmerschäden durch Kurzschluss. In der Folge ordnete auch der Tagesspiegel mithilfe eines Experten des VDV die Häufung der Busbrände im Jahr 2021 richtig ein.²²⁸

Zusätzlich zu der grundsätzlichen Frage, ob von E-Bussen eine erhöhte Brandgefahr ausgeht, widmeten sich der Fachbeitrag und die weitere Berichterstattung nach dem dritten Großbrand verstärkt den besonderen Anforderungen, die mit der Unterbringung dieser Fahrzeuge und einer eventuell notwendigen Brandbekämpfung einhergehen. So befasste sich beispielsweise das Nachrichtenmagazin Focus ausführlicher mit der Frage, inwieweit bauliche Vorgaben für Depots, dezentrale Fahrzeughallen und größere Abstände während des Ladevorgangs die Sicherheit erhöhen.²²⁹ Das mediale Interesse an den Bränden hatte schon Ende des Jahres 2021 deutlich abgenommen. Im weiteren Zeitverlauf wurden die Schadensereignisse vor allem im Kontext von Studien thematisiert, die keine erhöhte Brandgefahr durch Elektrobusse bestätigten.²³⁰

Festzuhalten ist, dass das Thema Busbrände im Zusammenhang mit batterieelektrischen Antriebssystemen aufgrund der zufälligen Häufung an sich

singulärer Ereignisse eine erhöhte öffentliche Wahrnehmung erfuhr. Die Analyse ausgewerteter Beiträge kommt aber zu dem Ergebnis, dass eine erkennbare Sensibilisierung verschiedener Medien für den Themenkomplex Sicherheit von E-Bussen festzustellen ist, die daraus resultierende teils kritische Tonalität der Berichterstattung jedoch nicht zu einer veränderten Akzeptanz der Fahrgäste gegenüber der Elektromobilität im ÖPNV geführt hat. Diese Einschätzung bestätigten spätere Kundenbefragungen des VDV und seiner Mitgliedsunternehmen.

Nach heutigem Stand konnte die Brandursache im Busdepot der Rheinbahn nicht aufgeklärt werden. Bei dem Brand in Hannover wurde ein technischer Defekt als Ursache bekanntgegeben, welcher ausdrücklich nicht im Zusammenhang mit einem der betroffenen batterieelektrischen Busse steht. In Stuttgart konnte wiederum ein defektes Bauteil in einem Elektrobus als Brandursache identifiziert werden.

5.4 Fallbeispiele in Langfassung national

5.4.1 Fallbeispiel Ludwigslust-Parchim

5.4.1.1 Ausgangssituation

Im Landkreis Ludwigslust-Parchim im Südwesten Mecklenburg-Vorpommerns ist eine der wenigen umfangreich ausgebauten E-Bus-Flotten im ländlichen Raum in Deutschland in Betrieb. Die geografischen Anforderungen an den ÖPNV sind im flächenmäßig zweitgrößten Landkreis Deutschlands mit einer Einwohnerdichte von rund 45 Personen/km² dabei hoch. Der ÖPNV-Betrieb in Ludwigslust-Parchim ist, wie in zahlreichen ländlichen Gegenden, insbesondere vom Schülerverkehr geprägt. Betrieben wird der ÖPNV im Landkreis von der Verkehrsgesellschaft Ludwigslust-Parchim (VLP), die außerdem auch das angrenzende Amt Neuhaus im Landkreis Lüneburg bedient. Insgesamt fährt die VLP mit einer Flotte von 200 Omnibussen auf 173 Linien, wovon 20 in der Landeshauptstadt Schwerin beginnen und enden.²³¹ Mit 80 % der Linien sind die meisten Fahrten Schülerverkehre im Landkreis. Hinzu kommen einzelne Taktlinien sowie ein seit 2016 ausgebautes Rufbusnetz mit 40 Mio. Fahrplankilometern, von denen rund 2 % (800.000 km) in Anspruch genommen werden.²³² Die Überlegungen zu einer möglichen Flottenelektrifizierung haben laut Aussagen der VLP damit begonnen, die Umläufe der eigenen Verkehre zu analysieren. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Schulwegzeit von maximal 60 Minuten ergibt sich eine Obergrenze für eine Wegstrecke im Schülerverkehr von ca. 90 km. Auf Basis dieser anfänglichen Überlegungen hielt die VLP die Elektrifizierung auch im ländlichen Raum für umsetzbar.²³³

Für das Vorhaben hat sich die VLP schließlich mit der Rostocker Straßenbahn AG (RSAG) zu der Kooperation „wir fahren elektrisch“ zusammengeschlossen, um damit einen Beitrag zum Klimaschutz und zur regionalen Lebensqualität in Mecklenburg-Vorpommern leisten.²³⁴ Ziel des Projekts war es, insgesamt 16 Buslinien in Mecklenburg-Vorpommern zu elektrifizieren und damit einen Beitrag zur Umsetzung der

Emissionsreduktionsziele aus dem Klimaschutzkonzept Westmecklenburgs zu leisten. Dieses sieht eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Westmecklenburg um 55 % im Vergleich zu 1990 bis 2030 vor.²³⁵ Hierfür haben sich die beiden Verkehrsbetriebe in einer Beschaffungsgemeinschaft mit einem gemeinsamen Förderantrag zusammengeschlossen. Die RSAG hat zunächst die Elektrifizierung einer Linie mit zwei Elektrobussen geplant, während die VLP im Rahmen der Beschaffungs Kooperation 45 Busse bestellte.²³⁶ Seit Ende 2022 fährt die VLP mit insgesamt 45 E-Bussen im Linienbetrieb. 2022 erhielt Geschäftsführer Stefan Lösel stellvertretend für die VLP den EBus Award als wichtigen Umweltpreis im ÖPNV, womit die Anstrengungen einer umfänglichen Flottenelektrifizierung im ländlichen Raum gewürdigt wurden.²³⁷

5.4.1.2 Vorgehensweise

Für die Erstellung dieser Fallstudie wurden folgende Quellen herangezogen:

- Pressemitteilungen und Webseiten der VLP und RSAG sowie des Landkreises Ludwigslust-Parchim
- Der Nahverkehr Elektrobus-Spezial 2023: „Elektrobusse im ländlichen Raum: VLP startet Sektorenkopplung Energiewirtschaft und Verkehr“
- Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

5.4.1.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Im Rahmen eines Förderantrags und der entsprechenden Mittelbewilligung hat die VLP zunächst 45 Elektrobusse beschafft, wofür im April 2020 ein Vergabeverfahren gestartet wurde. Die Fahrzeugvorgaben wurden dabei an die besonderen Anforderungen



²³¹ <https://www.vlp-lup.de/ueber-vlp/unternehmen/>

²³² Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²³³ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²³⁴ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/>

²³⁵ KEK 2030 <https://www.kreis-lup.de/output/download.php?fid=3378.2907.1.PDF>

²³⁶ <https://www.rsag-online.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/2019/zeitalter-der-elektrobusse-in-rostock-beginnt/>

²³⁷ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/ebus-award-2022-fuer-die-vlp.html>

eines ÖPNV im Flächenverkehr angepasst, beispielsweise mit einer hohen Anzahl an begurteten Sitzplätzen und einer Mindestreichweite von 200 km bei bis zu -15°C und einer elektrischen Klimaanlage nach der VDV-Schrift Nr. 236.²³⁸ Weiterhin wurden Musterfahrzeuge im Echtbetrieb getestet und von VLP-internen Experten bewertet.²³⁹ Daimler Buses GmbH (früher EvoBus GmbH) erhielt schließlich mit dem eCitaro den Zuschlag unter acht Wettbewerbsteilnehmenden.

Die ersten 15 Busse wurden Anfang September 2021 geliefert und sollten planmäßig im Oktober in den Linienbetrieb übergehen. Aufgrund des Brands in einem Stuttgarter Busdepot, wo baugleiche E-Busse wie jene der VLP betroffen waren, wurde die Inbetriebnahme der Busse jedoch bis zur Aufklärung der Brandursachen pausiert.²⁴⁰ Im Februar 2022 gingen die ersten Busse dann schließlich in den Betrieb und

Anfang Mai folgten weitere 15 Busse. Die letzten 15 Fahrzeuge wurden im Januar 2023 geliefert und in den Linienverkehr integriert.²⁴¹ Die eCitaros werden über Lithium-Eisenphosphat-Feststoffbatterien mit einer Kapazität von 378 kWh betrieben und garantieren eine Reichweite von 200 km ohne Nachladen über eine Gesamtleistung von insgesamt 400.000 km. Die VLP plant, die Fahrzeuge circa 15 Jahre einzusetzen, und hat die Möglichkeit, bei Degradierung der Batterieleistung die in den Fahrzeugen enthaltenen fossilen Zusatzheizungen zu aktivieren.²⁴²

Mit den 45 Bussen wurden bisher insgesamt 15 Linien elektrifiziert. Die VLP plant nun jährlich 15 weitere Elektrobusse zu beschaffen, wonach im Jahr 2033 die gesamte Flotte von 200 Omni-bussen elektrifiziert wäre.²⁴³ Über die zukünftige Beschaffungsplanung und etwaige Änderungen der Fahrzeugmodelle oder Hersteller sind aktuell keine Informationen bekannt.

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	Daimler Bus
Modell	eCitaro (2 Türen)
Status Flotte	Ist
Anzahl	45
Fahrzeuglänge	12,135 m
Max. Kapazitäten Passagiere	88 (38 Sitz)
Klimaanlage/Heizung	Elektrische CO ₂ -Wärmepumpe
Batteriekapazität	378 kWh

²⁴⁴ https://www.mercedes-benzbus.com/de_DE/models/ecitaro/facts/facts-ecitaro.pdf

Fahrzeugspezifikationen der bei der VLP eingesetzten E-Busse



²³⁸ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²³⁹ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/elektrobuse-im-landkreis-lup.html>

²⁴⁰ <https://www.zfk.de/mobilitaet/oepnv/elektrobuse-bleiben-erst-mal-stehen>

²⁴¹ <https://www.busmagazin.de/vlp-uebernimmt-weitere-15-ecitaro/>

²⁴² Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁴³ https://www.vlp-lup.de/wp-content/uploads/2023/03/SEBUS_2023_40_43_Ludwigslust-Parchim_Liz.pdf

²⁴⁴ https://www.mercedes-benzbus.com/de_DE/models/ecitaro/facts/facts-ecitaro.pdf

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur wurde separat zu den Fahrzeugen beschafft. Die eCitaros der VLP werden per Steckerladung nachts oder während der Ruhezeiten im Betriebshof aufgeladen. Aufgrund der ländlichen Beschaffenheit des Bedienegebiets verfügt die VLP über insgesamt 13 Betriebsstätten, welche zu diesem Zweck allesamt einen Netzanschluss an das Mittelspannungsnetz (per Transformator) und entsprechende Ladeinfrastruktur erhalten haben. Die Netzanschlüsse mussten bei unterschiedlichen Verteilnetzbetreibern beantragt werden, was jedoch laut Aussagen der VLP problemlos möglich war. Die gesamte Ladeinfrastruktur wurde mit Blick auf die vollständige Elektrifizierung der Flotte von 200 Bussen ab Mittelspannung ausgelegt, sodass jederzeit neue Fahrzeuge eingeflottet werden können, ohne dass die Netzanschlüsse nachträglich erweitert werden müssen. Zusätzlich werden an allen Betriebsstätten mit Werkstatt Dacharbeitsplätze für die Arbeit an den Batterien geschaffen.²⁴⁵

Die E-Bus-Flotte ist auf alle 13 Betriebsstätten der VLP verteilt, wobei an den Standorten Ludwigslust und Parchim mehrere Fahrzeuge abgestellt sind (geplant ist beispielsweise die Abstellung von 8 Fahrzeugen am Standort Parchim).²⁴⁶ Unter anderem hat die VLP zwei Grundstücke in Lübz und Plau am See gekauft, um dort neue Betriebsstätten mit je 12 Stellplätzen und Ladepunkten zu schaffen.²⁴⁷ Betriebsstätten mit mehreren Abstellplätzen wurden mit Brandschutzwänden in Brandabschnitte segmentiert.²⁴⁸ Drei aktuell genutzte Betriebsstandorte mit Stellplätzen für 27 oder mehr Fahrzeuge werden hingegen aus Brandschutzgründen zurückgebaut, um das von Brandgefahr ausgehende Risiko für die Flotte zu reduzieren.²⁴⁹ Aufgrund von ausreichend Fläche auf den Betriebshöfen benötigt die VLP kein gesondertes Betriebshofmanagement für die Anforderungen des elektrischen Ladens. An den Standorten Parchim und Ludwigslust wurden zwei Ladegeräte mit einer Leistung von je 600 kW installiert, welche über eine Schaltmatrix bis zu 12 Ladepunkte flexibel mit Strom speisen. An den kleineren Stand-

orten sind dezentrale 180-kW-Ladegeräte im Einsatz. Die Lithium-Eisenphosphat-Batterien lassen eine Ladeleistung von maximal 80 kW zu, womit der Ladevorgang zwar vergleichsweise lang andauert, sie aber auch eine erhöhte Zyklenfestigkeit aufweisen.²⁵⁰ Nachteilig an den eingesetzten Batterien ist, dass diese für den Ladevorgang auf mindestens 74 °C geheizt werden müssen, weshalb die Fahrzeuge während der Ruhezeiten stets für die Erhitzung der Batterie an den Strom angeschlossen werden müssen.²⁵¹ Die VLP hat die eingesetzte Batterietechnologie insgesamt an die Betriebsanforderungen angepasst, indem beispielsweise nur sechs von sieben möglichen Akkupaketen zugunsten von mehr Sitzplätzen in den Fahrzeugen verbaut wurden oder auf die Schnellladefähigkeit der Batterien verzichtet wurde.²⁵² Weiterhin ermöglichen die Umläufe der VLP das langsame Laden der Batterien mit in der Praxis maximal 37 kW, was die Lebensdauer der Batterien erhöht.²⁵³ Für das Lade- und Betriebshofmanagement nutzt die VLP die Software IVU.suite der IVU Traffic Technologies AG. Geladen wird ausschließlich mit Strom aus regenerativen Energiequellen.

Eine Besonderheit ist, dass die Infrastruktur, wenn bereits möglich, mit der Technologie des bidirektionalen Ladens ausgestattet ist oder mindestens im Hinblick auf deren zukünftigen Einsatz aufgebaut wird. E-Busse können so über den Anschluss an Ladegeräte auch Strom in das Netz einspeisen bzw. entladen werden. Diese Art der Bewirtschaftung der Fahrzeugbatterie eignet sich besonders für Umläufe im Schülerverkehr im ländlichen Raum. Hier fallen die Stand- und damit Ladezeiten der Flotten mit den Zeitfenstern hoher Generation erneuerbarer Energien zusammen, sei es zur Tagesmitte, an Wochenenden oder in den Sommerferien.²⁵⁴ Dadurch können die Batterien ausreichend großer Busflotten für eine ausgleichende Verteilung in der Stromerzeugung und -nutzung sorgen und damit Effizienzgewinne für alle Nutzer im Verteilnetz erzielen. Weiterhin plant die VLP die Bewirtschaftung der Batterien mit einer Gesamtkapazität von 13 MWh mithilfe von Geschäftsmodellen, welche die mögliche Stromversorgung in



²⁴⁵ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/vlp-werkstaetten-auf-elektrobusse-eingestellt.html>

²⁴⁶ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁴⁷ <https://www.wir-fahren-elektrisch.de/kauf-neuer-grundstuecke-fuer-vlp-elektrobushoefe.html>

²⁴⁸ https://www.vlp-lup.de/wp-content/uploads/2023/03/SEBUS_2023_40_43_Ludwigslust-Parchim_Liz.pdf

²⁴⁹ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁵⁰ https://www.vlp-lup.de/wp-content/uploads/2023/03/SEBUS_2023_40_43_Ludwigslust-Parchim_Liz.pdf

²⁵¹ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁵² Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁵³ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

²⁵⁴ Podcast Bus Trommel „E-Busse auf dem Land – geht das überhaupt?“ Folge vom Mai 2023

Notfällen (z. B. Notstromaggregat) vorsehen, da die Batterien im Rahmen dieser Geschäftsmodelle nur im Eintritt des Notfalls tatsächlich belastet werden.²⁵⁵ Gleichzeitig hat aus Sicht der VLP die Sektorenkopplung zwischen Energie und Verkehr das Potenzial, die Betriebskosten zu senken. Die Wirkungsweisen der Sektorenkopplung wurden mit der VLP als Partner im Forschungsprojekt „Entwicklung und Umsetzung

eines nachhaltigen und innovativen Systemintegrationskonzepts für die Sektorenkopplung von Verkehr und Strom“ (EUniS) zwischen November 2020 und Oktober 2023 untersucht. Neben dem bidirektionalen Laden wurden dort auch mögliche Effekte, die sich aus dem THG-Quoten-Handel erzielen lassen, untersucht (siehe folgender Abschnitt Anschaffungs- und Betriebskosten).



Abbildung 132: Betriebsstätten der VLP im Kreis Ludwigslust-Parchim

Anschaffungs- und Betriebskosten

Insgesamt belaufen sich die Investitionen der Elektrifizierung der ersten 45 Fahrzeuge auf circa 34 Mio. €. Den Großteil der Investitionskosten macht die Fahrzeugbeschaffung mit ca. 660.000 € pro Bus (insgesamt rund 30 Mio. €) aus und etwa 3,7 Mio. € entfallen auf den Netzanschluss der 13 Betriebsstätten (die VLP gibt die Kosten mit 290.000 € pro Anschluss an).²⁵⁶

Um die Betriebskosten für den Einsatz von Elektrobussen zu minimieren, setzt die VLP unterschiedliche

Maßnahmen im Bereich des Lade- und Lastmanagements um. Statt langfristige Verträge mit Stromanbietern abzuschließen, kaufte die VLP ihren Strom zunächst wöchentlich am Strommarkt ein. Dafür wurde aus den Betriebsdaten der Stromverbrauch einer Woche prognostiziert und die entsprechende Menge am Donnerstag für die folgende Woche Montag bis Sonntag eingekauft. Seit dem 1.1.2024 plant die VLP tagesgenaue Prognosen und Stromeinkäufe auf Stundenbasis, sodass mit den am Vorabend feststehenden Preisen ein Stromfahrplan für den Folgetag generiert und der Strom entsprechend eingekauft

werden kann. Für die Umsetzung der Prognosen und den Stromeinkauf ist im Unternehmen ein Mitarbeiter abgestellt.²⁵⁷ Weiterhin hat die VLP mit dem Verteilnetzbetreiber atypische Netzentgelte verhandelt, welche die Kosten um bis zu 80 % im Vergleich zu herkömmlichen Netzentgelten reduzieren. Dafür wird in von den Netzbetreibern definierten Hochlastzeiträumen die Leistungsaufnahme gedrosselt und so der abrechnungsrelevante Spitzlastwert reduziert.

Eine weitere Maßnahme zur Reduktion der Betriebskosten ist die Teilnahme am Handel mit THG-Quoten. Im Jahr 2022 hat die VLP damit Erlöse in Höhe von 14.000 € pro Bus (insgesamt 630.000 €) realisiert. Die Bewirtschaftung der Busbatterien über die Technologie des bidirektionalen Ladens, wie oben be-

schrieben, ist eine in der Praxis noch nicht erprobte Möglichkeit, weswegen aktuell noch keine Aussagen über etwaige Einsparnisse in den Betriebskosten gemacht werden können. Der Stromverbrauch des Betriebs mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h liegt in etwa bei 1,2 kWh/km, erhöht sich allerdings unter Einbezug des Batterieheizens auf ca. 1,6 kWh/km. Auf Basis der Umläufe im Schülerverkehr (ca. 230 km/Tag) ergibt das einen ungefähren Energiebedarf pro Fahrzeug und Tag in Höhe von 370 kWh.²⁵⁸ Durch die Batteriekapazität von 378 kWh und einen Strombedarf von ca. 280 kWh für die tatsächlichen Umläufe eines Fahrzeugs entsteht allgemein ausreichend Flexibilität für das Laden der Fahrzeuge.

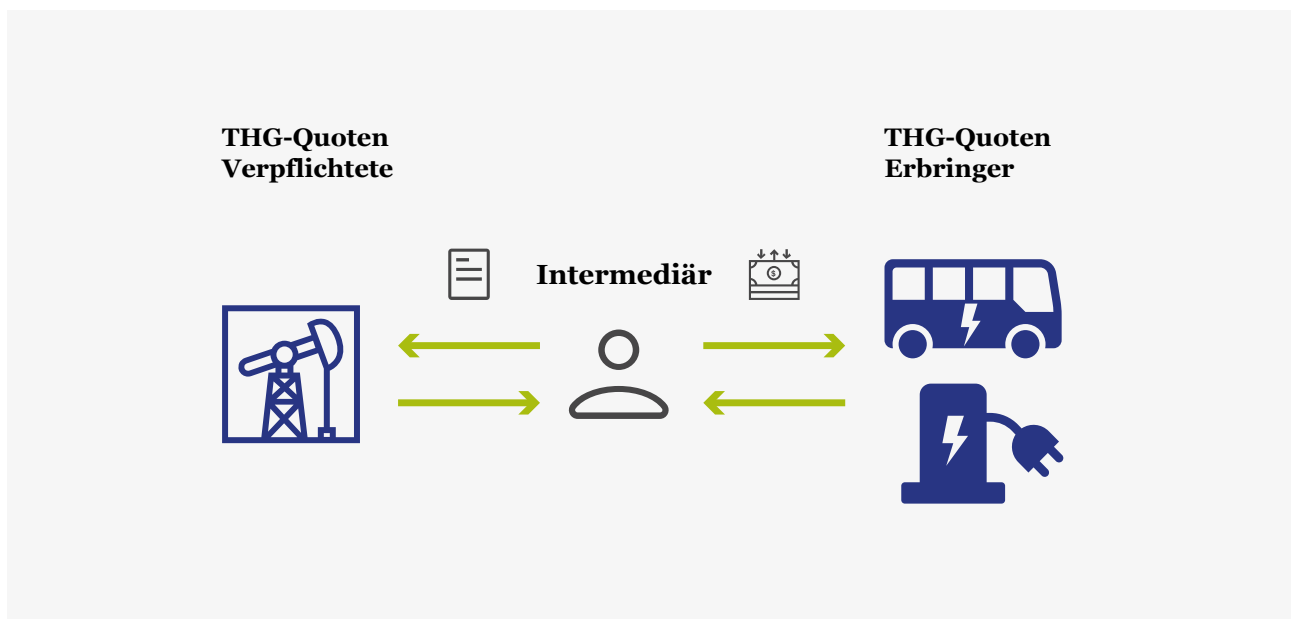


Abbildung 133: Exemplarische Darstellung des THG-Quotenhandels

In einem Rechenbeispiel für den „Nahverkehr Elektrobus-Spezial 2023“ berechnet der Geschäftsführer

der VLP die Netto-Stromkostensätze je kWh wie folgt:

+	14,967 Ct/kWh	Stromeinkauf an Strombörse
+	0,220 Ct/kWh	Herkunftsnachweis Ökostrom
+	3,4 Ct/kWh	Netzentgelte
+	2,498 Ct/kWh	Steuern, Abgaben, Umlagen
-	23,054 Ct/kWh	Erlöse aus THG-Quoten-Handel
	- 1,978 Ct/kWh	Netto-Strompreis (Erlös)

Abbildung 134: Rechenbeispiel Stromkosten unter Nutzung verschiedener Optimierungsmaßnahmen

Er stellt dar, wie die VLP im Jahr 2022 einen negativen Strompreis von rund -2 Ct/kWh und damit Erlöse im Betrieb der E-Busse erwirtschaftet hat. Unter Einbezug der erhaltenen Förderung (siehe Abschnitt Finanzierung und Förderung) war die Beschaffung und der Betrieb der E-Busse insgesamt bislang günstiger als für entsprechende Dieselfahrzeuge.

5.4.1.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Die VLP ist ein kreiseigenes Unternehmen des Landkreises Ludwigslust-Parchim und mit der Erbringung des ÖPNV im Landkreis betraut. Über den öffentlichen Dienstleistungsauftrag erhält die VLP Ausgleichszahlungen für die Erbringung gemeinwirtschaftlicher Leistungen.

Finanzierung und Förderinstrumente

Zunächst bewarb sich die VLP im Rahmen des ersten Förderaufrufs des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) mit einer Projektskizze für die Beschaffung von sechs Batteriebusen, die jedoch nicht priorisiert wurde. Daraufhin entwickelte die VLP die Projektskizze weiter und zielte darin auf eine vollständige Flottentransformation ab. Im Rahmen des zweiten Aufrufs erhielt die VLP schließlich einen Förderbescheid in Höhe von 17 Mio. € durch das BMDV. Des Weiteren wurde der Netzanschluss der Betriebsstätten mit insgesamt 2,85 Mio. € seitens des Landes Mecklenburg-Vorpommern und mit den Mitteln aus dem „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ (EFRE) bezuschusst.²⁵⁹ Mit den entsprechenden Förderzusagen haben die Entscheidungsgremien der VLP (insbesondere Landkreis Ludwigslust-Parchim) die zusätzlich verbleibenden Eigenanteile an den Investitionskosten genehmigt.

5.4.1.5 Gewonnene Erkenntnisse

Betriebskosten durch innovatives Beschaffungsmodell am Strommarkt senken

Statt nur die Finanzierung der Investitionskosten der Flottentransformation in den Blick zu nehmen, hat die VLP die Maßnahmen zur Senkung der laufenden Betriebskosten fokussiert. Unter Berücksichtigung der verkehrlichen Gegebenheiten des ÖPNV im ländlichen Raum hat die VLP geeignete Maßnahmen zur Senkung der Betriebskosten durch das Last- und Lademanagement identifiziert und frühzeitig in die Planung der Flottentransformation einbezogen (z. B. durch den Aufbau von Infrastruktur, welche perspektivisch für das bidirektionale Laden genutzt werden kann).

Fahrzeuganforderungen präzise an betriebliche Anforderungen anpassen

Die VLP hat die Anforderungen an ihre Fahrzeuge klar den betrieblichen Anforderungen und der vorgesehenen Ladestrategie angepasst. Als wichtigstes Element ist hier das Zusammenspiel des Lademanagements und der Batterietechnologie zu nennen, wobei die durch die Schülerverkehre entstehenden Standzeiten für langsame Ladevorgänge geeignet sind und somit beispielsweise keine Schnellladefähigkeit der Batterien gefordert ist. Die langsamen Ladevorgänge wiederum sind batterieschonend und garantieren eine gewisse Langlebigkeit. Um außerdem die geplante Flexibilität im Stromeinkauf zu erreichen, haben die Batterien eine höhere Kapazität als für die täglichen Umläufe notwendig. Eine weitere für den ländlichen Raum spezielle Anforderung betrifft die Heizung, da die Aufenthaltsdauer in den Fahrzeugen bei Schülerverkehren bis zu 60 Minuten betragen kann und somit eine ausreichend leistungsstarke Heizung vorhanden sein muss. Insgesamt waren die Anforderungen an die Fahrzeuge hoch, sodass nur zwei Wettbewerber diese vollständig erfüllen konnten.

Kooperation mit der RSAG für Förderprogramme

Die Kooperation zwischen der RSAG und der VLP in dem Projekt „Klimaschutz, zur Luftschadstoff-

und Lärmreduktion im Stadt- und Regionalverkehr in Mecklenburg-Vorpommern“ ermöglicht beiden Verkehrsunternehmen den gegenseitigen Wissensaustausch und erhöht die Sichtbarkeit für die Bemühungen der Schadstoff- und Lärmreduktion. Das Kooperationsprojekt bildete auch den Rahmen für die gemeinsame Bewerbung um Fördermittel aus dem Förderprogramm des BMU. Im Fokus des Projekts stehen insbesondere auch die Potenziale der Sektorenkopplung von Energie und Verkehr im Kontext der hohen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien in Mecklenburg-Vorpommern. Die Ausschreibungs- und Beschaffungsverfahren beider Verkehrsunternehmen erfolgten hingegen separat.

5.4.2 Fallbeispiel Osnabrück

5.4.2.1 Ausgangssituation

Die Stadtwerke Osnabrück haben bereits früh Erfahrungen im Bereich Elektromobilität gesammelt und lassen sich zu den Vorreitern in der Flottentransformation im Busbetrieb in Deutschland zählen. Unter anderem können die Teilnahme Osnabrücks an dem vom BMU geförderten Programm „Masterplan 100 % Klimaschutz“ und dem vorausgegangenen städtischen Klimaschutzkonzept als richtungsweisend für die Gestaltung des ÖPNV angesehen werden. Ziel des BMU-Förderprogramms war es, Strategien zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 % und Energieeinsparungen von 50 % (im Vergleich zu 1990) bis zum Jahr 2050 in Form eines Masterplans zu entwickeln. Im Bereich Verkehr legt der Masterplan einen Fokus auf den Ausbau der E-Mobilität und des ÖPNV. Die Reduktionsziele des Masterplans wurden weiterhin entsprechend in anderen städtischen Planungsvorhaben berücksichtigt. Unter dem Ziel, den ÖPNV maßgeblich auszubauen und Schadstoff- und Lärmemissionen zu senken, hat die Stadt Osnabrück 2012 eine Machbarkeitsstudie zur Systementscheidung im ÖPNV in Auftrag gegeben. Die extern durchgeführte Studie hat unterschiedliche Alternativen zum Ausbau des ÖPNV, unter anderem eine neu zu errichtende Straßenbahninfrastruktur und die Einführung eines O-Bus-Systems untersucht. Dabei

wurden die verschiedenen Systeme entlang der übergeordneten Ziele 1) der Erhöhung des ÖPNV-Anteils am Modal Split, 2) der Senkung der Schadstoff- und Lärmemissionen und 3) der Wirtschaftlichkeit bewertet. Neben diesen übergeordneten Zielen wurden die unterschiedlichen Alternativen auch hinsichtlich ihrer Realisierungsmöglichkeiten (räumliche Voraussetzungen, infrastrukturelle Ansprüche, Konfliktpotenzial mit anderen Verkehrsträgern etc.) analysiert. Aufgrund hoher Investitions- und Betriebskosten der Straßenbahn entschied sich die Stadt im Ergebnis dafür, den ÖPNV weiterhin über ein Bussystem zu betreiben, dieses aber zeitnah zu elektrifizieren, um die Umweltziele einhalten zu können. Das Ziel eines innovativen und elektrischen Bussystems wurde entsprechend in den Nahverkehrsplan für die Stadt und den Landkreis Osnabrück von 2013 aufgenommen.²⁶⁰

Zudem haben die Stadtwerke Osnabrück als städtischer Energieversorger das Thema E-Mobilität losgelöst vom ÖPNV durch den Aufbau einer Ladeinfrastruktur befördert. Mit der Kampagne „Ich fahr Strom“ wurde seit 2009 mit dem Aufbau einer elektrischen Ladeinfrastruktur in der Stadt Osnabrück begonnen. Teil dieser Kampagne war ebenfalls die Inbetriebnahme des deutschlandweit ersten E-Busses im Linienverkehr auf einer neu geschaffenen Linie im Jahr 2011. Insgesamt bündeln die Stadtwerke Osnabrück unter der Initiative KompetenzUmweltKlima (KUK) seit 2008 ihre Aktivitäten und Fähigkeiten im Bereich des Klimaschutzes und der Ressourceneffizienz, wie beispielsweise des Baus von Windkraftanlagen oder Elektromobilität.²⁶¹ Ungefähr mit Inbetriebnahme des ersten E-Busses haben die Stadtwerke Osnabrück außerdem entschieden, nicht mehr in die Dieselflotte zu investieren, sondern Rückstellungen für die zukünftige Anschaffung von E-Bussen zu bilden. Durch das Projekt eConnect Germany gefördert, wurde im August 2013 dann ein weiterer E-Bus in den Linienbetrieb (Linie 94) integriert. Durch die frühe Inbetriebnahme zweier E-Busse sowie das Bündeln wichtiger Umweltaktivitäten über die Geschäftsbereiche der Stadtwerke konnten wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse für die spätere Flotten-

transformation gesammelt werden.²⁶² Zwischen 2018 und 2022 wurden schließlich durch eine Reihe von Beschaffungsperioden 62 der circa 100 Fahrzeuge in der Osnabrücker Busflotte voll elektrifiziert.

5.4.2.2 Vorgehensweise

Für die Erstellung dieser Fallstudie wurden folgende Quellen herangezogen:

- 3. und 4. Nahverkehrsplan für Stadt Osnabrück und Landkreis Osnabrück
- Machbarkeitsstudie ÖPNV Osnabrück Lindschulte + Kloppe Ingenieurgesellschaft vom 26. April 2013
- Magazin der Stadtwerke Osnabrück „hier“
- Abschlussbericht EMKOS – Elektromobilitätskonzept zur Weiterentwicklung neuer, nachhaltiger Geschäftsmodelle für Osnabrück; eine Sondierungsstudie der Stadtwerke Osnabrück
- Pressemitteilungen und Webseiten der Stadtwerke Osnabrück
- Masterplan 100 % Klimaschutz Osnabrück
- Projektübersicht 2015/16 Hybrid- und Elektrobusprojekte in Deutschland der NOW GmbH

5.4.2.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Den ersten E-Bus haben die Stadtwerke Osnabrück im August 2011 in Betrieb genommen. Hierbei handelte es sich um das Midi-Bus-Modell M 200 E Zeus der italienischen Marke BredamenariBus, welches zu diesem Zeitpunkt bereits auf Italiens Straßen unterwegs war. Der Midi-Bus ist 5,9 m lang und hat 11 Sitz- sowie 12 Stehplätze. Bei der verbauten Batterietechnik handelt es sich um Lithium-Polymer-Akkus mit einer Leistung von 57,6 kWh und einer Ladezeit von 8-10 Stunden (Plug-in). In der Praxis hatte der

Bus eine Reichweite von 120 km und eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h und wurde auf einer an diese Kapazität angepassten neuen Linie zwischen dem Neumarkt und dem Marienhospital in Osnabrück (1,3 Linienkilometer) eingesetzt. Der Verbrauch des ersten E-Busses lag laut den Stadtwerken Osnabrück bei 62 kWh/100 km.²⁶³ 2016 wurde der Bus bereits ausgeflottet und inzwischen der Westfälischen Hochschule Recklinghausen als Studienobjekt zur Verfügung gestellt.²⁶⁴

Zwei Jahre später, im August 2013, wurde ein zusätzlicher E-Bus der Marke PVI für die Erweiterung der neu geschaffenen E-Bus-Linie zur Linie 94 angeschafft, um die Testphase von E-Bussen im Linienbetrieb weiter auszubauen. Zusätzlich zu den 1,3 km des ersten E-Busses bedient das zweite Fahrzeug die Strecke entlang 3,7 Linienkilometern. Beide Fahrzeuge stellten somit einen Flottenzuwachs dar, der mit einem Angebotsausbau einherging. Die Batterie des zweiten E-Busses ist vom Typ Li-FePo₄ (Lithium-Eisenphosphat) und verfügt über eine Kapazität von 170 kWh und eine Reichweite von 140 km.²⁶⁵ Die Stadtwerke Osnabrück haben mit den zwei Testfahrzeugen frühzeitig Erfahrungen mit dem Betrieb von E-Bussen gesammelt, was ihnen ermöglichte, im Jahr 2019 bereits eine Linie vollständig zu elektrifizieren.

Dafür wurde im Jahr 2017 zunächst die Beschaffung von 13 E-Gelenkbussen inklusive der Ladeinfrastruktur sowie die für die Umstellung nötigen Schulungen der Mitarbeitenden europaweit ausgeschrieben. Im Hinblick auf die gesamte Flottentransformation sah die finale Ausschreibung vor, dass die Ladeinfrastruktur kompatibel mit Bussen anderer Hersteller sein solle. Vorausgegangen waren der finalen Ausschreibung ein Teilnahmewettbewerb, um die Alltagstauglichkeit der Busse außerhalb eines Testbetriebs sicherzustellen. Daraufhin folgte ein indikatives Ausschreibungsverfahren mit unverbindlichen Angeboten seitens der Hersteller, welches hilfreiche Informationen für eine möglichst präzise finale Ausschreibung lieferte. Das Lastenheft der finalen Ausschreibung basierte schließlich auf den VDV-Schrif-

ten 230 und 230/1 und wurde mit Anforderungen an die Ladeinfrastruktur und die Verfügbarkeiten ergänzt.²⁶⁶ Den Zuschlag als Systemlieferant erhielt der niederländische Hersteller VDL Bus & Coaches in Kooperation mit dem deutschen Unternehmen SBRS (inzwischen Teil der Shell Group) für die Ladeinfrastruktur. Ende des Jahres 2018 erfolgte die Lieferung der 13 Citea SLFA-181 Electric Busse, womit die gesamte Beschaffungsphase in etwa 2,5 Jahre dauerte.²⁶⁷ Seit Anfang 2019 werden die 13 Busse gesamthaft für die Elektrifizierung der Buslinie 41 (später Linie M1) mit einer Länge von 13 km eingesetzt und haben die auf dieser Linie eingesetzten Dieselsebusse vollständig ersetzt.

Noch 2018 erfolgte eine Ausschreibung für die Beschaffung von insgesamt 49 weiteren E-Gelenkbussen in zwei Losen (Los 1 22 Busse und Los 2 27 Busse), für die 2019 der Zuschlag erneut an VDL und den Kooperationspartner SBRS erteilt wurde. Bis zum Sommer 2020 lieferte VDL die im Rahmen von Los 1 vorgesehenen 22 Busse des gleichen bereits eingesetzten Modells, womit im Oktober zunächst die Linie M2 mit insgesamt 8 E-Gelenkbussen und Ende des Jahres die Linie M3 elektrifiziert wurden. Einziger Unterschied zu den Fahrzeugen der ersten Ausschreibung ist die Ausstattung mit einem Abbiegeassistenten sowie einer elektrisch betriebenen Heizung. Im Laufe des Jahres 2021 wurden anschließend die 27 weiteren Busse geliefert und damit Ende 2021 die Linie M5 und Anfang 2022 die Linie M4 elektrifiziert.²⁶⁸

Hervorzuheben ist, dass die systematische Elektrifizierung der Linien M1 bis M5 im Einklang mit dem ab 2020 neu eingeführten Liniennetz in Osnabrück erfolgte. Die Linien M1 bis M5 wurden auf stark ausgelasteten Strecken als MetroBus-Linien mit einem 10-Minuten-Takt und beschleunigter sowie direkter Linienführung eingeführt und planmäßig zuerst elektrifiziert. Einerseits begünstigt die Beschleunigung der Linien die Elektrifizierung und andererseits ist die Nutzerwahrnehmung eines modernen und umweltfreundlichen ÖPNVs auf den stark ausgelasteten Stre-

cken am größten.²⁶⁹ Die Verzahnung von Linien- und Beschaffungsplanung, beispielsweise im Hinblick auf zu errichtende Infrastruktur oder Reichweiten der Fahrzeuge, dürfte ein beschleunigender Faktor in der gesamten Flottenelektrifizierung gewesen sein. Seit Anfang 2022 sind die fünf MetroBus-Linien vollständig mit einer Flotte von 62 E-Gelenkbussen elektrifiziert.

Im Jahr 2023 haben die Stadtwerke zudem eine erneute Ausschreibung über 19 E-Solobusse gestartet, womit die Elektrifizierung der kürzeren Stadtbuslinien starten soll. Über den Status der Einflottung der E-Solobusse besteht zum Zeitpunkt des Berichts noch keine genaue Information. Ziel ist es, bis 2030 die verbleibenden 25 Dieselbusse vollständig gegen E-Busse auszutauschen und damit den Linienverkehr vollständig zu elektrifizieren.²⁷⁰

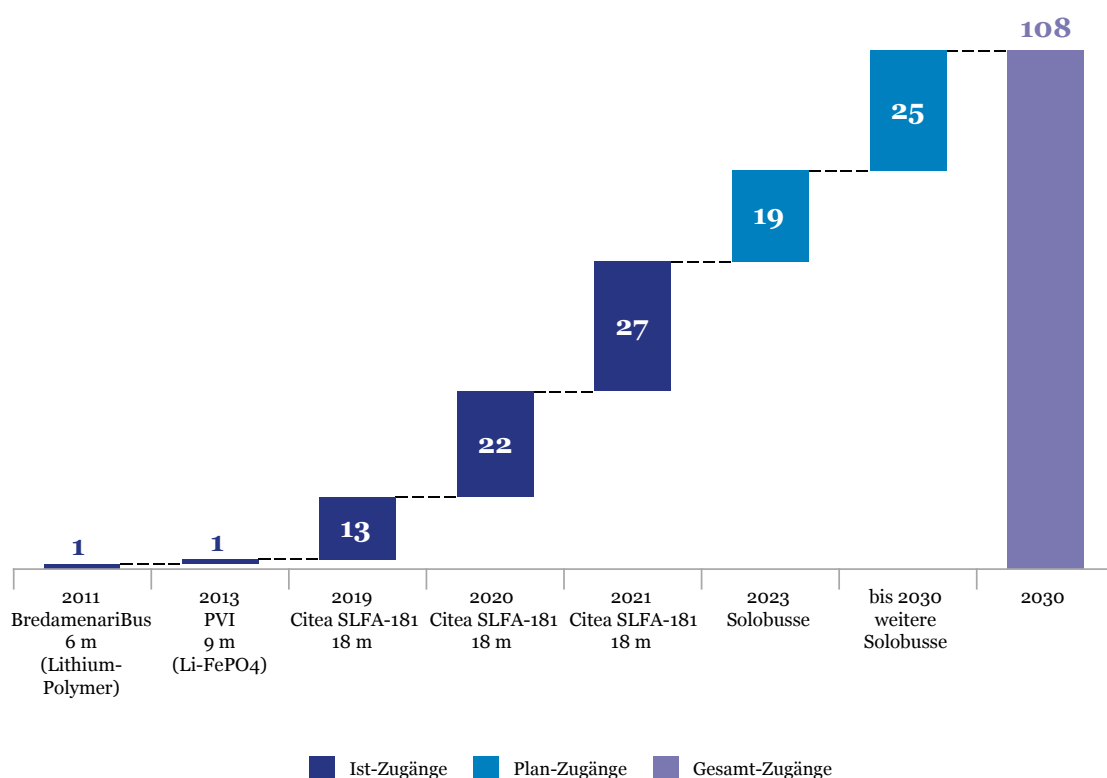


Abbildung 135: E-Bus-Bestandsentwicklung bei den SWO

5.4.2.4 Fahrzeugspezifikation

Fahrzeughersteller ²⁷¹	BredamenariBus	PVI	VDL	VDL
Modell	M 200 E Zeus	Oréos 4X	Citea SLFA-181 Electric	Citea SLFA-181 Electric
Status Flotte	ausgefrottet	Ist	Ist	Ist
Anzahl	1	1	13	49
Fahrzeuglänge	5,9 m	9,3 m	18,15 m	18,15 m
Max. Kapazitäten Passagiere	23 (11 Sitz)	49 (25 Sitz)	131 (45 Sitz)	131 (45 Sitz)
Klimaanlage/Heizung	elektrisch/Diesel	elektrisch/Diesel	elektrisch/Diesel	elektrisch
Batteriekapazität	57,6 kWh	170 kWh	180 kWh	216 kWh
Brennstoffzelleneinheit	–	–	–	–

Fahrzeugspezifikationen der bei der SWO eingesetzten E-Busse

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Für die ersten zwei E-Busse im Testbetrieb wurden Ladegeräte für die Steckerladung über Nacht im Betriebshof in Osnabrück beschafft. Der systematische Aufbau einer Ladeinfrastruktur hat parallel zur ersten großen Fahrzeug-Beschaffungsphase der Stadtwerke Osnabrück begonnen.

Als Systemlieferant hat VDL Bus & Coach gemeinsam mit dem Kooperationspartner SBRS den Aufbau der Ladeinfrastruktur für die gesamte E-Busflotte übernommen. Um die Fahrzeuge möglichst oft im optima-

len Ladezustand zu bewegen, wird eine Ladestrategie aus einer Mischung von Opportunity Charging während der Wende- bzw. Ruhezeiten und dem Laden über Nacht auf dem Betriebshof angewandt. Geladen werden alle Fahrzeuge stets mittels eines auf dem Dach der Fahrzeuge angebrachten vierpoligen Pantografen der Firma Schunk, der für den Ladevorgang ausgefahren und mit einer Ladehaube und damit dem entsprechenden Ladegerät verbunden wird. Die NMC-Akkus der Firma Durapower haben eine Kapazität von 180 kWh und sehen eine maximale Ladeleistung von 320 kW vor.²⁷²

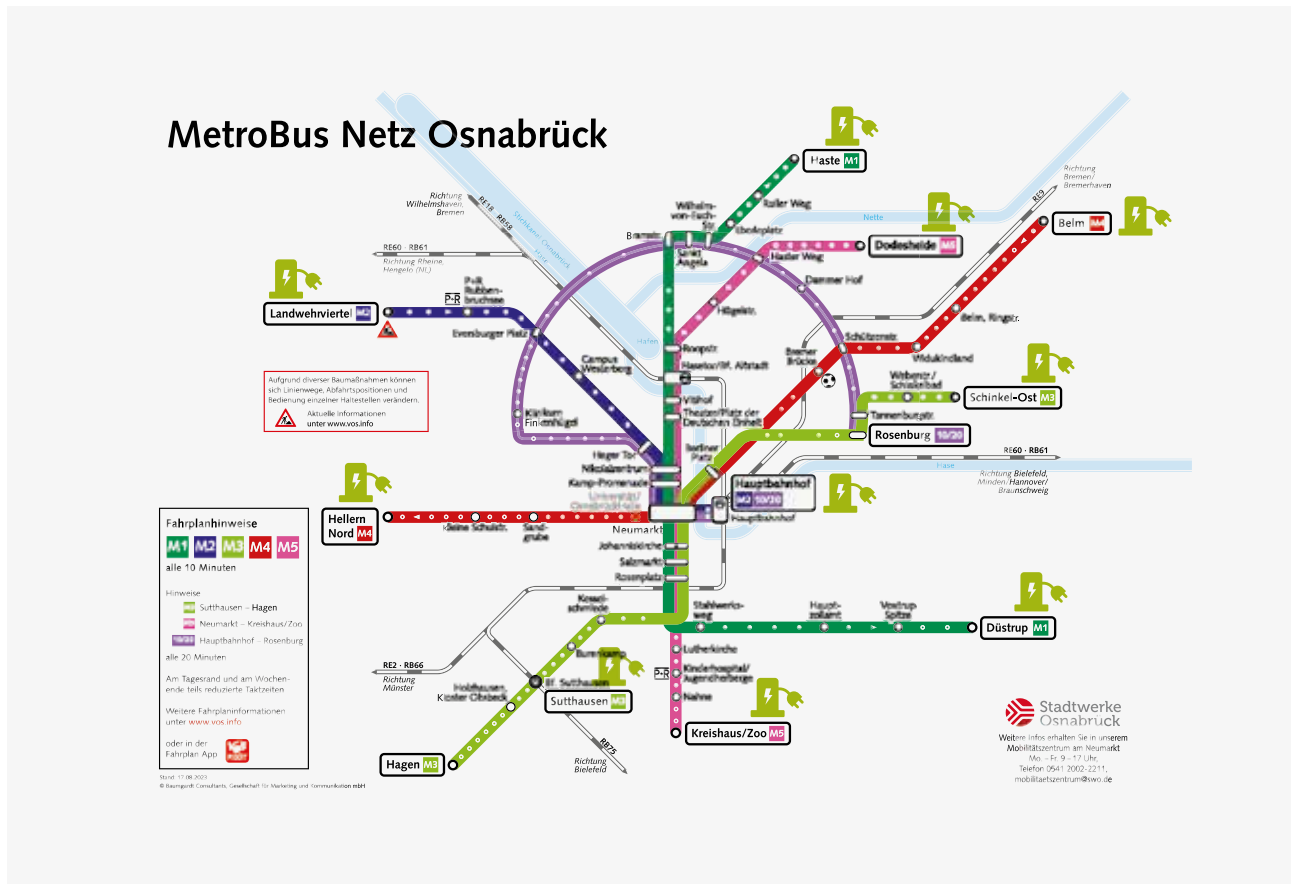


Abbildung 136: Die mit Opportunity Chargern ausgestatteten Endwenden der fünf MetroBus-Linien

Für das Opportunity Charging wurden alle Endwenden der fünf MetroBus-Linien mit Schnellladegeräten ausgestattet.²⁷³ Diese haben eine Nennleistung von 350 kW und können die Fahrzeuge in circa 15 Minuten zu 30 % laden. Der Ladevorgang wird so in fahrplanmäßige Ruhe- und Wendezeiten integriert. Für den Zweck des Opportunity Charginings wurden die Abstellflächen an den Endhaltestellen teilweise

zu einem Fischgräten-muster umgestaltet, sodass es bei Ein- und Ausfahrten von Fahrzeugen nicht zu Verzögerungen durch ladende Fahrzeuge kommt. Die Infrastruktur für die Schnellladegeräte an den Endhaltestellen besteht aus den Ladehauben sowie einem witterungsfesten Bau, welcher den Anschluss an das Mittelstromnetz und den entsprechenden Transformator sowie die Ladegeräte beherbergt.



Abbildung 137: Opportunity-Charging-Vorgang an der Endhaltestelle Haste der MetroBus-Linie M1

Für das Laden auf dem Betriebshof wurde dieser schrittweise entsprechend der Fahrzeugbeschaffung mit insgesamt 63 Ladeplätzen ausgestattet (entspricht der Zahl der E-Busse plus einem Reserveplatz), welche je einen Anschluss zu einer Ladehaube und einem Ladegerät haben. So wie die Ladehauben befinden sich auch die Ladegeräte und der Unterverteiler oberhalb der Busse in der ersten Ebene des Betriebshofs, um die Fläche möglichst effizient zu nutzen. Die Anbindung an das Mittelstromnetz und die Stromtransformatoren befinden sich außerhalb der Fahrzeughalle, von wo der Strom über Stromschienen in den Unterverteiler geleitet wird. Die Stromschienen sind mit Gießharz vergossen und damit witterungsunabhängig und wartungsarm. Die Ladegeräte auf dem Betriebshof haben eine Nennleistung von 50 kW und laden die Fahrzeuge damit in circa 4 Stunden vollständig auf. Aufgrund der Verfügbarkeit der Ladeplätze können theoretisch alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. In der Praxis erfolgt das Laden über Nacht je nach Einfahrt der Fahrzeuge zum Fahrplanende gestaffelt von circa 18 bis 1 Uhr. Durch

den Aufbau der Ladeplätze in Reihen von je sieben Fahrzeugen sind während oder vor/nach den Ladevorgängen auf dem Betriebshof keine Rangierfahrten notwendig. Laut Aussage der Stadtwerke Osnabrück arbeiten diese kontinuierlich an der Optimierung des Last- und Lademanagements, beispielsweise durch die Einbindung des Opportunity Chargings in die regulären Ladevorgänge oder das Nutzen von Kurzspeichermöglichkeiten. Geladen werden die Fahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien. Außerdem ist bei Ausfall der bestehenden Ladeinfrastruktur auch eine Steckerladung möglich, da alle Fahrzeuge mit einem Stecker des Typs Combo 2 ausgestattet sind.²⁷⁴

Anschaffungs- und Betriebskosten

Insgesamt umfasst die Beschaffung der Fahrzeuge und der entsprechenden Infrastruktur ein Auftragsvolumen gegenüber VDL Bus & Coach von 11 Mio. € für die ersten 13 Fahrzeuge und weitere 47 Mio. € für die zweite Beschaffungsphase mit 49 Bussen.²⁷⁵ Rechnerisch ergibt sich dadurch ein Wert von circa 920.000 € pro investiertes Fahrzeug, worin jedoch

ebenfalls die Kosten für die Ladeinfrastruktur enthalten sind. Für die gesamte Systemumstellung planen die Stadtwerke Investitionen in Höhe von insgesamt circa 70 Mio. €. ²⁷⁶

Für die Investitionen erhielten die Stadtwerke Osnabrück zahlreiche Fördermittel. Zu den Betriebskosten können keine näheren Angaben gemacht werden.

5.4.2.5 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Der städtische ÖPNV wird in Osnabrück durch die SWO Mobil GmbH als 100%ige Tochter der Stadtwerke Osnabrück AG erbracht, deren Anteile vollständig von der Stadt Osnabrück gehalten werden. Der Aufsichtsrat der Stadtwerke AG ist mit zahlreichen Akteuren der Kommunalpolitik besetzt, was laut eigenen Aussagen der Stadtwerke zu einer großen Verzahnung zwischen politischen Entscheidungsträgern und den ÖPNV-Betreibern führt. ²⁷⁷ Die politische Zielsetzung eines emissions-armen Stadtverkehrs fand durch den Einfluss des Aufsichtsrats so bereits früh Einzug in die operativen Entscheidungen der Stadtwerke. Darüber hinaus arbeiten die Stadt und die Stadtwerke Osnabrück im Rahmen des strategischen Projekts „Mobil>e Zukunft“ seit Ende 2016 eng zusammen. Ziel des Projekts ist die kooperative Umsetzung, Bündelung und Vermarktung aller Maßnahmen im Bereich der neuen Mobilität zwischen den beiden Akteuren. ²⁷⁸ Das Projekt ging direkt aus dem Dritten der strategischen Ziele der Stadt Osnabrück zwischen 2016 und 2020 hervor, in dem es heißt „Osnabrück ist 2020 auf dem Weg zu einer nachhaltigen Mobilität, die keine Bevölkerungsgruppen ausschließt und die regionale Verflechtungen im Blick hat, sichtbar vorangekommen.“ ²⁷⁹ Die Elektrifizierung des städtischen ÖPNVs war ein Baustein dieses Ziels und eingebettet in weitere Maßnahmen für eine nachhaltige Stadtmobilität. Operativ umgesetzt wurden die Maßnahmen zur Flottenelektrifizierung in letzter Instanz durch die Stadtwerke Osnabrück als Verkehrsbetreiber.

Finanzierung und Förderinstrumente

Die Stadtwerke Osnabrück haben für die Investitionen in E-Fahrzeuge und Infrastruktur zahlreiche Fördermittel erhalten und heben hervor, dass die erfolgreiche Kombination von Fördermitteln für Infrastruktur und Fahrzeuge aus unterschiedlichen Fördertöpfen maßgeblich zur Finanzierung beigetragen hat. ²⁸⁰ Knapp 15 Mio. € erhielten die Stadtwerke aus dem Förderprogramm „Sofortprogramm Saubere Luft“ des BMU, über das die Mehrkosten in der Fahrzeugbeschaffung sowie ein Teil der Ladeinfrastruktur gefördert wurden. ²⁸¹ Zusätzlich hat das Land Niedersachsen im Rahmen der Fahrzeugförderung die Fahrzeugbeschaffung bezuschusst und im Jahr 2019 erneut circa 6 Mio. € für die zweite Beschaffungsperiode und den Aufbau der Ladeinfrastruktur bereitgestellt. ²⁸² Für die Beschaffung der 19 E-Solobusse zum Einsatz auf den Stadtbuslinien ab 2024 hat das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) einen Förderbescheid über 5,6 Mio. € für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur bewilligt. ²⁸³ Kürzlich hat das Land Niedersachsen erneut einen Förderbescheid über 920.000 € für die Fahrzeugbeschaffung ausgestellt. ²⁸⁴ Insgesamt beträgt die Förderquote für die gesamte Systemumstellung laut Aussagen der Stadtwerke 50 %.

5.4.2.6 Gewonnene Erkenntnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen gewonnenen Erkenntnisse und Erfolgsfaktoren der laufenden Flottentransformation bei den Stadtwerken Osnabrück zusammengefasst.

Kooperation unterschiedlicher Akteure

Zentral für die Flottentransformation in Osnabrück ist die Beteiligung zahlreicher Akteure mit gemeinsamen Zielstellungen. Die politische Zielsetzung und die verkehrlichen Umstände in Osnabrück haben früh dazu beigetragen, die Flottenelektrifizierung als wichtiges Handlungsfeld zu definieren. Weiterhin kommen innerhalb der Stadtwerke unterschiedliche Erfahrungswerte aus den Bereichen Verkehr und



²⁷⁶ https://www.stadt-und-werk.de/meldung_35518.html

²⁷⁷ <https://xn--durchstarterset-elektromobilitaet-kwc.de/praxisbeispiele/der-beschaffungsprozess-von-e-bussen-in-osnabrueck/>

²⁷⁸ <https://itstartedwithaflight.de/2017/07/06/mobilezukunfts-was-wollen-die-eigentlich/>

²⁷⁹ <https://entwickelt.osnabrueck.de/fileadmin/entwickelt/stadtziele/Folder-Stadtziele-P009077868.PDF>

²⁸⁰ <https://xn--durchstarterset-elektromobilitaet-kwc.de/praxisbeispiele/der-beschaffungsprozess-von-e-bussen-in-osnabrueck/>

²⁸¹ <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/bundesumweltministerium-foerdert-osnabruecker-e-bus-engagement-0c106455d49d436d>

²⁸² <https://frankhenning.info/land-niedersachsen-unterstuetzt-stadtwerke-osnabrueck-mit-ueber-6-mio-euro-bei-der-weiteren-umruestung-auf-e-mobilitaet/>

²⁸³ <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/bund-foerdert-weitere-e-busse-in-osnabrueck-00c9d5d48cb77796>

²⁸⁴ <https://www.hasepost.de/e-bus-flotte-waechst-weiter-osnabrueck-erhaelt-ueber-13-millionen-euro-fuer-modernen-oepnv-346426/>

Energie zusammen, was die interne Bearbeitung der Flottenelektrifizierung vereinfacht haben dürfte. Die Zusammenarbeit zwischen der Stadt Osnabrück und den Stadtwerken in einem strategischen Mobilitätsprojekt ist weiterhin hervorzuheben.

Frühzeitige Erfahrungen sammeln

Die frühzeitigen Erfahrungen, welche die Stadtwerke mit der Elektromobilität insgesamt, aber insbesondere auch im Hinblick auf den ÖPNV mit der Beschaffung eines ersten E-Busses im Jahr 2013 gesammelt haben, können als Erfolgsfaktor in der späteren Flottentransformation angesehen werden. Die Erkenntnisse aus dem Testbetrieb konnten dafür genutzt werden, eine Technologieentscheidung zu fällen, das Ausschreibungsverfahren präzise auszugestalten und die Flottentransformation und die Verkehrsplanung aneinander anzupassen. Das gewonnene Wissen dürfte auch dazu beigetragen haben, das Marktumfeld kennenzulernen und die Beschaffungsplanung zu optimieren.

Beschaffungsplanung mit Verkehrsplanung verzahnen

Anknüpfend daran, hat die Verzahnung der Beschaffungsplanung mit der Verkehrsplanung dazu beigetragen, dass die Flottentransformation schnell voranschreiten konnte. So wurde beispielsweise für den Testbetrieb des ersten E-Busses eine zusätzliche Linie eingeführt, die an die technischen Anforderungen des Fahrzeugs angepasst wurde, um einen möglichst hohen Erkenntnisgewinn zu erzielen. Zudem wurde die Beschaffungsplanung der Elektrobusse an die gleichzeitige Überarbeitung des Liniennetzes angepasst, indem beispielsweise zunächst die neuen MetroBus-Linien M1–M5 (Schnellbuslinien) elektrifiziert wurden. Die gleichzeitige Elektrifizierung und Liniennetzreform hat darüber hinaus das Potenzial, die Nutzerwahrnehmung des ÖPNV deutlich positiv zu beeinflussen. Insgesamt kann die Verkehrsplanung durch Routenoptimierung, Ampelschaltungen und resultierende Oberflächengeschwindigkeiten die gesamte Flottentransformation maßgeblich beschleunigen.

Kombination von Fördermitteln

Laut Aussagen der Stadtwerke Osnabrück war die Kombination unterschiedlicher Fördermittel ein zentraler Erfolgsfaktor, da so die Investitionskosten gesenkt wurden. Da Fahrzeuge und Infrastruktur üblicherweise unterschiedlichen Förderprogrammen entspringen und die Stadtwerke eine Systemausschreibung beider Komponenten vorgenommen haben, benötigte die Kombination unterschiedlicher Förderungen einen umfangreichen Kenntnisstand der Förderkulisse.

5.4.3 Fallbeispiel Berlin

5.4.3.1 Ausgangssituation

Das Land Berlin hat im Mobilitätsgesetz (MobG BE) das Ziel verankert, dass der ÖPNV schrittweise, spätestens bis 2030 vollständig auf alternative Antriebe bzw. nicht fossile Antriebsenergien umgestellt werden soll. Im Berliner Mobilitätsgesetz steht hierzu unter § 26 (10) MobG BE:

„Damit der ÖPNV seiner Vorreiterfunktion gerecht wird, soll bis spätestens 2030 schrittweise auf einen vollständigen Betrieb mit alternativen Antrieben beziehungsweise nicht fossilen Antriebsenergien inklusive der Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen umgestellt werden. Die Erprobung neuer, dem Stand der Wissenschaft entsprechender Techniken auf ihre Einsatzreife soll Teil dieses Umstellungsprozesses sein.“

Die Flottenumstellung ist zudem fester Bestandteil des Nahverkehrsplans Berlin für die Jahre 2019–2023. Der Nahverkehrsplan beschreibt die planerischen Vorgaben für die ersten Jahre der Flottendekarbonisierung bei der BVG. So sollen in der Laufzeit dieses Planwerks Maßnahmen ergriffen werden, die unter Berücksichtigung der Anforderungen des Mobilitätsgesetzes hinsichtlich Klimaschutz, Gesundheit und Zeithorizont einen substanziellen und kontinuierlichen Aufwuchs des Flottenanteils von Bussen mit klimaneutralem Antrieb in Berlin ermöglichen (Nahverkehrsplan Berlin 2019–2023, Kapitel III. 7,

S. 181). Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) haben mit der Durchführung der „Hochlaufphase Elektromobilität“ 2018–2021 einen ersten Schritt zur Dekarbonisierung des Busverkehrs vollzogen. Die erweiterte Hochlaufphase für die Jahre 2022–2023 befindet sich derzeit in Umsetzung.

5.4.3.2 Vorgehensweise

Das Fallbeispiel zeigt die bereits vollzogenen und die geplanten Maßnahmen der unterschiedlichen Planungs- und Hochlaufphasen der Flottendekarbonisierung bei der BVG auf und gibt einen Einblick in erste Erfahrungswerte aus dem laufenden Batteriebusbetrieb. Hierfür wurden im Wesentlichen folgende Quellen herangezogen:

- Veröffentlichungen der BVG und insbesondere der Senatsverwaltung Berlin ²⁸⁵
- Berichterstattungen in der Fachpresse.

5.4.3.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Im Rahmen der „Hochlaufphase E-Bus“ führte die BVG 137 Batteriebusse mit zwei unterschiedlichen Ladekonzepten (Depotladen und Gelegenheitsladen) ein. Die „Erweiterte Hochlaufphase Elektromobilität“ sieht die Einführung von zusätzlich 90 Batterie-Solobussen mit Depotladung vor. Im Jahr 2023 werden damit 228 Batteriebusse (sowie ein zusätzliches Forschungsfahrzeug) bei der BVG in Betrieb sein. Die BVG-Flotte hat somit dann einen Elektrifizierungsgrad von rund 15 %.

Einführung von 120 Batterie-Solobussen für das Depotladen

Im Jahr 2019 wurden 30 E-Busse der „I. Charge“ von Solaris geliefert. Bis Ende 2020 wurden weitere 90 Batterie-Solobusse in 12 m Länge von Solaris und Mercedes-Benz geliefert, am Betriebshof Indira-Gandhi-Straße stationiert und geladen. Vom polnischen Hersteller Solaris stammen dabei insgesamt 105 und

von Mercedes-Benz (EvoBus) 15 Fahrzeuge. Die Busse der I. Charge werden vorzugsweise auf den Linien 142, 259, 300 und 347 eingesetzt. Mit der Beschaffung der weiteren Busse der Chargen II bis IV wurden sukzessiv Umläufe auf weiteren Linien elektrisch befahren, die zum Betriebshof Indira-Gandhi-Straße verkehren. Hierzu gehören planmäßig insbesondere Einsätze der Busse auf den Linien 107, 140, 147, 155, 194, 247, 248, 250, 294, 390 und 893.

Einführung von 17 Batterie-Gelenkbussen für das Gelegenheitsladen

Im Rahmen des vom BMVI unterstützten Forschungsprojekts „E-Metro-Bus“ startete die BVG den Betrieb von Batterie-Gelenkbussen mit Gelegenheitsladung auf der Linie 200 zwischen dem Bahnhof Zoologischer Garten und Michelangelostraße in Prenzlauer Berg, zunächst als Erprobung. Die 17 Fahrzeuge werden seit Ende des Jahres 2020 im Fahrgastbetrieb eingesetzt. Die für die Nachladung an den beiden Endstellen (Hertzsallee und Michelangelostraße) erforderliche Ladeinfrastruktur wurde bereits vor der Fahrzeugauslieferung fertiggestellt.

Erweiterte Hochlaufphase

Im Jahr 2022 sollten als Erweiterung der Hochlaufphase 90 weitere elektrische Batterie-Solobusse des niederländischen Herstellers Ebusco mit Depotladetechnologie geliefert werden. Aufgrund von Lieferverzögerungen infolge von Lieferkettenproblemen und mangelnder Verfügbarkeit kritischer Fahrzeugkomponenten konnten bislang erst einige wenige (10) Fahrzeuge ausgeliefert werden. Für die 90 Busse und die entsprechende Ladeinfrastruktur sind Förderzusagen des BMVI und des BMWK vorhanden. Die Fahrzeuge werden voraussichtlich auf dem in Planung befindlichen neuen Betriebshofverbund Süd-Ost stationiert.

Mit der vollständigen Auslieferung der 90 Ebusco Batterie-Solobusse befinden sich somit insgesamt 227 Batteriebusse im Fuhrpark der BVG. Ein konventioneller Diesel-Doppeldeckerbus wurde durch das Unternehmen IAV auf den batterieelektrischen Antrieb umgerüstet und befindet sich auf der Linie 218

im Einsatz. Weitere Umrüstungen von konventionellen Bussen sind bisher nicht geplant.

Planungen bis zur vollständigen Flottenumstellung

Im Anschluss an die Einflottung der 90 Fahrzeuge von Ebusco ist die Beschaffung von 60 weiteren emissionsfreien Bussen im Jahr 2024 geplant. Ab dem Jahr 2025 beginnt die Umsetzung des „Pakets Elektromobilität 2025“. Für das Jahr 2025 ist der Zugang von weiteren 290 emissionsfreien Fahrzeugen vorgesehen. Entsprechend dem Flottenmigrationspfad soll die Flotte sukzessive bis zum Jahr 2030 vollständig umgestellt werden. Ab dem Jahr 2028 unterscheidet die BVG zwei unterschiedliche Szenarien. Ein „chancenfokussiertes“ Szenario und ein „risikominimierendes“ Szenario spannen dabei als oberer und unterer Flottenmigrationspfad einen Korridor zur Erreichung der vollständigen Flottendekarbonisierung im Jahr 2030 auf. Die Szenarien gehen dabei von unterschiedlichen Prämissen hinsichtlich der technologischen und kostenseitigen Entwicklung aus. Ein Fahrzeugmehrbedarf wird vor diesem Hintergrund in Abhängigkeit von der angenommenen technologischen Entwicklung eingeplant (zusätzliche 106 Fahrzeuge). Je nach Szenario ist schließlich der Einsatz von 1.630–1.740 emissionsfreien Bussen bei der BVG im Jahr 2030 geplant.

Lokal emissionsfrei bis 2030

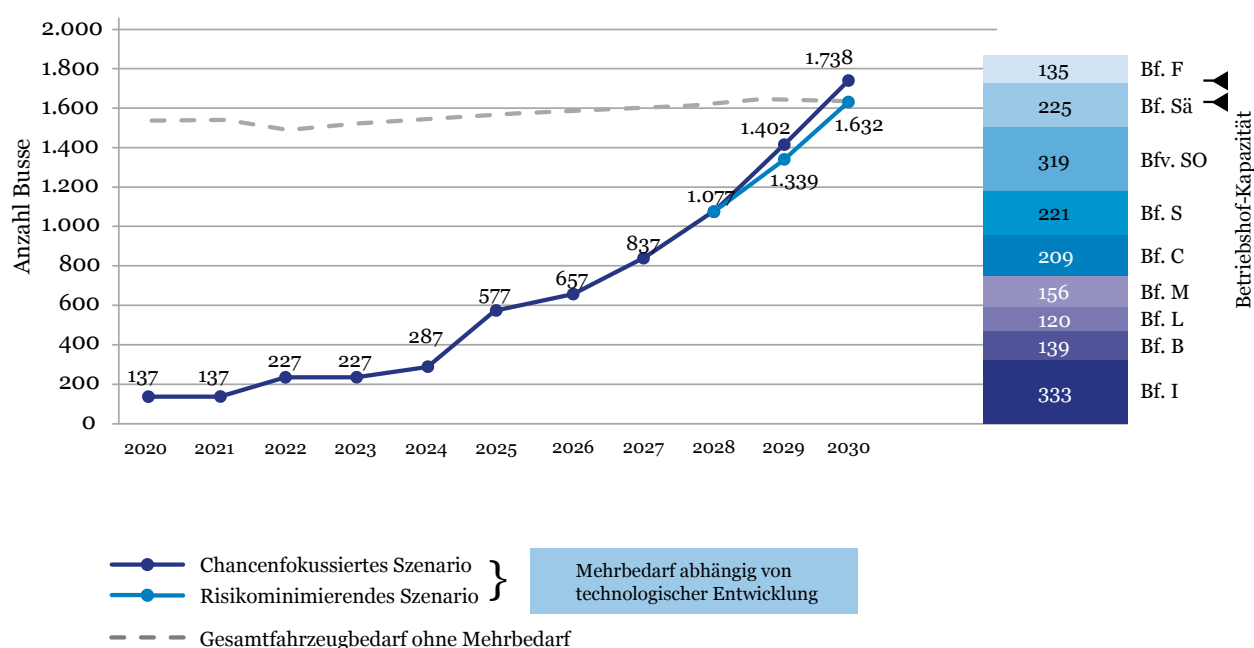


Abbildung 138: Flottenmigrationspfade mit Anzahl der lokal emissionsfreien Busse im Zeitverlauf (Ist und Plan) bis zu Vollumstellung (Quelle: BVG-Präsentation, Seminar Brandschutz 2022)

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	Solaris	Solaris	Mercedes-Benz
Modell	Urbino 18	Urbino 12 electric	eCitaro
Status Flotte	Ist	Ist	Ist
Anzahl	17	105	15
Fahrzeuglänge	18 m	12 m	12,1 m
Nachladekonzept	Opportunity	Depot	Depot
Heizung	elektrisch	15x fossil, 90x elektrisch	fossil
Batteriekapazität gesamt/nutzbar	174/156 kWh (LTO)	300/240 kWh (NMC)	243/210 kWh (NMC)

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	Ebusco	MAN (Umrüstung durch IAV)
Modell	2.2 (12 m)	Doppelstock
Status Flotte	in Auslieferung	Ist
Anzahl	90	1
Fahrzeuglänge	12 m	11,5 m
Reichweite laut Hersteller	294 km	k. A.
Batteriekapazität gesamt/nutzbar	525/419 kWh (LFP)	k. A.

Tabelle 23: Fahrzeugspezifikationen der bei der BVG eingesetzten Batteriebusse (Stand Januar 2023)

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Im Zuge der ersten Hochlaufphase der Flottendekarbonisierung wurde zunächst der Betriebshof Indira-Gandhi-Straße für den Betrieb und das Nachladen der ersten Batteriebusse für das Depotladen ausgebaut und ertüchtigt. Parallel dazu erfolgte der Aufbau

der Ladeinfrastruktur für das Gelegenheitsladen an den Endhaltestellen der Linie 200 in der Michelangelostraße und Hertzallee. Insgesamt umfasst der Ladeinfrastrukturbestand zur Mitte des Jahres 2022 die folgenden Positionen:

Ort	Ladekonzept	Baujahr	Anzahl Ladepunkte	Typ (Hersteller)	Max. Ladeleistung
Betriebshof Indira-Gandhi-Straße	Depotladen	2019	30	Ladesäule CCS (XCharge)	100 kW
		2020	89	Ladesäule CCS (Ekoenergetyka)	150 kW
		2020	1	HPC mit Pantograf (Siemens)	300 kW
Endhaltestellen Linie 200	Gelegenheitsladen	2020	4	HPC mit Pantograf (Siemens)	450 kW

Tabelle 24: Ladeinfrastrukturbestand nach Standorten der BVG zur Mitte des Jahres 2022

Umbau Betriebshof Indira-Gandhi-Straße

Die 120 Elektro-Eindecker und 17 Elektro-Gelenkbusse der Hochlaufphase werden am Betriebshof Indira-Gandhi-Straße betrieben. Dafür wurden Anpassungen am Betriebshof vorgenommen (elektrische Versorgung). Für die Wartung der E-Busse rüstet die BVG die sogenannte Radeberger Halle als Werkstatthalle für bis zu 150 Elektrobusse samt spezifischer Ausstattung (Dacharbeitsstände, Stempelheber) um.

Neubau Betriebshofverbund Süd-Ost

Um den wachsenden Bedarf an Abstellkapazität sowohl für die Dekarbonisierung (zusätzlicher Platzbedarf an Bestandshöfen für Ladeinfrastruktur, technologiebedingter Fahrzeugmehrbedarf) als auch für

das Angebotswachstum (mehr Leistung, mehr große Fahrzeuge im Fahrzeugmix) zu bewältigen, sollen neue Omnibusbetriebshöfe in Berlin errichtet werden. Der Betriebshofverbund Süd-Ost soll als erster neuer E-Bus-Betriebshof frühestens ab 2022 die Busse der erweiterten Hochlaufphase bekommen. Der Verbund besteht aus zwei nahe gelegenen Standorten (Köpenicker Landstraße und Rummelsburger Landstraße) im Bereich Baumschulenweg mit E-Bus-Werkstatt und Servicehalle. Im Endzustand ist eine Kapazität von bis zu 270 E-Bussen vorgesehen.

Neubau Betriebshof Süd – Sântisstraße

Im Süden Berlins soll ein neuer Standort für ca. 250 Elektrobusse auf 9,8 ha errichtet werden.

Anschaffungs- und Betriebskosten

	Hochlaufphase Teil 1	Hochlaufphase Teil 2	E-Metro-Bus (Linie 200)	Erweiterte Hochlaufphase
Anzahl Fahrzeuge	30	90	17	90
Lieferzeitraum	2019	2020-2021	2020	2022-2023
Plan-Kosten	28,2 Mio. €	60,7 Mio. €	16,7 Mio. €	n. V.
für Fahrzeuge	17,5 Mio. €	51,4 Mio. €	13,3 Mio. €	n. V.
für fahrzeugnahe Infrastruktur	10,7 Mio. €	9,3 Mio. €	3,4 Mio. €	n. V.
Investitionsmehrkosten	22,0 Mio. €	41,3 Mio. €	12,9 Mio. €	n. V.
davon gefördert Bund	5,9 Mio. €	13,7 Mio. €	4,6 Mio. €	n. V.
davon Kostenanteil Land Berlin	16,1 Mio. €	27,6 Mio. €	8,3 Mio. €	n. V.

Tabelle 25: Investitionskosten der Hochlaufphase für Fahrzeuge und Infrastruktur
(Quelle: Senatsverwaltung Berlin)²⁸⁶

5.4.3.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Finanzierung und Förderinstrumente

Im Verkehrsvertrag 2020–2035 hat das Land Berlin als Aufgabenträger mit der BVG die finanziellen Rahmenbedingungen für die Dekarbonisierung des Busverkehrs vereinbart. Mit der Vereinbarung zur Stärkung des ÖPNV als schadstoffarme und klimaschützende Mobilität zwischen der BVG und dem Land Berlin vom 19.12.2017 wurden die Rahmenbe-

dingungen gesetzt, um bis 2023 in die Elektrifizierung von 227 E-Bussen investieren zu können. Die Investitionsmehrkosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur werden zum Teil durch die Förderprogramme des BMU mit zwischenzeitlichem Übergang an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (BMWK) sowie des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) abgedeckt. Die Landesfinanzierung erfolgt aus Mitteln des Kernhaushalts sowie Mitteln des SIWA-Fonds.



Abbildung 139: Vereinfachte Übersicht der Finanzierung und Förderung der BVG

Die weiteren geplanten Ausbaustufen in den Jahren 2024 und 2025 werden ebenfalls durch das BMDV im Rahmen des laufenden Förderprogramms „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ mit insgesamt 196 Mio. € gefördert. Beschafft werden hiermit 350 emissionsfreie Batteriebusse sowie die dazugehörige Lade- und Werkstattinfrastruktur. Darüber hinaus fördert das BMDV das Forschungsvorhaben „E-Bus-2030+“, hinter dem die BVG, das Reiner Lemoine Institut (RLI) und die Technische Universität Berlin (TUB) stehen. Zielsetzung des Vorhabens ist die Entwicklung einer integrierten Softwarelösung für ein ganzheitliches Elektrobussystem im ÖPNV, um emissionsfreie Busse zuverlässig und wirtschaftlich einsetzen zu können. Das BMDV hat in Person von Verkehrsminister Volker Wissing im Januar 2023 die Förderbescheide für das Forschungsprojekt über 1,38 Mio. € eingereicht.²⁸⁷

5.4.3.5 Gewonnene Erkenntnisse

Batteriebusse mit hoher Zuverlässigkeit im Betriebseinsatz

Die BVG meldet eine hohe Verlässlichkeitsquote (technischer Einsatzkoeffizient) für die Elektrobusse der ersten Charge von durchschnittlich 92 % (Zeitraum: KW 44/2019 – KW 5/2020). Die Verlässlichkeit der E-Busse ist somit höher als der Durchschnitt für die gesamte Busflotte der BVG und liegt auch über der internen Sollvorgabe im Busbereich (90 %).

Lieferverzögerungen seitens der Hersteller als Risiko für die termingerechte Umsetzung der Flottendekarbonisierung

Die Verzögerung der Auslieferung der 90 Fahrzeuge der erweiterten Hochlaufphase zeigt ein Risiko der termingerechten Umsetzung der Flottenmigration außerhalb des Einflussbereichs der BVG. Derartige Verzögerungen und mögliche Alternativen sollten im Rahmen von langfristigen Flottenmigrationspfaden eingeplant werden. Dies betrifft insbesondere auch Fahrzeuge mit unkonventionelleren Aufbauarten (z. B. Doppeldecker) mit einem kleinen Lieferantenkreis.

Von Herstellern garantierte Reichweite ist im praktischen Betriebseinsatz nicht unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet

Die technische Reichweite der E-Busse liegt unterhalb der Reichweite der Dieselmotoren. Bei den E-Bussen der I. Charge haben die Hersteller eine Reichweite von 150 km im Berliner Stadtverkehr garantiert, die Heizung des Fahrzeugs erfolgt über eine fossile Zusatzheizung. Die von den Fahrzeugherstellern garantierte Reichweite ist nach Erfahrung der BVG im Realbetrieb noch nicht immer unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet. Die BVG ist im engen Austausch mit den Fahrzeugherstellern, um gemeinsam kontinuierlich an einer weiteren Verbesserung der Reichweite zu arbeiten, damit die gelieferten Fahrzeuge die im Vergabeverfahren zugesicherten Fahrzeuganforderungen einhalten. Beim Projekt E-Metro-Bus (Gelegenheitsladen auf der Linie 200) sollen die Fahrzeuge mit Nachladung an den Endhaltestellen den ganzen Betriebstag im Einsatz bleiben können (ähnlich dem Einsatzkonzept im Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden).

Es besteht ein Mehrbedarf an Fahrzeugen und Personal, dieser wird sich jedoch im weiteren Projektverlauf voraussichtlich reduzieren

Für die Depotlader der Hochlaufphase Elektromobilität (2018–2021) meldet die BVG einen Bedarf von vier E-Bussen zum Ersatz von drei Dieselmotoren. Der Mehrbedarf an Fahrzeugen und Personal ist allerdings stark von der Reichweite und von der Optimierung der Umlaufplanung abhängig und wird sich vor dem Hintergrund steigender Batteriekapazitäten und einer damit verbundenen Reichweitenerhöhung reduzieren. Zur Minimierung der betrieblichen Mehrkosten der Depotlader wegen Fahrzeug- und Fahrpersonalmehrbedarf sowie weiterer Folgekosten sollen die Möglichkeiten zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit des E-Bus-Betriebs durch Anpassung des Einsatzes an die Leistungsfähigkeit genauer untersucht werden. Für einen Betrieb mit Gelegenheitsladen wird von einem Fahrzeugmehrbedarf von etwa 10 % ausgegangen, wobei die BVG dies je Linienkon-

figuration genauer untersuchen wird. Für Streckenladung wird hingegen kein Fahrzeugmehrbedarf geplant.

Umfangreiche Förderung des Bundes senkt die Investitionsmehrkosten, die durch das Land Berlin zu tragen sind

Im Zuge der Flottendekarbonisierung erhält die BVG Förderungen aus Bundesmitteln von über 220 Mio. €. Allein aus dem laufenden Förderprogramm des BMDV stammen 196 Mio. €. Die vom Land Berlin getragenen, verbleibenden Investitionsmehrkosten der Fahrzeuge und Infrastrukturbeschaffung werden so deutlich reduziert.

5.4.4 Fallbeispiel Wiesbaden

5.4.4.1 Ausgangssituation

Die Landeshauptstadt Wiesbaden verfolgt das Ziel, die gesamte Busflotte auf Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb umzustellen. Dieses Vorhaben wurde als ein zentraler Baustein und eine Sofortmaßnahme im Luftreinhalteplan und im Green Masterplan „WI-Connect“ der Stadt Wiesbaden festgehalten. Hintergrund dieser Zielsetzung war insbesondere, dass der vorgeschriebene Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid 2017 an verschiedenen Orten innerhalb der Stadt überschritten wurde. Der Beschluss der Stadtverordnetenversammlung der Stadt Wiesbaden vom 29. Juni 2017 hat als Konsequenz daraus unter anderem die Umstellung der kompletten Busflotte der ESWE Verkehr auf Batterie- bzw. Brennstoffzellenbusse als einen Handlungsschwerpunkt definiert.

Die ESWE Verkehr ist der Betreiber des öffentlichen Personennahverkehrs in der hessischen Landeshauptstadt und versteht sich als multimodaler Mobilitätsdienstleister. Über einen öffentlichen Dienstleistungsauftrag ist die ESWE mit der Erbringung öffentlicher Personenverkehrsdienste durch die Aufgabenträgerin Landeshauptstadt Wiesbaden betraut. Zum Bedienungsgebiet der ESWE gehören nicht nur die Wiesbadener Stadtteile, sondern außerdem auch

Teile der Städte Mainz, Niedernhausen, Eppstein und Hofheim. Die Verkehrsleistung wird dabei mit Omnibussen verschiedener Gefäßgrößen erbracht. Insgesamt werden über 290 Linienbusse täglich im Bedienungsgebiet eingesetzt, die im Stadtbusverkehr in der Regel in einem 10-, 15-, oder 20-Minuten-Takt und im Regionalbusverkehr in einem 30- oder 60-Minuten-Takt verkehren.

5.4.4.2 Vorgehensweise

Für die Erstellung dieser Fallstudie wurden folgende Quellen herangezogen:

- Präsentation der ESWE Verkehr „Projekt Batteriebus“
- Projektsteckbrief ESWE Verkehr in der Projektübersicht 2020/2021 Zero Emission Busse in Deutschland im Rahmen der Programmbegleitforschung innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV
- Pressemitteilungen der ESWE Verkehr
- Luftreinhalteplan Ballungsraum Rhein-Main (2. Fortschreibung Teilplan Wiesbaden).

Zudem wurde ein Kurzinterview mit Herrn David Coleman (Leiter innovative Projekte/emissionsfreier ÖPNV) von der ESWE Verkehr geführt.

5.4.4.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobussflotte

Mit dem Förderbescheid des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Herbst 2018 startete die ESWE die Beschaffung von Batteriebusen in Wiesbaden. Infolge des Ausschreibungsverfahrens konnten ab Herbst 2019 die ersten zehn Solo-Batteriebusse (zu Beginn drei Fahrzeuge) des Typs eCitaro mit einer 292-kWh-NMC-Batterie ausgeliefert werden. Diese Fahrzeuge sind Bestandteil der ersten Beauftragung von über 56

Elektrobussen an den Generalunternehmer EvoBus/Mercedes-Benz. Teil dieser Bestellung sind weitere 21 eCitaro Solo-Batteriebusse mit 441-kWh-Feststoffbatterie (LMP), die zum Ende des Jahres 2020 ausgeliefert wurden, sowie 25 weitere Solo-Batteriebusse derselben Konfiguration, die im ersten Quartal 2021 in die Flotte der ESWE übernommen werden konnten. Die zweite Beauftragung im Rahmen des Batteriebusprojektes der ESWE umfasst insgesamt 64 Solo-Batteriebusse, die ebenfalls vom Generalunternehmer EvoBus/Mercedes-Benz mit einer 441-kWh-Festkörperbatterie ausgeliefert werden sollen. Einige der Fahrzeuge aus dieser Beauftragung sind im Jahr 2021 bei der ESWE zugegangen. Die Flotte der ESWE zählt zum Stand der Erhebung zum Ende des Jahres 2021 somit insgesamt 64 Batteriebusse.

Neben der Beschaffung batterieelektrischer Solobusse hat die ESWE zwischenzeitlich ebenfalls die Anschaffung von Bussen mit Brennstoffzellen-Antrieb geplant. Im Jahr 2016 wurde hierfür zunächst der Beschaffungsverbund Rhein-Main zusammen mit den Städten Mainz und Frankfurt am Main im Rahmen des Deutschland-Clusters gegründet. Im Herbst 2018 bestellte der Beschaffungsverbund insgesamt elf Brennstoffzellenbusse bei dem Busersteller ebe Europa – hiervon sollten je zwei Solo- und Gelenkbusse nach Wiesbaden geliefert werden. Der Lieferant konnte die Bestellung abschließend nicht erfüllen und die Beschaffungsinitiative Rhein-Main wurde Ende 2019 aufgrund der bestehenden Herausforderungen der Brennstoffzellenbus-Beschaffung aufgelöst. Zur Mitte des Jahres 2020 startete die ESWE Verkehr erneut eine Ausschreibung zur Beschaffung von zehn Solobussen mit Brennstoffzellenantrieb. Den Zuschlag für die Lieferung erhielt der portugiesische Busersteller CaetanoBus, der mit der Lieferung der Fahrzeuge bis zum Ende des Jahres 2021 beauftragt ist. Zum derzeitigen Stand verläuft die Lieferung der zehn Fahrzeuge bis zum Ende des Jahres nach Plan. Die Fahrzeuge werden im Rahmen des JIVE-Projektes der Europäischen Union gefördert.

Hinsichtlich der vollständigen Transformation der Flotte auf alternative Antriebe startete die ESWE Verkehr darüber hinaus eine Ausschreibung für batterieelektrische Gelenkbusse mit Brennstoffzellen-Range-Extender. Auftragsgegenstand war hierbei die Lieferung von 140 Gelenkbussen in 18 m Länge mit ausschließlich elektrischem Antrieb im Batteriebetrieb, der durch eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle gespeist wird. Die Fahrzeuge sollten bis Mitte des Jahres 2023 ausgeliefert werden. Aufgrund von zu erwartenden Verzögerungen in der Auslieferung wurde das Verfahren im April 2021 eingestellt. Das Vorhaben der vollständigen Umstellung der Busflotte besteht jedoch weiterhin. Es erfolgt zum Stand der Bearbeitung eine Prüfung, mit welchem Migrationspfad das Ziel erreicht werden kann.

Insgesamt steigt die Anzahl der emissionsfreien Busse der ESWE Verkehr bis Ende des Jahres 2022 gemäß Beschaffungsplanungen auf 130.²⁸⁸ 56 Batteriebusse sollen voraussichtlich im Jahr 2022 zugehen. Diese Fahrzeuge konnten zunächst aufgrund von zeitlichen Verschiebungen im Aufbau der Ladeinfrastruktur noch nicht eingeflottet werden (siehe auch Abschnitt Lade- und Betankungsinfrastruktur). Für den vollständigen Ersatz der ursprünglich 220 Dieselsbusse wären demnach noch 90 weitere Fahrzeuge zu beschaffen. Die folgende Abbildung zeigt die bisherigen Beschaffungen im Ist und die noch folgenden im Plan, aufgliedert nach Fahrzeugmodell.

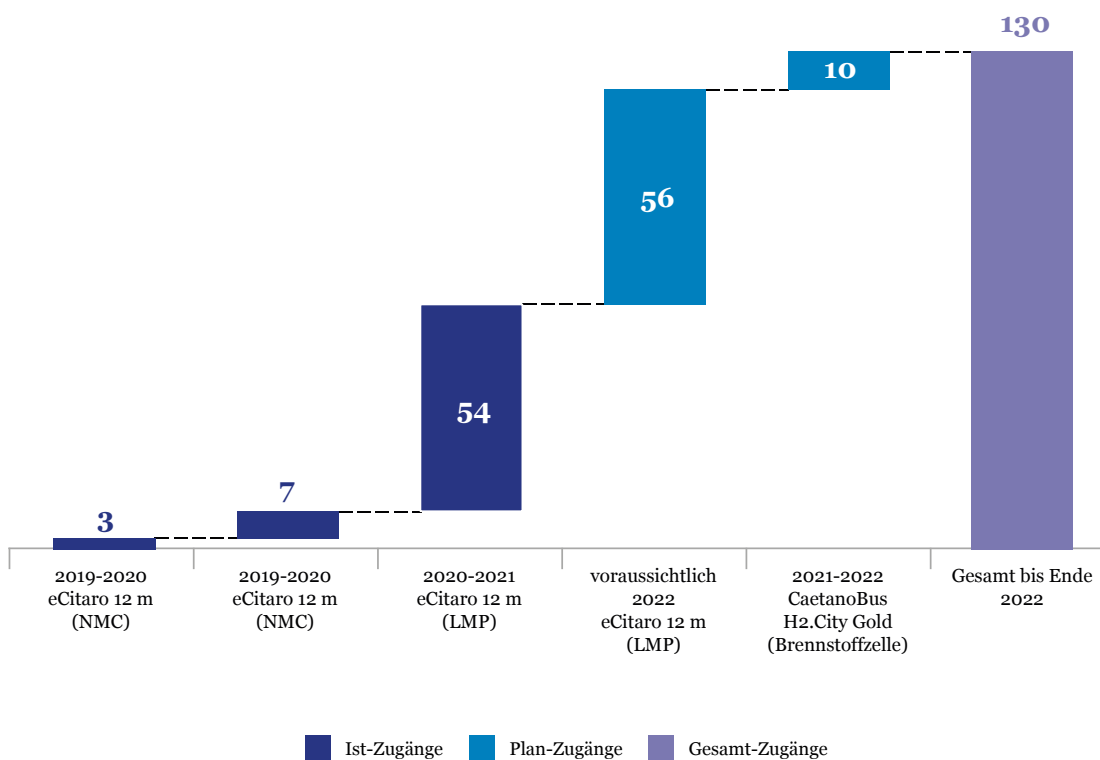


Abbildung 140: E-Bus-Beschaffung der ESWE Verkehr im Ist und Plan bis Ende 2022

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	Mercedes-Benz EvoBus	Mercedes-Benz EvoBus	CaetanoBus
Modell	eCitaro	eCitaro	H ₂ .City Gold
Status Flotte	Ist	Ist	Plan
Anzahl	10	110	10
Fahrzeuglänge	12 m	12 m	12 m
Max. Kapazität Passagiere	34 Sitz + 40 Steh	34 Sitz + 40 Steh	37 Sitz + 39 Steh
Klimaanlage/Heizung	Elektrisch	Elektrisch	Elektrisch
Batteriekapazität	292 kWh (NMC)	441 kWh (LMP)	44 kWh (LTO)
Brennstoffzellen Einheit	–	–	PEM-Brennstoffzelle Toyota

Tabelle 26: Fahrzeugspezifikationen E-Busse der ESWE Verkehr

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Als Generalunternehmer ist EvoBus/Mercedes-Benz neben der Lieferung der Fahrzeuge auch mit der Implementierung der entsprechenden Ladeinfrastruktur beauftragt. Die ESWE Verkehr verfolgt für die Batteriebusflotte die Ladestrategie des **Ladens über Nacht im Betriebshof/Depot**.²⁸⁹ Mit Einführung der ersten eCitaro Batteriebusse wurde zunächst eine mobile Ladeinfrastruktur für den Interims-Einsatz beschafft. Insgesamt sind hier sieben mobile Ladegeräte im Einsatz. Nach der Inbetriebnahme der ortsfesten Infrastruktur sind diese mobilen Ladegeräte auch weiterhin für den Einsatz in der Werkstatt bei Fahrzeugreparaturen vorgesehen. Für die ortsfeste Ladeinfrastruktur wurden analog zur Fahrzeugbeschaffung im Wesentlichen zwei Ausbaustufen (2a und 2b) geplant. Für die bestehende Batteriebusflotte von 64 Fahrzeugen konnte der Block 2b bereits fertiggestellt

werden. Die Fertigstellung der zweiten Ausbaustufe für 56 Batteriebusse verschiebt sich aufgrund neuer Brandschutzauflagen zunächst. Sofern die Stufe 2b fertiggestellt ist, können die weiteren 56 Fahrzeuge in die Flotte der ESWE aufgenommen werden. Die Ladesäulen wurden in den Busport der ESWE integriert, unter dem die Batteriebusse abgestellt werden. Der Busport wurde im Jahr 2011 fertiggestellt und ist auf dem Dach mit einer Photovoltaik-Anlage bestückt, die jährlich 400.000 kWh Strom erzeugen kann.²⁹⁰ Für die Fahrzeuge mit NMC-Batterien ist eine Ladeleistung von 150 kW vorgesehen, während Fahrzeuge mit LMP-Feststoffbatterien an 100-kW-Ladesäulen aufgeladen werden.²⁹¹ Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die Ausbaustufen der Ladeinfrastruktur der ESWE für insgesamt 120 batterieelektrische Busse.

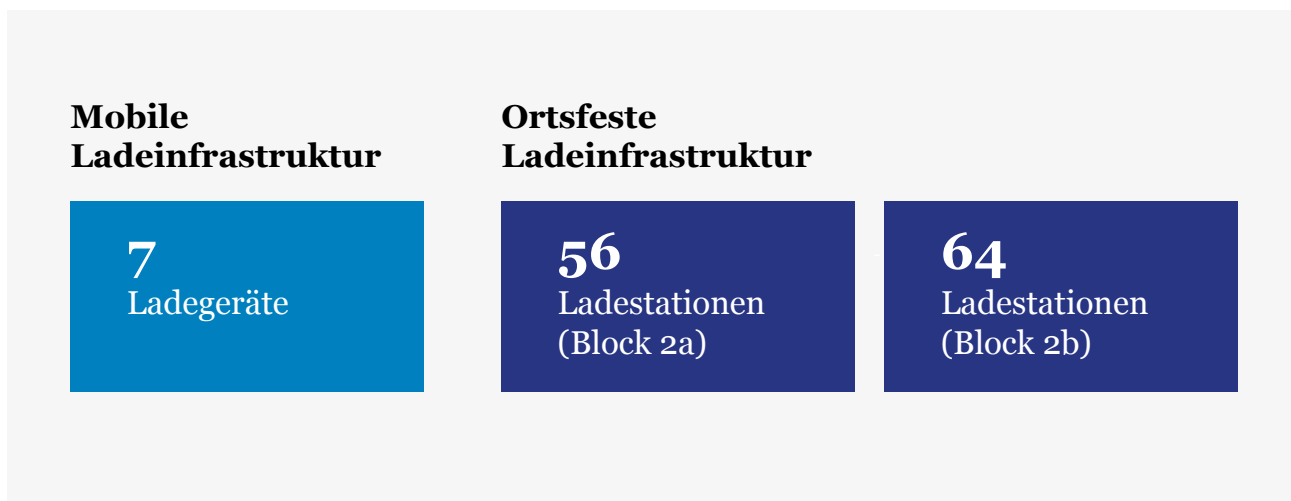


Abbildung 141: Ausbaustufen und Systematik der Ladeinfrastruktur für 120 Batteriebusse der ESWE Verkehr in Wiesbaden

Für die Nutzung der Ladestationen waren umfangreiche Anpassungen am Netzanschluss erforderlich. Zunächst wurde der Mittel-/Niederspannungsnetzanschluss für die interimistische, mobile Ladeinfrastruktur im Jahr 2019 ertüchtigt. Darauf folgte der Bau zweier Mittelspannungsübergabestationen in den Jahren 2020 und 2021. Des Weiteren ist die Errichtung eines Umspannwerks (Hochspannung/Mittelspannung) inklusive eines Mittelspannungsringes auf dem Betriebshof der ESWE Verkehr geplant.²⁹²

Die Gründe für die Entscheidung zum Depotladen sind im Wesentlichen:

- **Charakteristika des Liniennetzes und der Umläufe sowie Taktzeit:** Das Liniennetz der ESWE gibt wenige mögliche Nachladepunkte auf der Strecke für ein Gelegenheitsladen her. Die Taktzeit liegt zudem an einigen Stellen in der Spitze bei 7,5 Minuten, was das Nachladen auf der Strecke erschwert bzw. in vielen Fällen unmöglich macht.

- **Erhalt der Linienflexibilität:** Das Depotladen ermöglicht eine höhere Flexibilität im Umgang mit den zu elektrifizierenden Linien. Die ESWE integriert in diesem Kontext die E-Busse zunächst teilweise und führt keine vollständige Liniensubstitution durch.
- **Geringere Anforderungen an den Netzbetreiber:** Das Gelegenheitsladen erfolgt mit hohen Ladeleistungen um 400 kW an den einzelnen Ladepunkten. Demnach sind die Anforderungen an den Netzbetreiber entsprechend hoch.

Die batterieelektrische Flotte von 120 Fahrzeugen wird ausschließlich im Depot nachgeladen. Trotzdem schließt die ESWE das Nachladen auf der Strecke in Zukunft für neue Fahrzeuge in der Flotte nicht aus.

Parallel zur Ladeinfrastruktur für die Nachladung der batterieelektrischen Busse im Depot wurde in Wiesbaden auf dem Betriebshof eine Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur aufgebaut. Diese wurde Anfang

des Jahres 2020 eröffnet. Die Errichtung und Nutzung der Wasserstofftankstelle ist ein gemeinschaftliches Vorhaben der ESWE Verkehr und der Mainzer Mobilität. Der notwendige Wasserstoff wird aus dem Energiepark Mainz zur Wiesbadener Wasserstofftankstelle auf dem Betriebsgelände der ESWE geliefert. Es handelt sich hierbei nach Angaben der ESWE Verkehr um grünen Wasserstoff, der mittels Stroms aus erneuerbaren Energiequellen (vorrangig durch Windkraft) produziert wird.²⁹³ Mit dem Bau der Wasserstofftankstelle wurde das Unternehmen Linde beauftragt. Für die Errichtung der Wasserstofftankstelle wurde auf dem Betriebsgelände der Standort von Pkw-Parkplätzen frei gemacht.

Das Projekt Wasserstofftankstelle und der angestrebte Transformationsprozess insgesamt wird zudem durch die Hochschule RheinMain im Rahmen des Projektes „rHYn-main“ wissenschaftlich begleitet.

Um die Fragen „Wie viel Wasserstoff wird benötigt?“, „Wo kommt der Wasserstoff her?“ und „Wie gelangt der Wasserstoff zum Betriebshof und in das Fahrzeug?“ begleitend beantworten zu können, wurden verschiedene Szenarien und Modelle aufgestellt und bewertet. Hierzu gehören im Wesentlichen die Betrachtung verschiedener Flottenszenarien und Modelle hinsichtlich der Wasserstoffwertschöpfung, -distribution und -betankung.²⁹⁴

Anschaffungs- und Betriebskosten

Das Investitionsvolumen der 120 Solo-Batteriebusse der ESWE beläuft sich auf rund 71 Mio. €. Daraus lässt sich ein durchschnittlicher Anschaffungspreis pro Fahrzeug von 590.000 € ableiten. Für die Ladeinfrastruktur beträgt der Gesamtposten der Investition für 120 Ladesäulen und der dazugehörigen Infrastruktur knapp 34 Mio. €.

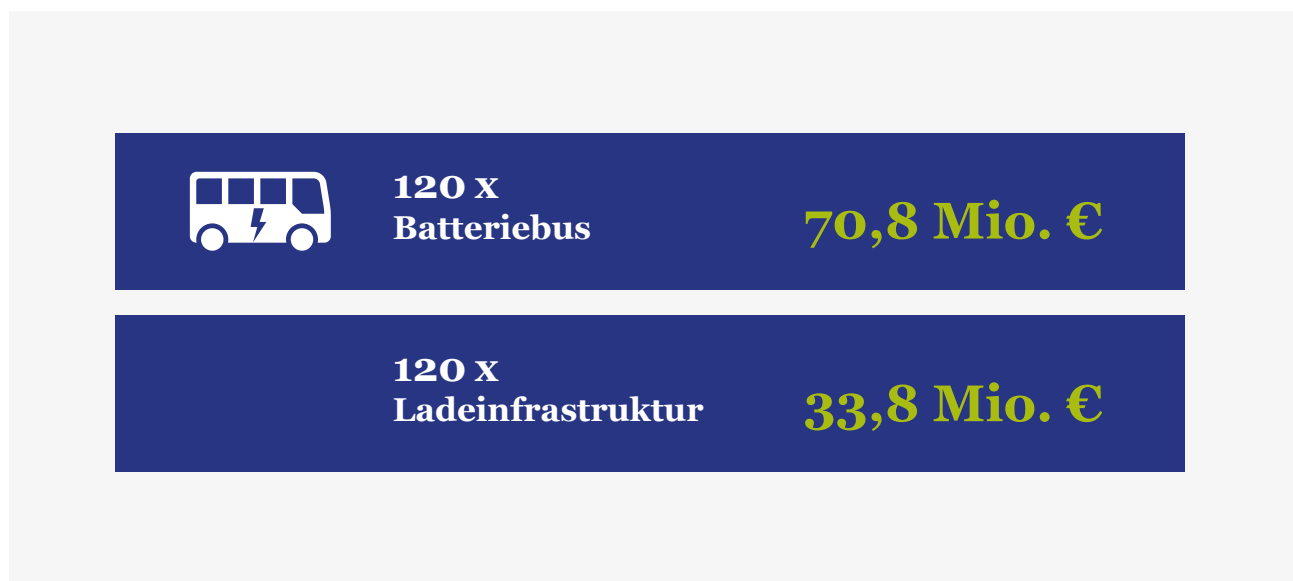


Abbildung 142: Investitionskosten der ESWE Verkehr für Solo-Batteriebusse und die entsprechende Ladeinfrastruktur

Die Fahrzeuge, die Lade- und Betankungsinfrastruktur sowie Werkstattumbauten und Schulungen wurden

durch das BMWK gefördert. Zu den Betriebskosten können aktuell noch keine Angaben gemacht werden.

5.4.4.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Die Landeshauptstadt Wiesbaden ist hundertprozentige Eigentümerin der ESWE Verkehr GmbH. Als Aufgabenträgerin beauftragt sie seit dem Jahr 2017 die ESWE Verkehr mit der Erbringung öffentlicher Personenverkehrsdienste im Rahmen eines öffentlichen Dienstleistungsauftrages per Direktvergabe. Die EvoBus GmbH nimmt die Rolle als Generalunternehmer hinsichtlich der Flottentransformation mit Batteriebusen ein. Sie ist zuständig für die Lieferung der Fahrzeuge und übernimmt den Umbau des Betriebshofes, die Auslegung und Errichtung der

Ladeinfrastruktur sowie das Lademanagement. Die EvoBus GmbH bezieht dabei indessen Leistungen von weiteren Unternehmen, wie beispielsweise Ladesäulen von Heliox, Bauleistungen von Actemium und das Betriebshofmanagementsystem von IVU. Die Beauftragung eines Generalunternehmers hatte die Zielsetzung, die Schnittstellenrisiken zwischen den verschiedenen Akteuren in Anbetracht der Projektgröße mit 120 Fahrzeugen zu verringern. Hinsichtlich verschiedener Teilprojekte bzw. Detailplanungen (z. B. Anforderungen an die Infrastruktur für 140 Brennstoffzellenbusse) werden zudem unterschiedliche Planungsbüros beauftragt.

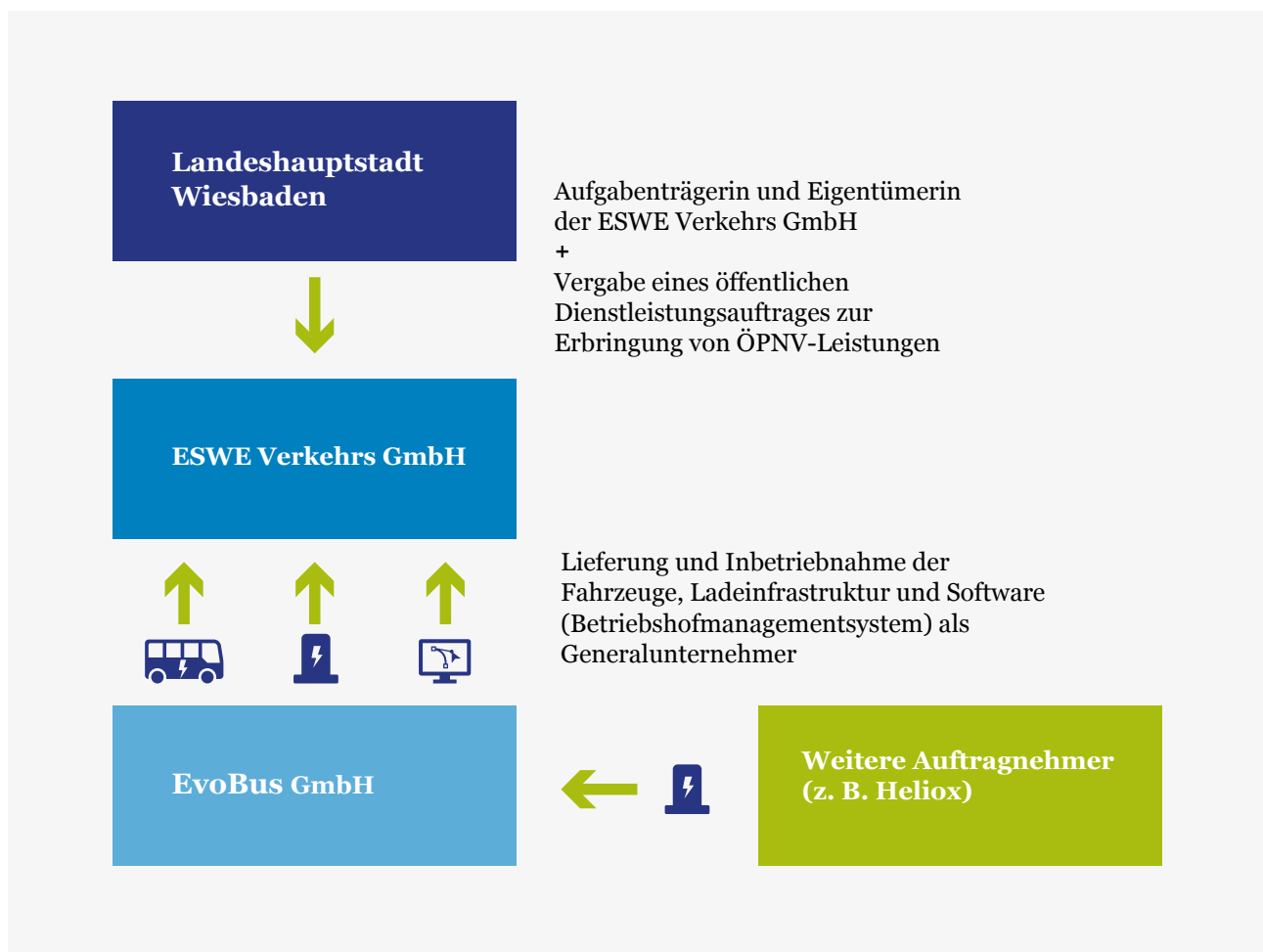


Abbildung 143: Projektbeteiligte bei der Elektrifizierung der Flotte der ESWE mit Batteriebussen

Finanzierung und Förderinstrumente

Die Beschaffung der 120 batterieelektrischen Solobusse und der dazugehörigen Lade- und Werkstattinfrastruktur wurde durch das BMWK gefördert. Die investive Förderung sieht dabei einen Zuschuss von 80 % auf die Investitionsmehrkosten der Fahrzeugbeschaffung (Mehrkosten gegenüber vergleichbaren Dieselfahrzeugen) und 40 % auf die Lade- und Werkstattinfrastruktur vor. In Summe ergaben sich somit zuwendungsfähige Mehrausgaben in Höhe von rund 65 Mio. €. Die ESWE hat hierfür über die Jahre 2019 bis 2021 insgesamt Fördermittel in Höhe von knapp 44 Mio. € erhalten.²⁹⁵

5.4.4.5 Gewonnene Erkenntnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen gewonnenen Erkenntnisse und Erfolgsfaktoren der laufenden Flottentransformation bei der ESWE in Wiesbaden zusammengefasst.

Begrenztes Fahrzeugangebot

Die Flottentransformation stand und steht weiterhin vor der Herausforderung eines begrenzten Fahrzeugangebotes. Insbesondere Gelenkbusse mit Brennstoffzellenantrieb sind nach wie vor nicht verfügbar. Auch die Marktverfügbarkeit von Batterie-Gelenkbussen ist eingeschränkt. Das Beschaffungsvorhaben für 140 Gelenkbusse mit Brennstoffzellen-Range-Extender musste aufgrund fehlender Bieter bzw. später Liefertermine zunächst aufgehoben werden.

Steigender Bedarf an Betriebsflächen während und nach Umbaumaßnahmen

Flächen für das Abstellen und Aufladen bzw. Betanken der E-Busse sind bei vielen Verkehrsunternehmen eine kritische Größe der Flottentransformation. Auch bei der ESWE stellen die Betriebsflächen eine knappe Ressource dar. Während des Aus- und Umbaus des Betriebshofes (wie beispielsweise des Aufbaus der Ladeinfrastruktur und des Carports) mussten temporär neue Abstellflächen geschaffen werden. Auch die Wasserstofftankstelle beansprucht zusätzlich Flächen auf dem Betriebshof. Hierbei mussten auch entsprechende Sicherheitsabstände zu Gebäuden berücksichtigt werden.

Akzeptanz bei Personal aus Fahrdienst und Werkstatt durch Testfahrzeuge schaffen

Verschiedene Vor-Ort-Tests von E-Bussen unterschiedlicher Hersteller haben dazu beigetragen, nicht nur wichtige Spezifikationen fachbereichsübergreifend zu identifizieren, sondern auch für eine breite Akzeptanz innerhalb der Belegschaft für die neuen Antriebstechnologien zu sorgen. Zur internen Akzeptanz tragen zudem wesentliche Grundsatzentscheidungen und eine offene Kommunikation bei. Von besonderer Bedeutung ist, dass alle Beteiligten „an einem Strang“ ziehen.

Enger Draht zu genehmigenden Behörden ist essenziell

Eine enge Kommunikation zwischen Verkehrsunternehmen und den genehmigenden Behörden ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Die städtischen Ämter sollten frühzeitig über das Vorhaben informiert und fest in den Planungsprozess und die spätere Umsetzung integriert werden. Auch eine regelmäßige und enge Zusammenarbeit mit dem lokalen Energieversorger stellte sich von Beginn an als wertvoll heraus. Die zeitlichen Verzögerungen durch neue Brandschutzauflagen zeigen zudem, dass auch ein enger Austausch zur Feuerwehr und weiteren entsprechenden Behörden von wichtiger Bedeutung ist.

Förderung der Betriebskosten im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Flottentransformation

Die investive Förderung der Mehrkosten der Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur hat dazu beigetragen, die notwendigen Investitionskosten der Anschaffung zu reduzieren. Für eine langfristige Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Flottentransformation und deren Erfolg wird indessen auch die Förderung der Betriebskosten angeregt. Diese könne schon durch weitere Befreiungen von Abgaben hinsichtlich des Fahrstrom- bzw. Wasserstoffbezugs erfolgen. Hinsichtlich der Förderung von Elektrobussen im ÖPNV wird daher eine ganzheitliche Sicht aus Anschaffung und Betrieb angeregt.

Laufenden Erfahrungsaustausch zwischen den Verkehrsunternehmen fördern und Standards setzen

Die Einführung von Elektrobussen in den laufenden Betrieb betrifft derzeit nahezu jedes Verkehrsunternehmen, welches Leistungen im öffentlichen Verkehr mit Bussen erbringt. Ein laufender Erfahrungsaustausch zwischen den Verkehrsunternehmen wird dazu beitragen können, wichtige Erkenntnisse und Lösungsansätze zu teilen und somit die Flottentransformation deutschlandweit effizienter zu gestalten. Aus der gemeinsamen Zusammenarbeit zwischen Verkehrsunternehmen, Verbänden, Wirtschaft und Politik sollten zukünftig vermehrt Standards hinsichtlich der Einführung und des Betriebs von E-Bussen und deren Ladeinfrastruktur hervorgehen.

Nachträgliche Informationen (Stand Mai 2023)

Im weiteren Projektverlauf haben sich einige Anpassungen des Vorhabens der Flottentransformation bei der ESWE in Wiesbaden ergeben. Zwar wurde im Au-

gust 2022 der 100. Mercedes-Benz eCitaro mit batterieelektrischem Antrieb ausgeliefert, jedoch gab die ESWE auch bekannt, dass die Umstellung von insgesamt 220 Bussen auf emissionsfreie Antriebe bis zum Jahr 2025 nicht machbar ist. Die ursprünglich ambitionierte Planung wurde somit widerrufen und im Jahr 2022 wurden in der Konsequenz 24 neue Dieselsebusse beschafft. Als Grund für diese Neuausrichtung wird insbesondere die unzureichende Flächenplanung genannt. Der aktuelle ESWE-Betriebshof bietet nicht ausreichend Platz für den Aufbau der benötigten Ladeinfrastruktur und auch die Werkstattflächen seien nicht für eine größere Batteriebusflotte ausgelegt. Die Neuausrichtung der Fuhrparkstrategie sieht zudem eine Fokussierung auf den batterieelektrischen Antrieb und damit den Verkauf der zehn bereits eingeflotteten Brennstoffzellenbusse vor.²⁹⁶ Die ersten fünf ihrer zehn verkauft ESWE Verkehr an die Mainzer Mobilität. Zum derzeitigen Stand setzt die ESWE 120 batterieelektrische Solobusse von Mercedes-Benz ein.

5.5 Fallbeispiele in Langfassung international

5.5.1 Fallbeispiel Shenzhen

5.5.1.1 Ausgangssituation

Shenzhen ist eine der größten Metropolen der Welt und liegt in der südöstlichen Provinz Guangdong in China. Shenzhen hat eine Bevölkerung von etwa 11 Millionen Menschen.²⁹⁷ Die Metropole verfügt über ein U-Bahn-System mit sechs Linien mit einer geschätzten Länge von 231 km, 917 Buslinien mit einer Gesamtfahrgastzahl von etwa 5,7 Millionen Menschen pro Tag und ein Taxisystem mit 21.500 Fahrzeugen.²⁹⁸ Die Stadt hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 die Länge der U-Bahn-Linien auf 720 km und das BRT-System auf 820 km auszubauen. Der Busverkehr wird im Wesentlichen von drei staatlichen Busunternehmen betrieben: Shenzhen Bus Group Company Ltd (SZBG), Shenzhen Eastern Public Transport Co. Ltd und Shenzhen Western Public Transport Co. Ltd, die unter der Aufsicht der Verkehrskommission der Stadt Shenzhen stehen.

Im Jahr 2009 wurde die Stadt von der nationalen Regierung als eine der 13 Pilotstädte für Elektrofahrzeuge ausgewählt und war bereits 2017 die erste Stadt der Welt mit einer vollständig elektrifizierten Busflotte mit insgesamt 16.359 Bussen. Diese Elektrifizierung trug dazu bei, die Luftqualität in der Stadt zu verbessern. Die Zahl der Smogtage konnte von 115 im Jahr 2010 auf 35 im Jahr 2015 gesenkt werden. Auch in den Jahren 2016 und 2017 hat die Stadt ihre Ziele zur Verbesserung der Luftqualität erreicht. Die durchschnittliche PM_{2,5}-Konzentration wurde zwischen 2010 und 2015 um mehr als 50 % gesenkt.²⁹⁹

5.5.1.2 Vorgehensweise

Diese Fallstudie legt den Fokus exemplarisch auf die Elektrifizierung der Busflotte der Shenzhen Bus Group Company Limited (SZBG). Hierzu wurden öffentlich verfügbare Studien, Fachartikel und Medienberichte unterschiedlicher Autoren ausgewertet. Die E-Bus-Flottentransformation wurde zum Ende des

Jahres 2017 in Shenzhen vollständig abgeschlossen. Die Fallstudie betrachtet folglich den Zeitraum der Transformation beginnend im Jahr 2009 und endet mit der Betrachtung des vollständig elektrifizierten und eingeschwungenen E-Bus-Betriebs im Jahr 2018.

5.5.1.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Die SZBG betreibt im Jahr 2018 etwa ein Drittel aller Buslinien und transportiert 800 Mio. Fahrgäste in Shenzhen mit einer Flotte von 6.053 E-Bussen, 5.807 Taxis und 973 On-demand-Fahrzeugen. Im Mai 2008 begann die SZBG mit der Elektrifizierung der Busse und schloss die gesamte Elektrifizierung der Busflotte in drei Phasen bis Juni 2017 ab. Zu Beginn der Flottentransformation wurde im Jahr 2008 ein Diesel-Plug-in-Hybridbus (D-PHEV) in den Testbetrieb genommen. Im Sommer 2009 erfolgte die Einfloftung von zehn D-PHEV-Bussen und deren Einsatz im Regelbetrieb. Die ersten vollelektrischen Batteriebusse wurden im Juli 2011 beschafft, konkret waren dies 10 Solo- und 26 Midibusse. Im Anschluss daran konnte die erste elektrische Buslinie im September 2012 eröffnet werden. Die vollständige Elektrifizierung der Busflotte wurde hingegen in weniger als zwei Jahren, zwischen November 2015 und Juni 2017, umgesetzt.³⁰⁰ Während dieser Zeit deckten die Zuschüsse der nationalen und lokalen Regierungen zusammen etwa 50 % der Investitionskosten der Batteriebusse. Von den insgesamt 6.053 E-Bussen sind 4.964 als Solobusse mit einer Länge von über 10 m und 1.089 als Midibusse mit einer Länge von weniger als 10 m klassifiziert. Die Busse wurden hauptsächlich von drei Herstellern mit Sitz und Produktion in China bezogen. Der Hersteller BYD kommt auf einen Anteil an der SZBG-Flotte von 79 %, Nanjing Golden Dragon 17 % und Wuzhoulong auf 4 %.

Fahrzeugspezifikationen

Die durchschnittliche Fahrstrecke der SZBG-Buslinien beträgt 190 km. Der Batteriebus BYD K8 ist mit einem Anteil von 66 % am häufigsten in der SZBG-Flotte vertreten und hat eine Reichweite von 250 km. Der 10,5-m-Bus benötigt folglich keine Zwischenla-

dung während des Fahrbetriebs, sondern wird über Nacht im Depot nachgeladen. Die Ladezeit an einer DC-Ladesäule beträgt dabei ca. 2,5 Stunden (die Nachladung an einer AC-Ladesäule entsprechend ca. 5 Stunden).³⁰¹

Fahrzeughersteller	BYD	BYD	BYD	BYD	BYD
Modell	K8	K8S	K8S	C8A	C8B
Fahrzeuglänge	10.5	10.2	10.2	10.5	10.5
Max. Kapazität Passagiere	87	72	77	44	46
Klimaanlage	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Batteriekapazität (kWh)	292	332	253	290	256

Tabelle 27: Übersicht der eingesetzten BYD-Elektrobuse bei der SZBG

Ladeinfrastruktur

Die Beschaffung der Ladeinfrastruktur erfolgte bei den Busherstellern parallel zu den Fahrzeugen. Eigentum und Betrieb der Ladeinfrastruktur erfolgt nicht durch die SZBG, sondern durch externe Ladedienstleister. Im Jahr 2018 wurden die E-Busse und E-Taxis der SZBG an insgesamt 123 Standorten mit rund 2.596 Ladepunkten nachgeladen. Davon sind 1.707 Ladepunkte an den Endhaltestellen der Buslinien installiert, es ergibt sich folglich ein hoher Anteil des Opportunity Chargings. Zudem zeigt sich eine relativ hohe Auslastung der Ladepunkte mit einem Verhältnis von 1:5 von Ladegeräten zu Bussen.

Diese Ladeinfrastruktur wird von neun Betreibern installiert und betrieben, wobei der Hauptanteil mit 35 % auf das staatliche Unternehmen Potevio entfällt. Die Ladedienstleister erhalten im Rahmen des „Shenzhen Blue Plan“ Subventionen seitens der lokalen Regierung. Die Regierung subventioniert DC-Gleichstrom-Ladegeräte mit 600 RMB/kW (ca. 84 €/kW), AC-Wechselstrom-Ladegeräte mit mehr als

40 kW mit 300 RMB/kW (42 €/kW) und AC-Wechselstrom-Ladegeräte mit weniger als 40 kW mit 200 RMB/kW (28 €/kW). Sowohl die SZBG als auch die lokale Regierung stellt Flächen für die Ladeinfrastruktur zur Verfügung. Die Behörden in Shenzhen unterstützten das Vorhaben mit der Vereinfachung und Beschleunigung der notwendigen Genehmigungsverfahren für den Bau der Ladeinfrastruktur.

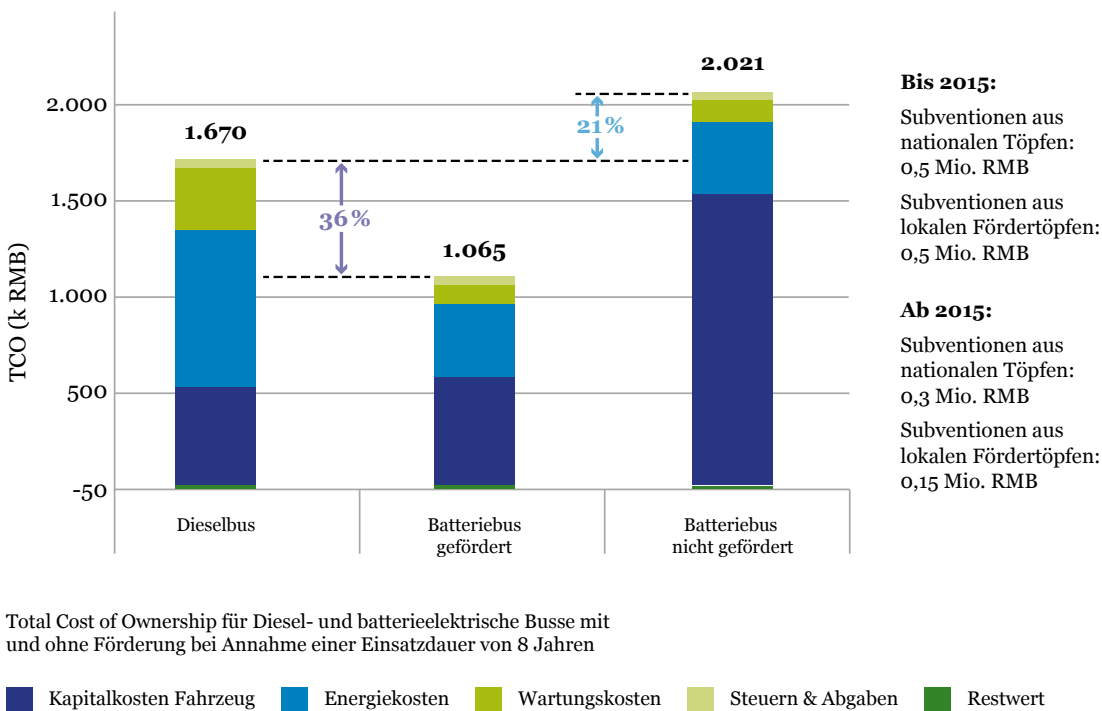
Bei der Mehrzahl der Ladestationen handelt es sich um Gleichstrom-Schnellladegeräte, von denen 50 % mit einer Leistung von 150 kW und die übrigen mit 180 kW konfiguriert sind. Mit Ausnahme einiger weniger Umläufe, auf denen die E-Busse tagsüber für etwa 30 Minuten aufgeladen werden müssen, laden die E-Busse nachts in den Depots. Mit dem Ziel, den Platzbedarf der Ladeinfrastruktur und die Baukosten für die Ladeinfrastruktur zu reduzieren, das maximale Potenzial des nächtlichen Ladens (zu niedrigen Strompreisen) zu nutzen und die erforderlichen Rangierfahrten an den Ladesäulen zu verringern, hat die SZBG im Jahr 2016 ein „Netzladekonzept“

eingeführt.³⁰² Dies sieht im Wesentlichen kompakte Ladesäulen mit vier Ladepunkten vor. Zwar teilt sich die Ladeleistung dann entsprechend den angeschlossenen Fahrzeugen auf und die Ladezeit verlängert sich, jedoch können so aufwendige Rangierfahrten während der Depotladung über Nacht deutlich verringert und somit zudem Flächen eingespart werden. In einem weiteren Schritt wurde zusätzlich das intelligente Laden eingeführt, um die Ladeeffizienz der einzelnen Ladepunkte unter Berücksichtigung des Ladezustands der E-Bus-Batterien zu maximieren.

Anschaffungs- und Betriebskosten

Im Folgenden werden exemplarisch für die Flottentransformation bei der SZBG die TCO eines konventionellen Dieselbusses mit den TCO eines BYD K8 Elektrobusses gegenübergestellt. Hierbei ist auch die E-Bus-Förderung mit zu berücksichtigen.

Die Total Cost of Ownership liegen mit 2,02 Mio. RMB (ca. 282.000 €) ohne Förderung rund 21 % höher als die eines Dieselbusses mit 1,67 Mio. RMB (ca. 233.000 €). Dies ist auf die um den Faktor 3 höheren Anschaffungskosten der E-Busse zurückzuführen. Dazu gegenläufig fallen die Betriebskosten eines E-Busses für die Treibkraft, Wartung und Instandhaltung insgesamt etwa um den Faktor 2 geringer aus. Durch die Förderung der Investitionsmehrkosten der Anschaffung ergeben sich schließlich TCO eines E-Busses in Höhe von 1,065 Mio. RMB (ca. 149.000 €) und somit eine Kosten-senkung von 36 % gegenüber der TCO eines Dieselbusses für die SBZG. Die folgende Abbildung stellt die Total Costs of Ownership eines Dieselbusses den Kosten eines Batteriebus mit und ohne Förderung in diesem Fallbeispiel grafisch gegenüber.³⁰³



Total Cost of Ownership für Diesel- und batterieelektrische Busse mit und ohne Förderung bei Annahme einer Einsatzdauer von 8 Jahren

Abbildung 144: Vergleich der Total Costs of Ownership in Shenzhen

Auffällig ist das im Vergleich zum europäischen bzw. deutschen Markt geringere Niveau der Anschaffungspreise für sowohl Diesel- als auch Batteriebusse.

5.5.1.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Das Projekt ist eine Initiative der örtlichen Stadtverwaltung und wurde mit Unterstützung der nationalen und der Provinzregierung durchgeführt. Die Shenzhen Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Promotion Leading Group (SNEVLG) erleichterte die Einführung von E-Bussen in der Stadt, indem sie die Koordination auf nationaler, lokaler und industrieller Ebene als zusammenführende Instanz übernahm.

Die Akteure auf nationaler Ebene unterstützten das Projekt hauptsächlich durch die Bereitstellung von Fördermitteln für die Anschaffung von E-Bussen. Bei der Anschaffung eines Busses durch die Stadtverwaltung werden die Fördermittel dabei direkt an die

E-Bus-Hersteller ausgereicht. Des Weiteren unterstützen die lokalen und regionalen Behörden die Ladedienstleister, Bushersteller und die SZBG durch die Bereitstellung von Grundstücken, Stromanschlüssen, erforderlichen Genehmigungen für die Flächennutzung und Zuschüssen für den Busbetrieb sowie durch zusätzliche Fördermittel für den Kauf von E-Bussen und die Installation der Ladeinfrastruktur.

Die Kommunalverwaltung erleichterte durch ihre verschiedenen Abteilungen die Umsetzung des Gesamtprojekts, indem sie die erforderlichen Grundstücksgenehmigungen und Stromanschlüsse bereitstellte. Sie ist insbesondere für die übergeordnete Überwachung und Steuerung des E-Bus-Betriebs zuständig.

Die spezifischen Beiträge der verschiedenen Projektbeteiligten auf Ebene der nationalen Regierung, der Kommunalverwaltung und der Industrie sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Stakeholder-Ebene	Stakeholder	Beitrag
Chinesische Regierung	Ministerium für Industrie und Informationstechnik (MIIT)	Gewährung von Fördermitteln für E-Bus-Hersteller
	Finanzministerium (MOF)	
	Staatliche Kommission für Entwicklung und Reform (NDRC)	
	Ministerium für Wissenschaft und Technologie (MOST)	
Lokale und Provinzregierung	Shenzhen Development and Reform Commission (SDRC) & SFB	• Gewährung von Fördermitteln für E-Bus-Hersteller • Gewährung von Fördermitteln für Ladeinfrastrukturdienstleister (LID)
	Transport Commission of Shenzhen (STC)	• Gewährung von Betriebskostenzuschüssen für SZBG • Aufsicht der Busbetriebs • Erleichterung von Genehmigungsverfahren für LID
	Shenzhen Urban Planning and Land Resources Commission (SUPLRC)	• Erleichterung von Genehmigungsverfahren für LID
	China Southern Power Grid (CSG)	• Unterstützung des LID bei der Anbindung der Ladeinfrastruktur an die Stromversorgung
	Bezirksämter	• Erleichterung von Genehmigungsverfahren für LID
Industrie	Bushersteller (OEM)	• Schulung der Bustechniker der SZBG • Bereitstellung von E-Bussen für Betreiber oder Leasingunternehmen • Lebenslange Garantien für SZBG für Motoren, elektrische Steuerung und Batterien • Bereitstellung einer lebenslangen Garantie für Ladestationen an LID • Übernahme der Wartung der Busse
	Ladeinfrastrukturdienstleister (LID)	• Beschafft die Ladeinfrastruktur von Bushersteller • Installiert & übernimmt Betrieb und Wartung der Ladeinfrastruktur • Bereitstellung von Ladediensten für E-Busse
	SZBG	• Bereitstellung von Ladeflächen an LID • E-Bus-Beschaffungsvertrag mit Bushersteller • Betrieb der E-Busse im Linienverkehr

Tabelle 28: Übersicht der Projektbeteiligten in Shenzhen

Finanzierung und Förderinstrumente

Die E-Busse wurden durch eine Reihe von Instrumenten seitens der nationalen und lokalen Regierungen gefördert. Die nationale Regierung stellte Kapitalzuschüsse ausschließlich für den Kauf von Bussen zur Verfügung, während die lokale Regierung Kapitalzuschüsse für den Kauf von Bussen, für die Installation der Ladeinfrastruktur und Zuschüsse für den Betrieb von E-Bussen gewährte. Der Kapitalzuschuss für den Kauf von E-Bussen wurde von der nationalen und der lokalen Regierung direkt an den E-Bus-Hersteller ausgezahlt, während der Kapitalzuschuss für den Aufbau der Ladeinfrastruktur an den Ladedienstleister und der Zuschuss für den E-Bus-Betrieb direkt an die SZBG geleistet wurde.

Der nationale Zuschuss bis zum Jahr 2015 für die Anschaffung von E-Bussen betrug 500.000 RMB (ca. 70.000 €) pro Bus mit einer Länge von mehr als 10 Metern. Ein Zuschuss in gleicher Höhe wurde von

der lokalen Regierung gewährt. Nach dem Jahr 2015 wurde der nationale Kapitalzuschuss für den Kauf von E-Bussen auf rund 300.000 RMB (ca. 42.000 €) reduziert und gleichzeitig reduzierte auch die lokale Regierung von Shenzhen den Kapitalzuschuss auf 50 % des Kapitalzuschusses. Der reduzierte Kapitalzuschuss führte zu höheren Gesamtbetriebskosten für SZBG, weshalb das Unternehmen ab dem Jahr 2016 zum Leasingmodell überging. Im Rahmen dieses Modells kaufte eine Leasinggesellschaft die Elektrobusse vom Bushersteller zu einem subventionierten bzw. geförderten Preis und die SZBG leaste diese Busse über acht Jahre. Auf diese Weise bewegte sich die SZBG in Richtung eines sogenannten Asset-Light-Modells „Finanzierungsleasing plus Trennung von Fahrzeug und Strom plus Kombination von Aufladung und Wartung“. Die nachstehende Abbildung zeigt den allgemeinen Rahmen für die Umsetzung des von der SZBG ab dem Jahr 2016 umgesetzten Leasingmodells.

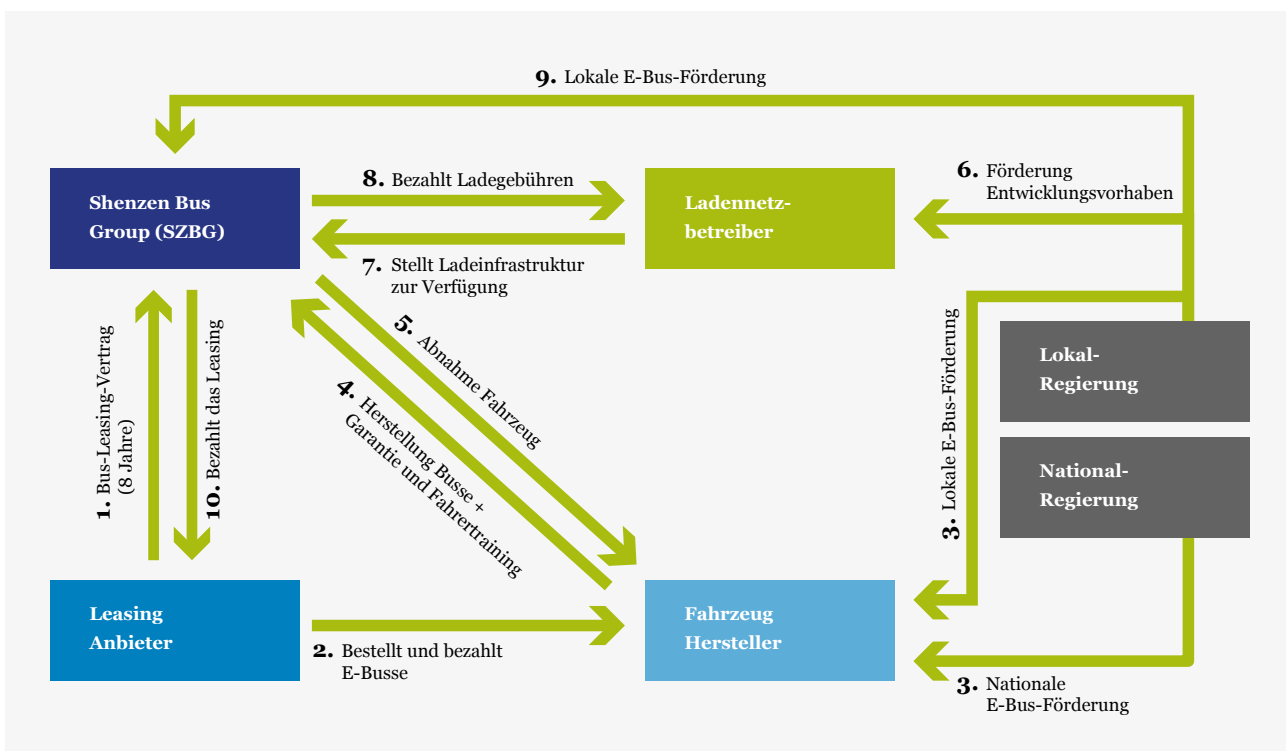


Abbildung 145: Allgemeiner Rahmen für die Umsetzung des SZBG-Leasingmodells

Nach Ablauf des Leasingzeitraums gehen die Fahrzeuge in das Eigentum der SZBG über. Wenn das Fahrzeug die festgelegten Leistungsindikatoren aufgrund technischer Probleme während der acht Jahre nicht erfüllt, trägt der E-Bus-Hersteller die entsprechenden Wartungs- und Instandhaltungskosten. Der E-Bus-Hersteller führt zudem Schulungen für Betrieb und die Wartung der Fahrzeuge für das SZBG-Personal durch und gewährt eine lebenslange Garantie auf die E-Busse.

Für die Ladestationen arbeitet die SZBG mit professionellen Ladeinfrastrukturbetreibern zusammen. Die Ladeinfrastrukturdienstleister sind für den Bau, den Betrieb und die Wartung der Ladesäulen sowie für die Aktualisierung der Technologie verantwortlich und berechnen der SZBG gleichzeitig Gebühren auf der Grundlage des Stromverbrauchs.

5.5.1.5 Gewonnene Erkenntnisse

Starkes Engagement der Stadtverwaltung

Die Stadtverwaltung von Shenzhen hat eine führende Rolle bei der Entwicklung umfassender Vorschriften, technischer Standards und Richtlinien eingenommen. Die Stadtverwaltung war zudem maßgeblich an einer zielgerichteten Koordinierung der verschiedenen Stakeholder beteiligt und konnte so einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Flottentransformation leisten.

Umfangreiche Fördermittel

Die hohen Anschaffungskosten stellten mitunter die größte Herausforderung bei der E-Bus-Flotten-transformation in Shenzhen dar. Der Hersteller BYD gibt eine achtjährige Garantie auf die Batterie und den elektrischen Antriebsstrang inklusive der Leistungselektronik. Übliche Wartungs- und Reparaturarbeiten, die bei konventionellen Dieselnissen notwendig sind, entfallen. Obwohl die Wartungs- und Instandhaltungskosten im Vergleich zu konventionellen Dieselnissen somit insgesamt geringer sind, ergeben sich durch die höheren Kosten der Anschaffung insgesamt auch höhere Total Costs of Ownership der elektrischen Busflotte.

Die Gewährung von Fördermitteln stellte sich als wirksame politische Maßnahme heraus, um die Investitionsmehrkosten zwischen E-Bussen und konventionellen Dieselnissen auszugleichen und somit insbesondere den Hochlauf der Flottentransformation zu stimulieren. Mit zunehmender Reife des E-Fahrzeug-Angebotes konnten die nationalen und lokalen Zuwendungen jedoch reduziert oder sogar eingestellt werden, um anschließend den Wettbewerb auf dem Markt und die technologische Entwicklung bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen zu fördern. Grundsätzlich fällt aber auch das unterschiedliche Preisniveau der Busse auf. Für einen ungeförder-ten Batteriebus ergibt sich ein Anschaffungspreis in der Größenordnung von etwa 200.000 €. Zum Vergleich: In Europa liegen die Anschaffungspreise etwa um den Faktor 2–3 höher.

Zusammenarbeit der politischen und unternehmerischen Akteure

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Fallbeispiel ist die Bedeutung der Schaffung eines kooperativen Umfelds für E-Bus-Flottentransformation im öffentlichen Verkehr. Die Partnerschaft zwischen Busbetreibern, Busherstellern und Finanzorganisationen hat die technologische Unsicherheit erheblich verringert und die Kosten- bzw. Risikolast verteilt. Neben Regierungs- und Industriepartnern arbeitete die SZBG auch eng mit privaten Unternehmen und gemeinnützigen Organisationen wie Huawei, Didi und dem Internationalen Verband für öffentliches Verkehrswesen (UITP) zusammen, um Innovationen zu erproben (darunter ein intelligentes Dispositionssystem, On-demand-Busverkehre und autonome Busse).

In der schnell wachsenden Metropole Shenzhen herrscht eine hohe Nachfrage nach Grundstücksflächen. Eine weitere wesentliche organisatorische Herausforderung stellte die Erschließung geeigneter Grundstücke für die Errichtung und den Betrieb (sowohl im Depot- als auch Opportunity Charging) der Ladeinfrastruktur dar. Als wichtiger Erfolgsfaktor ist hier die enge Zusammenarbeit zwischen den kom-

munalen Institutionen und den Ladedienstleistern zu nennen. Die Shenzhen Urban Planning and Land Resources Commission und die kommunalen Bezirksämter unterstützten das Vorhaben durch vereinfachte Genehmigungsverfahren hinsichtlich Landnutzungsänderungen oder Umsiedlungen.

Interne Organisation

Die SZBG verbesserte auch die Zusammenarbeit innerhalb des eigenen Unternehmens durch die Einrichtung einer Technologieabteilung, deren Hauptaufgabe darin besteht, die abteilungsübergreifende Koordinierung von Flottenmanagement, Wartung und Instandhaltung, Finanzen, Beschaffung, IT, Personal und strategischen Investitionen bei der Einführung neuer Technologien zu gewährleisten.

Anpassung der Betriebskonzepte

In einigen E-Bus-Projekten stellt die verfügbare elektrische Reichweite der Batteriebusse ein wesentliches Hemmnis für den Erfolg der Flottenelektrifizierung dar. In diesen Fällen können Anpassungen an den betrieblichen Umläufen der Busse oder Zwischenladungen während des Betriebseinsatzes notwendig werden. Das Metronetz in Shenzhen erfährt einen stetigen Ausbau und viele Buslinien fungieren daher hier als Zubringer. Aufgrund der relativ geringen täglichen Fahrstrecke der E-Busse ist die Reichweite daher in Shenzhen ein weniger kritischer Faktor. Wie dargestellt, wird der Großteil der Flotte über Nacht im Depot nachgeladen und nur gelegentlich erfolgt ein Ladestopp im Fahreinsatz. Die Fahrstrecke der E-Busse hat hingegen einen wesentlichen Einfluss auf die E-Bus-Gesamtkosten und auf die Wettbewerbsfähigkeit zu konventionellen Bussen: Die höheren Kapitalkosten der E-Busse stehen geringeren Betriebskosten pro Kilometer gegenüber. Die Vorteilhaftigkeit der E-Busse in Bezug auf die laufenden Betriebskosten steigt somit im Vergleich zu Bussen mit Dieselantrieb mit jedem gefahrenen Kilometer. Aufgrund der geringeren Fahrleistung der Shenzhener Busse wirkt sich dieser Effekt somit weniger stark auf die Gesamtkosten aus.

Angepasstes Finanzierungsmodell zur Risikoteilung

Die Flottentransformation in Shenzhen liefert in der Gesamtbetrachtung mit Blick auf die Finanzierung einige interessante Punkte im Sinne von möglichen übertragbaren „Good Practices“. Das innovative Finanzierungsmodell zur Einführung von E-Fahrzeugen ermöglichte eine Risikostreuung und gleichzeitig einen breiteren Zugang zu finanziellen Ressourcen, darunter Mittel der Zentralregierung und der lokalen Regierung sowie privates Kapital. Im Rahmen des Modells wurden die technischen und wirtschaftlichen Risiken zwischen Busunternehmen, Fahrzeugherstellern, Drittfinanzierungsleasingunternehmen und Betreibern von Ladeeinrichtungen aufgeteilt. Die Kapitalkosten wurden von den Betriebskosten getrennt und die Fahrzeuge von Batterien und Antriebsstrang sowie der Ladeinfrastruktur kostenseitig entkoppelt. Durch festgeschriebene Garantieverträge sind die Fahrzeughersteller für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen verantwortlich. Die Hersteller erhielten so Anreize zur Verbesserung der Fahrzeugqualität und zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Hinblick auf Haltbarkeit und Wiederverwendung.

Das Konzept der eigenständigen Ladeinfrastrukturdienstleister erlaubt Überlegungen hinsichtlich eines ähnlichen Konzepts auf kommunaler Ebene in Deutschland. Denkbar wäre hier ein stärkerer Fokus auf die Trennung zwischen E-Bus-Betrieb bei den öffentlichen Verkehrsunternehmen sowie der Errichtung und dem Betrieb der Ladeinfrastruktur für das Laden der E-Busse. Ein eigenständiges kommunales Ladeinfrastrukturunternehmen könnte in diesem Sinne Ladedienste für die Verkehrsunternehmen übernehmen und parallel dazu auch öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für private Nutzer schaffen. Technische und wirtschaftliche Risiken könnten so gebündelt und die Verkehrsunternehmen so finanziell und organisatorisch bei der Flottentransformation entlastet werden.

Vergleichbarkeit mit Deutschland

- Einige der geschilderten Maßnahmen und Vorgehensweisen sind auf Deutschland bzw. die Europäische Union nur bedingt übertragbar aufgrund der unterschiedlichen Gesetzeslage bzw. den allgemein unterschiedlichen (wirtschafts-)politischen Grundsätzen.
- Shenzhen ist die erste Sonderwirtschaftszone in China mit einer Wirtschaft, die in den letzten 40 Jahren erheblich gewachsen ist. Die Stadtverwaltung von Shenzhen verfügt über eine relativ große Finanzkraft, die es ihr ermöglicht, Risiken mit privaten Investoren zu teilen und hohe Fördermittel und Steuersenkungen zu gewähren.

Shenzhen hat im Vergleich zu anderen chinesischen Städten eine starke Marktvitalität als Sonderwirtschaftszone, in der die Unternehmen und Institutionen vor Ort aufgeschlossen gegenüber neuen Technologien und Märkten sind. Die enge Verzahnung aus Shenzhens politischen und wirtschaftlichen Ansätzen hat ein einzigartiges Umfeld für die Entwicklung der elektrischen Flottentransformation, nicht nur im öffentlichen Verkehr, geschaffen.

5.5.2 Fallbeispiel Ahmedabad

5.5.2.1 Ausgangssituation

Ahmedabad ist mit sieben Millionen Einwohnern die größte Metropole des westlichsten Bundesstaates Gujarat in Indien. Die indische Regierung wählte Ahmedabad als eine der Städte der „smart city mission“ aus.³⁰⁴ Gesetztes Ziel der Stadt ist es, jedem Haushalt im Umkreis von 400 Metern ein digitales und integriertes multimodales Verkehrssystem, bestehend aus einem Bus Rapid Transit System (BRT), Taxis und U-Bahnen, anzubieten.

Ahmedabad verfügt über ein öffentliches Verkehrssystem mit Bussen, einen eigenen BRT-Korridor von 100 km Länge und darüber hinaus befindet sich ein U-Bahn-Projekt in Planung. Rund 1.000 Busse befördern täglich knapp 800.000 Menschen in Ah-

medabad. Die beiden öffentlichen Verkehrsbetriebe der Stadt, Ahmedabad Municipal Transport Service (AMTS) für den traditionellen öffentlichen Verkehr und Ahmedabad Janmarg Limited (AJL) für das BRT-System, betreiben und verwalten die öffentlichen Verkehrsdienste. AMTS betreibt rund 750 Busse in der Stadt und AJL rund 250 Busse.

Ahmedabad ist eine von mehreren indischen Städten mit mehr als einer Million Einwohner, die im Rahmen des Programms der Bundesregierung zur schnelleren Einführung und Herstellung von (Hybrid- und) Elektrofahrzeugen in Indien (FAME India) Unterstützung zur Förderung umfassender Lösungen zur Verbesserung der Luftqualität erhalten. Die Unterstützung wurde bewilligt, um multimodale öffentliche Verkehrssysteme durch öffentlich genutzte Elektromobilität zu fördern. Die Auswahl der Städte im Rahmen des FAME-Programms erfolgte auf der Grundlage der Einwohnerzahl, der durchschnittlichen PM_{2,5}-Belastung, der Fahrzeugdichte/10.000 Einwohner, der Straßendichte usw. Im Jahr 2017 wurde Ahmedabad im Rahmen von FAME eine Unterstützung für den Kauf von 40 Elektrobussen, 20 Elektrotaxis und 20 dreirädrigen Fahrzeugen bewilligt.³⁰⁵ Im zweiten Quartal 2019 erhielt die Stadt eine Unterstützung für den Kauf von 300 E-Bussen im Rahmen der zweiten Phase des FAME II-Programms.³⁰⁶ Im ersten Quartal 2018 beschaffte die Stadt auf eigene Initiative ebenfalls rund 300 E-Busse.³⁰⁷

5.5.2.2 Vorgehensweise

Die Fallstudie wurde unter Bezugnahme auf die offiziellen Pressemitteilungen, Interessenbekundungen und Ausschreibungen entwickelt, die von der Abteilung für Schwerindustrie, der Ahmedabad Municipal Corporation (AMC) und AJL herausgegeben bzw. angekündigt wurden. Des Weiteren wurden Präsentationen und Veröffentlichungen der AJL verwendet.

5.5.2.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Die AJL ist eine Zweckgesellschaft zum Betrieb des BRT-Systems und befindet sich vollständig im Besitz der Ahmedabad Municipal Corporation (AMC). Sie betreibt rund 250 Busse auf dem eigens dafür vorgesehenen BRT-Korridor und befördert täglich rund 150.000 Menschen in der Stadt Ahmedabad. AJL führt das Ausschreibungsverfahren für die Beschaffung von E-Bus-Diensten (Konzessionsmodell für Beschaffung, Betrieb und Wartung) durch und setzt die Busse je nach Bedarf im Rahmen des BRT-Betriebs oder auf den herkömmlichen Buslinien des zweiten Verkehrsbetriebs AMTS ein. Insgesamt wurde über drei Phasen der Betrieb von 650 E-Bussen ausgeschrieben, die sich aktuell in Betrieb befinden. Als spätere Betreiber der E-Busse nahmen die E-Bus-Hersteller am Ausschreibungsverfahren teil.

Die Stadt begann im März 2018 mit der Einführung von Elektrobussen und hat bereits rund 650 Elektrobusse in drei Phasen bestellt.

- **Phase 1:** Beschaffung, Lieferung und Wartung von 50 E-Bussen im März 2018 mit finanzieller Unterstützung von AMC, der lokalen Landesregierung und eigenen Mitteln. In Phase 1 erhielt Ashok Leyland den Zuschlag für 32 Busse als Depotlader und für 18 Busse mit Batterietausch (Battery-Swap) Konzept.
- **Phase 2:** Auftragserteilung auf der Grundlage eines Bruttokostenvertragsmodells für die Beschaffung, den Betrieb und die Wartung von 300 E-Bussen im März 2019 mit finanzieller Unterstützung der AMC, der lokalen Landesregierung und aus eigenen Mitteln. Der indische Fahrzeughersteller Tata erhielt den Zuschlag für Lieferung und Betrieb von 300 Tata Ultra 9 m.
- **Phase 3:** Vergabe eines Auftrags für die Beschaffung, den Betrieb und die Wartung von 300 E-Bussen im Dezember 2019 auf der Grundlage eines Bruttokostenvertrags mit finanzieller Unterstützung aus dem FAME II-Programm. In Phase 3 erhielten zwei Busersteller einen Zuschlag: zum einen Vivek für 180 E-Busse in 9 m Länge und zum anderen erneut Tata mit 120 E-Bussen. Detaillierte Fahrzeugspezifikationen werden nachfolgend dargestellt.

Fahrzeugspezifikationen

Phase I		
Fahrzeughersteller	Ashok Leyland	Ashok Leyland
Modell	Circuit	Circuit S
Anzahl	32	18
Fahrzeuglänge	12 m	9 m
Max. Kapazität Passagiere	50	50
Klimaanlage/Heizung	Ja/nein	Ja/nein
Reichweite (km)	300	50
Ladedauer	2,5 Stunden	< 4 Minuten (Battery-Swap Austauschzeit)

Phase II	
Fahrzeughersteller	TATA Motors
Modell	Tata Ultra 9/9 m Electric bus
Anzahl	300
Fahrzeuglänge	9 m
Max. Kapazität Passagiere	40
Klimaanlage/Heizung	Ja/nein
Batteriekapazität	124 kWh (erweiterbar)
Reichweite (km)	>150

Phase III		
Fahrzeughersteller	Vivek Travels Pvt. Ltd	Tata Motors
Anzahl ³⁰⁸	180	120
Fahrzeuglänge	9 m	9 m
Max. Kapazität Passagiere	50	50
Klimaanlage/Heizung	Ja/nein	Ja/nein
Batteriekapazität	k. A.	k. A.
Erwartete Reichweite laut Ausschreibung (km)	220	220

Tabelle 29: Fahrzeugspezifikationen der in Ahmedabad eingesetzten Elektrobusse

Ladeinfrastruktur

Die AJL bezuschusst den Aufbau der Ladeinfrastruktur zu 100 % auf der Grundlage einer Genehmigung durch die indische Regierung. Der ausgewählte Elektrobusbetreiber trifft die Entscheidung über die Anzahl der notwendigen Ladepunkte und das entsprechende Nachladekonzept der erforderlichen Ladeinfrastruktur. Wird der Zuschuss durch die Regierung bewilligt, ist der ausgewählte Betreiber für die Bereitstellung, die Installation, den Betrieb und die Wartung der Ladeinfrastruktur verantwortlich,

oder der ausgewählte Betreiber legt der Behörde im Voraus detaillierte Spezifikationen für die Ladeinfrastruktur und den Strombedarf vor.

Die AJL stellt dabei auf ihre Kosten:

- die Lade-, Park- und Buswartungsplätze,
- Depotgelände, Umzäunung, Verwaltungsbüro, Busbuchten und einfache Wasser- und Stromanschlüsse,

- Zugang zum Stromnetz mit der erforderlichen Last/Kapazität, einschließlich einer 11-kV-Leitung in Absprache mit dem Betreiber an einem Punkt,
- Unterstützung des Betreibers bei der Beschaffung von Unterstationen in den Wartungsdepots zur Verfügung.

Der Busbetreiber sorgt auf eigene Kosten für:

- nachgelagerte elektrische Infrastruktur ab dem 11-kV-Anschlusspunkt, wie z. B. Abspanntransformatoren, Niederspannungs-/Hochspannungsschaltanlagen, Stromverteilungsinfrastruktur auf Depotebene usw. gemäß den technischen Anforderungen und Standards einschließlich der guten Industriepraxis,

- die Bereitstellung der erforderlichen ergänzenden Betriebsinfrastruktur.

Die Phase I ist mit der Beschaffung von 50 Elektrobussen bereits abgeschlossen. In dieser Phase wurden Busse mit zwei verschiedenen Ladetechnologien beschafft: der Gleichstrom-Schnellladung und ein System zum Batteriewechsel während des täglichen Fahreinsatzes. Der ausgewählte Betreiber Ashok Leyland installierte die DC-Schnellladestation in Zusammenarbeit mit dem in Vadodara ansässigen Unternehmen TecSo und die Batteriewechselstation „Quick Interchange Station“ in Zusammenarbeit mit der Sun Mobility Company aus Bengaluru.³⁰⁹

Ladekonzept	Standort	Technische Gesamtleistung	Ladeleistung pro Ladepunkt	Ladezeit
Depotladen DC	Naranpura Depot	3.75 MW, 11 kV	150 kW DC	2,5 Stunden
Swapping Station	Ranip Depot	–	–	< 4 Minuten Austauschzeit

Tabelle 30: Übersicht der Ladekonzepte in Ahmedabad

Die zweite und dritte Phase der Beschaffung befindet sich aktuell in der Umsetzung und es wird erwartet, dass die kommenden Fahrzeuge ebenfalls im Depot mit DC-Ladesäulen nachgeladen werden. Das Batteriewechselmodell wurde nach einiger Praxiseinsatzzeit zugunsten des Depotladens an DC-Schnellladestationen aufgegeben.³¹⁰

Anschaffungs- und Betriebskosten

Die für die Anschaffung eines Elektrobusses anfallenden Investitionskosten belaufen sich auf etwa ₹ 25 Mio. (ca. 295.000 €).³¹¹ Hierbei fällt das unterschiedliche Preisniveau zu E-Bussen in Deutschland

auf. Dies lässt sich unter anderem mit einer anderen Fahrzeugkonfiguration (technische Ausstattung und Qualitätsmerkmale) und Unterschieden bei den Herstellkosten und in der Produktpolitik der Hersteller begründen. Das ausschlaggebende Zuschlagskriterium der Ausschreibungsverfahren für die drei Phasen sind (insbesondere im Sinne des Finanzierungsmodells) die Gesamtbetriebskosten pro Kilometer.³¹² Hier sind alle Kosten der E-Bus-Beschaffung und des Betriebs enthalten. Die folgende Tabelle führt die Gesamtbetriebskosten pro Phase auf und stellt darüber hinaus die gewährten Förderungen seitens lokaler und nationaler Regierung dar.

Phase	Anzahl ausgewählter Hersteller	Anzahl Busse	Gesamtbetriebskostenpauschale		Förderung durch lokale Regierung und AMC		Förderung durch die indische Regierung
			(₹/km)	(€/km)	(₹/km)	(€/km)	
I	1 (ALL)	50	58.60	0,67	25	0,29	–
II	1 (Tata)	300	62	0,71	25	0,29	–
III	2 (Tata, Vivek)	300	54.90	0,63			40 % der Betriebskosten für vertraglich festgelegte Laufzeit

Tabelle 31: Übersicht der Betriebskosten und Förderungen in Ahmedabad

Vergleichbare Gesamtbetriebskosten für einen konventionellen Dieselbus des BRT-Systems können lediglich als Schätzung mit ca. 65 ₹/km (0,76 €/km) angenommen werden.³¹³

5.5.2.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Das Projekt ist eine Initiative des lokalen Stadtverwaltungsunternehmens und wurde von dessen Tochtergesellschaft AJL umgesetzt. Die gesamte Projektkoordination, einschließlich der Planung der Elektrobusrouten, der Ausschreibung für den Betrieb der Elektrobusse, der Planung und Entwicklung der vorgelagerten Elektroinfrastruktur, der Ermittlung der Standorte für die Ladeinfrastruktur und der Auftragsvergabe an den Betreiber der Elektrobusse wurde von AJL und AMTS gemeinsam übernommen.³¹⁴ AJL unterstützte den ausgewählten Betreiber in Phase I bei der Konzeptionierung. Die Regierung des Bundesstaates Gujarat unterstützten das Projekt

durch die Gewährung eines Betriebskostenzuschusses. Das Projekt wird nach dem eigens entwickelten Bruttokostenvertragsmodell (englisch gross cost contract, GCC) durchgeführt.³¹⁵ AJL kauft demnach die Elektrobusse nicht direkt, sondern mietet stattdessen die Dienste von Unternehmen an, die Elektrobusse betreiben. Bei drei der vier im Ausschreibungsverfahren ausgewählten Betreiber handelt es sich um zwei der größten Nutzfahrzeughersteller in Indien. Die ausgewählten Betreiber liefern die Elektrobusse und übernehmen deren Betrieb und Wartung. Darüber hinaus werden diese auch die erforderliche elektrische Ladeinfrastruktur installieren und deren Betrieb und Wartung übernehmen. Die vertragliche Laufzeit für den Betrieb der E-Busse liegt bei acht Jahren mit einer Option auf Verlängerung um weitere zwei Jahre.

Die organisatorische Struktur für die Durchführung des gesamten Projekts wird nachfolgend veranschaulicht.

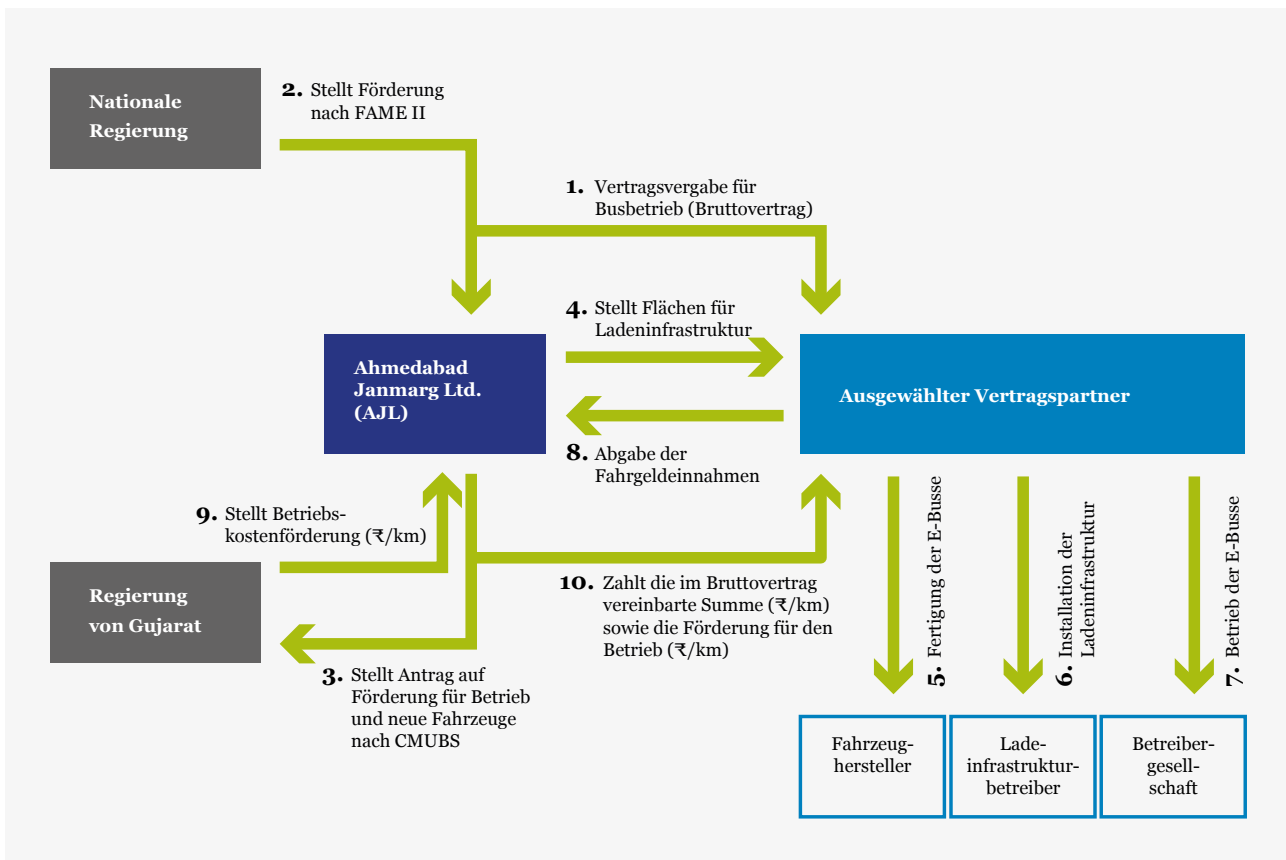


Abbildung 146: Allgemeiner Rahmen für die Durchführung des gesamten Projekts in Ahmedabad

Die Umsetzung des E-Bus-Projekts startete mit der Bewilligung von Betriebskostenzuschüssen für das öffentliche Busverkehrsunternehmen AJL durch die Bundes- und die Landesregierung. Die nationale Regierung unterstützte das Projekt im Rahmen des Programms „Faster Adoption and Manufacturing of (Hybrid &) Electric Vehicles – Phase II“ (FAME II) und die Regierung des Bundesstaates Gujarat unterstützte das Projekt im Rahmen des Chief Minister Urban Bus Service Scheme (CMUBS). Nach Erhalt der Genehmigungen veröffentlichte AJL die Ausschreibungsunterlagen für die Beschaffung von E-Bus-Betriebsleistungen auf den ausgewählten Buslinien. Der ausgewählte Auftragnehmer unterzeichnet einen

Musterkonzessionsvertrag mit AJL und erbringt E-Bus-Verkehrsleistungen zusammen mit der erforderlichen Ladeinfrastruktur. Der Musterkonzessionsvertrag sieht eine erforderliche Mindestfahrleistung von monatlich 5.000 km vor. Wird diese unterschritten, entfällt der Betriebskostenzuschuss (₹/km).

Die AJL stellt Park- und Wartungsflächen für E-Busse sowie Flächen für Ladestationen zur Verfügung und trägt die Kosten für die vorgelagerte Infrastruktur der Ladeinfrastruktur. Die einzelnen Aufgaben der verschiedenen Projektbeteiligten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Projektbeteiligte	Aufgabe
Indische Regierung (Government of India, GoI)	• Bereitstellung von Betriebskostenzuschüssen für die gesamte Vertragslaufzeit
Regierung des Bundesstaates Gujarat (Government of Gujarat, GoG)	• Bereitstellung von Betriebskostenzuschüssen für sieben Jahre
AMC	• Bereitstellung von Betriebskostenzuschüssen (in gleicher Höhe wie die GoG) • Auszahlung der von der GoG erhaltenen Zuschüsse
AJL	• Beantragung von Subventionen bei GoI und AMC • Durchführung von Ausschreibungen für die Beschaffung von Elektrobussen • Inspektion und Testlauf des Elektrobussen-Prototyps • Bereitstellung von Park-, Lade- und Buswartungsplätzen für den ausgewählten Betreiber • Bereitstellung der vorgelagerten Netzinfrastruktur • Beschaffung der elektrischen Energie • Überwachung der Leistung des Elektrobusses und Rückmeldung der Leistungsdaten an die Regierung • Festlegung des Fahrpreises • Auszahlung der vereinbarten Betriebskostenpauschale in ₹/km an den ausgewählten Betreiber
E-Bus-Betreiber	• Übernahme des E-Bus-Betriebs und der Wartung • Entwicklung der nachgelagerten elektrischen Infrastruktur • Installation, Betrieb und Wartung der erforderlichen Ladeinfrastruktur • Sicherstellung der laufenden elektrischen Versorgung • Sammelt die Fahrgeldeinnahmen und gibt sie an AJL weiter

Tabelle 32: Übersicht der Projektbeteiligten in Ahmedabad

Finanzierung und Förderinstrumente

Während die Beschaffung erster Elektrobusse in Indien noch durch Kapitalkostenzuschüsse gefördert wurde, basiert die Förderung und Finanzierung der E-Busse dieses Projekts auf der Grundlage eines Betriebskostenmodells. Es wurde indessen auch landesweit ein spezieller Förderaufruf für die Unterstützung des Einsatzes von 7.000 E-Bussen angekündigt. Dieser Aufruf richtete sich an rund 120 Städte.

Die indische Regierung und die lokale Regierung unterstützen die Elektrifizierung der Busflotten in Ahmedabad finanziell in Form eines Betriebskostenzuschusses für die beschafften Elektrobusse. Die indische Regierung stellt im Rahmen des nationalen Programms Faster Adoption and Manufacturing of (Hybrid &) Electric Vehicles in India (FAME India) bis zu 60 % (in Phase I) und bis zu 40 % (in Phase III) der Betriebskosten für die gesamte Vertragslaufzeit der neu beschafften Elektrobusse bereit.³¹⁶

Der Betriebskostenzuschuss wird mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Zuschuss pro Bus} = (a/r) * (1 - (1/(1+r)^n))$$

a = monatliche Ausgleichszahlung der Kapitalkosten
 = 0,5* niedrigste Betriebskosten in ₹/km
 *garantierte monatliche Kilometerleistung
 r = monatlicher Diskontsatz
 n = Vertragslaufzeit in Monaten.

Beispiel:

Die vom Betreiber angegebenen Betriebskosten liegen bei ₹35/km (ca. 0,42 €/km) für sieben Jahre mit einer garantierten monatlichen Laufleistung von 6.000 km. Der monatliche Diskontsatz beträgt 10,5 %. Der Betreiber erhält insgesamt einen Zuschuss von 40 % der Buskosten = ₹4.000.000 (ca. 47.500 €)

Der im Rahmen der im April 2019 angemeldeten FAME-II-Regelung verfügbare Höchstzuschuss ist auf ₹5,5 Mio. (ca. 65.000 €) für Standardbusse (Länge > 10 bis 12 m), auf ₹ 4,5 Mio. für Midibusse (Länge > 8 bis 10 m) und auf ₹ 3,5 Mio. für Minibusse (Länge > 6 bis 8 m) begrenzt. Dieser Betriebskostenzuschuss wird seitens der indischen Regierung über das Department of Heavy Industries (DHI) in drei Tranchen an AJL wie folgt ausgezahlt:

- Tranche I: 20 % bei Erteilung eines Lieferauftrags für Elektrobuse,
- Tranche II: 40 % bei Erhalt der Lieferung aller Elektrobuse,
- Tranche III: 40 % nach 6 Monaten erfolgreichem Busbetrieb.

Die dritte Tranche erhält die AJL erst, nachdem dem DHI die erforderlichen Daten für den sechsmonatigen Betrieb der Elektrobuse übermittelt wurden, wie z. B. eingesparter Kraftstoff in Litern/Tag, reduzierter CO₂-Ausstoß/Tag, täglich zurückgelegte Kilometer etc.

Zusätzlich zu den Zuschüssen im Rahmen von FAME II gewährt die Regierung des Bundesstaates Gujarat ab Mitte 2018 Zuschüsse für den Betrieb der neuen Stadtbusse, die in 30 ausgewählten Städten im Rahmen des Chief Minister Urban Bus Service Scheme (CMUBS) eingesetzt werden.³¹⁷ Ziel des CMUBS ist es, die städtischen Busdienste im Bundesstaat Gujarat nach dem Prinzip der Viability Gap Funding (VGF) zu unterstützen. Der Betriebszuschuss im Rahmen der CMUBS-Regelung wird zur Deckung der Betriebskosten der neu eingeführten Busse in den Städten über einen Zeitraum von sieben Jahren gewährt. CMUBS bietet einen Zuschuss von 50 % oder bis zu maximal 12,5 ₹/km (ca. 0,15 €/km) mit einem gleich hohen Beitrag der Stadtverwaltung. Daher erhalten die von AJL in Phase I und II eingeführten Elektrobuse einen Zuschuss von ₹12,5/km von CMUBS und ₹12,5/km von AMC. AJL erhält diesen Zuschuss in vier gleichen Tranchen von AMC:

- Tranche I: 25 % bei Erteilung eines Lieferauftrags für Elektrobuse
- Tranche II: 25 % nach Inanspruchnahme von mindestens 75 % der Tranche I
- Tranche III: 25 % nach Inanspruchnahme von mindestens 75 % der Tranche II
- Tranche IV: 25 % nach Inanspruchnahme von mindestens 75 % der Tranche III.

Die nachstehende Abbildung gibt einen Überblick der organisatorischen Umsetzung im Rahmen der E-Bus-Förderung.

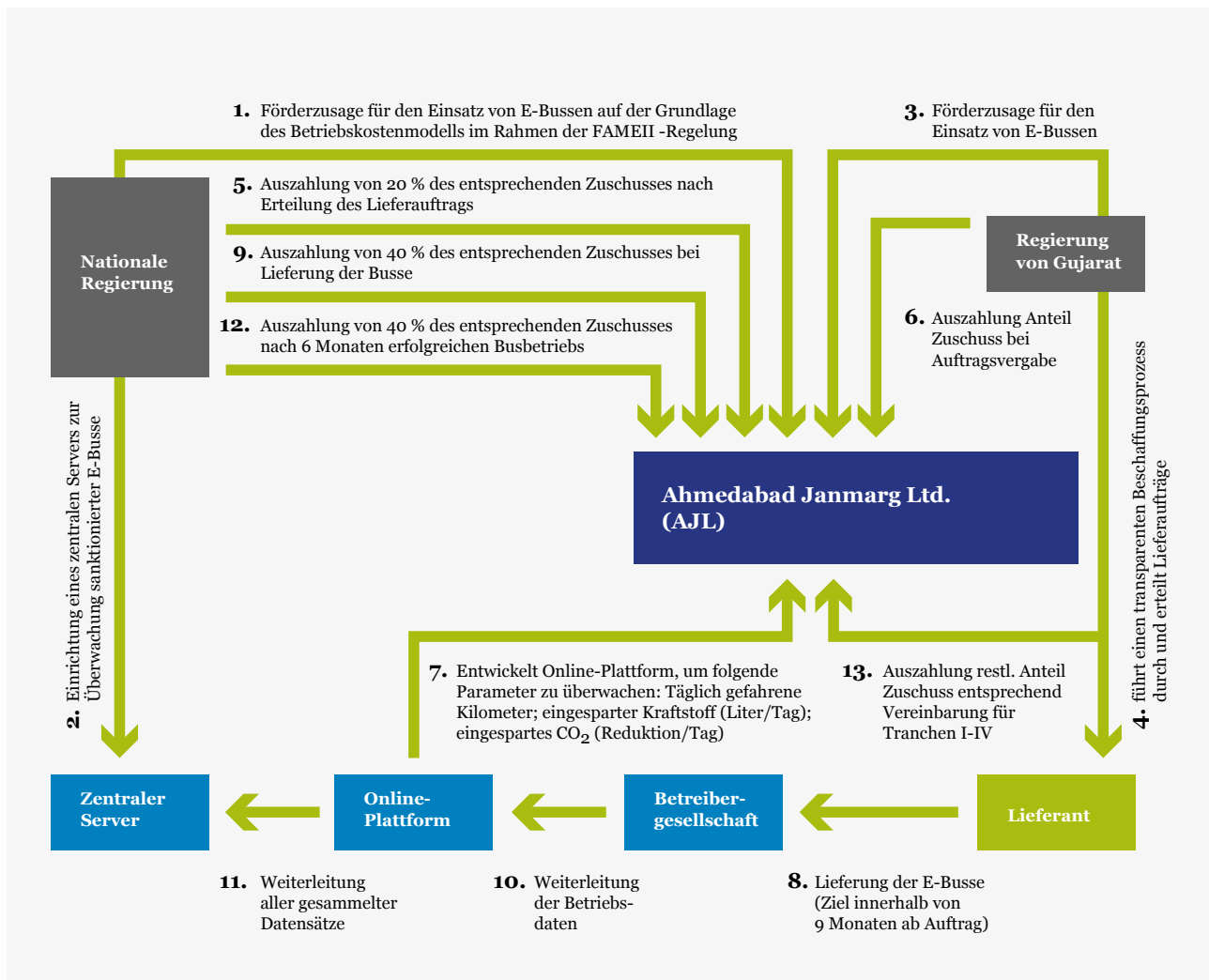


Abbildung 147: Organisatorische Umsetzung im Rahmen der E-Bus-Förderung

Die numerische Reihenfolge in der obigen Abbildung verdeutlicht die Schritte, in denen das E-Bus-Projekt umgesetzt wird. Zunächst beantragt AJL den Zuschuss im Rahmen der offenen Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen im Rahmen des FAME II-Programms. Gleichzeitig beantragt AMC den Betriebszuschuss im Rahmen des CMUBS-Programms der lokalen Regierung.

Sobald AJL vom DHI im Rahmen von FAME II die Bewilligung für den Zuschuss erhalten hat, wird ein Angebot für die Beschaffung von Elektrobussen-

triebsleistungen für eine bestimmte Anzahl von Bussen eingeholt. AJL wertet dann die eingegangenen Angebote aus und erteilt innerhalb der nächsten zwei Monate einen Lieferauftrag. Nach Erteilung des Lieferauftrags durch AJL gibt das DHI die erste Tranche der zugesicherten Zahlung im Rahmen der FAME II-Regelung frei. Der ausgewählte Auftragnehmer liefert das erste Prototypfahrzeug in den nächsten drei Monaten, 50 % der ausgeschriebenen Fahrzeuge in den nächsten neun Monaten und schließt die Lieferung innerhalb von zwölf Monaten nach Erteilung des Lieferauftrags ab. Nach Erhalt der Lieferung al-

ler E-Busse durch AJL gewährt das DHI die zweite Fördertranche in Höhe von 40 % und schließlich die letzte Tranche der verbleibenden Förderung, sobald AJL die sechsmonatigen Betriebsdaten der E-Busse vorlegt.

Die lokale Regierung gibt die erste Tranche der zugesicherten Förderung im Rahmen der CMUBS-Regelung über AMC an AJL frei, sobald AJL den Auftrag zur Lieferung der E-Busse erteilt hat. Die folgenden drei Tranchen der Förderung im Rahmen der CMUBS-Regelung werden von der AMC an AJL ausbezahlt, wenn mindestens 70 % der vorherigen Fördertranche verwendet wurden.

5.5.2.5 Gewonnene Erkenntnisse

E-Bus-spezifisches Kostenmodell und Förderung über Betriebskosten auf Vollkostenbasis

Die Besonderheit dieses E-Bus-Projektes liegt im eigens für die E-Bus-Einführung entwickelten Gross Cost Contract-Modell und die Finanzierung und Förderung der E-Busse über die Betriebskosten auf Vollkostenbasis. Über die Ausschreibungsverfahren der unterschiedlichen Phasen erhielten so die Angebote mit dem geringsten Kostensatz (INR/km) den Zuschlag für die Erbringung der E-Bus-Verkehrsleistung. Die Förderung der E-Busse wurde daneben über einen Zuschuss ebenfalls in INR/km verrechnet.

Fehlende technische und organisatorische Kompetenzen im Rahmen der E-Bus-Einführung

Die Einführung von elektrischen Antrieben im Busverkehr stellte für die AJL eine neue Herausforderung dar. Mangelndes Fachwissen im Unternehmen und die Investitionskosten der Ladeinfrastruktur waren hierbei wesentliche Herausforderungen.³¹⁸ Da AJL nur über unzureichendes technisches Fachwissen in Bezug auf E-Busse und Ladestationen verfügte, war es für das Unternehmen schwierig, die Ausschreibungsunterlagen zu erstellen und die eingegangenen Angebote zu bewerten. Zudem stellten sich die Pla-

nung der zu bestellenden Busse hinsichtlich Art und Anzahl und die Auslegung der Ladeinfrastruktur als große technische Herausforderungen dar. Auch die Anpassungen der Buslinien und eine intelligente Einsatzplanung der E-Busse stellten kritische Erfolgsfaktoren dar.

Mangelnde Flächen für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur

Um eine Finanzierung im Rahmen des FAME II-Programms zu erhalten, musste AJL außerdem Flächen für die Abstellung der E-Busse und die Ladeinfrastruktur bereitstellen. AJL sah sich mit der Herausforderung konfrontiert, geeignete Flächen zu finden, die insbesondere die Leerfahrten für den E-Bus-Betreiber minimieren. AJL war zudem für die Bereitstellung der vorgelagerten Stromversorgung für die Ladeinfrastruktur verantwortlich, zu der ein Abspanntransformator und die Leitungen der unteren Versorgungsebene an den entsprechenden Standorten gehören. Dies erhöhte die anfängliche Kostenbelastung für AJL stark.

5.5.3 Fallbeispiel Santiago de Chile

5.5.3.1 Ausgangssituation

Santiago de Chile ist eine der größten Metropolen Südamerikas. Sie liegt im Tal des Mapocho-Flusses, umgeben von den Anden und den Küstengebirgen des chilenischen Zentraltals und beherbergt über sieben Millionen Menschen – mehr als 40 % der chilenischen Bevölkerung. Die Stadt weist die Charakteristika einer Megastadt eines Schwellenlandes auf: Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts brachte wirtschaftliches Wachstum, Zersiedelung der Landschaft und eine exponentielle Zunahme der Zahl der Privatfahrzeuge. Dies führte zu einer deutlichen Belastung des Verkehrsnetzes und einer deutlichen Zunahme an Verkehrsstaus und Luftverschmutzung. In den frühen 1990er-Jahren gehörte Santiago zu den Städten mit der höchsten Luftverschmutzung in ganz Südamerika. Daraufhin begann die chilenische Regierung mit der systematischen Überwachung der Luftverschmutzung und der Reduzierung der Emissionen des Verkehrs-

sektors. Die öffentlichen Verkehrsbetriebe Santiagos wurden in ein einheitliches System integriert, das von einer öffentlichen Verkehrsbehörde verwaltet wird.

Chile hat seitdem eine Vorreiterrolle bei der Einführung von Emissionsstandards für Fahrzeuge in Südamerika eingenommen. Im Jahr 2018 war Santiago die erste Stadt in Lateinamerika, die Busse der Emissionsklasse Euro VI für ihr öffentliches Verkehrssystem einsetzte. Bis März 2020 wurden in Santiago bereits fast 600 Euro VI-Busse und mehr als 400 Elektrobusse in Betrieb genommen. Die Stadt hat sich zum Ziel gesetzt, den Busverkehr bis 2035 vollständig zu elektrifizieren. Durch diese Maßnahme soll die lokale Belastung mit Luftschadstoffen reduziert werden. Auch die in der Stadt verursachten klimaschädlichen CO₂-Emissionen sollen reduziert werden.

Infolge einer umfangreichen Verkehrsreform wurde im Jahr 2007 das neu gestaltete öffentliche Verkehrssystem „Transantiago“ in Betrieb genommen. Dieses nennt sich heute „Red Metropolitana de Movilidad“ (RED) und besteht aus 391 Buslinien, sieben U-Bahn-Linien und einer S-Bahn-Linie. Das RED hat eine tägliche Auslastung von knapp 700.000 Fahrgästen, die mit einer Flotte von 6.756 Bussen auf einem Netz von mehr als 2.946 Kilometern befördert werden. Für die Erbringung der öffentlichen Busverkehre sind insgesamt sieben Betreiber verantwortlich, die gegenüber der öffentlichen Verkehrsbehörde zur Einhaltung von festgelegten Verkehrsleistungen verpflichtet sind.³¹⁹

5.5.3.2 Vorgehensweise

Santiago de Chile ist Teil des ZEBRA Projektes (Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator), welches dem Ziel einer beschleunigten Einführung von Elektrobussen in Lateinamerika folgt. Das Projekt wird unterstützt durch das International Council on Clean Transportation (ICCT) und die Initiative C40 Cities. Die im Rahmen des ZEBRA Projektes gewonnenen Erkenntnisse und Informationen liefern eine wesentliche Grundlage für die Darstellung in dieser Fallstudie. Darüber hinaus werden Veröffentlichungen der öffentlichen Institutionen der Stadt Santiago de Chile und des Landes ausgewertet.

5.5.3.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobussflotte

Mit ersten Demonstrationsprojekten in den Jahren 2011 und 2013 startete die Einführung von Elektrobussen in Santiago de Chile.³²⁰ Im November 2017 nahm Metbus, einer der privaten Busbetreiber in Santiago, in Zusammenarbeit mit dem italienischen Energieversorger Enel X und BYD zwei BYD K9FE-Elektrobusse mit einer Länge von 12 m im Rahmen eines ersten Pilotprojektes in Betrieb. Die beiden Busse waren ein Jahr lang mit fünf geschulten Fahrern auf der Linie 516 mit einer täglichen Einsatzzeit von ca. 4,5 Stunden unterwegs. In diesem Jahr legten die Busse insgesamt knapp 110.000 km zurück und beförderten mehr als 350.000 Fahrgäste.³²¹ Infolge des erfolgreichen Pilotprojekts arbeitete Metbus weiterhin mit BYD und Enel X zusammen, um den Betrieb zu erweitern und bis Anfang des Jahres 2019 weitere 100 BYD K9FE einzusetzen. Enel X fungierte als Finanzdienstleister und Energielieferant und war zudem Leasinggeber der Busse für zehn Jahre (verleast an Metbus). Metbus wiederum betreibt die Busse und sorgt für die grundlegende Wartung, während BYD für die betriebskritischen Wartungsarbeiten am elektrischen Antriebsstrang zuständig ist.

Im Rahmen des Projektes konnte so Lateinamerikas erster elektrischer Korridor im Busverkehr geschaffen werden. Dieser besteht aus einer Buslinie entlang einer Hauptachse in Santiago, der Avenida Grecia, die ausschließlich mit Elektrobussen betrieben wird. Der Korridor umfasst zudem 40 neue, hochmoderne Bushaltestellen mit kostenlosem WLAN, USB-Ladegeräten, Anzeigetafeln für die Ankunftszeit der Busse, Solarzellen zur Deckung des eigenen Strombedarfs, LED-Beleuchtung, Zugang für Rollstuhlfahrer und an einigen Haltestellen exklusiven Bezahlzonen. Die Projektpartnerschaft erwies sich als so erfolgreich, dass Metbus die Flotte bis Mitte 2020 auf 435 BYD K9FE erweiterte.^{322 323}

Ebenfalls im Jahr 2017 startete eine ähnliche Partnerschaft, diesmal unter der Leitung von Engie, einem französischen Energieversorgungsunternehmen mit

Niederlassungen in Chile, und Gildemeister, einem lokalen Fahrzeughändler und Vertriebspartner des chinesischen Herstellers Yutong. Es wurde zunächst ein 12-m-Niederflurbus Yutong E12 beschafft und in den Pilotbetrieb aufgenommen. Das Verkehrsunternehmen Buses Vule, ein Betreiber von Transantiago, schloss sich der Initiative an und betrieb den Bus zwischen Dezember 2017 und Mai 2018. Der Bus absolvierte 1.173 Fahrten und legte insgesamt 22.055 km zurück. Ende des Jahres 2018 kündigte Engie als Ergebnis dieses erfolgreichen Pilotprogramms an, dass Engie insgesamt 100 batterieelektrische Busse finanzieren wird und mit den beiden Transantiago-Betreibern – Buses Vule und STP – zusammenarbeitet. Engie fungiert hierbei als Finanzdienstleister und stellt die Ladeinfrastruktur und zertifizierte erneuerbare Energie für beide Busbetreiber zur Verfügung. Im Laufe des Jahres 2021 wurden darüber hinaus 215 weitere Foton U12 12-m-Solobusse durch STP beschafft und in die Flotte integriert.

Ein drittes Kooperationsprojekt besteht zwischen NEoT Green Mobility, einer Investitionsplattform für die Finanzierung emissionsfreier Mobilität und dem Transdev-Unternehmen Redbus. Im März 2020 wurden insgesamt 25 King Long DM2800-Elektrobusse mit einer Länge von 12 m beschafft.

Im Oktober 2021 sind somit insgesamt 776 Batteriebusse auf den Straßen in Santiago de Chile unterwegs. Ausgehend von rund 7.500 Bussen in der Stadt entspricht das einer Elektrifizierungsquote von knapp 11 %. Die Batteriebusse sind ausschließlich Solobusse von 12 m Länge und stammen von den vier chi-

nesischen Herstellern BYD, Foton, Yutong und King Long. Mit 435 Batteriebussen, die im Projekt um den (privatwirtschaftlichen) Betreiber Metbus im Einsatz sind, hat der Hersteller BYD den größten Anteil der E-Bus-Flotte in Santiago de Chile.³²⁴

Zur Mitte des Jahres 2020 wurde eine Ausschreibung für die Beschaffung von 2.000 weiteren batterieelektrischen E-Bussen veröffentlicht. Ende des Jahres 2021 erhielten die ersten Hersteller einen Zuschlag zur Lieferung von 991 Fahrzeugen.³²⁵ Bis zum Ende des Jahres 2022 werden somit voraussichtlich etwa 2.800 E-Busse auf den Straßen in Santiago unterwegs sein. Parallel dazu werden auch weiterhin Diesellbusse mit Euro VI-Klasse beschafft, die ältere Busse der Flotte ersetzen. So werden bis Ende 2022 und seit Beginn der Flottentransformation mehr als 5.000 Busse durch batterieelektrische und konventionelle Euro VI ersetzt. Ziel ist es, die Busflotte in Santiago de Chile (derzeit 7.427 Fahrzeuge) bis zum Jahr 2035 vollständig zu elektrifizieren.³²⁶

Die Betriebsbedingungen für die einzelnen E-Bus-Linien unterscheiden sich je nach den von ihnen befahrenen Strecken erheblich. Aspekte wie die Länge der Strecke, die Steigung und der Zustand der Straßeninfrastruktur führen zu erheblichen Unterschieden bei den Betriebsanforderungen. Auf der Strecke der Linie Co6 treten beispielsweise Steigungen bis zu 44 % (24 Grad) am Berg San Cristobal auf.³²⁷

Die folgende Tabelle führt die E-Bus-Linien in Santiago de Chile zum Stand Ende 2020.³²⁸

Busbetreiber	Linie	Start	Ziel	Länge (einfache Strecke)
STP	213e	Puento Alto	Santiago Centro	26,6 km
Buses Vule	109	Maipú	Santiago Centro	19,0 km
Metbus	506	Penalolén	Maipú	36,6 km
	507	Penalolén	Pudahuel	31,2 km
	510	Penalolén	Maipú	30,0 km
	516	Penalolén	Maipú	28,7 km
	519	Penalolén	Santiago Centro	15,8 km
RedBus	Co6	Las Condes	Huechurba	18,5 km

Tabelle 33: E-Bus-Linien in Santiago de Chile

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	BYD	Foton	Yutong	King Long
Modell	K9 FE	eBus U12	ZK6128BEVG	XMQ 6127G+
Anzahl	435	215	100	26
Fahrzeuglänge	12 m	12 m	12 m	12 m
Max. Kapazität Passagiere	81	90	87	90
Klimaanlage/Heizung	n. V.	n. V.	n. V.	n. V.
Batteriekapazität (kWh)	277	152	324	375
Reichweite (km)	176	91	220	215
Ladedauer (Stunden)	4 – 4,5	n. V.	2,5 – 3,5	2,5 – 3,5

Tabelle 34: Fahrzeugspezifikationen der eingesetzten E-Busse in Santiago de Chile

Ladeinfrastruktur

Im Kooperationsprojekt zwischen Metbus, Enel X und BYD werden die Batteriebusse hauptsächlich über Nacht im Depot geladen. Bei längeren Einsätzen erfolgt jedoch auch gelegentlich eine Zwischenladung während des Tages in einem der Busdepots. Insgesamt werden hierfür bei Metbus 218 BYD EVA 080KI Ladegeräte genutzt, die eine Leistung von bis zu 80 kW aufweisen. Die Ladezeit beträgt somit zwischen drei und vier Stunden für eine vollständige Aufladung der Batterie über Nacht.³²⁹ Metbus betreibt insgesamt fünf Busdepots für die E-Busse, drei davon sind im Zuge der Flottentransformation im Jahr 2019 errichtet worden. Hierunter befindet sich auch ein reines E-Bus-Depot, welches zusätzlich mit einer Photovoltaikanlage für die Nachladung der E-Busse ausgestattet ist.³³⁰ Enel X liefert für den Betrieb der E-Busse ausschließlich Strom aus zertifiziert erneuerbaren Energien.

Im Parallelprojekt stellt Engie die Ladeinfrastruktur bei den Betreibern STP und Buses Value bereit. Das STP-Depot verfügt über 13 150-kW-Gleichstrom-Ladegeräte, um 25 Elektrobusse nachzuladen. Das Buses Value-Depot in Rinconada, welches im März 2019 eröffnet wurde, verfügt über 37 150-kW-DC-Ladegeräte, die für den Betrieb von 75 Elektrobussen ausgelegt sind. Die geschätzte Leistung der Ladeinfrastruktur in Rinconada liegt bei insgesamt 6 Megawatt (MW), einschließlich eines 2,1-MW-Backup-Systems.³³¹

Anschaffungs- und Betriebskosten

Hinsichtlich der Anschaffungs- und Betriebskosten betrachtet dieser Abschnitt exemplarisch das Kooperationsprojekt zwischen Metbus und Enel X. Die ersten BYD-Busse, die in Santiago während der Pilotphase eingesetzt wurden, kosteten rund 400.000 €. Diese Anschaffungskosten sind in etwa vergleichbar mit bekannten europäischen Pilotprojekten. Die E-Busse kosteten somit rund das Doppelte eines konventionellen Euro VI-Dieselsbusses. Ein vergleichbarer Dieselsbus kostet in Chile ca. 195.000 €. ³³² Mit

Blick auf die Flottentransformation in größerem Umfang gewährte der Bushersteller BYD indessen einen hohen Abschlag pro Bus, dessen Anschaffungskosten heute umgerechnet mit ca. 270.000 € beziffert werden.³³³ Die Höhe der Investitionsmehrkosten wurde so deutlich verringert.

Während die Anschaffungskosten der E-Busse, trotz der hohen Mengenrabatte im Vergleich zu Dieselsbussen, noch deutlich höher sind, konnten in Santiago durch den E-Bus-Betrieb deutliche Einsparungen bei den Betriebskosten der Busse erzielt werden. Der erforderliche Fahrstrom wird seitens Enel X zu einem vergünstigten Tarif mit 40 % Abschlag für umgerechnet ca. 0,09 €/kWh geliefert. Kombiniert mit einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1 kWh/km ergeben sich so durchschnittliche Kosten für den Fahrstromverbrauch von 0,09 €/km. Der kommunizierte Energieverbrauch von 1 kWh/km erscheint im Vergleich zu anderen Projekten relativ niedrig. Ein möglicher Erklärungsansatz könnten hierbei die relativ milden klimatischen Bedingungen im Winter sein (die durchschnittliche Tagestemperatur im kältesten Monat Juni bei ca. 15 °C). Im Vergleich zum Dieselsbusbetrieb können so 75 % der Kosten für die Treibkraft eingespart werden. Die durchschnittlichen Treibkraftkosten für einen Dieselsbus werden seitens Metbus mit 0,35 €/km angegeben.³³⁴ Als Betreiber der Busse ist Metbus für grundlegende Instandhaltungsarbeiten für standardmäßige Verschleißteile zuständig, während BYD die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten für den gesamten elektrischen Antriebsstrang übernimmt. Hierfür wurde ein fester Kostensatz für die Wartung und Instandhaltung von ca. 0,15 €/km und eine Verfügbarkeitsklausel, nach welcher BYD für Ausfälle aufkommen muss, vereinbart.³³⁵ Der Kostensatz liegt bei Dieselsbussen nach Metbus-Angaben bei ca. 0,24 €/km. Im ersten Betriebsjahr ab 2017 konnte eine Verfügbarkeit der E-Busse von 99,2 % erreicht werden.



³²⁹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/db408b53-276c-47d6-8b05-52e53b1208e1/e-bus-case-study-Santiago-From-pilots-to-scale-Zebra-paper.pdf>
³³⁰ <https://documents1.worldbank.org/curated/en/656661600060762104/pdf/Lessons-from-Chile-s-Experience-with-E-mobility-The-Integration-of-E-Buses-in-Santiago.pdf>

³³¹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/db408b53-276c-47d6-8b05-52e53b1208e1/e-bus-case-study-Santiago-From-pilots-to-scale-Zebra-paper.pdf>
³³² https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Metbus-pioneering-e-bus-deployments-in-Santiago?language=en_US

³³³ <https://documents1.worldbank.org/curated/en/656661600060762104/pdf/Lessons-from-Chile-s-Experience-with-E-mobility-The-Integration-of-E-Buses-in-Santiago.pdf>

³³⁴ https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Metbus-pioneering-e-bus-deployments-in-Santiago?language=en_US

³³⁵ Ebd.

Der Gesamtbetrag der ersten Stufe der Flottentransformation zwischen Metbus und Enel X wird auf umgerechnet ca. 35 Mio. € geschätzt.³³⁶ Darin enthalten ist ein Finanzierungsleasing für 100 E-Busse und die Ladeinfrastruktur. Nach zehn Jahren werden die Vermögenswerte auf den Leasingnehmer Metbus übertragen. In diesem Betrag sind auch die Kosten für die Aufrüstung der Versorgungs- und Ladeinfrastruktur in zwei Depots für die Elektrobusse enthalten, die auf etwa 2,7 Mio. € pro Depot geschätzt werden. Die Kosten für einen Ladepunkt werden mit umgerechnet ca. 3.300 € angegeben.

Die chilenische Regierung zielt mit einer Reihe von Freihandelsabkommen, eines davon mit der Volksrepublik China, auf eine Öffnung der Märkte in verschiedenen Bereichen ab. Diese Abkommen ermöglichen die Einfuhr von Produkten mit geringen bzw. ohne Einfuhrzölle, unter anderem auch Elektrobusse. Dies verringert somit die Investitionskosten der E-Busse. Im Gegensatz zu Chile haben andere Länder in der Region, wie beispielsweise Brasilien und Argentinien, indessen Zölle auf importierte Busse erhoben, um die lokale Busproduktion zu schützen.³³⁷

5.5.3.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Für das Verständnis der organisatorischen Umsetzung der E-Bus-Flottentransformation in Santiago de Chile ist es wichtig, die rechtlichen und organisato-

rischen Grundcharakteristika des Verkehrssystems Red Metropolitana de Movilidad zu verstehen. Zur Regelung der Leistungen im öffentlichen Verkehr besteht das RED auf der Grundlage von Konzessionsverträgen, die zwischen Staat und Busunternehmen für spezifische Linienbündel geschlossen werden. Das RED erhält einen Zuschuss von staatlicher Seite (laut Informe de Gestión 2018 ergibt sich ein Zuschussbedarf von 40 %), um die Differenz zwischen Fahrgeldeinnahmen und den Kosten zu decken. Derzeit gibt es sieben Busunternehmen (Metbus, Buses Vule, STP, RedBus, Subus, Alsacia und Express), von denen jedes mit dem Betrieb unterschiedlicher Linienbündel betraut ist, die über Ausschreibungsverfahren vergeben wurden. Die Laufzeit der ersten RED-Konzessionsverträge betrug insgesamt bis zu zehn Jahre, inklusive der Möglichkeit einer zwischenzeitlichen Verlängerung nach fünf Jahren. Diese Laufzeit wurde mit der Einführung der E-Busse auf 14 Jahre (Verlängerung nach sieben Jahren) erweitert. Der Grund hierfür liegt in der längeren technischen Nutzungsdauer der E-Busse.³³⁸

Das Geschäftsmodell für die Einführung von E-Bussen in Santiago besteht aus einer öffentlich-privaten Partnerschaft (auch Public-Private Partnership, PPP) zwischen dem Staat und den beteiligten privatwirtschaftlichen Unternehmen. Alle beteiligten Unternehmen unterscheiden sich in Bezug auf die Verantwortlichkeiten und Rollen, die die folgende Tabelle zusammenfasst.

Ebene	Stakeholder	Aufgaben und Verantwortlichkeiten
Energiekonzerne	Enel X/Engie	• Leasinggeber E-Bus-Flotte und Ladeinfrastruktur • Installation der Ladeinfrastruktur • Bau von E-Bus-Depots • Energieversorger
Finanzinvestor	NEoT Capital	• Finanzierung der Busflotte und Ladeinfrastruktur
Bushersteller	BYD	• Bereitstellung der Busflotte und Sicherstellung der Verfügbarkeit • Lademanagement • Wartung und Instandhaltung des elektrischen Antriebsstrangs
	Yutong/King Long/Foton	• Bereitstellung der Busflotte und Sicherstellung der Verfügbarkeit
Verkehrsbetriebe	Metbus	• Betrieb der E-Busse (privatwirtschaftliches Unternehmen)
	Buses Vule/STP/Redbus	• Betrieb der E-Busse • Lademanagement • Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten
Staatliche Institutionen	Ministerium für Verkehr und Telekommunikation (MTT) Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) Behörde für öffentlichen Verkehr	• Förderung und Finanzierung der E-Bus-Flotte • Angebots- und Betriebsplanung • Verkehrssteuerung
	Ministerium für Energie Aufsichtsbehörde für Elektrizität und Kraftstoffe	• Durchführung von Machbarkeitsstudien • Vereinfachung der Genehmigungsverfahren für Anpassung ans Stromnetz • Regelung der Einhaltung von Standards in Bezug auf E-Bus-Depots
	Administrador Financiero de Transantiago (AFT), Finanzverwaltung des RED	• Verteilung der finanziellen Mittel

Tabelle 35: Übersicht der beteiligten Akteure in Santiago und deren Aufgaben

Das Konzept einer PPP basiert hier auf der Trennung zwischen Betrieb, Wartung und Eigentum der Busflotte bzw. Ladeinfrastruktur. Im Mittelpunkt steht im Wesentlichen ein privatwirtschaftlicher Investor, der die Busflotte kauft und einen Leasingvertrag mit einem Busbetreiber abschließt (financial lease). Bis

auf eine Ausnahme übernehmen die Energieunternehmen Enel X und Engie diese Rolle. Auch wenn die Finanzierung von Bussen nicht zum Kerngeschäft der Energieunternehmen gehört, hat sich für die beiden Energieversorger die Möglichkeit ergeben, E-Busse auf den chilenischen Markt einzuführen und so die

notwendige Ladeinfrastruktur und Energie zu liefern. Die beiden Energiekonzerne übernehmen des Weiteren die folgenden Aufgaben:

- Unterstützung bei der Durchführung von Pilotprojekten,
- Koordinierung der Beteiligung der verschiedenen Akteure,
- Durchführung der Anfangsinvestitionen für die Busflotten,
- Bau von E-Depots und Installation der Ladeinfrastruktur,
- Energiemanagement für den Ladevorgang,
- Energieversorgung für die E-Depots.

Dieses Modell wurde bei der Finanzierung der Busflotte von Metbus, Buses Vule und STP angewendet, während RedBus eine eigene Finanzierungslösung mit dem internationalen Investor NEoT Capital hat. Die vertragliche Gestaltung des PPP unterscheidet sich folglich in einigen Punkten bei den unterschiedlichen Konzessionen.

Jedes dieser PPP kooperiert mit unterschiedlichen Buserstellern. Wie bereits erwähnt, hat Metbus zusammen mit Enel X E-Busse von BYD für den Betrieb der Pilotprojekte und die anschließende Einführung von E-Bussen erworben. STP und Buses Vule haben zusammen mit Engie den gleichen Prozess mit Yutong-E-Bussen durchgeführt. Schließlich erwarb die jüngste PPP um RedBus Busse des Herstellers King Long. Alle Busersteller haben ihren Hauptsitz in China.

Im Hinblick auf notwendige Wartungs- und Instandhaltungskosten der E-Busse gibt es Unterschiede zwischen den jeweiligen PPP. Um das Risiko des Betriebs der neuen E-Bus-Technologie zu minimieren, vereinbarte Metbus mit BYD einen Servicever-

trag. Während Metbus für Arbeiten an Karosserie und Verschleißteilen zuständig ist, übernimmt BYD Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an Batterie, Leistungselektronik und den E-Maschinen. Im Falle der Partnerschaft zwischen Engie, Yutong und Buses Vule sowie bei STP sind die Busbetreiber vollumfänglich für die Wartung zuständig. Yutong liefert lediglich die Ersatzteile.

Von staatlicher Seite spielen die beiden Ministerien für Verkehr und Telekommunikation und für Energie eine wesentliche Rolle innerhalb des PPP. Das Ministerium für Energie ermöglichte durch vereinfachte Genehmigungsverfahren und verschiedene Machbarkeitsstudien einen schnelleren Ausbau der erforderlichen elektrischen Versorgung. Die Aufsichtsbehörde für Elektrizität und Brennstoffe erarbeitete einheitliche Vorschriften und technische Spezifikationen für den Bau von E-Bus-Depots und war zudem für die Genehmigung der Netzanschlüsse der Depots zuständig sowie an deren Errichtung beteiligt. Auch in Bezug auf die Fahrzeuge wurden Standards und einheitliche Anforderungen entwickelt (z. B. ein eigener E-Bus-Fahrzyklus zur Bewertung der E-Busse). Das Ministerium für Verkehr und Transport spielt eine Schlüsselrolle bei der Planung und Regulierung des gesamten Verkehrssystems und war damit ein entscheidender Akteur bei der Umsetzung und Einführung der E-Busse in Santiago de Chile. Die Hauptaufgaben des Ministeriums liegen unter anderem in der Koordination, der Festlegung der technischen Planungsanforderungen für den E-Bus-Verkehr und in der Ausgestaltung der finanziellen Rahmenbedingungen für die Busbetreiber.

Die Administrador Financiero de Transantiago (AFT) übernimmt als privatwirtschaftliches Unternehmen die Finanzverwaltung des RED. Als zentrale Stelle sorgt sie für die Verteilung der finanziellen Mittel innerhalb der PPP.

Die Folgende Abbildung zeigt exemplarisch das Konzept der PPP um den Busbetreiber Metbus.³³⁹

339 https://www.c4oknowledgehub.org/s/article/Metbus-pioneering-e-bus-deployments-in-Santiago?language=en_US

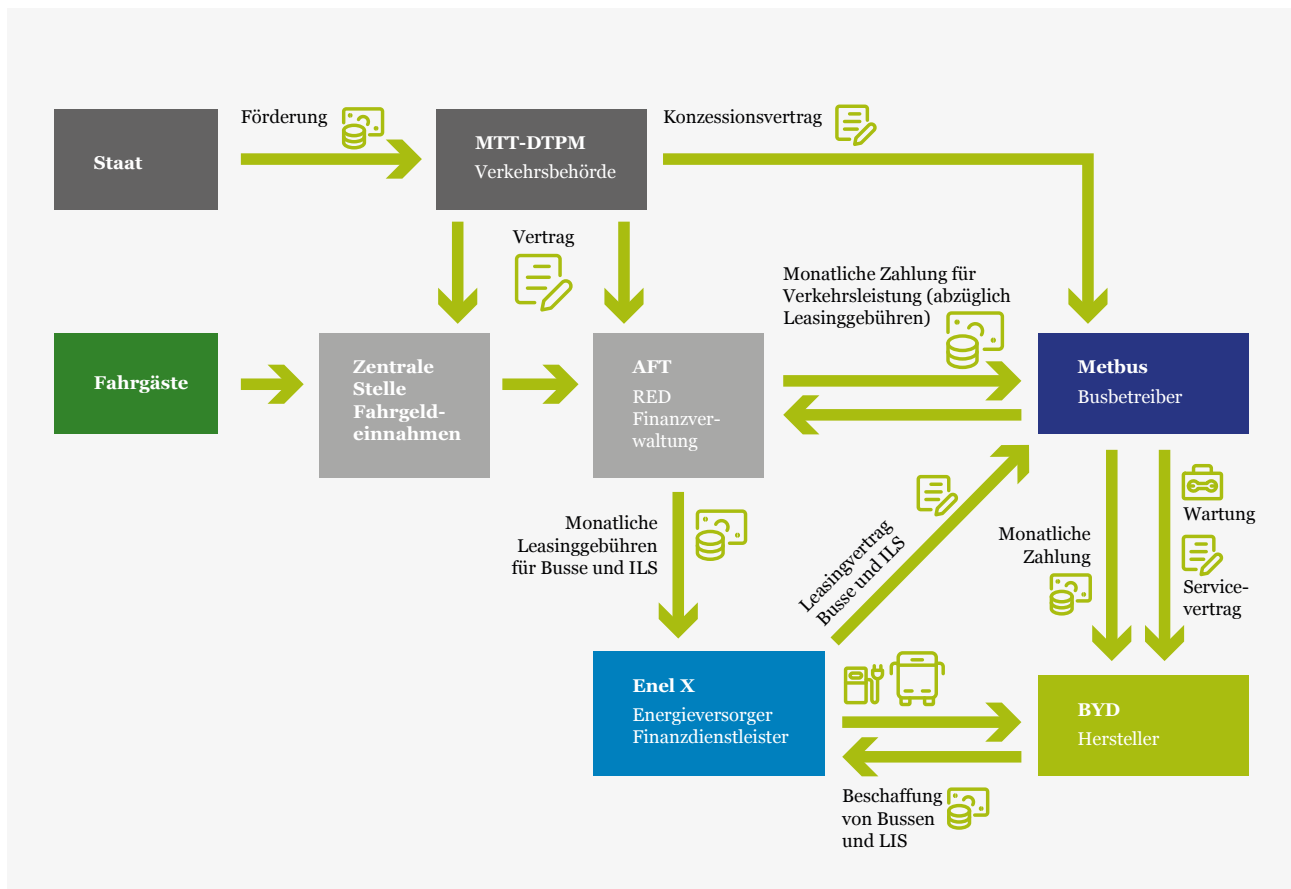


Abbildung 148: Struktur und Organisation des PPP im Metbus E-Bus-Projekt

Finanzierung und Förderinstrumente

Vor der Einführung von E-Bussen in Santiago de Chile waren die Akteure für die Flottenfinanzierung in der Regel an die Bushersteller gebunden. So unterstützte beispielsweise die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) die Anschaffung der Mercedes-Benz-Dieselmotoren, die in Santiago de Chile im Einsatz stehen. Für die Einführung der E-Busse im öffentlichen Verkehrssystem mussten indessen neue Investoren gefunden werden. Die etablierten Finanzakteure bewerteten die Risiken als zu hoch und beteiligten sich nicht an den unterschiedlichen Vorhaben. Im Ergebnis traten die Energieversorger Enel X und Engie innerhalb der PPP als Investoren auf, die die Busflotte beschaffen bzw. finanzieren. Enel X schloss dabei

insgesamt drei verschiedene Verträge mit Metbus ab. Der erste Vertrag betrifft die Anschaffung der Flotte, der zweite den Bau der Infrastruktur und der dritte die Bereitstellung des notwendigen Fahrstroms. Die vertraglichen Rahmenbedingungen zwischen Engie mit STP und Buses Vule sind in gleicher Weise ausgestaltet.

Die Busbetreiber in Santiago de Chile erhalten von der AFT eine monatliche Zahlung für den Busbetrieb. Diese setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die abhängig von der Anzahl der beförderten Fahrgäste und von den gefahrenen Kilometern sind. Das Vergütungsschema für Busunternehmen wird durch die folgende Gleichung bestimmt:

monatliche Zahlung = PPT * Transaktionen + PK * Kilometerrabatte

PPT = Zahlung pro beförderten Fahrgast

PK = Zahlung pro Kilometer

Auch wenn von diesem Vergütungssystem noch kein direkter Anreiz für die Einführung von E-Bussen in Santiago ausgeht, konnte durch geringfügige Anpassungen des Systems eine einfach umzusetzende Förderung der Investitionsmehrkosten ermöglicht werden. Für den Fall, dass sich die Bedingungen der Konzession wesentlich ändern, besteht die Möglichkeit einer angepassten Berechnung der monatlichen Zahlung an den Busbetreiber. Eine wesentliche Änderung der Konzession tritt dann ein, wenn zusätzliche Busse beschafft werden müssen, um die erforderliche Betriebsleistung erbringen zu können und dies einer Flottenerweiterung um mehr als 3 % entspricht. Um die Investitionsmehrkosten der E-Busse vollständig zu fördern, wurde mit der Einführung der E-Busse der leistungsabhängige Anteil der Zahlung an die Betreiber entsprechend erhöht.

Die Busbetreiber sind als Leasingnehmer zur Zahlung einer monatlichen Leasinggebühr an die Leasinggeber Enel X und Engie verpflichtet. Um das finanzielle Risiko für Enel X und Engie zu minimieren, wird die Leasinggebühr direkt durch die AFT an die Leasinggeber ausgezahlt. Der Busbetreiber erhält dann eine um die Leasingrate reduzierte monatliche Zahlung. Die Kosteneinsparungen, die die Busbetreiber durch den Betrieb der E-Busse realisieren, werden indessen nicht verrechnet.

5.5.3.5 Gewonnene Erkenntnisse

Machbarkeitsstudien und Pilotprojekte

In Zusammenarbeit mit den Busbetreibern und den Busherstellern führte die Verkehrsbehörde Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) Machbarkeitsstudien durch, um das Elektrifizierungspotenzial der einzelnen Buslinien zu bewerten. 70 % der untersuchten Strecken zeigten im Ergebnis

eine Machbarkeit des Betriebs mit einer einzigen Batterieladung. Die Studien trugen insbesondere dazu bei, die technischen Spezifikationen und betrieblichen Mindestanforderungen für die folgenden Ausschreibungen zur Erneuerung der Flotte festzulegen. Die Pilotprojekte konnten wesentlich dazu beitragen, zum einen die Akzeptanz für die E-Bus-Einführung zu schaffen und zum anderen erste wichtige und übertragbare Erkenntnisse und Know-how zu sammeln.

Trennung von Eigentum und Betrieb der Busse, Leasing-Modell erlaubt Busbetreibern Flexibilität und mindert Risiken

Das PPP-Modell trennt das Eigentum an den Bussen von deren Betrieb und Wartung. Durch die so minimierten technologischen und betrieblichen Risiken konnten die Finanzierungs- und Betriebskosten des gesamten Projektes gesenkt werden.

Zusätzlich zu dieser Trennung von Eigentum und Betrieb der E-Busse und Ladeinfrastruktur werden durch das Leasing-Modell verschiedene Aspekte eines finanziellen und technologischen Risikos auf die Leasinggeber Enel X und Engie übertragen. Die monatlich zu zahlenden Leasingraten entsprechen einer Gebühr für die Nutzung der E-Busse und sorgen für hohe Planungssicherheit bei den Busbetreibern. Für die Busbetreiber ergibt sich somit ein breiterer finanzieller Spielraum, denn die Liquidität wird durch eine eigene Anschaffung der E-Busse nicht belastet. Durch die vertraglich vereinbarte Übernahme der Fahrzeuge nach Ende der Leasingdauer wird indessen das Restwertrisiko der E-Busse auf die E-Bus-Betreiber übertragen. Unvorhergesehene Risiken während der Leasinglaufzeit, beispielsweise durch technische Defekte am Fahrzeug oder der Ladeinfrastruktur, trägt hingegen der Leasinggeber. Ergänzend hierzu sind jedoch auch die vereinbarten Wartungsverträge mit den Herstellern zu berücksichtigen.

Um wiederum den Leasinggebern Sicherheit vor möglichen Zahlungsausfällen der Busbetreiber zu geben, wurde eine staatliche Zahlungsgarantie für die Leasingraten vereinbart. Über die AFT werden die fälligen Leasingraten direkt an Enel X und Engie ge-

zahlt und von der monatlichen Zahlung an die Busbetreiber abgezogen. Einen weiteren Anreiz für Enel X und Engie schaffte die Gewissheit, dass der E-Bus-Betrieb für mindestens zehn Jahre aufrechterhalten werden kann. Der chilenische Staat unterzeichnete hierfür Rückstellungsverträge, die den Geldgebern zusicherten, dass die Flotte unabhängig von der Zukunft der Busbetreiber im System verbleiben und die Schulden vollständig beglichen werden würden. Diese Sicherheit bot Enel X und Engie die Möglichkeit, die Projekte mit geringem Risiko einzugehen.

Betrachtung der Total Costs of Ownership (TCO) bei der Vergabe

Die (geplante) Nutzungsdauer der E-Busse in Santiago de Chile liegt deutlich über der Nutzungsdauer der konventionellen Dieselsebusse. Die Laufzeit der Konzessionsverträge wurde aus diesem Grund für Elektrobuse auf 14 Jahren festgelegt, während sie für Dieselsebusse nur zehn Jahre beträgt. Durch die längere Nutzungsdauer verringert sich die Höhe der monatlichen Leasingraten der E-Busse und erhöht ihre Wettbewerbsfähigkeit aufgrund der geringeren laufenden Betriebskosten. Die gesamten Betriebskosten werden indessen als TCO-Betrachtung bei der Vergabe im Rahmen der Ausschreibungsverfahren berücksichtigt.

Öffnung des E-Bus-Marktes und Sicherstellung des Zugangs zu Fahrzeugen

Durch eine Reihe von Freihandelsabkommen ermöglicht die chilenische Regierung einen einfachen Import von E-Bussen und erweitert so das verfügbare internationale Fahrzeugangebot. Dies ist eine Reaktion auf ein mangelndes eigenes E-Bus-Angebot lokaler Hersteller.

Chile hat aufgrund seiner Rohstoffvorkommen, die besonders in der Automobilindustrie für den Betrieb von Fahrzeugen mit Batterien essenziell sind, eine große Bedeutung inne. Mit einer jährlich geförderten Menge an Kobalt von rund 200 t, was ca. 12 % der deutschen Kobaltimporte entsprechen würde, und einem geschätzten Lithiumvorkommen von rund 7,5 Millionen t ist Chile die größte Lithiumquelle der Welt mit über 60 % der verfügbaren Lithiumreserven.³⁴⁰

Exkurs Freihandelsabkommen China – Südamerika:

Derzeit gibt es kein vergleichbares Freihandelsabkommen zwischen Deutschland und Chile. Freihandelsabkommen mit den Ländern Südamerikas gewinnen zunehmend an Bedeutung, besonders vor dem Hintergrund des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine, der Russland als Wirtschaftspartner für Deutschland obsolet gemacht hat, sowie dem Streben nach einer von China unabhängigeren Wirtschaftsgestaltung. Im Kontext der globalen Konflikte und der Versorgungssicherung mit Rohstoffen für die deutsche Wirtschaft rücken Intensivierungen und Beschleunigungen der Verhandlungen mit Mercosur-Ländern (Brasilien, Argentinien, Uruguay und Paraguay) stärker in den Fokus.^{341 342} Dies hätte auch große Vorteile für die Automobilindustrie, weil Zollabbau einerseits für deutsche Hersteller die Ausfuhr von Fahrzeugen vereinfachen und andererseits die Einfuhr von notwendigen Rohstoffen für die heimische Produktion billiger machen würde.³⁴³ Auf seiner Südamerikareise besuchte Bundeskanzler Scholz auch Präsident Gabriel Boric in Chile um Partnerschaften im Bereich Rohstoffe und Energieträger zu diskutieren.³⁴⁴ Diese Verhandlungen bauen auf dem Ende 2022 zwischen Chile und der EU geschlossenen Assoziierungsabkommen auf, welches ebenfalls Handelsliberalisierung und Investitionsausbau beschloss.³⁴⁵

5.5.4 Fallbeispiel Paris

5.5.4.1 Ausgangssituation

Im Jahr 2014 trat über mehrere Tage Smog im Stadtgebiet von Paris auf, der einen Anlass für den Beschluss von Restriktionen für den MIV und für die Umstellung der ÖPNV-Busflotte auf alternative Antriebe gab. Das Unternehmen Île-de-France Mobilités ist für die Bestellung und Planung des ÖPNV im Großraum Paris verantwortlich. Die Rolle des Unternehmens ist vergleichbar mit der eines Aufgabenträgers in Deutschland. Der Betreiber des ÖPNV in Paris ist hingegen die Régie autonome des transports Parisiens (RATP) Group. RATP betreibt 350 Linien in der Metropolregion Paris und setzt dafür etwa 4.700 Busse ein. In Zusammenarbeit beider Unternehmen wurde das Programm „Bus2025“ entwickelt. Das Programm verfolgt die Zielsetzung, die gesamte Pariser Busflotte bis 2025 komplett auf Fahrzeuge mit umweltfreundlicherem Antrieb umzustellen. Die RATP will so 50 % der durch den Busverkehr ausgestoßenen CO₂-Emissionen einsparen. 20 % der Fahrzeuge sollen bis dahin mit Erdgas, der Rest mit Hybridantrieb oder vollelektrisch angetrieben werden. Auch im Hinblick auf die Olympischen Spiele 2024 will sich Paris so als saubere und zukunftsorientierte Stadt präsentieren. Die RATP will dafür bis 2025 eine „saubere“ Flotte von 4.700 Bussen in Dienst stellen, darunter etwa 1.000 E-Busse und 1.600 Biomethanbusse. 800 E-Busse sind dafür bei den Herstellern Heuliez Bus, Bolloré und Alstom bereits in Auftrag gegeben worden. Das Budget liegt insgesamt bei 400 Mio. €. Im Anschluss an das Programm „Bus2025“ werden ab 2025 nur noch vollelektrische emissionsfreie Busse durch die RATP beschafft. Ab 2030 gilt dann in Paris das Zulassungsverbot von Verbrennerfahrzeugen, auch für Pkw. Das Fallbeispiel erläutert im Folgenden die bisherige Umsetzung der Flottendekarbonisierung des Busverkehrs in Paris mit dem Fokus auf die Maßnahmen des Verkehrsunternehmens RATP.

5.5.4.2 Vorgehensweise

Für die Untersuchung der Flottentransformation in Paris wurden folgende Quellen herangezogen:

- Vorstellung des Programmes „Bus2025“ auf der Website von RATP und Île-de-France Mobilités
- Pressemeldungen und Berichterstattungen.

Die Verfügbarkeit von Informationen, insbesondere im Kontext von Projektevaluationen, ist für dieses Fallbeispiel vergleichsweise gering. Der Fokus der aktuellen Berichterstattung zur Flottendekarbonisierung in Paris liegt zum Großteil bei den Busbränden der Fahrzeuge von Bolloré mit Festkörperbatterie.

5.5.4.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

2014 startete die RATP mit der ersten Anschaffung von Hybridbussen. Ab diesem Zeitpunkt wurden nur noch Busse mit Hybrid-, Elektro- oder Biomethantrieb ausgeschrieben. Die erste Buslinie wurde 2016 vollständig auf den Betrieb mit Hybridbussen umgestellt. Zwischen den Jahren 2016 und 2017 war zudem ein erster Batteriebus des Herstellers BYD im Testeinsatz. Im Anschluss an diesen einjährigen Testeinsatz wurde die erste Ausschreibung für die Beschaffung von Batteriebussen veröffentlicht, sodass im Jahr 2019 die ersten Elektrobusse bestellt werden konnten. Dabei fiel die Vergabe ausschließlich auf französische Hersteller. Insgesamt wurden 495 Batterie-Solobusse bei Alstom, Heuliez und Bolloré bestellt, die sich teilweise noch in Auslieferung befinden. Alle Busse werden über Nacht im Depot nachgeladen. Die Finanzierung dieser Fahrzeuge mit einem Investitionsvolumen von 250 Mio. € wird vollständig von Île-de-France Mobilités übernommen.

Bis Januar 2022 wurden insgesamt 45 % der Busflotte auf „saubere“ Antriebe (im Sinne der CVD) umgestellt. Die insgesamt 2.100 Busse sind entweder elektro-, hybrid- oder biomethangetrieben. Etwa 1.100 davon sind wiederum Hybridbusse. Derzeit sind 424 Batteriebusse bekannt, die zum Ist-Bestand der Pa-

riser Busflotte bei der RATP gehören. Hierzu zählen 166 Solo-Busse mit Festkörperbatterie von Bolloré, die nach zwei aufeinanderfolgenden Bränden, bei denen zwei Fahrzeuge vollständig ausbrannten, im Frühling des Jahres 2022 vorübergehend außer Betrieb genommen wurden. Hierbei sind zwei Fahrzeuge vollständig ausgebrannt. Des Weiteren sind 207 bzw. 34 Busse von den französischen Herstellern

Heuliez und Alstom in Betrieb. 16 weitere Solobusse stammen vom Hersteller Gepebus und sind bereits seit dem Jahr 2016 Teil der Flotte. Im Jahr 2020 lieferte Solaris zudem einen batterieelektrischen Midi-bus. Neben den Batteriebussen der RATP setzt auch Transdev Batteriebusse in Paris ein. Bekannt sind hier vier Fahrzeuge von Ebusco.

Fahrzeugspezifikationen (Auszug)

Fahrzeughersteller	Bolloré Bluebus	Heuliez	Alstom
Modell	Bluebus 12 m	GX 337 Elec	Aptis
Status Flotte	Ist	Ist	Ist
Anzahl	149	207	34
Fahrzeuglänge	12 m	12 m	12 m
Max. Kapazität Passagiere	109 Sitz + Steh zsm.		18 Sitz und 62 Steh
Klimaanlage/Heizung	k. A.	k. A.	k. A.
Batteriekapazität	441 kWh (LMP-Festkörper)	173 kWh	k. A.

Fahrzeughersteller	Irizar ³⁴⁶	Iveco	Van Hool ³⁴⁷
Modell	ie	e-Way	Exquicity
Status Flotte	Plan	Plan	Plan
Anzahl	113	180	56

Tabelle 36: Fahrzeugspezifikationen der E-Busse von RATP-Ist-Bestand und kurzfristige Planungen

Weiterhin ist der Ausbau der RATP-Flotte mit rund 350 Fahrzeugen geplant. Hierunter fallen Fahrzeuge der Hersteller Irizar (113), Iveco (180) und Van Hool (56).

Weitere Informationen zu sauberen Bussen der RATP (Stand Mitte 2020, keine aktuellen Informationen verfügbar): 1.093 Hybridbusse der Modelle Iris-bus Citelis 12, Iveco Urbanway 12, Iveco Urbanway

18, Heuliez GX337, GX427, GX437 und MAN Lion's City. 307 Biomethan Busse: MAN Lion's City, Heuliez GX337, Solaris Urbino 18.

Weiterhin ist der Ausbau der RATP-Flotte mit rund 350 Fahrzeugen geplant. Hierunter fallen Fahrzeuge der Hersteller Irizar (113), Iveco (180) und Van Hool (56).

Weitere Informationen zu sauberen Bussen der RATP (Stand Mitte 2020, keine aktuellen Informationen verfügbar): 1.093 Hybridbusse der Modelle Irisbus Citelis 12, Iveco Urbanway 12, Iveco Urbanway 18, Heuliez GX337, GX427, GX437 und MAN Lion's City. 307 Biomethan Busse: MAN Lion's City, Heuliez GX337, Solaris Urbino 18.

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Insgesamt werden 25 Busdepots umgebaut, um genügend Kapazität für alle Betankungs- und Ladevorgänge bereitstellen zu können. Hierbei werden die Depots hinsichtlich der notwendigen Infrastruktur getrennt ausgebaut, zwei unterschiedliche Technologien (batterieelektrisch bzw. Biomethan) für ein Depot sind nicht vorgesehen, die Depots sind somit entweder für rein emissionsfreie oder für saubere Antriebsarten ausgelegt. Im Jahr 2019 wurden 12 Depots mit der Betankungsinfrastruktur für Biomethan ausgestattet. 13 weitere Depots sind darüber hinaus nur für Elektrobusse vorgesehen. Aufgrund der anstehenden Auslieferungen wird derzeit an 15 Depots gleichzeitig gearbeitet.³⁴⁸ Der Umbau der Elektrobusedepots wird durch die Tochtergesellschaft der RATP „RATP Real Estate“ unterstützt. Die Ladeinfrastruktur bezieht RATP seit 2018 hauptsächlich von der polnischen Firma „Ekoenergetyka“. 2022 schließen beide Parteien einen Vertrag über 349 Ladestationen ab. Die Auftragssumme beträgt etwa 37 Mio. €. ³⁴⁹

Anschaffungs- und Betriebskosten

Zu den Anschaffungskosten der Fahrzeuge ist wenig, zu den Betriebskosten ist derzeit nichts bekannt. Aufgrund der kommunizierten Ausschreibungsvolumina könnten teilweise die Anschaffungskosten der Fahr-

zeuge abgeleitet werden. Für die Fahrzeuge von Bolloré können so Anschaffungskosten von etwa 480.000 €, für die geplanten Batteriebusse von Irizar 490.000 € abgeschätzt werden.³⁵⁰ Die Anschaffungskosten und damit auch die Investitionsmehrkosten der Batteriebusse liegen für diese Modelle somit unter den durchschnittlichen Anschaffungskosten der Fahrzeuge aus diesem Programm des BMWK. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Anschaffungskosten möglicherweise zusätzliche oder andere Ausstattungsumfänge beinhalten und es grundsätzlich herstellerbezogene Preis-abweichung geben kann. Eine weitere Hypothese in Bezug auf die relativ niedrigen Anschaffungspreise der Fahrzeuge könnte auch in der Losgröße der Ausschreibung liegen (113 Fahrzeuge) und somit ein mögliches Ergebnis von Skaleneffekten sein.

5.5.4.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Die Finanzierung der Umsetzung des „Bus2025“ Programms wird vollständig von Île-de-France Mobilités getragen. Diese erhielt hierfür Zuschüsse seitens der EU für die Beschaffung der sauberen bzw. emissionsfreien Fahrzeuge und die Umrüstung der Betriebshöfe. Insgesamt erfolgte dies im Rahmen von drei Zuschüssen. Im Jahr 2020 bewilligte die EU-Kommission einen Zuschuss von 23 Mio. € für die Beschaffung von Elektrobussen und den Aufbau von notwendiger Infrastruktur auf den Betriebshöfen.³⁵¹ Daran anschließend erfolgte im Jahr 2021 ein weiterer Zuschuss über das Förderprogramm „CEF Transport Blending Facility“ in Höhe von 27,7 Mio. €. Zusätzlich zu den rund 55 Mio. €, die zwischen 2020 und 2022 im Rahmen des Programms Bus2025 an Zuschüssen für die Elektrifizierung des Busverkehrs zugewiesen wurden, bewilligte die EU-Kommission im Dezember 2022 nochmals 4 Mio. € für die Umstellung des Buszentrums in Malakoff bei Paris. Diese Summe stammt ebenfalls aus dem Förderprogramm CEF, bei dem die Caisse des Dépôts Implementierungspartner der Europäischen Kommission ist. Die EU-Kommission stärkt damit ihr Engagement und Vertrauen in das Projekt Bus2025 in Paris und macht es mit dieser drit-

ten Förderung zu einem der größten Empfänger des europäischen Finanzierungsprogramms.³⁵²

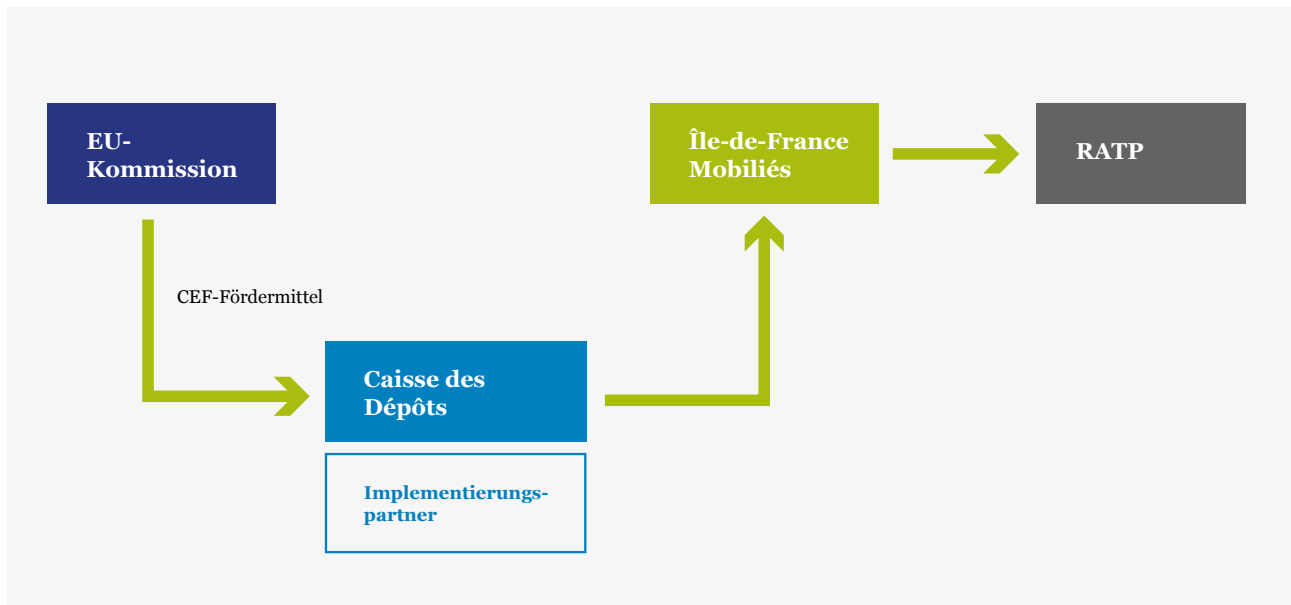


Abbildung 149: Organe der Fördermittelbereitstellung Bus2025 Paris

Exkurs zum Programm

Connecting Europe Facility:

Die Connecting Europe Facility (CEF) Transport Blending ist ein innovativer Ansatz zur Förderung einer substanziellen Beteiligung von Investoren aus dem Privatsektor und Finanzinstituten an Projekten, die zur ökologischen Nachhaltigkeit und Effizienz des Verkehrssektors in Europa beitragen. Die CEF Transport Blending Facility wird zwei Bereiche unterstützen, die zur Umsetzung der Agenda der Kommission für ein sauberes und digitales Verkehrssystem beitragen werden:

- Einführung des Europäischen Eisenbahnverkehrsmanagementsystems
- Einsatz von alternativen Kraftstoffen

Die Förderung wird über einen Kooperationsrahmen zwischen der Europäischen Kommission und den Implementierungspartnern umgesetzt, um Blending-Operationen zu unterstützen, d. h. Investitionen, bei denen Zuschüsse und/oder Finanzinstrumente aus dem EU-Haushalt und Finanzierungen durch die Durchführungspartner (in Form von Darlehen, Schulden, Eigenkapital oder anderen rückzahlbaren Formen der Unterstützung) kombiniert werden.

Die Zuschusskomponente der Mischfinanzierungen im Rahmen der CEF Transport Blending Facility verfügt über ein Budget von 298 Mio. € und wird von der Exekutivagentur für Innovation und Netze (INEA) verwaltet. Projektträger können nur mit Unterstützung der EIB oder anderer Durchführungspartner Zuschüsse im Rahmen der CEF TBF beantragen. Im Zusammenhang mit der CEF Transport Blending Facility ist die Europäische Investitionsbank (EIB) der erste beteiligte Durchführungspartner.³⁵³

5.5.4.5 Gewonnene Erkenntnisse

Paris setzte bei der Flottendekarbonisierung im ÖPNV mit Bussen anfänglich auf Antriebsvielfalt und Technologieoffenheit, nun Richtungsentscheidung erkennbar

Das Programm „Bus2025“ der RATP sieht bereits seit 2016 vor, dass keine neuen Dieselbusse für den ÖPNV mit Bussen in Paris eingeflottet werden. Die RATP setzt hier bis 2025 auf eine Vielfalt der Antriebsarten, es werden insbesondere Hybridbusse, aber auch Batterie- und Gasbusse eingesetzt. Bereits zu Beginn des Jahres 2022 konnte die RATP vermelden, dass 45 % der Flotte einen „sauberen“ Antrieb besitzen. Für den Einsatz der Gasbusse investierte die RATP in den Ausbau der notwendigen Betankungsinfrastruktur an mehr als zehn Betriebshöfen. Die Übergangstechnologien werden ab 2025 mit dem Einsetzen der ausschließlichen Beschaffung von emissionsfreien Bussen sukzessive aus der Flotte ausgemustert.

Inzwischen zeichnet sich ein Trend der eingesetzten Antriebsarten ab: für den Aufbau einer „sauberen“ Flotte werden Gasbusse eingesetzt, emissionsfreie Antriebe sind daneben mit batterieelektrischem Antrieb ausgestattet. Die anfängliche Technologieoffenheit scheint somit zugunsten einer klaren Richtungsentscheidung für batterieelektrische Busse beim Einsatz alternativer Antriebe zu weichen.

Aktuelle Berichterstattung fast ausschließlich auf Busbrände reduziert

Zwei Brände von Batteriebussen mit Festkörperbatterie des Herstellers Bolloré sorgten für große mediale Aufmerksamkeit. Dies lag nicht zuletzt an den verfügbaren Aufnahmen der Entzündung eines Busses während eines Zwischenhaltes im Betriebseinsatz im öffentlichen Straßenraum. Die Berichterstattung über das Projekt der Flottendekarbonisierung in Paris war im Jahr 2022 fast ausschließlich durch diese Brandthematik geprägt.

Eingesetzte saubere und emissionsfreie Busse zum größten Teil von französischen Herstellern

Die Analyse des Ist-Bestandes zeigt, dass zum größten Teil Busse französischer Hersteller eingesetzt werden, unabhängig von der Antriebsart Hybrid, Gas oder Batterie. MAN ist durch die Lieferung einiger Hybrid- und Gasbusse als deutscher Hersteller im Fuhrpark der RATP vertreten. Auch mit Blick auf die zukünftigen Beschaffungen nach abgeschlossenen Ausschreibungen zeigt sich ein sich fortsetzendes Bild mit überwiegend französischen Herstellern im Fuhrpark. Als Ausnahme ist hier der baskische Hersteller Irizar zu nennen.

Anschaffungskosten deutlich unter 500.000 € für Solo-Batteriebusse

Im Vergleich zu anderen Projekten fallen bei der Analyse der Vergaben nach Ausschreibungen die relativ geringen Anschaffungskosten der Batteriebusse auf. Für die Fahrzeuge der Hersteller von Bolloré und Irizar wurden Anschaffungspreise von deutlich unter 500.000 € aufgerufen. Für eine genauere Bewertung bedarf es allerdings einer weiteren, ausstattungsbereinigten Preisanalyse. Weitere Preisrecherchen könnten die Vermutung über ein niedrigeres E-Bus-Preisniveau in Frankreich im Vergleich zu Deutschland überprüfen. Zu bewerten gilt es auch, ob mögliche Skaleneffekte aufgrund der relativ umfangreichen Losgröße einen positiven Einfluss auf die relativ geringen Anschaffungspreise haben.

5.5.5 Fallbeispiel Amstelland-Meerlanden

5.5.5.1 Ausgangssituation

Die Region Amstelland-Meerlanden versteht sich als regionale Gebiets- und Städtepartnerschaft in der Provinz Nordholland südlich der Stadt Amsterdam. Die Partnerschaft besteht aus sechs Städten aus der Metropolregion Amsterdam, die intensiv hinsichtlich der Themen Wirtschaft, Wohnen, Landschaft, Raum und Nachhaltigkeit sowie Mobilität zusammenarbeiten. Die Städte Haarlemmermeer, Amstelveen,

Aalsmeer, Uithoorn, Ouder-Amstel und Diemen haben sich hierfür im Jahr 1982 unter der Einrichtung „Amstelland-Meerlanden Overleg“ zusammengeschlossen. Die Region umfasst etwa 350.000 (mit dem Großraum Amsterdam etwa 3,4 Millionen) Einwohner und den Flughafen Schiphol, der zu den größten Europas gehört.

Der öffentliche Verkehr ist in den Niederlanden mittels unterschiedlicher Konzessionen organisiert, die durch die Provinzen oder Städtepartnerschaften vergeben werden. Insgesamt wird der ÖPNV derzeit in 31 unterschiedlichen Konzessionen erbracht, eine davon ist die Konzession Amstelland-Meerlanden.³⁵⁴

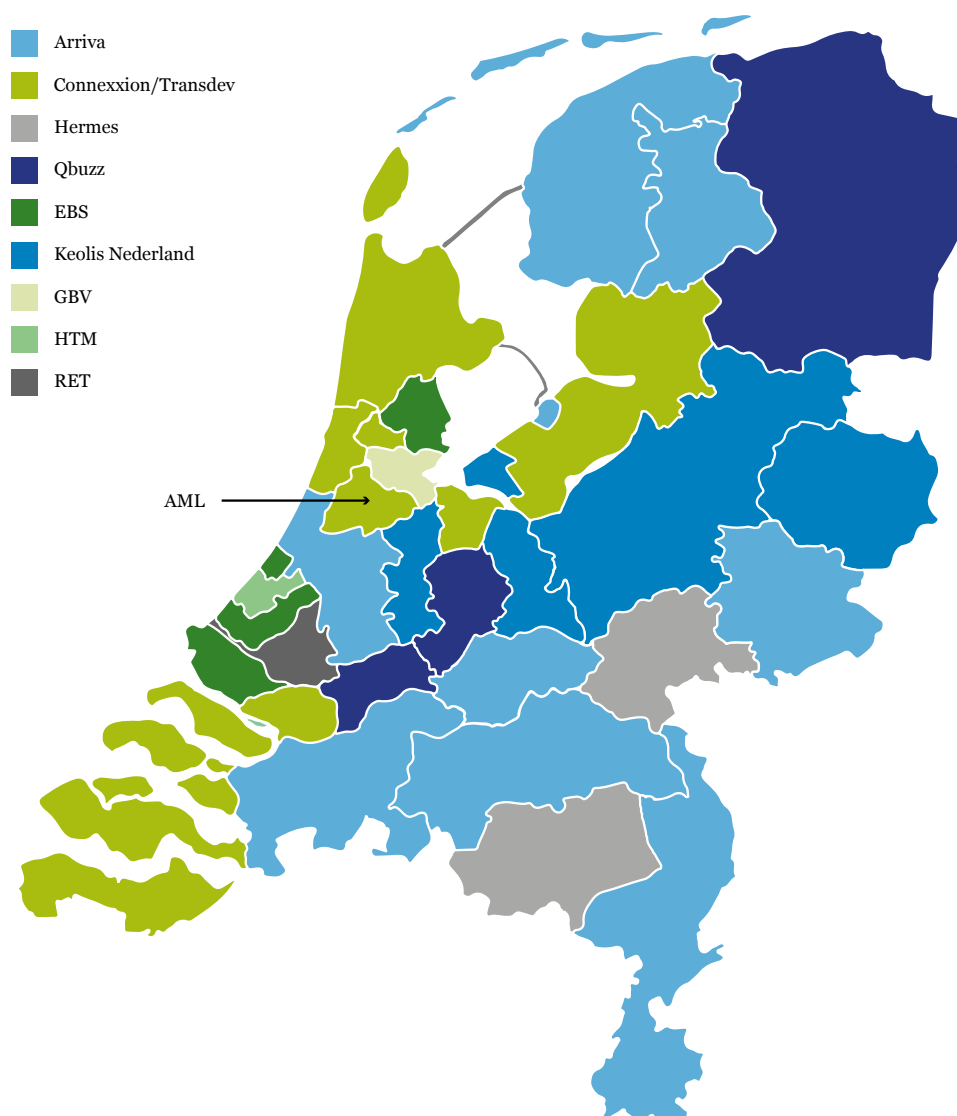


Abbildung 150: Überblick der Konzessionen im niederländischen ÖPNV

(Quelle: <https://zeroemissiebus.nl/project/milieuprestatie-ov-bussen-2022-26-procent-is-emissieloos/>)

Die Verkehrsleistungen für den Stadt-, Regional-, und Schülerverkehr werden von den jeweiligen Verkehrsbehörden der Provinzen bzw. Städtepartnerschaften definiert und öffentlich ausgeschrieben. Hiervon ausgenommen sind die Städte Amsterdam, Rotterdam und Den Haag, in denen die Verkehrsleistungen direkt und ohne Ausschreibung an die Verkehrsunternehmen GVB, RET bzw. HTM vergeben werden.

Die Konzession Amstelland-Meerlanden wird von der Verkehrsbehörde Vervoerregio Amsterdam (VRA) geplant, ausgeschrieben und vergeben. Die Ausschreibung der aktuell laufenden Konzession erfolgte im Juni 2016, die Vergabe darauffolgend im November 2016. Beginn der Konzession war Dezember 2017 mit einer Laufzeit von zehn Jahren. Die Option einer Vertragsverlängerung um fünf weitere Jahre wurde bereits im Dezember 2019 gezogen. Infolge des Vergabeprozesses erhielt das Verkehrsunternehmen Connexxion den Zuschlag für die Erbringung der Verkehrsleistung in Amstelland-Meerlanden.

Die Vervoerregio Amsterdam ist ein Zusammenschluss von 14 Gemeinden im Bereich des Verkehrs und des öffentlichen Verkehrs. Die VRA organisiert sich über verschiedene Gremien: den Regionalrat, den Exekutivrat sowie Sitzungen der Ressortinhaber und Ausschüsse. Neben der Erarbeitung der Verkehrskonzeption steuert die VRA regionale Projekte der Gemeinden, initiiert daneben aber auch eigene konkrete Projekte. Die VRA ist daher aufgabenseitig mit deutschen Aufgabenträgern vergleichbar.

Der Vergabe der Verkehrsleistung wurde die niederländische Green-Deal-Initiative zugrunde gelegt. Im April 2016 trafen das Ministerium für Infrastruktur und Umwelt und die Nahverkehrsbetreiber der Konzessionen eine Vereinbarung im Rahmen dieser Green-Deal-Initiative. Dieser „Deal“ sieht vor, dass spätestens ab 2025 nur noch emissionsfreie Busse beschafft und in den Betrieb gehen. Ab 2030 sollen dann schließlich alle Busse mit emissionsfreien Antrieben im Einsatz sein (die niederländische ÖPNV-Busflotte umfasst etwa 5.000 Fahrzeuge). Ein weiterer Bestandteil der Green-Deal-Initiative ist der

ausschließliche Einsatz erneuerbarer Energien im ÖPNV.³⁵⁵

5.5.5.2 Vorgehensweise

Die Fallstudie liefert nachfolgend einen Einblick in die Umsetzung – von Ausschreibung bis zum Fahrzeugeinsatz – der Flottentransformation in der Region Amstelland-Meerlanden und trägt bereits gewonnene Erkenntnisse zusammen. Der Fokus liegt hier bei der Gestaltung und Vergabe der Konzession. Hierfür wurden im Wesentlichen folgende Quellen herangezogen:

- Veröffentlichungen des Busbetreibers Transdev bzw. Connexxion
- Pressemitteilungen und Berichte der Unternehmen und Behörden
- Berichterstattungen in der Fachpresse und wissenschaftliche Untersuchungen und Evaluationen des laufenden Projektes.

5.5.5.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobusflotte

Die Ausschreibung der Konzession für die Region Amstelland-Meerlanden (AML) stellte zwar detaillierte Anforderungen an die zu erbringende Verkehrsleistung auf den Linien unterschiedlicher Verkehrsnetze, jedoch nicht an den konkreten Umfang der einzusetzenden Fahrzeugflotte. Auch hinsichtlich der eingesetzten Antriebstechnologien gab es keine Vorgaben abseits der Green-Deal-Initiative. Die anbietenden Verkehrsbetreiber stellten dafür ihrerseits Fahrzeugeinsatzkonzepte auf, die dann im Rahmen der Vergabe hinsichtlich der Kapazitäten und vor allem der eingesetzten Antriebsarten bewertet wurden.

Das letztlich ausgewählte Fahrzeugeinsatzkonzept von Connexxion sah zu Beginn den Einsatz von 271 Bussen vor, davon 100 mit batterieelektrischem Antrieb. Über das Bedienungsgebiet Amstelland-Meerlanden sind unterschiedliche Verkehrsnetze gelegt,

für die wiederum unterschiedliche Fahrzeugflotten von Connexxion vorgesehen sind. Wesentlich sind hier das R-Net (187 Busse) und das SchipholNet (51 Busse). Unterstützend hierzu werden entsprechend dem Einsatzkonzept weitere 33 Pkw, Kleinbusse und Überlandbusse eingesetzt. Zum Start wurden 49 Batterie-Gelenkbusse für das R-Net und 51 Batterie-Gelenkbusse als BRT-Variante für das Flughafennetz SchipholNet in Betrieb genommen.³⁵⁶ Diese 100 Batteriebusse stammen vom niederländischen Hersteller VDL und stellten im Jahr 2018 zu ihrer Inbetriebnahme die größte zusammenhängende E-Bus-Flotte in Europa dar. In der anschließenden Phase 2 wurden weitere 56 Batterie-Solobusse in 12 m, 21 Batterie-Solobusse in 13 m und 34 Batterie-Gelenkbusse in

18 m Länge des ebenfalls niederländischen Herstellers Ebusco für den Einsatz im R-Net beschafft (die Auslieferung ist fast vollständig ausgeführt). Für den Verkehr zwischen den Konzessionsgebieten bestellte Connexxion zudem weitere 45 Batterie-Solobusse bei Ebusco. Im Bedienungsgebiet Amstelland-Meerlanden werden so zum Stand des Jahres 2022 insgesamt 288 Busse im öffentlichen Verkehr und damit im Rahmen der Konzession eingesetzt. Hiervon sind 206 Busse mit einem batterieelektrischen Antrieb emissionsfrei im Einsatz. Damit besteht in der Konzession Amstelland-Meerlanden die zweitgrößte Batteriebus-Flotte in den Niederlanden nach der Konzession IJssel-Vecht (259 Batteriebusse von insgesamt 296 Bussen).

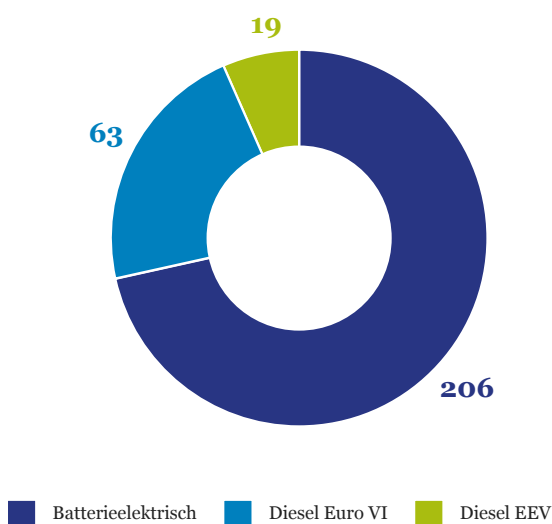


Abbildung 151: Anzahl Busse nach eingesetzten Antriebsarten im Jahr 2022 in Amstelland-Meerlanden

Das Fahrzeugeinsatzkonzept wurde in der Bewertung mit 20 % gewichtet. Die Antriebsarten der nach der Konzeption einzusetzenden Fahrzeuge wurden über

ein Punktesystem bewertet: emissionsfreie Busse erhielten 6 Punkte pro Bus, Hybridbusse 3 Punkte, Euro VI 1,5 Punkte und EEV 0 Punkte.

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	VDL	VDL	Ebusco
Modell	SLFA-180 Electric	SLFA-180 Electric BRT	2.2 (12 m)
Status Flotte	Ist	Ist	Ist
Anzahl	49	51	56
Fahrzeuglänge	18 m	18 m	12 m
Nachladestrategie	Opportunity (Pantograf)	Opportunity (Pantograf)	Depot (Stecker)
Batteriekapazität	170 kWh (LTO)	170 kWh (LTO)	362 kWh (LFP)

Fahrzeughersteller	Ebusco	Ebusco	Ebusco
Modell	2.2 (13 m)	2.2 (18 m)	2.2 (12 m)
Status Flotte	Ist	Ist	Plan
Anzahl	21	34	45
Fahrzeuglänge	13 m	18 m	12 m
Nachladestrategie	Depot (Stecker)	Opportunity (Pantograf)	Depot (Stecker)
Batteriekapazität	362 kWh (LFP)	544 kWh (LFP)	200 kWh (LFP)

Tabelle 37: Fahrzeugspezifikationen der in Amstelland-Meerlanden eingesetzten und geplanten Batteriebusse

An die Batteriebusse sind durch das Verkehrskonzept hohe Einsatzanforderungen gestellt. Das Verkehrskonzept sieht durchgehende Betriebszeiten von 24 Stunden an 7 Tagen der Woche vor. Dementsprechend erbringen die Batteriebusse hohe jährliche Fahrleistungen. Im SchipholNet liegt diese bei 105.000 km p. a. und im R-Net bei 95.000 km p. a.

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Der Aufbau der notwendigen Ladeinfrastruktur wurde in der Verantwortung von Connexxion durchgeführt. Die Planung hierfür war Teil der Bewertung

im Vergabeverfahren der Konzession. Vor Beginn der Konzession wurde mit dem Aufbau von vier Ladeinfrastrukturorten begonnen. Hierzu gehören die zwei Busdepots Cateringweg und Amstelveen sowie die zwei Parkplätze P30 und P-Noord auf dem Flughafengelände. Zusammen mit dem Flughafen Schiphol und der VRA wurden im Vorfeld Machbarkeitsstudien zum Aufbau der Ladeinfrastruktur durchgeführt. Hierbei ging es um die Auslegung und auch um die Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens. Die Genehmigung des Ladeinfrastrukturaufbaus wurde nicht garantiert und musste durch Connexxion als Betrei-

ber bzw. den Flughafen Schiphol herbeigeführt werden.³⁵⁷ Für den Ladeinfrastrukturaufbau war etwa ein Jahr Zeit (Zeitdauer zwischen Vergabe und Beginn der Konzession). Aufgrund von Verzögerungen im Genehmigungsverfahren durch Bodenverunreinigungen

am Parkplatz P30 und Problemen beim Anschluss des Depots Amstelveen an das Stromnetz wurden die ersten 100 Elektrobuse drei Monate später in Betrieb genommen. Lieferant der Ladeinfrastruktur ist das niederländische Unternehmen Heliox.

1	Schiphol Cateringweg Depot: 51 ZE Busse	• 7 Schnellladegeräte, 450 kW • 21 Langsamladungs-Systeme, 60 kW mit zwei Anschlusspunkten • Netzanschluss: 5 MW
2	Schiphol P30	• 4 Schnellladegeräte, 450 kW • Netzanschluss: 2 MW
3	Schiphol Knotenpunkt Nord	• 4 Schnellladegeräte, 450 kW • Netzanschluss: 2 MW
4	Amstelveen Meerlandenweg Depot 49 ZE Busse	• 8 Schnellladegeräte, 450 kW • 20 Langsamladungs-Systeme, 60 kW mit zwei Aufladepunkten • Netzanschluss: 10 MW

(Quelle: Transdev, <https://www.vdv.de/20180923-mv-transdev-praesentation.pdf>)

Abbildung 152: Standorte der Ladeinfrastruktur in Amstelland-Meerlanden zu Beginn der Konzession

Im Zuge der weiteren Einflottung der Fahrzeuge von Ebusco wurden weitere Nachladestandorte errichtet. In der Stadt Haarlem stehen rund 50 Ladestationen für das Depotladen (ca. 50 kW Ladeleistung) und 15 Ladestationen mit 240 kW Ladeleistung für das Gelegenheitsladen bereit. Auch die Ladeinfrastruktur am Flughafen Schiphol wurde erweitert. Am Standort „Schiphol Süd“ wurden ebenfalls rund 50 weitere Ladesäulen für das langsame Depotladen sowie 2 weitere Schnellladesäulen installiert.

Das Ladeinfrastrukturkonzept unterstützt folglich die beiden wesentlichen Nachladestrategien Depot- und Gelegenheitsladen. Hinsichtlich der technischen Ausstattung der Fahrzeuge wurde eine übergreifende Kompatibilität berücksichtigt. Sowohl die Ebusco Batterie-Gelenkbusse als auch die VDL Batterie-Gelenkbusse nutzen die gleiche Pantografentechnik. Darüber hinaus ist das auch Nachladen an Ladesäulen mit Stecker im AML-Ladenetzwerk standardisiert.

Anschaffungs- und Betriebskosten

Für die Flottendekarbonisierung in der Konzession Amstelland-Meerlanden sind derzeit keine konkreten quantitativen Daten zu den Anschaffungs- und Betriebskosten verfügbar. Es sind jedoch qualitative Aussagen zu den Betriebskosten bekannt. Transdev bzw. Connexxion nennen höhere Investitionskosten für die Fahrzeuge und die zugehörige Ladeinfrastruktur als wesentliche Herausforderung der Flottenumstellung. Hinsichtlich des Ladeinfrastrukturausbaus können sich indessen Skaleneffekte bei einer größeren Flotte ergeben.³⁵⁸ Dies bezieht sich insbesondere auf die Nutzung der Ladeinfrastruktur beim Gelegenheitsladen, die durch eine effiziente Nachladeplanung möglichst durchgehend ausgelastet werden sollte. Zusätzliche Kosten entstehen auch durch einen Fahrzeugmehrbedarf und bauliche Anpassungen an den Betriebshöfen. Konkrete Kostendaten sind für dieses Fallbeispiel nicht verfügbar.

Auch die Betriebskosten der Batteriebusse sind im Vergleich zu den konventionellen Dieselnissen laut Transdev höher. Dies liegt unter anderem an zusätz-

lich notwendigen Fahrzeugen (Fahrzeugmehrbedarf) und am zusätzlichen Personalbedarf für die notwendigen Ladeprozesse. Einsparungen können hingegen bei den Kosten für die Treibkraft erzielt werden. Laut Angaben von Transdev können die oben genannten Mehrkosten allerdings auch bei entsprechend hohen Laufleistungen durch die geringen Energiekosten kompensiert werden.³⁵⁹

5.5.5.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Wenngleich die VRA aufgabenseitig mit den deutschen Aufgabenträgern vergleichbar ist, gestaltet sich die Finanzierung hingegen anders. Der VRA steht ein jährliches „Programmbudget“ zur Verfügung, welches sich insbesondere aus allgemeinen bzw. staatlichen Mitteln (sogenannte BDU-Mittel, „brede doeluitkering verkeer“ deutsch in etwa: „breites Zahlungsziel für Verkehr“) des niederländischen Verkehrsministeriums und den Erlösen aus der Verkehrserbringung (z. B. Fahrgeldeinnahmen der Konzessionen) zusammensetzt. Die Höhe der Allgemeinen Mittel lag nach Budgetierung für das Jahr 2022 bei ca. 554 Mio. €, die Erlöse aus „Verkeer & Vervoer“ (Verkehr und Transport) bei 45 Mio. €. Bei Gesamtkosten von rund 600 Mio. € ergibt sich so ein Defizit von 0,2 Mio. €. Die Haushaltsplanung der VRA zeigt zudem die Zielsetzung eines Kostendeckungsgrads von 100 %.³⁶⁰

Für die Erbringung der Verkehrsleistung im Bedienungsgebiet Amstelland-Meerlanden erhält der Betreiber Connexxion einen fixen Betrag von 100 Mio. € pro Jahr seitens der VRA, wovon rund 40,5 Mio. € dabei auf zusätzliche staatliche Subventionen entfallen, die Teil des Programmbudgets der VRA und Teil der staatlichen BDU-Mittel sind.³⁶¹ Mit diesem Betrag muss Connexxion sowohl die laufenden Betriebskosten als auch die Kapitalkosten für die Konzession abdecken. Der Kosten für die Erbringung der Verkehrsleistung waren demnach kein Bewertungskriterium bei der Konzessionsvergabe. In welchem Umfang Preisgleitklauseln Anwendung finden, ist nicht bekannt.

Darüber hinaus stellte die EU-Kommission 2018 ein Förderprogramm unter dem Schirm des Connecting Europe Facility (CEF) für Connexxion zur Verfügung. Das Ziel der Förderung ist die weitere Beschleunigung der Elektrifizierung des ÖPNV in den Regionen Amsterdam inklusive des Flughafens Schiphol, auch der Regionen Haarlem-IJmond und Amstelland-Meerlanden mit der Installation von 220 emissionsfreien Bussen sowie 169 Ladepunkten im öffentlichen Raum.³⁶²

Die Ladeinfrastruktur auf dem Flughafengelände wurde hingegen vollständig vom Flughafen Schiphol bzw. der Schiphol Group finanziert und errichtet. Die Schiphol Group ist als privatwirtschaftliches Unternehmen der Betreiber des Flughafens, allerdings liegt das Unternehmen zu 70 % im Eigentum des niederländischen Staats und die Stadt Amsterdam ist mit 20 % beteiligt.

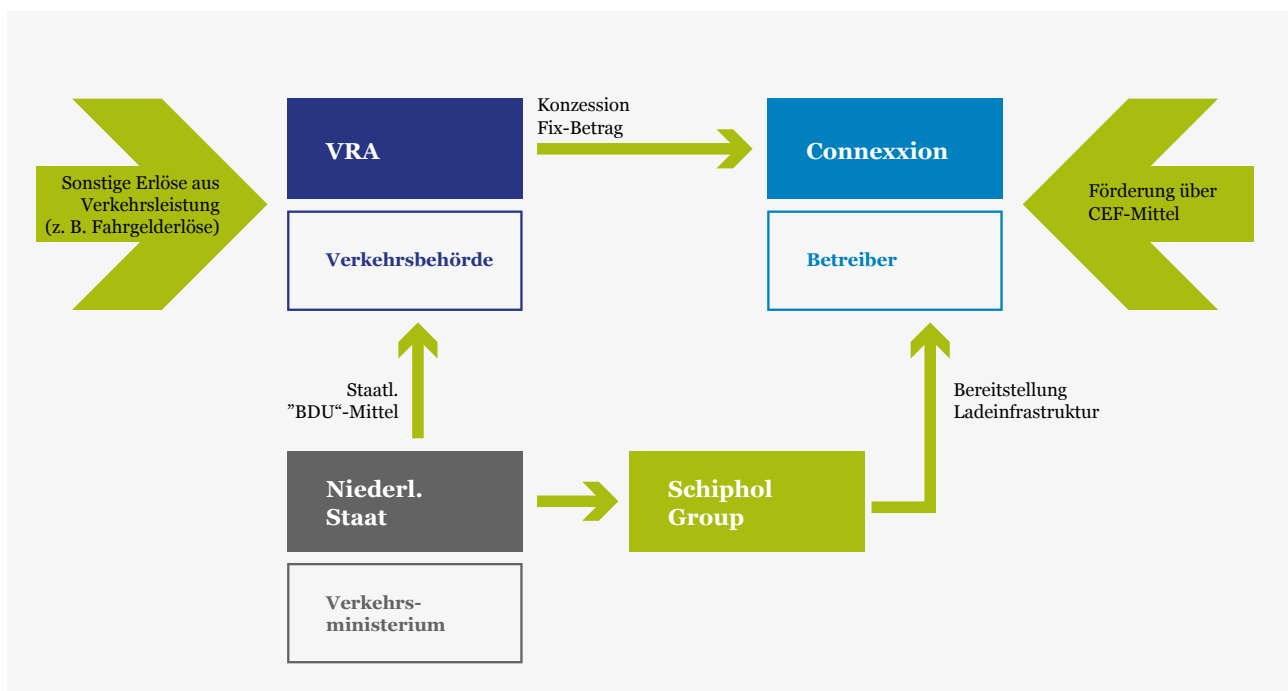


Abbildung 153: Übersicht der Organisation und Finanzierung der Konzession Amstelland-Meerlanden

5-5-5-5 Gewonnene Erkenntnisse

Political Leadership: Green-Deal-Initiative sorgt für landesweite einheitliche Zielsetzung und eine klare Agenda für die Flottendekarbonisierung

Die Green-Deal-Initiative gab eine klare Agenda für die vollständige Flottendekarbonisierung vor. Diese wurde bereits im Jahr 2016 beschlossen und erscheint heute als machbar. Die Vorgaben der Green-Deal-Initiative übersteigen die Vorgaben der EU-seitigen Clean Vehicles Directive deutlich und wurden als wesentlicher Bestandteil der Konzessionsausschreibung in Amstelland-Meerlanden herangezogen.

Konzessionsausschreibung und Vergabe: Maximalprinzip bei der Ausschreibung führt zum effizientesten und schnellsten Flottenmigrationspfad

Die Vergabe der Konzession zeichnet sich durch die Besonderheit der fehlenden Preiskomponente in der Bewertung wieder. Im Sinne des Maximalprinzips wurde die zeitlich schnellste Flottendekarbonisierung (und damit auch größte Flotte mit emissionsfreien Antrieben) unter den gegebenen Mitteln (jährlich 100 Mio. €) für die Konzession AML am besten bewertet.

Der langfristige Konzessionsvertrag sichert in Verbindung mit den politischen Vorgaben die materielle und finanzielle Planbarkeit für alle Akteure

Der über 15 Jahre laufende Konzessionsvertrag mit einem festgelegten Verkehrskonzept und den klaren Zielsetzungen der Green-Deal-Initiative gewährleisten für den Betreiber Connexxion eine sichere Planbarkeit. Dies gilt auch für die festgelegten Zahlungen der VRE an Connexxion. Auch das Ende der Konzession ist geregelt: Der folgende Betreiber muss die bestehende Ladeinfrastruktur und die bestehende Fahrzeugflotte zu definierten Restwerten von Connexxion abnehmen. Diese Abnahmegarantie ermöglicht somit eine vollständige materielle und finanzielle Planbarkeit der Flottendekarbonisierung in Amstelland-Meerlanden.

100 % Made in Netherlands: straffe Einbindung relevanter Akteure und Unternehmen

Die effiziente Zusammenarbeit aller relevanten Akteure wird in der Betrachtung der Flottentransformation in Amstelland-Meerlanden als wesentlicher Erfolgsfaktor angesehen.³⁶³ Alle Akteure, insbesondere auch die Lieferanten und Hersteller der Busse und der Ladeinfrastruktur, stammen aus den Niederlanden. Bestehende Flächen des Flughafengeländes Schiphol wurden genutzt, um erfolgreich einen großen Teil des Ladeinfrastruktur-Netzwerks aufzubauen, und so in das Verkehrskonzept eingebunden. Der Flughafen wurde so als privatwirtschaftliches Unternehmen vollständig in das Projekt eingebunden. Auch der Wissensaustausch und eine umfangreiche Datenerfassung wurden forciert, um den Betrieb laufend zu optimieren.

Variantenmanagement: ein schlankes Fahrzeugportfolio und standardisiertes Ladeinfrastrukturnetz sorgen für Wartungsfreundlichkeit und eine gute Einsatzverfügbarkeit

Der Aufbau der Batteriebusflotte lässt ein schlankes Variantenmanagement erkennen. Die Fahrzeuge stammen von lediglich zwei niederländischen Herstellern. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur folgte ebenfalls vor der Zielsetzung einer maximal möglichen Kompatibilität und Standardisierung. Dies steht in Kontrast zu anderen Projekten.

Übertragbarkeit Deutschland: Aufgabenträger sollten klare Dekarbonisierungsziele vorgeben

Zwar gestaltet sich die Organisation in Deutschland mit einigen Unterschieden zu der Konzessionsstruktur in den Niederlanden, es lassen sich trotzdem einige Punkte, insbesondere für die Vergabe der Verkehrsleistungen durch die Aufgabenträger in Deutschland, ableiten. Feste Dekarbonisierungsziele und ein dazu passender Flottenausbauplan sichern zum einen die materielle Planbarkeit. Zum anderen kann die finanzielle Planbarkeit durch Abnahmeregelungen für die Fahrzeuge und Infrastrukturen nach Ende der öffentlichen Dienstleistungsaufträge

unterstützt werden. Insgesamt ist jedoch auch die anbieterseitige Struktur in den Niederlanden zu berücksichtigen. Im Vergleich zu Deutschland werden hier die Verkehre in den Konzessionen durch einige wenige, jedoch große und finanzkräftige Verkehrsbetreiber (z. B. Transdev) erbracht, die zu umfangreichen Investitionen in Fahrzeuge und Infrastruktur fähig sind. Viele der kleineren Verkehrsunternehmen sind bei der Investitionstätigkeit auf Unterstützung angewiesen.

5.5.6 Fallbeispiel Oslo

5.5.6.1 Ausgangssituation

Die norwegische Hauptstadt Oslo verfolgt ambitionierte Ziele hinsichtlich der Erreichung der Klimaneutralität bis zum Jahr 2030. Dazu hat die Stadt bereits früh die Verkehrswende eingeläutet und sich so den Titel der „Welthauptstadt der E-Mobilität“³⁶⁴ erarbeitet. Obwohl Oslo an einem Fjord liegt und etwa 80 % der Häuser elektrisch beheizt werden (Erdgas spielt hier kaum eine bis keine Rolle), lagen die Werte der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid und Feinstaub im Jahr 2016 über den nationalen Zielen (Stickstoffdioxidgehalt Oslo: 55 µg/m³, Zielwert: 40 µg/m³; Feinstaubgehalt Oslo: 24 µg/m³, Zielwert: 20 µg/m³). Trotz einer nennenswerten E-Pkw-Flotte war der Verkehr als Hauptquelle für die Luftverunreinigung verantwortlich.³⁶⁵ Als Reaktion darauf strebte die Stadtverwaltung neben der Dekarbonisierung des motorisierten Individualverkehrs auch die Umstellung der Bus- und Fährflotten auf emissionsfreie Fahrzeuge und Schiffe an.

Als wesentlicher Meilenstein wurde zunächst der ausschließliche Betrieb der Busse und Fähren mit Biokraftstoffen bis zum Jahr 2021 angesehen. Diese Zielsetzung wurde vor ihrer Erreichung seitens der Stadtverwaltung aufgegeben und überarbeitet. Der Klimabeitrag durch den Einsatz von Biokraftstoffen anstelle fossiler Kraftstoffe wurde als zu gering, die Kosten indessen als zu hoch bewertet. Die Ruter AS, das Verkehrsunternehmen der Stadt

Oslo, hat sich daraufhin im Jahr 2018 zum Ziel gesetzt, innerhalb von zehn Jahren den Verkehr mit Bussen und Fähren vollständig zu dekarbonisieren.³⁶⁶ Die Osloer Stadtbussflotte mit etwa 1.200 Bussen³⁶⁷ soll dann vollständig auf emissionsfreie Antriebe umgestellt sein.

Als kommunales Unternehmen fällt die Planung, die Koordination, die Bestellung und der Vertrieb der Verkehrsleistungen im ÖPNV in Oslo in das Aufgabenspektrum der Ruter AS. Die Erbringung der Verkehrsleistung erfolgt durch verschiedene Betreibergesellschaften (z. B. Norgesbuss, Unibuss, Nobina).

5.5.6.2 Vorgehensweise

Das Fallbeispiel liefert nachfolgend einen Einblick in die laufende Umsetzung dieses Vorhabens und trägt bereits gewonnene Erkenntnisse aus der Osloer Flottentransformation zusammen. Hierfür wurden im Wesentlichen folgende Quellen herangezogen:

- Veröffentlichungen des Osloer Verkehrsunternehmens sowie der beauftragten Busbetreiber
- Pressemitteilungen der Unternehmen und der Stadt Oslo
- Berichterstattungen und wissenschaftliche Untersuchungen und Evaluationen des laufenden Projektes.

5.5.6.3 Informationen zum Projekt

Umfang und Entwicklung der Elektrobussflotte

Zu Beginn der E-Bus-Flottentransformation in Oslo wurden im Rahmen unterschiedlicher Pilotprojekte bei verschiedenen Busbetreibern unter der Koordination von Ruter zunächst insgesamt sechs Batteriebusse in den Jahren 2017 und 2018 in den Betriebseinsatz aufgenommen:

- 2x BYD 18 m Gelenkbus bei Betreiber Nobina (Depotladen)
- 2x Solaris Urbino 12 electric bei Betreiber Norgesbuss (Gelegenheitsladen)
- 2x Solaris Urbino 12 electric bei Betreiber Unibuss (Gelegenheitsladen)

Die Busbetreiber führten vor Beginn der Pilotprojekte eine Streckenanalyse durch und entschieden so über die jeweilige Nachladestrategie. Die ersten Batteriebusse von Norgesbuss und Unibuss sind für das Nachladen auf der Strecke ausgelegt (Gelegenheitsladen) und führen daher eine kleiner dimensionierte Traktionsbatterie für eine Reichweite bis ca. 45 km im Osloer Stadtgebiet, während Nobina Batteriebusse einsetzte, die im Depot nachgeladen werden. Bereits im Rahmen der ersten Pilotfahrzeuge zeigte sich so eine Variantenvielfalt sowohl hinsichtlich der Fahrzeughersteller als auch in Bezug die Batterie- und Ladelösungen, die sich auch im weiteren Verlauf der Flottentransformation fortgesetzt hat.

Im Jahr 2019 wurden bei den drei Busbetreibern anschließend weitere 109 Batteriebusse in die Flotte aufgenommen. Hierzu gehören erstmals 30 Solo-

und zehn Gelenk-Batteriebusse des Herstellers VDL und sechs Solo-Batteriebusse von EvoBus Mercedes-Benz. Im Jahr 2020 beschaffte der Busbetreiber Vy Bus erstmals 55 Solo-Batteriebusse. Diese stammen vom chinesischen Hersteller BYD. Unibuss verzeichnete im gleichen Zeitraum einen Zugang von 23 BYD Solo-Batteriebusen, die anders als die zuvor beschafften Batteriebusse von Solaris im Depot außerhalb des Fahreinsatzes nachgeladen werden. Diese Entwicklung unterstreicht die Strategie der Osloer Verkehrsunternehmen und Busbetreiber, die technische Konfiguration der Fahrzeuge entsprechend ihrem konkreten Fahreinsatz auszulegen und so eine Varianten- und Herstellervielfalt in Kauf zu nehmen.³⁶⁸

Zum derzeitigen Stand sind im Osloer ÖPNV knapp 200 Batteriebusse im Einsatz, die aus der Produktion von fünf unterschiedlichen Herstellern stammen (Solaris, Volvo, BYD, VDL und EvoBus Mercedes-Benz). Darüber hinaus bestehen kurzfristige (bekannte) Planungen für die Einflottung von weiteren 361 Batteriebusen, davon wurden von Norgesbuss 102 Fahrzeuge bei VDL bestellt. Gemäß den bekannten Ist-Beständen und Planungen werden so voraussichtlich zu Ende des Jahres 2023 mindestens 550 Batteriebusse in Oslo eingesetzt.

Fahrzeugspezifikationen

Fahrzeughersteller	Solaris	BYD	BYD
Modell	Urbino 12 electric	18m Articulated	12m K8
Status Flotte	Ist	Ist	Ist
Anzahl	8	49	71
Fahrzeuglänge	12 m	18 m	18 m
Klimaanlage/Heizung	HVO Zusatzheizung	HVO Zusatzheizung	HVO Zusatzheizung
Batteriekapazität	75–125 kWh (LTO)	307–348 kWh (LFP)	307–348 kWh (LFP)

Fahrzeughersteller	VDL	VDL	Volvo
Modell	SLFA-120 Electric	SLFA-180 Electric	7900E
Status Flotte	Ist	Ist	Ist
Anzahl	10	30	17
Fahrzeuglänge	12 m	18 m	12 m
Klimaanlage/Heizung	HVO Zusatzheizung	HVO Zusatzheizung	HVO Zusatzheizung
Batteriekapazität	127 (LTO)	170 (LTO)	200 kWh (NMC)

Fahrzeughersteller	Mercedes-Benz
Modell	eCitaro 12 m
Status Flotte	Plan
Anzahl	6
Fahrzeuglänge	12 m
Klimaanlage/Heizung	HVO Zusatzheizung
Batteriekapazität	243 kWh (NMC)

Tabelle 38: Fahrzeugspezifikationen der in Oslo eingesetzten Batteriebusse

Die eingesetzten Batteriebusssysteme sind in Oslo insbesondere vor klimatisch anspruchsvolle Bedingungen gestellt. In den Wintermonaten liegt die Durchschnittstemperatur deutlich unter 0 °C. Thorne et al. führten im Jahr 2020 eine Befragung der Verkehrsunternehmen in Oslo durch. Betrachtungsschwerpunkte lagen bei einer Einordnung und Evaluation der Technologiewahl, des Betriebseinsatzes und der Kosten.³⁶⁹ Die klimatischen Bedingungen wurden dabei als wesentlicher Einflussfaktor auf die Auswahl der Fahrzeugspezifikationen und -ausstattung identifiziert. Die Befragungen ergaben, dass der Energieverbrauch der Nebenaggregate für die Heizung der Fahrzeuge etwa 50 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen. Der maximale Gesamtenergieverbrauch in den Wintermonaten wird mit 3 kWh/km angegeben. Um dieses Problem zu lösen, nutzen die Betreiber derzeit zusätzliche Zuheizter, die mit Biodiesel (HVO) betrieben werden. Die zusätzliche Beheizung wird so zwar als klimaneutral, aber nicht als emissionsfrei eingestuft. Für eine vollständig emissionsfreie Flotte müssten die Fahrzeuge schließlich ohne fossile Zuheizter auskommen. Die Befragung der Betreiber durch Thorne et al. hat ergeben, dass zukünftig höhere Batteriekapazitäten der Fahrzeuge das vollständig emissionsfreie Heizen bzw. Klimatisieren ermöglichen sollen. Denkbar ist auch, dass häufigeres Nachladen auf der Strecke den zusätzlichen Energieverbrauch abdeckt. Dies bedeutet aber eine zusätzliche betriebliche Anpassung der Streckenumläufe und ggf. zusätzliche Ladeinfrastruktur. Neue Klimatisierungskonzepte (z. B. Wärmepumpen) werden in den verfügbaren Quellen und Befragungsergebnissen nicht aufgegriffen.

Die ersten Pilotfahrzeuge wurden zunächst im Rahmen der bestehenden Umlauf- und Linienplanung ohne besondere Anpassungen eingesetzt. Im Zuge wachsender Erfahrung im Betriebseinsatz wurden einige der Umläufe sukzessive hinsichtlich des E-Bus-Einsatzes optimiert. Der Erfahrungsbericht eines Busbetreibers erläutert, dass durch die Umlaufanpassung im Rahmen der Umstellung von 40 der insgesamt 200 eingesetzten Busse kein Fahrzeugmehrbedarf entstand. Die Umlaufoptimierung stand dabei insbesondere unter Einfluss der möglichen Nachladestrategien.

Hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Wartungsintensität der Batteriebusse zeigt sich während der ersten Jahre der Flottentransformation in Oslo ein gemischtes Bild. Es gibt Berichte, die die geringere Wartungsintensität der Batteriebusse an Verschleißteilen (Bremsen, Antriebsstrang) positiv hervorheben. Insgesamt lag die Zuverlässigkeit der ersten Batteriebusse jedoch unter den Erwartungen. Größere Probleme traten teilweise an Batterie und Antriebsstrang auf, aber auch viele kleinere (nicht antriebsbedingte) Probleme führten zu einer niedrigen Verfügbarkeitsquote. Bei einem Betreiber lag diese in den ersten Monaten zunächst bei nur 50 %.

Lade- und Betankungsinfrastruktur

Hinsichtlich der Ladeinfrastruktur zeigt sich in Oslo ein recht fragmentiertes Bild. Die Betreiber setzen je nach Linieneinsatz auf unterschiedliche Nachladestrategien. Die Befragung von Thorne et al. stellt deutlich heraus, dass die Osloer Behörden aktiv eine betreiberübergreifende Infrastrukturplanung und einen koordinierten Ausbau, insbesondere außerhalb der Depots, forcieren müssen. Ruter nennt die Planungs- und Genehmigungsverfahren zwischen den Betreibern und der Stadtverwaltung in Bezug auf den Ladeinfrastrukturaufbau im Stadtgebiet als problematisch. Ebenfalls wurde der Aspekt fehlender Grundstücksflächen für das Gelegenheitsladen als kritisch angesehen. Hier gab es in der Folge teilweise Änderungen in der Umlaufplanung und Streckenführung. Der Platzbedarf der Ladeinfrastruktur in den Busdepots wird indessen auch seitens der Betreiber als unkritisch bewertet. Die Ladeinfrastruktur zeigt sich in der Evaluation der ersten Jahre der Flottentransformation in Oslo als weitere Ursache für Ausfälle im Betriebseinsatz. Ruter berichtete über Probleme mit zu weichem Asphalt, der durch die schwereren Batteriebusse eingedrückt wurde. Die Oberflächenverformung führte so dazu, dass die Pantografen bei Ladevorgängen Verbindungsprobleme hatten. Eine wesentliche Herausforderung im Betrieb sind Probleme bei Ladevorgängen. Problematisch zeigt sich hier die fehlende Standardisierung der Ladegeräte und Anschlüsse. Ruter stellte fest, dass die installierten Schnellladesäulen im Stadtgebiet für das

Gelegenheitsladen fehleranfälliger sind als die Ladesäulen im Depot. Die Einführung eines Betreibermodells der Ladeinfrastruktur wird von verschiedenen Seiten, insbesondere in Studien zur Flottentransformation in Oslo, angeregt.

Anschaffungs- und Betriebskosten

Die wirtschaftliche Betrachtung der E-Bus-Flottentransformation erfolgt seitens Ruter auf Grundlage einer Total Costs of Ownership (TCO)-Analyse. Diese bezieht sowohl die Kapitalkosten für Fahrzeuge und die erforderliche Infrastruktur (insbesondere Anschaffungskosten) als auch die Betriebs- und Wartungskosten mit ein und bildet einen Kostensatz pro Kilometer. Da es sich um eine rein fahrzeugbezogene Analyse handelt, werden Personalkosten nicht mit einbezogen. Die von Ruter im Jahr 2018 durchgeführte TCO-Analyse zeigt deutliche Mehrkosten der Batteriebusssysteme gegenüber den konventionellen Dieselnissen, die im Wesentlichen auf die erhöhten Anschaffungskosten der Fahrzeuge und die zusätzlichen Kosten für die Ladeinfrastruktur zurückzuführen sind. Die TCO-Analyse (für einen Zeitraum von acht Jahren, der dem Vergabezeitraum entspricht) von Ruter ergab so:

- Batteriebus mit Depotladen: 1,18 €/km (12,7 NOK/km)
- Batteriebus mit Gelegenheitsladen: 1,34 €/km (14,4 NOK/km)
- Dieselniss-Referenz: 10 NOK/km (10 NOK = 0,93 €, 01/23)

Im Rahmen der TCO-Analyse wurde seitens Ruter die Prognose von sinkenden Anschaffungskosten der Fahrzeuge unterstellt. Hintergrund der Annahme einer Kostendegression bis zum Jahr 2025 sind Skaleneffekte in der Produktion. Die Gesamtbetriebskosten für einen Batteriebus mit Depotladen wurden unter dieser Prämisse für das Jahr 2025 auf 1,00 €/km (10,7 NOK/km) abgeschätzt.

Verschiedene Studien stellten ebenfalls TCO-Berechnungen an, Thorne et al. kommen dabei für das Jahr 2019 und die Prognose für 2025 auf nahezu identische Ergebnisse für den Einsatz von Batteriebusssystemen in Oslo, wie die folgende Abbildung zeigt.

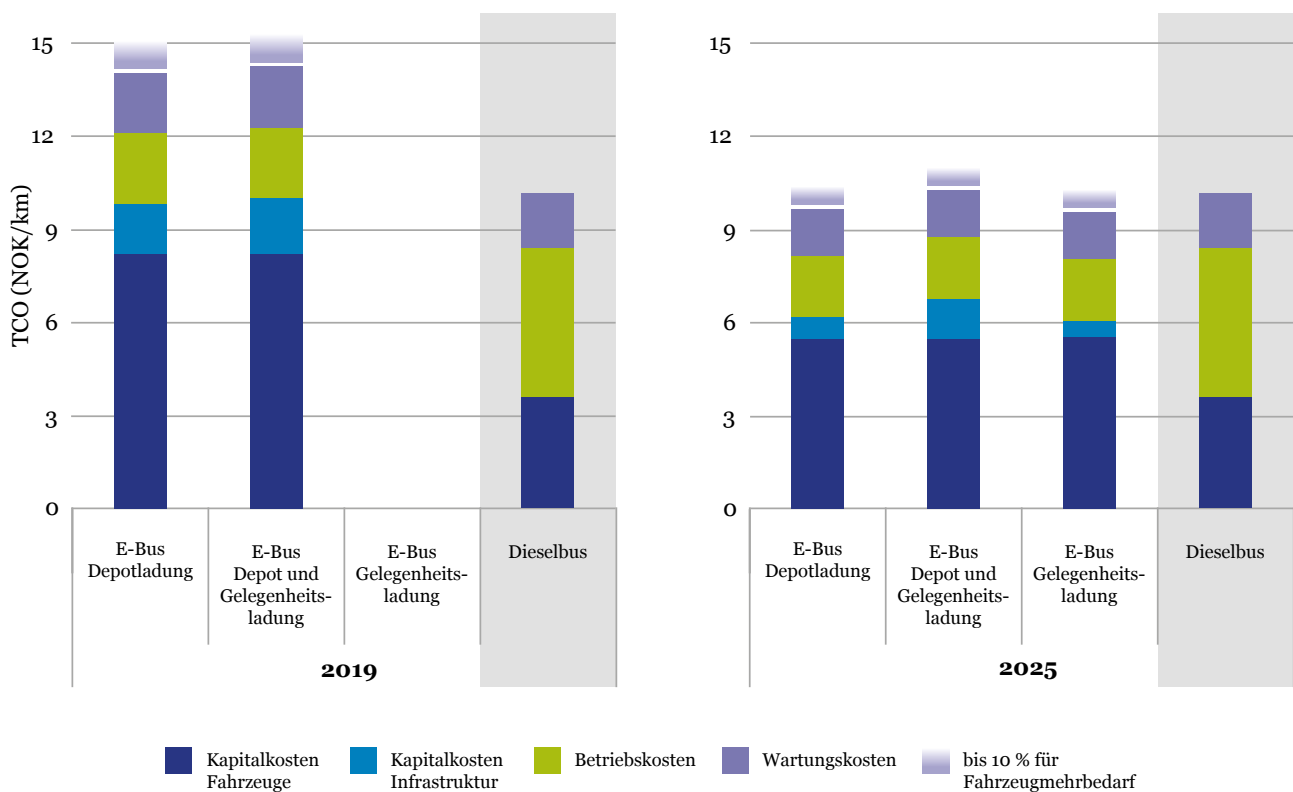


Abbildung 154: TCO-Analyse der durch Ruter in Oslo eingesetzten E-Busse und Prognose für das Jahr 2025

Wie auch in anderen untersuchten Projekten, zeigt sich auch für Oslo ein Betriebskostenvorteil der Batteriebusse. Dieser Effekt wird zusätzlich durch die im Vergleich zu Deutschland sehr günstigen Strompreise in Norwegen getrieben. Thorne et al. führen jedoch auch an, dass aufgrund der vorherrschenden klimatischen und topografischen Bedingungen eine geringere Lebensdauer der Batterie zu erwarten ist. Die Vergabezeiträume betragen in Norwegen 7–10 Jahre, so ist während dieses Zeitraums möglicherweise mit einem Batterietausch zu rechnen. Über den Alterungszustand (State of Health, SOH) der Batterien der ersten Batteriebusse in Oslo wurden bislang keine Informationen veröffentlicht.

Abseits der rein fahrzeugbezogenen TCO-Analyse wird sowohl bei Thorne et al. als auch bei den Osloer Busbetreibern in der Gesamtkostenbetrachtung von

einem 10 %-Fahrzeugmehrbedarf ausgegangen. Zwar lässt sich der Fahrzeugmehrbedarf wie beschrieben durch Umlaufanpassungen reduzieren, ist aber aufgrund der teilweise nicht ausreichenden Reichweiten in Oslo derzeit nicht vollständig vermeidbar.

5.5.6.4 Organisatorische Umsetzung und Finanzierung

Die staatliche Förderagentur Enova ist ein Instrument der norwegischen Regierung, dessen Aufgabe es ist, den CO₂-Fußabdruck des Landes zu reduzieren. Sie wird von der Regierung und durch einen Aufschlag auf die Rechnungen der norwegischen Stromversorger finanziert. Jedes Jahr schüttet Enova etwa 200 Mio. \$ an die lokalen Gemeinden aus, um ihre Arbeit zu unterstützen.³⁷⁰ Enova bezuschusst die Beschaffung von emissionsfreien Fahrzeugen und

öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur mit bis zu 50 % der Investitionsmehrkosten (im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor). Die Zuschüsse fließen an die öffentliche Verkehrsgesellschaft Ruter für die Regionen Oslo und Akershus, die rund 1.200 Busse in der Hauptstadtregion betreibt. Die Stadt Oslo fördert zudem den Ausbau von Ladeinfrastruktur für elektrische Busse und Lkw im Stadtgebiet mit einem Zuschuss von 80 % (das Fördervolumen beträgt rund 2,3 Mio. €).³⁷¹ Darüber hinaus bezuschusst die Stadt den Umstieg von Dieselnissen auf emissionsfreie Fahrzeuge. Da-

für stellte sie Ende 2022 ein Programm mit einem Budget von 500 Mio. Kronen (48 Mio. \$) zur Verfügung.³⁷² Ein weiteres, längerfristiges Finanzierungspaket ist das „Oslo Paket 3“. Hierbei handelt es sich um eine politische Vereinbarung und Planung für Investitionen in Höhe von rund 4,929 Mrd. € (53 Mrd. Kronen) in den Regionen Oslo und Akershus. Es umfasst die Finanzierung der Straßen- und öffentlichen Verkehrsinfrastruktur sowie Betriebsbeihilfen für den öffentlichen Verkehr im Zeitraum 2008–2027 und ist Teil des Nationalen Verkehrsplans 2010–2019.³⁷³

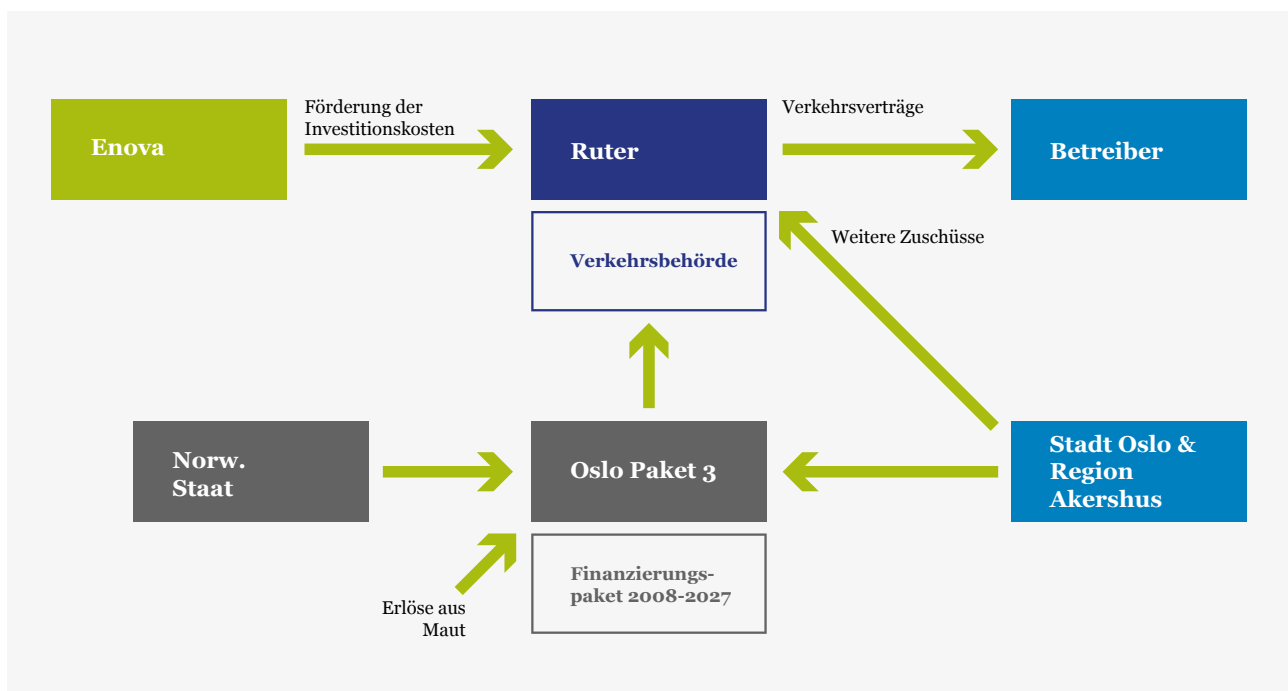


Abbildung 155: Übersicht der Organisation und Finanzierung des ÖPNV mit Bussen in Oslo

Die Studie von Thorne et al. beschreibt daneben auf Grundlage von geführten Interviews eine sich entwickelnde Unternehmenskultur, in der sich die Busbetreiber als „Early Adopters“ sehen. Diese Haltung wird vor allem durch das stadtpolitische Geschehen

gefördert. Die Betreiber stehen trotz der derzeit höheren Gesamtkosten und der technischen und betrieblichen Herausforderungen der weiteren Einführung von Elektrobussen sehr positiv gegenüber.

5.5.6.5 Gewonnene Erkenntnisse

Klimatische und topografische Bedingungen stellen in Oslo eine große Herausforderung dar

Insbesondere die kalten Wintermonate in Oslo sind eine ungünstige Bedingung für den Einsatz von Batteriebusssystemen und resultieren in hohen Energieverbräuchen, vor allem für die Klimatisierung der Fahrzeuge. Um größere Einbußen hinsichtlich der verfügbaren Reichweite zu vermeiden, werden größtenteils HVO-Zusatzheizungen in den Osloer Batteriebussen eingesetzt. Die Busse werden somit als klimaneutral, aber nicht als emissionsfrei eingestuft.

Umlaufoptimierungen sind notwendig, um den Fahrzeugmehrbedarf zu reduzieren

Die ersten Batteriebusse wurden zunächst im Sinne eines 1:1-Tausches mit konventionellen Dieseln auf bestehenden Umläufen eingesetzt. Mit zunehmender Flotte und Erfahrung der Betreiber wurden Umläufe hinsichtlich des Einsatzes mit Batteriebussen optimiert. So lässt sich ein Fahrzeugmehrbedarf reduzieren, der sich betrieblich mit geringeren Reichweiten der Batteriebusse begründen lässt. Im Sinne einer ganzheitlichen Flottentransformationsstrategie sollte diese Umlaufbetrachtung und Optimierung möglichst frühzeitig geschehen und die Geschwindigkeit der konkreten Flottenumstellung berücksichtigen. Dies gilt für alle Verkehrsunternehmen, die ihre Flotte umstellen.

Osloer Batteriebusse und Ladeinfrastrukturen sind wenig standardisiert, stadt- und betreiberübergreifende Ladeinfrastrukturplanung und -ausbau werden gefordert

Die Analyse der Fuhrparkentwicklung und des Ladeinfrastrukturausbaus hat eine breite Vielfalt an Herstellern und technischen Lösungen gezeigt. Einerseits hat dies Vorteile, um einen breiteren Erfahrungsschatz aufzubauen, die spezifischen Nachteile können jedoch schwer ins Gewicht fallen. Eine Variantenviel-

falt sorgt für zusätzliche Komplexität bei der Flottentransformation, die sowohl betriebliche als auch wartungstechnische Herausforderungen mit sich bringt. Eine konsequente technische Standardisierung und ein übergreifendes Ladeinfrastrukturkonzept tragen nicht nur in Oslo dazu bei, diese Komplexität deutlich zu verringern.

Batteriebusssysteme sind aufgrund höherer Kapitalkosten bislang noch teurer als konventionelle Dieseln

Die TCO-Analysen haben gezeigt, dass der Einsatz von Batteriebussen aufgrund höherer Kapitalkosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur bislang noch mit deutlich höheren Kosten verbunden ist. Auch die Instandhaltungskosten der Osloer Batteriebusse fallen im Vergleich zu Dieseln noch etwas höher aus. Einspareffekte zeigen sich bei den Betriebskosten, insbesondere aufgrund der höheren Energieeffizienz der Batteriebusse und der geringen Strompreise in Norwegen. Das Osloer Verkehrsunternehmen Ruter geht von Skaleneffekten in der E-Bus-Produktion und damit von sinkenden Anschaffungskosten für E-Busse aus. Der Stand der Analyse aus dem Jahr 2019 sieht die Erreichung der Kostenparität zu konventionellen Dieseln bis zum Jahr 2025 voraus. Diese Prognose steht folglich im kommenden Jahr zur Überprüfung.

Early-Adopter-Mentalität bei den Verkehrsunternehmen in der „Welthauptstadt der E-Mobilität“

Die Stadt Oslo verfolgt ambitionierte Ziele hinsichtlich der Erreichung von Klimaneutralität bis zum Jahr 2030. Diese Zielsetzung trägt politisch einen hohen Stellenwert und wurde nicht nur innerhalb der Stadt breit und intensiv kommuniziert. Interviews mit den Verkehrsunternehmen zeigten eine Early-Adopter-Mentalität und den Willen, trotz wirtschaftlicher, technischer und betrieblicher Herausforderungen Innovation und Veränderungen für den Klimaschutz im ÖPNV mit Bussen herbeizuführen.

5.6 Hinweise zum methodischen Vorgehen

Im Folgenden finden sich umfangreiche Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Erarbeitung der Ergebnisse verschiedener Kapitel.

5.6.1 Kapitel Erfassung der angebotenen Fahrzeugmodelle

Für die vollständige und systematische Erfassung aller am Markt verfügbaren und für den deutschen und europäischen Markt vorgesehenen Serienfahrzeugmodelle für Elektrobusse wurde ein dreistufiges Vorgehen angewendet, wobei ausschließlich Fahrzeugmodelle mit elektrifizierten Antrieben betrachtet werden. Hierzu gehören also neben BEV auch PHEV, FCEV und O-Busse/Trolleybusse. Zunächst wurden die relevanten Fahrzeughersteller auf Basis der vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) bereitgestellten Herstellerverzeichnisse sowie der Bus-Zulassungsstatistiken erfasst. Ergänzend wurden auch die Statistiken von offiziellen Kraftfahrzeugzulassungsstellen weiterer ausgewählter europäischer Staaten mit relevanten Elektrobustmärkten (beispielsweise Niederlande, Polen, Großbritannien, Frankreich, Italien) betrachtet, um eine vollständige Übersicht über die derzeit am Markt agierenden europäischen Bushersteller zu erhalten (Schritt 1).

Ausgehend davon wurde anhand der von diesen Herstellern im Internet oder als Druckversion bereitgestellten Quellen, wie Produktinformationen, Katalogen, Broschüren und Datenblättern, das Serienfahrzeugangebot systematisch erfasst und hinsichtlich der technischen Daten auf Basis der Herstellerangaben charakterisiert (Schritt 2).

Zur vollständigen Erfassung aller am europäischen Markt verfügbaren Busmodelle wurde die vorliegende Datenerhebung auch mit Sekundärdaten verprobt bzw. bei Bedarf ergänzt.

Im Ergebnis liegt somit eine umfassende Liste der derzeit am europäischen Markt verfügbaren Elektrobustmodelle inklusive entsprechender technischer Informationen vor. Diese Fahrzeugliste ist diesem Bericht als Anhang beigelegt.

Zu jedem der erfassten Fahrzeugmodelle wurden, sofern die Informationen öffentlich verfügbar waren, folgende Daten erfasst:

- Hersteller und Modellbezeichnung
- Sitz des Herstellers (Land)
- Antriebstechnologie
- Bauart
- Fahrzeuglänge
- Anzahl der Sitz- und Stehplätze sowie die Gesamtanzahl der Fahrgäste
- Maximale Reichweite gemäß Herstellerangabe
- Batteriekapazität bzw. Leistung der Brennstoffzelle
- Batterietechnologie
- Ladetechnik und Ladekonzept sowie Ladeleistung
- Antriebsleistung und Antriebsdrehmoment
- Heizung und Klimatisierung

Für die Aufnahme eines Fahrzeugmodells in die Übersicht war dabei nicht die bereits produzierte bzw. verkaufte Stückzahl entscheidend, sondern dass der jeweilige Hersteller die Möglichkeit des Erwerbs und die Lieferbereitschaft des jeweiligen Fahrzeugtyps signalisiert.

5.6.2 Kapitel Übersicht zur Bestandsentwicklung von Elektrobussen in Deutschland

Die Erfassung des Bestandes sowie der Entwicklung des deutschen Elektrobustbestandes erfolgen mit einer „Bottom-up“-Methodik. Bei dieser Methodik werden die Elektrobuste auf Ebene der Verkehrsunternehmen bzw. Kommunen erfasst, indem auf öffentlich verfügbare Informationen zu den jeweiligen Planungen zurückgegriffen wird. Die präsentierten Werte können daher unter Umständen von den tatsächlichen Planungen der Unternehmen abweichen, falls diese noch nicht öffentlich kommuniziert wurden. Für die Auswertung wurden insbesondere folgende öffentlich zugängliche Quellen herangezogen und ausgewertet:

- Ausschreibungen von Verkehrsunternehmen zur Beschaffung von Elektrobussen,

- Förderbescheide von Landes- und Bundesministerien bzw. entsprechende Pressemitteilungen,
- Pressemitteilungen von Verkehrsunternehmen zur Beschaffung von Elektrobussen bzw. Pressemitteilungen von Fahrzeugherstellern über die Auslieferung bzw. Bestellung von Elektrobussen, einschlägige mediale Berichterstattung (Fach- und Tagespresse) über geplante Elektrobussbeschaffungen,
- Darstellungen bzw. Verzeichnisse des Fahrzeugbestands von Verkehrsunternehmen im Internet, Sekundärquellen (z. B. Markt- bzw. Branchenberichte, Projektberichte und Studien),
- weitere beschaffungsrelevante Planungen bzw. Gesetze (z. B. Nahverkehrspläne, ÖPNV-Gesetze), jährlich veröffentlichte VDV-Statistik sowie Zulassungsstatistik des KBA.

Die jeweiligen Quellen werden mithilfe einer strukturierten Erfassungstabelle analysiert. Diese Tabelle umfasst die folgenden Merkmale:

- Unternehmen,
- Ort/Region,
- Bundesland,
- Plan/Ist (dient insbesondere jeweils im aktuellen Jahr zur Unterscheidung bereits beschaffter und zukünftig erwarteter Elektrobusse),
- Jahr,
- Antriebsart,
- Bauart,
- Hersteller,
- Anzahl der Fahrzeuge,
- Ladestrategie,
- Ladetechnik.

Im Hinblick auf die zukünftig absehbaren Beschaffungen wurde gemeinsam mit der Auftraggeberin ein Zeithorizont bis zum Jahr 2030 definiert. Zudem wurde festgelegt, ab welchem Grad der Verbindlichkeit der jeweiligen Planungen Fahrzeugbeschaffungen berücksichtigt werden sollen. Als verbindlich

werden absehbare Beschaffungen betrachtet, wenn das Verkehrsunternehmen bereits konkrete Bestellungen getätigt hat oder sich Bestelloptionen bei Herstellern gesichert hat, Ausschreibungen gestartet wurden oder konkretisierende Pläne oder Beschlüsse (z. B. Gesellschafterbeschluss, Unternehmensplanung) vorliegen. Das bedeutet auch, dass keine Busbeschaffungen berücksichtigt werden, wenn nur vage Absichtserklärungen, z. B. in Presseberichten, ohne Bestätigung durch das Verkehrsunternehmen oder den Aufgabenträger wiedergegeben werden.

5.6.3 Kapitel öffentliche Wahrnehmung des E-Bus-Einsatzes in Deutschland (Medienanalyse)

5.6.3.1 Schlagwortliste

Grundlage der Auswahl und Dokumentation fachlich relevanter Veröffentlichungen war eine zu Beginn der Begleituntersuchung mit dem Auftraggeber abgestimmte Schlagwortliste mit den wichtigsten Suchbegriffen. Nachfolgend aufgeführte Suchbegriffe wurden seinerzeit festgelegt:

- Förderung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr
- ÖPNV
- BMWK (BMUV)-Elektrobussförderung / Bundesumweltministerium Elektrobussförderung / BMWK (BMUV)-Elektrobussförderung / Förderbescheid / Elektrobuss-Förderung
- Hybridbus / Plug-in-Hybridbus / Plug-in-Hybridbus-Förderung
- Batteriebus / Elektrischer Batteriebus / Batterieelektrischer Bus Elektrobuss-Technologie / Brennstoffzellenbus / Wasserstoffbus / Oberleitungsbus / O-Bus
- Clean Vehicles Directive (CVD) / Clean Vehicles Richtlinie / 2019 / 1161 / 2009 / 33 / EG

- Alternative / elektrische / emissionsfreie Antriebe im Busbereich
- Ladeinfrastruktur für Elektrobusse / Gelegenheitsladen / Depotladen (auch über Nacht)

Im Anschluss an eine erste Prüfung unter Berücksichtigung der Schlagwortliste erfolgte eine Auswahl und Fokussierung auf Beiträge mit erkennbarem Zusammenhang zu Elektrobussen und deren Förderung.

5.6.3.2 Begründung der Medienauswahl

5.6.3.2.1 Tageszeitungen und Wirtschaftstitel

- **Frankfurter Allgemeine Zeitung (print und online)**

Die Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) ist eine überregionale Tages- und Wirtschaftszeitung und gilt als das bürgerlich-konservative Leitmedium Deutschlands. Das Korrespondentennetz der Zeitung ist eines der größten der Welt. Der Themenkomplex Elektromobilität wird auf nationaler und regionaler Ebene für Hessen begleitet, zahlreiche Beiträge zu dem Themenkomplex beschäftigen sich daher mit den Flotten hessischer Mobilitätsanbieter.

*Verkaufte Auflage: 181.866 Exemplare
Visits (pro Monat): 57 Mio. (Quelle: IVW 03/2023)*

- **Süddeutsche Zeitung (print und online)**

Die Süddeutsche Zeitung (SZ) ist eine gleichermaßen überregionale wie regionale (Stichwort Bayern) Tageszeitung mit einem besonderen Fokus auf politische und wirtschaftliche Themenkomplexe. In diesem Kontext wird daher häufiger über E-Bus-Themen berichtet. Dazu erfolgen mitunter fachliche Einordnungen zum Thema.

*Verkaufte Auflage: 276.902 Exemplare
Visits (pro Monat): 84 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023,
Website Süddeutsche Zeitung)*

- **Tagesspiegel (print und online)**

Der Tagesspiegel bezeichnet sich selbst als Leitmedium der Hauptstadt. Entsprechend liegt das Augenmerk auf politischer Berichterstattung, ergänzt um einen regionalen Schwerpunkt auf Themen aus Berlin und Brandenburg. Als Tageszeitung des „politischen Berlins“ beschäftigt sich der Tagesspiegel intensiv (u. a. im sogenannten „Background für Entscheider“) mit ÖPNV-Themen und thematisiert dabei immer wieder alternative Antriebsformen sowie die Entwicklung im Bereich der Elektromobilität.

*Verkaufte Auflage 104.922 Exemplare
Visits (pro Monat): 35 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023)*

- **Die Tageszeitung (print und online)**

Die Tageszeitung (taz) ist eine überregionale, genossenschaftlich organisierte Tageszeitung mit eher linkem Touch. Themen aus Politik, Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft und Kultur sowie ein regionaler Fokus auf Berlin und Norddeutschland bilden den Schwerpunkt. Beiträge über Elektromobilität und Elektrobusse im Zusammenhang mit dem Klimawandel finden sich im Vergleich zu anderen Medien häufiger.

*Verkaufte Auflage: 47.381 Exemplare
Visits: 16 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023)*

- **Handelsblatt (print und online)**

Das Handelsblatt ist eine führende deutsche Tageszeitung für Wirtschaft und Finanzen, die in diesem Rahmen auch Politikberichterstattung bietet und diverse Themen – darunter immer wieder auch Elektromobilität – aufgreift. Diese Themen werden in größeren Zusammenhängen wie Klimawandel, Dieselfahrverbote oder ÖPNV sowie Verkehrswende beleuchtet und eingeordnet.

*Verkaufte Auflage: 148.288 Exemplare
Visits (pro Monat): 32 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023)*

- **Die Zeit (print und online)**

Die Zeit ist Deutschlands führende meinungsbildende Wochenzeitung. Sie bietet fundierte Hintergrundberichte und einordnende Beiträge. So auch zum Thema Elektrobusse, oft mit Meinung.

*Verkaufte Auflage: 613.158 Exemplare /
Visits (pro Monat): 87 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023, Mediadaten Die Zeit)*

- **Der Spiegel (print und online)**

Der Spiegel ist eines der renommiertesten wöchentlichen Nachrichtenmagazine mit Newsletter und einem Hauptaugenmerk der Berichterstattung auf politischen und gesellschaftlichen Ereignissen. Betrachtet werden vorrangig Gesamtzusammenhänge wie Klimawandel und Dieselfahrverbote oder die Diskussion um die Mobilitätswende. Der Spiegel bietet sowohl Meldungen als auch politische Einordnungen.

*Verkaufte Auflage: 695.600 Exemplare /
Visits (pro Monat): 166 Mio.
(Quelle: IVW 03/2023)*

5.6.3.2.2 Fachmedien

- **Der Nahverkehr (print)**

Die Monatszeitschrift für den öffentlichen Personenverkehr behandelt aktuelle Themen der Bereiche Verkehrspolitik und Recht, Verkehrswirtschaft und Marketing, Betrieb und Personal sowie Infrastruktur und Fahrzeuge. Der Nahverkehr ist geprägt durch ausführliche, in die Tiefe gehende Fachartikel von Fachjournalisten und Gastautoren aus der Branche. Im Vordergrund steht die gesamthafte Darstellung von Projekten und Technologien – in dieser Weise wird auch Elektromobilität regelmäßig thematisiert. Die Bedeutung von E-Bussen für den Transformationsprozess der ÖPNV-Branche unterstreicht der Verlag mit einer jährlich erscheinenden Sonderausgabe.

*Verbreitete Auflage (print und digital):
2.426 Exemplare
(IV. Quartal 2022 – III. Quartal 2023)*

- **NahverkehrsNachrichten (print und online)**

Die NahverkehrsNachrichten (NaNa) sind eine Fachpublikation für den gesamten öffentlichen Personenverkehr in Stadt und Region im deutschsprachigen Raum. Die Zeitung erscheint im wöchentlichen Rhythmus. Rubriken: Verkehr in der Praxis, Personen und Positionen, Verkehrspolitik, Industrie, Verkehr im Ausland. Die Publikation ist generell und somit auch in Hinblick auf Elektrobusse geprägt durch eine kontinuierliche Berichterstattung und Nachverfolgung. Es erfolgt nur selten eine Einordnung oder Kommentierung. Elektrobusse werden insgesamt gleichrangig zu anderen Themen behandelt, die Nachrichten beziehen sich hier häufig auf Beschaffungen und Indienststellungen von Fahrzeugen.

*Verbreitete Auflage: 1.463 Exemplare
(IV. Quartal 2022 – III. Quartal 2023) /
Visits (pro Monat): 5.575
(Durchschnitt: August 2022 – Juli 2023)*

- **NaNa-Brief (online als E-Paper)**

Wöchentliche Hintergründe, Analysen und Kommentare zum öffentlichen Personenverkehr liefert der NaNa-Brief. Das aktuelle Marktgeschehen und die politischen, rechtlichen und unternehmerischen Entwicklungen stehen im Vordergrund. Die Berichterstattung zu Elektrobussen ist hier einordnend und kommentierend. Sie begleitet das politische Geschehen sowie die Sichtweisen der Branchenakteure und nimmt häufig Bezug auf aktuelle Entwicklungen.

*Visits (pro Monat): 5.575
(Durchschnitt: August 2022 – Juli 2023)*

- **Nahverkehrspraxis (print und online)**

Die Fachzeitschrift für den öffentlichen Personenverkehr berichtet praxisbezogen unter anderem über technische Neuerungen und aktuelle Entwicklungen in den Verkehrsunternehmen und -Verbünden. Es erscheinen sechs bis sieben Ausgaben pro Jahr sowie Specials. Der Newsletter bringt im Bereich Elektrobusse vor allem Meldungen zu Bestellungen ohne Bewertung.

*Verbreitete Auflage: 5.902 Exemplare /
Visits: k. A.*

- **Omnibusrevue (print und online)**

Die Fachzeitschrift Omnibusrevue richtet sich an die Busbranche und andere Anbieter von Gruppenreisen mit Bussen. Das Magazin beinhaltet Managementbeiträge, Tipps für den Unternehmensalltag, Fahrzeugtests und Innovationen sowie Informationen zu Reisetrends und Destinationen. Ein ergänzendes Online-Angebot bietet aktuelle Nachrichten, eine Fahrzeugdatenbank und Videos. Zum Thema Elektrobusse werden nahezu täglich News veröffentlicht. Fahrzeugvorstellungen und Testberichte, Meldungen zu Beschaffungen und Inbetriebnahmen von Fahrzeugen sowie Veröffentlichungen zu Positionen von Verbänden und Unternehmen finden sich auf der Website. Nachrichten zu politischen Entscheidungsprozessen – beispielsweise zu den unterschiedlichen Förderhintergründen – erscheinen anlassbezogen.

*Verbreitete Auflage: 6.103 Exemplare /
Visits (pro Monat): 23.904
(Durchschnitt, April – Juni 2023)*

- **Sustainable Bus (online, englischsprachig)**

Sustainable Bus ist ein internationales Webportal, das sich auf Busse mit niedrigen oder Null-Emissionen konzentriert. Es umfasst Produktneuheiten (Elektro- und Hybridbusse, CNG, LNG, Biogas, Brennstoffzelle), Ausschreibungen, Erfahrungen, Fallstudien, Markttrends und Veranstaltungen. Elektrobusse sind angesichts dieses thematischen Schwerpunkts ein wesentlicher Inhalt der Berichterstattung, die überwiegend in Meldungsform erfolgt. Aufgrund des internationalen Betrachtungsraums stellen Meldungen aus Deutschland nur einen Teil der Inhalte dar. Erwähnung von Förderungen oder Einordnungen dieser erfolgen nur selten.

Visits: k. A.

- **EuroBus (print und online)**

EuroBus ist eine Fachzeitschrift für internationale Bustouristik und Bustechnik, die sich an Busunternehmen und Reisebüros in Europa wendet. Im Mittelpunkt stehen Informationen über technische Entwicklungen, internationale Verbandspolitik sowie

Marketinghilfen für Busunternehmen und deren Partner. Elektrobusse werden im Technikteil berücksichtigt, eine Einordnung und Behandlung der Förderung erfolgt eher selten.

Verbreitete Auflage: 7.183 Exemplare

- **Urban Transport Magazine (online)**

Urban Transport Magazine ist eine innerhalb der Branche stark frequentierte Internetseite für Informationen über den öffentlichen Personennahverkehr weltweit, die neben aktuellen Nachrichten insbesondere im Bereich nachhaltiger ÖPNV auch detaillierte Hintergrundartikel bereitstellt. Elektrobusse sind hier eines von vielen behandelten ÖPNV-Themen, der Fokus liegt auf Beschaffungen und Lieferungen, Fahrzeugentwicklung und Infrastruktur.

Visits: k. A.

5.6.4 Kapitel Erfassung des Elektrobustbestands ausgewählter Staaten in Asien, Europa, Nord- und Südamerika

Die globale quantitative Betrachtung des E-Bus-Marktes und die Erfassung der E-Bus-Bestände erfolgen im Wesentlichen analog zur „Bottom-up-Methodik“, die auch zuvor bei der Erfassung des E-Bus-Bestandes in Deutschland angewendet wurde. Ergänzt wird die Erhebung um einen vorangestellten Schritt, indem für einen initialen Bestandswert zunächst im Sinne der „Top-down-Logik“ die gesamten E-Bus-Bestände mit Datenstand zum Ende des Jahres 2020 auf Länderebene erfasst werden. Anschließend wurden diese Bestände Städten bzw. Regionen zugeordnet. Diese Zuordnung der lokalen bzw. regionalen E-Bus-Bestände wurde so lange durchgeführt, bis ein Zielwert von mindestens 80 % des initialen Bestandswertes erreicht wurde, der zugeordnet bzw. lokalisiert werden konnte. Der erhobene Datenstand für das Jahr 2020 wurde im weiteren Verlauf der Begleituntersuchung sukzessive anhand der Fahrzeugzugänge der Jahre 2021 und 2022 fortgeschrieben.

Vor Beginn der Erfassung der Ist-Bestände wurde darüber hinaus zunächst definiert, welche ausgewählten Länder aus Europa, Asien, Nord- und Südamerika und Ozeanien untersucht werden sollen. Der Prozess zur Ermittlung der zu untersuchenden Länder und zur Erhebung der E-Bus-Bestände unterscheidet sich für Europa und die übrigen Kontinente.

Erhebung der Ist-Bestände in Europa

Die Basis für die Erfassung der Ist-Bestände der europäischen Länder bilden die von CME solutions bereitgestellten Daten zum europäischen Busmarkt, die jährlich aktualisiert werden.³⁷⁴ Die Grundlage bilden dabei Zulassungsdaten der Behörden in den einzelnen Ländern, z. B. vom RAI-Datenzentrum in den Niederlanden (RDC). Insgesamt sind die Daten von 18 europäischen Ländern im Datensatz von CME solutions enthalten, die die bedeutendsten Absatzmärkte für Busse in Europa darstellen. Zu den betrachteten Ländern gehören die Niederlande, Belgien, Luxemburg, das Vereinigte Königreich, Norwegen, Island, Schweden, Finnland, Dänemark, Frankreich, die Schweiz, Österreich, Portugal, Spanien, Italien, Griechenland und Polen. Die Daten von CME solutions werden dabei als initiale Bestandswerte für das Jahr 2020 im Rahmen dieser Analyse verwendet. Durch eine nachfolgende Recherche wurden diese Bestandswerte nach lokalen bzw. regionalen Bestandswerten aufgliedert, mit dem Ziel, den Gesamtbestand zumindest zu 80 % auf konkrete Städte und Regionen allokalieren zu können.

Für alle übrigen europäischen Länder, welche nicht im CME-Datensatz enthalten sind, wurde in Abstimmung mit dem BMWK hinsichtlich zweier Kriterien über die Aufnahme in den Erhebungsumfang entschieden:

- Sind die Länder Teil der Europäischen Union? („Ist das Land Mitglied in den EU27?“)
- Besteht ein nennenswerter (abgeschätzter) E-Bus-Bestand von mindestens 100 E-Bussen im Jahr 2020? („Sind zum Ende des Jahres 2020 mindestens 100 E-Busse eingeflottet?“)

Bei Erfüllung zumindest eines dieser beiden Kriterien wurde das Land in den Erhebungsumfang aufgenommen.

Auch für diese Länder wurde ein initialer E-Bus-Bestand ermittelt und in gleicher Weise lokal bzw. regional aufgliedert. Die wesentliche Quelle für den gesamten E-Bus-Bestand im Jahr 2020 bilden hier die Daten des European Alternative Fuels Observatory (EAFO) bzw. nationale Zulassungsstatistiken. Hinsichtlich der Erfassung von Brennstoffzellenbussen wurden die verfügbaren Daten aus den JIVE-Projekten (Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe) herangezogen. Die folgende Abbildung veranschaulicht zusammenfassend das Vorgehen zur Erhebung der E-Bus-Bestände in Europa.

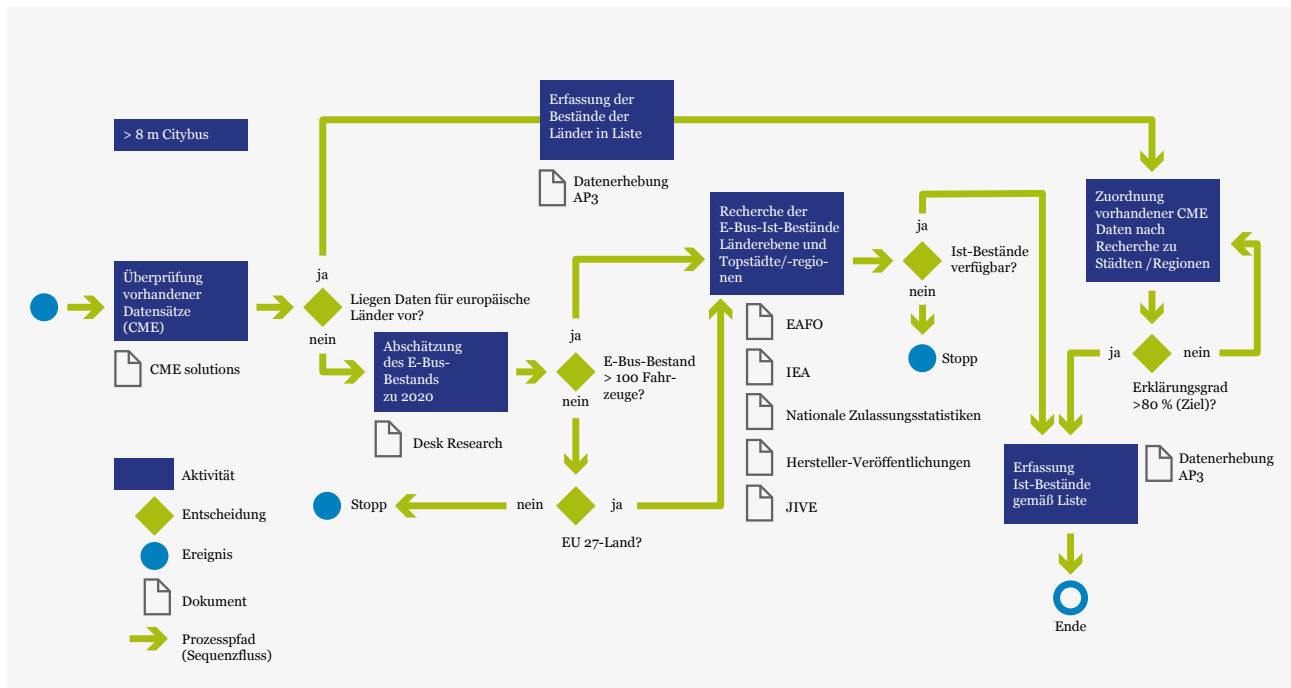


Abbildung 156: Methodisches Vorgehen zur Erhebung der E-Bus-Ist-Bestände in Europa

Erhebung der Ist-Bestände in Asien, Nord- und Südamerika sowie Ozeanien

Zur Erhebung der E-Bus-Bestände in den übrigen Kontinenten wurde eine andere Herangehensweise gewählt. Das erste Filterkriterium zur Aufnahme eines Landes in die Erhebung bildet dessen Einwohnerzahl. Sofern ein Land mehr als zehn Millionen Einwohner aufweist, wurde für dieses Land in einem zweiten Schritt der aktuelle E-Bus-Bestand abgeschätzt. Das wesentliche Kriterium bildet hierbei ein Bestand von mehr als 200 Fahrzeugen. Mit ein-

bezogen wurde darüber hinaus auch der abgeschätzte kurzfristige Planbestand, sofern ein Land noch keine E-Busse im Einsatz hat (beispielsweise Thailand und Vietnam: im Jahr 2020 noch keine E-Busse im Einsatz, kurzfristig sind jedoch mehr als 200 Fahrzeuge geplant). Eine Ausnahme bildet zudem Singapur, das aufgrund der dortigen großen Bedeutung von E-Bussen direkt mit in die Analyse einbezogen wurde. Die folgende Abbildung fasst das Vorgehen zur Erhebung der Ist-Bestände im „Rest der Welt“ zusammen.

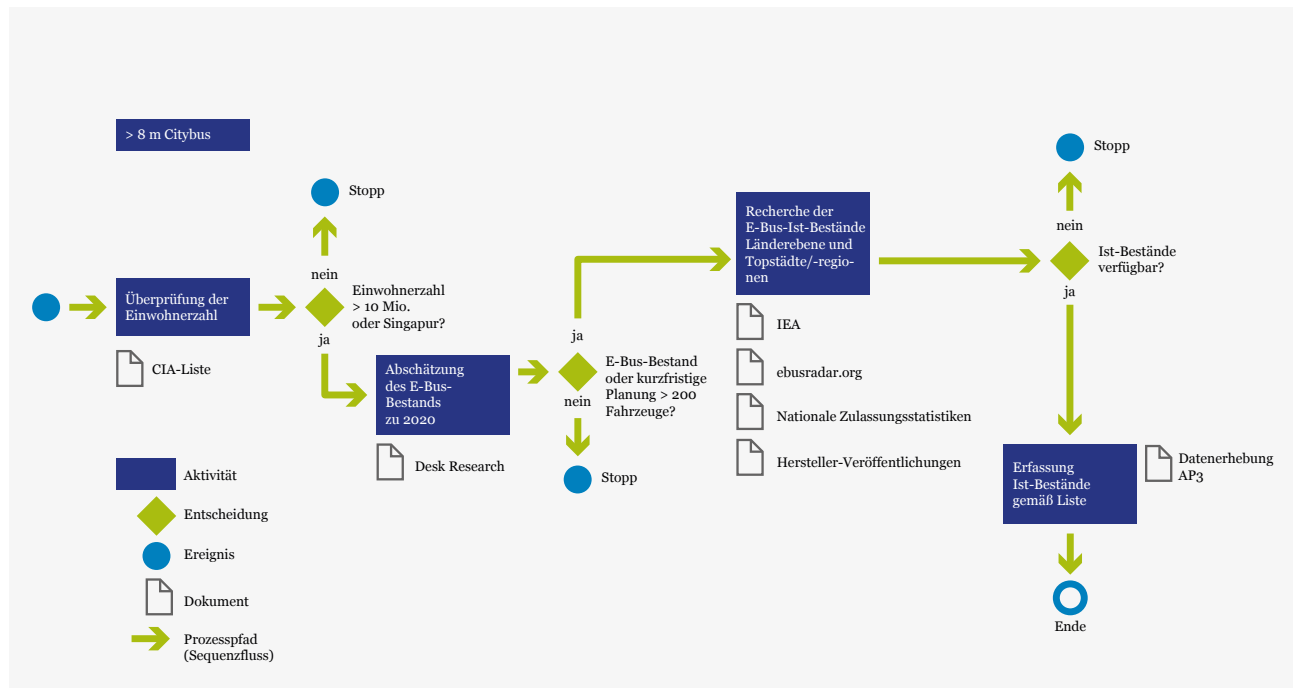


Abbildung 157: Methodisches Vorgehen zur Erhebung der E-Bus-Bestände in Asien, Nord- und Südamerika sowie Ozeanien

Im Ergebnis ergibt sich folgender Betrachtungsumfang für die globale Erfassung der E-Bus-Bestände.



Abbildung 158: Länder im Betrachtungsumfang der internationalen Bestandserfassung

Erfassung der geplanten E-Bus-Zugänge bis 2030

Für die Erfassung der E-Bus-Zugänge im Plan sind in der internationalen Betrachtung im Vergleich zur deutschlandweiten Erhebung tendenziell weniger qualitative und quantitative Informationen öffentlich verfügbar. Neben verbindlichen Informationen wie konkreten Bestellungen, Bestelloptionen, gestarteten Ausschreibungen oder konkretisierenden Unternehmensplanungen wurden zudem auch vorliegende (politische) Absichtserklärungen mit einbezogen.

Verwendete Quellen

Für die Auswertung in diesem Arbeitspaket wurden insbesondere folgende öffentlich zugängliche Quellen herangezogen und ausgewertet:

- CME solutions,
- Internationale Energieagentur (IEA) (insbesondere für die Bestandszahlen in China),
- International Council on Clean Transportation (ICCT),
- European Alternative Fuels Observatory (EAFO),
- Zero Emission Rapid-deployment Accelerator (ZEBRA) (insbesondere für Lateinamerika),
- Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe (JIVE),

- American Public Transit Association (APTA) (für USA und Kanada),
- Pressemitteilungen von Verkehrsunternehmen zur Beschaffung von Elektrobussen bzw. Pressemitteilungen von Fahrzeugherstellern über die Auslieferung bzw. Bestellung von Elektrobussen, einschlägige mediale Berichterstattung (Fach- und Tagespresse) über geplante Elektrobusschaffungen,
- Ausschreibungen von Verkehrsunternehmen zur Beschaffung von Elektrobussen,
- Förderprogramme und -bescheide,
- Darstellungen bzw. Verzeichnisse des Fahrzeugbestands von Verkehrsunternehmen im Internet, Sekundärquellen (z. B. Markt- bzw. Branchenberichte, Projektberichte und Studien),
- weitere beschaffungsrelevante Planungen bzw. Gesetze und politische Absichtserklärungen.

Erfasste Merkmale

Die jeweiligen Quellen wurden mithilfe eines strukturierten Erfassungsrasters analysiert. Dieses Raster umfasst die folgenden Merkmale:

- Unternehmen (sofern verfügbar),
- Ort/Region,
- Plan/Ist (dient zur Unterscheidung bereits beschaffter Elektrobusse und zukünftig erwarteter Zugänge von Elektrobussen),
- Jahr (sofern verfügbar),
- Antriebsart: BEV, FCEV sowie O-Busse. Für die Darstellung der Bestände der PHEV-Busse lagen zumeist keine ausreichenden Daten vor. Dies lässt sich u. a. mit der abnehmenden Relevanz dieser Antriebstechnologie begründen, die sich auch in AP 1 und AP 2 widerspiegelt,

- Bauart (sofern verfügbar),
- Hersteller (sofern verfügbar),
- Anzahl der Fahrzeuge,
- Ladestrategie (sofern verfügbar),
- Ladetechnik (sofern verfügbar).

5.6.5 Hinweise zur Auswertung der Förderprojekte anhand des Minimaldatensets

Zur Erhebung der Daten wurde zu Projektbeginn am 3. Dezember 2020 eine Online-Informationstunde vom ifeu veranstaltet, zu der alle geförderten Projekte eingeladen waren. Darin wurden die Hintergründe und Ziele der Datenerhebung erläutert und erste Hinweise zum geplanten Ablauf der Datenerhebung präsentiert. Zudem wurde Raum für Rückfragen der Vertreter*innen der Förderprojekte geboten und es konnten Hinweise der Betreiber in die Struktur der Datenerhebung aufgenommen werden. Am 24. Februar 2021 startete schließlich die Datenerhebung mit einer Information an alle Förderprojekte per E-Mail, in der über den geplanten Ablauf der Erhebung der Minimaldatensets informiert wurde. Als Unterstützung für die Datenerhebung wurde eine standardisierte Excel-Vorlage zur Verfügung gestellt, um die Datenerhebung zu strukturieren und zu erleichtern.

Im Projektverlauf wurde in regelmäßigen Updates der aktuelle Stand der Datenerhebung geprüft und versucht, Datenlücken durch den direkten Austausch mit den Projekten zu schließen. Die Projekte wurden im Projektverlauf einmal pro Quartal an die Datenerhebung erinnert. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Daten möglichst bereits direkt nach Inbetriebnahme erhoben werden und darüber hinaus möglichst keine Datenlücken entstehen. Zur Intensivierung der Bemühungen seitens der Projekte wurde einmal im Jahr zusätzlich noch eine E-Mail des Projektträgers VDI/VDE IT an alle Förderprojekte versendet und nochmals auf die Verpflichtung zur Mitwirkung an der Datenerhebung hingewiesen.

Die eigentliche Erfassung der Daten aus den Förderprojekten erfolgt mittels zweier Datenerhebungsformate, die abhängig vom Datentyp sind. Zum einen wurden die Stamm- und Verfügbarkeitsdaten mittels einer standardisierten Excel-Vorlage erfasst. Mit dieser wurden zum Betriebsbeginn der geförderten Busse zunächst die jeweiligen Stammdaten der Busse und der Ladeinfrastruktur abgefragt. Auch zur Erfassung der Verfügbarkeitsdaten der Busse und Ladeinfrastruktur bzw. der Ausfalltage nach Ursachen wurde ein standardisierter Excel-Fragebogen zur Verfügung gestellt, der jedoch nur teilweise genutzt wurde. Zusätzlich wurden über die gesamte Projektlaufzeit Betriebsdaten der Busse und der Ladeinfrastruktur (z. B. technische Betriebsparameter zur Energiebilanz, Batterienutzung und zum Fahrprofil) in den Projekten aufgezeichnet und in jeweils aggregierter Form übermittelt. Die Übermittlung der Daten erfolgte mit einer cloudbasierten Lösung mit einem personalisierten Zugang je Förderprojekt.

Die Aufbereitung und Auswertung der Stammdaten erfolgte in einer zentralen Stammdatenbank. Durch die zuvor definierte Standardisierung im Hinblick auf die Struktur der Daten waren vor der Datenauswertung nur wenige Anpassungen und Bereinigungen der bereitgestellten Daten notwendig.

Die Betriebsdaten wurden nur von einzelnen Verkehrsunternehmen im Format der zur Verfügung gestellten Excel-Vorlage geliefert. Ein Großteil der Projekte hat dagegen Daten direkt aus den Datenloggern der Hersteller weitergeleitet. Diese unterscheiden sich jedoch zwischen den Herstellern hinsichtlich Datenaufbau, -struktur und verfügbarer Parameter. Die Vereinheitlichung der Daten war daher mit einem erheblichen Zusatzaufwand in der Auswertung verbunden, um die verschiedenen Dateiformate in einen für die Auswertung definierten Standard zu konvertieren. Aufgrund der großen Datenmenge wurden alle Daten anschließend in eine Datenbank importiert, um darin gezielte Abfragen für die jeweiligen Auswertungen ausführen zu können. Zur Verknüpfung der Betriebsdaten mit den Stammdaten wurden diese zusätzlich als Tabelle in der Datenbank geführt.

Die Verfügbarkeitsdaten wurden seitens der Verkehrsunternehmen überwiegend in dem vorgesehenen Dateiformat zur Verfügung gestellt, jedoch wurde die Excel-Datei auf verschiedenste Weisen ausgefüllt. Daher war manueller Arbeitsaufwand notwendig, um die Daten der verschiedenen Verkehrsunternehmen in einer einheitlichen Form in einer zentralen Excel-Datei zusammenführen zu können. Dies betraf insbesondere die Bestimmung der Anzahl der Busse, auf die sich die Verfügbarkeitsdaten im jeweiligen Monat beziehen.

5.6.6 Hinweise zum Vergleich der Klimabilanz verschiedener Antriebstechnologien für Nahverkehrsbusse

Für die Analyse zur Klimabilanz der verschiedenen Antriebstechnologien wurde auf folgende Datengrundlagen zurückgegriffen.

Fahrzeugherstellung und Entsorgung

Für die Modellierung der Fahrzeugproduktion und -entsorgung wurde das am ifeu entwickelte und fortlaufend aktualisierte Ökobilanzmodell eLCAR genutzt. Dieses Modell bildet die Umweltauswirkungen der Herstellung und Entsorgung von Fahrzeugen mit verschiedenen Antrieben detailliert ab.³⁷⁵ Dabei werden verschiedene Komponenten wie Basisfahrzeug, Batterie und verschiedene antriebsstrangspezifische Zusatzkomponenten unterschieden. Aufgrund der großen Bedeutung der EU als Produktionsstandort wird eine Fahrzeugproduktion unter EU-Bedingungen angenommen. Die Materialien für die Fahrzeugherstellung (z. B. Stahl oder Aluminium) sowie bestimmte Fahrzeugteile (z. B. Batterien) werden jedoch aus verschiedenen Ländern weltweit bezogen. Die Hintergrunddaten für die Bereitstellung von Materialien und Energie stammen dabei aus der ecoinvent-Datenbank (Version 3.8, cut-off).³⁷⁶

Das ifeu-Modell folgt einem modularen Ansatz und ermöglicht die Skalierung aller relevanten Fahrzeugteile entsprechend ihren technischen Eigenschaften. Die Dimensionierung erfolgt nach dem Leergewicht des Fahrzeugs, der Motorleistung, der Brennstoffzel-

lenleistung und der Tank- bzw. Batteriegröße (siehe Tabelle 14). Die Herstellung des Dieselmotors (Materialien sowie Energie und Hilfsstoffe) basiert auf dem ecoinvent Datensatz „bus production“ und wird ergänzt um die Abgasnachbehandlung. Die Modellierung zentraler Komponenten der verschiedenen Antriebe (Brennstoffzelle, Wasserstofftank, CNG-Tank, Elektroantrieb sowie Batterie) wurde einschließlich der angenommenen Verbesserungen bis 2030 bereits in (Biemann et al. 2024) ausführlich dokumentiert. Eine zentrale Komponente bei den Elektrobussen ist die Traktionsbatterie der Fahrzeuge. Deren Umweltbilanz wurde in (Biemann et al. 2024) gerade umfassend betrachtet. Hier werden kurz die wichtigsten Grundlagen/Annahmen zusammengestellt.

Für die Bilanzierung der Lithium-Ionen-Akkus wurde die aktuell verbreitete Zellchemie Nickel-Mangan-Kobalt (NMC 6-2-2) mit einer Energiedichte von 150 Wh/kg (auf Systemebene) angenommen. In Zukunft kann davon ausgegangen werden, dass diese Energiedichte auf 200 Wh/kg bis 2030 steigt, wobei der Kobaltanteil abgesenkt wird (NMC 8-1-1). Die Treibhauspotenziale der Traktionsbatterie (Herstellung + Entsorgung) sinken dann von 91,1 kg CO₂e/kWh verbaute Akkukapazität für die Neuzulassungen 2023 auf 57,8 kg CO₂e/kWh in 2030. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich auch die Herstellung der Traktionsbatterien sowie der hierfür eingesetzte Strom (hier abgebildet durch eine Verlagerung der Zellfertigung nach Europa) deutlich verbessern. Denkbar wäre bei den Bussen auch die Nutzung von Lithium-Eisen-Phosphat(LFP)-Traktionsbatterien, welche ohne Kobalt auskommen. Diese haben jedoch aktuell aufgrund ihrer etwas geringeren Energiedichte keine Vorteile beim Treibhauspotenzial gegenüber den NMC-Akkus (Biemann et al. 2024). Üblicherweise sind die als nutzbare Netto-Akkukapazitäten angegebenen Werte geringer als die tatsächlich verbaute Brutto-Akkukapazität. Analog zu Erfahrungen aus dem Lkw-Bereich wird daher als Bruttowert eine um 20 % höhere Batteriekapazität angenommen (siehe [ifeu 2023]).

Nutzungsphase

Für die Nutzungsphase sind der Energieverbrauch und bei verbrennungsmotorischen Konzepten auch die Auspuffemissionen entscheidend. Bei batterieelektrischen Bussen kann dabei auf die Betriebsdaten der geförderten Busse zurückgegriffen werden. Für Solobusse wurde ein mittlerer Verbrauchswert von gerundet 130 kWh/100 km und für Gelenkbusse von 170 kWh/100 km ermittelt, der auch gut zu bestehenden Literaturwerten passt. So wird für Solobusse in (NOW GmbH 2021a) ein Wert von 120 kWh/100 km, in (NOW GmbH 2021b) ein Wert von 130 kWh/100 km und in (Lebküchner et al. 2020) ein Wert von 150 kWh/100 km angegeben. Bei Gelenkbusen liegen die Literaturwerte bei 170 kWh/100 km (NOW GmbH 2021b), 180 kWh/100 km (NOW GmbH 2021a) und 200 kWh/100 km (Lebküchner et al. 2020). Zusätzlich sind dann Ladeverluste zu berücksichtigen, die nach Auswertung der Betriebsdaten im Mittel 14 % betragen (siehe Kapitel 3.1.2.2).

Für oberleitungsgeführte BEV liegen keine belastbaren Praxisdaten vor. Daher wird vereinfachend davon ausgegangen, dass gegenüber dem BEV die Einsparungen aufgrund des geringeren Fahrzeuggewichts wegen der kleineren Batterie durch den zusätzlichen Luftwiderstand der Stromabnehmer näherungsweise kompensiert werden. Entsprechend werden die gleichen Verbrauchswerte angesetzt. Die Verluste an der Oberleitung werden mit 6 % beziffert (siehe [ifeu 2023]).

Als Verbrauchswerte für die Diesel-, Gas- und FCEV-Busse wurden praxisnahe Literaturwerte für Stadtbusse herangezogen (Lebküchner et al. 2020). Diese Praxiswerte liegen dabei über den Verbrauchswerten, die im aktuellen Transportemissionsmodell (TREM-OD) des ifeu hinterlegt sind (Allekotte et al. 2022). Dies liegt wahrscheinlich an einem ausschließlich städtischen Einsatz.

Für die Situation 2030 wird für alle Konzepte eine Verbrauchskorrektur auf Basis von TREMOD angesetzt. Entsprechend wird bis 2030 gegenüber 2023 eine Verbrauchsminderung bei Verbrennern (ICEV,

CNG) um 7 % erwartet, bei elektrischen Konzepten (BEV, FCEV) jedoch nur um knapp 1 % (ifeu 2021). Da die Ergebnisse der Begleitforschung allein bei Nebenverbrauchern schon erhebliche Effizienzpotenziale aufzeigen, ist diese Verbrauchsverbesserung im

Vergleich zu den Verbrennern wahrscheinlich konservativ angesetzt. Nicht berücksichtigt wurde ein möglicher Methanschluß beim CNG-Bus, der sowohl im Betrieb als auch bei der Betankung der Fahrzeuge oder der Wartung auftreten kann.

	Solobusse	Gelenkbusse
Diesel	37 l/100 km	50 l/100 km
BEV / O-BEV	130 kWh/100 km	170 kWh/100 km
CNG	35 kg/100 km	48 kg/100 km
H ₂	9 kg/100 km	13 kg/100 km

Tabelle 39: Angenommene Verbrauchswerte der betrachteten Buskonzepte (Betriebsdatenauswertung und [Lebküchner et al. 2020])

Energiebereitstellung

Strombereitstellung

Von zentraler Bedeutung für die Strombereitstellung sind einerseits die Umweltwirkungen der einzelnen Stromerzeugungstechnologien und andererseits die Zusammensetzung des Strommixes. Nach (UBA 2023) lag die mit der Strombereitstellung in Deutschland verbundene Klimawirkung 2021 (letzter verfügbarer Realwert) bei 475 g CO₂-Äquivalenten pro Kilowattstunde (inklusive Vorkette). Für 2022 ist zum aktuellen Zeitpunkt nur ein Schätzwert verfügbar, der aber in einer ähnlichen Größenordnung liegt. Aktuell erfolgt jedoch ein erheblicher Ausbau der erneuerbaren Erzeugungskapazitäten, bis 2030 soll der Anteil am Bruttostrombedarf nach aktuellem Koalitionsvertrag bei 80 % liegen (Koalitionsvertrag 2021). Entsprechend ist in den nächsten Jahren mit einem deutlichen Rückgang der mit der Strombereitstellung in Deutschland verbundenen Klimawirkung zu rechnen, von dem auch die im Rahmen der Förderung beschafften batterieelektrischen Busse sowie Oberleitungsbusse über ihre erwartete Lebensdauer von 12 Jahren profitieren. Altersabhängige Änderungen in der Jahresfahrleistung werden dabei nach TREMOD berücksichtigt (Allekotte et al. 2022), neuere Busse

haben also eine etwas höhere Jahresfahrleistung als ältere. Auch elektrolytisch hergestellter Wasserstoff kann zukünftig von dieser Entwicklung profitieren, dies wird in der Perspektive 2030 dargestellt.

Zur Quantifizierung der weiteren Entwicklung wurden Stützjahre aus einer aktuellen UBA-Studie verwendet, die auf dem RESCUE Szenario Green Late basieren (siehe [Purr et al. 2019]). Die Klimagasintensität der Strombereitstellung sinkt im Szenario Green Late pro Kilowattstunde bis 2030 auf 254 g CO₂-Äquivalente und bis 2040 auf 158 g. Leitungsverluste bis zur Mittelspannungsebene sind dabei schon enthalten. Das Szenario Green Late ist dabei eher als konservative Entwicklung anzusehen, die durch einen besonders ambitionierten Ausbau durchaus auch übertroffen werden kann.

Zwischen dem aktuellen Wert und den zukünftigen Stützjahren wurde vereinfachend linear interpoliert, sodass ein mittlerer Strommix für die Lebensdauer der Busse abgeleitet werden konnte. Für die zuletzt im Rahmen der Förderung zugelassenen Busse (Inbetriebnahme 2023) beträgt die mittlere Klimawirkung der Stromnutzung über die gesamte Lebensdauer damit 310 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde und

für perspektivische Betrachtung (Inbetriebnahme 2030) 204 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde.

Kraftstoffe

Einen Überblick über die Treibhausgasemissionen bei Bereitstellung konventioneller Kraftstoffe sowie über die Datenquellen zeigt Tabelle 40. Faktoren für die Bereitstellung von strombasiertem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen beruhen dagegen ebenfalls auf (UBA) und berücksichtigen dabei für eine Herstellung in Deutschland den durchschnittli-

chen Strommix über die Lebensdauer der Busse nach Green Late³⁷⁷. Für die synthetischen Kraftstoffe wurde dabei eine CO₂-Direktabscheidung angenommen (Direct Air Capture = DAC). Im Fall der erneuerbaren H₂- und PtL-Produktion 2030 wurde eine Herstellung in Marokko und ein Transport per Schiff abgebildet. Insbesondere bei H₂ ist der Transport dabei mit relevanten Klimagasemissionen verbunden, sodass der Klimavorteil gegenüber einer Elektrolyse in Deutschland über den Strommix ab Inbetriebnahme begrenzt ist.

	WTT GWP Emissionen	TTW GWP Emissionen	Quelle
Diesel (fossil)	24 g CO ₂ e/MJ	74,1 g CO ₂ e/MJ	(Allekotte et al. 2022)
Biodiesel	31,9 g CO ₂ e/MJ	NA	
CNG (fossil)	21 g CO ₂ e/MJ	55,1 g CO ₂ e/MJ	
H ₂ (SMR)	99,8 g CO ₂ e/MJ	NA	(Biemann et al. o. J.)
H ₂ (Elektrolyse DE 2030)	86,3 g CO ₂ e/MJ		
H ₂ (EE Import 2030)	66,8 g CO ₂ e/MJ		
PtL-Diesel (DE 2030)	119,7 g CO ₂ e/MJ		
PtL-Diesel (EE Import 2030)	32,8 g CO ₂ e/MJ		

Tabelle 40: Angenommene Treibhausgasemissionen der Kraftstoffe

5.6.7 Annahmen der ökonomischen Bewertung

Basis-jahr	Bustyp	Antrieb	Ladetyp	Ersatz-Batterie_BZ	Fahrleistung p. d.	Fahrzeugbedarf	CAPEX Infrastruktur	OPEX Infrastruktur	CAPEX Bus	CAPEX Bus-Mehrbedarf	Wartungskosten Bus	Energiekosten Bus	Summe CAPEX	Summe OPEX	TCO	TCO_km
2023	Solobus	Diesel			55.000	1.000	-	-	250.000	-	302.455	389.298	250.000	691.753	941.753	1,43
2023	Gelenkbus	Diesel			55.000	1.000	-	-	325.000	-	302.455	526.079	325.000	828.534	1.153.534	1,75
2023	Solobus	BEV	DL	Ersatz	55.000	1,075	100.000	41.989	695.881	46.941	226.841	202.336	772.822	471.165	1.243.987	1,88
2023	Solobus	BEV	GL	Ersatz	55.000	1,050	152.914	39.288	675.344	33.767	285.005	202.336	862.025	526.629	1.388.654	2,10
2023	Gelenkbus	BEV	DL	Ersatz	55.000	1,075	100.000	41.989	922.486	69.186	226.841	264.593	1.091.673	533.423	1.625.095	2,46
2023	Gelenkbus	BEV	GL	Ersatz	55.000	1,050	152.914	39.288	970.951	48.548	285.005	264.593	1.172.413	588.886	1.761.299	2,67
2023	Solobus	BEV	DL		55.000	1,075	100.000	41.989	569.573	46.941	226.841	202.336	716.514	471.165	1.187.680	1,80
2023	Solobus	BEV	GL		55.000	1,050	152.914	39.288	619.868	33.767	285.005	202.336	806.549	526.629	1.333.178	2,02
2023	Gelenkbus	BEV	DL		55.000	1,075	100.000	41.989	848.750	69.186	226.841	264.593	1.017.936	533.423	1.551.359	2,35
2023	Gelenkbus	BEV	GL		55.000	1,050	152.914	39.288	860.000	48.548	285.005	264.593	1.061.461	588.886	1.650.348	2,50
2023	Solobus	FCEV		Ersatz	55.000	1.000	125.000	66.096	669.882	-	285.005	448.011	794.882	799.113	1.593.995	2,42
2023	Gelenkbus	FCEV		Ersatz	55.000	1.000	125.000	66.096	896.579	-	285.005	647.128	1.021.579	998.229	2.019.808	3,06
2023	Solobus	FCEV			55.000	1.000	125.000	66.096	625.000	-	285.005	448.011	750.000	799.113	1.549.113	2,35
2023	Gelenkbus	FCEV			55.000	1.000	125.000	66.096	825.000	-	285.005	647.128	950.000	998.229	1.948.229	2,95
2030	Solobus	Diesel			55.000	1.000	-	-	301.926	-	302.455	402.205	301.926	704.660	1.006.586	1,53
2030	Gelenkbus	Diesel			55.000	1.000	-	-	392.503	-	302.455	543.521	392.503	845.976	1.238.479	1,88
2030	Solobus	BEV	DL	Ersatz	55.000	1.000	100.000	41.989	580.608	-	226.841	164.568	680.608	433.398	1.114.006	1,69
2030	Solobus	BEV	GL	Ersatz	55.000	1.000	152.914	39.288	591.478	-	285.005	164.568	744.392	488.862	1.233.254	1,87
2030	Gelenkbus	BEV	DL	Ersatz	55.000	1.000	100.000	41.989	855.294	-	226.841	215.205	955.294	484.035	1.439.328	2,18
2030	Gelenkbus	BEV	GL	Ersatz	55.000	1.000	152.914	39.288	803.221	-	285.005	215.205	956.134	539.498	1.495.633	2,27
2030	Solobus	BEV	DL		55.000	1.000	100.000	41.989	525.773	-	226.841	164.568	625.773	433.398	1.059.171	1,60
2030	Solobus	BEV	GL		55.000	1.000	152.914	39.288	553.661	-	285.005	164.568	706.575	488.862	1.195.437	1,81
2030	Gelenkbus	BEV	DL		55.000	1.000	100.000	41.989	786.750	-	226.841	215.205	886.750	484.035	1.370.785	2,08
2030	Gelenkbus	BEV	GL		55.000	1.000	152.914	39.288	727.586	-	285.005	215.205	880.500	539.498	1.419.998	2,15
2030	Solobus	FCEV		Ersatz	55.000	1.000	125.000	66.096	600.505	-	285.005	375.995	725.505	727.096	1.452.601	2,20
2030	Gelenkbus	FCEV		Ersatz	55.000	1.000	125.000	66.096	788.796	-	285.005	543.104	913.796	894.205	1.808.001	2,74
2030	Solobus	FCEV			55.000	1.000	125.000	66.096	580.864	-	285.005	375.995	705.864	727.096	1.432.961	2,17
2030	Gelenkbus	FCEV			55.000	1.000	125.000	66.096	758.037	-	285.005	543.104	883.037	894.205	1.777.242	2,69

Annahmen der ökonomischen Bewertung

6. Literaturverzeichnis

- Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. Durchgeführt von ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Berlin. S. 56.
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Klimabilanz_Batteriefahrzeugen/32_Klimabilanz_strombasierten_Antrieben_Kraftstoffen_WEB.pdf (06.09.2023).
- Allekotte, M.; Biemann, K.; Colson, M.; Fehrenbach, H.; Heidt, C.; Knörr, W.; Kräck, J. (2022): Aktualisierung des „Daten- und Rechenmodells: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland (TREMOD)“ und der Datenbank „Mobile Maschinen und Geräte (TREMOMM)“ 2021. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes., Heidelberg.
- Bartłomiejczyk, M.; Kołacz, R. (2020): The reduction of auxiliaries power demand: The challenge for electromobility in public transportation.
In: Journal of Cleaner Production. Vol. 252, S. 119776. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119776.
- Batterieforum Deutschland (2023): Lithium-Ionen-Batterien.
<https://www.batterieforum-deutschland.de/lexikon/lithium-ionen-batterien/>. (31.01.2024).
- BDEW (2024): BDEW-Strompreisanalyse Februar 2024 - Haushalte und Industrie (korrigierte Fassung vom 23.02.2024).
- Bergk, F.; Lambrecht, U.; Pütz, R.; Landinger, H. (2015): Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses als effiziente Möglichkeit für die Nutzung erneuerbarer Energien im ÖPNV.
- Biemann, K.; Helms, H.; Münter, D.; Liebich, A.; Pelzeter, J.; Kämper, C. (2024): Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr. UBA TEXTE ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Noch nicht veröffentlicht, Dessau.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-umweltbilanz-von-kraftfahrzeugen> (05.02.2024).
- Büchi, J. (2018): Zürcher E-Bus wärmt frierende Passagiere mit Infrarot-Strahlen auf.
In: watson.ch. <https://www.watson.ch/!476209725>. (01.02.2024).
- Bundesregierung (2024): Antwort Kleine Anfrage: Förderprogramme für die Umstellung von Lkws und Bussen auf klimafreundliche Antriebe.
<https://dserver.bundestag.de/btd/20/099/2009976.pdf> (29.01.2024).

Bünnagel, C. (2018): Konvekta: 20 Jahre Entwicklungsarbeit für CO₂-Klimaanlage für E-Busse belohnt: Klimawandel für den E-Bus - Technik Heiz- und Klimatechnik, Klimatechnik (Fahrzeuge) | Fachartikel | busplaner - Technik - ÖPNV - Mobilität.
<https://www.busplaner.de/de/fachmagazin/fachartikel/technik-heiz-und-klimatechnik-klimawandel-fuer-den-e-bus-9549.html>. (31.01.2024).

Bünnagel, C. (2020a): Konvekta Heat2Go.
<https://www.busplaner.de/de/fachmagazin/fachartikel/technik-heiz-und-klimatechnik-konvekta-heat2go-geht-den-linieneinsatz-17296.html>. (01.02.2024).

Bünnagel, C. (2020b): Der nächste Evolutionsschritt.
<https://www.nfz-messe.com/de/news/heiz-und-klimatechnik-der-naechste-evolutionsschritt-2877.html>. (31.01.2024).

busplaner (2015): Heizsysteme: Warme Luft im Citaro - Heiz- und Klimatechnik | News | busplaner - Technik - ÖPNV - Mobilität.
<https://www.busplaner.de/de/news/heiz-und-klimatechnik-heizsysteme-warme-luft-im-citaro-7648.html>. (31.01.2024).

busplaner (2019): Neue Wege: Kompressoren mit Elektro-Antrieb von Dürr Technik.
<https://www.busplaner.de/de/news/omnibusse-neue-wege-kompressoren-mit-elektro-antrieb-von-duerr-technik-11044.html>. (01.02.2024).

Cox, B.; Althaus, H.-J.; Bauer, C.; Sacchi, R.; Mutel, C.; Emmenegger, M. F.; Spiegel, B. (2020): Bus-Antriebe im Vergleich: Eine Ökobilanz.

DLR (2020): DuoTherm - Kombiniertes thermischer Hochleistungsspeicher für mobile Anwendungen.

DLR (2022): Daten und Fakten für journalistische Recherche und gesellschaftliche Diskussion; Personenverkehr in Deutschland: Verkehrsmittel im Vergleich (Stand: 08.02.2022)
<https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/daten-und-fakten/personenverkehr-in-deutschland-verkehrsmittel-im-vergleich> (03.05.2024)

Europäischer Rat (2024): Schwere Nutzfahrzeuge: Rat und Parlament einigen sich auf niedrigere CO₂-Emissionsgrenzen für Lkws, Busse und Anhänger. In: EU Rat.
<https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2024/01/18/heavy-duty-vehicles-council-and-parliament-reach-a-deal-to-lower-co2-emissions-from-trucks-buses-and-trailers/>. (14.03.2024).

Europäische Union (2024): VERORDNUNG (EU) 2024/1610
DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1610/oj>. (10.06.2024).

Fraunhofer ISI (2022): Wie entwickeln sich Feststoffbatterien in Zukunft?
In: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
<https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2022/presseinfo-12-Roadmap-Feststoffbatterien.html>. (31.01.2024).

GHG Protocol (2016): Global Warming Potential Values.

https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20-%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. (31.01.2024).

Grubb, M.; Sharpe, S.; Agarwal, V.; Diaz Anadon, L.; Barbook-Johnson, P.; Chaudhury, S.; Farmer, D.; Han, Z.; Jones, A.; Kapur, V.; Kelkar, U.; Lamperti, F.; Lenton, T. M.; Melekh, Y.; Mercure, J.-F.; Nijse, F.; Pasqualino, R.; Peñasco, C.; Pereira, M.; Roventini, A.; Weng, Y.; Eduardo, C.; Young, F.; Zhang, H.; Zhang, X.; Zhu, S. (2023): Economics of Energy Innovation and System Transition: Synthesis Report.

Helms, H.; Biemann, K.; Jöhrens, J.; Bruch, B. (2022): Strategies and climate impacts for infrastructure ramp up for the defossilisation of road freight transport. Wien.

Hill, N.; Amaral, S.; Morgan-Price, S.; Nokes, T.; Bates, J.; Helms, H.; Fehrenbach, H.; Biemann, K.; Abdalla, N.; Jöhrens, J.; Cotton, E.; German, L.; Harris, A.; Haye, S.; Sim, C.; Bauen, A.; European Commission; Directorate-General for Climate Action; Ricardo Energy & Environment (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA: final report.

ifeu (2021): Aktualisierung des „Daten- und Rechenmodells: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland (TREMOD)“ und der Datenbank „Mobile Maschinen und Geräte (TREMOMM)“ 2020. Heidelberg.

ifeu (2023): Schlussbericht „My eRoads - Entwicklung eines kombinierten Analyse- und Beratungstools für den Betrieb elektrischer Lkw und Busse sowie den benötigten Infrastrukturaufbau“.

ifeu (2024): ifeu gGmbH: TREMOD. <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/tremod/>. (26.01.2024).

Impari, F. (2019): Challenges for air conditioning and heating (HVAC) solutions in Electric-Buses. In: Medium.

intraplan (2023): Gleitende Langfrist Verkehrsprognose 2021-2022. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jefferies, D.; Ly, T.-A.; Kunith, A.; Göhlich, D. (2015): Energiebedarf verschiedener Klimatisierungssysteme für Elektro-Linienbusse.

Jendrischik, M. (2019): Wiesbaden: Daimler setzt bei eCitaro ab 2020 auf Feststoffbatterien. <https://www.cleantinking.de/wiesbaden-elektrobus-ecitaro-feststoffbatterien/>. (01.02.2024).

Kappus, J.; Klußmann, A.; Schmied, M.; Mottschall, M.; Hecht, M.; Eschweiler, P. (2014): Forschungsprojekt „Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr“.

Koalitionsvertrag (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP.

<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>.

Konvekta (2016): Ganz natürlich: Kältemittel CO₂ – R-744.

Konvekta (2018): Vergleich Energieverbrauch von Klimaanlage.

Konvekta (2019): Konvekta CO₂-Wärmepumpen.

Lebküchner, M.; Althaus, H.-J.; Greinus, A.; Graf, C.; Cox, B.; Köppel, S. (2020): Abschätzung des Einsatz- und CO₂-Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten. Zürich/Bern.

https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/themen/umwelt/energiestrategie-projekte/schlussbericht-p201.pdf.download.pdf/P-201_3422a_E-Bus-BFE_Schlussbericht_final_20201012.pdf (22.01.2024).

MASATS (2023): Public transport accessibility systems. In: Masats. <https://www.masats.es/en-uk/products/>. (01.02.2024).

McCreadie, D. (2016): Life Cycle Analysis of Hybrid, Plug-in Hybrid, Full-Electric and Trolley Buses.

Mercedes-Benz (2020): Der eCitaro - Technische Information.

Mercedes-Benz (2021): Mercedes-Benz Buses: Citaro Ü: Sicher fahren.

https://www.mercedes-benz-bus.com/de_DE/models/citaro-ue/safety/safe-driving.html. (01.02.2024).

Minnich, L.; Mottschall, M.; Wolf, M.; Palm, H.; Baal, L.; Hinckeldeyn, T. (2019): Innovative und systematische Ansätze für mehr Energieeffizienz im kommunalen Öffentlichen Personennahverkehr.

https://fops.de/wp-content/uploads/2020/07/700908_Schlussbericht_EnEff_%C3%96PNV_final_2019-04-10.pdf (31.01.2024).

Moteg (2021): Nebenaggregate speziell für Elektrobusse.

NOW GmbH (2017): Minimaldatensets zu Erhebung von Forschungsdaten in der Elektromobilität.

<https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/minimaldatensets-zu-erhebung-von-forschungsdaten-in-der-elektromobilitaet.pdf> (31.01.2024).

NOW GmbH (2021a): Programmbegleitforschung Innovative Antriebe und Fahrzeuge. Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV. Berlin.

https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/04/NOW_Abschlussbericht_Begleitforschung-Bus.pdf.

NOW GmbH (2021b): Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben. Berlin.

https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/03/Leitfaden-fuer-Busse-mit-alternativen-Antrieben_NOW.pdf (22.01.2024).

Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhaus-gasneutralität - RESCUE Studie. Climate Change Umweltbundesamt (UBA), Dessau. S. 444. <https://www.umweltbundesamt.de/rescue> (13.10.2020).

Schaltbau Bode (2023): Türsysteme Bus. In: Bode – Die Tür. <https://www.schaltbau-bode.com/de/produkt-kategorie/tuersysteme-bus/>. (01.02.2024).

Siemens AG (2024): Siemens schließt Kauf von Heliox ab, einem Spezialisten für eBus ... c2_ct_press_release, <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-schliesst-kauf-von-heliox-ab-einem-spezialisten-fuer-ebus-und-elkw>. (31.01.2024).

Statista (2024): Monatliche Durchschnittstemperatur in Deutschland von Januar 2023 bis Januar 2024. In: Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5564/umfrage/monatliche-durchschnittstemperatur-in-deutschland/>. (01.02.2024).

Sustainable Bus (2023): Electric bus range, focus on electricity consumption. A sum-up -. In: Sustainable Bus. <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-bus-range-electricity-consumption/>. (31.01.2024).

Thermo King (2020): ATHENIA MKII Electric-Serie und Wärmepumpe.

Tietze, B.; Koch, S.; Hupe, M.; Stock, C.; Friebe, W.; Ahrndt, F.; Langhof, I.; Kaufmann, P.; Möbius, D.; Ernsting, J. (2018): Schlussbericht E-Busse Hannover. https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2018-09/Schlussbericht_E-Busse%20Hannover.pdf (31.01.2024).

Tuschen, G.; Pöschl, A. (2018): Mercedes-Benz eCitaro | Vollelektrischer Stadtbus.

UBA (2023): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2022. UBA, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_05_23_climate_change_20-2023_strommix_bf.pdf (21.12.2023).

Valeo (2018): Technik Service News 02/2018.

Valeo (2020a): Technik Service News 01/2020.

Valeo (2020b): E-COOLER BTM.

VDL Bus & Coach (2021): Neue VDL Citea-Generation: Entwicklung von null bis zum innovativen Produktprogramm. <https://www.vdlbuscoach.com/de/news/archiv/neue-vdl-citea-generation-entwicklung-von-null-bis-zum-innovativen-produktprogramm>. (31.01.2024).

VDV (2015): VDV-Statistik 2015.

VDV (2020): VDV-Statistik 2020.

Wabco (2020): Wabco Produkt Katalog.

ZF (2021): Mehr Effizienz für den E-Bus. https://www.zf.com/austria/de/stories_31040.html. (01.02.2024).