



Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Universitätsstadt Giessen

gefördert durch:



BMVI-Sonderprogramm
"Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr"
Masterpläne für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

FKZ 16AVF3049A

Giessen, Juli 2018

Auftraggeber:

Magistrat der
Universitätsstadt Gießen
Berliner Platz 1
35390 Gießen

Ansprechpartner:

Herr Dr. Manfred Richter Tel: 0641/306-1357 manfred.richter@giessen.de

Bearbeitung / Auftragnehmer:

TransMIT GmbH
Kerkrader Str. 3
35394 Gießen



Ansprechpartner:

Herr Michael Haberland Tel: 0641/94364-50 michael.haberland@transmit.de

TransMIT-Projektbereich für „Öffentlichen Verkehr und Verkehrsmanagement“

Herr Prof. Dr. Jörg Pfister Tel: 06031/604-4704 Joerg.Pfister@transmit.de

Herr Prof. Dr. Frank Lademann Tel. 0641/309-1852 Frank.Lademann@bau.thm.de

Stadtwerke Gießen AG
Nahverkehr-Services
Lahnstraße 31
35390 Gießen



Ansprechpartnerin:

Frau Anne Müller-Kreutz Tel: 0641/708 1326 amueller-kreutz@stadtwerke-giessen.de

Gefördert durch:



BMVI-Sonderprogramm

"Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr"

Masterpläne für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Bearbeitung:

MIT.BUS GmbH
Lahnstr. 31
35390 Gießen



Ansprechpartner:

Herr Mathias Carl

Tel: 0641/7081238

mcarl@mitbus.de

pwp-systems GmbH
Prießnitzstr. 11
65520 Bad Camberg



Ansprechpartner:

Herr Thomas Kraus

Tel: 0345/279 5020-10

kraus@pwp-systems.de

Herr Prof. Dr. Uwe Plank-Wiedenbeck

plank@pwp-systems.de

T+T Verkehrsmanagement GmbH
Im Steingrund 3
63303 Dreieich (Buchsschlag)



Ansprechpartner:

Herr Dr. Michael Schenk

Tel: 06103/486298-1

m.schenk@tt-vm.de

Herr Mark Hofmann

Tel: 06103/486298-4

m.hofmann@tt-vm.de

Inhalt

Vorwort 1

1	Einleitung	2
1.1	Ausgangssituation der Universitätsstadt Gießen	2
1.2	Bedeutung des Masterplan	3
2	Bestandsaufnahme	4
2.1	Datengrundlagen	4
2.2	Situationsbeschreibung – Status Quo	4
3	IVS Systemarchitektur	6
3.1	Ausgangssituation in Gießen	6
3.2	Lösungskonzept	6
3.3	Umsetzungskonzept	11
4	Methodik	13
5	Konzeption der Maßnahmen	17
5.1	AP 1 Aufbau einer Mobilitäts-App und Mobilitäts-Internetseite	18
5.2	AP 2 Digitalisierung und Ausbau des Fahrradparkens (inkl. E-Mobilität)	21
5.3	AP 3 Schließung von Netzlücken im Radverkehrsnetz	25
5.4	AP 4 Angebotsverbesserungen im Stadtbusverkehr	28
5.5	AP 5 Ersatz von Diesel- durch Erdgasbusse	33
5.6	AP 6 Aufbau eines Mobilitätsmanagements (insbesondere an Schulen)	35
5.7	AP 7 Ausbau und Verknüpfung an zentralen Bushaltestellen	37
5.8	AP 8 Pendlerorientierte Radschnellverbindungen	39
5.9	AP 9 Busbeschleunigung und Optimierung Verkehrsfluss	41
5.10	AP 10 Ausstattung Busse mit digitalen Fahrgastzählanlagen	45
5.11	AP 11 Ausbau digitales Fahrgastinformationssystem an Haltestellen	47
5.12	AP 12 Schaffung von digitalen Zählstellen für den Radverkehr	50
5.13	AP 13 Digitales Fahrradverleihsystem	52
5.14	AP 14 Einführung von digitalem Handyparken	55
5.15	AP 15 Prüfung/Einrichtung von Mikro-Depots	56
6	Wirkungsermittlung	59

6.1	Berechnung der durch Verbesserungen im ÖPNV-Angebot eingesparten MIV-Wege	59
6.2	Berechnung der eingesparten Emissionen	60
6.3	Bildung von Maßnahmenschwerpunkten	63
7	Handlungsempfehlungen	65
8	Zusammenfassung und Ausblick	67
9	Referenzen	68
10	Anlagen	69

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Zukünftige IVS-Systemarchitektur Gießen	9
---------	---	---

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Einteilung in „primäre“ und „sekundäre“ Maßnahmen.	15
Tab. 2:	Geplante Maßnahmen zur optimierten Linien- und Fahrplangestaltung.	28
Tab. 3:	Realisierungsvoraussetzungen zur Angebotsoptimierung im ÖPNV.	30
Tab. 4:	Kostenschätzung für unterschiedliche bauliche Maßnahmen.	31
Tab. 5:	Akkumulierte Kostenschätzung bezogen auf jede Maßnahme.	32
Tab. 6:	Liste der Variablen zur Emissionsberechnung	61
Tab. 7:	Emissionskennwerte des Umweltbundesamtes (UBA).	62
Tab. 8:	Erzielte Ergebnisse pro Maßnahmenpaket (AP).	63
Tab. 9:	Übersicht der Anlagen.	69

Abkürzungen

AG	Auftrag-Geber
AP	Arbeits-Paket
DSMS	Daten- und Strategie-Management-System
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
ivm	ivm GmbH (Integriertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement Region Frankfurt RheinMain)
IVS	Intelligente Verkehrs-Systeme
ITCS	Intermodal Transport Control System
MIV	Motorisierter Individual-Verkehr
NMIV	Nicht-Motorisierter Individual-Verkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nah-Verkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PLS	Park-Leit-System
PBefG	Personen-Beförderungs-Gesetz
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen
UMS	Umwelt-Monitoring-System
VLS	Verkehrs-Lage-System
VMO	Verkehrs-Modell
VMP	Verkehrs-Management-Plattform
VSR	Verkehrs-Rechner-System

Vorwort

Der "Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität" - Green City Plan – enthält für die Universitätsstadt Gießen eine umfassende Ausarbeitung von umsetzungsorientierten und vorwiegend in der kommunalen Verantwortung durchzuführenden Maßnahmen für die künftige Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität.

Anlass für die Erarbeitung dieses Masterplans ist die erhöhte Konzentration von Stickstoffdioxid in der Stadt (NO_2 , 2016: $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und deren erforderliche Senkung ist das primäre Ziel der aktuellen Luftreinhalteplanung.

Der Green City Plan zeigt als Grundlage für städtisches Handeln konkrete Ansätze zur Reduzierung der NO_2 -Konzentration auf. Im Mittelpunkt stehen Vorhaben der Digitalisierung und der Verbesserung der Verkehrssteuerung, der Ausbau des Radverkehrs und die Förderung des ÖPNV.

In den erarbeiteten Projektvorschlägen sind Maßnahmen mit deren Umsetzungsvoraussetzungen und -wegen dargestellt. Ebenso ist die jeweilige Wirksamkeit und Effizienz abgeschätzt.

Diese Maßnahmen bilden die Grundlage für die konkrete Ausführung, für speziell auszuarbeitende Planunterlagen und formelle Aufstellungsverfahren, aber auch für ggf. zu formulierende Förderanträge (Projektförderung) und weitere begleitende Maßnahmen.

In dieser Umsetzungsphase werden die kommunalpolitischen Gremien maßnahmenbezogen und umfassend eingebunden.

Einen wesentlichen Beitrag zu der zügigen Umsetzung werden die angeregten Einzelprojekte, die Empfehlungen zum Ausbau der Verkehrssteuerung mit Ausrichtung auf aktuelle verkehrliche und umweltpolitische Ziele sowie die künftige Fortschreibung bzw. Neuaufstellung des Verkehrsentwicklungsplans -VEP- und Nahverkehrsplans -NVP- leisten.

Die benannten Maßnahmen zur Minderung der NO_2 -Konzentration entfalten darüber hinaus begleitende positive Wirkungen auf weitere städtische Handlungsfelder, wie z.B. die Lärm-minderungsplanung, Klimaschutz und Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum.

Insgesamt beinhalten die Ergebnisse des Masterplans eine Vielzahl wertvoller Informationen und Anregungen für die Meinungsbildung in den städtischen Gremien und in der Öffentlichkeit.

Für einen Teil der Maßnahmen sind bereits Anträge in den speziell eingerichteten Förderprogrammen gestellt und seit kurzem bewilligt.

Peter Neidel
- Stadtrat -

1 Einleitung

Im Rahmen des BMVI-Sonderprogramms "Masterpläne für die Gestaltung nachhaltiger und emissions-freier Mobilität" hat die Universitätsstadt Gießen die Erarbeitung eines Masterplans ("Green City Plan" GCP-Gießen) vergeben.

1.1 Ausgangssituation der Universitätsstadt Gießen

Anlass für die Erstellung bzw. Förderung des Masterplans ist die weiterhin ungünstige Luftqualität. In der Universitätsstadt Gießen (ca. 85.000 EW, ca. 72 qkm) lag der Jahresmittelwert 2016 für Stickstoffdioxid (NO₂) mit 44,4 Mikrogramm (µg) um 11,1 % über dem Grenzwert. Hauptursache dieser Schadstoffbelastung in Gießen, einer Hochschul- und Dienstleistungsstadt ohne nennenswerte Industrie und mit einem hohen Grad an Fernwärmeversorgung, ist zu 70% der motorisierte Verkehr.

Betroffen ist vor allem die Wohnbevölkerung innerhalb des Anlagenrings und entlang der Ein- und Ausfallstraßen. Ein weiteres Bevölkerungswachstum ist absehbar; ebenso ist auch die Anzahl der Studierenden und Mitarbeiter an den beiden Hochschulen stark gestiegen. Die zunehmenden Einwohner- und Pendlerzahlen führen zu erhöhtem Verkehrsaufkommen und entsprechenden Herausforderungen in der Verkehrsplanung und im Ausbau der Infrastruktur bzw. nachhaltiger Mobilitätsangebote.

Mit diesem Masterplan wurden die Potentiale und Umsetzungsstrategien zur Reduzierung der Immissionsbelastung (NO₂) durch Maßnahmen im Verkehrs- und Mobilitätsangebot ermittelt, bewertet und für die Umsetzung im Stadtgebiet vorbereitet. Der Masterplan bildet damit die Voraussetzung für Projektanträge zu der Förderrichtlinie "Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme".

Der thematische Umfang ist auf insgesamt 15 Schwerpunkte konzentriert, die – in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe - den folgenden Handlungsfeldern zuzuordnen sind:

- Digitalisierung des Verkehrs: Information zu Mobilitätsangeboten, Aufbau/Ausbau von Informationssystemen (z.B. Schnittstellen zu vorhandenen Datenbeständen), Fahrgastinformation (Ausbau DFI), Aufbau der Basisdatenermittlung im Stadtbusverkehr (automatische Zählanlagen in den Fahrzeugen), Optimierung der Verfügbarkeit bestehender Stellplätze und Erleichterung der Zahlweise (z.B. digitales Handyparken),
- Vernetzung von Verkehrsträgern: Mobilitätsmanagement, Optimierung des Linien- u. Fahrtenangebots im Stadtbusverkehr, Ausbau der Busbeschleunigung und Haltestelleninfrastruktur,
- Elektrifizierung und alternative Antriebstechnologien: Emissionsreduzierung im Stadtbusbetrieb, Potentiale für die Umstellung auf Elektro- und Erdgasantrieb, Ladestellen für den Radverkehr,

- Radverkehrsförderung: Schließung von Netzlücken im Radwegenetz, Fahrrad-schnellverbindung, Ausbau des Fahrradparkens und der Ladestationen (z.B. Auf-bau der Nutzer-Information), Zählstellen für den Radverkehr, Fahrradverleihsys-tem,
- Urbane Logistik: Reduzierung des motorisierten Wirtschaftsverkehrs, z.B. Mikro-Depots.

1.2 Bedeutung des Masterplan

In den Bearbeitungsschwerpunkten steht zu den erwarteten innovativen Ansätzen und Pro-jekten die lösungsorientierte Vorgehensweise im Vordergrund. Die Umsetzungsfähigkeit ist mit direktem Lösungsbezug zu der räumlichen und verkehrlichen Situation in Gießen zu konkretisieren.

Ein wesentlicher Bestandteil des Masterplans ist die Abschätzung der mit den Maßnahmen in den benannten Schwerpunkten zu erzielenden Wirkungen sowie die Umsetzungsstrate-gie:

- Schätzung der Minderung von NO₂-Emissionen
- Zeithorizont der Wirkungsentfaltung und Effizienz bezüglich der zu erzielenden Emissionsminderung, Musterberechnungen
- Realisierungsmöglichkeiten im Stadtgebiet Gießen, Handlungsempfehlungen, Prioritätensetzung

Der Masterplan bildet die Grundlage für anschließende Umsetzungsmaßnahmen und För-deranträge aus dem Sofortprogramm "Saubere Luft 2017-2020 - Digitalisierung kommuna-ler Verkehrssysteme".

Der Masterplan gibt die fachliche Sicht der Verkehrswissenschaften für die jeweiligen Maß-nahmen wieder. Eine politische Abstimmung bzw. Begleitung war aufgrund des Zeitdrucks von Beauftragung durch die Stadt Gießen und der gesetzten Abgabefrist seitens des BMVI nicht möglich und somit im vorliegenden Dokument nicht berücksichtigt.

2 Bestandsaufnahme

Zur Durchführung der genannten Aufgabenstellung ist eine möglichst detaillierte und akkurate Kenntnis der Verkehrsabläufe erforderlich. Dazu sind in Abschnitt 2.1 die verfügbaren und genutzten Datengrundlagen benannt. In der Regel sind nicht alle hilfreichen und benötigten Informationen vollumfänglich vorhanden, daher sind plausible Abschätzungen und systematische Extrapolationen wichtige Verfahren zur Vervollständigung der Datengrundlage (siehe Abschnitt 2.2).

2.1 Datengrundlagen

Die verfügbare Datengrundlage ist eine wesentliche Voraussetzung für eine belastbare Wirkungsermittlung. Für die Bearbeitung des vorliegenden Masterplans wurden städtische Information mit regionalen Informationen überlagert und kombiniert. Im Folgenden sind die verfügbaren Datenbestände aufgelistet:

- Städtische Information zur Einwohnerzahl in Gießen und deren Mobilitätsverhalten (z.B. SrV 2013).
- Für den MIV lag die Fortschreibung des Verkehrsentwicklungsplans von 2009 vor, dessen zugrundeliegendes Verkehrsmodell den aktuellen Stand des strategischen Netzes nur zum Teil wiedergeben kann. Trotz des Aktualisierungsbedarfs, konnte er zumindest für Plausibilitätsprüfungen genutzt werden.
- Für die Nahmobilität lag der Radverkehrsentwicklungsplan von 2010 vor, dessen Datenerhebung vornehmlich auf 2006 datiert. Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Verkehrsmittel in den vergangenen 10-15 Jahren am dynamischsten Entwickelt hat, wurden auch diese Daten vornehmlich für Zwecke der Plausibilitätsprüfung eingesetzt.
- Informationen zum ÖPNV im Stadtgebiet wurden durch den Partner SWG und das Verkehrsunternehmen MIT.BUS beigestellt, welches einen Großteil des städtischen Verkehrsangebotes in Gießen bedient.
- Ergänzt werden die Daten zum ÖPNV durch den Nahverkehrsplans von 2014 (basierend auf dem RMV-Datenstand von 2010)
- Des Weiteren stand die Fortschreibung des Luftreinhalteplans für 2011 für das Gebiet Lahn/Dill mit den Städten Gießen und Wetzlar zur Verfügung
- Zur Berechnung der Emissionen wurden spezifische Kennwerte des Umweltbundesamtes und von HBEFA verwendet. Diese Daten wurden für die Erdgasflotte der MIT.BUS, um eigene Messwerte vervollständigt, so dass in dieser Hinsicht belastbare Parameter vorlagen.

2.2 Situationsbeschreibung – Status Quo

In großen Metropolregionen in Deutschland sind leistungsfähige Verkehrszentralen aufgebaut worden. Die dort erfassten Daten zum Mobilitätsgeschehen fließen in wirkungsvolle

Maßnahmen zum Verkehrsmanagement und ermöglichen so eine Optimierung des Verkehrsablaufs mit anschließender Wirkungskontrolle.

Für Städte mit einer Bevölkerungszahl zwischen 50.000 und 250.000 Einwohnern, sind solche leistungsfähigen Verkehrszentralen nicht wirtschaftlich abzubilden und es existieren wenige Lösungen am Markt, die notwendige Datenerfassung mit angemessenen Technologien zu bewerkstelligen. Oft fehlen bei vorhandenen Teilsystemen offene und standardisierte Schnittstellen, die einen Datenaustausch und die -weiterverarbeitung in Folgesystemen anderen Hersteller erlauben. Somit sind vielfältige Insellösungen mit eingeschränktem Datenzugriff vorhanden, ohne dass das volle Potential der dort enthaltenen Daten ausgeschöpft werden kann.

In diesem Spannungsfeld muss auch die Universitätsstadt Gießen agieren und kann somit keine aktuellen Daten (z.B. von 2017) zur Verfügung stellen. Ein Teil der angestrebten Maßnahmen (Schwerpunkte) soll dies für die Zukunft verbessern. Im Folgenden sind hilfreiche und wünschenswerte Daten und Information aufgelistet:

- Zählraten für das gesamte Stadtgebiet mit stundenfeinen Nachfragedaten für Werk- tage, Wochenende, sowie Sonn- und Feiertage, die mittels automatischer Detektion ganzjährig erhoben werden
- Reisezeiten, Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken im gesamten strategischen Netz der Stadt Gießen
- Unterscheidung der Fahrzeuge nach TLS 8 + 1¹ (bzw. Unterscheidung zwischen „Lkw Ähnliche“ und „Pkw Ähnliche“ als Mindeststandard), was auch den Radverkehr erfassen soll. Mit Blick auf die Berechnung der Emissionen ist auch die Zusammen- setzung aller Fahrzeugflotten von Interesse (wie groß ist der Diesel-Anteil, welche Euro-Norm, etc.)
- Besetzungsgrad im ÖPNV, welche Kapazitäten sind für einen möglichen Umstieg auf den Umweltverbund noch frei.
- Diesbezüglich ist auch ein Verkehrsmodell für Planungsaufgaben und als Grundlage für ein Echtzeit-Verkehrslagesystem zu empfehlen, damit aktuelle und verlässliche Informationen auch an Reisende übermittelt werden können.

Mit dieser Aufzählung an zusätzlichen Datenanforderungen wird ersichtlich, dass für die Erstellung des Masterplan nicht alle Einflussfaktoren als Datenbestand vorlagen. Vorhan- dene Datenlücken wurden durch strukturierte Abschätzung auf Basis mathematischer Mo- delle vervollständigt. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden mit dem Auftraggeber diskutiert und auf Plausibilität kontrolliert.

¹ TLS: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen
(Unterscheidung der Fahrzeuge in 8 Klassen + „nicht klassifizierbare“ Fahrzeuge).

3 IVS Systemarchitektur

Im Verlauf der Bearbeitung hat sich dieser Punkt als so bedeutend herauskristallisiert, dass im Anschluss an die Beschreibung der Ausgangssituation ein Lösungskonzept und das dazugehörige Umsetzungskonzept für die zukünftige Entwicklung einer nachhaltigen Mobilität in Gießen vorgeschlagen wird.

3.1 Ausgangssituation in Gießen

Die **Universitätsstadt Gießen** betreibt einen Verkehrsrechner (VSR) **Sittraffic Scala** (Siemens AG). An diesen VSR sind ca. 65 Lichtsignalanlagen (LSA) mit Verkehrsdetektion angeschlossen. Die Stadt Gießen betreibt darüber hinaus ein dynamisches Parkleitsystem (PLS) (Bremicker Verkehrstechnik GmbH). An dieses PLS sind die Parkeinrichtungen mit Parkraumerfassung und zahlreiche Parkleitwegweiser angeschlossen. VSR und PLS werden als eigenständige Systeme betrieben, ein Datenaustausch zwischen den Systemen erfolgt nicht.

Die **MIT.BUS GmbH** betreibt als Tochterunternehmen der Stadtwerke Gießen AG ein Intermodal Transport Control System (ITCS) **MOBILE-ITCS** (INIT SE). An dieses ITCS sind alle ÖPNV-Fahrzeuge (Busse) der MIT.BUS GmbH und die Anzeiger zur optischen Fahrgastinformation angeschlossen. Die Busse melden sich über ein LSA-Telegramm an den Lichtsignalanlagen an. Damit sind diese Daten am VSR verfügbar.

Die Zentralensysteme der Stadt Gießen für den MIV (VSR, PLS) und der MIT.BUS GmbH für den ÖPNV sind technisch bislang nicht miteinander vernetzt.

3.2 Lösungskonzept

Die Umsetzung der Maßnahmen des Masterplans Gießen erfordert eine systematische und qualifizierte Weiterentwicklung der verkehrstechnischen Infrastruktur der intelligenten Verkehrssysteme (IVS) der Universitätsstadt Gießen und der Stadtwerke Gießen AG mit dem Tochterunternehmen MIT.BUS GmbH für ein intermodales Mobilitäts- und Verkehrsmanagement, basierend auf aktuellen Verkehrsdaten des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Das betrifft direkt oder indirekt folgende Maßnahmen:

- AP 1 Aufbau einer Mobilitäts-App und Mobilitäts-Internetseite
- AP 4 Angebotsverbesserungen im Stadtbusverkehr
- AP 7 Ausbau und Verknüpfung an zentralen Bushaltestellen
- AP 9 Busbeschleunigung und Optimierung Verkehrsfluss
- AP 10 Ausstattung Busse mit digitalen Fahrgastzählanlagen
- AP 11 Ausbau digitales Fahrgastinformationssystem an Haltestellen
- AP 12 Schaffung von digitalen Zählstellen für den Radverkehr

Die adressierten IVS²-Maßnahmen können dann dauerhafte NO₂-Minderungs-wirkungen entfalten, wenn sie in ein übergreifendes Strategiemangement eingebunden sind. Eine besondere Rolle kommt dabei der Umsetzung einer gesamtstädtischen umweltsensitiven Verkehrssteuerung (Weiterentwicklung AP 9) und der Umsetzung umfassender intermodaler Verkehrs- und Mobilitätsinformation (AP 1, AP 10, AP 11) zu.

Die Realisierung eines übergreifenden Strategiemagements umfasst einerseits ein kontinuierliches Monitoring von Verkehrs-, Parkraum- und Umweltsituationen auf Basis von aktuellen Verkehrs- und Umweltdaten einschließlich der Ableitung der zu einem bestimmten Zeitpunkt zu aktivierenden Maßnahmen der Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation und andererseits auch eine zyklische Analyse der historischen Verkehrs- und Umweltdaten sowohl als Grundlage für die Umsetzung dieser Maßnahmen (Planung und Versorgung der verkehrstechnischen Zentralen- und Feldsysteme) als auch für die kontinuierliche Wirkungsermittlung. Das erfordert die netzweite Verfügbarkeit der Verkehrslage im MIV und ÖPNV sowie ein netzweites Umweltmonitoring der verkehrlichen Emissionen und der Gesamt-Immissionen von Luftschadstoffen sowie ggf. ergänzend der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu sind folgende Aufgabenschwerpunkte zu bearbeiten:

- Erweiterung und Vernetzung der Zentralensysteme des MIV und des ÖPNV: Verkehrsmodell, Verkehrslagesystem, Daten- und Strategiemangementsystem, Umweltmonitoringsystem
- Erweiterung der Datenversorgung für die Zentralensysteme des MIV und des ÖPNV: Verkehrsdetektion, geplante u. ungeplante Verkehrsereignisse, Umfelddetektion, Fahrgastzählung
- Aufbau einer gesamtstädtischen strategischen Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation: Berücksichtigung der Aspekte Umweltsensitive Verkehrssteuerung, Parkraummanagement und Bedarfsumleitung Bundesfernstraßen (Gießener Ring)
- Anpassung von Verkehrssteuerungen an Lichtsignalanlagen und Bereitstellung umfassender Verkehrs- und Fahrgastinformationen

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte des Masterplans sowie weitergehender Anforderungen zur Bereitstellung von vorhandenen kommunalen Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen im Rahmen der Umsetzung europäischer Regelungen wurde eine gemeinsame Zielsystemarchitektur für die IVS-Systeme der Stadt Gießen und der MIT.BUS GmbH entwickelt (vgl. Abb. 1). Die Systemarchitektur ist gegliedert in folgende drei Ebenen:

- Detektionsebene: Systeme zur Datenerfassung und Dateneinbindung
- Managementebene: Systeme zur Datenveredelung und Datenverknüpfung
- Nutzerebene: Systeme zur Verkehrssteuerung, Verkehrslenkung, Verkehrs- und Fahrgastinformation

² IVS – Intelligente Verkehrssysteme

Die Gesamtheit aller Teilsysteme der Managementebene am Standort der Stadtverwaltung Gießen, d. h. ausgenommen das ITCS der MIT.BUS GmbH, wird als Verkehrsmanagementplattform (VMP) bezeichnet.

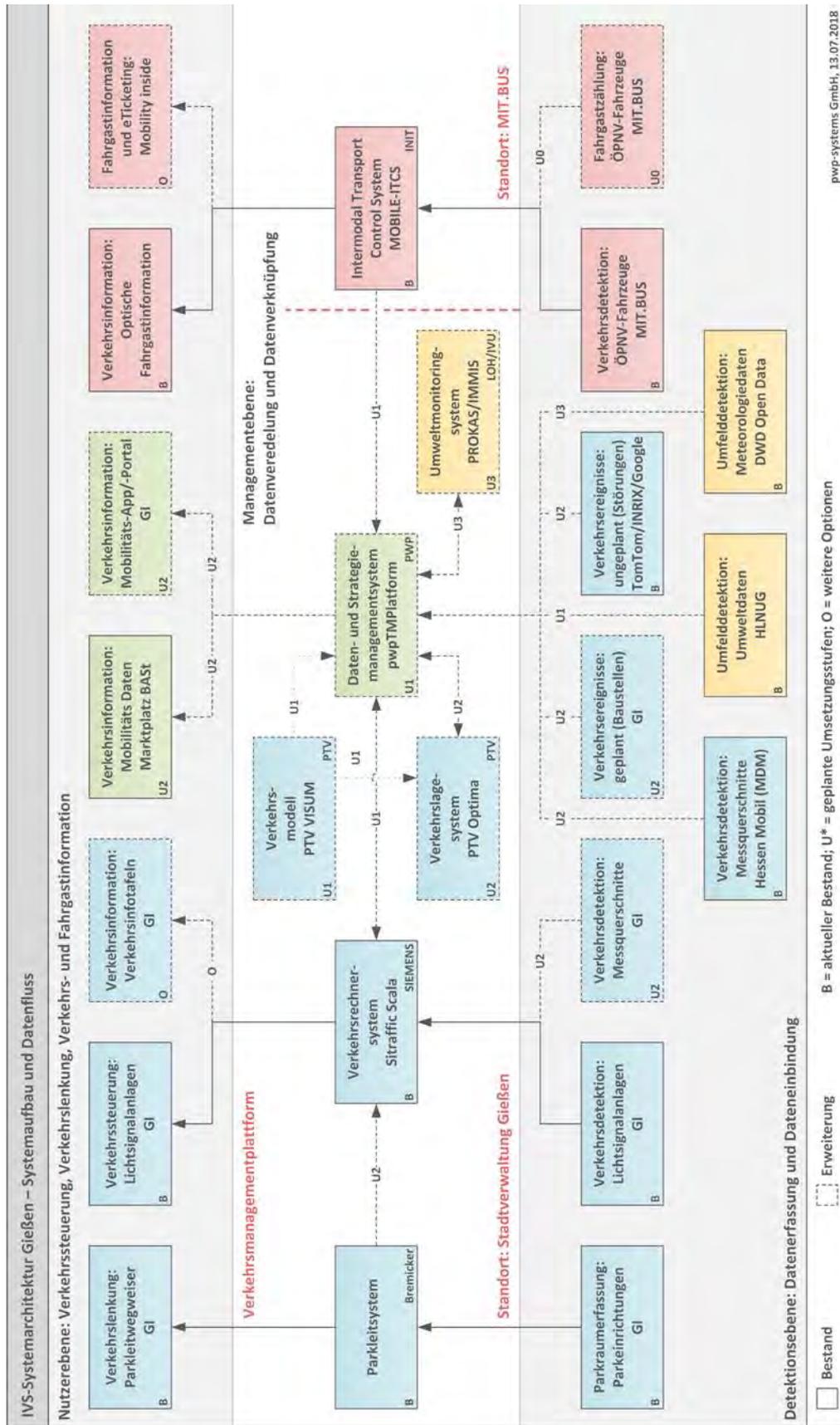


Abb. 1: Zukünftige IVS-Systemarchitektur Gießen

Die Systeme der Managementebene haben folgende (über die Ausgangssituation hinausgehende neue) Funktionen:

- Verkehrsmodell (VMO) – Neuaufbau
Grundlage für die Planung der Verkehrsmanagementmaßnahmen sowie der dynamischen Verkehrsumlegung im Verkehrslagesystem und der Georeferenzierung aller Verkehrsdaten im Daten- und Strategiemanagementsystem ist ein Verkehrsmodell mit Verkehrsnachfrage (differenziert nach Tageskategorien, Stundenintervallen und Fahrzeugklassen) und Verkehrsnetz (fahrstreifenfeine Auflösung an Knotenpunkten zur Detektorverortung).
Softwaresystem: z. B. PTV VISUM
- Verkehrslagesystem (VLS) – Neuaufbau
Das Verkehrslagesystem berechnet mit Hilfe eines dynamischen Umlegungsverfahrens, basierend auf dem Verkehrsmodell und den aktuellen Verkehrsdaten (Verkehrsdetektion, Verkehrereignisse), in 5 min-Intervallen eine netzweite aktuelle und zukünftige Verkehrslage (Verkehrsstärke nach Fahrzeugklassen, Fahrzeit bzw. Geschwindigkeit, Level of Service).
Softwaresystem: z. B. PTV Optima; Grundlage: Verkehrsmodell aus PTV VISUM
- Umweltmonitoringsystem (UMS) – Neuaufbau
Das Umweltmonitoringsystem berechnet mit Hilfe eines Emissionsmodells, den Emissionsfaktoren nach dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) sowie der aktuellen Verkehrslage die netzweiten verkehrlichen Emissionen. Es berechnet darüber hinaus mit Hilfe eines Ausbreitungsmodells, der verkehrlichen Emissionen und der Hintergrundbelastung sowie den Meteorologiedaten die netzweiten aktuellen und zukünftigen Immissionen.
Softwaresystem: z. B. PROKASonline oder IMMISmt
- Daten- und Strategiemanagementsystem (DSMS) – Neuaufbau
Das Daten- und Strategiemanagementsystem dient der Zusammenführung und Qualitätssicherung sämtlicher Eingangsdaten von Verkehrsdetektion, Verkehrereignissen, Parkraumerfassung und Umweltdetektion. Es versorgt Verkehrslage- und Umweltmonitoringsystem mit aufbereiteten Verkehrsdaten und/oder Umweltdaten. Das DSMS ermittelt kontinuierlich Verkehrs-, Parkraum- und Umweltsituationen, leitet daraus die zum aktuellen Zeitpunkt zu aktivierenden Maßnahmen der Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation ab und übergibt diese als Strategieparameter an den VSR.
Softwaresystem: z. B. pwpTMPlatform; Grundlage: Verkehrsmodell aus PTV VISUM
- Verkehrsrechnersystem (VSR) – Bestand, Erweiterung der Versorgung
Das Verkehrsrechnersystem übernimmt die Strategieparameter von DSMS und aktiviert die vorgesehenen Maßnahmen zur Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation an den verkehrstechnischen Feldelementen (Lichtsignalanlagen und zukünftig ggf. Verkehrsinfotafeln).

Das Intermodal Transport Control System (ITCS) und das Parkleitsystem (PLS) bleiben hinsichtlich der Funktionen unverändert.

Neben der Einbindung neu aufzubauender bzw. bestehender Datenquellen kommt der Vernetzung der Systeme der Managementebene eine besondere Bedeutung zu. Dazu zählen folgende Verbindungen:

- Anbindung des Parkleitsystems an das Verkehrsrechnersystem (perspektivisch ist eine Zusammenführung beider Systeme erstrebenswert)
- Anbindung von Verkehrsrechnersystem, Verkehrslagesystem, Umweltmonitoringsystem und Intermodal Transport Control System an das Daten- und Strategiemanagementsystem

Die Informationen werden über verschiedene Kommunikationskanäle an die Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer verbreitet:

- Parkleitwegweiser der Stadt Gießen – Bestand
- Verkehrsinformationstafeln der Stadt Gießen – ggf. Neuaufbau
- Mobilitäts Daten Marktplatz der Bundesanstalt für Straßenwesen – Neuanbindung
- Mobilitäts-App und Mobilitäts-Portal der Stadt Gießen – Neuaufbau und -anbindung
- Optische Fahrgastinformation an Haltestellen der MIT.BUS GmbH – Bestand, Anpassung Anbindung
- Plattform Mobility inside – ggf. Neuaufbau und -anbindung

3.3 Umsetzungskonzept

Die konzipierte IVS-Systemarchitektur kann, basierend auf dem aktuellen Bestand, schrittweise umgesetzt werden und lässt Spielraum für weitere Optionen. Folgende Umsetzungsstufen werden empfohlen (vgl. Abb. 1) und sind auch in den Arbeitspaketen enthalten:

- Umsetzungsstufe U0:
Aufbau Fahrgastzählung im ÖPNV mit Einbindung in Intermodal Transport Control System (laufend)
- Umsetzungsstufe U1:
Aufbau Verkehrsdetektion an strategischen Messquerschnitten, Aufbau Verkehrsmodell, Aufbau Daten- und Strategiemanagementsystem mit Anbindung an Verkehrsrechnersystem und Intermodal Transport Control System, Einbindung Verkehrsdetektion, Einbindung Umweltdaten HLNUG
- Umsetzungsstufe U2:
Aufbau Verkehrslagesystem mit Anbindung an Daten- und Strategiemanagementsystem, Aufbau Baustelleninformationssystem, Einbindung Verkehrereignisse, Aufbau Mobilitäts-App und Mobilitäts-Portal mit Datenversorgung, Bereitstellung Verkehrsinformationen auf dem Mobilitäts Daten Marktplatz

- **Umsetzungsstufe U3:**
Aufbau Umweltmonitoringsystem mit Anbindung an Daten- und Strategiemangementsystem, Einbindung Meteorologiedaten DWD

4 Methodik

Im vorliegenden Masterplan wird ein breites Spektrum an Know-How vorausgesetzt, um das Anwendungsspektrum von MIV, ÖPNV, Rad- und Fußgängerverkehr, sowie deren intermodale Verknüpfung angemessen zu bearbeiten. Auf der Technologieseite ist das Fachwissen für die geeigneten Systeme in den jeweiligen Anwendungen nochmals in der selben Breite erforderlich. Abgerundet werden diese interdisziplinären Kompetenzen durch die Verknüpfung vorhandener Datengrundlagen mit geeigneten mathematischen Methoden zur Berechnung möglicher Reduktionspotenziale durch die angestrebten Maßnahmen in Kapitel 5). Zur sachkundigen Bearbeitung dieser vielfältigen Anforderungen wurde ein Team aus ausgewiesenen Experten gebildet, das sich aus folgenden Akteuren zusammensetzt:

- Prof. Dr. Lademann (TransMIT)
- Prof. Dr. Pfister (TransMIT)
- Herr Haberland (TransMIT)
- Prof. Dr. Plank-Wiedenbeck (PWP)
- Herr Kraus (PWP)
- Frau Viehmann (PWP)
- Dr. Schenk (T+T)
- Herr Hofmann (T+T)

Die Akteure in diesem Team arbeiten bereits seit vielen Jahren zusammen, so dass eine gute Kooperation mit der Übernahme von Teilaufgaben durch den jeweiligen Experten/in gewährleistet werden konnte. Dieses kooperative Klima wurde auch von Seiten der Auftraggeberin (AG) von Beginn an mitgestaltet, so dass sich ein sehr konstruktiver Austausch an Informationen, inhaltlichen Beiträgen und fruchtbaren Diskussionen entwickelt hat. Auf dieser Basis konnte der Masterplan unter dem bereits benannten Zeitdruck und in der nötigen Tiefe bearbeitet werden. Ein wesentlicher Schlüssel lag dabei in der frühzeitigen Parallelisierung der einzelnen Teilaufgaben bei gleichzeitiger Wahrung von Querschnittsaufgaben mit Blick auf eine zielgerichtete Emissionsberechnung, die am Ende zu vergleichbaren und überprüfbaren Ergebnissen führt. In diesem Sinne wurde mit Projektbeginn folgende Bearbeitungsstruktur gemeinsam mit der AG abgestimmt:

- Maßnahmenbeschreibung nach Ziel und Inhalt
- Umsetzungskonzept mit Zeitplan und Kostenschätzung
- Klare Zuordnung der Verantwortlichkeiten für jedes AP, sowie den Mitwirkenden aus dem Team von AG und AN
- Wirkungsanalyse hinsichtlich der Emissionsminderung auf Grundlagen der ermittelten Basisdaten

- Abschätzung des Wirkungszeitraums für die jeweilige Maßnahme
- Ermittlung der Effizienz (Emissionsminderungspotential vs. Kosten)
- Abschließend wurden für jede Maßnahme weitere Wirkungen ermittelt (mögliche Synergieeffekte)

Da insbesondere die Abschätzung der Zeiträume für die mögliche Umsetzung einer Maßnahme schwierig ist (zahlreiche Verzögerungsgründe können unerwartet auftreten), wurde eine Grobabschätzung mit folgenden Kategorien angewendet:

- Kurzfristige Maßnahme (bis 2019)
- Mittelfristige Maßnahme (bis 2023)
- Langfristige Maßnahme (bis 2030)

In Bezug auf die Effizienz einer Maßnahme wurden Werte zwischen 1 und 6.000 ermittelt. Diese Werte können als Kriterium für die Priorität einer Maßnahme herangezogen werden. Allerdings wird empfohlen dieses Kriterium nicht als alleinigen Indikator für eine Maßnahme zu nutzen, da die aktuelle Untersuchung nur auf die Emission von NO₂ bezogen ist.

Begleitet wurde die Bearbeitung von regelmäßigen Abstimmungstreffen, die zu Beginn fest in den vorgesehenen Zeitplan von 11 Wochen integriert wurden. Die Häufigkeit und enge Taktung der Abstimmungstreffen leistete einen positiven Beitrag zur Etablierung der Querschnittsaufgaben im Rahmen einer stringenten Projektkoordination. Insbesondere die Themen zur Emissionsberechnung, der zugehörigen Basisdaten, sowie der Wirkungsanalyse konnten somit einer permanenten Feinabstimmung unterzogen werden, was in konvergenten Ergebnissen zwischen den unterschiedlichen Arbeitspaketen resultiert.

Aufbauend auf diesem gegenseitigen Grundverständnis und in regelmäßigen Abstimmungsrunden wurden die notwendigen Daten erhoben und im Sinne der Zielstellung der Emissionsminderung verarbeitet. An dieser Stelle sei die grundlegende Vorgehensweise erläutert. Im Sinne einer umweltfreundlichen Mobilität werden insbesondere im urbanen Raum folgende Ziele verfolgt, um die Schadstoffbelastung der Luft zu reduzieren:

- Verkehrsverlagerung
will das Mobilitätsverhalten verändern und zum Umstieg vom MIV auf den Umweltverbund (ÖV, Rad und Fußgänger) motivieren. Allgemein besteht das Ziel darin von einem Verkehrsmittel mit hoher spezifischer Emission auf ein Verkehrsmittel mit niedriger (oder gar keiner) spezifischen Emission umzusteigen.
- Verkehrsverringern
will die Anzahl von Fahrten des MIV reduzieren, durch Verzicht auf Wege, oder Steigerung des Besetzungsgrades in einem Fahrzeug. Der Umstieg vom MIV zum ÖPNV trägt gleichermaßen zu diesem Ziel bei.
- Verkehrsverflüssigung
will die Anzahl von „stop and go“ Vorgängen verringern (z.B. durch hohe Verkehrsbelastung). Insbesondere beim Vorgang der Beschleunigung entstehen große Mengen an Emissionen, bedingt durch den hohen Kraftstoffeinsatz in diesem Moment.

Damit einher geht die Bemühung die Standzeiten (z.B. an LSA) bei laufendem Motor zu verringern.

- Alternative (umweltschonende) Antriebstechnologien will die Emissionen aller notwendigen Transportvorgänge auf ein Minimum reduzieren. Dabei gelten Elektrofahrzeuge oft als Null-Emissions-Fahrzeuge, weil sie im Augenblick des Fahrens keine Emissionen erzeugen. Diese entstehen jedoch sowohl bei der Produktion von Fahrzeug, Strom und Speichermedien in merklichem Umfang. Daher wurde dieser Punkt bewusst auf vielversprechende Antriebstechnologien erweitert und betrachtet auch Brennstoffzelle oder Erdgasbusse als sinnvolle Maßnahme zur Emissionsminderung.

Betrachtet man diese 4 Kategorien, die alle einen direkten Beitrag zur Emissionsminderung leisten können, so fällt auf das manche Maßnahmen, wie z.B. AP1 in diesem Sinne nicht geeignet wären. Daher ist eine weitere Unterscheidung aller untersuchten Maßnahmen bzgl. der Art ihrer Wirkungsentfaltung erforderlich.

- Es gibt „**primäre**“ Maßnahmen, die in dem oben genannten Sinne zu einer direkten Reduzierung der Emissionen durch eine oder mehrere der 4 Kategorien führen.
- Es gibt darüber hinaus „**sekundäre**“ Maßnahmen, die in ihrer Wirkung geeignet sind, primäre Veränderungen herbeizuführen, etwa weil sie eine Steigerung der Attraktivität des ÖPNV bewirken oder die Nutzer des MIV animieren, auf umweltfreundliche Verkehrsmittel umzusteigen.

In Tab. 1 sind alle untersuchten Maßnahmen aufgeführt und in „primäre“ bzw. „sekundäre“ Veränderungen hinsichtlich der Emissionsminderung kategorisiert. Die nähere Darstellung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5.

Tab. 1: Einteilung in „primäre“ und „sekundäre“ Maßnahmen.

AP	Maßnahme	Wirkung
1	Aufbau einer Mobilitäts-App und Mobilitäts-Internetseite	Sekundäre Veränderungen: → Potenzial für den Umstieg auf ÖPNV → Potenzial für die Nutzung privater Elektromobilität
2	Digitalisierung und Ausbau des Fahrradparkens	Primäre Veränderungen: → Potenzial für Umstieg auf den Radverkehr (Verkehrsverringerung)
3	Schließung von Netzlücken im Radverkehrsnetz	Primäre Veränderungen: → Potenzial für Umstieg auf den Radverkehr (Verkehrsverringerung)
4	Angebotsverbesserungen im Stadtbusverkehr (SWG)	Primäre Veränderungen: Potenzial für Umstieg auf den ÖPNV
5	Ersatz von Diesel- durch Erdgasbusse (SWG)	Primäre Veränderungen: → Potenzial für emissionsarme Fahrzeuge im ÖPNV (bei gleicher Verkehrsleistung)

6	Aufbau eines Mobilitätsmanagements (inkl. Schulen)	Primäre Veränderungen: → Potenzial für den Umstieg auf ÖPNV (Semesterticket / Landesticket) Weitere Wirkungen: → Verkehrssicherheit (Schulen)
7	Ausbau und Verknüpfung an zentralen Bushaltestellen (SWG)	Sekundäre Veränderungen: → Bündelung mit anderen Maßnahmen (Attraktiver ÖPNV)
8	Pendlerorientierte Radschnellverbindungen	Primäre Veränderungen: → Potenzial für Umstieg auf den Radverkehr (E-Bike)
9	Busbeschleunigung und Optimierung Verkehrsfluss	Primäre Veränderungen: → Potenzial für Umstieg auf den ÖPNV (Pünktlichkeit)
10	Ausstattung Busse mit digitalen Fahrgastzählanlagen (SWG)	Sekundäre Veränderungen: → Bündelung mit anderen Maßnahmen (ÖPNV-Planung)
11	Ausbau digitales Fahrgastinformationssystem an Haltest.	Sekundäre Veränderungen: → Bündelung mit anderen Maßnahmen im ÖPNV
12	Schaffung von digitalen Zählstellen für den Radverkehr	Sekundäre Veränderungen: Basisdaten für Radverkehrsaufkommen (Bündelung)
13	Digitales Fahrradverleihsystem	Primäre Veränderungen: → Potenzial für Umstieg auf den Radverkehr
14	Einführung von digitalem Handyparken (StVerw)	Sekundäre Veränderungen: → indirektes Potenzial für den Umstieg auf ÖPNV (Parkraumbewirtschaftung + P&R)
15	Prüfung/Einrichtung von Mikro-Depots	Sekundäre Veränderungen: → Potenzial für Verkehrsverringerung scheint in der aktuellen Wettbewerbssituation im Markt nicht zu erschließen zu sein

5 Konzeption der Maßnahmen

Der Masterplan verfolgt das Ziel der dauerhaften Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte im Bereich des Anlagenrings Gießen. Im Sinne einer integrierten und nachhaltigen Verkehrsplanung soll dies mit einem Bündel von Maßnahmen, das zielgerichtet umgesetzt wird, erreicht werden. Dabei sind

- Maßnahmen, die stadtweit allgemein und langfristig wirken,
- mit Maßnahmen, die direkt auf den Verkehrsablauf im betroffenen Bereich wirken,

zu kombinieren. Mit einem solchen Gesamtansatz wird ermöglicht, dass die Immissionen im betroffenen Straßenabschnitt in ausreichendem Maß reduziert werden, dass keine unverträglichen Verschlechterungen in anderen Straßenzügen auftreten und dass es im gesamten Stadtgebiet zu einer bilanziellen Verbesserung der Luftqualität und Umweltsituation kommen wird. Im Rahmen des vorliegenden Masterplans wurden insgesamt 15 einzelne Maßnahmen zur Förderung eines umweltgerechten Verkehrs untersucht (siehe Anlage 1). Im Folgenden werden diese Maßnahmen vorgestellt und deren Potential zur Emissionsminderung aufgezeigt.

5.1 AP 1 Aufbau einer Mobilitäts-App und Mobilitäts-Internetseite

Ziel: Vernetzung und Optimierung aller Verkehre

Für eine zielgerichtete Steuerung des Mobilitätsverhaltens in der Universitätsstadt Gießen sind die Kenntnis der aktuellen Verkehrssituation sowie der verfügbaren Kapazitäten in den einzelnen Verkehrsmitteln eine Grundvoraussetzung für dessen optimierte Abwicklung. Diese Kenntnis ist gleichermaßen relevant für die Akteure im Verkehrsmanagement, wie für den Reisenden selbst, der für sich die bestmögliche individuelle Mobilitätslösung sucht. Durch die vorliegende Maßnahme sollen beide Parteien mit den für sie relevanten Informationen versorgt werden.

Beschreibung der Maßnahme

Diese Maßnahme führt sämtliche Informationen mit Bezug zum Verkehr zusammen und somit liefert fast jede weitere Maßnahme relevante Informationen, die hier genutzt werden können und im Zuge der Digitalisierung ausgebaut werden sollen. Darüber hinaus sind in dieser Maßnahme weitere Bestandteile enthalten (z.B. Kartengrundlagen, Verkehrsmodelle, etc.) die als Ergebnis für die Optimierung der anderen Maßnahmen geeignet sind.

Für das vorliegende AP wurde die vorhandene System-Architektur der Universitätsstadt Gießen aufgenommen. Auf dieser Grundlage wurde eine zukunftsorientierte IVS-Systemarchitektur (siehe Kapitel 3) entwickelt, um die benannten Ziele zu erreichen. Aktuell umfasst die Systemlandschaft der Stadt Gießen und der MIT.BUS GmbH folgende Bestandteile:

- einen Verkehrsrechner (VSR; Sitraffic Scala von Siemens AG)
- ein dynamisches Parkleitsystem (PLS von Bremicker Verkehrstechnik GmbH)
- ein Intermodal Transport Control System (ITCS; MOBILE-ITCS von INIT SE)

Die Zentralensysteme der Stadt Gießen für den MIV (VSR, PLS) und der MIT.BUS GmbH für den ÖPNV sind technisch bislang nicht miteinander vernetzt. Weiterhin werden auch die städtischen Systeme (VSR und PLS) als eigenständige Systeme betrieben, ein Datenaustausch zwischen den Systemen erfolgt derzeit nicht.

Ausgehend von dieser IST-Situation ist eine systematische und qualifizierte Weiterentwicklung der verkehrstechnischen Infrastruktur hin zu intelligenten Verkehrssystemen (IVS) erforderlich. Das betrifft direkt oder indirekt folgende Maßnahmen die ebenfalls im Rahmen des Masterplans adressiert werden (AP 1, AP 4, AP 9, AP 10, AP 11 und AP 12). Folgende Informationen sollten für Bürger/Reisende bereitstehen:

- ÖPNV-Netz mit Haltestellen (inkl. Echtzeit-Information zu den Fahrzeugen)
- Echtzeit-Verkehrslage in der Stadt (ggf. auch im Umland) für Reisezeiten, Prognose, Luftqualität
- Echtzeit-Informationen zum Parken (inkl. Elektroladesäulen und P&R)

- Echtzeit-Informationen zu Taxi und Carsharing
- Informationen zum Radwegenetz und Fahrradverleihsystem

Neben der Versorgung der Bevölkerung, Verwaltung und Wirtschaft mit hochwertigen Informationen zur Mobilität, sind diese Daten hervorragend geeignet, um ein kontinuierliches Monitoring von Verkehrs-, Parkraum- und Umweltsituationen durch die öffentliche Hand zu etablieren. Das erfordert die netzweite Verfügbarkeit einer Verkehrslage im MIV und ÖPNV sowie ein netzweites Umweltmonitoring der verkehrlichen Emissionen.

Für die Übermittlung der Mobilitätsinformationen können verschiedene Kommunikationskanäle benutzt werden. Im Folgenden sind bestehende und neue geeignete Wege aufgelistet, um die Verkehrsteilnehmer zu informieren:

- Parkleitwegweiser der Stadt Gießen – Bestand
- Verkehrsinformationstafeln der Stadt Gießen – ggf. Neuaufbau
- Mobilitäts Daten Marktplatz der Bundesanstalt für Straßenwesen – Neuanbindung
- Mobilitäts-App und Mobilitäts-Portal der Stadt Gießen – Neuaufbau und -anbindung
- Optische Fahrgastinformation an Haltestellen und in den Fahrzeugen der MIT.BUS GmbH
- Plattform Mobility inside – ggf. Neuaufbau und -anbindung

Die konzipierte IVS-Systemarchitektur kann, basierend auf dem aktuellen Bestand in Gießen, schrittweise umgesetzt werden und lässt Spielraum für weitere Optionen. Die Umsetzung wird in 4 Phasen empfohlen, die entsprechenden Details sind in Kapitel 3 ausgeführt.

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme für die keine direkte Reduktionsmenge von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung zu erbringen. Während in den Fachabteilungen die inhaltliche Ausarbeitung unter Berücksichtigung verwaltungstechnischer und rechtlicher Rahmenbedingungen sowie möglicher Fördermittel erfolgt, ist auf politischer Ebene über die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel und ggf. der notwendigen Eigenanteile der Universitätsstadt Gießen zu entscheiden.

Mit Blick auf die Vielfalt an Informationsangeboten, die in Bezug auf Mobilität in Gießen für die Öffentlichkeit bereitgestellt werden sollte, wird eine Erweiterung der Abstimmungsprozesse auf folgende Akteure empfohlen:

- Geschäftsführung der SWG, Geschäftsführung der MIT.BUS, sowie weitere in Gießen operierende Verkehrsunternehmen, um sämtliche Daten mit ÖPNV-Bezug einzubinden.

- Parkhaus-Betreiber und Gesellschaften zur Parkraumbewirtschaftung, um die vorhandenen Daten des Parkleitsystems für das Stadtgebiet zu vervollständigen.
- Service-Provider und Anbieter von Mobilitätsdiensten, die ein Interesse an der Nutzung und Vermarktung von Mobilitätsinformationen im Raum Gießen haben.

Mit den hier aufgelisteten Akteuren sind gleichermaßen organisatorische und technische Details abzustimmen, um eine erfolgreiche Realisierung zu ermöglichen. Darüber hinaus ist in dieser Hinsicht auch die Europäische Gesetzgebung miteinzubeziehen und folgende Richtlinien zu beachten:

- Open Data (PSI-Richtlinie)
- Echtzeit-Daten im Verkehr (ITS-Richtlinie)
- Geo-Daten (INSPIRE-Richtlinie)

Technische Realisierungsvoraussetzungen sind eine detaillierte Bestandsaufnahme der vorhandenen Datenbestände, der Formate in denen sie vorliegen und mögliche Schnittstellen für die digitale Verarbeitung und Weitergabe. Diese Themen sind in den Vorschlägen zur zukünftigen Entwicklung der System-Architektur für die Region Gießen enthalten. Somit ist das vorliegende AP von zentraler Bedeutung und weist vielfältige Verbindungen (Abhängigkeiten) zu anderen APs auf, aus denen mögliche Datenbestände einfließen können und sollen.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die vollständige Umsetzung der Maßnahme ist langfristig zu sehen, es sollte aber mit einem kurzfristigen Zeithorizont mit der ersten Umsetzungsphase begonnen werden. Die wesentlichen Bausteine sind im Folgenden mit Kosten aufgelistet und korrespondieren zur IVS-Systemarchitektur in Abb. 1:

- Konzeption „Umweltorientiertes Verkehrsmanagement“ mit zugehöriger Detailanalyse hin zu einer zukunftsfähigen IVS-Systemarchitektur
→ Kosten: ca. 180.000 € (netto)
- Ertüchtigung und Ausbau der Datenerfassung über alle Verkehrsmodi
→ Kosten: ca. 1.150.000 € (netto)
- Verkehrsmanagement bestehend aus Verkehrsmodell, Daten- und Strategiemanagementsystem, Echtzeit-Verkehrslage, Umweltmonitoring, sowie Anbindung von Verkehrsrechner und ITCS
→ Kosten: ca. 780.000 € (netto)
- Strategische und routenbezogene Verkehrssteuerung
→ Kosten: ca. 560.000 € (netto)
- Strategische Verkehrsinformation und Fahrgastinformation
→ Kosten: ca. 1.330.000 € (netto)

5.2 AP 2 Digitalisierung und Ausbau des Fahrradparkens (inkl. E-Mobilität)

Ziel: Stärkung des Radverkehrs, Elektrifizierung des Verkehrs

Der aktuelle Trend „hin zum Fahrrad“ soll durch sichere Abstellplätze und Lademöglichkeiten für E-Bikes aufgegriffen und zusätzlich stimuliert werden. Die beiden Kriterien: „Sicherheit“ für das abgestellte Fahrrad und „Stromanschluss“ zum Laden der Batterie, können dazu beitragen neue Nutzergruppen zu erschließen.

Diese Rahmenbedingungen gelten in ähnlicher Form auch für den Schülerverkehr, allerdings spielt für diese Zielgruppe neben einem sicheren Abstellplatz vor allem ein sicherer Schulweg eine wichtige Rolle, was u.a. in AP3 angegangen wird.

Beschreibung der Maßnahme

Seit einigen Jahren erlebt der Radverkehr ein stetiges Wachstum. Immer mehr Bürger leisten sich hochwertige Fahrräder oder E-Bikes, die oft im Freizeitbereich eingesetzt werden. Als Hindernis für eine weitergehende Nutzung wurden bereits die Aspekte der Sicherheit und Lademöglichkeit abgestellter Fahrräder (in Zeiten von Nutzungspausen) identifiziert. Vor diesem Hintergrund ist folgendes Lösungskonzept vorgesehen:

- Fokussierung auf den Übergang (Umstiegsmöglichkeit) zum ÖV, insbesondere der Bahnhof Gießen und ggf. weiterer Bahnhaltepunkte.
- Berücksichtigung von Schülerverkehren, die aufgrund der Altersstruktur zum Großteil keinen Zugriff auf den MIV haben. Hier sind insbesondere mittlere Distanzen (1 – 5 km) interessant.
- Identifikation von geeigneten Standorten im Stadtgebiet und zentralen Umsteigeplätzen zum busbetriebenen ÖPNV.
- Konzeption von geeigneten Abstellanlagen mit folgenden Eigenschaften:
 - eingehauster Stellplatz, der Sicherheit für hochwertige Fahrräder bietet
 - Möglichkeit zum Aufladen der Batterie (für E-Bikes)
 - Zugangskontrolle durch digitale Systeme (für sporadische Nutzer)

In der vorliegenden Studie wurde der Bahnhof als zentraler Umsteigepunkt identifiziert, der mit Abstand die größte Nachfrage für Fahrradabstellanlagen zeigt. Mit fast 1.000 Stellplätzen ist hier die größte Kapazität vorhanden, die mit einer Auslastung von ca. 90 % plus zahlreicher Wildparker (Anketten von Fahrrädern außerhalb der Abstellanlagen) auch genutzt wird.

Trotz der hohen Auslastung ist ein signifikanter Ausbau der Abstellanlagen für einen kurzfristigen Zeithorizont nicht notwendigerweise erforderlich. Ein Teil der Abstellanlagen ist durch sogenannte „Schrotträder“ blockiert. Dies sind i.d.R. ältere Räder von geringem kommerziellen Wert, die für eine unvorhergesehene oder sporadische Nutzung durchaus über längere Zeiträume (Wochen oder auch Monate), stehen gelassen werden. Der Anteil dieser „Schrotträder“ kann mit ca. 20 – 30 % abgeschätzt werden und macht somit einen merklichen Anteil der abgestellten Fahrräder aus. Es besteht die Hoffnung, dass durch das

neu eingeführte Fahrradverleihsystem (siehe AP 13) von JLU und THM, die Funktionalität der „Schrotträder“ ersetzt werden kann, zumal dessen Nutzung für Studierende in den ersten 30 min. kostenlos angeboten wird.

Mit Blick auf einen mittel- und langfristigen Zeithorizont und vor dem Hintergrund einer kontinuierlich ansteigenden Nutzung dieses Verkehrsmittels, ist der Ausbau von Fahrradabstellanlagen geboten. Hier werden folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen (siehe auch **Anlage 2.1**):

- 20 zusätzliche eingehauste Stellplätze ohne Lademöglichkeit am Bahnhof Gießen für Dauermieter (vornehmlich Pendler; in Anlage 2.1 als „Radbox“ bezeichnet). Es bestehen bereits 36 solcher Radboxen in bester Lage direkt am Gleis (Bahnsteig zwischen Gleis 1 und Gleis 11), die alle an Dauermieter vergeben sind. Es existiert darüber hinaus eine Warteliste von weiteren Interessenten, deren Nachfrage durch die Maßnahme kurzfristig erfüllt werden soll.
- Bau eines Fahrradparkhauses (siehe Anlage 2.1) mit einer Kapazität von ca. 120 Stellplätzen. Hierfür könnte ein städtisches Gelände auf der Ostseite und nördlich des Bahnsteigs 1 genutzt werden. In der Planung müsste u. a. die Nachfrage in Bezug auf die Entfernung zum Gleis und dem Punkt „soziale Sicherheit“ für den Zugangsbereich besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.
- Ausbau von Kapazität und Komfort der Fahrradabstellanlage, um ca. 50 zusätzliche Stellplätze am „Alter Wetzlarer Weg“ (in Anlage 2.1 als „Fahrrad-Parken“ bezeichnet). Die aktuelle Abstellanlage ist teilweise nicht überdacht und dieser Teil kann durch zusätzliche überdachte und doppelstöckige Fahrradstellplätze in guter Lage ausgebaut werden.
- Aufbau einer digitalen Abstellanlage mit ca. 50 sicheren (eingehausten) Stellplätzen mit Lademöglichkeit für hochwertige Fahrräder und E-Bikes (in Anlage 2.1 als „Radbox digital“ bezeichnet). Das System soll sporadische Nutzer (Freizeit- und Pendlerverkehr) ansprechen und über eine digitale Zugangskontrolle verfügen, so dass der Radfahrer seine Box bereits vor der Abfahrt (z.B. von Zuhause) buchen kann. Diese Anlage könnte im Rahmen der Neugestaltung der Westseite des Bahnhofs Gießen und nahe dem Ausgang der verlängerten Fußgänger-Unterführung realisiert werden.

Als weiterer Punkt wurden insbesondere die Fahrradabstellanlagen an Schulen adressiert. Diese Maßnahme steht in engen Zusammenhang mit AP6 und ist dazu geeignet die Anzahl an Elterntaxis zu reduzieren. Hier spielen folgende Punkte eine Rolle:

- Sicherheit der Abstellanlage (bzgl. Diebstahl und Vandalismus). Gerade Schüler verfügen oft über neue Fahrräder – Vorderrad (Schnellspanner), Sattel (Schnellspanner), Licht etc. können leicht entwendet werden.
- Alter der Schüler. Für Grundschüler ist nicht nur die Abstellanlage relevant, sondern die Verkehrssicherheit und die „soziale Sicherheit“ entlang des gesamten Schulweges. Dieser Aspekt ist in AP3 behandelt.

- Distanz, die die Schüler vom Wohnort zur Schule zurücklegen müssen. Hier wird eine Distanz von 1 – 5 km für die meisten Nutzer angenommen. Somit verfügen Schulen mit einem hohen Gastschüleranteil aus dem Landkreis aktuell über geringere Kapazitäten für ihre Abstellanlagen. Mit Blick auf die rasante Entwicklung der Absatzzahlen von Elektrofahrrädern, kann sich dieses Verhalten umkehren. Dieser Punkt sollte mittelfristig Berücksichtigung finden.
- Die Nutzung des Fahrrades ist stark vom Wetter abhängig. In der dunklen und nassen Jahreszeit weist dieses Verkehrsmittel deutliche geringere Nutzungszahlen auf.

Für die geplanten Maßnahmen ergeben sich zum Zeitpunkt der Fertigstellung folgende Einsparungen von NO₂-Emissionen:

- kurzfristig (2019): 37,6 kg/a bzw. 563,5 kg akkumuliert über 15 Jahre
- mittelfristig (2023): 11,1 kg/a bzw. 166,0 kg akkumuliert über 15 Jahre
- langfristig (2030): 31,0 kg/a bzw. 929,5 kg akkumuliert über 30 Jahre

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung zu erbringen. Während in den Fachabteilungen die inhaltliche Ausarbeitung unter Berücksichtigung verwaltungstechnischer und rechtlicher Rahmenbedingungen sowie möglicher Fördermittel erfolgt, ist auf politischer Ebene über die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel und ggf. der notwendigen Eigenanteile der Universitätsstadt Gießen zu entscheiden. Darüber hinaus sind folgende Abstimmungsprozesse mit externen Akteuren notwendig:

- Bahnhofsmanagement am Bahnhof Gießen für den Ausbau von Fahrradabstellanlagen auf und im Umfeld von Bahnanlagen
- Schulleitung und ggf. Schulbehörde für den Ausbau von Fahrradabstellanlagen an Schulen (z.B. Liebigschule und Wirtschaftsschule am Oswaldsgarten)
- ZOV (Zweckverband Oberhessische Versorgungsbetriebe) zur Unterstützung bei der Beantragung von Fördermitteln, sowie die zuständigen Landesbehörden.

Allgemeine technische Realisierungsvoraussetzungen bzw. Abhängigkeiten mit anderen APs bestehen nicht. Die individuellen Maßnahmen am Bahnhof Gießen bzw. an den Schulen hängen von dem Platzangebot und den örtlichen Rahmenbedingungen ab.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Der Zeithorizont, die geschätzten Kosten sowie die ermittelte Effizienz für die Realisierung der einzelnen Teilmaßnahmen ist im Folgenden aufgelistet:

- Die Beschaffung von 20 weiteren Radboxen soll kurzfristig in 2019 erfolgen und ab dem 01.01.2020 für Dauermieter zur Verfügung stehen.
Kosten der Maßnahme: ca. 50.000 €
Effizienz der Maßnahme: 2,8 g/€
- An 2 Schulstandorten (Liebigsschule und Wirtschaftsschule am Oswaldsgarten) ist kurzfristig für 2019 die Errichtung von 104 bzw. 457 Zweiradstellplätzen vorgesehen
Kosten der Maßnahme: ca. 85.000 €
Effizienz der Maßnahme: 6,0 g/€
- Der Ausbau der Fahrradabstellanlage am „Alter Wetzlarer Weg“ ist mittelfristig bis 2023 anzustreben.
Kosten der Maßnahme: ca. 80.000 €
Effizienz der Maßnahme: 2,2 g/€
- Der Aufbau einer eingehausten Fahrradabstellanlage mit Stromanschluss und digitaler Zugangsmöglichkeit kann erst nach Fertigstellung der Verlängerung der Unterführung (ab 2024; langfristig) in Angriff genommen werden.
Kosten der Maßnahme: ca. 145.000 €
Effizienz der Maßnahme: 1,8 g/€
- Der Bau eines Fahrradparkhauses ist langfristig anzustreben.
Kosten der Maßnahme: ca. 290.000 €
Effizienz der Maßnahme: 2,3 g/€

Für die geplanten Maßnahmen sollen vorhandene Fördermöglichkeiten in Anspruch genommen werden. Dabei sind ggf. Eigenanteile und Zweckbindung zu berücksichtigen.

5.3 AP 3 Schließung von Netzlücken im Radverkehrsnetz

Ziel: Stärkung des Radverkehrs

Beseitigung von Unfallgefahren, dadurch verbessertes Verkehrsklima und Anreize zum Umstieg auf das Fahrrad. Die Anlage von Schutzstreifen und geregelten Querungen kann zum Teil sogar den KFZ-Verkehrsfluss, verstetigen, so dass sich auch dadurch die Luftschadstoffe reduzieren.

Beschreibung der Maßnahme

Die kontinuierliche Zunahme des Radverkehrsanteils in den letzten Jahren ist in Gießen eine politisch gewünschte Entwicklung, die weitergeführt werden soll. Hierdurch erhöhen sich die Anforderungen an die bestehende Radverkehrsinfrastruktur. Im Gießener Radverkehrsnetz gibt es eine Reihe von Netzlücken, die noch nicht geschlossen sind. Dies führt dazu, dass auf diesen Verbindungen oftmals statt des Fahrrads das Auto genutzt wird oder Umwege gefahren werden müssen, die die Reisezeiten verlängern. Hier sollten Lückenschlüsse erfolgen. Ziel ist es daher, das bestehende Radverkehrsnetz sicher, leistungsfähig und durchgängig weiter auszubauen und somit aktiv die Voraussetzungen für eine weitere Zunahme des Radverkehrs zu schaffen.

Die in Zukunft umzusetzenden Maßnahmen basieren dabei auf den von der Stadtverordnetenversammlung beschlossenen Ergebnissen des Radverkehrsentwicklungsplanes (12.05.2010). Nicht alle darin aufgeführte Projekte können bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes umgesetzt werden (Ende 2030), wodurch eine Priorisierung der Maßnahmen durch die Beteiligten des Tiefbauamtes notwendig war. Hieraus ergeben sich 29 umzusetzende Projekte.

Die Einteilung der zeitlichen Umsetzung der einzelnen Maßnahmen erfolgt dabei auf dem aktuellen Planungsstand und nach der Prioritätenreihung. Alle Maßnahmen wurden dabei in eine kurz- (bis Ende 2019), mittel- (bis Ende 2023) und langfristige (bis Ende 2030) Umsetzung eingeteilt. Die Liste mit allen priorisierten Maßnahmen und deren zeitliche Umsetzung sind in der **Anlage 3.2** dargestellt. Diese unterteilen sich in Maßnahmen für Streckenabschnitte oder Knotenpunkte. Die räumliche Lage der Maßnahmen ist in den **Anlagen 3.1** dargestellt.

Ohne den geplanten Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur wird von einer jährlichen Zunahme des Radverkehrs von 2% (bezogen auf die Anzahl der Wege) ausgegangen. Dies ist nach dem „Nationaler Radverkehrsplan 2020“ des Bundes (dort wurde ein jährlicher Wert von 2,6 % für den Zeitraum von 2002 bis 2008 angegeben) ein unterdurchschnittlicher Wert. Durch die Umsetzung der geplanten Maßnahmen kann die Verlagerung auf bis zu 5% erhöht werden. Dieser Effekt tritt erst nach der Umsetzung aller Maßnahmen im Jahr 2030 auf. Hierdurch ist von 2018 bis 2030 eine Steigerung des Radverkehrs um ca. 60% zu erwarten. Die Steigerung der Radverkehrsleistung wird durch Umstieg aus folgenden Verkehrsmitteln gespeist:

- 40% MIV
- 28% ÖPNV (MIT.BUS mit Erdgasbussen)

- 12% ÖPNV (andere VUs die im Stadtbereich Gießen agieren mit Dieselnbussen)
- 10% Fußgänger
- 10% Anteil an neuer Mobilität

Bezogen auf die Umsteiger aus dem MIV repräsentieren diese Daten eine mögliche Reduktion der Verkehrsleistung im MIV von 2% bis zum Jahr 2030.

Die Gewichtung der gesamten Verlagerung auf die verschiedenen Einzelmaßnahmen erfolgte dann über die nachfolgenden Kriterien:

- Verbesserung eines Streckenabschnitts oder eines Knotenpunktbereichs
- Streckenlänge der Umbaumaßnahme; Maßnahme für eine oder beide Fahrtrichtungen
- Art der Maßnahme (z.B. Aufstellflächen, Schutzstreifen, Radfahrstreifen, Radweg, neue Wegeverbindung...)
- Lage der Maßnahme (Stadtgebiet oder außerhalb)

Für das Ausgangsjahr 2013 wurde aus den verfügbaren Daten (SrV 2013) eine Verkehrsleistung für den Radverkehr von ca. 40 Mio km/a ermittelt. Hieraus ergeben sich zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Maßnahmenkategorien folgende Einsparungen von NO₂-Emissionen:

- kurzfristig (2019): 652 kg/a bzw. 21,1 t akkumuliert über 30 Jahre
- mittelfristig (2023): 1.229 kg/a bzw. 52,5 t akkumuliert über 30 Jahre
- langfristig (2030): 3.228 kg/a bzw. 96,8 t akkumuliert über 30 Jahre

Dabei erreichen die einzelnen Maßnahmen (aus den 29 untersuchten Kandidaten) Effizienzwerte zwischen 1 und 600.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Die Realisierungsvoraussetzungen sind je nach Maßnahme unterschiedlich und stehen in den meisten Fällen in einem direkten Zusammenhang mit Planungen, die den Straßenraum insgesamt also auch den Kfz- und Fußgängerverkehr betreffen. Zuständig für die nötigen Planungsgrundlagen sind die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung. Notwendige Abstimmungen erfolgen im Magistrat bzw. in der Stadtverordnetenversammlung.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die in der priorisierten Liste aufgeführten Einzelmaßnahmen besitzen sehr unterschiedliche Planungsstände. Einige werden gerade umgesetzt, zu anderen gibt es bislang nur eine politische Absichtserklärung. Daher basiert die zeitliche Einteilung der Projekte größtenteils auf Annahmen. Verschiebungen sind zu erwarten, zumal es durch die begrenzten räumlichen Möglichkeiten im Stadtgebiet oftmals zu Wechselwirkungen mit dem Kfz- oder Fuß-

gängerkehr kommt, wodurch Umbaumaßnahmen nie getrennt von den anderen Verkehrsteilnehmern betrachtet und geplant werden können. Hierdurch können sich auch die Prioritäten verschieben. Durch eine Umbaumaßnahme, die z.B. für den Kfz-Verkehr notwendig ist, kann auch eine Verbesserung für den Radverkehr früher umgesetzt werden als ursprünglich geplant. Durch die begrenzten finanziellen Mittel ist dann ein Verschieben anderer Projekte nach hinten möglich.

Neben den benannten Radverkehrsprojekten, die bis zum Jahr 2030 umgesetzt werden sollen, gibt es die Liste mit Radverkehrsprojekten, deren zeitliche Umsetzung noch nicht festgelegt wurde (siehe **Anlage 3.3**). Eine Umsetzung im Untersuchungszeitraum bis 2030 ist aktuell nicht absehbar, aber wie oben beschrieben dennoch möglich.

Für einen Großteil der priorisierten Maßnahmen liegen noch keine detaillierten Planungen vor, wodurch auch die notwendigen Umbaumaßnahmen noch nicht im Einzelnen benannt werden können. Die zu erwartenden Kosten sind daher nicht genau oder nur unzureichend abzuschätzen. Zudem ist eine Zuordnung der Kosten bei einer gemeinsamen Überplanung für den Kfz-, Rad- und Fußgängerkehr nur schwer möglich. Dies trifft z.B. beim Bau einer neuen Unterführung für alle Verkehrsteilnehmer zu. Bei dieser Aufteilung wurden Annahmen getroffen.

Für die Berechnung der Kosten wurden folgende Ansätze getroffen:

- Markierung Linie: 20 €/l/m
- Markierung Fläche: 40 €/q/m
- Radverkehrsanlage: 100 €/q/m
- Bau Radweg: 200 €/q/m
- Querungsmöglichkeit: 5.000 €/Stück

Insgesamt wurden für die 29 priorisierten Projekte Kosten von rund 6.032 T€ geschätzt. Die maßnahmenbezogenen Kosten sind in der **Anlage 3.3** dargestellt.

5.4 AP 4 Angebotsverbesserungen im Stadtbusverkehr

Ziel: Stärkung des ÖPNV

Veränderung des Modal-Split zugunsten des ÖPNV; attraktivere Fahrplangestaltung des Busverkehrs in Gießen, dadurch kürzere Fahrzeiten, ein engerer Takt und mehr Direktverbindungen; dies fördert das Umsteigen vom Pkw auf den Bus.

Beschreibung der Maßnahme

Die Maßnahme besteht aus einer optimierten Linien- und Fahrplangestaltung des Busverkehrs in Gießen. Dadurch ergeben sich kürzere Fahrzeiten, ein engerer Takt und mehr Direktverbindungen. Es werden neue Linien eingeführt und bestehende erhalten eine neue Linienführung, um u.a. neue Wohn- und Gewerbegebiete anzubinden und um kürzere Fahrzeiten zu realisieren. In Tab. 2 sind die geplanten Maßnahmen im Einzelnen aufgelistet und in **Anlage 4.1** sind die entsprechenden Maßnahmen grafisch dargestellt.

Tab. 2: Geplante Maßnahmen zur optimierten Linien- und Fahrplangestaltung.

AP-Nr.	Linien-Nr.	Maßnahme	Beschreibung
4.1	7	Verlängerung der Linie 7 in den Bereich des zukünftigen Wohngebietes „Motorpool-Gelände“	Die verlängerte Linie 7 erschließt neue Fahrgastpotentiale, allerdings muss eine neue Endhaltestelle sowie ein Kreisverkehr zum Wenden der Fahrzeuge errichtet werden.
4.2	10	Verkürzter Laufweg und verkürzte Fahrzeit der Linie 10 unter Wahrung deren Funktion.	Die Endhaltestelle der Linie 10 wird von der Ostseite des Bahnhofs auf die Westseite verlegt. Damit verkürzt sich der Weg von den Bahnsteigen zur Bushaltestelle und Wartezeiten vor dem Bahnübergang in der Frankfurter Straße könnten vermieden werden.
4.3	3, 12, 13 und 14	Die Linien 3, 12 und 13 erhalten neue und direktere Linienführungen und werden mit einer neuen Linie 14 ergänzt.	Durch die direktere Linienführung werden die Fahrzeiten reduziert, was zum einen Vorteile für die Fahrgäste bietet und zum anderen auch eine bessere Umlaufplanung ermöglicht.
4.4	15	Die Linie 5 verläuft von Gießen Bahnhof über Gießen Innenstadt bis nach Wieseck zur Endhaltestelle „Greizer Straße“.	Die neue Linie 15 verläuft bis zur Haltestelle „Röderring“ parallel zur bestehenden Linie 5 und ergänzt sie auf einem stark belasteten Abschnitt. Außerdem erschließt sie erstmals den nördlichen Stadtteil Wieseck mit einem Stadtbus.

AP-Nr.	Linien-Nr.	Maßnahme	Beschreibung
4.5	17	Neue Linie 17 zur Abfederung bestehender Engpässe und Befriedigung der aus Konversion entstehenden Nachfrage	Die neue Linie 17 verläuft von Gießen Bahnhof bis in den Bereich „Am Alten Flughafen“. Im Abschnitt von der Haltestelle „Liebigstraße“ bis zur „Sophie-Scholl-Schule“ verkehrt sie somit parallel zur Linie 1.
4.6	18	Neue Schnellbuslinie 18 zur Beseitigung bestehender Engpässe und Schaffung einer direkten Verbindung für eine nachgefragte Relation.	Die Schnellbuslinie 18 schafft eine direkte Verbindung vom Bahnhof Gießen zur Haltestelle „Rathenaustraße“, die direkt neben der Universität liegt. Die Linie weist nur einen Zwischenhalt am Berliner Platz und damit eine sehr kurze Fahrzeit auf.
4.7	801 + 802	Bei Umsetzung des AP 4.3 übernimmt die neu konzipierte Linie 12 zwischen den Haltestellen „Berliner Platz“ und Endhaltestelle „Pistorstraße“ die Funktion der bestehenden Linie 801. Dies ermöglicht, die Linie 801 zukünftig im Abschnitt von „Berliner Platz“ über den Schiffenberger Weg bis „Rathenaustraße“ ebenfalls parallel zur Linie 802 verkehren zu lassen	Damit erhält die Haupteinfallstraße Schiffenberger Weg in der werktäglichen HVZ eine Bedienung im Viertelstundentakt.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Im Zuge der aktuell beschlossenen Fortschreibung des Nahverkehrsplans (NVP) werden die benannten Maßnahmen in den formalen Planungs- und Realisierungsprozess einbezogen. Die Realisierungsvoraussetzungen sind je nach Linie unterschiedlich (siehe Tab. 3) und stehen in den meisten Fällen in einem direkten Zusammenhang mit Planungen, die den Kfz-Verkehr betreffen. Zuständig für die nötigen Planungsgrundlagen sind die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung. Notwendige Abstimmungen erfolgen im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung.

Tab. 3: Realisierungsvoraussetzungen zur Angebotsoptimierung im ÖPNV.

AP-Nr.	Linien-Nr.	Realisierungsvoraussetzung
4.1	7	Die Verlängerung der Linie 7 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen (Neuer Kreisverkehrsplatz, neue Endhaltestelle) umgesetzt werden.
4.2	10	Die Maßnahme kann erst nach dem Durchstich der Fußgängerunterführung zur Westseite des Bahnhofs umgesetzt werden.
4.3	3, 12, 13 und 14	Die Neukonzeption der Linien 3, 12, 13 und 14 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen umgesetzt werden.
4.4	15	Die neue Linie 15 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen umgesetzt werden (Neubau Haltestellen).
4.5	17	Erste Ausbaustufe: keine. Zweite Ausbaustufe: Errichtung von Haltestellen im Zuge der Erschließung des Geländes „Am alten Flughafen“.
4.6	18	Vsl. ab Oktober 2018 wird die Rathenaustraße zwischen Alter Steinbacher Weg und Otto-Behaghel-Straße wegen Umgestaltung des Campusgeländes vollständig gesperrt. Die Schnellbuslinie 18 kann daher frühestens nach Abschluss der Straßenbauarbeiten (vsl. Ende 2020) umgesetzt werden.
4.7	801 + 802	Das AP 4.3 (s.o.) muss umgesetzt sein.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Je nach Linie gibt es unterschiedliche Kosten und zeitliche Restriktionen bei der Umsetzung. Während bei jeder Linie wiederkehrende Kosten anfallen, sind einmalige Kosten nur dort zu erwarten, wo auch bauliche Maßnahmen, im Wesentlichen neue Haltestellen, anfallen. Tab. 4 enthält eine Auflistung der entsprechenden Kosten, die im Rahmen dieses APs angesetzt wurden.

Tab. 4: Kostenschätzung für unterschiedliche bauliche Maßnahmen.

Maßnahme	Kosten (Brutto)
Einrichtung Kap-Haltestelle (H Schild, Kasseler Bord, Aufmerksamkeitsfelder, Leitstreifen)	25.000 €
Einrichtung Haltestelle mit Busbucht (Betonierung Busbucht, H Schild, Kasseler Bord, Aufmerksamkeitsfelder, Leitstreifen)	65.000 €
Querungshilfe (Bordsteine, Begrünung)	15.000 €
Wartehäuschen mit WC für Fahrpersonal, einschl. Wasser- und Abwasseranschluss	20.000 €
Einfaches Wartehäuschen	5.000 €
Kreisverkehrsplatz, D = 26 m	260.000 €

Alle Kosten wurden anhand von Erfahrungswerten und unter Berücksichtigung der aktuellen Preisentwicklungen abgeschätzt. Es liegen keine detaillierten Planungen zugrunde. Die resultierenden Gesamtkosten, die sich auf dieser Grundlage errechnen, sind für jede Maßnahme in Tab. 5 aufgeführt.

Tab. 5: Akkumulierte Kostenschätzung bezogen auf jede Maßnahme.

AP-Nr.	Linien-Nr.	Einmalige Kosten	Wiederkehrende Kosten	Zeitplan
4.1	7	345.000 €	29.000 €/Jahr	Die Verlängerung der Linie 7 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen umgesetzt werden.
4.2	10	95.000 €	- 27.000 €/Jahr (also Einsparungen)	Die Maßnahme kann erst mit dem Durchstich der Fußgängerunterführung zur Westseite des Bahnhofs umgesetzt werden. Damit ist nicht vor 2023 zu rechnen.
4.3	3, 12, 13 und 14	85.000 €	300.000 €/Jahr	Die Neukonzeption der Linien 3, 12, 13 und 14 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen umgesetzt werden.
4.4	15	220.000 €	480.000 €/Jahr	Die neue Linie 15 kann erst nach Fertigstellung der baulichen Maßnahmen umgesetzt werden.
4.5	17	110.000 €	350.000 €/Jahr	Ab Dezember 2018 wird die Linie 17 in einer ersten Ausbaustufe zwischen den Haltestellen „Bahnhof“ und „Sophie-Scholl-Schule“ verkehren. Zum Dezember 2019 soll die Linie 17 dann in der zweiten Ausbaustufe in den Bereich „Am Alten Flughafen“ hinein verlängert werden.
4.6	18	Keine	72.000 €/Jahr	Die Maßnahme kann vsl. erst Ende 2020 nach Ende der Vollsperrung der Rathenaustraße umgesetzt werden.
4.7	801 + 802	Keine	13.000 €/Jahr	Das AP 4.3 muss umgesetzt sein.

Die Wirkung setzt direkt nach Umsetzung der Maßnahme ein. Sie verstärkt sich mit Zunahme der Bekanntheit der Fahrtalternative.

5.5 AP 5 Ersatz von Diesel- durch Erdgasbusse

Ziel: Emissionsreduzierung

Das Ziel besteht darin die Emissionen, die durch den Einsatz von Omnibussen entstehen, nachhaltig zu reduzieren (siehe auch **Anlage 5.1**).

Beschreibung der Maßnahme

Um die Luftschadstoffe weiter zu reduzieren, ist der Ersatz der noch verbleibenden neun Dieselbusse der Stadtwerke Gießen durch Erdgasbusse beabsichtigt, die eine deutlich bessere Umweltbilanz aufweisen. Damit wird der gesamte Stadtbusbetrieb auf Erdgasantrieb umgestellt sein. Sofern der Fuhrpark weiter ausgeweitet wird, ist ebenfalls die Anschaffung von Erdgasbussen vorgesehen. Mittel bis langfristig wird die Beschaffung von Elektrobussen angestrebt. Im Rahmen der vorliegenden Maßnahme sind folgende Aktivitäten vorgesehen:

- Beschaffung von 10 neue Erdgasbussen, um die Fahrzeugflotte der MIT.BUS GmbH vollständig auf diese Antriebstechnik umzustellen.
- Ertüchtigung der Erdgastankstelle und Erweiterung um einen dritten Verdichter.

Diese Maßnahme (Ersatz von Diesel- durch Erdgasbusse) ist durch eine Studie von Prof. Dr. Ralph Pütz mit dem Titel: "Ökologischer und ökonomischer Vergleich der SWG-Busflotte in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung auf den Zeithorizonten „heute“ und „mittelfristig“ beschrieben (siehe **Anlage 5.1**).

Im Rahmen dieser Studie wurde auf Basis der Randbedingungen der Stadtwerke Gießen/MIT.BUS ein Vergleich der etablierten und alternativen Antriebstechnologien für Liniensbusse bezogen auf die konkrete Flottenzusammensetzung gezogen und auch ein Ausblick auf die weitere, mittelfristige Entwicklung gegeben. So wurde die Analyse der konventionellen Linienbusantriebe im Vergleich zu den Alternativen des Spektrums Elektromobilität auf den Betrachtungshorizonten 2018 („heute“) und 2030 („langfristig“) angesetzt.

Diese Studie bestärkt die Stadtwerke/MIT.BUS den Einsatz von Erdgas als Kraftstoff weiter voranzutreiben. Diese bedeutet, dass - wie bislang praktiziert - Dieselfahrzeuge durch moderne Erdgasbusse ersetzt werden und in die für den Betrieb notwendige Tankstelleninfrastruktur investiert werden soll.

Bei Umsetzung der angeführten Maßnahmen ist mit folgenden Einsparungen von NO₂-Emissionen zu rechnen:

- kurzfristig (2019): 8,9 t/a
- 124,0 t/a akkumuliert über 14 Jahre (Nutzungszeitraum)
- Die resultierende Effizienzrechnung zeigt einen Wert von 36,2 g/€

Die Umstellung auf Erdgasbusse wurde von der MIT.BUS GmbH bereits 2009 begonnen und leistet seither einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung im Stadtgebiet von

Gießen. Bis zur kompletten Umstellung der gesamten Fahrzeugflotte von MIT.BUS in 2019 wird durch diese Maßnahmen der Emissionsausstoß von NO₂ um 85 % gesenkt. Mit Blick auf den gesamten ÖPNV-Betrieb (inkl. anderer VUs) in Gießen ist noch besonders hervorzuheben, dass für dieses Verkehrsmittel der Emissionsausstoß für NO₂ von ca. 48 t/a in 2005 auf ca. 12 t/a in 2019 sinken wird. Das entspricht einer Reduktion von 75 %.

Im Vergleich dazu fällt die entsprechende relative Reduktion im MIV wesentlich geringer aus, was u.a. auf die stärkere Motorisierung zurückzuführen ist. Dadurch werden Fortschritte bei der Entwicklung hin zu sauberen Motoren zum Teil wieder aufgeessen.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Die Fahrzeugbeschaffung liegt in der Zuständigkeit der MIT.BUS GmbH und die Beschaffung wurde bereits während der Bearbeitung des vorliegenden Masterplan durch eine europaweite Ausschreibung begonnen. Diese umfasste die Beschaffung von:

- 7 Einheiten A21 Solobussen,
- 3 Einheiten A23 Gelenkbussen

Die Ausschreibung ist bereits abgeschlossen und die Vergabe am 18.07.2018 erfolgt. Nach aktuellem Planungsstand werden die neuen Fahrzeuge Ende 2018, bzw. Anfang 2019 für den regulären Betrieb zur Verfügung stehen. Damit ist der Umstieg auf Erdgasantriebe für die gesamte Fahrzeugflotte (54 Fahrzeuge) abgeschlossen.

Die Erweiterung der Erdgastankstelle liegt in der Verantwortung der SWG und auch hier wurden bereits Aktivitäten zur Beschaffung in die Wege geleitet. Zurzeit werden mit verschiedenen Tankstellenbetreibern unterschiedliche Betreibermodelle, als Alternative zu einer eigenen Investitionstätigkeit, diskutiert.

Für diese Maßnahmen sind alle organisatorischen und technischen Realisierungsvoraussetzungen erfüllt.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Kosten für die Maßnahme belaufen sich auf:

- 3.430 T€ (netto gesamt)
- 2.880 T€ (netto) für die Beschaffung der Fahrzeuge durch die MIT.BUS GmbH
- 550 T€ (netto) für die Bereitstellung der Erdgastankstelle durch die SWG

Die Umsetzung der Maßnahme erfolgt kurzfristig

- Ende 2018/Anfang 2019 ist die Beschaffung von 3 CNG-Gelenkbussen und 7 CNG-Solobussen (Auftragsvergabe erfolgt voraussichtlich im Juli 2018).
- Die Erdgastankstelle ist im Wirtschaftsplan für 2019 vorgesehen.

5.6 AP 6 Aufbau eines Mobilitätsmanagements (insbesondere an Schulen)

Ziel: Aufklärung / Vernetzung

Das Thema dieses Arbeitspaketes lautet „Digitalisierung und Mobilitätsmanagement“ und die geplante Maßnahme ist der Aufbau eines Mobilitätsmanagements, insbesondere an Schulen.

Über 600.000 Kinder und Jugendliche sind in Hessen jeden Morgen unterwegs zur Schule, allerdings wird etwa die Hälfte von ihnen mit dem Auto der Eltern gebracht. Insbesondere vor Grundschulen führen diese Hol- und Bringverkehre zu gefährlichen Situationen, die gerade die Kinder gefährden, die selbstständig in die Schule kommen. Daher ist es die Strategie des Landes Hessen, mehr Schüler dazu zu bewegen, zu Fuß oder mit dem Fahrrad zur Schule zu kommen.

Beschreibung der Maßnahme

Das Ziel eines Mobilitätsmanagements ist die Reduktion von Fahrten des motorisierten Individualverkehrs (MIV) sowohl von der Anzahl als auch von der Entfernung her. Dies kann entweder durch den vollständigen Verzicht auf Fahrten als auch durch eine Verlagerung auf Verkehrsmittel des Umweltverbundes (ÖPNV, Radverkehr, Fußverkehr) geschehen. Mögliche Maßnahmen sind z.B. Informationsbroschüren, Workshops, Mitfahrzentralen für Pendler u.a. mit denen eine Verhaltensänderung angeregt werden soll. Als Zielgruppen des Mobilitätsmanagements gelten im wesentlichen Schulen, Hochschulen und große Unternehmen.

Im Rahmen des Masterplans der Stadt Gießen soll ein Mobilitätsmanagement insbesondere an Schulen aufgebaut werden. Die Stadtverwaltung und die Schulen sollen eine besondere Vorreiterrolle mit einem aktiven Mobilitätsmanagement übernehmen. Akteure, die bisher wenig bewusst waren, sollen für das Thema „Intelligente Verkehrsmittelwahl“ sensibilisiert werden.

Gerade an den Grundschulen ist der Hol- und Bringservice durch „Elterntaxis“ zu reduzieren.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

In Hessen gibt es vielfältige Angebote, um ein schulisches Mobilitätsmanagement durchzuführen, z.B. seitens der ivm (Integriertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement). Unter dem Motto „Besser zur Schule“ können Schulen, Schulträger und Kommunen konkrete Maßnahmen und Projekte zum schulischen Mobilitätsmanagement entwickeln, umsetzen und dauerhaft verankern. Dazu wurden die folgenden sechs Angebotsbausteine entwickelt:

- Beratungs- und Qualifizierungsprogramm „Besser zur Schule“
- Wettbewerb „Schulradeln“
- Aktionen und Projekte Schulisches Mobilitätsmanagement

- Schülerradroutenplaner + Schülerradroutennetz“
- Netzwerke vor Ort Schule und Mobilität
- Zentrales Informationsportal + Angebotsdatenbank

Die Angebote können direkt beim Fachzentrum Schulisches Mobilitätsmanagement der ivm GmbH³ abgerufen werden und sind für die Schulen kostenfrei. Neben dem Aufbau eines Mobilitätsmanagementsystems sind auch begleitende bauliche Maßnahmen erforderlich, um den Prozess zu unterstützen:

- Umgestaltung von Schulwegen zur Sicherstellung einer höheren Verkehrssicherheit (Safety)
- Umgestaltung von Schulwegen zur Sicherstellung einer höheren sozialen Sicherheit (Security)
- Schaffung von sicheren Fahrradabstellmöglichkeiten an der Schule

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Maßnahmen für das schulische Mobilitätsmanagement werden vom Land Hessen über die Arbeitsgemeinschaft Nahmobilität Hessen bis 2021 finanziell gefördert. Daher fallen keine Kosten an.

³ ivm GmbH (Integriertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement Region Frankfurt RheinMain)

5.7 AP 7 Ausbau und Verknüpfung an zentralen Bushaltestellen

Ziel: Stärkung des ÖPNV

Die qualitativen Vorgaben des Nahverkehrsplanes für die Haltestelleninfrastruktur werden fortgeschrieben. Für die zentralen Haltestellen wird eine Bestandsanalyse erarbeitet, um anschließend das Verbesserungspotential aufzuzeigen (Mängelanalyse).

Beschreibung der Maßnahme

Durch verschiedene Maßnahme wie z.B. die Errichtung von Wetterschutzhäuschen, Sitzgelegenheiten und einen barrierefreien Ausbau soll die Benutzerfreundlichkeit an den Bushaltestellen verbessert und damit eine höhere Kundenzufriedenheit erreicht werden.

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme für die keine direkte Einsparung von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

1. Definition der qualitativen Anforderungen an die Haltestelleninfrastruktur
 - a) Wetterschutz (Wartehalle, Unterstellmöglichkeiten)
 - b) Sitzgelegenheiten in ausreichendem Umfang
 - c) barrierefreier Ausbau (Kasseler Bord, Bordsteinhöhe, taktile Leitstreifen mit Aufmerksamkeitsfeldern, Zugänglichkeit)
 - d) Fahrgastinformation (Dynamisches Fahrgastinformationssystem in AP 11)
 - e) LSA/ Querungshilfe in akzeptabler Entfernung
2. Auswahl der zu untersuchenden Haltestellen anhand nachfolgender Kriterien:
 - a) Verknüpfung Schiene/Bus innerhalb des Stadtgebietes
 - b) Fahrgastaufkommen
 - c) Bedienhäufigkeit der Haltestelle durch verschiedene Verkehrsträger
 - d) Standorte mit besonderer Bedeutung (Krankenhäuser, Behörden, Schulen, neue Haltestellen für neue Linienangebote).
3. Kostenschätzung und Priorisierung der Maßnahmen

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Der Ausbau erfolgt in Abstimmung mit Linienenerweiterungen im Stadtbusnetz sowie anderen städtebaulichen Maßnahmen.

Entsprechend der gesetzlichen Anforderungen (PBefG) ist ein barrierefreier Umbau bis 2022 sicherzustellen.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausstattung der Haltestellen im Status Quo und notwendigen Neubaumaßnahmen besteht ein Investitionsbedarf von rd. 2,2 Mio €.

Die Umsetzung ist in drei Phasen vorzusehen: kurzfristig (bis Ende 2019), mittelfristig (bis Ende 2023) und langfristig (bis Ende 2030). Aufgrund der Berücksichtigung von Förderprogrammen ist von einer mittelfristigen bis langfristigen Umsetzung auszugehen.

5.8 AP 8 Pendlerorientierte Radschnellverbindungen

Ziel: Stärkung des Radverkehrs für größere Distanzen

Die Grundidee der Radschnellverbindung ist allgemein hinsichtlich der sinnvollen Anwendung für die Stadt-Umland-Region in Gießen und speziell für die Verbindung zwischen Gießen und Wetzlar untersucht worden. Durch diese Maßnahme soll der Radverkehr für Distanzen größer 5 km gestärkt und neben dem Freizeitverkehr insbesondere auch für Pendler- und Alltagsverkehre erschlossen werden.

Beschreibung der Maßnahme

Bereits seit 2000 ist Radverkehr das Verkehrsmittel mit den stärksten Wachstumsraten. Dieser Trend wird seit 2010, durch die positiven Entwicklungen von Elektrofahrrädern überlagert und verstärkt. Mit den elektrischen Hilfsantrieben werden zum einen ältere Zielgruppen für den Radverkehr gewonnen und zum anderen zunehmend längere und anspruchsvollere Wege angegangen. Beide Entwicklungen können dazu beitragen auch bei mittleren Entfernungen einen Umstieg vom MIV hin zum emissionsfreien Radverkehr zu motivieren.

In diesem Kontext kann der Ausbau der Radwege hin zu einer leistungsfähigen Infrastruktur einen weiteren Betrag leisten, um die mittlere Geschwindigkeit zu erhöhen und somit die Reisezeit merklich zu verkürzen. Die baulichen Anforderungen an eine Radschnellverbindung sind mit entsprechend hohen Aufwendungen verbunden. Die FGSV empfiehlt diese Investition bei entsprechend hoher Nachfrage von ca. 2.000 Nutzern pro Tag, was insbesondere für direkte Verbindungen von wichtigen Zielbereichen erreicht werden kann.

In der Region Gießen sind die aktuellen Rahmenbedingungen nicht geeignet, um eine solche Radschnellverbindung mit der entsprechenden Auslastung zu realisieren. Daher wurde das Grundprinzip in abgeschwächter Form für die Verbindung der beiden Zentren Gießen und Wetzlar untersucht:

- Das Ziel ist die Realisierung einer direkten und schnellen Verbindung für Pendler
- Ein guter Ausbau der letzten Meile im Stadtgebiet (in beiden Zentren) ist ein wichtiger Faktor für die Erschließung der direkten und schnellen Verbindung.
- Auf Gießener Seite sind die entsprechenden Maßnahmen im Zusammenhang mit der Schließung von Lücken im Radverkehrsnetz zu sehen.
- Die Strecke verläuft zum Teil durch Naturschutzgebiet, wodurch die baulichen Möglichkeiten eingeschränkt sind.
- Es handelt sich nicht um eine exklusive Schnellverbindung nur für Radfahrer, sondern es ist eine gemischte Nutzung aus Radfahrern und Fußgängern zu berücksichtigen.
- Weitere Verbindungen z. B. nach Marburg sind denkbar, erfordern aber durch die doppelte Entfernung von ca. 30 km einen entsprechend höheren Aufwand.

Aus den ermittelten Basisdaten wird aktuell für die Stadt Gießen nur ein Nutzungsanteil von ca. 0,1 % für diese Entfernungskategorie für den Radverkehr ausgewiesen. Dabei ist zu beachten, dass sich dieser Anteil durch E-Bikes bis heute bereits gesteigert hat und dieser Trend auch zukünftig zu erwarten ist. Für einen langfristigen Zeithorizont sind bis 2030 und unter den projektierten Wachstumsraten im Radverkehr ca. 200 Nutzer pro Tag für diese Entfernungskategorie zu erwarten. Diese Steigerung der Radverkehrsleistung wird durch Umstieg aus folgenden Verkehrsmitteln gespeist:

- 35% MIV
- 35% ÖPNV
- 15% bisherige Radfahrer
- 15% Anteil an neuer Mobilität

Des Weiteren ist für diese Radentfernung eine ganzjährige Nutzung nicht zu erwarten, vielmehr wird ein Großteil der Nutzung vom Wetter beeinflusst. Bei der Berechnung der Emissionen wird dieser Faktor genauso berücksichtigt, wie der relevante Streckenverlauf im Stadtgebiet. Mit Blick auf die Emissionen im Stadtgebiet wurde auch nur dieser Anteil bei den Berechnungen zur Emissionsminderung herangezogen. Mit diesen Rahmenbedingungen wurde für einen langfristigen Zeithorizont eine Einsparung von 28.2 kg/a an NO₂-Emissionen ermittelt.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung zu erbringen. Während in den Fachabteilungen die inhaltliche Ausarbeitung unter Berücksichtigung verwaltungstechnischer und rechtlicher Rahmenbedingungen sowie möglicher Fördermittel erfolgt, ist auf politischer Ebene über die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel und ggf. der notwendigen Eigenanteile der Universitätsstadt Gießen zu entscheiden.

Da die Strecken nur zu einem Teil im Stadtgebiet Gießen verlaufen, sind für den entsprechenden Ausbau über den gesamten Streckenverlauf weitere Abstimmungsprozesse mit dem Mobilitätsmanagement des Lahn-Dill-Kreises sowie mit der Stadt Wetzlar durchzuführen.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Kosten und Zeitplan für den innerstädtischen Bereich von Gießen sind in Zusammenhang mit AP3 zu sehen und werden über die dortigen Einzelmaßnahmen umgesetzt.

5.9 AP 9 Busbeschleunigung und Optimierung Verkehrsfluss

Ziel: Stärkung des ÖPNV

Hauptziel der Busbeschleunigung ist die Stärkung des ÖPNV. Im Gebiet der Universitätsstadt Gießen betrifft das den öffentlichen Busverkehr. Unterziele sind:

- Optimierung des Verkehrsflusses
- Erhöhung der Pünktlichkeit/ Fahrplantreue
- Anschlusssicherung
- Komforterhöhung für Fahrgäste durch gleichmäßigeres Fahren
- Veränderung des modal split zugunsten des ÖPNV

Beschreibung der Maßnahme

Im Stadtgebiet befinden sich 127 Lichtsignalanlagen (LSA), über 105 LSA davon (83%) verkehren 29 öffentliche Buslinien von 6 verschiedenen Betreibergesellschaften, 59 der betroffenen LSA (56%) weisen eine Busbeschleunigung auf, nur 2 LSA davon sind nicht am städtischen Verkehrsrechner angeschlossen. Insgesamt finden täglich rund 24.000 Fahrten öffentlicher Busse über LSA statt.

Da aus den Betriebsleitsystemen der Busunternehmer keine ausreichende LSA-spezifische Datengrundlage zur Verfügung stand, und auch die einzelnen Steuerungslogiken nicht betrachtet werden konnten, wurden die Verlustzeiten von Bussen an LSA sowie auch deren Optimierungspotenzial mit den Eingangsgrößen Anzahl der Busfahrten, Grad der Busbeschleunigung, Wirkungsgrad im Zuge einer Koordinierung und Verkehrsbelastung bzw. Größe der LSA näherungsweise berechnet und mit Einzelfallbetrachtungen abgeglichen.

- Die Gesamtverlustzeiten des ÖPNV an LSA wurde überschlägisch zu 113,78 h/d ermittelt.
- Das Optimierungspotenzial für diese Busse durch verbesserte LSA-Steuerungen wurde zu **15,94h/d** abgeschätzt (-14 %).

Eingangsgrößen für die Berechnungen waren Anzahl der Busfahrten, Grad der Busbeschleunigung, Wirkungsgrad im Zuge einer Koordinierung und Verkehrsbelastung/Größe der LSA. Die einzelnen Steuerungslogiken wurden nicht betrachtet.

Eine Verringerung der Verlustzeiten für den ÖPNV an LSA ist möglich durch:

- Feinplanung der Lichtsignalsteuerung unter Berücksichtigung von online-Aufenthaltszeiten an den Haltestellen.
- Die Anlage von Busspuren ggf. im Zusammenhang mit Pfortneranlagen (hier nicht näher untersucht).

- Ergänzung/ Erneuerung der LSA-Hardware je nach vorhandenem Steuergerätetyp (die vorhandene Technik ist nicht auf die aktuellen Verkehrsverhältnisse optimiert).
- Laufende, teils automatisierte Überprüfung der ÖPNV-Eingriffe am Verkehrsrechner.
- Laufende Beseitigung von Fehlerquellen bei der Funktelegrammverarbeitung.

Zunächst wurde das Verlustzeit-Reduktionspotenzial für den ÖPNV an jeder LSA ermittelt. Für die effektive Umsetzung einer optimierten Busbeschleunigung wurden die 105 LSA anschließend in ein Ranking gebracht und in drei Maßnahmenpakete eingeteilt:

- Paket 1 (4 rot markierte LSA): Reduktionspotenzial 3,26h/d.
- Paket 2 (19 orange markierte LSA): Reduktionspotenzial 6,10h/d.
- Paket 3 (82 unmarkierte LSA): Reduktionspotenzial 6,58h/d.

Jeweils 34% davon entfallen auf Erdgasbusse, 66% auf Dieselfbusse.

Zusätzlich zur Verringerung der Verlustzeiten für den ÖPNV ist eine Verstetigung des Verkehrsflusses für den MIV zu erwarten. Dies kann durch teilnetzweite Anpassung der Umlaufzeiten und durch Aktualisierung von Versatzeiten insbesondere von bedingt verträglichen Fußgängern erreicht werden. Hierzu wurden beispielhaft Berechnungen an verschiedenen LSA durchgeführt und differenziert auf das betroffene Netz übertragen.

- Das mit einer Optimierung der ÖPNV-Beschleunigung einhergehende Verlustzeit-Reduktionspotenzial für den MIV infolge einer Verstetigung des Verkehrsflusses wird zu **251h/d** abgeschätzt (15-fache des ÖPNV).

In den Zielen ist bereits der Aspekt der Pünktlichkeit benannt, das gleich in doppelter Hinsicht Wirkung zeigen wird:

- Die Umläufe für das VU werden mit hoher Zuverlässigkeit eingehalten, wodurch weniger Fahrzeuge vorgehalten werden müssen. Dies entspricht einem deutlichen Kostenvorteil im Betrieb.
- Eine merkliche Verbesserung der Pünktlichkeit resultiert in funktionierenden Anschlüssen. Dadurch können zusätzliche Umsteiger vom MIV gewonnen werden, die jetzt auch Reiseketten (mit Umstiegen) akzeptieren, denen sie zuvor nicht vertraut haben.
- Für die Emissionsberechnung wurde hier eine wahrgenommene Vertrauenssteigerung von 20 Prozentpunkten von Seiten der Fahrgäste zugrunde gelegt. Auf dieser Basis wurde mittels der standardisierten Bewertung eine Mehrverkehrsquote ermittelt und zu einem gewissen Anteil in Umsteiger des MIV umgerechnet. Dadurch ergeben sich weitere Emissionsminderungspotentiale durch die LSA-Beschleunigung

Bei Umsetzung der angeführten Maßnahmen ist mit folgenden Einsparungen von NO₂-Emissionen zu rechnen:

- kurzfristig (bis Ende 2019): 121,1 kg/a bzw. 3,6 t akkumuliert über 30 Jahre
- mittelfristig (bis Ende 2023): 226,7 kg/a bzw. 6,8 t akkumuliert über 30 Jahre
- langfristig (bis Ende 2030): 244,5 kg/a bzw. 7,3 t akkumuliert über 30 Jahre

Weitere Wirkungen der angeführten Maßnahmen sind:

- Erhöhung der Verkehrssicherheit im Kfz-Verkehr durch homogenen Fluss
- Erhöhung der Verkehrssicherheit für Fußgänger
- Reduzierung der Emissionen auch für den MIV durch Verstetigung des Verkehrsflusses
- Beitrag zur Pünktlichkeit bei Angebotsverbesserungen der Stadtbuslinien (AP4)
- Verminderung des ermittelten NO₂-Einsparungspotenzials durch erhöhten Einsatz von Erdgasbussen (AP5)

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzungen sind eine Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung, der Bereitschaft betroffener Bus-Betreibergesellschaften, der zuständigen Fachabteilungen aus den beteiligten städtischen Ämtern (ggf. auch Hessen Mobil) sowie die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel.

Technische Realisierungsvoraussetzungen sind eine detaillierte Bestandsaufnahme der vorhandenen Hardware vor Ort sowie Sichtung der Steuerungslogiken an den Einzelanlagen.

Das Konzept zur Umsetzung einer optimierten Busbeschleunigung gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- Einholen und Sichten der Bestandsunterlagen zu den LSA (Hard- und Software)
- Klären der Schnittstelle zum städtischen Verkehrsrechner
- Paketweise Überplanung der Lichtsignalsteuerungen unter Beachtung der Randbedingungen (Grad der ÖPNV-Beschleunigung, Koordinierung, Haltestellen, Fußgänger/ Radfahrer/ mobilitätseingeschränkte Menschen)
- Ermitteln der erforderlichen Hardware-Veränderungen an den LSA
- Kostenberechnung
- Ausschreibung/ Preisanfrage bei den Signalbaufirmen
- Vergabe
- Umsetzung der überplanten Signalsteuerungen vor Ort

- Laufende Kontrolle der Steuerung insbesondere für den ÖPNV über den Verkehrsrechner
- ggf. Nachjustierungen der LSA-Steuerungsparameter

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Kosten für die Maßnahme wurden grob geschätzt und sind im Folgenden zusammen mit der ermittelten Effizienz der jeweiligen Maßnahmenpakete angegeben:

- 2.752 T€ (gesamt)
- 120 T€ (Paket 1) Effizienz: 30,3 [g/€]
- 585 T€ (Paket 2) Effizienz: 11,6 [g/€]
- 2.047 T€ (Paket 3) Effizienz: 3,6 [g/€]

Dabei ist anzumerken, dass viele LSA im Stadtgebiet von Gießen generell erneuert werden müssen. Das Einspielen von neuen Steuerungslogiken z.B. zur Busbeschleunigung ist technisch oft gar nicht möglich, weil die Steuergeräte veraltet sind und die dort verwendete Programmiersprache vom Hersteller nicht mehr supportet wird. Die hier geschätzten Kosten enthalten daher größtenteils HW-Kosten für den Austausch der veralteten Komponenten. Folgerichtig profitieren von diesen Erneuerungen auch andere Vorhaben und Nutzergruppen (z. B. Radverkehr, Fußgänger und MIV). Dementsprechend sind auch die Kosten auf diese Anwendungsbereiche anzurechnen und können nicht ausschließlich einer Maßnahme in Rechnung gestellt werden.

Kosten für eine Aufrüstung von Bussen ohne Bordrechner sind darin nicht enthalten. Mit der Kostenschätzung wurde die Effizienz für jedes Paket ebenfalls ermittelt und in obiger Auflistung zusammen mit den Kosten angegeben. Für die Interpretation der erzielten Werte ist zu beachten, dass insbesondere die LSA-Beschleunigung positive Wirkungen für den gesamten Umweltverbund entfalten kann. Der Zeitrahmen zur Umsetzung der gesamten Maßnahme beträgt 144 Monate. Für die einzelnen Arbeitspakete sind folgende Zeitziele möglich:

- kurzfristig (bis Ende 2019): Überplanung und Umsetzung der wichtigsten 4 LSA (Paket 1)
- mittelfristig (2020 - 2023): Überplanung und Umsetzung der weiteren 19 LSA (Paket 2)
- langfristig (bis Ende 2030): Überplanung und Umsetzung weiterer 82 LSA bzw. ggf. Teile davon (Paket 3)

5.10 AP 10 Ausstattung Busse mit digitalen Fahrgastzählanlagen

Ziel: Basisdatenermittlung zur bedarfsgerechten Stärkung des ÖPNV

Die Fahrgastzahlen einzelner Fahrten, als Datenbasis für die Entwicklung und Überplanung des ÖPNV, werden vollständig ermittelt. Auf dieser Grundlage einzelner Fahrten wird eine Hochrechnung für das gesamte Streckennetz möglich sein.

Beschreibung der Maßnahme

Das Gießener Stadtbussystem weist große Nachfrageschwankungen nicht nur im Tagesverlauf auf, sondern auch von Tag zu Tag auf. Immer wieder kommt es zu Überlastungen, so dass Fahrgäste an Bushaltestellen wegen Überfüllung von Bussen stehen gelassen werden müssen, was insbesondere bei Pendlern dazu führt, dass der ÖPNV auf dem Weg zur Arbeit nicht mehr genutzt wird. Hier sind automatische, digitale Zählanlagen nötig, um Fahrgastströme zukünftig besser erfassen zu können. Durch gezielte Analysen insbesondere der Auslastungsspitzen können vorhandene Busse gezielter eingesetzt werden und auch kurzfristig auf Veränderungen reagiert werden.

Es ist beabsichtigen insgesamt 10 jeweils 3-türige Fahrzeuge mit Fahrgastzählanlagen auszustatten. Um zu einer validen Datengrundlage zu gelangen empfiehlt es sich, zwischen 15% und 20% der gesamten Fahrzeugflotte auszustatten. Da zum Jahresende (2018) 54 Fahrzeuge im Einsatz sein werden, ergeben sich 10 Fahrzeuge, die entsprechend dem Bestand nach Solo- und Gelenkfahrzeugen aufgeteilt werden.

Die eingesetzte Zählsoftware muss auf die Fahrplandaten der MIT.BUS GmbH hin angepasst werden. Dazu müssen auch Daten aus dem vorgelagerten Druckersystem importiert und verwendet werden können. Neben der technischen Ausrüstung der Fahrzeuge und der Implementierung der entsprechenden Software müssen auch die entsprechenden Mitarbeiter im Umgang mit dem neuen System geschult werden.

Folgende Auswertungen der Fahrgastzahlen sollen möglich sein:

- Fahrgastaufkommen pro Fahrt [Durchschnitt; pro Wagenumlauf; pro Tag; pro Tag und Linie; pro Linie; pro Linie und Route; pro Monat und Linie; pro Monat, Linie und Richtung; pro Fzg., pro Fahrt]
- Fahrgastaufkommen pro Halt [pro Tag, pro Linie; pro Monat; pro Gebietskörperschaft; pro Zeitperiode; pro Zeitperiode und Linie]
- Fahrgastaufkommen pro Tür [pro Halt]
- Fahrgastaufkommen je Zeitraster [Aussteiger; Einsteiger; Belegung; Fahrgastwechsel]
- Fahrgastaufkommen je Zeitraster und je Linien und je Halt [Durchschnitt pro Linie, Halt und Richtung; Durchschnitt pro Halt und Richtung; Summe pro Linie, Halt und Richtung; Summe pro Halt und Richtung]

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme für die keine direkte Einsparung von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Die Zuständigkeit für die Implementierung des Fahrgastzählsystems liegt bei der MIT.BUS GmbH. Die Beschaffung wurde bereits während der Bearbeitung des vorliegenden Masterplans begonnen und am 15.06.2018 wurde vom BMVI in Berlin der zugehörige Förderbescheid übergeben. Fachlich und personell leistet die SWG Unterstützung und zur Auswahl eines Anbieters wurden bereits mehrere Vergleichsangebote eingeholt. Da die Maßnahme unterhalb des Schwellenwertes liegt erfolgt keine europaweite Ausschreibung.

Mit Blick auf die technischen Realisierungsvoraussetzungen wurde darauf geachtet, dass die neuen Systemkomponenten mit dem ITCS der MIT.BUS kompatibel sind. Die Beschaffung dieser neuen Systemkomponenten schließt die Leistungen für den Einbau der Zählsensoren für das Fahrgastzählsystem mit ein.

Für diese Maßnahmen sind alle organisatorischen und technischen Realisierungsvoraussetzungen erfüllt.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Kosten für die Maßnahme wurden auf 90.000 € (netto) veranschlagt und der entsprechende Förderbescheid liegt vor.

Die Umsetzung der Maßnahme erfolgt kurzfristig und soll noch in diesem Jahr (2018) abgeschlossen werden. Auf dieser Grundlage kann die erste statistische Auswertung bereits im Laufe des kommenden Jahres erfolgen.

5.11 AP 11 Ausbau digitales Fahrgastinformationssystem an Haltestellen

Ziel: Stärkung des ÖPNV durch Digitalisierung

An den am stärksten frequentierten Haltestellen (Bahnhof, Marktplatz und Berliner Platz) existiert bereits ein digitales Fahrgastinformationssystem, welches sehr gut angenommen wird. Das digitale Fahrgastinformationssystem soll für eine schnelle Abmeldung der Linienbusse ertüchtigt, auf weitere Haltestellen ausgedehnt und innerhalb der Fahrzeuge ergänzt werden.

Darüber hinaus stellt die Bereitstellung von Reisenden-Informationen in Echtzeit einen wichtigen Input für AP1 dar, um Reisende auch über individuelle und personalisierte Dienste gut zu informieren.

Beschreibung der Maßnahme

Die Maßnahme gliedert sich in 3 Teilbereiche:

- Ortsfeste DFI durch große Anzeigen im öffentlichen Raum
- Mobile DFI durch TFT-Anzeigen in den Fahrzeugen der MIT.BUS
- Direkte Kommunikation zwischen ortsfester DFI und den Fahrzeugen

Die ortsfeste dynamische Anzeige der Abfahrtszeiten im öffentlichen Raum, werden alle Passanten auf das existierende ÖPNV-Angebot aufmerksam. Insbesondere bei enger Taktung von Verbindungen wird deutlich, wie leistungsstark der ÖPNV ist. Damit wird die Attraktivität des ÖPNV, für Nutzer des Systems und solche die bisher noch keine sind, deutlich sichtbar gemacht. Zudem wird auch das Umsteigen an Haltestellen mit mehreren Haltepunkten übersichtlicher und damit vereinfacht. Durch ortsfeste DFI sollen etablierte Nutzer gebunden und neue Nutzer für den ÖPNV gewonnen werden. Folgende Haltestellen sollen vorrangig ausgestattet werden:

- Oswaldsgarten (Verknüpfung Schienenverkehr)
- Erdkauter Weg (Verknüpfung Schienenverkehr)
- Friedensstraße (Verknüpfung Schienenverkehr)
- Rathenaustraße
- Liebigstraße
- Südanlage
- Johanneskirche
- Schützenstraße

- Naturwissenschaften
- Landgericht

In den Fahrzeugen werden die Haltestelleninnenanzeigen durch moderne TFT-Monitore ersetzt. Ergänzend zur Anzeige der nächsten Haltestelle wird anhand einer Perlschnur die Linienfolge für die nächsten Haltestellen angezeigt. Neben der Anzeige der nächsten Haltestellen, sollen auch im Zulauf auf Umstiegshaltestellen, die prognostizieren Abfahrtszeiten, der anderen Linien in Echtzeit dargestellt werden. Das ermöglicht ortsunkundigen Fahrgästen sich besser zu orientieren und gibt ein Gefühl der Sicherheit. Dadurch wird wiederum die Attraktivität des ÖPNV gesteigert.

Insbesondere die erstrebten Angebotsverbesserungen (AP4) und die damit einhergehenden geänderten Abfahrts- und Anschlusszeiten müssen an die Fahrgäste und potentielle Neukunden kommuniziert werden. Dafür ist auch der Fortschreibungsprozess des Nahverkehrsplans NVP vorgesehen.

Die direkte Kommunikation zwischen dem ITCS-System der MIT.BUS und dem DFI-Anzeigesystem der Stadt Gießen hat eine deutlich schnellere Ansprechverhalten (wenige Sekunden) im Vergleich zum existierenden Verfahren (Minuten). Dieser Unterschied ist insbesondere für eine schnelle Abmeldung (von der Anzeigetafel) wichtig nachdem der Bus die Haltestelle verlassen hat. Bisher erfolgt der Informationsfluss über die prognostizierten Abfahrtszeiten an den Haltestellen von den Fahrzeugen über das ITCS-System von MIT.BUS zur Datendrehscheibe des RMV und von dort an das DFI-Anzeigesystem der Stadt. Aufgrund des jeweils verzögerten Datenabrufs über den RMV dauert die Übertragung zu lange und kann zu fehlerhaften Anzeigen führen, die den Fahrgast verärgern. Solche Situationen sind möglichst zu vermeiden.

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme für die keine direkte Einsparung von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. Dies bezieht sich nur auf die Teilleistung der ortsfesten DFI und den dort zu implementierenden Kommunikationseinheiten. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die das Tiefbauamt der Stadt Gießen zu erbringen. Die Projekte sind in die Fortschreibung des Nahverkehrsplans aufzunehmen.

Aufgrund der Vielzahl an Fördermöglichkeiten sowie der recht schwer zu durchschauenden Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Förderprogramme, sollte kurz vor Fertigstellung die Planungs- und Antragsunterlagen mit dem Förderlotsen abgestimmt werden. Die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel und ggf. der notwendigen Eigenanteile der Stadt Gießen sind auf politischer Ebene zu entscheiden.

Die Zuständigkeit für die Implementierung einer dynamischen Fahrgastinformation mittels moderner TFT-Monitore in den Fahrzeugen liegt bei der MIT.BUS GmbH. Für die Auswahl eines Anbieters wurden bereits mehrere Vergleichsangebote eingeholt. Da die Maßnahme unterhalb des Schwellenwertes liegt erfolgt keine europaweite Ausschreibung.

Als technische Realisierungsvoraussetzungen ist das vorhandene System an ortsfesten DFI herstelleregebunden zu erweitern, um etwaige Parallelstrukturen zu vermeiden. Die mobilen DFI in den Fahrzeugen werden durch die Zentralwerkstatt der SWG in die Fahrzeuge eingerüstet.

Für diese Maßnahmen sind alle organisatorischen und technischen Realisierungsvoraussetzungen erfüllt.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Maßnahme wird kurz bis mittelfristig umgesetzt. Die vorgesehenen Zeitpläne und die damit verbundenen Kosten sind im Folgenden für die 3 Teilbereiche angegeben.

Ortsfeste DFI:

Es ist vorgesehen mit der Planung der Maßnahme in 2019 zu beginnen und den Bau 2022 abzuschließen. Sobald die Finanzierung geklärt ist, wird ein detaillierter Umsetzungszeitplan erarbeitet.

Die Kosten für die ortsfesten DFI belaufen sich auf ca. 450.000 € (brutto)

Mobile TFT-Anzeige:

Es ist vorgesehen mit der Umsetzung der Maßnahme in 2019 zu beginnen und abzuschließen. Sobald die Finanzierung geklärt ist, wird ein detaillierter Umsetzungszeitplan erarbeitet.

Eine grobe Kostenschätzung für die Erstausrüstung aller 54 Omnibusse mit einem bzw. bei Gelenkbussen mit zwei Monitoren, inkl. der benötigten Software und Einbaukosten ergibt einen Betrag von ca. 309.000 € (netto)

Direkte Kommunikation zwischen ortsfester DFI und Fahrzeug:

Es ist vorgesehen mit der Umsetzung der Maßnahme in 2018 zu beginnen und abzuschließen. Sobald die Finanzierung geklärt ist, wird ein detaillierter Umsetzungszeitplan erarbeitet. Die Kosten werden zwischen der Stadt Gießen und MIT.BUS wie folgt aufgeteilt:

- Kosten in Höhe von 14.592 € (netto) für die Ausstattung der Fahrzeuge, sowie jährliche Wartungskosten in Höhe von 1.536 € (netto) (getragen durch MIT.BUS)
- Kosten in Höhe von 15.232 € (brutto) für die Ausstattung der ortsfesten DFI (getragen durch die Stadt Gießen)

5.12 AP 12 Schaffung von digitalen Zählstellen für den Radverkehr

Ziel: Stärkung des Radverkehrs

Es fehlen Daten, um ein regelmäßiges Monitoring von Maßnahmen insbesondere zur Radverkehrsförderung zu betreiben. Aus diesem Grund sollen im Stadtgebiet auf zentralen Radrouten automatische Zählstellen geschaffen werden, um den Radverkehr und ggf. auch andere Fahrzeuge zu erfassen.

Beschreibung der Maßnahme

Die kontinuierliche Erhöhung des Radverkehrsanteils in Gießen soll in den nächsten Jahren aktiv durch den Ausbau und die Erweiterung eines sicheren, leistungsfähigen und durchgängigen Radverkehrsnetzes erhöht werden. Für eine effektive und zielgerichtete Planung und Entwicklung werden verlässliche Verkehrsbelastungszahlen als Grundlage benötigt. Informationen liegen hier nur vereinzelt in Form von Zählungen über kürzere Zeiträume vor. Diese Kurzzeiterhebungen können allerdings jahreszeitliche oder witterungsbedingte Schwankungen nicht oder nur unzureichend dokumentieren, wodurch die Ergebnisse die tatsächliche Situation verzerren oder nur ungenau wiedergeben können. Zusammenhängende und kontinuierliche Informationen zu den Verkehrsbelastungen im Radnetz liegen somit nicht vor, wodurch auch langfristige Entwicklungen oder Spitzenbelastungen nicht dokumentiert werden können.

Um eine solche Datengrundlage für die weiteren Planungen zu ermitteln, sollen an systemrelevanten Punkten kontinuierlich Radverkehrsbelastungszahlen ermittelt werden. Hierbei sind aktuell 26 Zählstellen vorgesehen. Die Lage dieser Zählstellen ist in der **Anlage 12.1** abgebildet. Dabei ist der Dauerbetrieb über mehrere Jahre nur an ausgewählten Zählpunkten angedacht. Andere Zähleinheiten sollen nach Bedarf umgesetzt werden.

Für die Umsetzung wurden bereits zwei Erfassungseinheiten beschafft, die kompatibel zu den vorhandenen Geräten für die Kurzzeiterhebungen sind. Eine Erfassungseinheit kann dabei nur den Verkehr in eine Fahrtrichtung ermitteln. Die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse soll über das vom Hersteller angebotene Auswertetool erfolgen. Der weitere Ausbau des Systems soll auch über den Anbieter der bereits angeschafften Geräte erfolgen. Die Definition von Mindestanforderungen und den notwendigen Schnittstellen sind somit schon erfolgt.

In das aufzubauende Verkehrsbelastungsnetz für den Radverkehr können auch die Belastungen von Kurzzeiterhebungen integriert werden. Durch Vergleiche mit Dauerzählstellen können diese ermittelten Belastungszahlen gewichtet und in einen größeren Zusammenhang gebracht werden, wodurch sich die quantitativen Aussagen deutlich verbessern lassen. Neben der Ermittlung von Langzeitwirkungen sollen auch die Auswirkungen von kürzeren Veränderungen (z.B. im Straßennetz durch Baustellen) beobachtet und bewertet werden. Hierdurch sind Aussagen zum Verkehrsverhalten möglich, aus denen sich für zukünftige Planungen ebenfalls Rückschlüsse ziehen lassen.

In wie fern Daten aus Lichtsignalanlagen in dieses Modell integriert werden können, ist noch zu überprüfen. Die Anzeige von Belastungszahlen im öffentlichen Straßenraum ist denkbar.

Durch die Erfassung der Radverkehrsbelastungen sind keine direkten Veränderungen im Verkehrsverhalten zu erwarten. Vielmehr ergeben sich aus diesen Grundlagendaten genauere Informationen zum Verhalten der Radfahrer. Hierdurch können die zukünftigen Planungen besser auf die Anforderungen der Nutzer optimiert werden, wodurch auch die eingesetzten finanziellen Mittel effektiver genutzt werden können. Mit den dann vorhandenen Belastungszahlen können die geplanten Maßnahmen zudem in der politischen Diskussion besser begründet werden.

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme für die keine direkte Einsparung von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung zu erbringen.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Für die Beschaffung einer Erhebungseinheit, die eine Fahrtrichtung erfassen kann, ist mit Anschaffungskosten von 5.000,- € zu kalkulieren. Die geplante zeitliche Anschaffung der weiteren Geräte ergibt sich wie folgt:

- kurzfristig (bis Ende 2019): 6 zusätzlichen Erfassungseinheiten für 30 T€
- mittelfristig (bis Ende 2023): 12 zusätzlichen Erfassungseinheiten für 60 T€
- langfristig (bis Ende 2030): 8 zusätzlichen Erfassungseinheiten für 40 T€

5.13 AP 13 Digitales Fahrradverleihsystem

Ziel: Stärkung des Radverkehrs; Vernetzung

Die Universitätsstadt Gießen soll zur fahrradfreundlichen Stadt ausgebaut werden. Der hohe Anteil an Studenten (ca. 37.000) und Schülern (ca. 17.000) bezogen auf die Einwohnerzahl von Gießen (ca. 85.000)⁴ begünstigt dieses Ziel, da diese Gruppen ihre Mobilitätsgewohnheiten gerade erst entwickeln.

Beschreibung der Maßnahme

Justus-Liebig-Universität (JLU) und die Technische Hochschule Mittelhessen (THM) haben die Firma nextbike mit dem Aufbau eines Fahrradverleihsystems in Gießen in folgendem Umfang beauftragt:

- 300 Fahrräder für die JLU
- 60 Fahrräder für die THM

Das Fahrradverleihsystem ist seit dem 1. April 2017 in Betrieb und an feste Stationen gebunden, an denen die Räder entliehen bzw. wieder zurückgegeben werden können. Derzeit existiert eine Station am Bahnhof für JLU als auch THM. Alle anderen Stationen sind über die jeweiligen Hochschulstandorte verteilt. Vor diesem Hintergrund wäre eine Erweiterung um zusätzliche Stationen im Stadtgebiet zu begrüßen. Einzelne mögliche Standorte stehen derzeit nicht in der Diskussion, aber allgemein sind hier folgende Überlegungen zielführend:

- Standorte in der Fußgängerzone (hier hat der MIV keinen freien Zugang oder muss das Parken ggf. bezahlen)
- Standorte am Übergang zum SPNV (neben dem Bahnhof sind hier die Haltepunkte in Gießen zu nennen, aber auch zentrale ÖPNV-Knoten, wie z.B. Marktplatz oder Berliner Platz)
- Standorte in Stadtrandlage mit P&R Möglichkeit an den großen Einfallstraßen, um Einpendlern aus dem Umland den Umstieg auf den Umweltverbund anzubieten
- Standorte an Schulen, für Schüler und Lehrpersonal. Viele Schulen verfügen ohnehin über Fahrradabstellanlagen die zukünftig noch auszubauen sind.

Die Nutzungsbedingungen wurden recht einfach gehalten, setzten aber eine Registrierung der Nutzer voraus. Ist dieses (kleine) Zugangshemmnis überwunden gelten folgende Regeln:

- Für Studierende ist die Nutzung in den ersten 30 min. kostenlos. Danach gilt ein Nutzungstarif von 1 € / 30 min.

⁴ Bei den genannten Zahlen ist zu beachten, dass mehr als die Hälfte der Schüler und Studenten nach Gießen einpendeln.

- Für alle anderen Nutzer gilt ebenfalls der Nutzungstarif von 1 € / 30 min. (Gegen eine Jahrespauschale von 48 €, bekommen auch Nicht-Studierende ein Freikontingent für die ersten 30 min.)

Durch die Registrierung und die Erfassung aller Ausleihvorgänge an festen Stationen können aussagekräftige Nutzungsstatistiken abgeleitet werden. Diese bilden eine gute Datengrundlage für die Bemessung der Verkehrsleistung und sind somit ein genaues Maß für die möglichen Emissionsminderungspotentiale und bilden einen nützlichen Input für AP 1. Der Anteil von Umsteigern aus dem MIV bzw. dem ÖPNV muss nach wie vor abgeschätzt werden.

Die Stadt Gießen begleitet und begutachtet das Fahrradverleihsystem, es kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden, ob und in welchem Umfang sich die Stadt Gießen beteiligen wird. Gemäß aktueller Sachlage wird eine Erweiterung mit neuen Stationen im Stadtgebiet und beim gleichen Systemanbieter in Erwägung gezogen.

Es wird angestrebt nur einen Betreiber im Stadtgebiet zu haben, um die Zugangsbarrieren zu diesem neuen Mobilitätsdienst so gering wie möglich zu halten. Für dieses Vorgehen gibt es Pro und Contra:

- Pro – Ein System bedeutet hohe Nutzerfreundlichkeit durch immer gleiche Zugangsverfahren, viele Stationen mit gutem Befüllungsstand an Fahrrädern.
- Contra – die Marktkräfte des Wettbewerbs für ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis werden bewusst nicht genutzt. Das kann zu unerwünschten Nebenwirkungen eines Monopolanbieters führen.

Dem Contra-Argument wurde bereits durch ein wettbewerbsorientiertes Vergabeverfahren Rechnung getragen. Der Zuschlag wurde dem wirtschaftlichsten Angebot erteilt und für die Laufzeit gilt eine Preisbindung. Allgemein wird in dem Spannungsfeld von Pro und Contra vorgeschlagen zunächst die potentielle Nutzergruppe zu einer attraktiven Zielgruppe wachsen zu lassen (mit 1 Anbieter). Ist dieses Ziel erreicht, steht einer Freigabe für den Wettbewerb nichts im Wege. Dabei können mögliche Zugangsbarrieren, durch standardisierte Prozesse, Schnittstellen und Vorgaben in ihren negativen Auswirkungen minimiert werden.

Im Falle einer Ergänzung des Fahrradverleihsystems durch die Stadt Gießen lassen sich die zusätzlichen Emissions-Reduktionen aus den dann vorliegenden Nutzungsdaten von JLU und THM zuverlässig ermitteln.

Die Steigerung der zu erwartenden Radverkehrsleistung wurde anhand der vorliegenden Informationen von JLU und THM prognostiziert. Diese erwarteten Nutzungszahlen werden durch Umstieg aus folgenden Verkehrsmitteln gespeist:

- 40% MIV
- 28% ÖPNV (MIT.BUS mit Erdgasbussen)
- 12% ÖPNV (andere VUs die im Stadtbereich Gießen agieren mit Dieselmotoren)
- 10% Fußgänger

- 10% Anteil an neuer Mobilität

Durch die bereits erfolgte Umsetzung der angeführten Maßnahmen ist mit zusätzlichen Einsparungen von **26,2 kg/a** an NO₂-Emissionen zu rechnen. Die Attraktivität dieser Maßnahme wird durch AP3 beeinflusst. Die Verfügbarkeit eines leistungsfähigen Radwegenetzes im Stadtgebiet wird sich positiv auf die Nutzungsintensität im etablierten Fahrradverleihsystem auswirken.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Organisatorische Realisierungsvoraussetzung ist ggf. die notwendige Abstimmung im Magistrat bzw. Stadtverordnetenversammlung. In der Vorbereitung sind die nötigen Planungsgrundlagen durch die zuständigen Fachabteilungen in der Stadtverwaltung zu erbringen. Während in den Fachabteilungen die inhaltliche Ausarbeitung unter Berücksichtigung verwaltungstechnischer und rechtlicher Rahmenbedingungen sowie möglicher Fördermittel erfolgt, ist auf politischer Ebene über die Freigabe der erforderlichen Finanzmittel und ggf. der notwendigen Eigenanteile der Universitätsstadt Gießen zu entscheiden.

Darüber hinaus sind JLU und THM in den Abstimmungsprozess miteinzubeziehen. Die beiden Institutionen haben im 2. Quartal 2018 ein Fahrradverleihsystem gestartet und geben sowohl organisatorische als auch technische Erfahrungen gerne weiter.

In Bezug auf die technischen Realisierungsmöglichkeiten ist die Stadt Gießen frei, um sich ggf. an dem Fahrradverleihsystem zu beteiligen und es durch zusätzliche Fahrräder und neue Stationen im Stadtgebiet gezielt zu ergänzen.

In dieser Hinsicht wird aus heutiger Sicht empfohlen eine systemgebundene Erweiterung anzustreben. Für die Attraktivität dieses Mobilitätsangebotes ist zunächst ein einheitliches System über das gesamte Stadtgebiet von großer Bedeutung. Der Betrieb mehrerer Systeme die im Wettbewerb zueinander agieren können leicht in Zugangshindernissen für potentielle Nutzer resultieren. Mögliche Vorteile eines Marktes von und für Wettbewerber werden zunächst im Rahmen von entsprechenden Vergabeverfahren erschlossen. Darüber hinaus ist ein dynamischer Wettbewerb zwischen mehreren Anbietern erst empfohlen, wenn die Nutzungsintensität in dieser Sparte ein Mindestmaß erreicht hat.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Stadt Gießen begleitet und begutachtet das Fahrradverleihsystem von JLU und THM. Es kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden, ob und in welchem Umfang sich die Stadt Gießen beteiligen wird.

5.14 AP 14 Einführung von digitalem Handyparken

Ziel: Verkürzung von PKW-Parkzeiten

Beschreibung der Maßnahme

Einführung von digitalem Handyparken (digitale Parkraumbewirtschaftung) im öffentlichen Straßenraum (Innenstadt, ohne Klinikgelände) in den derzeitigen Gebührenzonen (ca. 1.415 Stellplätze, s. Übersicht): vereinfachtes Bezahlssystem ("smart-parking")

Es handelt sich hier um eine „sekundäre“ Maßnahme, für die keine direkte Einsparung von NO₂ berechnet werden kann.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Die Stellplätze bzw. die Parkzonen sind zu kennzeichnen und zu beschildern. Die Öffentlichkeit bzw. die Autobenutzer sind zu informieren. Schnittstellen mit den Eurowig-Geräten (Verwarngeldstelle) sind vorhanden.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Einführung des digitalen Handyparkens ist bis 2020 geplant. Als spätere Erweiterungsoption bis ca. 2025 ist ein "Parkraummonitoring" mit der Darstellung freier Stellplätze vorgesehen. Dazu müsste noch eine besondere Überwachung z.B. mit Sensoren installiert werden.

Durch die Kooperation mit dem IVM verursacht die Einrichtung des "smartparking" keine Kosten. Schnittstellen mit den Eurowig-Geräten (Verwarngeldstelle) sind vorhanden. Die Kosten für die App werden auf die Nutzer umgelegt.

5.15 AP 15 Prüfung/Einrichtung von Mikro-Depots

Ziel: Urbane Logistik; Reduzierung des motorisierten Wirtschaftsverkehrs

Der steigende Anteil von Warenlieferungen im Endkundengeschäft (Versandhandel) schafft zunehmend verkehrliche Probleme in den Innenstädten. Paket-Mikrodepots können ein Ansatz sein, die Zustellung nachhaltiger zu gestalten. Es handelt sich hierbei um Container, abgestellte Nutzfahrzeuge oder geeignete Immobilien, von denen aus Lastenfahräder oder fußläufige Transporthilfen bestückt werden. Von hier aus liefern die Zusteller die Pakete zu den Adressaten aus ("Allerletzte Meile").

Hauptziel der Einrichtung von Paket-Mikrodepots ist die Reduzierung des motorisierten Wirtschaftsverkehrs. Im Gebiet der Universitätsstadt Gießen sind im Wesentlichen die Logistikunternehmen DHL, DPD, GLS, Hermes und UPS aktiv.

Unterziele sind:

- Reduzierung von Behinderungen im fließenden Verkehr
- Verringerung der Anzahl von Auslieferungsfahrten

Beschreibung der Maßnahme

Im Stadtgebiet werden derzeit rund 12.000 Pakete/Tag ausgeliefert, eine jährliche Steigerungsrate von 5-6% wird erwartet (Bundesverband Paket und Expresslogistik BIEK). Zu unterscheiden sind:

- Paket-Mikrodepots (zur Paketauslieferung sowie temporäre Rücklage, falls Empfänger nicht erreichbar)
- Brief-Mikrodepots (für Briefe und Kleinpakete)
- Paketstationen (zur Zwischenlagerung bis neuem Zustellversuch)
- Packstationen (zur Selbstabholung, falls Empfänger nicht erreichbar)

Aktuell sind im Stadtgebiet einige wenige Paket- und Packstationen sowie mehrere Brief-Mikrodepots, jedoch keine Paket-Mikrodepots vorhanden. Bisher gibt es deshalb auch keine Auslieferung von Paketen auf der "allerletzten Meile" mit Lastenfahrrädern. Die Paketauslieferung im Stadtbereich erfolgt derzeit:

- ca. 250 Pakete/Fz/d (d.h. insgesamt ca. 50Fz/d)
- im Stadtbereich durchschnittlich 40km/Fz/d (d.h. insgesamt ca. 2.000km/d bzw. rund 600.000km/a)

Die Realisierung von Paket-Mikrodepots ist problembehaftet:

- Die Logistiker definieren "Paket" unterschiedlich (z.B. <70kg, <31kg, Kleinpaket <2kg und Maximalgröße 60x30x15cm).

- Derzeit findet im Zuge der Digitalisierung ein Wandel statt weg vom "Mikrodepotdenken" hin zum "Fahrzeugbetrieb". In Postverteilzentren werden Pakete haushaltsscharf vorsortiert, wodurch die Auslieferungsfahrzeuge stets voll bestückt sind und jedesmal zeitoptimierte Routen fahren. Paket-Mikrodepots sind vor diesem Hintergrund für Logistiker betriebswirtschaftlich immer weniger interessant.
- Eine gemeinsame Nutzung von Depots durch verschiedene Logistiker ist wegen verschiedener Vertriebsmodelle, Bestückungsreihenfolge, Compliance und Haftungsfragen nicht absehbar.
- Mikrodepots beanspruchen Flächen zum Aufstellen und zum Anfahren. Wechselbrückencontainer sind daher im Stadtgebiet Gießen ungeeignet.
- Lastenfahrräder (Zustellradius 300-1000m, abnehmbare im Mikrodepot gelagerten Boxen, Nutzlast <350kg, 2m³) bedürfen geeigneter Wege, der Organisation eines Radservice für Schadensfälle sowie einer diebstahlsicheren Aufbewahrung.
- Fußläufige Transporthilfen (Sackkarre, Zustellradius <300m) benötigen weitgehend barrierefreie Zulieferungswege.
- Vereinzelt ist nur eine direkte persönliche Zustellung erlaubt. Die Wirtschaftlichkeit dieses Service hängt von der Zwischenlagerung und der Anzahl an Zustellversuchen ab.
- Die Logistiker sind verschiedenartig spezialisiert, z.B. auf Briefpost, auf Paketdienst für Privathaushalte, auf Paketdienst für Geschäfte (und liefern auch nicht alle zu den gleichen Uhrzeiten aus).
- Auslieferungsfahrzeuge behindert oft den fließenden Verkehr und dürfen dann ordnungsamtlich belangt werden.
- Weder können ausreichend viele Ladezonen geschaffen werden, um die Häufigkeit von Behinderungen im fließenden Verkehr entscheidend zu verringern, noch ist eine wirtschaftliche Überwachung der Ladezonen gegen Falschparken möglich.
- Die Logistiker setzen schon heute überwiegend E-, Gas- oder Hybrid-Fahrzeuge ein, so dass hier kaum eine Reduktion von NO₂ gegeben ist.

Unter Abwägung des möglichen Nutzens und der damit verbundenen Problemlage erscheint die Einrichtung von Paket-Mikrodepots derzeit hier keine geeignete Maßnahme, um den motorisierten Wirtschaftsverkehr zu verringern.

Hingegen ist seitens der Logistiker eine Netzverdichtung von Packstationen und Brief-Mikrodepots vorgesehen. (Packstationen müssen von den Kunden angefahren werden, diese nutzen im Gegensatz zu den Logistikern jedoch überwiegend Diesel/ Benzin).

Die vorliegende Maßnahme ist zwar einerseits als Ansatz für eine „primäre Veränderung“ gesehen worden. Die Untersuchungen zeigen aber, dass Realisierungsoptionen einer hohen Dynamik unterliegen und nur unter besonderen (aber unwahrscheinlichen) Szenarien Einspareffekte zu erzielen sind. Mit diesen Rahmenbedingungen macht eine Berechnung

hypothetischer Emissionsminderungspotentiale zum jetzigen Zeitpunkt keinen Sinn und muss im konkreten Realisierungsfall ggf. neu ermittelt werden.

Realisierungsvoraussetzungen und Konzept zur Umsetzung

Dennoch ist in einem Fall die Einrichtung von drei Paket-Mikrodepots von Stadt und Logistiker gewünscht:

- Standort: Fußgänger-Zone (Aufstellen eines Kleincontainers, ca. 20m³)
- Standort: Uni-Campus (Anmietung vorhandener Raum/ Garage)
- Standort: Klinikum (Anmietung vorhandener Raum/ Garage)

Hierzu sind kurzfristig entsprechende Abstimmungen zwischen Stadtverwaltung (Ordnungsbehörde, Tiefbauamt) und Logistiker vorgesehen.

Kosten und Zeitplan der Umsetzung

Die Kosten für die Maßnahme wurden grob geschätzt zu:

- 5 T€ (Kleincontainer)
- 6 T€ jährlich (Anmieten von 2 Räumlichkeiten)

Kosten für Anmietung/ Lastenfahrräder/ Sackkarren trägt der Logistiker.

Der Zeitrahmen zur Umsetzung der Maßnahme beträgt 18 Monate. Sie kann kurzfristig (bis Ende 2019) umgesetzt werden.

6 Wirkungsermittlung

Die Wirkungsermittlung für die Maßnahmen in diesem Masterplan ist grundsätzlich eine Vorhersage für die zukünftige Entwicklung. Dazu müssen eine Reihe von Annahmen getroffen werden, unter denen die verfügbaren und vervollständigten Daten extrapoliert werden. Enthaltene Ungenauigkeiten sind demzufolge nicht auszuschließen, werden aber nach bestem Wissen und Gewissen, in ihren Auswirkungen so gering wie möglich gehalten.

Im Sinne einer konservativen (vorsichtigen) Abschätzung der zu erwartenden Emissionsminderungspotentiale wird für die meisten Verkehrsmittel für den untersuchten Zeithorizont eine konstante Verkehrsleistung angenommen. Einzige Ausnahme ist der Radverkehr, der bereits seit 2000 ein stetiges Wachstum zeigt, das seit 2010 durch einen starken Trend hin zu Elektrofahrrädern noch verstärkt wird. Für dieses Verkehrsmittel wurde eine moderate jährliche Steigerung in die Berechnungen mit einbezogen.

6.1 Berechnung der durch Verbesserungen im ÖPNV-Angebot eingesparten MIV-Wege

Für die Berechnung der eingesparten MIV-Wege gibt es kein festgelegtes Verfahren. Daher wird diese mit Hilfe der Formulare aus der „Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs“ durchgeführt.

Die „Standardisierte Bewertung“ ist ein Verfahren zur gesamtwirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Untersuchung von ÖPNV-Projekten in Deutschland. Im Rahmen dieser Untersuchung kann das Verfahren jedoch nicht vollständig durchgeführt werden, da zum einen nicht alle notwendigen Daten zur Verfügung stehen und zum anderen eine solche Untersuchungstiefe auch nicht notwendig ist. Daher wird das „Vereinfachte Projektdossierverfahren“ angewendet, in dem an einem fiktiven Beispiel der Ausbau einer Bahnstrecke untersucht und bewertet wird.

Ein Teil dieses Projektdossierverfahrens ist die Abschätzung des Erwartungswertes für die Mehrverkehrsquote, das gut an unsere Fragestellung adaptiert werden kann. Darin wird anhand der folgenden Merkmale unter der Annahme von Nachfrageelastizitäten eine Mehrverkehrsquote abgeschätzt:

- Mehrverkehrsquote aus der relevanten Einzelreisezeitänderung.
- Mehrverkehrsquote aus der Änderung der Bedienungshäufigkeiten.
- Mehrverkehrsquote aus der Änderung der durchschnittlichen Umsteigehäufigkeit.

Die Änderung der Reisezeit, der Bedienungshäufigkeiten und der Umsteigehäufigkeit wurden getrennt für jede Teilmaßnahme ermittelt und damit die Mehrverkehrsquote berechnet. Unter Zugrundelegung der aktuellen Fahrgastzahlen konnten dann die zusätzlichen Fahrgäste ermittelt werden, die aufgrund der Angebotsverbesserungen den ÖPNV nutzen. Um auf die eingesparten MIV-km zu kommen, ist zunächst abzuschätzen, welcher Anteil der zusätzlichen ÖPNV-Nutzer vorher den Pkw benutzt hat. Dieser Wert wurde im Rahmen dieser Untersuchung mit 50 % festgelegt. Abschließend konnten unter der Annahme einer mittleren Reiseweite von 5 km die eingesparten MIV-km ermittelt werden.

6.2 Berechnung der eingesparten Emissionen

Die Methodik zur Berechnung der resultierenden Wirkungen für die in Kapitel 5 beschriebenen Maßnahmen werden hier vorgestellt. Dabei reduzieren sich die Ausführungen nur auf die notwendigen Elemente für die jeweils eingesetzte Berechnungsvorschrift. Für eine ausführliche Abhandlung dieses wissenschaftlichen Themas wird auf die Referenzen [4] und [5] verwiesen.

Gemäß der Leistungsbeschreibung des Masterplans Gießen erfolgt die Abschätzung der mit den Maßnahmen zu erzielenden Wirkungen durch eine Schätzung der jeweiligen Minderungspotentiale in Bezug auf NO₂-Emissionen. Diese Emissionsminderung wird anhand von Musterrechnungen durchgeführt, sowie ein Zeithorizont für die zu erwartende Wirkungsentfaltung aufgestellt. Für die Durchführung dieser Aufgabe wird soweit möglich auf vorhandene Daten zurückgegriffen, die durch zielgerichtete Annahmen ergänzt werden.

Berechnung von eingesparten MIV-Fahrten:

$$M_{PKW} = n_{PKW} \cdot S_{PKW} \cdot \varepsilon_{S,PKW}$$

Berechnung von eingesparten ÖPNV-Fahrten:

$$M_{BUS} = VL_{BUS} \cdot \varepsilon_{P,BUS} \quad \text{mit} \quad VL_{BUS} = VL_{PKW} = N_{PKW} \cdot n_{PKW} \cdot S_{PKW}$$

Die Ergebnisse für mögliche NO₂-Einsparungen werden jeweils als:

- NO₂-Menge pro Jahr (Indikator für Immissionen) und
- NO₂-Menge über die Nutzungsdauer (Indikator für Effizienz der Investition)

angegeben.

Tab. 6: Liste der Variablen zur Emissionsberechnung

Variable	Beschreibung	Einheit
M_{PKW}	Menge der Emissionen durch MIV-Fahrzeuge	[g], [kg] oder [t]
n_{PKW}	Anzahl der MIV-Fahrzeuge	[]
S_{PKW}	Strecke des MIV-Fahrzeugs	[km]
VL_{PKW}	Verkehrsleistung des MIV-Fahrzeugs	$\left[\frac{P \cdot km}{d}\right]$
$\varepsilon_{S,PKW}$	Streckenbezogene NO ₂ -Emissionen des MIV-Fahrzeugs	$\left[\frac{g}{Fz \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{P,PKW}$	Leistungsbezogene NO ₂ -Emissionen des MIV-Fahrzeugs	$\left[\frac{g}{P \cdot km}\right]$
M_{BUS}	Menge der Emissionen durch ÖPNV-Fahrzeuge	[g], [kg] oder [t]
n_{BUS}	Anzahl der ÖPNV-Fahrzeuge	[]
S_{BUS}	Strecke des ÖPNV-Fahrzeugs	[km]
VL_{BUS}	Verkehrsleistung des ÖPNV-Fahrzeugs	$\left[\frac{P \cdot km}{d}\right]$
$\varepsilon_{S,BUS}$	Streckenbezogene NO ₂ -Emissionen des ÖPNV-Fahrzeugs	$\left[\frac{g}{Fz \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{P,BUS}$	Leistungsbezogene NO ₂ -Emissionen des ÖPNV-Fahrzeugs	$\left[\frac{g}{P \cdot km}\right]$

Für die Emissionskennwerte gibt es verschiedene Angaben aus unterschiedlichen Quellen und mit individueller Zusammensetzung. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Werte des Umweltbundesamtes (UBA) dargestellt. Diese unterscheiden sich z. B. vom HBEFA mit Blick auf die chemischen Abläufe.

Tab. 7: Emissionskennwerte des Umweltbundesamtes (UBA).

Variable	Wert	Einheit
$\varepsilon_{s,Pkw}$	0,53	$\left[\frac{g}{Fzg \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{P,Pkw}$	0,35	$\left[\frac{g}{P \cdot km}\right]$
N_{Pkw}	1,5	$\left[\frac{P}{Fzg}\right]$
$\varepsilon_{s,Dieselbus}$	6,4 (13,32 ⁵)	$\left[\frac{g}{Fzg \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{P,Dieselbus}$	0,32 (0,67 ¹)	$\left[\frac{g}{P \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{s,Erdgasbus}$	0,69	$\left[\frac{g}{Fzg \cdot km}\right]$
$\varepsilon_{P,Erdgasbus}$	0,035	$\left[\frac{g}{P \cdot km}\right]$
N_{Bus}	20	$\left[\frac{P}{Fzg}\right]$

⁵ Gemessene Emission laut BELICON-Gutachten für Linienbus mit Diesel-Euro-III

6.3 Bildung von Maßnahmenschwerpunkten

Die 15 Maßnahmen aus dem Förderantrag 2017 werden zu Maßnahmenschwerpunkten gebündelt, um mögliche Synergien zu erschließen, bzw. wechselseitige Voraussetzungen aufzuzeigen. Zunächst sind die ermittelten Wirkungen für die einzelnen APs in Tab. 8 dargestellt.

Tab. 8: Erzielte Ergebnisse pro Maßnahmenpaket (AP).

AP	Beschreibung	NO ₂ [kg/a]	Effizienz [g/€]	Kosten [€]	Effekt
1	Mobilitätsdaten	-	-	4.760.000	Sekundär
2	Fahrradparken	79,6	2,6	650.000	Primär
3	Radverkehrsnetz	7.418,5	74,6	10.309.000	Primär
4	ÖPNV-Angebot	1.699,5	1,4	1.217.000	Primär
5	Erdgasbusse	8.855,0	36,2	3.430.000	Primär
6	Mobilität an Schulen	110,5	-	-	Primär
7	Ausbau Haltestellen	-	-	2.160.000	Sekundär
8	Radschnellweg	28,2	-	-	Primär
9	Busbeschleunigung	592,3	6,5	2.752.000	Primär
10	Fahrgastzählsystem	-	-	90.000	Sekundär
11	DFI	-	-	789.000	Sekundär
12	Zählstellen Radverkehr	-	-	130.000	Sekundär
13	Fahrradverleih	26,2	0,1	180.000	Primär
14	Handyparken	-	-	-	Sekundär
15	Mikro-Depots	-	-	-	Sekundär

Wie bereits in der Methodik (Kap. 4) ausgeführt, kann das Emissionsminderungspotential nur für Maßnahmen mit primären Veränderungen im Mobilitätsverhalten ermittelt werden. Das heißt jedoch keineswegs, dass alle Maßnahmen, die als sekundär bewertet wurden unnötige seien. In diesem Kontext seien das Fahrgastzählsystem (AP 10) und die Zählstellen für den Radverkehr (AP 12) benannt. Durch die Beschaffung dieser Systeme werden Basisdaten erhoben, die für eine Optimierung des Mobilitätsangebotes, bzw. der notwendigen Infrastrukturplanung unerlässlich sind.

Mit diesem Beispiel wird deutlich, dass die berechneten Kriterien zwar hilfreich für eine mögliche Priorisierung der Maßnahmen sind, aber eine sorgfältige Interpretation der ermittelten Werte nicht ersetzen können. In diesem Spannungsfeld werden im Folgenden die

wichtigsten Beziehungen (Abhängigkeiten) zwischen den Maßnahmen stichpunktartig aufgelistet:

- Das AP Mobilitätsdaten (AP 1) zeigt Verknüpfungen mit vielen weiteren Maßnahmen (z.B. AP 10, AP 12, etc.) die oben bereits benannt wurden. Dieses Thema wurde großflächiger behandelt und mit Blick auf eine zukünftige IVS Systemlandschaft für die Universitätsstadt Gießen erweitert. Eine detaillierte Beschreibung ist in Kap. 3 zu finden.
- Ausbau zentraler Bushaltestellen (AP 7) mit Wetterschutz und ggf. Fahrradabstellanlagen kann die Attraktivität des ÖPNV steigern und somit vorhandene Kunden binden.
- Fahrgastzählsystem (AP 10) und die Zählstellen für den Radverkehr (AP 12) wurden bereits oben benannt, als wichtige Komponenten für die Erfassung von Basisdaten und die benutzerfreundliche Gestaltung des Verkehrsangebots
- DFI – Dynamische Fahrgast-Information (AP 11) ist ebenfalls dazu geeignet, die Attraktivität des ÖPNV zu steigern, somit vorhandene Kunden zufrieden zu stellen und damit zu binden. Gerade für zentrale Haltestellen ist eine Kombination mit AP 7 zu empfehlen.
- Handy-Parken (AP 14) repräsentiert eine mögliche Technologie für die Parkraumbewirtschaftung, die heutzutage zusätzlich angeboten werden sollte. Das zuständige Hintergrundsystem könnte (sofern mit dem Datenschutz verträglich) Nutzungsdaten für AP 1 liefern. Mit Blick auf das Emissionsminderungspotential ist die Parkraumbewirtschaftung an sich ein wichtiges Element, das z.B. mit P&R-Angeboten am Stadtrand und einem guten ÖPNV-Angebot (AP 4) im Sinne von „push-pull“-Maßnahmen zu einer Veränderung des Mobilitätsverhalten beitragen kann.
- Mikro-Depots (AP 15) ist weitgehend unabhängig von den anderen untersuchten Maßnahmen. Mögliche Synergieeffekte können mit AP 1 erschlossen werden, wenn dort eine hochwertige Verkehrslageinformation generiert wird. Die Logistikunternehmen werden solche Informationen wertschätzen und verwenden. Allerdings scheint die Wettbewerbssituation aktuell keine gemeinsamen Mikro-Depots zu erlauben.

7 Handlungsempfehlungen

Gemäß der Aufgabenstellung wurden keine Treibhausgase, oder andere Aspekte des Verkehrs, wie z.B. Verkehrssicherheit oder verkehrliche Effizienz betrachtet. Für die Entscheidung hinsichtlich einer Maßnahme sollten diese Überlegungen genauso miteinfließen, wie auch die Notwendigkeit von Maßnahmen der Digitalisierung, die quasi Elemente einer virtuellen Infrastruktur bereitstellen kann. Solche strategischen Überlegungen sollten unbedingt in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden, um zukünftig in der Lage zu sein, die erwartete Wirkung einer beabsichtigten Maßnahme noch vor dessen Realisierung mit hoher Sicherheit zu prognostizieren. Somit bekommt der Entscheidungsträger die notwendigen Fakten an die Hand, um seine Verantwortung wahrzunehmen.

Neben AP 14 und AP 15 kann auch AP 5 als eigenständige Maßnahme realisiert werden. Unter Berücksichtigung der untersuchten Maßnahmen und der aufgeführten Zusammenhänge werden folgende Maßnahmenbündel (inkl. Priorisierung) für die Umsetzung vorgeschlagen:

1. Kontinuierlicher Auf- und Ausbau einer IVS-Systemlandschaft (siehe Kap. 3), was u.a. die Maßnahmen aus AP 1, AP 10 und AP 12 beinhaltet.
2. Umstellung der Fahrzeugflotte auf Erdgasantrieb (AP 5), diese Maßnahme zeigt das größte Emissionsminderungspotential.
3. Verbesserung des ÖPNV-Angebots (AP 4) repräsentiert ebenfalls eine Maßnahme mit hohem Emissionsminderungspotential in der Dimension Tonnen pro Jahr. Dabei leistet insbesondere die Busbeschleunigung (AP 9) einen wichtigen Beitrag um die Pünktlichkeit zu erhöhen und somit die Umlaufplanung der Fahrzeuge zu gewährleisten. DFI (AP 11) und der Ausbau zentraler Haltestellen (AP 7) steigern in diesem Kontext zusätzlich die Attraktivität des ÖPNV und tragen zur Kundenzufriedenheit bei.
4. Der aktuelle Trend im Radverkehr und insbesondere bei Elektrofahrrädern hat das Potential langfristig (bis 2030) in großem Maße den Ausstoß von NO₂ zu reduzieren. Die Wachstumsraten für dieses Verkehrsmittel können insbesondere durch ein gutes Radwegenetz (AP 3) zusätzlich gesteigert werden. Die Ausgestaltung des Radwegenetzes kann sich positiv auf das Mobilitätsmanagement an Schulen (AP 6) als auch auf den Zugang zu direkten Radschnellwegen für Pendler (AP 8) auswirken.
5. Der Ausbau des Fahrradparkens an zentralen Umsteigepunkten des ÖPNV, im Stadtgebiet oder an Schulen (AP 2), sowie der Aufbau eines Fahrradverleihsystems (AP 13) stehen ebenfalls in engem Bezug zu Punkt 4, aber nicht notwendigerweise in Abhängigkeit dazu. Die Umsetzung kann getrennt bzw. schrittweise erfolgen.
6. Die Einführung des Handyparkens (AP 14) wird ebenfalls empfohlen als Bestandteil einer nachhaltigen Parkraumbewirtschaftung.
7. Der Aufbau von Mikro-Depots (AP 15) repräsentiert zwar ein sinnvolles Konzept, ist aber nicht kompatibel zu den Prozessen der Paketdienstleister und somit aktuell nicht zu empfehlen.

8. Über die bisher beschriebenen Arbeitspakete hinaus gibt es noch weitere Maßnahmen, die zu einer Minderung der NO₂-Belastung und zu einem umweltfreundlicheren Verkehr beitragen könnten.
Insbesondere die Stärkung des Fußgängerverkehrs wäre ein wichtiger Punkt. Denkbare Maßnahmen wären beispielsweise zusätzliche Querungsmöglichkeiten an Straßen (z.B. der Südanlage) oder eine Anpassung von LSA-Schaltungen, um kürzere Wartezeiten für Fußgänger zu erhalten. Solche Maßnahmen sind teilweise schon geplant und sollten verstärkt angegangen werden.
Ein weiterer Punkt wäre der Ausbau des schienengebundenen Nahverkehrs in Gießen und Umgebung. Das Land Hessen plant z.B. die Reaktivierung der Lumbdatabahn, aber auch für die Vogelsbergbahn wären Ausbaumaßnahmen denkbar.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Masterplan hat insgesamt 15 Maßnahmen, die sich zum Teil in Untermaßnahmen gliedern lassen, untersucht und hinsichtlich ihres Emissionsminderungspotentials analysiert. Darüber hinaus wurden auch Aspekte der Digitalisierung in vielfacher Weise adressiert, da die Erhebung von belastbaren Basisdaten eine essentielle Voraussetzung ist, um die richtigen Weichen für eine zukunftsfähige Mobilität im urbanen Raum zu stellen.

Zunächst wurden diese Maßnahmen in 2 Kategorien unterteilt, „primäre Maßnahmen“ die zu einer Verhaltensänderung hinsichtlich Mobilität und somit zu Emissionsminderungen führen und „sekundäre Maßnahmen“ z. B. Datengrundlagen, die dazu geeignet sind primäre Veränderungen herbeizuführen. Unter den primären Maßnahmen sind vor allem APs mit hohem Emissionsminderungspotential zu benennen:

- AP 3: Schließung von Netzlücken im Radverkehrsnetz mit
→ 7,4 t/a Emissionsminderungspotenzial bei kurzfristigem Realisierungsbeginn
- AP 4: Angebotsverbesserung im Stadtbusverkehr mit
→ 1,7 t/a Emissionsminderungspotenzial bei kurzfristigem Realisierungsbeginn
- AP 5: Ersatz von Diesel- durch Erdgasbusse mit
→ 8,9 t/a Emissionsminderungspotenzial bei kurzfristiger Realisierung

Bei diesen vielversprechenden Maßnahmen wird die große Bedeutung der Digitalisierung für die Optimierung der gesamten Verkehrsabläufe nicht außer Acht gelassen und insbesondere AP 1 zum Aufbau eines effizienten und flexiblen Datenmanagements betont. In diesem Kontext wird zusätzlich ein umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM) empfohlen, um zukünftig die Immissionsseitigen Wirkungen verkehrlicher Maßnahmen abschätzen zu können.

Mit den untersuchten Maßnahmen zur Ausweitung des ÖV-Angebots (einschl. Busantrieb) und des Radverkehrs, sowie Investitionen in die Digitalisierung hin zu einem UVM kann die angestrebte Reduzierung der NO₂-Emissionen im Stadtgebiet erreicht werden.

Der Masterplan soll ein Bestandteil des fortzuschreibenden Luftreinhalteplans werden. Mit dem gutachterlichen Charakter der zusammengestellten Maßnahmen ist eine qualifizierte Basis für die im Zuge der vorgesehenen Umsetzung erfolgenden politischen Beratungen und Beschlüssen sowie für die formalen Planungs- und Beteiligungsverfahren geschaffen.

9 Referenzen

- [1] Richtlinie 2013/37/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, vom 26. Juni 2013, zur Änderung der Richtlinie 2003/98/EG über die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors (PSI-Richtlinie 2013)
- [2] Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, vom 14. März 2007, zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE-Richtlinie)
- [3] Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, vom 7. Juli 2010, zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern (IVS-Richtlinie)
- [4] Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr Sachsen-Anhalt: „Modell für die Berechnung von CO₂-Emissionen“, Version 1.0, Magdeburg, Februar 2017⁶
- [5] Umwelt-Bundes-Amt: „Emissionsdaten“
https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_personenverkehr, vom 13.03.2018, zuletzt aufgerufen am 23.07.2018
- [6] HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.3, 24.04.2017

⁶ Dieses Dokument enthält anwendungs-orientierte Vorschläge zur Berechnung von CO₂-Emissionen die durch einzelne Maßnahmen eingespart werden können. Für den vorliegenden Masterplan wurden die entsprechenden Kennwerte für den Ausstoß von NO₂-Emissionen angepasst.

10 Anlagen

Während in Kapitel 9 allgemein zugängliche Referenzen benannt sind, werden im vorliegenden Kapitel die Anlagen benannt die für die interne Bearbeitung relevant sind.

Tab. 9: Übersicht der Anlagen.

Nr.	Dokument	Bemerkung
2-1	Lageplan der Maßnahmen für AP2	
3-1	Lageplan der Maßnahmen für AP3	
3-2	Lister der Maßnahmen für AP3	
3-3	Lister weiterer Maßnahmen für AP3	
4-1	Darstellung der Angebotsverbesserung im ÖPNV	Präsentation der SWG vom 25.05.2018
5-1	Ökologischer und ökonomischer Vergleich der SWG-Busflotte in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung auf den Zeithorizonten „heute“ und „mittelfristig“ für AP5	Studie der Hochschule Landshut für die Fahrzeugflotte der SWG auf Basis realer Abgasmessungen
12-1	Lageplan der Zählstellen für AP12	



Legende:

- Fahrrad-Parken
- Radbox
- Fahrrad-Parkhaus
- Radbox digital



Auftraggeber:

Gießen Universitätsstadt Gießen

Projektbezeichnung:

Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Datum:

Juli 2018

Anlage:

2.1

Planbezeichnung:

Gießen Bhf
Fahrrad-Parken

Legende:

-  Radnetz der Stadt Gießen
-  Maßnahme bereits umgesetzt
-  Priorisierte Umbaumaßnahme



Datum: Juli 2018

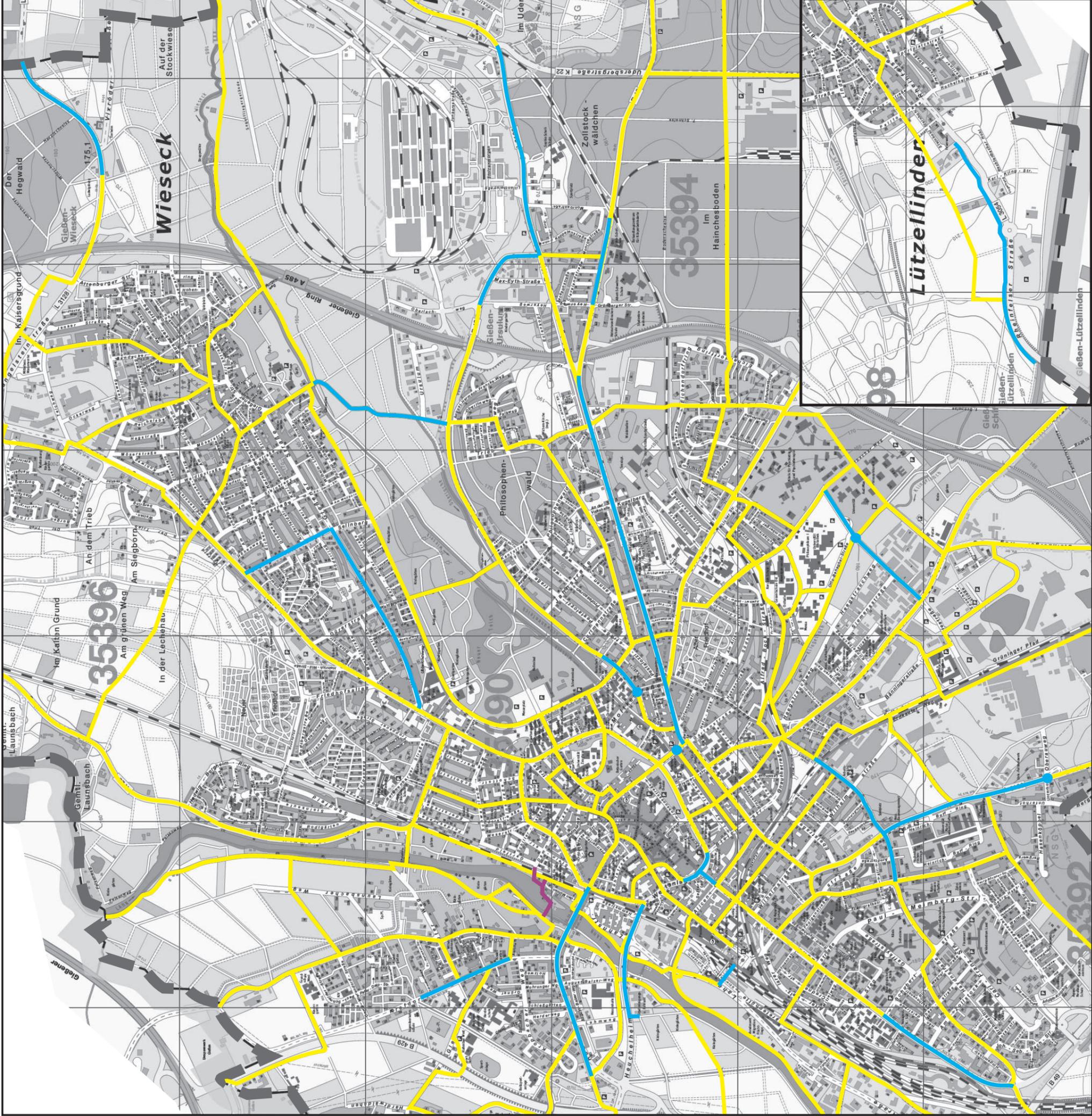
Anlage: 3.1



Auftraggeber:  Gießen Universitätsstadt Gießen

Projektbezeichnung: Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Planbezeichnung: Übersichtslageplan Priorisierte Umbaumaßnahmen im Radverkehrsnetz



Projekte		Bewertung			Emissionen				
Nr.	Netzabschnitt	Maßnahme	Straßenlänge [m]	Umsetzung	Kosten	Anteil [%]	Einsparung Nox/a	Einsparung Nox/30a	Effizienz
Stadtzentrum	1.2	Westanlage (zwischen Reichensand und Frankfurter Straße)	150	2020 - 2023	650.000	1,03%	39.929	1.705.865	2,6
	1.3	Südanlage (zwischen Frankfurter Straße und Bleichstraße)	150	2020 - 2023	350.000	1,03%	39.929	1.705.865	4,9
	1.8	Knotenpunkt Berliner Platz / Löberstraße	-	2020 - 2023	5.000	0,69%	26.620	1.137.243	227,4
	1.14	Eichgärtenallee (zwischen Moltkestraße und Eichgärtenallee 22)	300	2024 - 2030	111.000	2,06%	119.044	3.571.335	32,2
	1.14	Knotenpunkt Eichgärtenallee / Molkestraße	-	2019	12.000	0,69%	36.200	1.171.958	97,7
Südliches Stadtgebiet	1.15	Verknüpfung Lahnbrücke Bahnhof	150	2024 - 2030	700.000	3,09%	178.567	5.357.002	1,5
	2.3	Frankfurter Straße (zwischen Alicenstraße und Selterstor)	130	2020 - 2023	15.600	0,89%	34.606	1.478.416	94,8
	2.4	Frankfurter Straße (zwischen Schubertstraße und Robert-Sommer-Straße)	750	2024 - 2030	111.000	5,15%	297.611	8.928.337	160,9
	2.9	Aulweg (zwischen Leihgesterner Weg und Wartweg)	250	2024 - 2030	18.500	0,86%	49.602	1.488.056	160,9
	2.10	Aulweg (zwischen Leihgesterner Weg und Riegelpfad)	550	2020 - 2023	82.500	1,89%	73.204	3.127.419	37,9
Östliches Stadtgebiet	2.12	Leihgesterner Weg (zwischen Aulweg und Oberauweg)	950	2024 - 2030	140.600	6,53%	376.974	11.309.227	160,9
	2.12	Knotenpunkt Leihgesterner Weg / Oberauweg	-	2024 - 2030	12.000	0,69%	39.681	1.190.445	198,4
	2.13	Rheinfelder Straße (zwischen Gebietsgrenze und Lützelinden)	1200	2020 - 2023	720.000	8,25%	319.436	13.646.920	19,0
	3.7	Knotenpunkt Rathenaustraße/ Klingelbach	-	2019	5.000	0,69%	36.200	1.171.958	234,4
	3.8	Rathenaustraße	700	2019	84.000	4,81%	253.398	8.203.706	97,7
Nördliches Stadtgebiet	3.11	Grünberger Straße (zwischen Ludwigsplatz und Rödgener Straße)	2000	2024 - 2030	370.000	13,74%	793.630	23.808.899	321,7
	3.13	Rudolf-Diesel-Straße (zwischen Rödgener Straße und Oberlachweg)	500	2024 - 2030	74.000	2,58%	148.806	4.464.169	120,7
	3.14	Rödgener Straße (zwischen Rudolf-Diesel-Straße und Sophie-Scholl-Schule)	550	2020 - 2023	33.000	2,83%	109.806	4.691.129	142,2
	3.15	Rödgener Straße (zwischen Stadtgrenze bis Udersbergstraße)	650	2024 - 2030	390.000	4,47%	257.930	7.737.892	22,0
	3.19	Grünberger Straße (zwischen Hayerweg und Stadtgrenze)	550	2024 - 2030	330.000	5,67%	327.372	9.821.171	33,1
Nördliches Stadtgebiet	4.1	Wiesecker Weg (zwischen Marburger Straße und Ludwig-Richter-Straße)	1100	2020 - 2023	162.800	7,56%	292.816	12.509.676	76,8
	4.9	Ludwig-Richter-Straße (zwischen Marburger Weg und Wiesecker Weg)	520	2024 - 2030	38.480	1,79%	103.172	3.095.157	160,9
	4.13	Philosophenstraße	750	2024 - 2030	225.000	5,15%	297.611	8.928.337	198,4
	4.19	Wehranlage (Zu den Mühlen)	200	2018	20.000	4,12%	217.198	7.031.748	351,6
	4.20	Dammstraße, Eisenbahnstrecke Fuß-/Radwegunterführung	100	2018	700.000	2,06%	108.599	3.515.874	5,0
Westliches Stadtgebiet	4.21	L3128 (zwischen Vixröder Straße und Gebietsgrenze)	800	2020 - 2023	480.000	5,50%	292.816	12.509.676	19,0
	5.1	Rodheimer Straße (zwischen An der Hessenhalle / Nordanlage)	100	2024 - 2030	30.000	0,69%	39.681	1.190.445	198,4
	5.2	Krofdorfer Straße (zwischen Schwalbacher und Zur Großen Bleiche)	300	2020 - 2023	12.000	2,06%	79.859	3.411.730	284,3
	5.9	Heuheiheimer Straße (zwischen Schlachthofstraße und Westanlage)	500	2024 - 2030	150.000	3,44%	198.407	5.952.225	198,4
					Summen			kurzfristig 651.594 mittefrfristig 1.229.163 langfristig 3.228.090	21.095.244 52.512.210 96.842.696



TransMIT
Gesellschaft für
Technologietransfer mbH

Datum: **Juli 2018**

Anlage: **3.2**

Auftraggeber:  **Gießen** Universitätsstadt Gießen

Projektbezeichnung: **Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität**

Planbezeichnung: **Liste Priorisierte Umbaumaßnahmen im Radverkehrsnetz**

		Summen	
	kurzfristig	651.594	21.095.244
	mittefrfristig	1.229.163	52.512.210
	langfristig	3.228.090	96.842.696

Projekte		Nr.	Netzabschnitt	Maßnahme	Straßenlänge [m]
Stadtzentrum	1.1	Nordanlage	Radverkehrsanlage	600	
	1.4	Innenstadt	Wegweisung (Routenführung)	-	
	1.6	Ostanlage (Querung)	Querung Wiesenstraße/ Senckenbergstraße	-	
	1.7	links und rechts der Ludwigstraße	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
	1.9	Wieseckmündung	Brücke zur Durchbindung des Lahnuferweges	-	
	1.10	Goethestraße (Radroute)	Kreuzung Südanlage und Seltersweg	-	
	1.11	Johannesstraße	Linksabbiegen in die Neue Näue ermöglichen	-	
	1.12	Stephanstraße	Eisenbahnquerung, Rampe an der Wegeunterführung ergänzen	-	
	2.1	Verbindung Kleinlinden bzw. Allendorf - Dutenhofen	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
	2.2	Verbindung Kleinlinden bzw. Allendorf - Dutenhofen (Variante)	Radweg Kleebachstraße (einseitig), Querung Wetzlarer Straße	80	
	2.5	Robert-Sommer-Straße	Radfahrstreifen (Ergänzung)	350	
	Südliches Stadtgebiet	2.6	Kreuzungsgebiet Robert-Sommer-Straße/ Schubertstraße/ Aulweg/ Gaffkystraße	Radverkehrsanlage (beidseitig)	200
2.7		Schubertstraße zw. Frankfurter Straße und Aulweg	Schutzstreifen oder Radfahrstreifen (beidseitig)	280	
2.8		Schubertstraße zw. Aulweg u. Kreisel Schlangenzahl	Schutzstreifen oder Radfahrstreifen (beidseitig)	550	
2.11		Stephanstraße/ Ebelstraße, Eisenbahnquerung, Wegeunterführung	mit Rampe ergänzen	-	
3.1		Bismarckstraße	Verbesserung der Radverkehrsführung	-	
3.2		Gnauthstraße/ Bleichstraße	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
3.3		Nahrungsberg	Radverkehrsanlage	670	
3.4		Gartenstraße	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
3.5		Ludwigsplatz (Querung Roonstraße - Gartenstraße/ Ludwigstraße)	Radverkehrsanlage mit Neugestaltung	150	
3.6		Doppelkreuzungsgebiet Aulweg - Bahnübergang - Schiffenberger Weg - Bismarckstr.	Radfahrstreifen (beidseitig)/ Aufstellfläche	150	
3.9		Licher Straße zw. An der Karserne und Heinrich-Fourier-Straße	Radfahrstreifen/ Schutzstreifen (einseitig) bei Straßenausbau	600	
Östliches Stadtgebiet		3.12	Licher Straße	gesicherte Querung Lutherberg/ Georg-Ph.-Gall-Straße	-
	3.16	Ortsdurchfahrt Rödgen	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
	3.17	Udersbergstraße zw. Rödgener Straße und Ortseingang Rödgen (Baulast Land Hessen)	Radweg (einseitig)	1300	
	3.20	Udersbergstraße zw. Rödgener Straße und Grünberger Straße (L 3126)	Radverkehrsanlage	750	
	3.21	Europastraße zw. Grünberger Straße und Anneröder Weg	Radfahrstreifen/ Schutzstreifen	400	
	4.2	Gießener Straße zw. Wiesecker Weg und Alte Schulstraße	Schutzstreifen ist zu prüfen	800	
	4.3	Gießener Straße ab Alte Schulstraße bis Alten-Busecker-Straße	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
	4.4	Altenburger Straße, östliches Siedlungsgebiet Wieseck	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
	4.5	Marburger Straße - westliche Seite zw. Lichtenauer Weg und Weidigstraße	Radweg (einseitig)	240	
	4.6	Marburger Straße - östliche Seite zw. Lichtenauer und Teichweg	Radweg (einseitig), zw. Kiesweg u- Teichweg getrennter Rad-/Gehweg	400	
	4.7	Marburger Straße (Einmündungsbereich Hangelsteinstraße)	Radfahrstreifen (Querung)	-	
	Nördliches Stadtgebiet	4.8	Dürerstraße	Radfahrstreifen/ Schutzstreifen	400
4.10		Marburger Straße Höhe Ringallee	Querungshilfe	-	
4.11		Lichtenauer Weg (östliche Marburger Straße)	Schutzstreifen	500	
4.12		Alte Schulstraße	Ausweisung als Radverkehrsrouten: Freigabe der Einbahnstraße	-	
4.15		Verbindung Landgraf-Ludwig-Schule - Friedhofsallee bzw. Narzissenweg/ Achstetter Steg - Hedwig-Burgheim-Ring	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
4.16		Wißmarer Weg (Kurve Eisenbahnbrücke)	bauliche Umgestaltung mit Radverkehrsanlagen	100	
4.17		Wißmarer - Hedwig-Burgheim-Ring bis Sandfeld	Schutzstreifen	1200	
5.3		Schützenstraße zw. Rodheimer Straße und Zur Großen Bleiche	Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
5.4		Uferweg (Anschluss Rodheimer Straße)	Herrichtung Radweg, Ausweisung als Radverkehrsrouten	-	
5.5		Hardtallee	Radfahrstreifen/ Schutzstreifen (beidseitig)	450	
5.6		Paul-Zipp-Straße	Freigabe des Gehweges für den Radverkehr (beidseitig)	-	
Westliches Stadtgebiet		5.7	Heudelheimer Straße (Paul-Zipp-Straße - Friedrich-List-Straße)	Querungsstelle	-
	5.8	Gottlieb-Daimler-Straße zw. Philipp-Reis-Straße und Stadtgrenze	Radverkehrsanlage	750	



Datum: Juli 2018

Anlage: 3.3

Auftraggeber:



Projektbezeichnung: Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Planbezeichnung: Liste weiter Umbaumaßnahmen im Radverkehrsnetz

Masterplan Green City Plan

Universitätsstadt Gießen

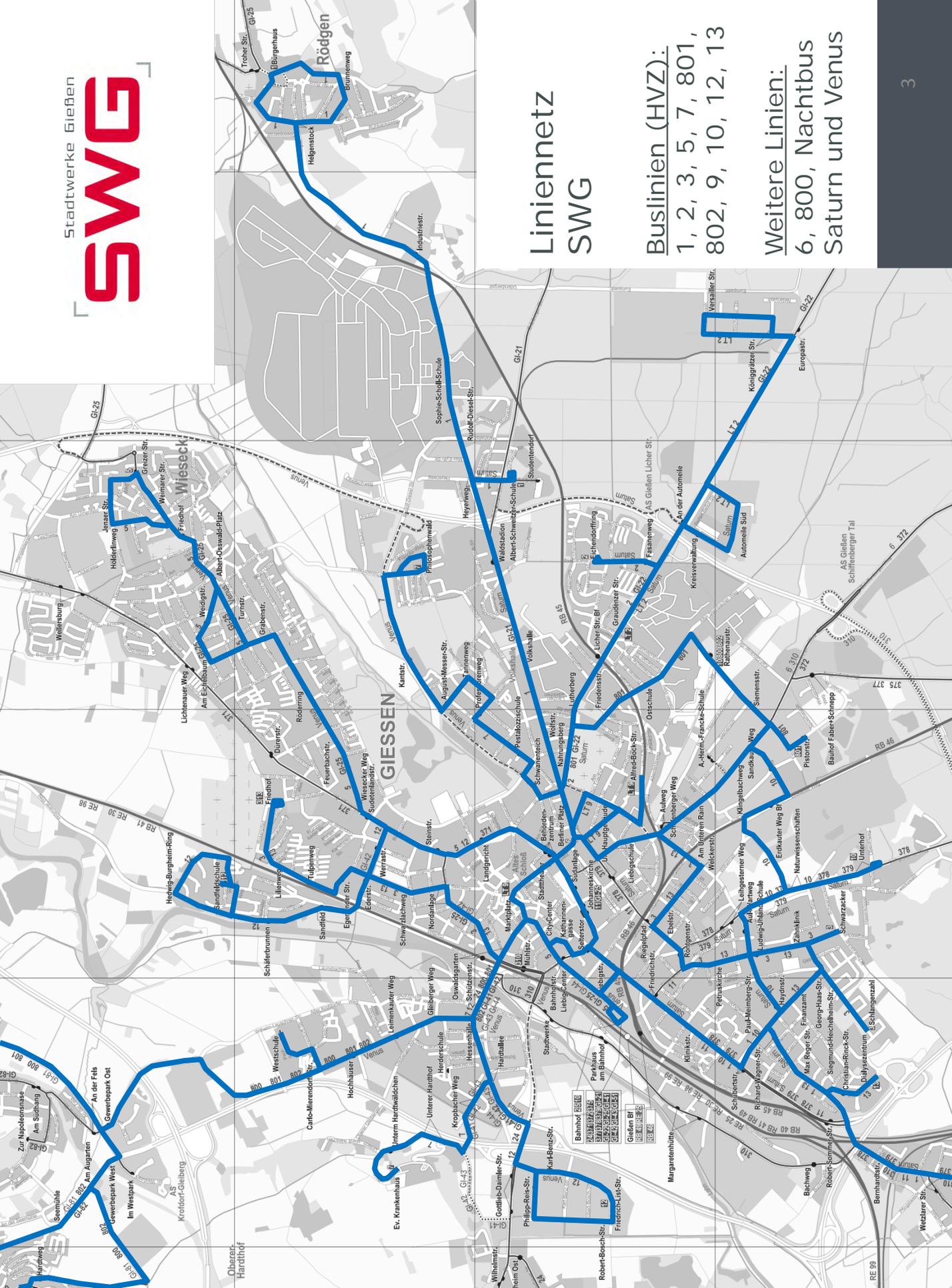
**Arbeitspaket 4:
Angebotsverbesserungen im Stadtbusverkehr**



Gliederung

1. Verkehrsangebot Status Quo
2. Übersicht Bautätigkeit in Gießen
3. Ausbauplanung
 - 4.1 Veränderter Verlauf Linie 7
 - 4.2 Veränderter Verlauf Linie 10
 - 4.3 Neue Linie 14 und Neukonzeption Linien 3, 12, 13
 - 4.4 Neue Linie 15
 - 4.5 Neue Linie 17
 - 4.6 Neue Linie 18
 - 4.7 Vereinheitlichung Verlauf Linien 801 und 802

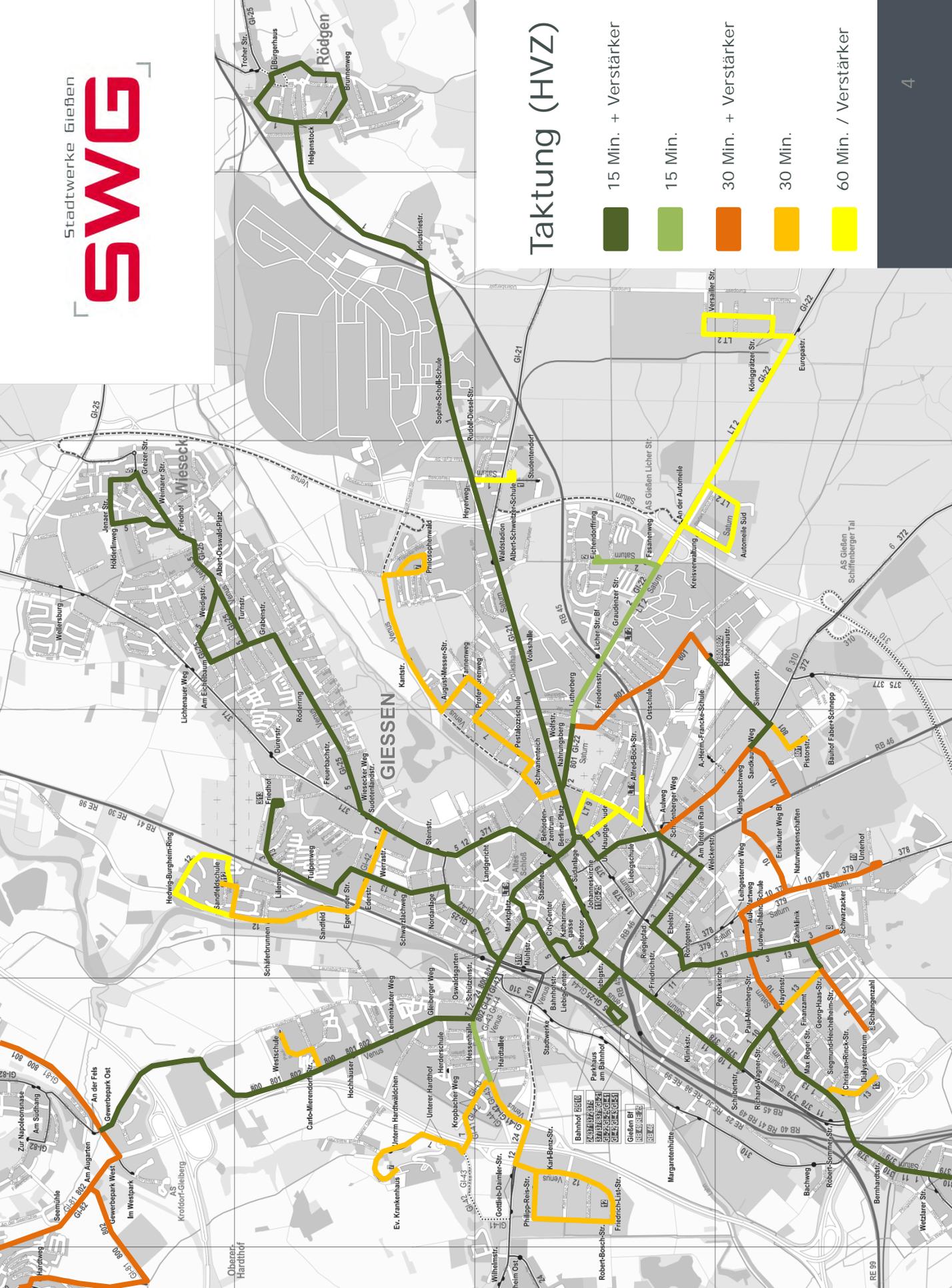
Stadtwerke Gießen



Liniennetz SWG

Buslinien (HVZ):
1, 2, 3, 5, 7, 801,
802, 9, 10, 12, 13

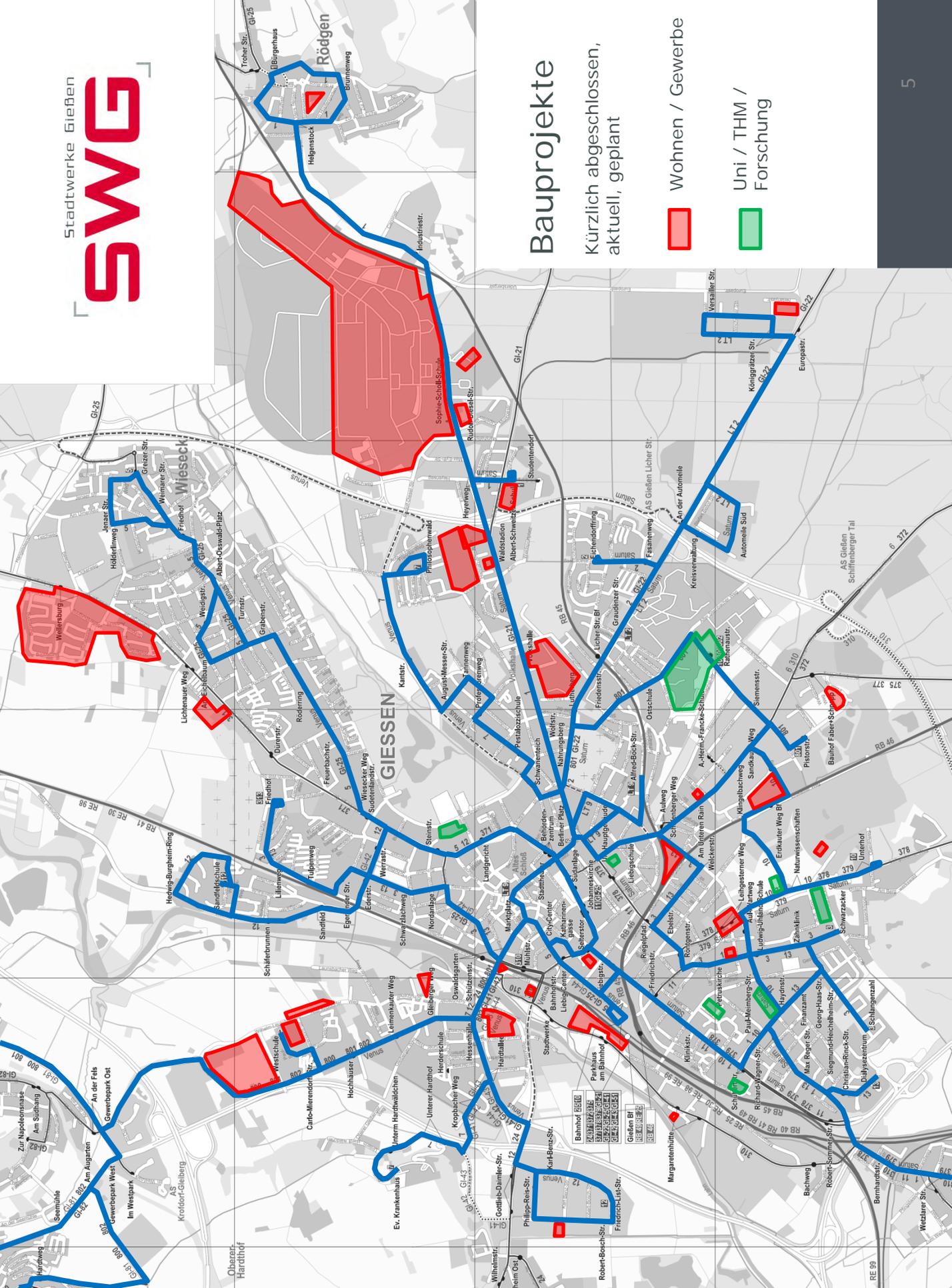
Weitere Linien:
6, 800, Nachtbus
Saturn und Venus



Taktung (HVZ)

- 15 Min. + Verstärker
- 15 Min.
- 30 Min. + Verstärker
- 30 Min.
- 60 Min. / Verstärker

Stadtwerke Gießen



Bauprojekte

Kürzlich abgeschlossen,
aktuell, geplant

 Wohnen / Gewerbe

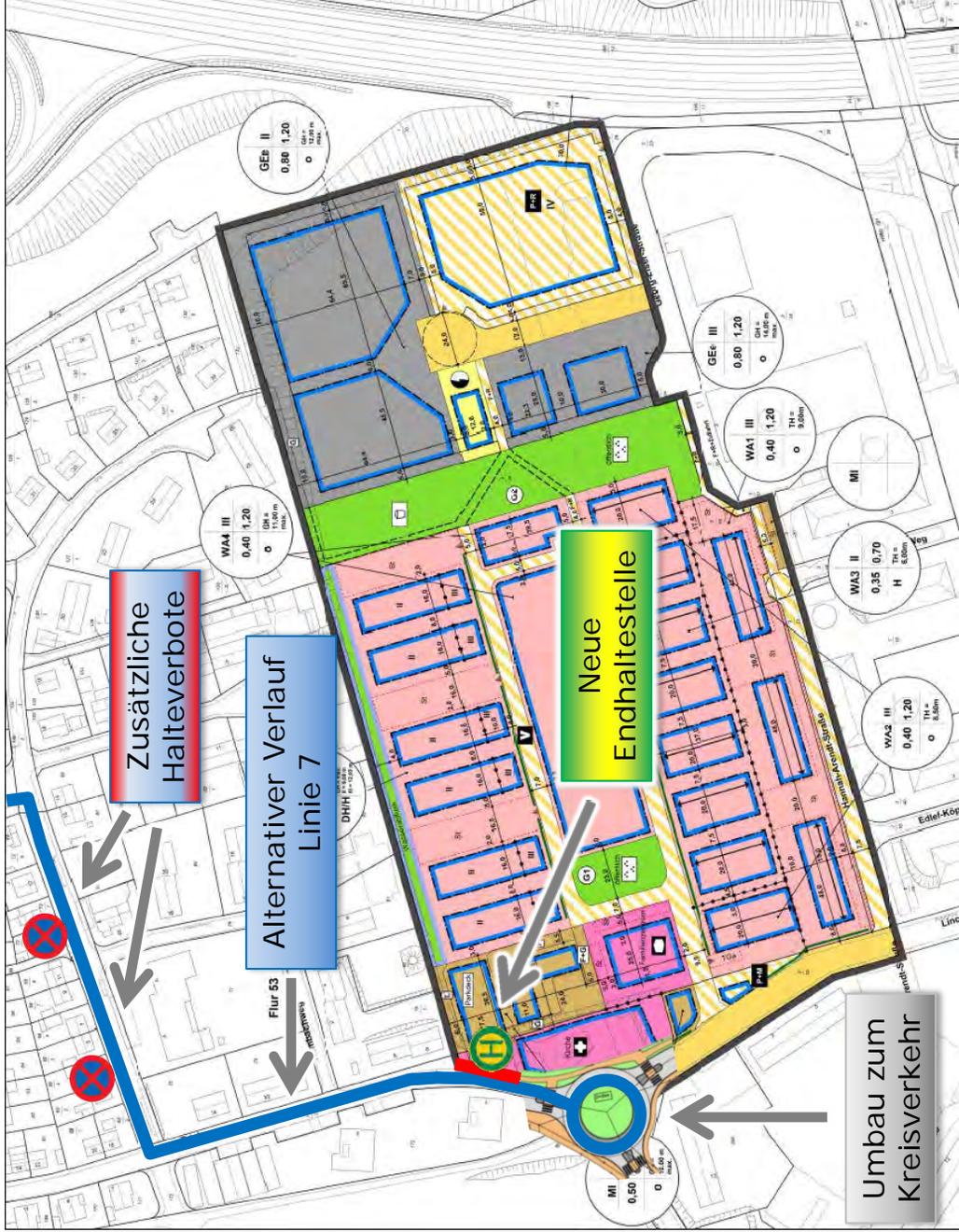
 Uni / THM /
Forschung

Anlage X

Alternativer Verlauf Linie 7

Aus Stellungnahme zum
 Bebauungsplan-Vorentwurf
 Nr. GI 03/17

Quelle Kartgrundlage:
 Ausschnitt Bebauungsplan-
 Vorentwurf Nr. GI 03/17



Entwurf Linie 10

HVZ: 3  (+-0)

Linie 10
Bahnhof (Westseite) –
Unterhof – Rathenaustraße
(ca. 22 Min.)

Vermeidung Schrankenschließ-
zeiten am Bahnübergang
Frankfurter Straße



Bestand 3/ 12 /13

HVZ: 7 

Linie 3

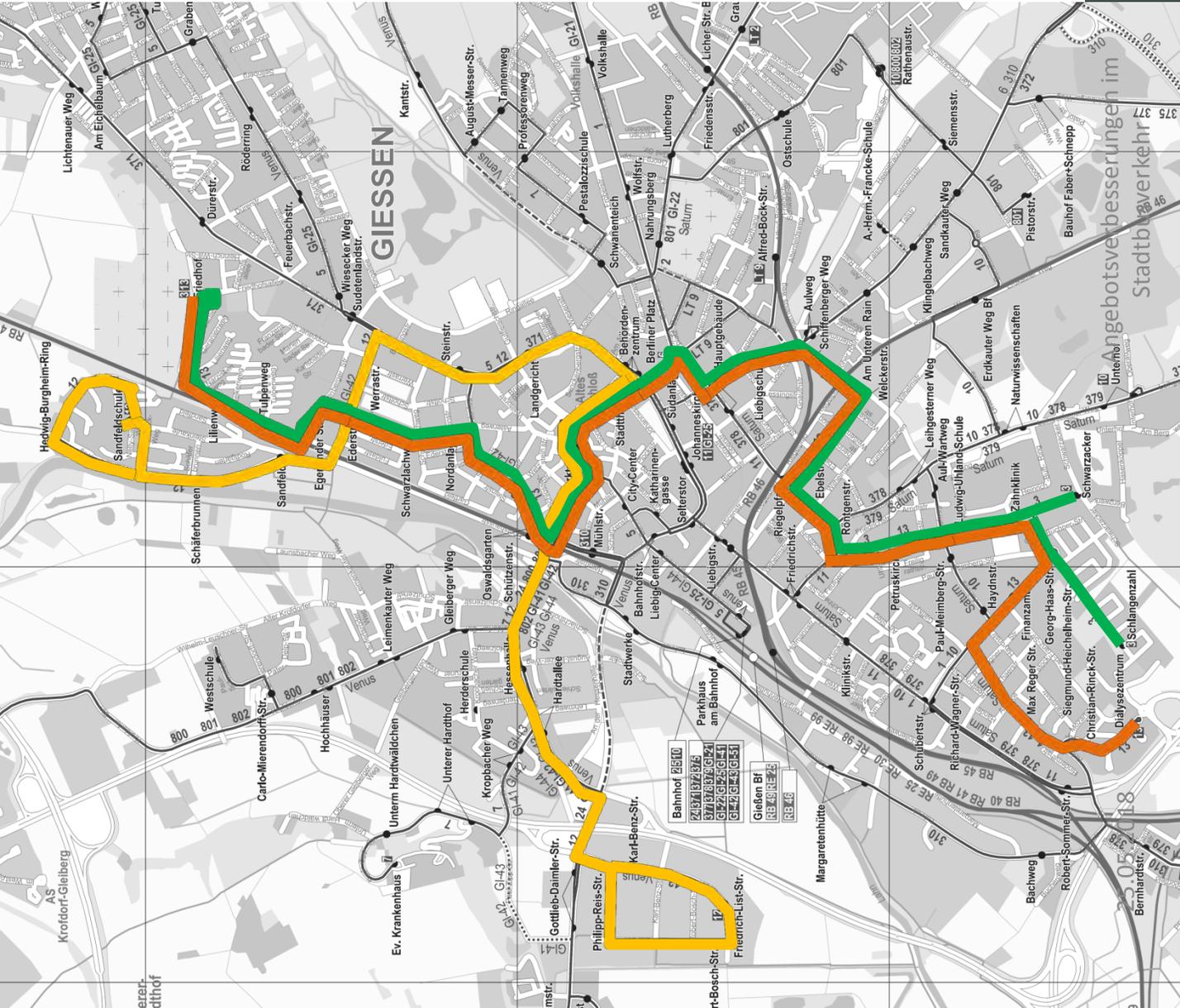
Friedhof – Schlängenzahl
 (ca. 31 Min.)

Linie 12

Sandfelschule –
 Gewerbegebiet West
 (ca. 23 / 25 Min.)

Linie 13

Friedhof – Dialysezentrum
 (ca. 32 Min.)



Entwurf 3/ 12/ 13/ 14

HVZ: 8  (+1)

Linie 3

Friedhof – Schwarzacker
(ca. 24 Min.)

Linie 12

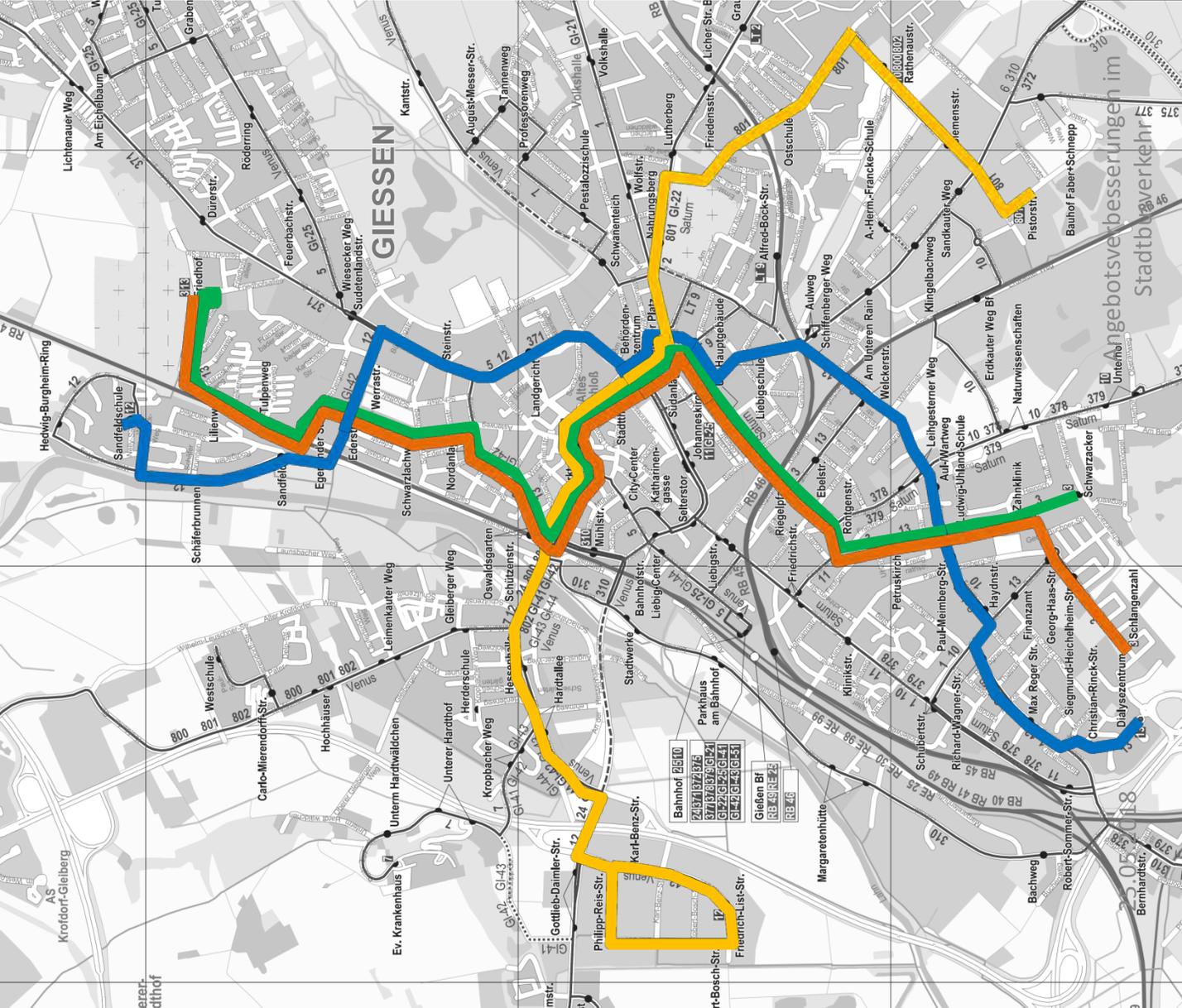
Gewerbegebiet West –
Pistorstraße
(ca. 24 Min.)

Linie 13

Friedhof – Schlängenzahl
(ca. 26 Min.)

„Linie 14“

Sandfeldschule –
Dialysezentrum (ca. 25 Min.)



Stadtbuslinie 5

Bestand

HVZ: 4 

Fahrzeit:

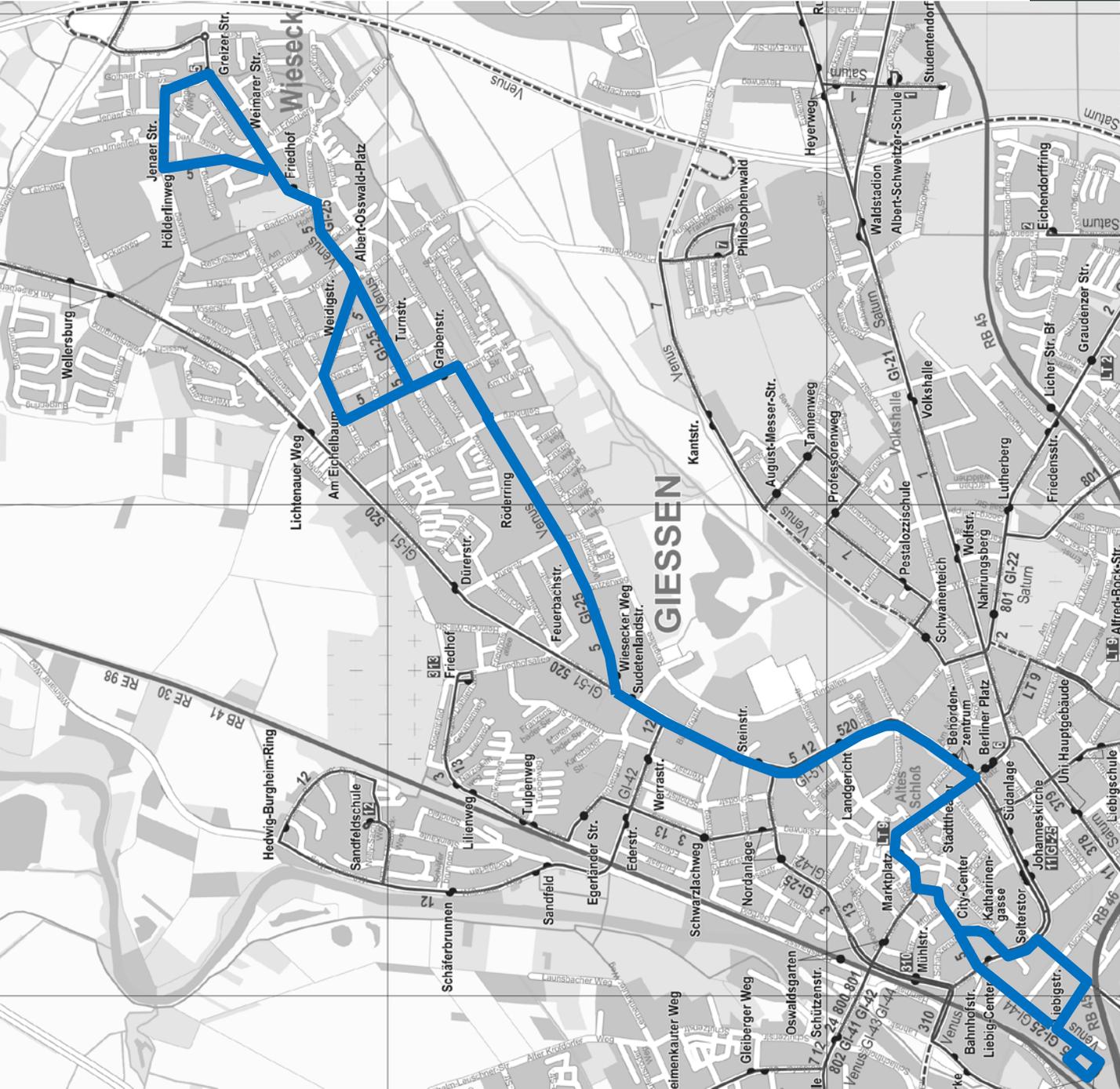
GI Bf – Wieseck

Greizer Str.: 26 Min.

Wieseck Greizer Str. –

GI Bf: 27 Min.

Quelle: Ausschnitt
RMV Gesamtlinienplan
Gießen 2017



Stadtbuslinie 5/15

Entwurf
neuer Linienast

HVZ: 6  (+2)

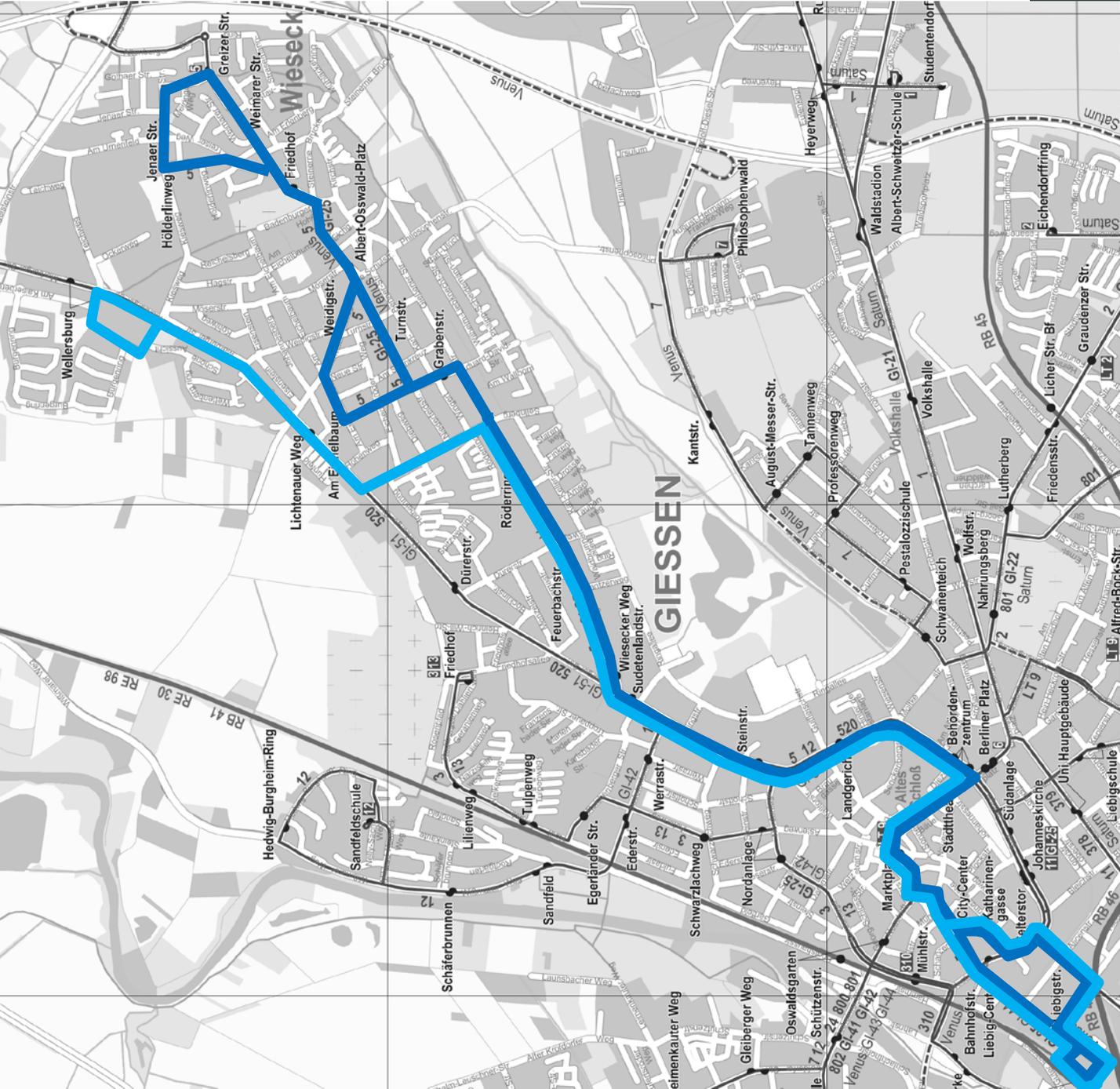
Fahrzeit:

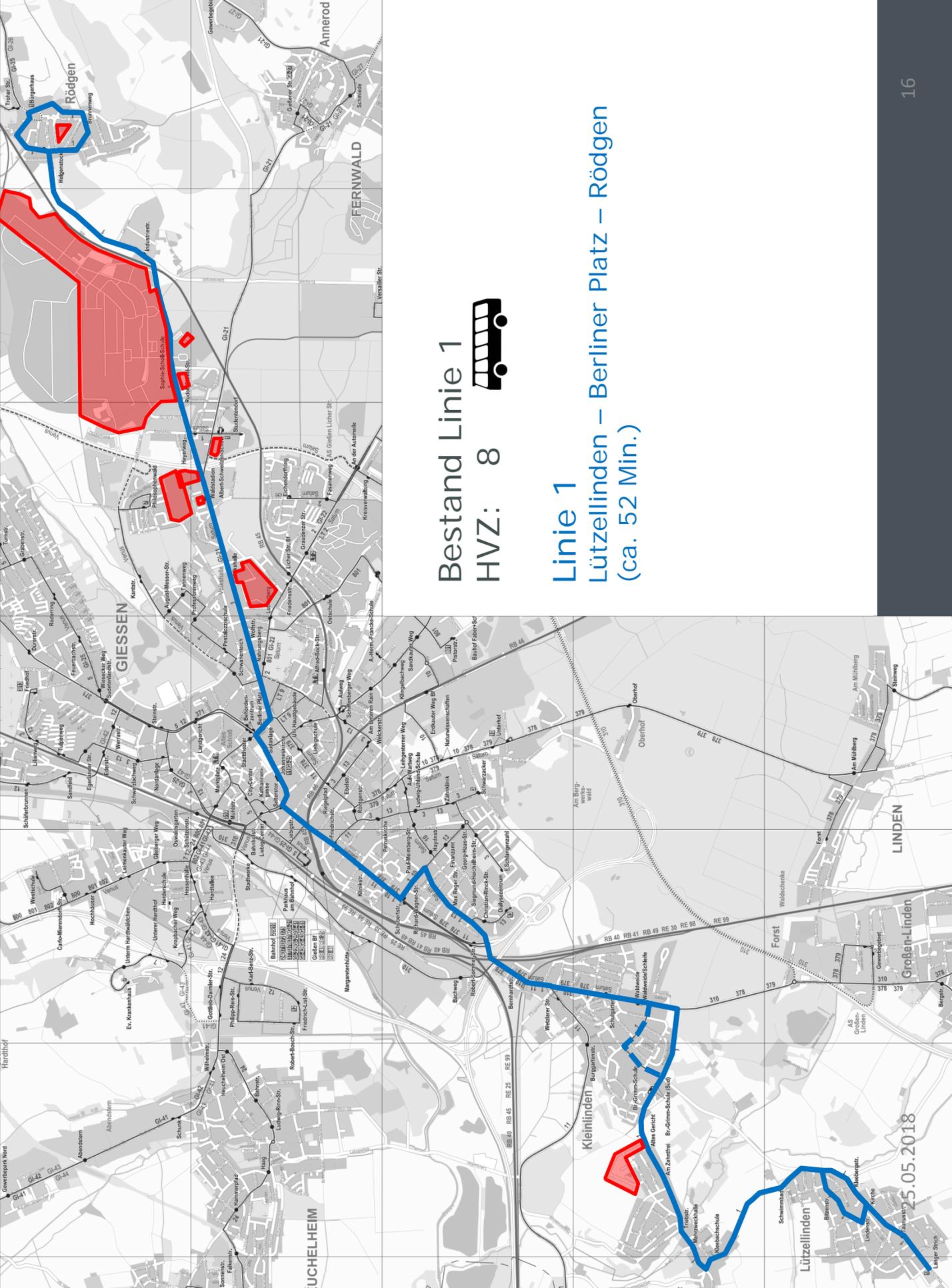
GI Bf – Wieseck

Burgenring: 25 Min.

Wieseck Burgenring –
GI Bf: 24 Min.

Quelle: Ausschnitt
RMV Gesamtlinienplan
Gießen 2017



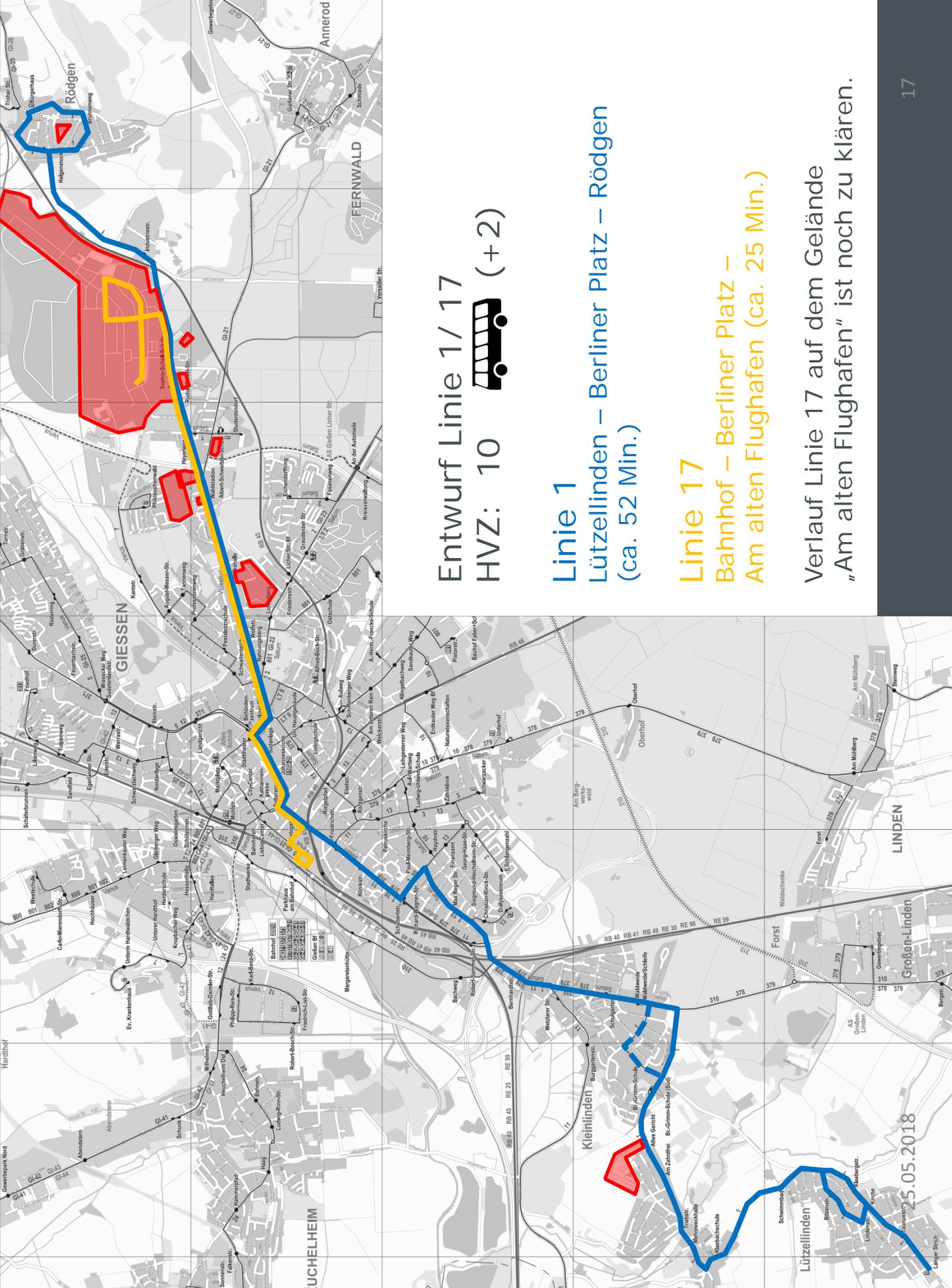


Bestand Linie 1

HVZ: 8 

Linie 1

Lützellinden – Berliner Platz – Rödgen
(ca. 52 Min.)



Entwurf Linie 1/17
 HVZ: 10  (+2)

Linie 1
 Lützellinden – Berliner Platz – Rödgen
 (ca. 52 Min.)

Linie 17
 Bahnhof – Berliner Platz –
 Am alten Flughafen (ca. 25 Min.)

Verlauf Linie 17 auf dem Gelände
 „Am alten Flughafen“ ist noch zu klären.

Entwurf Expressbus

HVZ: 1  (+1)

Linie 18

Bahnhof – Berliner Platz –
 Rathenaustraße
 (ca. 15 Min.)

Nur an Verlesungstagen

Nur Andienung Haltestellen:

- Bahnhof
- Berliner Platz
- Rathenaustraße

Umsetzbar nach Ende Ausbau
 Campusplatz (Rathenaustraße)



Bestand Linien 801/ 802

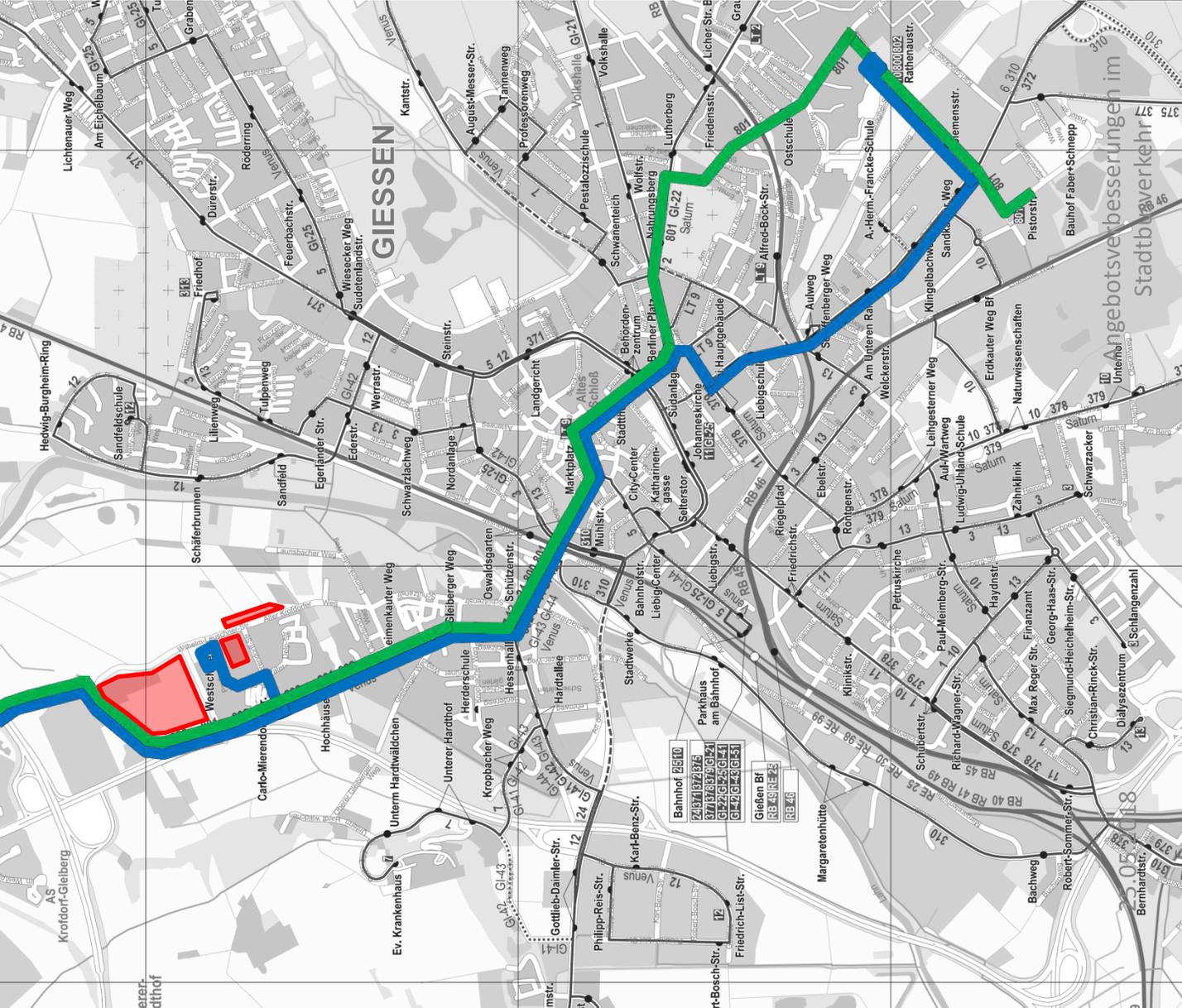
HVZ: 6 

Linie 801

Wißmar – Launsbach –
 Berliner Platz – Pistorstraße

Linie 802

Krofdorf/Gleiberg –
 Berliner Platz – Rathenaustraße

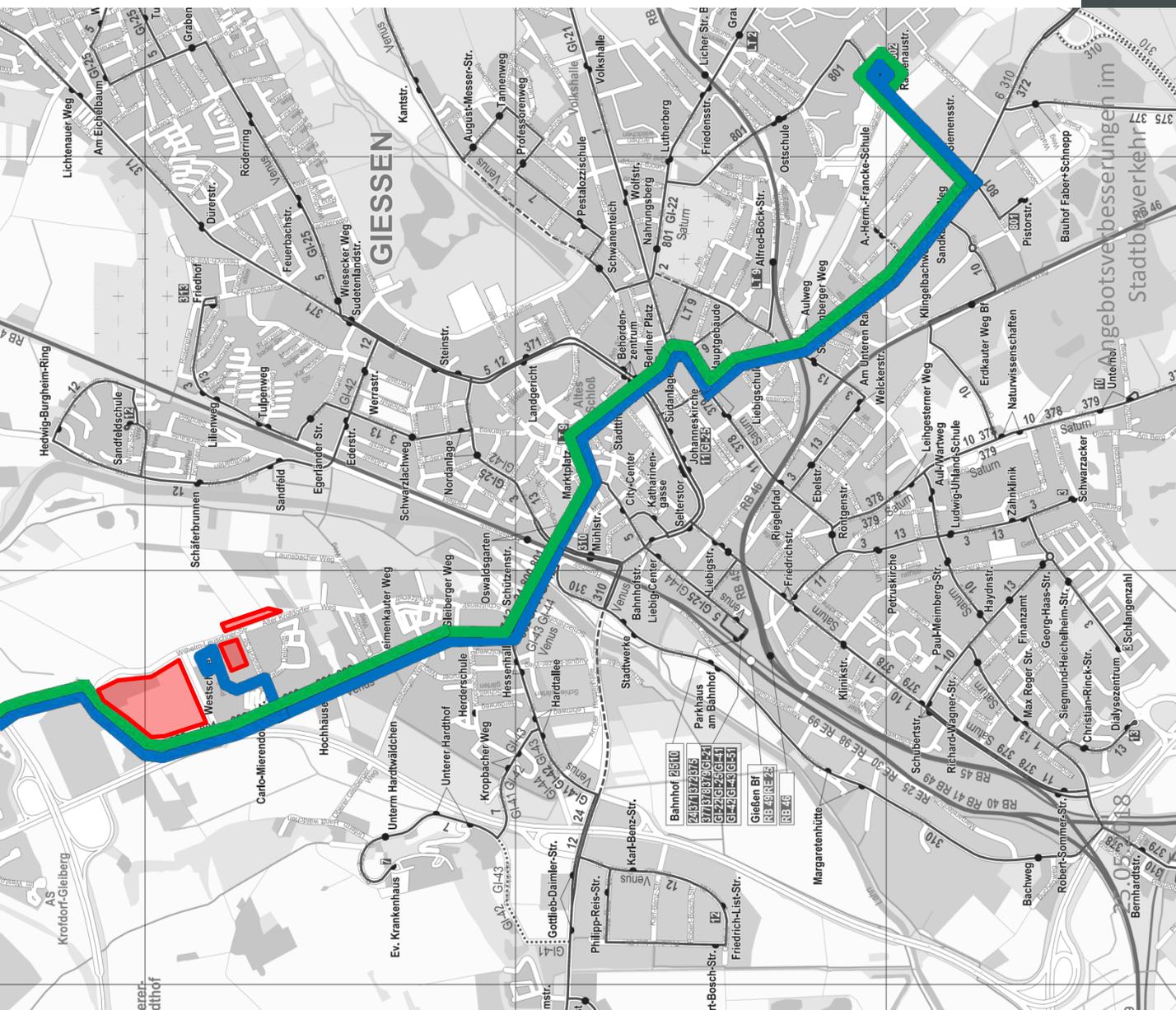


Entwurf Linien 801/ 802
 HVZ: 6  (+-0)

Linie 801
 Wißmar – Launsbach –
 Berliner Platz – Rathenaustraße

Linie 802
 Krofdorf/Gleiberg –
 Berliner Platz – Rathenaustraße

Nur in Verbindung mit Entwurf
 zu den Linien 3/ 12/ 13/ 14
 umsetzbar.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Stadtwerke Gießen AG
Nahverkehrs-Services
Lahnstraße 31
35398 Gießen

Anne Müller-Kreutz
0641 708-1326
amueller-kreutz@stadtwerke-giessen.de

Jörg Klein
0641 708-1231
jklein@stadtwerke-giessen.de

Legende:

 Radnetz der Stadt Gießen

 geplante Zählstellen für den Radverkehr



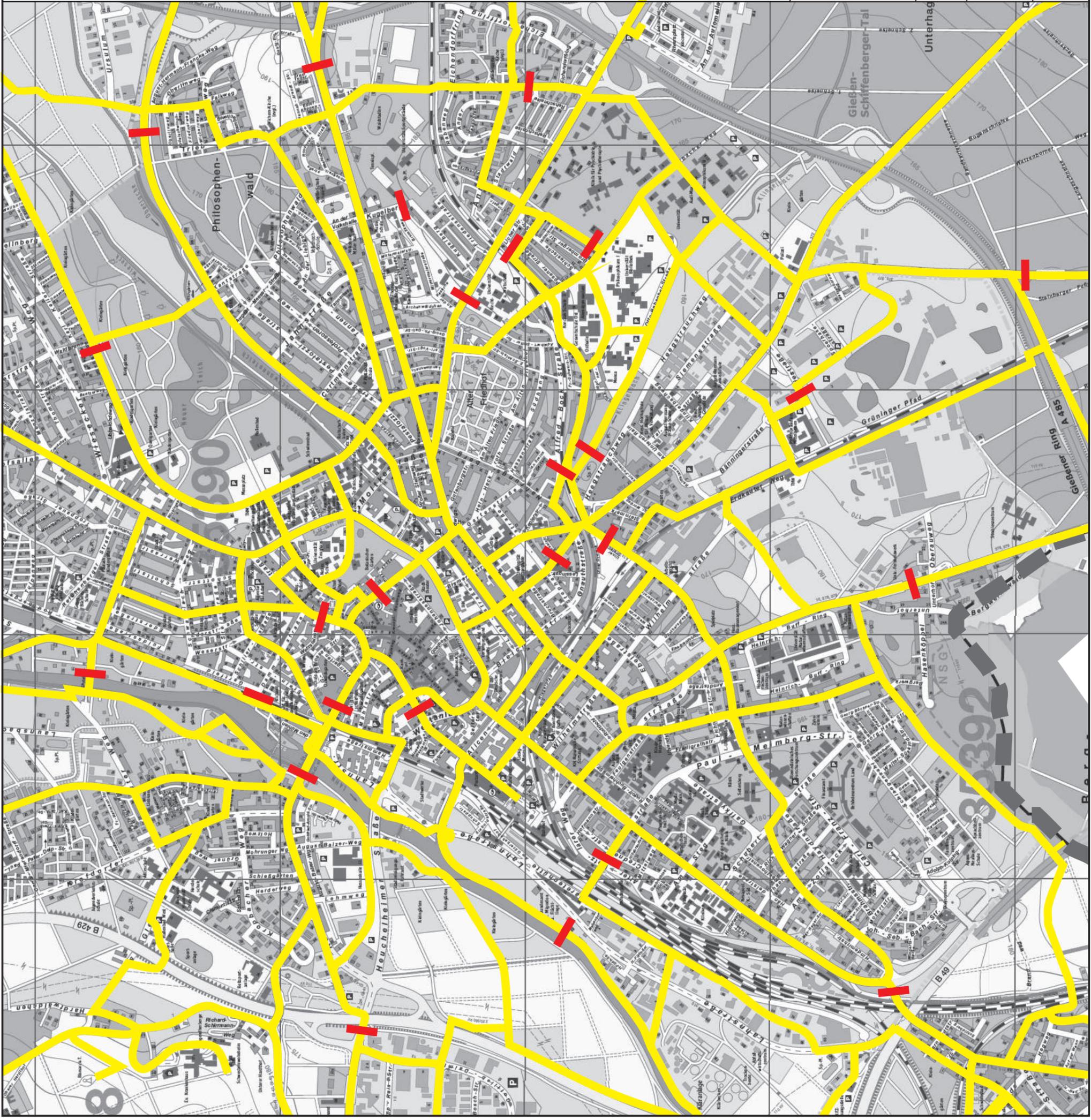
Datum: Juli 2018

Anlage: 12.1

Auftraggeber:  Gießen Universitätsstadt Gießen

Projektbezeichnung: Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität

Planbezeichnung: Übersichtslageplan Zählstellen für den Radverkehr





HOCHSCHULE LANDSHUT
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN



AN-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE NUTZFAHRZEUGFORSCHUNG UND ABGASANALYTIK (**BELICON**)
GESCHÄFTSFÜHRER: PROF. DR.-ING. RALPH PÜTZ

Ökologischer und ökonomischer Vergleich der SWG-Busflotte in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung auf den Zeithorizonten „heute“ und „mittelfristig“

Erstellt im Auftrag von:

**Stadtwerke Gießen AG (SWG)
Lahnstraße 31
35398 Gießen**

Bericht Nr. BELICON/SWG-1-07.05.2018

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden. Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche Genehmigung des Verfassers einzuholen.

Freigegeben:	Prof. Dr. Ralph Pütz	07.05.2018	<i>R. Pütz</i>
Erstellt:	Prof. Dr. Ralph Pütz und Mitarbeiter		

Inhalt

Inhaltsverzeichnis	3
1 Aufgabenstellung.....	4
2 Gewählter Systemansatz für die ökologische und ökonomische Analyse	7
3 Untersuchte konventionelle und alternative Antriebe	9
4 Ökologischer Vergleich von konventionellen und alternativen Antrieben	21
4.1 Vorkette (WTT; Well-to-Tank)	22
4.1.1 Dieselmotorkraftstoff	22
4.1.2 Erdgas und Biogas.....	23
4.1.3 Wasserstoff.....	25
4.1.4 Elektrische Energie/Strom.....	27
4.2 Fahrzeugproduktion	27
4.3 Fahrbetrieb (TTW; Tank-to-Wheel).....	29
4.4 Ergebnisse der Ökologie-Bilanzen.....	30
4.4.1 Ökologischer Vergleich 2018 (“heute”).....	30
4.4.2 Ökologischer Vergleich 2030 („mittelfristig“).....	34
5 Ökonomischer Vergleich von konventionellen und alternativen Antrieben	36
5.1 Fahrzeuginvestkosten und Ersatzinvestitionen	36
5.2 Kraftstoff- bzw. Energiekosten	40
5.3 Instandhaltungskosten	41
5.4 Infrastruktur-Investkosten.....	42
5.5 Ergebnisse der Ökonomie-Bilanzen.....	48
5.5.1 Ökonomischer Vergleich 2018 (“heute”).....	48
5.5.2 Ökonomischer Vergleich 2030 (“mittelfristig“).....	53
6 Schlussfolgerungen zum Vergleich konventioneller und alternativer Antriebe für die Technologieausrichtung der SWG ..	58
7 Literaturverzeichnis	60

1 Aufgabenstellung

In der Universitätsstadt Gießen wird an einigen Immissionsmessstellen der Jahresmittel-Grenzwert für Stickstoffdioxid (NO₂) von 40 µg/m³ überschritten, so dass ein Masterplan für die Gestaltung nachhaltiger und emissionsfreier Mobilität vorbereitet wird, da der motorisierte Verkehr zu rund 70 % der NO_x-Belastung beiträgt. Der Masterplan soll explizit die Zeithorizonte „kurzfristig“ und „mittelfristig“ berücksichtigen und auch die Auswirkungen des Einsatzes alternativer Antriebe und Kraftstoffe in der Busflotte der Stadtwerke Gießen (SWG) analysieren.

Der politisch propagierte Paradigmenwechsel hin zu einer Elektromobilität im Straßenverkehr umfasst alle Bereiche vom Pkw über leichte bis hin zu schweren Nutzfahrzeugen. Zu den Letzteren zählen auch Linienbusse, die im Stadtverkehr aufgrund fest vorgegebener, reproduzierbarer Linien das Potenzial eines reduzierten Aufwands für die erforderliche Energiezuführungs-Infrastruktur aufweisen und somit für die Einführung der Elektromobilität prädestiniert scheinen. Die Entwicklung von Elektrobussen – mit der Ausnahme des (partiell) oberleitungsgebundenen Trolley-(Hybrid-) Busses – steht jedoch noch am Anfang. Andererseits haben etablierte, konventionelle Antriebe für Linienbusse – Diesel- und Erdgasantriebe – bereits einen derart hohen Reifegrad erreicht, der bei allen Herstellern ein Nahe-Null-Emissionsniveau bei vertretbarer Wirtschaftlichkeit ermöglicht. Dies belegen umfangreiche Messreihen des Instituts BELICON, die belastbar aussagen, dass die Emissionsreduzierung der Euro-VI-Fahrzeuge einem „Quantensprung“ im Vergleich zur Vorgängerstufe Euro V/EEV entspricht. Dies wurde auch in der Studie **„On-Road-Emissionsvermessung (PEMS) von Euro-VI-Gelenkombussen in Gießen: Vergleich der Realemissionen eines CNG- und eines Diesel-Gelenkbusses des Herstellers MAN im Linienbetrieb auf den repräsentativen Gießener Stadtbuslinien 801 und 1“** (Bericht Nr. BELICON/SWG-1-21.08.2016) aufgezeigt.

Generell weisen einige Vertreter der Euro-VI-Population bei den emittierten kritischen Komponenten Partikel (PM, Particulate Matter; PN, Particulate Number) und Stickoxide (NO_x; NO und NO₂) je nach Umgebungsbedingungen sogar eine geringere Konzentration auf als in der angesaugten Umgebungsluft. Folglich besteht hinsichtlich der Partikelimmissionen – und hier insbesondere des als kanzerogen bewerteten

Feinstaub (PM10) – sowie hinsichtlich der Stickoxidimmissionen – und hier insbesondere bezüglich des Reizgases NO₂ – für Linienbusse mit Verbrennungsmotor ab der Grenzwertstufe Euro VI bereits kein akuter Handlungsbedarf mehr.

Nach der Androhung der EU von Sanktionen gegen die deutsche Bundesregierung aufgrund signifikanter Überschreitungen der Luftqualitätsgrenzwerte in einigen Kommunen und Ballungsräumen und den erfolgreichen Klagen von Umweltverbänden gegen einzelne Kommunen kann für die Verkehrsunternehmen nach dem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 27.02.2018 dort Handlungsbedarf vor Ort entstehen, wo die Immissionen an Stickoxiden (gemessen wird das Reizgas NO₂) überschritten werden. Im Fokus stehen aktuell – forciert durch die vermeintliche „Dieselkrise“ aufgrund Betrugsvorwürfen gegen die Pkw-Industrie – insbesondere die Stickoxidemissionen (NO_x) aus Dieselmotoren. Straßenfahrzeuge machen im Mittel etwa 40 % der Stickoxidemissionen aus – in Gießen rund 70 %. Somit bestehen aktuell ernsthafte Bestrebungen der Bunderegierung – insbesondere motiviert durch die Androhung von Klagen der EU und DUH wegen der Überschreitung der Luftqualitätsgrenzwerte in einigen Kommunen –, die Plakettenzuordnung mit Bezug auf Stickoxidemissionen zu ergänzen („blaue Plakette“), was weiteren Handlungsbedarf – auch in Bezug auf eine potenzielle Forderung von Nachrüstung mit SCR-Systemen bei älteren Dieselfahrzeugen – hervorrufen könnte. Vorbeugend hatte der Bund auf dem zweiten Kommunalgipfel am 28. November 2017 mit dem „Sofortprogramm Saubere Luft 2017-2020“ ein Maßnahmenpaket für bessere Luft in Städten aufgelegt. Für das Sofortprogramm steht ab sofort 1 Milliarde Euro bereit. Gegenstand des Programms sind einerseits Maßnahmen für die Elektrifizierung des urbanen Verkehrs und die Errichtung von Ladeinfrastruktur und für die Digitalisierung von Verkehrssystemen, andererseits zur Nachrüstung von Diesel-Bussen im ÖPNV mit wirkungsvollen (SCRT-) Abgasnachbehandlungssystemen. Alle Maßnahmen sollen schon bis 2020 – also kurzfristig – Wirkung entfalten. Das Sofortprogramm soll soweit möglich auf Grundlage der bestehenden Förderrichtlinien des Bundes umgesetzt werden, wobei bestehende Förderprogramme finanziell aufgestockt werden. Alleine für die Nachrüstung von Linienbussen wurden 107 Mio. € bereitgestellt.

Insofern herrscht in vielen Verkehrsunternehmen aktuell Verunsicherung, welche Antriebstechnologie kurz- und mittelfristig für die Fahrzeugneubeschaffung aus ökologisch-ökonomischen Erwägungen das Optimum bietet und welche Maßnahmen zur Emissionsverbesserung bestehender Fahrzeugflotten zur Verfügung stehen. Dieses Spannungsfeld beschreibt auch Abbildung 1-1. Deshalb soll im Rahmen dieser Studie auf der Basis der Randbedingungen der Stadtwerke Gießen/MIT.BUS ein Vergleich der etablierten und alternativen Antriebstechnologien für Linienbusse bezogen auf die konkrete Flottenzusammensetzung erfolgen und auch ein Ausblick auf die weitere, mittelfristige Entwicklung gewagt werden. So soll in dieser Studie die Analyse der konventionellen Linienbusantriebe im Vergleich zu den Alternativen des Spektrums Elektromobilität insbesondere für die Bedingungen der SWG und deren durchschnittliche Liniencharakteristik auf den Betrachtungshorizonten 2018 („heute“) und 2030 („mittelfristig“) für eine von der SWG dokumentierte, charakteristische mittlere Zyklusgeschwindigkeit von ca. 16,7 km/h und eine mittlere Jahresfahrleistung von 46.000 km angesetzt werden. Die SWG/MIT.BUS betreibt in der Summe 56 Busse, davon 23 Solo- und 33 Gelenk-Busse. Weitere Verbesserungen durch einen kompletten Umstieg auf eine CNG-Busflotte mit Biogas im Vergleich zu den Optionen der Elektromobilität sollen quantifiziert werden.

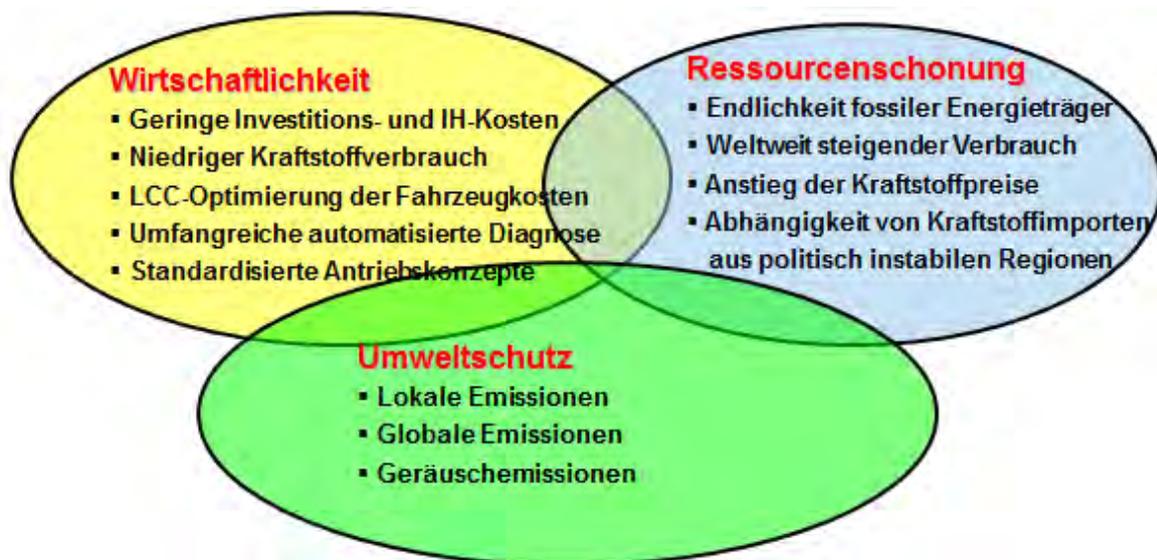


Abb. 1-1: Treiber für die Weiterentwicklung von Antriebssystemen bei Linienbussen

Die ökologischen und ökonomischen Vergleiche sollen sich somit auf folgende sechs Szenarien (Flottenzusammensetzungen) beziehen:

- **aktuelle SWG-Flotte 2018.**
- **SWG-Flotte nach Ersatz aller Diesel- durch Erdgasbusse**, differenziert nach den Optionen „Erdgas“ und „Biogas“.
- **SWG-Flotte besteht ausschließlich aus Elektrobussen**, differenziert nach den Optionen
 - „Opportunity Charger“ (Gelegenheitslader),
 - „Overnight Charger“ (Nachtlader) und
 - Brennstoffzellen-Hybrid.

Es sei an dieser Stelle betont, dass in der Regel die **Elektromobilität für jedes Verkehrsunternehmen und seine Randbedingungen ein individuelles System** darstellt, bei dem Fahrzeug- und Antriebstechnik, Batterietyp, Energiezuführungsart/Ladetechnik und Betriebsmuster auf die jeweilige Linientopologie exakt abgestimmt sein müssen. Die zugehörigen Analysen für geeignete Positionen der Ladeinfrastruktur im Bediengebiet der SWG und eventuelle weitere Erfordernisse aufgrund z.B. lokal nicht vorhandener Mittelspannungsnetze sind nicht Gegenstand dieser Studie, so dass in dieser Studie Mehraufwendungen für die Infrastruktur lediglich pauschal dargestellt werden können.

2 Gewählter Systemansatz für die ökologische und ökonomische Analyse

Für eine umfassende ökologische und ökonomische Bewertung von Fahrzeugflotten müssen alle Stationen des Lebenszyklus von Linienbusverkehrssystemen wie

- Fahrzeugproduktion (und ggf. -entsorgung),
- Kraftstoffbereitstellung (Well-to-Tank; WTT),
- Fahrbetrieb (Tank-to-Wheel; TTW) und
- Instandhaltung

in die Analyse einbezogen werden, da die **isolierte Betrachtung nur des eigentlichen Fahrbetriebs zu völlig falschen Schlüssen führen** kann, da in allen o.g. Subsystemen Energie verbraucht wird und Emissionen entstehen. Erst auf diese Weise können im engen Kontext einer „ganzheitlichen“ ökologischen Integrität zielführende Lösungsansätze für Linienbusverkehrssysteme mit sowohl geringen lokalen als auch globalen Emissionen bei hoher Energieeffizienz und reduzierten Geräuschen systembezogen identifiziert werden. So kann z.B. eine „Nullemission“ der Elektromobilität im

Einsatz vor Ort durch ggf. höhere Emissionen in der Kraftstoffbereitstellung und Fahrzeugproduktion zu signifikanten ökologischen Nachteilen führen.

Im Hinblick auf eine klare Differenzierung der Lebenszyklusphasen bietet sich für das System „Linienbus“ eine Anordnung der Subsysteme nach R. Pütz wie folgt an:



Abb. 2-1: Allgemeines Modell für das ökologische System „Linienbus“ mit Subsystemen in Lebenszyklusbetrachtung nach R. Pütz, Diss.

Beschaffung	Linienbus-Kapitaldienst		
Nutzung	Kraftstoff- und Reagenskosten	Personalkosten Fahrbetrieb, Sonstige Personalkosten, Sonstige Kosten, Externe Kosten	Linienbus-Instandhaltung
Rücknahme	Linienbus-Restwert		

Abb. 2-2: Allgemeines Modell für das ökonomische System „Linienbus“ mit Subsystemen in Lebenszyklusbetrachtung nach R. Pütz, Diss.

Die grün hervorgehobenen Subsysteme bilden das System „Linienbus“, das eine umfassende ökologische und ökonomische Analyse erlaubt.

Bei der Analyse der Emissionen stehen als **lokal** wirksame Hauptkriterien die Partikel- und Stickoxid-Emissionen und als **global** wirksame Hauptkriterien die CO₂-Emissionen bzw. das CO₂-Äquivalent im Vordergrund, deren Wirkungen über die Bestimmung der externen Kosten als **ökologisches Profil** einer Antriebstechnik zusammengefasst werden können.

Bei der ökonomischen Analyse erfolgt die Fokussierung auf die „Fahrzeugkosten“, die aus Kapitaldienst, Kraftstoff/Energiekosten und Instandhaltungskosten gebildet werden, ergänzt durch die Kosten für die Energiezuführungsinfrastruktur.

3 Untersuchte konventionelle und alternative Antriebe

Als „konventionell“ können Linienbusse mit den etablierten Diesel- und Erdgasantrieben bezeichnet werden. Dabei ist eine „Mild-Hybridisierung“ beim Dieselantrieb durch Einsatz von sogenannten Rekuperationsmodulen bereits heute als Serienstandard verfügbar (EvoBus stellte ein solches Fahrzeug mit 48-V-Bordnetz auf der Busmesse 2017 in Kortrijk vor, MAN im Frühjahr 2018). Linienbusse mit konventionellem, verbrennungsmotorischem Antrieb machen heute immer noch rund 98% der deutschen Linienbusflotte aus (vgl. Abbildung 3-1).

Antriebstechnologie	Prozent
Diesel konventionell	94,85
Diesel-Hybrid	1,65
Erdgas (CNG)	2,91
Wasserstoff-Verbrennungsmotor (H2 ICE)	0,00
Brennstoffzellen (BZ)-Hybrid	0,04
Batterie	0,21
Trolley	0,29
Trolley-Hybrid	0,04
Summe	100,00

Abbildung 3-1: Antriebstechnologien in der deutschen Linienbusflotte 2017 (Stadt- und Überlandbusse) (Quelle: VDV)

Trotz zahlreicher Pilotprojekte und Praxiserprobungen von Verkehrsunternehmen mit alternativen Antrieben, die in der Regel national von den Ministerien BMVI, BMU und BMWI sowie international durch EU-Förderprojekte (z.B. ZeEUS, Zero Emission Electric Urban Bus System und ELIPTIC, Electrification of Public Transport in Cities) finanziert und medienwirksam präsentiert werden, ist der prozentuelle Anteil an alternativen Antrieben in der deutschen Linienbusflotte noch vernachlässigbar gering. In

der Summe erreichen Linienbusse mit Batterien und Brennstoffzellenantrieb heute einen Anteil von nur 0,25 Prozent der VDV-Linienbusflotte, obwohl umfangreiche Marketingmaßnahmen einen anderen Anschein erwecken mögen. Mittelfristig wird weiterhin die Li-Ionentechnik der 2. und 3. Generation eingesetzt werden. Erst die Post-Li-Ionen-Technologie, deren Einführung nach 2030/2035 erwartet wird, dürfte zu signifikanten Effizienzsteigerungen führen. Heute ist der forcierte Einsatz von Batterie- und Brennstoffzellenbussen lediglich von jenen Verkehrsunternehmen verantwortbar durchführbar, die auf eine umfangreiche öffentliche Förderung zurückgreifen können und zudem eine „kritische Größe“ der Fahrzeugpopulation überschreiten, da der reguläre Betrieb trotz der Erprobung alternativer Antriebe mit i.d.R. signifikant geringerer Verfügbarkeit aufrechterhalten werden muss.

Auch die zwischenzeitlich als betrieblich serienreif zu bezeichnenden Busse der Brückentechnologie (Full-)Hybrid, die seit längerem im Einsatz sind und bei den alternativen Antrieben dominieren, machen heute lediglich rund 1,65 Prozent der Linienbusflotte aus.

Fast alle renommierten Fahrzeughersteller bieten heute nicht nur Dieselse, sondern auch Erdgasbusse in Serie an. Oftmals sind CNG-Solo- und Gelenkbusse sowie dreiachsige Großraum-Solobusse sowohl in Stadt- als auch Überlandausführung erhältlich. Folgende namhafte Hersteller (in alphabetischer Reihenfolge) bieten Erdgasbusse auf dem deutschen Markt an:

Hersteller	Standard-Solobus	Gelenkbus	Großraumbus	Doppel-Gelenkbus
Iveco	Urbanway CNG	Urbanway G CNG	-	-
MAN	Lion's City CNG	Lion's City G CNG	Lion's City L CNG	-
Mercedes-Benz	Citaro NGT	Citaro G NGT	-	-
Scania	Citywide CNG	Citywide CNG	Citywide LE CNG	-
Solaris	Urbino 12 CNG	Urbino 18 CNG	Urbino 15 CNG	-
Van Hool	-	Exqui. City 18 CNG (Hybrid)	-	Exqui. City 24 CNG (Hybrid)

Abbildung 3-2: Auf dem deutschen Markt verfügbare CNG-Erdgasbusse

Ebenso sind Diesel-(Full-)Hybride in paralleler, serieller und leistungsverzweigender Ausführung zwischenzeitlich bei fast allen namhaften Hersteller im Angebot (nachfolgend in alphabetischer Reihenfolge):

Hersteller	Standard-Solobus	Gelenkbus	Großraumbus	Doppel-Gelenkbus
Heuliez	GX 337 Hyb	GX 437 HYB	-	-
Iveco	Urbanway Hybrid	Urbanway G Hybrid / Crealis 18m Hybrid	-	-
King Long	E12	-	-	-
MAN	Lion's City Hybrid	-	-	-
Mercedes-Benz	Citaro Hybrid	-	-	-
Scania	Citywide LE Hybrid	-	Citywide LE Hybrid	-
Solaris	Urbino 12 Hybrid	-	-	-
Van Hool	A330 / A360 / A300 Hybrid	AG300 Hybrid / Equi. City 18 Hybrid	-	Equi. City 24 Hybrid
VDL	Citea SLF-120 Hybrid	-	-	-
Volvo	7900 H /7900 EH	7900 LAH	-	-

Abbildung 3-3: Auf dem deutschen Markt verfügbare Diesel-Full-Hybridbusse

Der Markt für Elektrobuse ist in rasanter Entwicklung, jedoch treten hier zurzeit nur wenige der großen Hersteller auf. Somit wird die für 2019 angekündigte Elektrobusergeneration bei EvoBus-Mercedes Benz und die 2020 serienmäßig bei MAN erhältliche Elektrobusergeneration mit konzerneigenen VW-Batterien mit großer Spannung erwartet. Folgende Hersteller (in alphabetischer Reihenfolge) bieten heute schon Elektrobuse in Serie an:

Hersteller	Standard-Solobus	Gelenkbus	Doppel-Gelenkbus
Alstom	Aptis	-	-
BYD	Ebus 12	-	-
Ebusco	Citybus 2.1	-	-
Ebus Europa ebe	Blue City Bus	-	-
Higer/Chariot Motors	Electric Bus	-	-
Heuliez	GX 337 Linium Elec	GX 437 Linium Elec	-
Irizar	i2e	ie Tram 18	-
Optare	Metrocity MC, Versa V EV	-	-
Safra	Businnova	-	-
Scania	Citywide E	-	-
Sileo	S12	S18	S25
Solaris	Urbino 12 electric	Urbino 18 electric	-
SOR	NS12	-	-
Van Hool	A330 / A300 L FC	-	Equi. City 24 E
VDL	Citea SLF-120 Electric	Citea SLFA-181 Electric	-
Volvo	7900 Electric	-	-
Yutong	ICE 12	-	-

Abbildung 3-4: Auf dem deutschen Markt verfügbare Elektrobuse

Die Annahme, Elektrobus-Systeme – außer dem etablierten Trolley-(Hybrid-)System – seien bezüglich Serienreife und Verfügbarkeit mit Diesel- und Erdgasbussen gleichzusetzen, entbehrt aufgrund der aktuellen Praxiserfahrungen (auch der des Autors aus zahlreichen Projekten) zurzeit noch jedes belastbaren Nachweises. Die Abbildungen 3-5 und 3-6 zeigen die aktuelle Verfügbarkeit von Batteriebusssystemen, die je nach Hersteller zwischen 35 und 80 Prozent liegt und darüber hinaus starken monatlichen Schwankungen unterworfen ist.



Abbildung 3-5: Aktuelle Berichte zur Verfügbarkeit bzw. Zuverlässigkeit von heutigen Batteriebusssystemen

ZeEUS eBus Performance

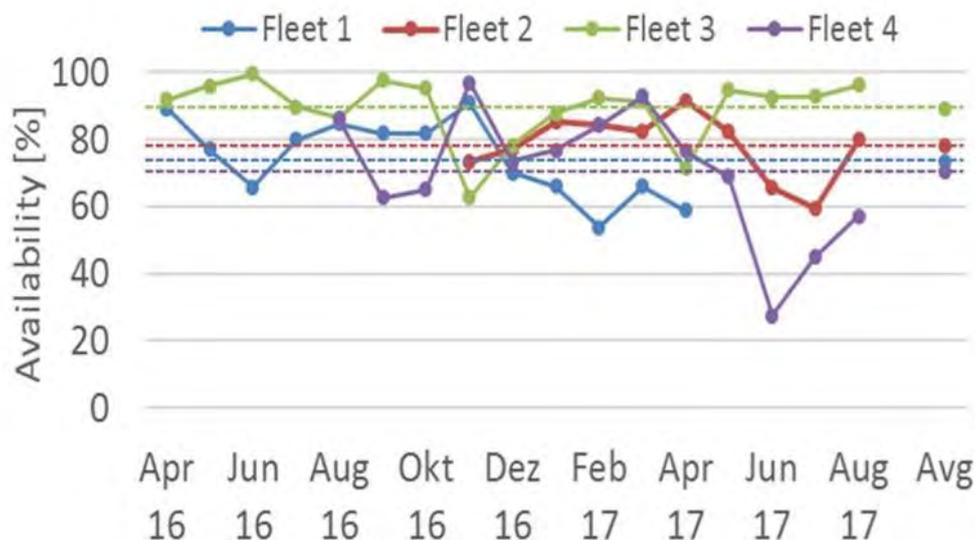


Abbildung 3-6: Verfügbarkeit der Batteriebusssysteme im wegweisenden europäischen Batteriebus-Projekt ZeEUS (Quelle: UITP, U. Guida); Flotte 3 bezieht sich auf Plug-in-Diesel-Hybride

Darüber hinaus treten hier vermehrt Hersteller auf, die – bis auf Solaris – keinen nennenswerten Marktanteil in Deutschland verzeichnen. Diese im deutschen Linienbusbereich neuen Akteure (mit der Ausnahme der auf dem Weltmarkt erfolgreichen Anbieter wie Volvo, Scania und Iveco) hinsichtlich der Präqualifikation mit den etablierten Herstellern EvoBus (Daimler Buses) und MAN gleichzusetzen, die seit Jahren zusammen knapp 90 Prozent der Neuzugänge im deutschen Linienbusbereich verantworten, wäre nach Bewertung des Autors sehr zu hinterfragen. Dies gilt insbesondere für Elektrobusse aus chinesischer Fertigung, die abgesehen vom Stand der Batterieentwicklung hinsichtlich der Fahrzeugqualität nicht mit europäischen Herstellern zu vergleichen sind. Somit wird die für 2018/20 angekündigte Elektrobusgeneration bei EvoBus und MAN hier eine aktualisierte Bewertung erfordern. Der Weltverband der Verkehrsunternehmen UITP äußert sich zur weiteren Entwicklung der Elektromobilität vorsichtig (siehe Abbildung 3-7), während die Hamburger Hochbahn als einer der Vorreiter der Elektromobilität in Deutschland in 2016 gar ein ernüchterndes Urteil fällte (siehe Abb. 3-8), aber zwischenzeitlich – ein Jahr später – für den Verkehrsverbund Hamburg die Beschaffung von 60 Batterie-Solobussen für 2019/2020 angekündigt hat. Auch die

BVG Berlin hat die Beschaffung von zunächst 30 Eindeckomnibussen und 15 Gelenkbussen mit Elektroantrieb sowie der entsprechenden Ladeinfrastruktur trotz der enttäuschenden Ergebnisse ihres Pilotprojekts angekündigt.



Abbildung 3-7: Batteriebus-Konfigurationen: Bewertung durch den Weltverband der Verkehrsunternehmen UITP (Quelle: UITP, 2017)

Einsatz von Elektrobusen bei der HOCHBAHN

- Grundsätzlich 3 Konzepte für Elektrobusse relevant
 - Batteriebusse mit kleinen Energiespeichern und dezentraler Ladeinfrastruktur an Endhaltestellen
 - Batteriebusse mit größeren Energiespeichern und Laden nur auf dem Betriebshof
 - Brennstoffzellenbusse bzw. Hybridbusse mit Brennstoffzellen zur Verbesserung der Reichweite
- Antriebe funktionell differenziert einsetzen

Batteriebusse	Brennstoffzellenbusse
<ul style="list-style-type: none"> Kürzere Linien ohne Linienwechsel im Umlauf Laden auf Betriebshof statt dezentral auf Linien Solowagen statt Gelenkbusse Geringere Flexibilität und Produktivität 	<ul style="list-style-type: none"> Längere Linien mit Linienwechsel im Umlauf Flexibilität und Produktivität wie Diesellobus Gelenkbusse, elektrische Nebenverbraucher Technisch komplexe Systeme
- Bei Betriebsüberwachung bisher überwiegend Fahrplan, Mitarbeiter und Fahrzeuge im Fokus – Künftig komplexe Systeme einschließlich Infrastruktur, Ladezustand Batterien etc.!
- Fahrpersonal und Betriebslenkung haben großen Einfluss auf den Umsetzungserfolg - Viele neue und zusätzliche Anforderungen!
- Bislang bietet noch kein Hersteller Busse an, die für regelmäßige und dauerhafte Einsätze tauglich sind (Reichweite, Verfügbarkeit)!**

Abbildung 3-8: Bewertung des Entwicklungsstandes der Elektromobilität durch die Hamburger Hochbahn, den Pionier der Batterie- und Brennstoffzellenbus-Erprobung in Deutschland (Quelle: HHA, U. Riedel, 2016)

Der Autor sieht die optimistische Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen bei Neufahrzeugen im Stadtbusbereich unter für die Elektromobilität günstigsten Annahmen

wie in Abbildung 3-9 dargestellt. Dabei wird ein Technologiefortschritt bei Batterien mit Migration auf die Post-Li-Ionen-Technik schon vor 2030 und damit optimistischer als in den Abbildungen 3-10 und 3-11 unterstellt. Nach Bewertungen in der Batterie Roadmap und seitens der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) ist jedoch mittelfristig kaum eine Verbesserung der Batterietechnik zu erwarten, so dass mittelfristig weiterhin die Li-Ionentechnik der 2. und 3. Generation eingesetzt werden wird (vgl. Abb. 3-11). Erst die Post-Li-Ionen-Technologie – ob Li-S, Li-Luft oder Festkörperbatterien, deren Einführung erst langfristig erwartet wird – würde zu Effizienzsteigerungen führen.

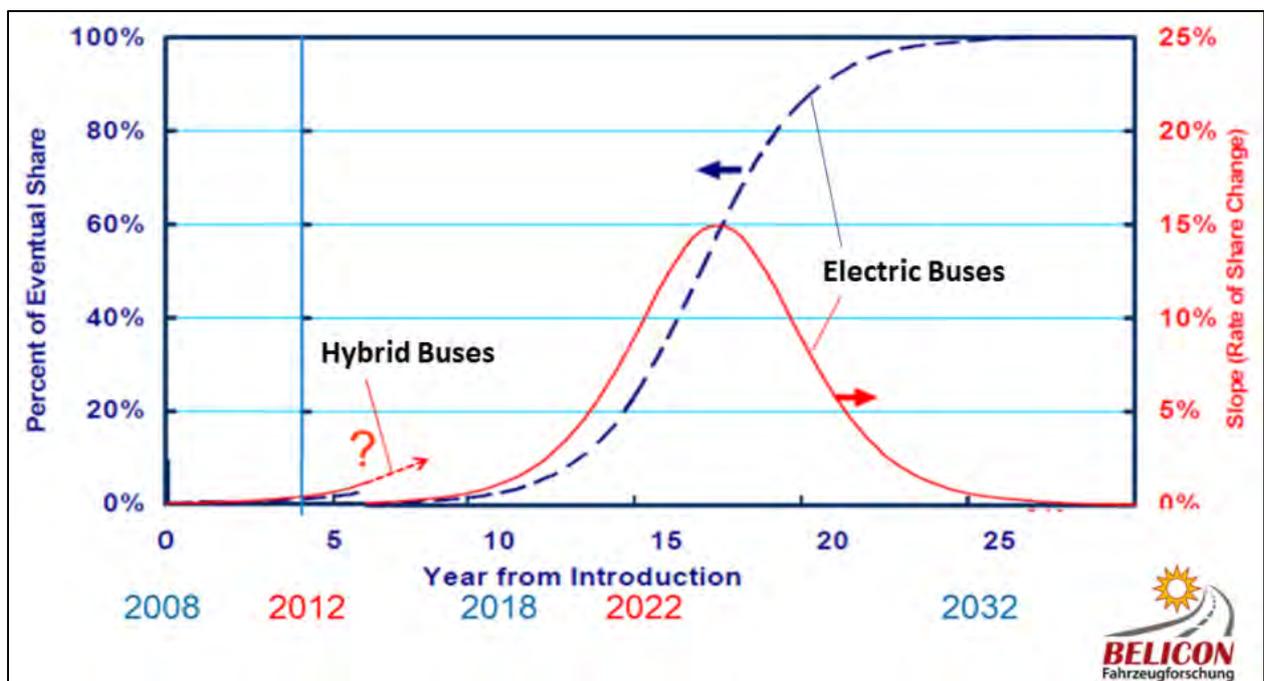


Abbildung 3-9: Potenzielle Marktdurchdringung von Elektrobussen: Entwicklung der Neuzugänge im Stadtbereich unter optimistischen Annahmen (Quelle: © BELICON)

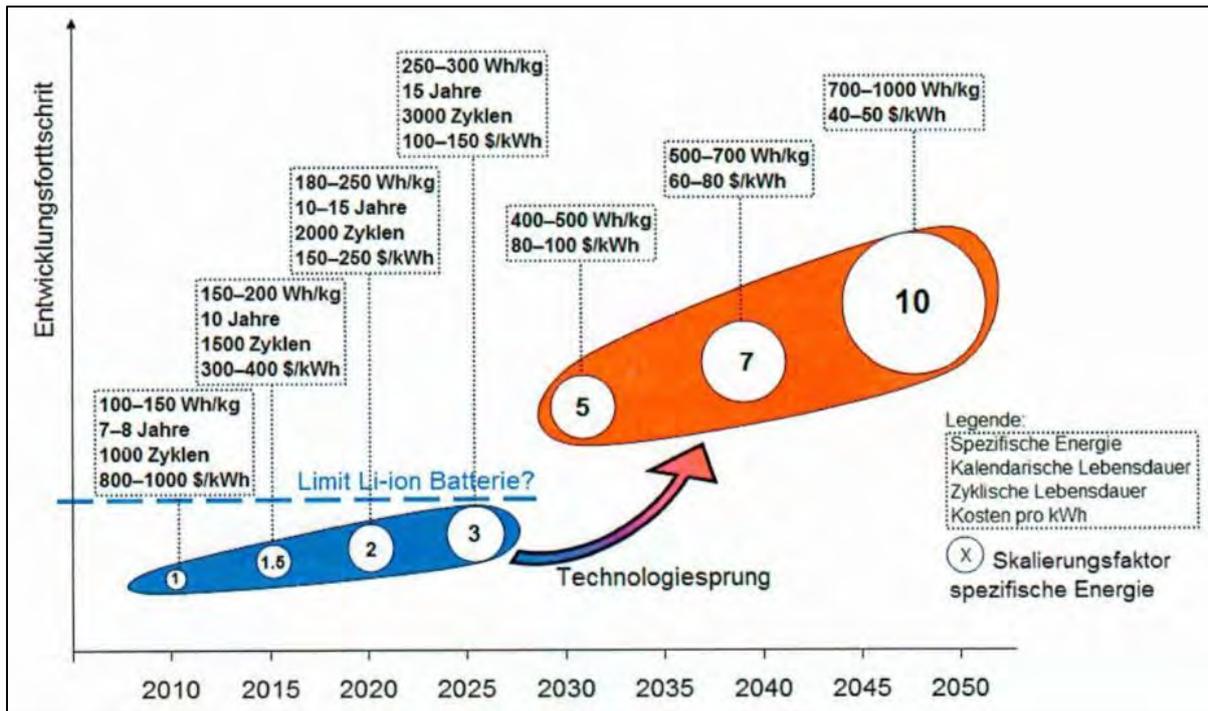
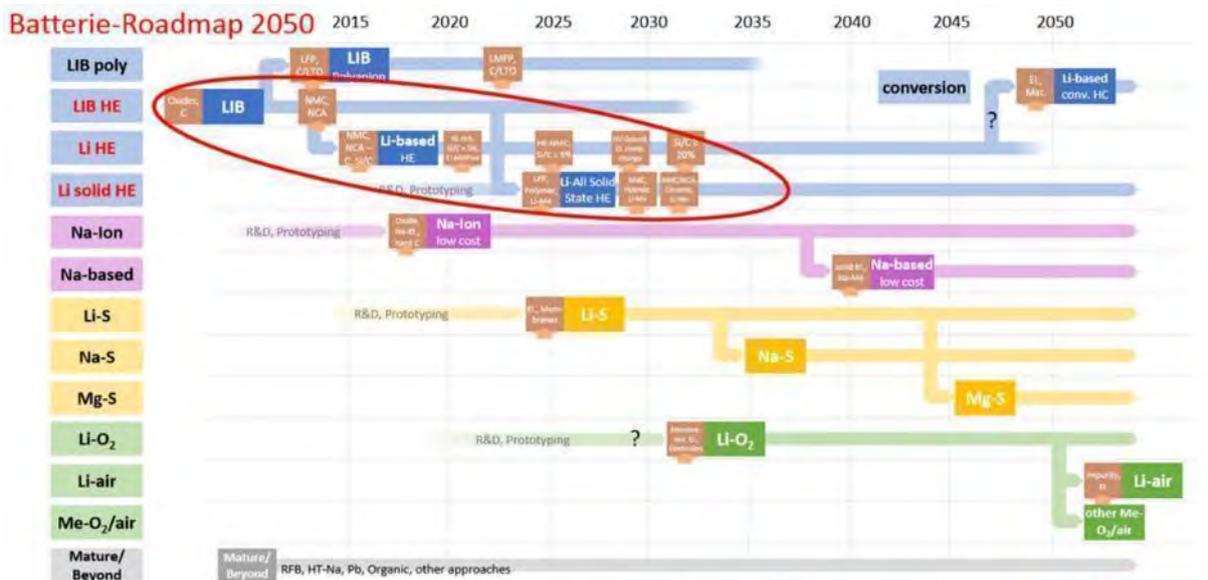


Abbildung 3-10: Aggregierte Technologie-Roadmap für Traktionsbatterien/mobile Anwendungen (Quelle: Schulz, A., Diss. 2015)



Fazit: „Quantensprung“ erst nach 2035?



Abbildung 3-11: Batterietechnologien für Fahrzeuganwendungen im Zeitverlauf (Quelle: Batterie Roadmap 2050)

Zunächst kann hier konstatiert werden, dass der zu konventionellen Antrieben äquivalente Einsatz alternativer Antriebstechnologien im deutschen ÖPNV, insbesondere von Batterie- und Brennstoffzellenbussen, heute folglich noch sehr begrenzt ist. Mit der Annäherung an eine betriebliche Serienreife dieser Technologien wird deren Einsatz zukünftig weiter forciert werden. Kleinere und mittlere Verkehrsunternehmen unterhalb einer Flottengröße von 200 Bussen dürften von einem breiten Einsatz alternativer Antriebe mit heute noch i.d.R. signifikant reduzierten Verfügbarkeiten des Gesamtsystems (inklusive der Energiezuführungs-Infrastruktur) völlig überfordert sein, da mit Ausnahmen der Unternehmen mit Straßenbahnen auch die Personal-Qualifikationsstruktur hier unzureichend ist. In den kleineren und mittleren Unternehmen beschränkt sich der Einsatz alternativer Antriebe aktuell sinnvollerweise allenfalls auf Einzelfahrzeuge, um Erfahrungen mit der Elektromobilität zu sammeln. I.d.R. muss auch erst eine Strategie für die mittel- bis langfristige Qualifizierung des Instandhaltungspersonals, das mit Ausnahme der großen Straßenbahnbetriebe völlig unvorbereitet für die Elektromobilität ist, gewählt werden.

In dieser Studie soll eine Analyse der etablierten, konventionellen Linienbusantriebe im Vergleich zu den Alternativen des Spektrums Elektromobilität auf den **Betrachtungshorizonten „heute“ (2018) und „mittelfristig“ (2030)** am Beispiel der SWG-Linienbusflotte erfolgen.

Zu den aktuell diskutierten, aussichtsreichen Konzepten der Elektromobilität zählen:

- **Opportunity-Elektrobus** (auch Opportunity Charger oder Gelegenheitslader, GL); verfügt über eine kleinere Batterie und muss auf der Linie regelmäßig nachgeladen werden. Dies erfordert eine Schnellladung mit hohen Strömen und Spannungen. Ladestationen sind zumindest an den Endhaltestelle der Linien anzusetzen.
- **Overnight-Elektrobus** (auch Nachtlader, NL), verfügt über eine große Batterie und wird daher lediglich über Nacht auf dem Betriebshof langsam und schonender nachgeladen.
- **Brennstoffzellen-Hybridbus**, BZ-Hybrid (konventionelle Brennstoffzellenbusse spielen keine Rolle mehr); aufgrund ggf. reduzierter Brennstoffzellenlebensdauer kann ein Ersatz-Brennstoffzellenstack erforderlich werden.

- **Trolley-Hybridbus** (auch „In-Motion-Charger“ oder Hybrid-Oberleitungsbus, HO); konventionelle Trolleybusse werden zukünftig keine Rolle mehr spielen).

Ein wichtiger umweltrelevanter Vorteil aller Elektrobuskonzepte sind die im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Antrieben reduzierten Geräuschemissionen. Praxismessungen des Instituts BELICON belegen, dass beim Verlassen der Haltestelle Elektrobusse um rund 5 dB(A) reduzierte Schalldruckpegel gegenüber Dieselbussen aufweisen, siehe Abbildung 3-12. Anzumerken ist, dass Erdgasbusse je nach Fahrzeug ein um knapp 2 dB(A) geringeres Schalldruckniveau als Dieselbusse aufweisen. Für eine quantifizierte Beurteilung der Umweltwirkungen aufgrund der Schallemissionen fehlt bislang allerdings eine gesetzliche Grundlage anhand z.B. externer Kosten wie bei Schadstoffemissionen (siehe EU-Beschaffungsrichtlinie 2009/33/EG). Dazu müssten jedoch nicht alleine die Schalldruckpegel, sondern diese auch mit Bezug auf die jeweiligen Frequenzen, begutachtet werden. Deshalb unterbleibt in dieser Studie eine Bewertung der Geräuschemissionen.

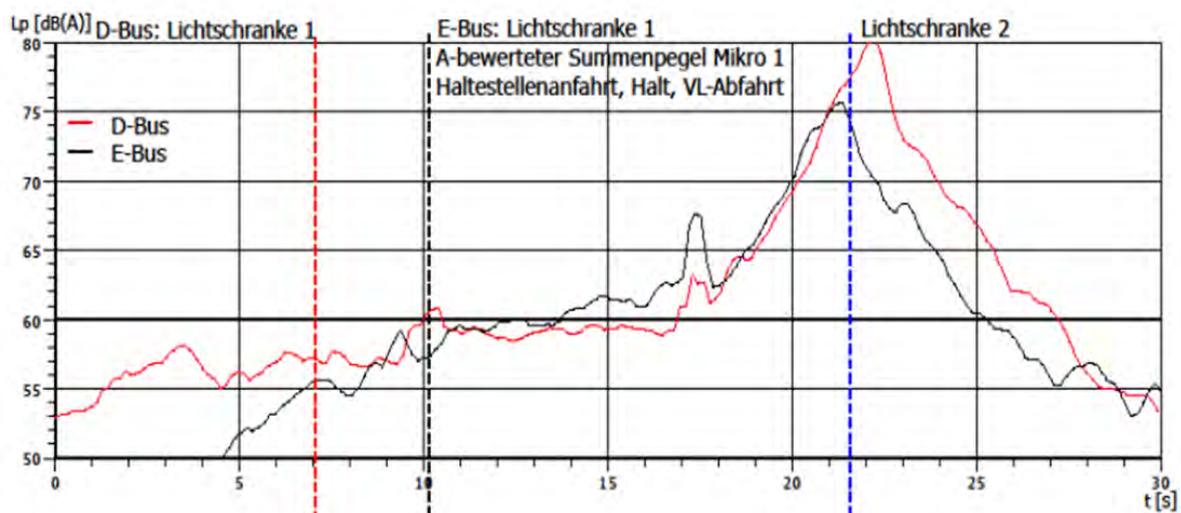


Abbildung 3-12: Beispiel für Außengeräusche von Diesel (D-Bus)- und Batteriebus (E-Bus) bei Haltestellenanfahrt (A-bewerteter Summenpegel) (Quelle: BELICON©)

Neben den ökonomischen Parametern auf der Basis der Fahrzeugkosten (Kapitaldienst, Kraftstoff- und Instandhaltungskosten) sowie Infrastrukturkosten wird die Wirtschaftlichkeit auch durch betriebliche Parameter beeinflusst. So weisen z.B. Overnight-Charger-Batteriebusse, die im Solobus Batteriekapazitäten von über 300 kWh besitzen, aufgrund der großen Batteriegewichte geringere

Fahrgastkapazitäten als konventionelle Busse mit Verbrennungsmotor auf. Dies bedeutet, dass zum Ersatz eines konventionellen Busses in der Morgenspitze zwei Batteriebusse eingesetzt werden müssten, vgl. Abbildung 3-13. Des Weiteren wird im Winter und Sommer, wenn forciert Heizenergie bzw. Energie zum Betrieb der Klimaanlage aus der limitierten Energiekapazität der Batterie geliefert werden muss, die geforderte Tagesfahrstrecke von mehr als 300 km nicht erreicht, so dass aufgrund langer Ladezeiten auch hier zwei Batteriebusse einen konventionellen Bus ersetzen müssen (vgl. Abbildungen 3-14 und 3-15). Die Kombination dieser Einflüsse, z.B. Morgenspitze im Winter, verstärkt die Problematik weiter signifikant.

Die anderen Optionen des Spektrums Elektromobilität weisen derart ausgeprägte Einschränkungen in der Fahrgastkapazität und in den Ladezeiten (Energiezuführung) nicht auf. Beim Opportunity-Charger können sich jedoch bei Ausfall einer der Ladestationen Beeinträchtigungen des gesamten Betriebsablaufs ergeben. Dies gilt auch bei Verspätungen und Zugriff mehrerer Linien auf eine Ladestation.

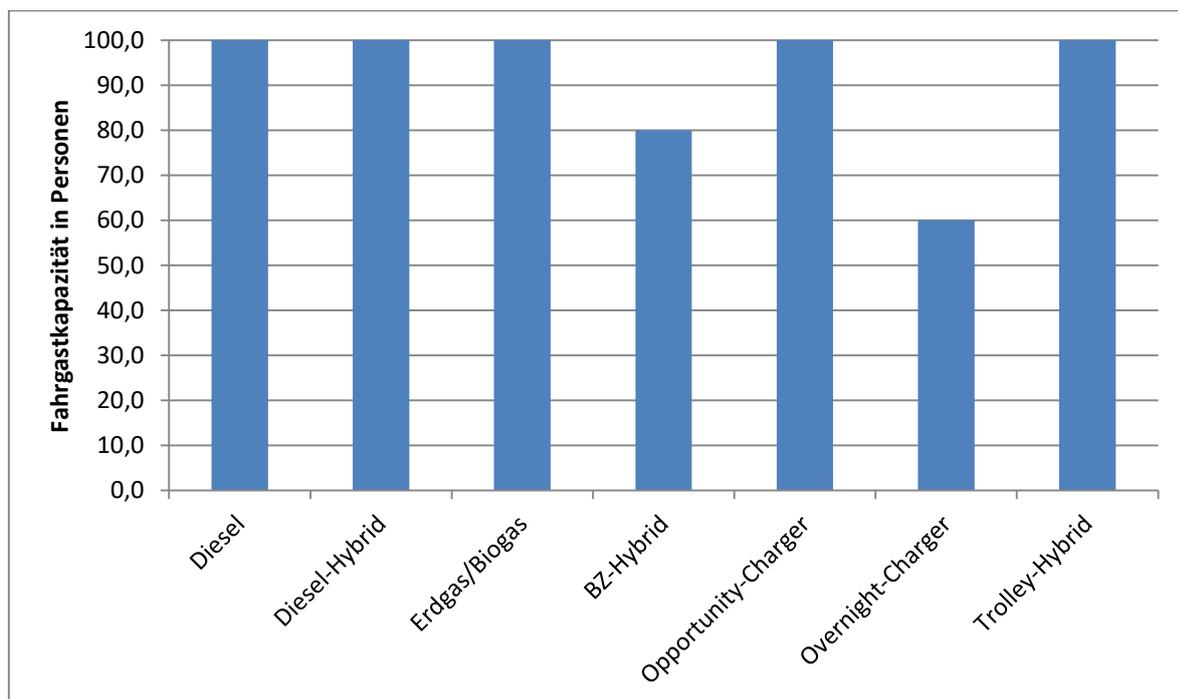


Abb. 3-13: Fahrgastkapazität von Solo-Linienbussen nach Antriebssystem

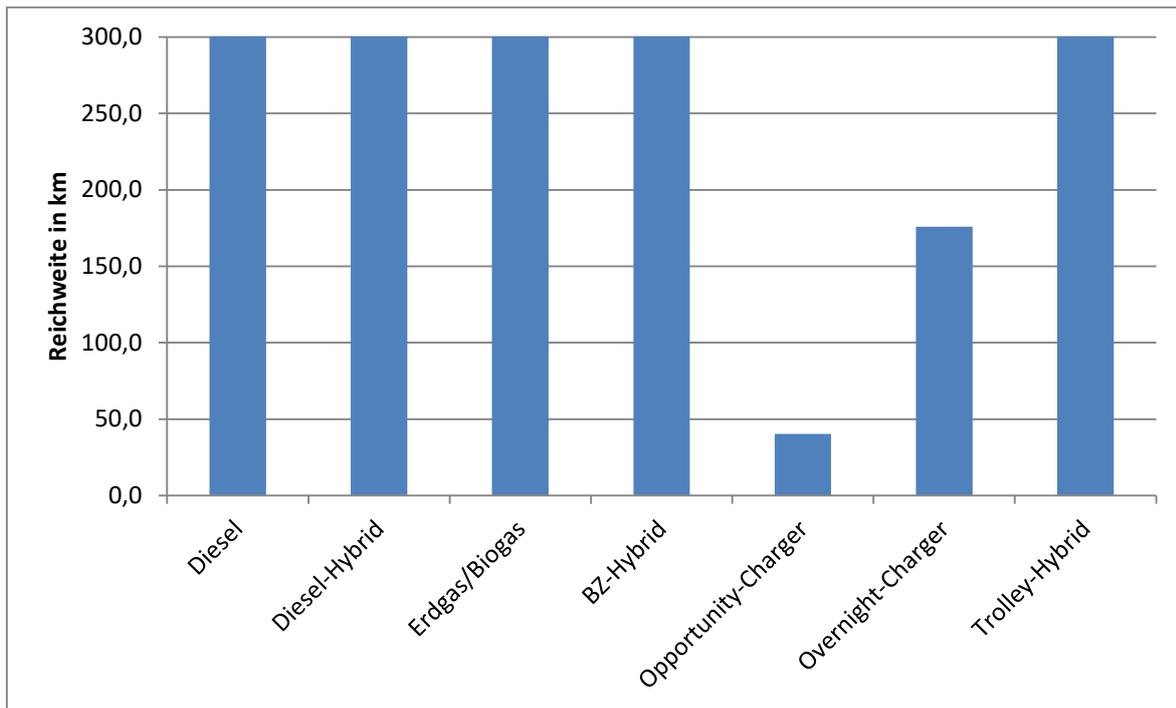


Abb. 3-14: Reichweite von Solo-Linienbussen nach Antriebssystem (gefordert: >300 km pro Tag)

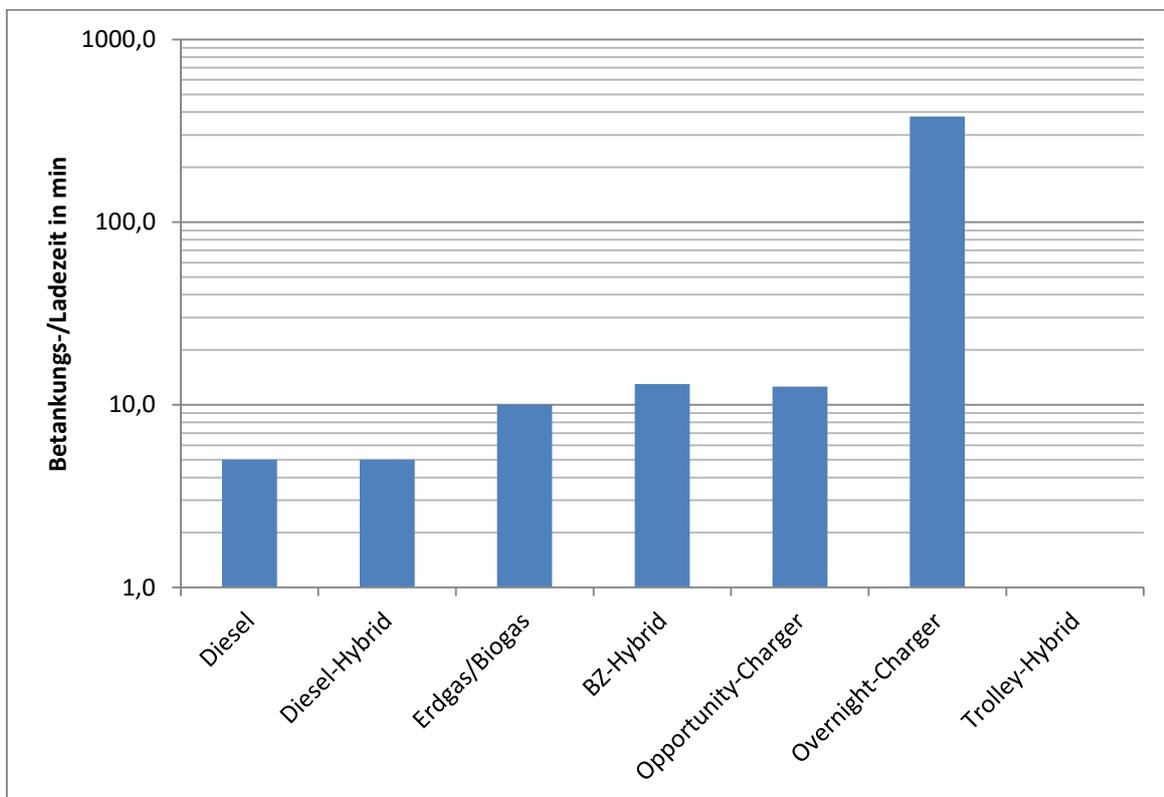


Abb. 3-15: Betankungszeit bei Linienbussen nach Antriebssystemen

4 Ökologischer Vergleich von konventionellen und alternativen Antrieben

Die **ökologische Gesamtbewertung** erfolgt hier gemäß der sogenannten „Beschaffungs“-Richtlinie 2009/33/EG (Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge) anhand der Summierung der externen Kosten aus den lokalen und globalen Emissionen aller Subsysteme gemäß Kapitel 2 wie:

- Kraftstoffbereitstellung (WTT; Well-to-Tank),
- Fahrzeugproduktion,
- Fahrbetrieb (TTW; Tank-to-Wheel) und
- Instandhaltung

und charakterisiert somit in der Summe die Umweltrelevanz der untersuchten Antriebsvarianten zum jeweiligen Stand. Wichtige Randbedingungen dieser Umweltbilanz sind dabei die funktionelle Einheit, die Bilanzgrenzen und die berücksichtigten Umweltwirkungen, die nachfolgend detailliert erläutert und insbesondere hinsichtlich des Subsystems Fahrbetrieb auf den speziellen Anwendungsfall der SWG bezogen werden. Als funktionelle Einheit wird ein mit einem **Solobus** erbrachter Kilometer (Fahrzeug-km) im Linienbetrieb definiert. Als Bilanzgrenze für den Vergleich der Umweltwirkungen wird als geographischer Bezugsrahmen Deutschland und als zeitlicher Bezugsrahmen einerseits der aktuelle Stand der Technik (Jahr 2018), andererseits ein Szenario mit im Jahr 2030 neu eingesetzten Bussen betrachtet.

Die Daten für die **Kraftstoff- und Strombereitstellung** (WTT) basieren auf aktuellen Daten und sind mit dem Tool von LBST abgeglichen. Für die **Emissionen im Fahrbetrieb** während der Nutzung (Auspuffemissionen der Diesel- und Erdgasbusse) werden aktuelle PEMS-Messergebnisse im Fahrbetrieb angesetzt, erhoben durch das Institut BELICON in Gießen 2016 und auf eine mittlere Zyklusgeschwindigkeit von 16,7 km/h normiert. Es werden also „echte“ Emissionsdaten verwendet, da die im Handbuch für Emissionsfaktoren (HABEFA Version 3.2) genannten Daten völlig unspezifisch und nach den Erfahrungen des Autors daher auch nur begrenzt geeignet sind. Anzumerken ist, dass die von den SWG genannte mittlere Zyklusgeschwindigkeit von 16,7 km/h

unterhalb des leichten Stadtverkehrs (SORT 2; durchschnittlicher deutscher Stadtverkehr, 18 km/h) liegt und folglich einen für deutsche Verhältnisse recht anspruchsvollen Stadtverkehr repräsentiert.

Daten zur **Herstellung der Fahrzeuge** basieren auf R. Pütz, Diss. 2010 und sind mit neueren Quellen (z.B. LBST-Tool) abgeglichen. Die Energieverbräuche und Emissionen des Bereichs Instandhaltung differieren zwischen den einzelnen Antriebsoptionen nur marginal und werden nachfolgend nicht berücksichtigt.

4.1 Vorkette (WTT; Well-to-Tank)

4.1.1 Dieselkraftstoff

Die Bereitstellung von Dieselkraftstoff erfolgt üblicherweise auf Basis eines Mixes aus konventionellem Rohöl (heute dominierend), unkonventionellem Rohöl sowie aus Kohle (Coal-to-Liquid) und Erdgas (Gas-to-Liquid). Die Treibhausgasemissionen aus der Bereitstellung von Dieselkraftstoff aus konventionellem Rohöl, über Coal-to-Liquid und über Gas-to-Liquid basieren auf JEC, 2014. Die Emissionen aus der Bereitstellung von Dieselkraftstoff aus Ölsanden wurden auf Basis von Daten des Öko-Instituts, 2009 berechnet. Für Ölschiefer wurde auf Daten der Förderung und Verarbeitung von Ölschiefer in Estland (in Gavrilova et al., 2010; Kuusik, 2012; Sabanov, Sokman, 2008) zurückgegriffen sowie auf Daten von Brandt, 2009 (Minenbetrieb), Quian, Wang, 2006 (Stromverbrauch Galoter-Prozess) und Öko-Institut, 2011 (Schadstoffemissionen aus Verbrennungsprozessen). Abbildung 4-1 zeigt die Emissionen aus der Bereitstellung von Dieselkraftstoff für unterschiedliche Kraftstoff-Bereitstellungspfade. Die Anteile der für die Bereitstellung von Dieselkraftstoff eingesetzten Rohstoffquellen entstammen Daten der IEA, 2013 und sind in Abbildung 4-2 aufgeführt.

Rohstoffquelle	CO₂-Äquivalente [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Partikel [g/kWh]
Konventionelles Rohöl	55,1	0,138	0,005
Teersand	115,3	0,262	0,006
Ölschiefer	243,8	0,137	0,251
Kohle (Coal-to-Liquid)	469,6	0,311	0,037
Erdgas (Gas-to-Liquid)	84,2	0,219	0,007

Abbildung 4-1: Emissionen aus der Kraftstoffvorkette für unterschiedliche Bereitstellungspfade

Rohstoffquelle	2018	2030
Konventionelles Rohöl	97,6%	94,4%
Teersand	1,6%	3,5%
Ölschiefer	0,4%	0,8%
Kohle (Coal-to-Liquid)	0,2%	0,7%
Erdgas (Gas-to-Liquid)	0,2%	0,5%

Abbildung 4-2: Herkunft des Dieselmotorkraftstoffs für Deutschland im Zeitverlauf

Die Emission von globalen und lokalen Emissionen für die Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff für Deutschland auf den Zeithorizonten heute (2018) und mittelfristig (2030) sind in Abbildung 4-3 dokumentiert.

Jahr	CO₂- Äquivalente [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Partikel [g/kWh]
Mix 2018	57,8	0,141	0,006
Mix 2030	62,0	0,144	0,008

Abbildung 4-3: Globale und lokale Emissionen für die Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff für Deutschland im Zeitverlauf

4.1.2 Erdgas und Biogas

Die Bereitstellung von Erdgas erfolgt üblicherweise auf Basis eines Mixes aus unterschiedlichen Herkunftsländern. Für die Ermittlung der Vorkettenemissionsfaktoren

wurden Daten von IFEU/Wingas, 2015, Jahresberichte der Erdgas- und Erdölunternehmen, die in Ecoinvent 2.2 (2012) verfügbaren Datensätze sowie Daten von Zukunft Erdgas/DBI, 2016 verwendet. Die Modellierung der Erdgas-Vorkette umfasst hier die Förderung, Aufbereitung und den Transport. Dabei weist die Erdgasbereitstellung aus Russland und Katar die höchsten Treibhausgasemissionen auf, jene aus den Niederlanden, Norwegen, Großbritannien und Deutschland hingegen vergleichsweise geringe. Nachfolgend sind die Emissions-Beiträge der Bereitstellung von Erdgas je nach Herkunftsland in Abbildung 4-4 aufgeführt.

Rohstoffquelle	CO₂- Äquivalente [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Staub/Partikel [g/kWh]
Russland	56,7		
Katar	48,9		
Algerien	26,4		
Deutschland	16,0		
Großbritannien	15,5		
Niederlande	3,6		
EU-Mix	28,6	0,162	0,006

Abbildung 4-4: Emissionen aus der Kraftstoffvorkette für unterschiedliche Herkunftsländer; in Deutschland basiert die Erdgasversorgung auf dem üblichen EU-Mix

Die Emission von globalen und lokalen Emissionen für die Bereitstellung von Erdgas für Deutschland auf den Zeithorizonten heute (2018) und mittelfristig (2030) basieren auf dem EU-Mix sowie der Annahme, dass in diesem für 2030 ein Anteil von 10% an Erdgas aus noch größerer Transportentfernung von den Erdgasfeldern (7.000 km) und 5% an Biogas mit einer 90,42%igen CO₂-Reduzierung (auf der Basis der Angaben der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2017) enthalten sind, siehe Abbildung 4-5.

Jahr	CO ₂ - Äquivalente [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Partikel [g/kWh]
Mix 2018	28,6	0,162	0,003
Mix 2030	27,9	0,164	0,004

Abbildung 4-5: Globale und lokale Emissionen für die Bereitstellung von Erdgas für Deutschland/EU im Zeitverlauf

Je nach Genese verändern sich die Stickoxidemissionen des Bereitstellungspfades für Biogas gegenüber fossilem Erdgas um den Faktor 0,30 bis 1,13, jene für die Partikelemissionen um den Faktor 0,20 bis 4,33 (Fachverband Biogas und Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung). Diese Werte für die lokalen Emissionen weisen je nach Genese des Biogases eine enorme Bandbreite auf. Nachfolgend finden die Worst Case-Werte Anwendung. Diesen steht eine hochsignifikante CO₂-Reduzierung von 90,42 Prozent entgegen.

4.1.3 Wasserstoff

Für die Bereitstellung von komprimiertem Wasserstoff (Compressed Gaseous H₂, CGH₂) wird ein Mix aus Erdgasdampfreformierung (heute dominierend) und Elektrolyse mit erneuerbarem Strom angesetzt. In beiden Fällen wird vorausgesetzt, dass der Wasserstoff vor Ort an der Tankstelle produziert wird, da eine zentrale, großtechnische Elektrolyse-Infrastruktur nicht vorhanden ist und eine immense Investition erforderte, die nur die Bundespolitik durch strategische Entscheidung mit nachfolgender massiver Förderung initiieren kann, was heute aber noch nicht absehbar ist.

Im Fall von Wasserstoff aus Erdgasdampfreformierung wird der Strom für den Betrieb von Hilfsaggregaten (Kompressoren, Lüfter und Steuerung für die Reformieranlage sowie Betrieb der CGH₂-Tankstelle) aus dem Stromnetz (Niederspannungsebene) angesetzt. Die Zusammensetzung des deutschen Strom-Mixes 2018 basiert auf Angaben der AG Energiebilanzen, 2015, dem Bundesverband Erneuerbare Energien, 2015 und Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, 2015, die auf das Gesamtjahr hochgerechnet wurden. Die Werte für 2030 basieren auf Angaben der DLR, 2012 (Szenario 2011 A). Die Emissionen beinhalten die Emissionen aus den Kraftwerken selbst und die Emissionen aus der Bereitstellung der eingesetzten Energieträger Kohle, Erdgas, Öl und Biomasse. Der Wirkungsgrad der Elektrolyseanlage inklusive Feinreinigung des Wasserstoffs liegt bei etwa 60 % bezogen auf den unteren Heizwert

(entsprechend einem Stromverbrauch von rund 5 kWh pro Nm³ Wasserstoff). Bei Wasserstoff aus Wasserelektrolyse wird die CGH₂-Tankstelle inklusive des Elektrolyseurs als an das Mittelspannungsnetz angeschlossen angesetzt.

Rohstoffquelle	CO₂- Äquivalente [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Staub/Partikel [g/kWh]
2018: Erdgas (Dampfreformierung)	472,7	0,404	0,035
2018: Elektrolyse (erneuerbarer Strom)	13,3	0,013	0,001
2030: Erdgas (Dampfreformierung)	425,8	0,339	0,021
2030: Elektrolyse (erneuerbarer Strom)	7,6	0,010	0,002

Abbildung 4-6: Emissionen aus der Bereitstellung CGH₂ über unterschiedliche Bereitstellungspfade

Die Erzeugung von „regenerativem bzw. grünem“ Wasserstoff und seine Nutzung werden politisch propagiert. So sollen an den CEP (Clean Energy Partnership)-Tankstellen mindestens die Hälfte des Wasserstoffs aus erneuerbaren Energiequellen stammen (siehe Schnell, Retzke, 2010), so dass hier in 2030 optimistisch etwa 50 % des Wasserstoffs aus Elektrolyse als mit Strom aus regenerativen Energiequellen erzeugt angesetzt wird. Ob diese Quote trotz der Vorgaben tatsächlich mittelfristig erreicht werden wird, ist indes fraglich.

Rohstoffquelle	2018	2030
Erdgas	80%	50%
Erneuerbarer Strom	20%	50%

Abbildung 4-7: Wasserstoff-Herkunft im Zeitverlauf

Aus den Emissionen der einzelnen Bereitstellungspfade und den Anteilen je Zeithorizont ergeben sich die in Abbildung 4-8 angegebenen Emissionen für die Bereitstellung von Wasserstoff aus dem Wasserstoff-Mix.

Jahr	CO₂- Äquivalent [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Staub/Partikel [g/kWh]
Mix 2018	380,8	0,326	0,028
Mix 2030	216,7	0,175	0,012

Abbildung 4-8: Emissionen aus der Bereitstellung von CGH₂ im Zeitverlauf

4.1.4 Elektrische Energie/Strom

Für die Zusammensetzung des deutschen Strom-Mixes im Zeitverlauf wurden Szenarien erstellt, die für den Strom-Mix 2018 und die daraus resultierenden Emissionen auf Angaben der AG Energiebilanzen, 2015, des Bundesverbandes Erneuerbare Energien, 2015 und des Fraunhofer Instituts für Solare Energien, 2015 basieren. Die Daten für 2027 beziehen sich auf Daten der DLR, 2012 (Szenario 2011 A). Die Emissionen beinhalten die Emissionen aus den Kraftwerken selbst und die Emissionen aus der Bereitstellung der eingesetzten Energieträger Kohle, Erdgas, Öl und Biomasse. Im Zeitverlauf ergeben sich somit für den Strom-Mix heute (2018) und mittelfristig (Jahr 2030) die in Abbildung 4-9 gezeigten Werte.

Jahr	CO₂- Äquivalent [g/kWh]	Stickoxide [g/kWh]	Staub/Partikel [g/kWh]
2018	583,6	0,623	0,159
2030	354,7	0,441	0,083

Abbildung 4-9: Emissionen für deutschen Strom (Mittelspannung) im Zeitverlauf

4.2 Fahrzeugproduktion

Zur Bestimmung der Umweltwirkungen der Busherstellung werden Daten für Solobusse mit unterschiedlichen Antriebstechnologien auf der Datenbasis nach R. Pütz, Diss. 2010 angesetzt. Die Daten beziehen sich auf Basis der Angaben der SWG auf eine betriebliche Nutzungsdauer beim ersten Betreiber von 14 Jahren. Für 2030 werden für das Basisfahrzeug und die unterschiedlichen Antriebsvarianten aufgrund langjährig optimierter Fertigungsstrukturen keine Änderungen angenommen. Eventuelle Migrationen hin zu „Purpose-Design“-Elektrofahrzeugen, die der Autor durchaus als

zielführend erachtet, sind hier aufgrund von Unwägbarkeiten nicht berücksichtigt, da hierfür eine grundlegende Änderung der Fertigungsstrukturen erforderlich wäre. Die in der Literatur je nach Quelle für eine Kilowattstunde Li-Ionen-Batteriekapazität angegebenen CO₂-Emissionen schwanken beträchtlich, so dass der pessimistische Wert aus der Studie der Schwedischen Energie-Agentur von 175 kg CO₂/kWh, der offenbar für Batterien des Herstellers Tesla gilt, hier nicht berücksichtigt wird. Zum Vergleich nennt das IFEU-Institut, 2016 Werte von 125 kg CO₂/kWh, die hier Berücksichtigung finden.

	CO₂-Äquivalent kg/Bus/a	NOx kg/Bus/a	PM kg/Bus/a
Diesel-EURO VI	2547,2	4,107	1,214
Diesel-Hybrid EURO VI	2675,2	4,423	1,505
CNG-EURO VI	3034,6	4,886	1,324
BZ-Hybrid	4552,0	7,131	2,685
Batterie-Opportunity (GL)	2812,1	4,737	2,120
Batterie-Overnight (NL)	3936,9	6,632	2,968
Trolley-Hybrid (HO)	2742,4	4,594	1,685

Abbildung 4-10: Jährliche Emissionen bei 14jähriger betrieblicher Nutzungsdauer für das Subsystem Fahrzeugherstellung

Berücksichtigt werden hier weder die vielfach angemahnten Rohstoffengpässe bei forcierter Serienproduktion von Traktionsbatterien noch die angeprangerten Gewinnungsbedingungen für die seltenen Erden in den Entwicklungsländern. Öko-Institut/ Agora-Energiewende (2017) kommen zu dem ermutigenden Ergebnis, dass die essentiellen Rohstoffe Lithium und Kobalt für ein schnelles, weltweites Wachstum der Elektromobilität ausreichend vorhanden sind, jedoch temporäre Verknappungen und Preissteigerungen nicht auszuschließen seien. Das Massachusetts Institute of Technology (MIT, 2017) sieht ebenfalls eine ausreichende Verfügbarkeit von Rohstoffressourcen für die Elektromobilität, bewertet aber die temporären Engpässe an Lithium und Kobalt weitaus kritischer und bezeichnet es als höchst wahrscheinlich, dass mittelfristig auf dem Weltmarkt eine Verknappung von Lithium und vor allem Kobalt eintreten wird. Auch der BDI sieht einen schneller wachsenden Rohstoffbedarf als Kapazitäten für die Förderung aufgebaut werden könnten.

4.3 Fahrbetrieb (TTW; Tank-to-Wheel)

Das Datengut für die Emissionen im realen Linienbetrieb basiert auf den PEMS-Messungen (Portable Emission Measurements) des Instituts BELICON an Euro-VI-Gelenkbussen in Gießen 2016 und unter Einbeziehung des Energieverbrauchs für Heizung/Klimatisierung. Bei der Erdgasbus-Variante wurde allerdings der aktuelle Benchmarksetter angesetzt, für den PEMS-Messungen in mit Gießener Einsatzcharakteristik vergleichbaren Zyklen vorliegen.

Oftmals wird für die Versionen der Elektromobilität lediglich der Energieverbrauch für die Traktion genannt, der bei Solobussen für SORT-2-Charakteristik in der Ebene bei etwa 1,0 bis 1,1 kWh/km liegt. Der Heizenergiebedarf wird dabei i.d.R. unzulässigerweise vernachlässigt. In nachfolgenden Abbildungen 4-11 und 4-12 sind die Energieverbräuche und Emissionen des Fahrbetriebs **inklusive** des Energieverbrauchs für Heizung/Klimatisierung für 2018 berücksichtigt. Für den Zeithorizont 2030 wurde für die verbrennungsmotorischen Antriebe mit Diesel und Erdgas eine Mild-Hybridisierung als Serienstand mit einer durchschnittlichen weiteren Verbrauchsreduzierung um 10% angenommen, während für die alternativen Antriebe des Spektrums Elektromobilität bereits für den Zeithorizont „heute“ nach den Erfahrungen des Instituts BELICON eine mittlere Rekuperationsrate von 25% über das gesamte Einsatzjahr unterstellt wurde.

	Verbrauch I DK-Äqu./100km	CO2 kg/km	NOx g/km	PM g/km
Diesel EURO III	43,53	1,15	12,94	0,240
Diesel EURO III + CRT	45,70	1,21	12,94	0,012
CNG EURO V/EEV	58,76	1,15	3,45	0,035
CNG EURO VI	56,94	1,18	0,66	0,002
BZ-Hybrid	29,97	0,00		
Batterie-Opportunity	15,56			
Batterie-Overnight	17,89			

Abbildung 4-11: Verbräuche und Emissionen von Solobussen im Fahrbetrieb im Jahr 2018, abgeleitet aus Praxismessungen im Linienbetrieb in Gießen, normiert auf 16,7 km/h (Mittelwert)

	Verbrauch I DK-Äqu./100km	CO2 kg/km	NOx g/km	PM g/km
Diesel EURO III	58,76	1,56	13,58	0,719
Diesel EURO III + CRT	61,70	1,64	13,58	0,036
CNG EURO V/EEV	79,33	1,56	3,62	0,104
CNG EURO VI	72,82	1,59	0,69	0,005
BZ-Hybrid	40,46	0,00		
Batterie-Opportunity	21,00			
Batterie-Overnight	24,15			

Abbildung 4-12: Verbräuche und Emissionen von Gelenkbussen im Fahrbetrieb im Jahr 2018, abgeleitet aus Praxismessungen im Linienbetrieb in Gießen, normiert auf 16,7 km/h (Mittelwert)

4.4 Ergebnisse der Ökologie-Bilanzen

Gemäß dem in Kapitel 2 vorgestellten Ansatz für die ganzheitliche Bilanzierung werden die in jedem Subsystem entstehenden Emissionen mit den zugehörigen externen Kosten aus der „Beschaffungsrichtlinie“ 2009/33/EG (Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge) multipliziert und aufsummiert, um ein vergleichbares **ökologisches Gesamtprofil** zu erhalten. Die in der o.g. Richtlinie vorgegebenen externen Kosten pro t der jeweiligen Emissionskomponente betragen für Partikel 87.000 €, für Stickoxide 4.400 € und für CO₂ 40 €. Bei den nachfolgenden Ökoprofilen wurde die heute (2018) bestehende Gießener Busflotte auf 100 Prozent normiert. Werte kleiner 100 Prozent bedeuten eine ökologische Verbesserung gegenüber der bestehenden SWG/MIT.BUS-Flotte, Werte größer 100 Prozent eine ökologische Verschlechterung.

4.4.1 Ökologischer Vergleich 2018 (“heute”)

Die ökologische **Gesamtbewertung** für den Zeithorizont **heute (2018)** weist aus, dass für eine umfassende Nachhaltigkeit – unter Berücksichtigung lokaler und globaler Emissionen sowie des Energieverbrauchs – bei den verglichenen Varianten heute keine nennenswerten Verbesserungen durch alternative elektrische Antriebsvarianten erreicht werden. Zeitnah wäre eine Umstellung der Busflotte auf die Erdgastechnik auch mit fossilem Erdgas eine veritable Option im ökologisch nachhaltigen ÖPNV,

siehe Abbildung 4-13. Die ökologisch hochsignifikant günstigste Option bietet die Verwendung von Biogas. Beim heute bereits in Gießen durchgeführten Einsatz von 100% Biogas (CO₂-Minderungspotenzial >90 Prozent) des Marktführers Verbio wäre die Erdgasteknik in Verbindung mit Euro-VI-CNG-Antrieben heute die sauberste verfügbare Antriebstechnik.

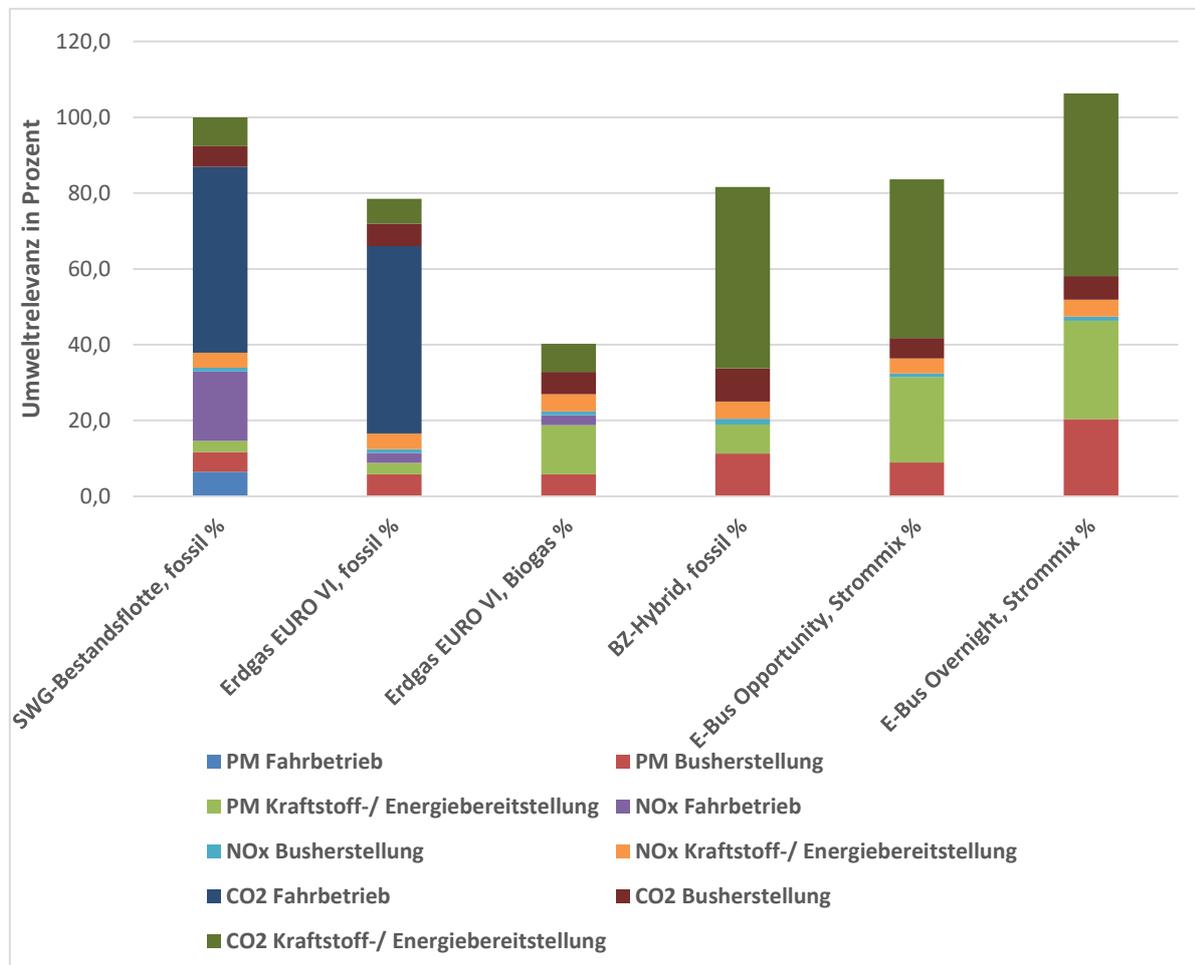


Abbildung 4-13: Systembezogene Umweltrelevanz 2018 anhand externer Kosten gemäß 2009/33/EG für Solobusse unter den Randbedingungen der SWG-Flotte im gesamten Lebenszyklus (14 Jahre)

Weitere Optionen wie der Einsatz biogener synthetischer Dieselkraftstoffe (Biomass-to-Liquids; BtL) sowie von Strom und Wasserstoff aus ausschließlich regenerativen Energien böten weiteres ökologisches Potenzial, das künftig aktiv erschlossen werden sollte. Aufgrund der Energiewende mit Abschaltung der Atomkraftwerke und ersatzweiser Nutzung von Braunkohle und Steinkohle hatte sich der Strom-Mix jedoch vorübergehend sogar ökologisch verschlechtert. Biogene Kraftstoffe der 2. und 3. Generation (z.B. Biomass-to-Liquids; BtL) sind für die Dieseltechnik aktuell (und wohl auch

mittelfristig) nur in geringsten Mengen verfügbar. Zukünftige Entwicklungen werden sich vermehrt auch biogenem Dieseltreibstoff aus Algen und der Herstellung von synthetischen flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen aus regenerativ erzeugtem Strom (Power-to-Liquids, PtL; „E-Fuel“ und Power-to-Gas, PtG; „E-Gas“) widmen, was jedoch erst langfristig Marktrelevanz erreichen wird.

Die ökologische Bewertung ausschließlich der **global wirksamen Emissionen** für den Zeithorizont **heute (2018)** zeigt eine Dominanz der globalen Emissionen mit bis zu über 60 Prozent am gesamten ökologischen Profil (externe Kosten). Bezogen auf die globalen Emissionen wären heute moderate Verbesserungen durch alternative Antriebsvarianten der Elektromobilität gegenüber der bestehenden Flotte sowie gegenüber einer Euro-VI-Erdgasflotte mit fossilem Erdgas erreichbar, jedoch wäre die konkurrenzlos CO₂-günstigste Option der Einsatz von Biogas im CNG-Euro-VI-Antrieb, vgl. Abbildung 4-14.

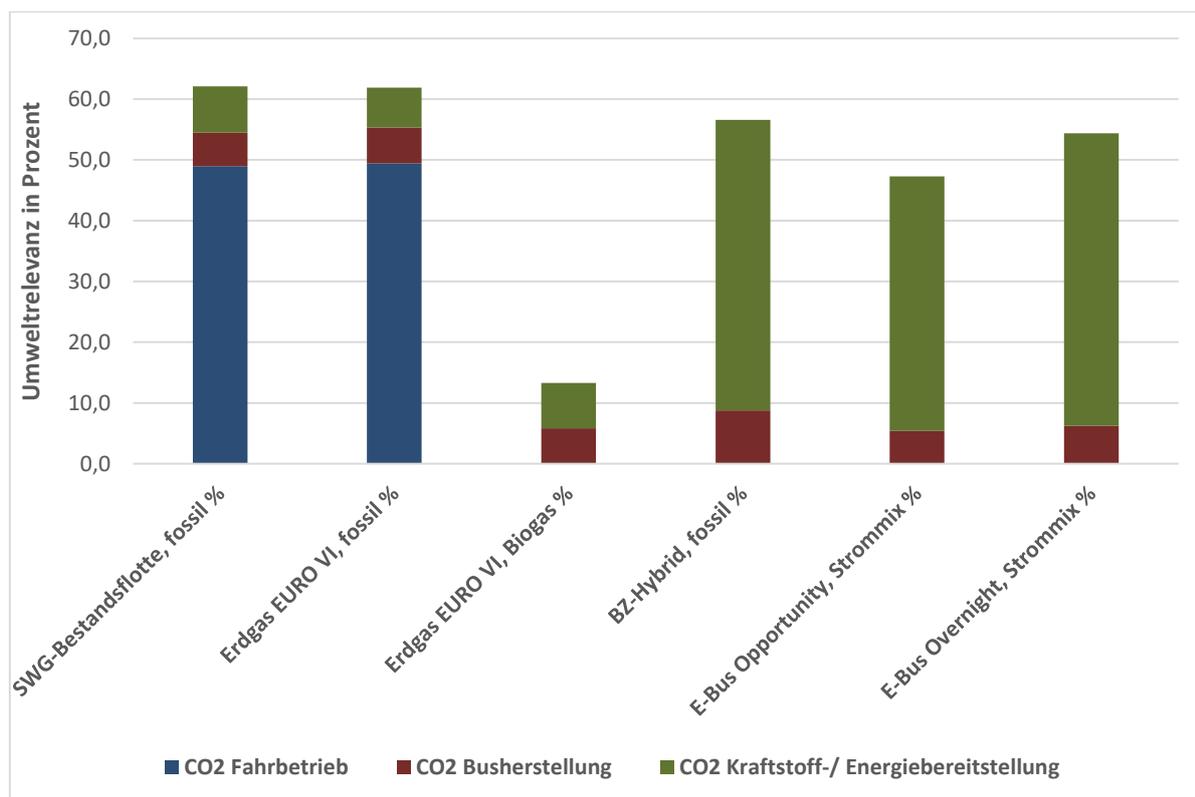


Abbildung 4-14: Systembezogene globale Umweltrelevanz 2018 anhand externer Kosten gemäß 2009/33/EG für Solobusse unter den Randbedingungen der SWG-Flotte im gesamten Lebenszyklus (14 Jahre)

Demgegenüber offenbart die ökologische Bewertung ausschließlich der **lokal wirksamen Emissionen im Fahrbetrieb** für den Zeithorizont **heute (2018)** Vorteile zugunsten der alternativen elektrischen Antriebsoptionen aufgrund der lokalen Nullemission vor Ort, siehe Abbildung 4-15. Jedoch muss dieser Vorteil angesichts der mit der Stufe Euro VI bei konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieben erreichten „**Nahe-Null-Emission**“ relativiert werden, denn die lokalen Emissionen des Fahrbetriebs machen heute bei einer Euro-VI-Busflotte nur noch rund 3 Prozent des gesamten Umweltprofils aus. Je nach Umgebungsluftniveau können die lokalen Emissionen nach Abgasnachbehandlung sogar durchaus geringer sein, was gar einem „Reinigen der Umgebungsluft“ entspräche.

Durch die Umstellung der Gießener Busflotte auf Euro-VI-Erdgasfahrzeuge ließen sich im Vergleich zur aktuellen Bestandsflotte (2018) **jährlich** etwa 210 kg Feinstaub und mehr als 10,5 t NOx im Einsatzbereich der Busse **vermeiden**. Zum Vergleich würde durch die lokale Nullemission von Elektrobussen jährlich lokal etwa 220 kg Feinstaub und knapp 12,3 t NOx vermeiden. Das entspricht im Vergleich zu einer Erdgasbusflotte also lediglich einer zusätzlichen Vermeidung von knapp 5 Prozent Feinstaub und knapp 15 Prozent Stickoxide.

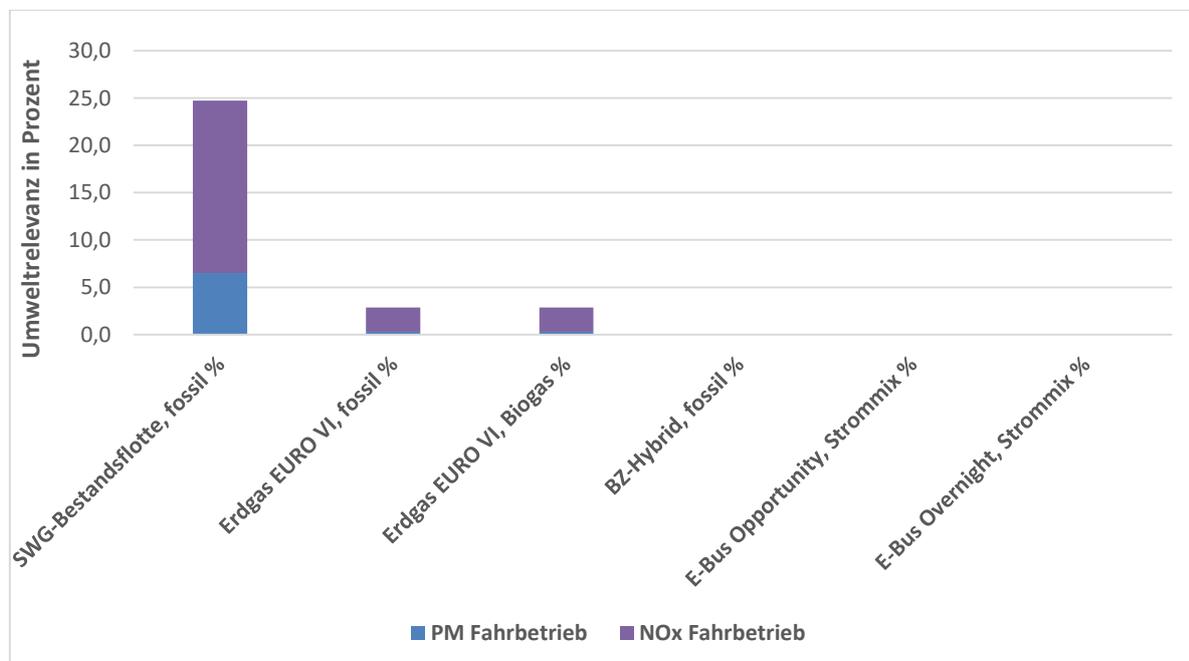


Abbildung 4-15: Systembezogene lokale Umweltrelevanz 2018 ausschließlich des Fahrbetriebs anhand externer Kosten gemäß 2009/33/EG für Solobusse unter den Randbedingungen der SWG-Flotte im gesamten Lebenszyklus (14 Jahre)

4.4.2 Ökologischer Vergleich 2030 („mittelfristig“)

Bis zum Jahr 2030 soll laut BMWi das Potenzial Deutschlands zur Steigerung des Stromverbrauchs aus Solar- und Windenergie soweit verbessert werden, dass 40 bis 45 Prozent des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energien produziert werden. Laut dem Pariser Klimaschutzabkommen wurde von der EU insgesamt eine CO₂-Reduzierung um 28 Prozent bis 2021 zugesagt. Deutschland will im Vergleich zum Jahr 1990 bis zum Jahr 2020 die CO₂-Emissionen gar um 40 Prozent senken. Die Erreichbarkeit dieses Ziels ist indes sehr fraglich, da bis zum Jahr 2015 lediglich eine Reduzierung um 27 Prozent zu verzeichnen war. Auf der Basis der in den Kapiteln 4.1 bis 4.3 erläuterten Daten ergeben sich die in Abbildung 4-16 gemäß EU-Beschaffungsrichtlinie bilanzierten ökologischen Profile je nach Antriebstechnik. Als Referenz dient wieder die heutige SWG-Busflotte (2018).

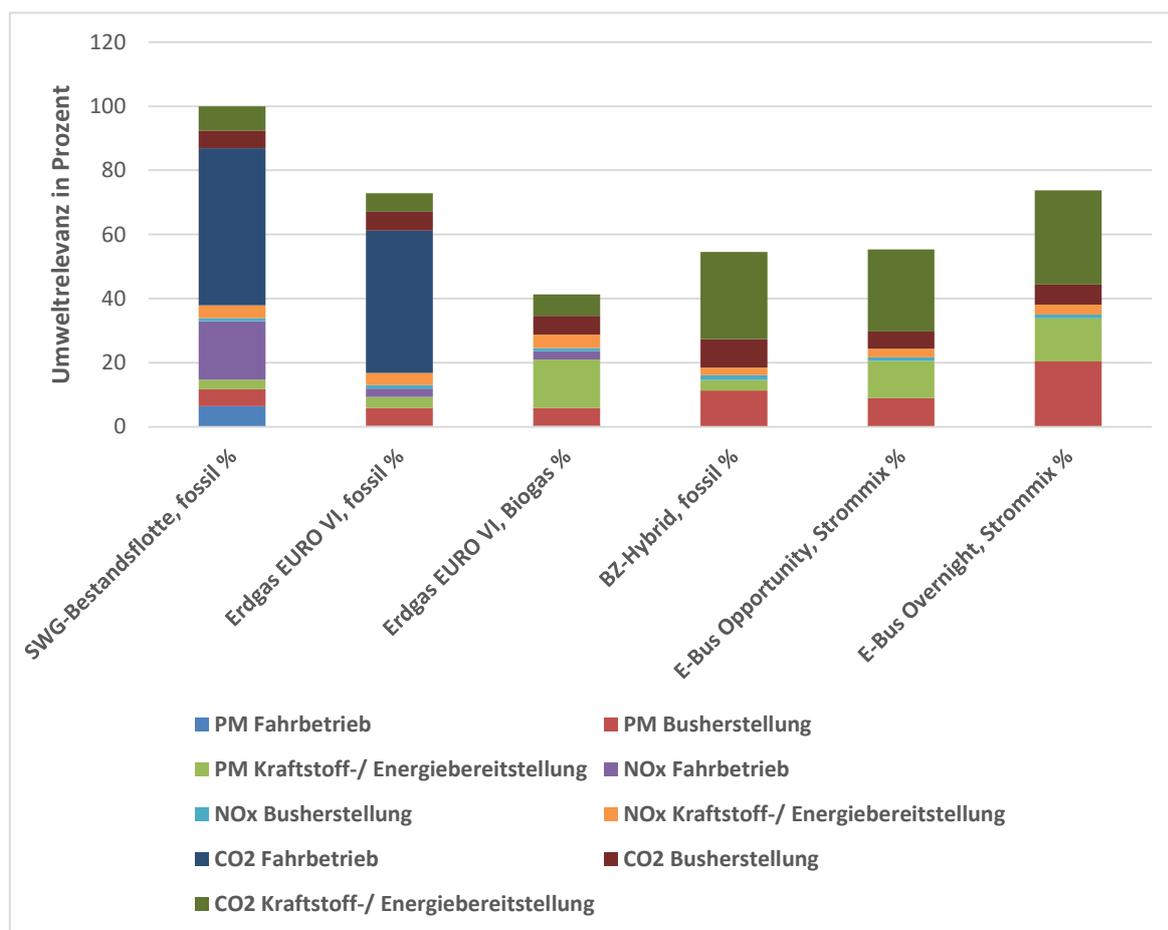


Abbildung 4-16: Systembezogene Umweltrelevanz 2030 anhand externer Kosten gemäß 2009/33/EG für Solobusse unter den Randbedingungen der SWG-Flotte im gesamten Lebenszyklus (14 Jahre)

Die ökologische Gesamtbewertung in Abbildung 4-16 weist aus, dass **mittelfristig (2030)** für eine umfassende Nachhaltigkeit – unter Berücksichtigung lokaler und globaler Emissionen sowie des Energieverbrauchs – bei den verglichenen Varianten unter den mittleren SWG-Randbedingungen die Umweltprofile der alternativen elektrischen Antriebstechnologien BZ-Hybrid und Opportunity Charger Vorteile gegenüber einer Euro-VI-Erdgasbusflotte mit **fossilem** Erdgas erreichen können, wenn sich die hohen politisch erwarteten Reduktionsziele (z.B. Anteil regenerativer Energien) auch tatsächlich einstellen werden. So wurde beispielsweise für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Hybridtechnik von einem regenerativen Energieanteil bei der Wasser-Elektrolyse von 50 Prozent ausgegangen, wobei jedoch – trotz der politisch induzierten Maßgabe – die flächendeckende Verfügbarkeit der erforderlichen Hydrolyse-, Verteilungs- und Betankungs-Infrastruktur sehr fraglich ist und Verkehrsunternehmen die zugehörige Infrastruktur hier in Kooperation mit den Energieversorgern „on-site“ selbst aufbauen müssten. Die Erdgastechnik mit **Biogas** böte bei den globalen Emissionen auch in 2030 weiterhin die **beste ökologische Option**. Diese Aussage trifft auch bei isolierter Betrachtung der globalen Emissionen zu, siehe Abbildung 4-17. Die Tatsache der ohnehin unspezifischen, vernachlässigbaren lokalen Emissionsvorteile der Elektromobilität besteht aufgrund der bereits mit abgasnachbehandelten Euro-VI-Antrieben erreichten Nahe-Null-Emission selbstverständlich fort.

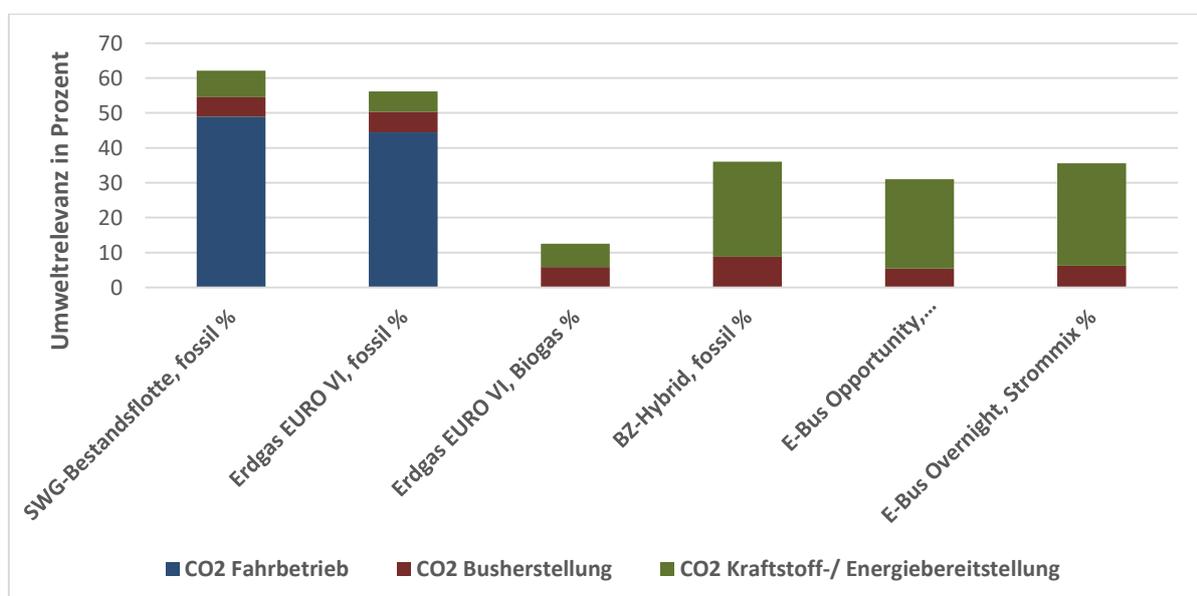


Abbildung 4-17: Systembezogene globale Umweltrelevanz 2030 anhand externer Kosten gemäß 2009/33/EG für Solobusse unter den Randbedingungen der SWG-Flotte im gesamten Lebenszyklus (14 Jahre)

5 Ökonomischer Vergleich von konventionellen und alternativen Antrieben

Nachfolgend erfolgt nun die ökonomische Analyse der derzeit diskutierten alternativen Antriebskonzepte der Elektromobilität und des vollständigen Übergangs auf eine Erdgasflotte im Vergleich zur SWG/MIT.BUS-Bestandsflotte 2018 als Referenz unter den Randbedingungen der SWG. Dort wo Daten fehlen, werden Referenzdaten eines mittleren, gut geführten Stadtverkehrsbetriebs angesetzt.

Die Kosten der Fahrzeuge setzen sich bei nachfolgender Analyse zusammen aus den auf die Fahrleistung umgelegten Kosten für:

- Fahrzeug-Kapitaldienst;
- Ersatzinvestitionen (z.B. für einen während der Lebenszeit des Busses notwendigen Batteriewechsel);
- Kraftstoffe bzw. Energie;
- Instandhaltung;
- Infrastruktur-Mehrkosten gegenüber Dieselbetrieb (nur exemplarisch darstellbar).

5.1 Fahrzeuginvestkosten und Ersatzinvestitionen

Die **Fahrzeug-Investitionskosten** setzen sich dabei aus Gründen der Objektivierung aus den Kosten der verwendeten Komponenten (Fahrzeugkonfiguration **auf Komponentenbasis**) im Bezug zum aktuellen **Dieselbus-Marktpreis** zusammen. Es wird ein Linienbus in SWG-Vollausstattung als Basis angesetzt. Die für die Berechnung verwendeten typischen Fahrzeugkonfigurationen der verschiedenen Antriebskonzepte sind im Zeitverlauf am Beispiel des Solobusses in den Abbildungen 5-1 bis 5-4 dargestellt. Dabei werden für die Optionen der Elektromobilität während der betrieblichen Nutzungsdauer von 14 Jahren eine zweite Batterie bzw. eine zweite Brennstoffzelle angesetzt, da aktuelle Erfahrungen hinsichtlich der Zyklenfestigkeiten der Batterien und Garantien der Elektrobushersteller darauf hindeuten. Für den **Zeithorizont mittelfristig** werden **signifikante Investkosten-Senkungen bei allen alternativen Antrieben** erwartet.

Nach Vorgabe der SWG soll nachfolgend die Förderung außer Acht gelassen werden, da in Hessen nach dem Jahr 2003 keine Förderung mehr erfolgt ist, da eine Förderung

mit dem hessischen Ausschreibungsweg unvereinbar ist. Für Elektrobusse des Typs Opportunity-Charger und Overnight-Charger wird jedoch eine Anschubfinanzierung gemäß der der Verlautbarung des Bundesumweltministeriums BMUB v. 26.02.2018 in Höhe von 80 Prozent der beihilfefähigen investiven Fahrzeug-Mehrkosten und 40 Prozent der beihilfefähigen Infrastruktur(mehr)kosten angesetzt, während für den Brennstoffzellen(BZ)-Hybrid gemäß den aktuellen Gepflogenheiten 60 Prozent der investiven Mehrkosten gegenüber einem Euro-VI-Dieselbus angesetzt werden. Zuvor förderte bereits mit der aktualisierten Förderrichtlinie Elektromobilität das Bundesverkehrsministerium BMVI die Beschaffung von Elektrofahrzeugen und die dafür erforderliche Ladeinfrastruktur (Antragsschluss war 31. Januar 2018). Das Antrags- und Bewilligungsverfahren wurde nunmehr vereinfacht, so dass die Projekte noch schneller umsetzbar sind. Unterstützt werden hier kommunale Fahrzeugflotten, z.B. Abfall-Entsorgungsfahrzeuge und der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV), z.B. mit Elektrobussen. Die Beschaffung von Elektrofahrzeugen im Taxigewerbe und bei Car-Sharing-Unternehmen wird ebenfalls gefördert. Für das Sofortprogramm stehen 1 Milliarde Euro bereit.

Element	Bemerkungen	2018	2030	Delta (%)
Grundfahrzeug	inkl. HLK, IBIS etc.	145.000	145.000	0,0
Energiespeicher	Druckgasanlage	35.000	35.000	0,0
Energiewandler	Verbrennungsmotor	29.000	29.000	0,0
	Automatikgetriebe	16.000		
Antriebsstrang	(in 2027 mild-hybridisiert)		22.000	37,5
	Antriebsachse	15.000	15.000	0,0
Summe		240.000	246.000	2,5

Abb. 5-1: Fahrzeug-Investkosten für Erdgas (CNG)-Solobusse nach SWG-Ausstattung für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) – ohne Busförderung

Element	Bemerkungen	Größe kWh / kW	Systemkosten 2018 €/kWh	Systemkosten 2030 €/kWh	2018	20307	Delta (%)
Grundfahrzeug	inkl. HLK, IBIS etc.				145.000	145.000	0,0
Energiespeicher	Batterie	30	900	300	27.000	9.000	-66,7
	Wasserstofftank				20.000	20.000	
	Elektromotoren +				90.000		
Energiewandler	Leistungselektronik					30.000	-66,7
	Brennstoffzelle	200	3600	500	720.000	100.000	
Antriebsstrang	Antriebsachse				15.000	15.000	0,0
Summe Fahrzeug	mit 1 Batterie und 1 Brennstoffzelle				1,0E+06	319.000	-68,6
	2. Batterie	30	300	300	9.000	9.000	0,0
	2. Brennstoffzelle	200	500	500	100.000	100.000	
Summe Fahrzeug 12 a	2 Batterien, 2 Brennstoffzellen				1,1 Mio.	428.000	-62,0

Abb. 5-2: Fahrzeug-Investkosten für BZ-Hybrid-Solobusse nach SWG-Ausstattung für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) – ohne Busförderung

Die Förderung von 60 Prozent der Mehrkosten gegenüber einem Diesellbus bedeutet z.B. für einen Brennstoffzellenhybrid-Solobus 492.300 € und wird im Weiteren berücksichtigt.

Element	Bemerkungen	Größe kWh	Systemkosten 2018 €/kWh	Systemkosten 2030 €/kWh	2018	2030	Delta (%)
Grundfahrzeug	inkl. HLK, IBIS etc.				145.000	145.000	0,0
Energiespeicher	Batterie	100	900	300	90.000	30.000	-66,7
	Elektromotoren +				90.000	30.000	-66,7
Energiewandler	Leistungselektronik						
Antriebsstrang	Antriebsachse				15.000	15.000	0,0
Summe Fahrzeug	mit 1 Batterie				313.000	220.000	-34,9
	2. Batterie	180	300	300	54.000	54.000	0,0
Summe Fahrzeug 12 a	2 Batterien				394.000	274.000	-30,4

Abb. 5-3: Fahrzeug-Investkosten für Opportunity-Charger-Solobusse nach SWG-Ausstattung für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) – ohne Busförderung

Die Förderung von 80 Prozent der Mehrkosten gegenüber einem Dieselbus bedeutet für einen Opportunity-Charger-Solobus in der o.g. Ausführung 155.200 € und wird im Weiteren berücksichtigt.

Element	Bemerkungen	Größe kWh	Systemkosten 2018 €/kWh	Systemkosten 2030 €/kWh	2018	2030	Delta (%)
Grundfahrzeug	inkl. HLK, IBIS etc.				145.000	145.000	0,0
Energiespeicher	Batterie	350	900	300	315.000	105.000	-66,7
	Elektromotoren +				90.000	30.000	-66,7
Energiewandler	Leistungselektronik						
Antriebsstrang	Antriebsachse				15.000	15.000	0,0
Summe							
Fahrzeug	mit 1 Batterie				565.000	295.000	-47,8
	2. Batterie	350	300	300	105.000	105.000	0,0
Summe Fahrzeug 12 a	2 Batterien				670.000	400.000	-40,3

Abb. 5-4: Fahrzeug-Investkosten für Overnight-Charger-Solobusse nach SWG-Ausstattung für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) – ohne Busförderung

Die Förderung von 80 Prozent der Mehrkosten gegenüber einem Dieselbus bedeutet für einen Overnight-Charger-Solobus in der o.g. Ausführung 376.000 € und wird nachfolgend berücksichtigt.

Dabei werden Elektrobusse basierend auf automotiver Elektrotechnik (Elektromotoren, Leistungselektronik) mit einer i.d.R. 12- bis 16-jährigen betrieblichen Lebensdauer berücksichtigt. Wird bei der Weiterentwicklung der Elektromobilität eine sehr optimistische Marktdurchdringung unterstellt, ergäbe sich eine Marktdurchdringung für Fahrzeugneuzugänge im Zeitverlauf wie bereits in Abb. 3-9 dargestellt. Diese Marktentwicklung wird jedoch aufgrund des erst nach 2030 erwarteten Technologiesprungs der Batterietechnik wahrscheinlich in der Realität kaum erreichbar sein.

5.2 Kraftstoff- bzw. Energiekosten

Die **Kraftstoff- und Reagenzmittelkosten** je Antriebstechnik sind in den Abbildungen 5-5 bis 5-8 dokumentiert. Für die Entwicklung der Kraftstoffpreise wurden Abschätzungen gemäß IFEU/BELICON, 2015, der Energiereferenzprognose von 2014 und A. Schulz, Diss. 2015 sowie auf der Basis weiterer wissenschaftlicher Veröffentlichungen und Angaben der Energieunternehmen angesetzt. Demnach ist mittelfristig ein signifikanter Anstieg der Kraftstoffpreise bei allen Energieträgern, mit der Ausnahme von Wasserstoff, zu erwarten. Durch die Entkoppelung von Erdgas- und Dieselpreis und die Erschließung weiterer Erdgasfelder ist der Preisanstieg beim Erdgas geringer. Die Kraftstoffverbräuche bei den Verbrennungsmotor-Optionen werden mittelfristig durch den Standard einer Mild-Hybridisierung und weitere innermotorische Optimierungen moderat sinken. Bei den elektrischen Antrieben, die heute schon über Bremsenergie- rekuperation und ein Energiemanagement der (elektrifizierten) Nebenverbraucher verfügen, wird keine weitere Verbrauchsreduzierung angenommen, da mittelfristig (vor 2030) kein serienmäßiger Übergang auf die Post-Li-Ionentechnik und auf Purpose Design zu erwarten ist.

	Erdgas/Biogas	2018	2030	Delta (%)
Erdgaskosten pro kg	€/kg	0,78	1,05	34,6
Verbrauch Erdgas pro 100 km	Nm ³ / 100 km	56,94	54,09	-5,0
Jahresfahrleistung	km / (Fz*a)	46.000	46.000	-
Kraftstoffkosten pro Jahr	€ / (Fz*a)	16.981	21.686	27,7
Kraftstoffkosten pro Fz-Kilometer	€ / Fz-km	0,37	0,47	27,7

Abb. 5-5: Kraftstoffkosten für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) für die Erdgastechnik (Solobus)

	Wasserstoff CGH₂	2018	2030	Delta (%)
Wasserstoffkosten pro kg	€/kg	7,50	5,00	-33,3
Verbrauch H ₂ pro 100 km	kg / 100 km	9,08	9,08	-
Jahresfahrleistung	km / (Fz*a)	46.000	46.000	-
Kraftstoffkosten pro Jahr	€ / (Fz*a)	31.331	20.887	-33,3
Kraftstoffkosten pro Fz-Kilometer	€ / Fz-km	0,68	0,45	-33,3

Abb. 5-6: Kraftstoffkosten für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) für die Druckwasserstofftechnik (Solobus)

	Opportunity-Charger	2018	2030	Delta (%)
Stromkosten pro kWh	€/kWh	0,21	0,22	4,8
Stromverbrauch	kWh / 100 km	155,56	155,56	-
Jahresfahrleistung	km / (Fz*a)	46.000	46.000	-
Kraftstoffkosten pro Jahr	€ / (Fz*a)	14.740	16.084	9,1
Kraftstoffkosten pro Fz-Kilometer	€ / Fz-km	0,32	0,34	9,1

Abb. 5-7: Energiekosten für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) für Opportunity-Charger Batteriebus (Solobus)

	Overnight-Charger	2018	2030	Delta (%)
Stromkosten pro kWh	€/kWh	0,21	0,22	4,8
Stromverbrauch	kWh / 100 km	178,89	178,89	-
Jahresfahrleistung	km / (Fz*a)	46.000	46.000	-
Kraftstoffkosten pro Jahr	€ / (Fz*a)	15.223	18.104	18,9
Kraftstoffkosten pro Fz-Kilometer	€ / Fz-km	0,33	0,39	18,9

Abb. 5-8: Energiekosten für 2018 (heute) und 2030 (mittelfristig) für Overnight-Charger Batteriebus (Solobus)

5.3 Instandhaltungskosten

Die **Instandhaltungskosten** sind einerseits von den **Personalkosten**, mit den jeweiligen Personalkennzahlen und den durchschnittlichen Jahresgehältern für Werkstattmitarbeiter, sowie den **Materialkosten** abhängig. Laut Angabe der SWG/MIT.BUS ist eine Personalkennzahl der Instandhaltung von 0,05 anzusetzen (Quelle: Benchmark 2014), welche laut den umfangreichen Erfahrungen des Autors im Bestbereich anzusiedeln ist.

		Dimension	BZ-Hybrid	Opportunity-Charger	Overnight-Charger
Werkstattpersonal	pro Bus	M / Fz	+0,09	+0,02	+0,02

Abb. 5-9: Durchschnittliche Personalkennzahlen-Aufschläge je Antriebstechnik gegenüber Erdgasfahrzeugen in 2018 nach aktueller Beobachtung (Solobus)

		Dimension	BZ-Hybrid	Opportunity-Charger	Overnight-Charger
Werkstattpersonal	pro Bus	M / Fz	+0,02	0,0	0,0

Abb. 5-10: Durchschnittliche Personalkennzahlen-Aufschläge je Antriebstechnik gegenüber Erdgas, prognostiziert für das Jahr 2030 (Solobus)

5.4 Infrastruktur-Investkosten

Da die SWG über eine Diesel- und Erdgas-Betankungsinfrastruktur auf dem Betriebs- hof verfügen, müssen bei einem Wechsel auf eine andere Antriebstechnik zu den in Kapitel 5.1 bis 5.3 genannten Fahrzeugkosten noch die Infrastrukturkosten für die Energiezuführung der jeweiligen Elektrobuss-Option kalkuliert werden. Die Infrastrukt- urkosten für alternative Antriebe sind neben der Flottengröße jedoch hochsignifikant von den lokalen Gegebenheiten sowie dem Betriebsmuster und dem Liniennetz ab- hängig. Es ist ausdrücklich nicht Gegenstand dieser Studie, die erforderlichen Infra- strukturlkosten detailliert zu ermitteln, da dies den Rahmen der Studie massiv sprengen würde. Deshalb soll hier hilfsweise nach IFEU/BELICON, 2015 exemplarisch von einer Infrastruktur für eine **Linie von 15 km Länge (in jeder Richtung)** ausgegangen werden, **die mit 15 Bussen im 7,5-Minuten-Takt bedient** wird.

Bei den betriebshofgebundenen Technologien der Energiezuführung (Tankstellen für Dieselkraftstoff, Erdgas/Biogas und Wasserstoff sowie Overnight Charging/elektrische Nachtauladung) kann von der exemplarischen 15-km-Linie auf das Liniennetz hoch- skaliert werden, was näherungsweise auch beim Opportunity Charging möglich ist, da eine Mehrfachnutzung von Ladestationen durch mehrere Linien ohnehin – und erst Recht bei ÖPNV-üblichen Verspätungen in den Rush Hours – nahezu ausgeschlos- sen ist und stattdessen in praxi mehrere Ladepunkte pro Ladestation vorgesehen wer- den müssten. Sicherlich sind dabei je Bediengebiet Synergien möglich, die jedoch in jedem Fall individuell im Bediengebiet belastbar auf tatsächliche Realisierbarkeit ana- lysiert werden müssen, was in gesonderten Studien detailliert zu untersuchen wäre. Ein Hochskalieren auch beim Opportunity Charging wäre auf Basis einer „Worst Case“-Betrachtung zielführend.

Für eine leistungsstarke **Erdgastankstelle** für eine Flotte mit 100 Bussen ist je nach Druckniveau zwischen 400.000 und 500.000 € zu kalkulieren, vgl. auch Abbildung

5-11. Die Kostentreiber sind dabei die Kompressoren. Aus Gründen der Redundanz sind in der Regel immer zwei Verdichter anzusetzen, wobei eine solche Verdichter-Doppeleinheit mit etwa 220.000€ anzusetzen ist. Bei mehr als 100 Bussen und einer schnellen Betankung bis zum letzten Bus müssten ein oder gar zwei weitere Verdichter zusätzlich kalkuliert werden. Für das Szenario eines vollständigen Umstiegs auf die Erdgastechnik wäre für Gießen zur Absicherung der Verfügbarkeit analog den Gegebenheiten bei anderen Verkehrsunternehmen eine zusätzliche Erdgastankstelle zielführend, so dass nachfolgend diese Option kalkulatorisch berücksichtigt wird. Aufgrund stetig steigender Sicherheitsanforderungen muss beim Anschluss an ein Hochdrucknetz im Zeitverlauf evtl. mit steigenden Kosten gerechnet werden.

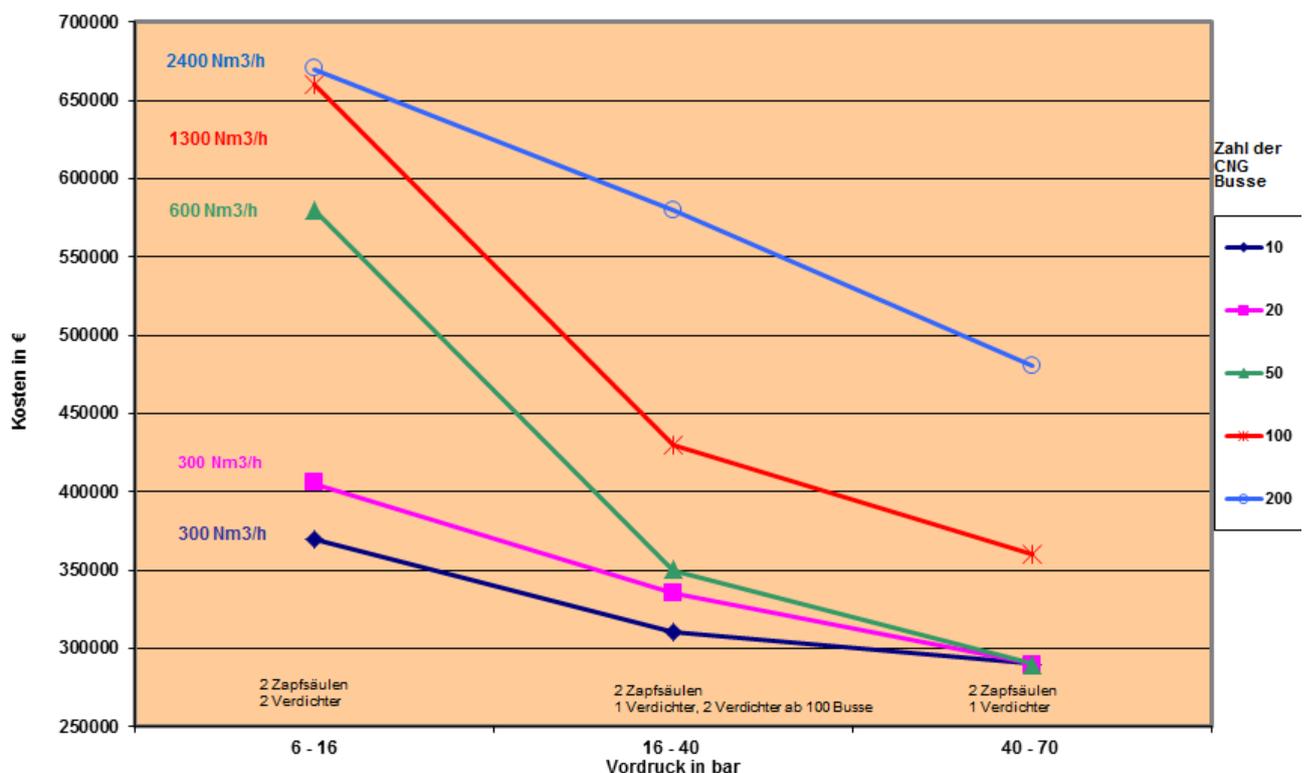


Abb. 5-11: Beispiel für die Erdgas-Tankstellen-Investkosten in Abhängigkeit des Vordrucks und der Anzahl der zu betankenden Busse

Für einen **Schnellladepunkt** beim Opportunity-Charger (GL) werden Kosten in Höhe von 250.000 € angenommen. Dies stellt indes die untere Grenze der Kosten nach Aussagen vieler Experten dar, insbesondere gilt dies für induktive Energiezuführung. Abhängig von den Bedingungen vor Ort können somit auch Kosten von bis zu 400.000 € je Ladepunkt auftreten.

	Infrastruktur	Auslegung	Anzahl bei 15 Bussen	Skalierung
Erdgas	CNG-Tankstelle mit 2 Verdichtern	mittelgroße Station	15% Anteil	keine
Brennstoffzelle	Wasserstofftankstelle	mittelgroße Station	25% Anteil	keine
Opportunity Charger (Gelegenheitslader, GL)	Schnellladepunkt inkl. Unterwerk	je 300 kW	4	Anzahl Ladepunkte, so dass Belegung < 40%
	Ladepunkt Betriebshof	je 25 kW	15	Anzahl Busse
	Unterwerk Betriebshof	400 kW	1	keine
Overnight Charger (Übernacht-lader, NL)	Ladepunkt Betriebshof	je 100 kW	15	Anzahl Busse
	Unterwerk Betriebshof	1,5 MW	1	keine

Abb. 5-12: Exemplarische Annahmen für die Infrastruktur bei 15 km Linienlänge

	Infrastruktur	Kosten spezifisch [€]	Bezug	Kosten Linie [€]
Erdgas	CNG-Tankstelle, 2 Verdichter	450.000	je Tank- stelle	67 500
Brennstoffzelle	Wasserstofftankstelle	3 753 000	je Tank- stelle	938 250
Opportunity Charger (Gelegenheitslader, GL)	Schnellladepunkt	250 000	je LP	1 000 000
	Ladepunkt Betriebshof	15 900	je LP	238 500
	Unterwerk Betriebshof			430 000
Overnight Charger (Übernachtslader, NL)	Ladepunkt Betriebshof	29 000	je LP	435 000
	Unterwerk Betriebshof			860 000

Abb. 5-13: Anhaltswerte für die Infrastrukturkosten bei 15 km Linienlänge und Einsatz von 15 Bussen im 7,5-Minuten-Takt

Zur Abschätzung der Infrastrukturkosten wird vereinfachend eine gesamte **Linienlänge des SWG-Netzes von 115 km** angesetzt, die im Ausbauzustand mit einem 7,5-Minuten-Takt bedient werden soll. Auch wenn bei den SWG im Mittel aktuell eine andere Taktfrequenz der Bedienung besteht, sollte die Infrastruktur auf die höhere Taktfrequenz ausgelegt sein, um Grenzfälle und potenziellen Ausbau zu erfassen und damit zukunftsfähig zu sein. Abbildung 5-14 dokumentiert die geschätzten, globalen Energiezuführungs-Infrastrukturkosten des gesamten Netzes je Antriebstechnologie. Dabei wurde für den Gelegenheitslader eine Synergie der Nutzung der Schnellladepunkte unterstellt.

	Infrastruktur	Kosten Netz [€]
Erdgas	1 zusätzliche CNG-Tankstelle à 2 Verdichter (insgesamt 2 CNG-Tankstellen)	450 000 (ohne Förderung)
Brennstoffzelle	1 Wasserstofftankstelle	4 300 000 (inkl. Förderung)
Opportunity Charger (Gelegenheitslader, GL)	Schnellladepunkte	7 700 000 (inkl. Förderung)
	Ladepunkte Betriebshöfe	
	Unterwerke Betriebshöfe	
Overnight Charger (Übernachtslader, NL)	Ladepunkte Betriebshöfe	2 400 000 (inkl. Förderung)
	Unterwerke Betriebshöfe	

Abb. 5-14: Anhaltswerte für die Infrastrukturkosten des gesamten SWG-Netzes bei 115 km Linienlänge aus Skalierung von Abb. 5-13

Die in Tabelle 5-14 aufgeführten Energiezuführungskosten müssen jeweils auf die Fahrzeuganzahl und jährlichen Laufleistungen bezogen und **über 25 Jahre abgeschrieben** werden. Im Rahmen des Elektromobilitäts-Förderprogramms der Bundesregierung wird für die Infrastruktur ein maximaler Fördersatz von 40% gewährt, der hier auch berücksichtigt wird.

Für die Instandhaltung der Infrastruktur sollten pauschal zusätzlich jährlich 2 % der Investitionskosten angesetzt werden.

Bei der Implementierung von batterie- und brennstoffzellenbetriebenen Bussen im ÖPNV-Netz sind einige grundlegende Anforderungen wie folgt zu beachten:

- Die Sicherheit für Fahrgäste, Fahrpersonal und Passanten muss gewährleistet sein. Dabei darf weder an Haltestellen noch beim Betrieb der Fahrzeuge eine Gefährdung für Personen ausgehen.
- Der Fahrkomfort darf nicht eingeschränkt werden. Dies gilt im Besonderen im Blick auf Fahrgäste und Fahrer hinsichtlich der Heizung/Klimatisierung. Bei Bussen mit Verbrennungsmotor entsteht prozessbedingt eine recht hohe Menge an thermischer Energie. Beim elektrischen Antrieb steht diese Prozesswärme zum Heizen der Busse nicht mehr zur Verfügung, es muss also eine anderweitige Wärmequelle erarbeitet werden um eine ausreichende Heizung, auch bei sehr tiefen Temperaturen, zu ermöglichen. Diese Thematik ist Gegenstand weiterer Studien, und soll in dieser Arbeit nicht weiter erörtert werden.
- Auch die Fahrzeiten, also die mittlere Zyklusgeschwindigkeit, sollten sich durch einen Elektroantrieb nicht signifikant verändern. Vor allem systemtechnisch bedingte Standzeiten (Batterieaufladung- und -wechsel) sind dort vorzusehen, wo der Linienumlauf am geringsten beeinflusst wird. Die Linienumlaufzeiten und der erforderliche Personalwirkungsgrad dürfen sich nicht verschlechtern.
- Die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems sollte unabhängig von Witterungseinflüssen sein. Wind, Kälte, Hitze, Regen, Schneefall oder auch Eis und Schnee auf der Fahrbahn dürfen die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems nicht herabsetzen, oder gar Gefahren hieraus entstehen lassen.
- Es dürfen keine Ausfälle auf der Strecke („Liegenbleiber“) wegen mangelnder Energie in der Batterie entstehen. Die Systeme müssen so ausgelegt sein, dass auch bei typischen ungeplanten Vorkommnissen (z.B. Stau in der Rush-Hour während die Heizung bzw. Klimaanlage auf Maximalleistung läuft) die Kapazität des Energiespeichers ausreicht, um sicher zur nächsten Auflade-/Wechselstelle zu kommen.
- Kühlung der Batterien: Die Batterien unterliegen in Folge des Innenwiderstandes sowohl beim Laden, als auch beim Entladen während des Fahrbetriebs einer Erwärmung. Diese Erwärmung kann ein Problem für die Sicherheit darstellen und muss überwacht werden. Aber auch der Alterungsprozess ist abhängig vom Temperaturbereich während des Betriebs und der Lagerung. Um die Lebensdauer aufgrund kalendarischer und zyklischer Alterung der Batterien nicht unnötig zu beschränken, ist eine geeignete Kühlung vorzusehen.

- Die Qualität der erforderlichen Ausbildung muss sichergestellt sein. Durch die elektrische Ausrüstung in den Bussen und in der Lade-Infrastruktur verändern sich die Aufgaben und Gefährdungen. Die Ausbildungsinhalte müssen bedarfsgerecht in Abhängigkeit der Aufgabenstellungen an das Personal differenziert sein. Vor allem im Hinblick auf die Sicherheit ist hier die Qualität der Ausbildung aller beteiligten Personen (Fahr-, Instandhaltungs- und Reinigungspersonal etc.) zu gewährleisten. Eine Standardisierung der Aus- und Weiterbildung, in Anlehnung an z.B. die deutsche BGI 8686 ist als sinnvoll zu erachten. Daraus ergibt sich ein Personal-Stufensystem, das in Abb. 6-20 dargestellt ist. Dies erfordert ggf. eine Neuausrichtung der Personalqualifikation und impliziert Zusatzkosten, die i.d.R. den Industriepartnern beim Umstieg auf die Elektromobilität auferlegt werden sollten.

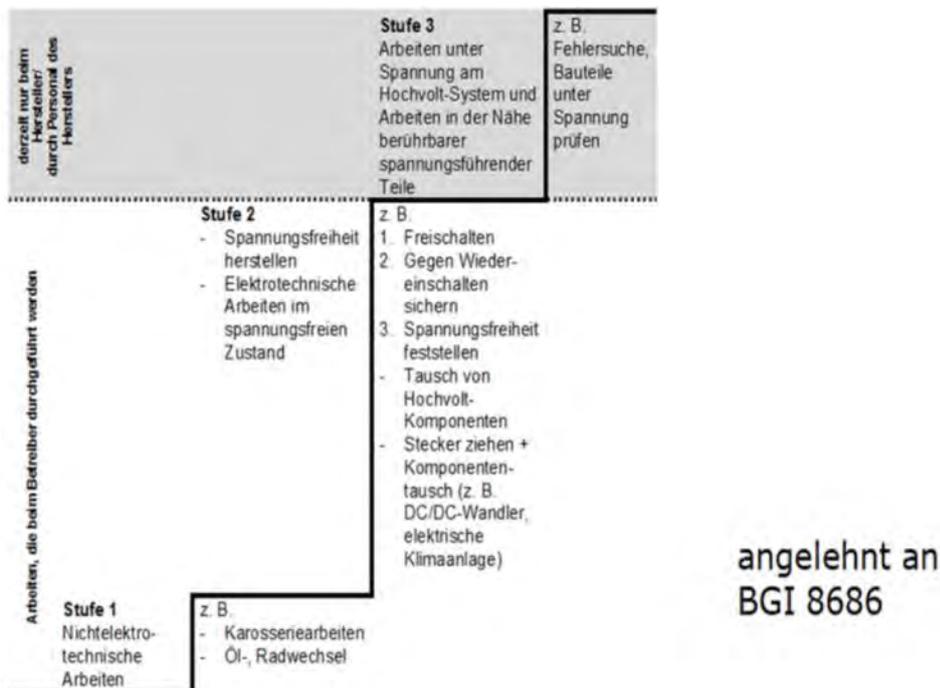


Abb. 5-15: Stufensystem für die Personalqualifikation bei Elektroantrieben nach BGI 8686

5.5 Ergebnisse der Ökonomie-Bilanzen

5.5.1 Ökonomischer Vergleich 2018 (“heute”)

Die ökonomische Gesamtbewertung der reinen **Fahrzeugkosten** (ohne Infrastruktur) für den Zeithorizont 2018 (heute) bei einer SWG-üblichen Abschreibungsdauer von

10 Jahren ist in den Abbildungen 5-16 und 5-17 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass heute alle Elektrobustechnologien – trotz der angesetzten Förderung von 80 Prozent der Mehrkosten gegenüber einem Dieselbus – noch hochsignifikant teurer als konventionelle, hochsaubere Euro-VI-Antriebe sind.

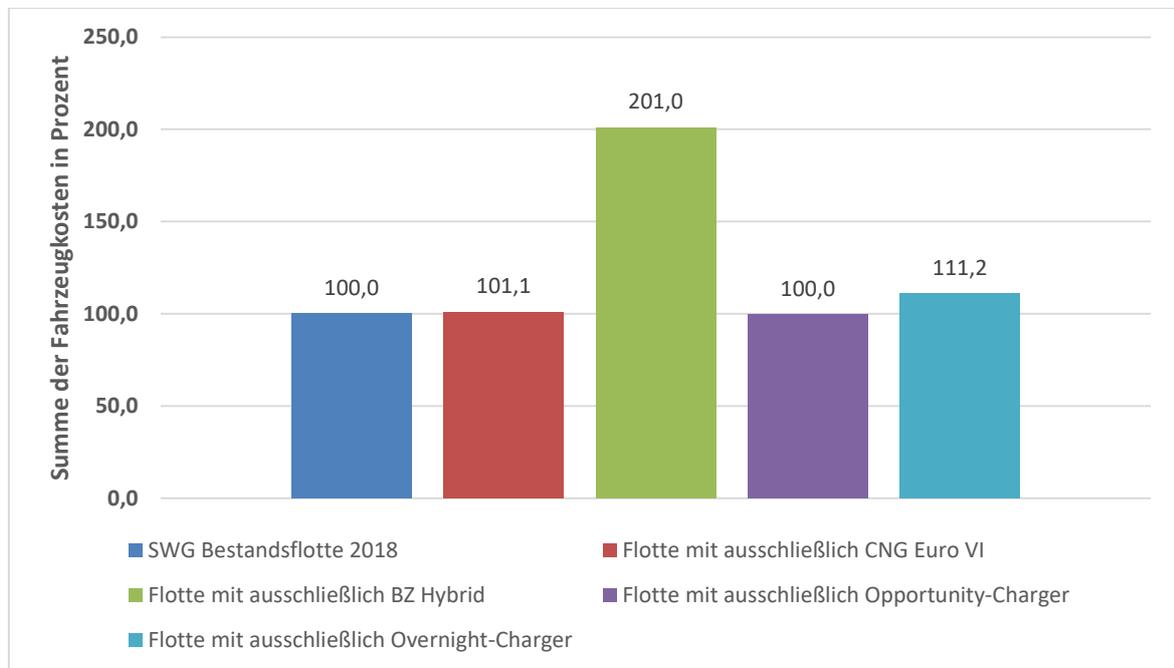


Abbildung 5-16: Relativer Kostenvergleich der Antriebstechnologien für die SWG-Flotte (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für den Zeithorizont „heute“ – ohne Förderung (außer für E-Mobilität) und ohne Infrastruktur

Bei einseitiger Förderung der Optionen der Elektromobilität könnte – ohne Berücksichtigung der Energiezuführungsinfrastruktur – ein Opportunity-Charger de facto ohne Mehrkosten gegenüber der Bestandsflotte bzw. einer Euro-VI-Erdgasbusflotte beschafft werden. Alle anderen Optionen der Elektromobilität liegen dennoch weit jenseits dieser Mehrkosten. Die detaillierten Kosten sind in Abbildung 5-17 dokumentiert. Zum Brennstoffzellen-Hybridbus ist anzumerken, dass die heute verfügbaren Fahrzeuge noch die höchsten Kapitaldienst- und Instandhaltungsaufwendungen erfordern. Durch Reduktion der Brennstoffzellenkosten sowie durch eine zukünftig höhere Lebensdauer der Stacks werden signifikante Kostensenkungspotentiale gesehen, jedoch ist die Kostenentwicklung von Brennstoffzellenbussen weiterhin mit hohen Unsicherheiten verbunden, die wesentlich auch von der Marktdurchdringung von BZ-Fahrzeugen in anderen Märkten (z.B. Pkw) abhängt.

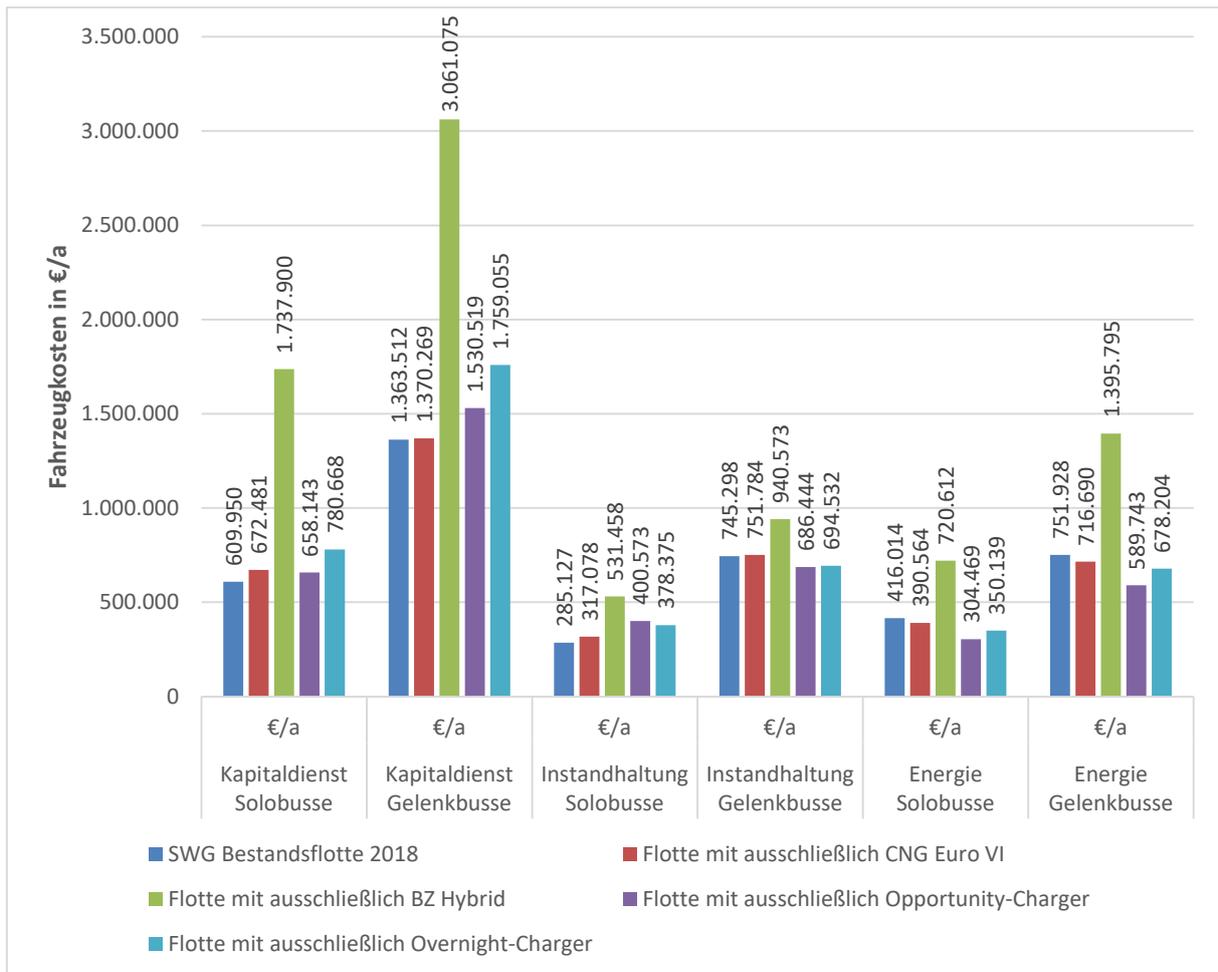


Abbildung 5-17: Absoluter, differenzierter Kostenvergleich der Antriebstechnologien für die SWG-Flotte (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für den Zeithorizont „heute“ – ohne Förderung (außer E-Mobilität) und ohne Infrastruktur

Zum Vergleich sollen nachfolgend die aktuellen betrieblichen Relationen ohne Förderung – und ohne Infrastruktur – dargestellt werden, also die „echten“ Fahrzeug-Marktkosten, vgl. Abbildung 5-18. Demnach erfordert die fahrzeugseitig kostengünstigste Option der Elektromobilität, Opportunity-Charger, rund 23 Prozent fahrzeugbezogene Mehrkosten gegenüber einer Euro-VI-Erdgasbusflotte. Eine Overnight Charger-Flotte würde – ohne Infrastruktur – Mehrkosten um mehr als 80 Prozent erfordern. Wirtschaftlich völlig abgeschlagen liegt heute der Brennstoffzellenhybridbus.

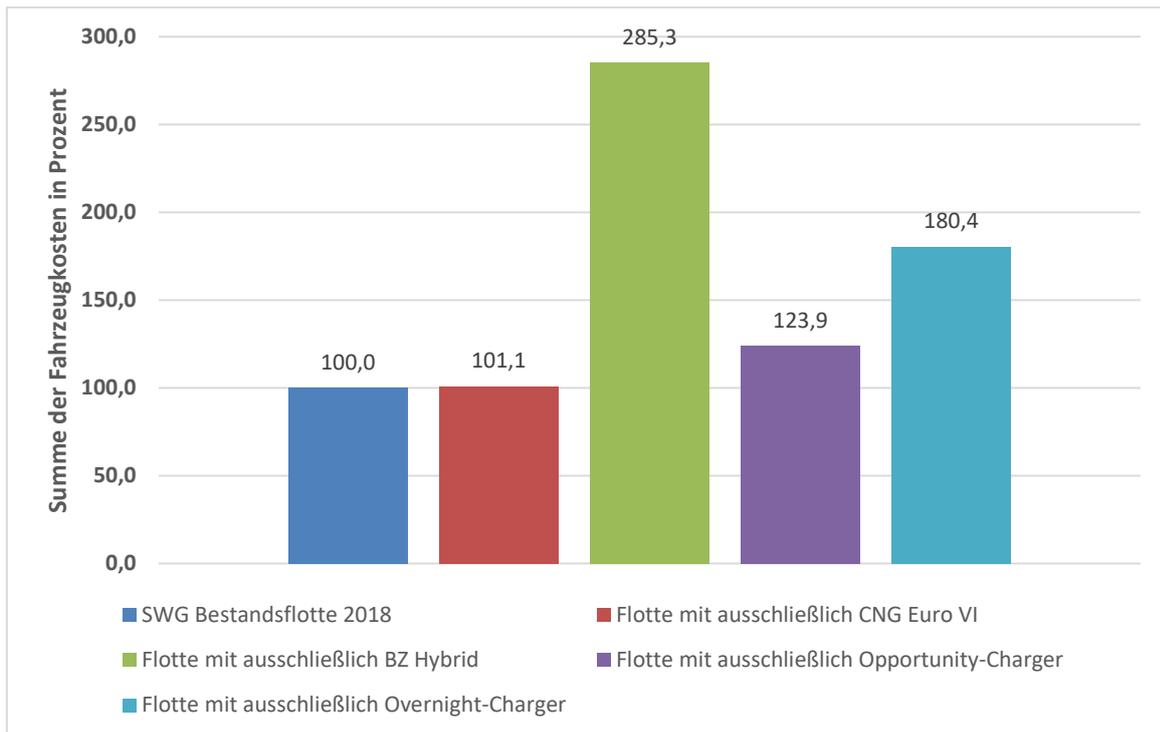


Abbildung 5-18: Relativer Kostenvergleich der Antriebstechnologien (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für SWG-Flotte für den Zeithorizont „heute“ – ohne Förderung und ohne Infrastruktur

Die aktuellen Kostenrelationen, inklusive geförderter Fahrzeuge und Infrastruktur des Spektrums Elektromobilität, im Vergleich zur aktuellen SWG-Flotte und zur nicht geförderten Umstellung auf eine Euro-VI-Erdgasbusflotte sind in den Abbildungen 5-19 und 5-20 aufgezeigt. Demnach fallen durch die aktuelle, großzügige Anschubfinanzierung durch das Bundesumweltministerium für die Batteriebus-Optionen lediglich Mehrkosten zwischen 12 und 15 Prozent an. Ohne die erwartete Verstärkung der spezifischen Anschubfinanzierung würden dann in den Folgejahren die in Abbildung 5-18 dokumentierten Mehrkosten für die elektrischen Antriebsoptionen von der SWG zu übernehmen sein.

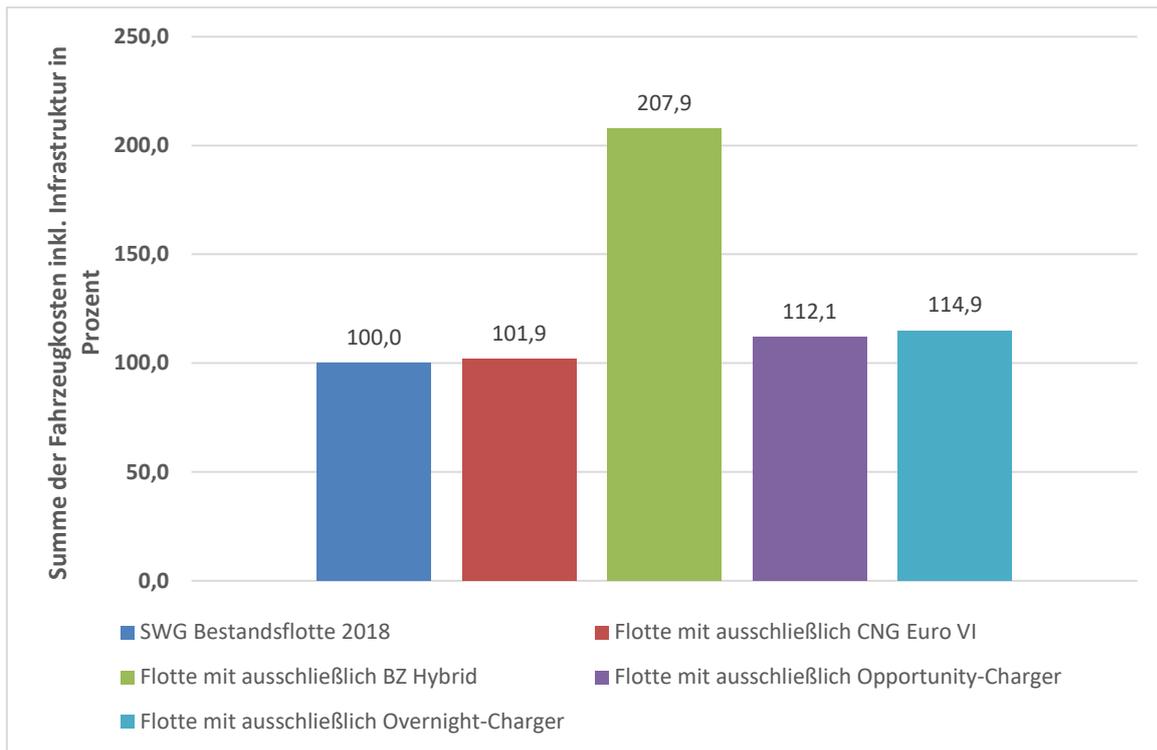


Abbildung 5-19: Relativer Kostenvergleich der Antriebstechnologien (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für SWG-Flotte für den Zeithorizont „heute“ – mit Förderung und mit Infrastruktur

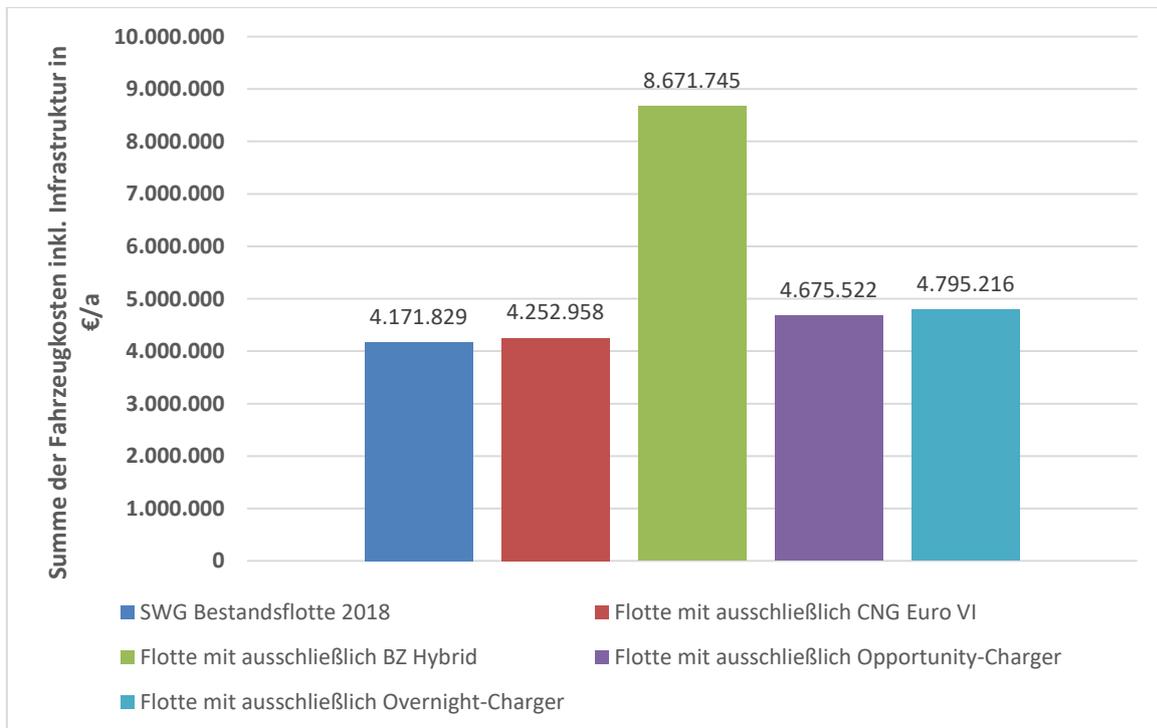


Abbildung 5-20: Absoluter Kostenvergleich der Antriebstechnologien (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für SWG-Flotte für den Zeithorizont „heute“ – mit Förderung und mit Infrastruktur

Auch bei einer spezifischen Fahrzeugförderung (80% der Mehrkosten gegenüber einem Dieselbus) und Infrastrukturförderung (40% der Mehrkosten) bei den Elektrobussen ist heute mit signifikanten Gesamtmehrkosten zu rechnen. Der durchschnittliche Kilometerpreis der SWG-Flotte würde bereits für die aktuell kostengünstigste Form der Elektromobilität (Opportunity Charger) trotz Förderung um knapp 0,20 € pro Kilometer im Vergleich zur bestehenden Flotte ansteigen. Demgegenüber würde der vollständige Umstieg auf eine Erdgasbusflotte mit Biogas lediglich Mehrkosten von 0,04 € pro Kilometer erfordern.

5.5.2 Ökonomischer Vergleich 2030 (“mittelfristig”)

Für die ökonomische Bewertung für den Zeithorizont 2030 (mittelfristig) wird eine Entwicklung der Kraftstoffpreise wie in Kapitel 5.2 dargelegt angenommen. In den Investkosten ist für die Elektromobilität die prophezeite, signifikante Kostendegression der Energiespeicher, jedoch weiterhin eine Ersatzbatterie über die 12-16jährige betriebliche Einsatzdauer beim (ersten) Betreiber inkludiert. Heute ist davon auszugehen, dass die Lebensdauer der Batterien beim durchschnittlichen ÖPNV-Einsatz kaum mehr als ein „halbes Busleben“ (etwa 7 Jahre) erreicht. Für die Brennstoffzellen (BZ)-Technik ist ebenfalls eine signifikante Kostendegression angenommen.

Daraus folgt die in den Abbildungen 5-21 und 5-22 dargestellte **ökonomische Gesamtbewertung** für den Zeithorizont 2030 (mittelfristig), wobei dann bei allen Antriebsoptionen **keine Förderung** mehr angesetzt wird, da auch bei den alternativen Konzepten der Elektromobilität (Batterie- und BZ-Technik) auf diesem Zeithorizont eine erreichte Serienreife unterstellt wird. Außerdem wird dann die Energiezuführungsinfrastruktur als bereits vorhanden vorausgesetzt.

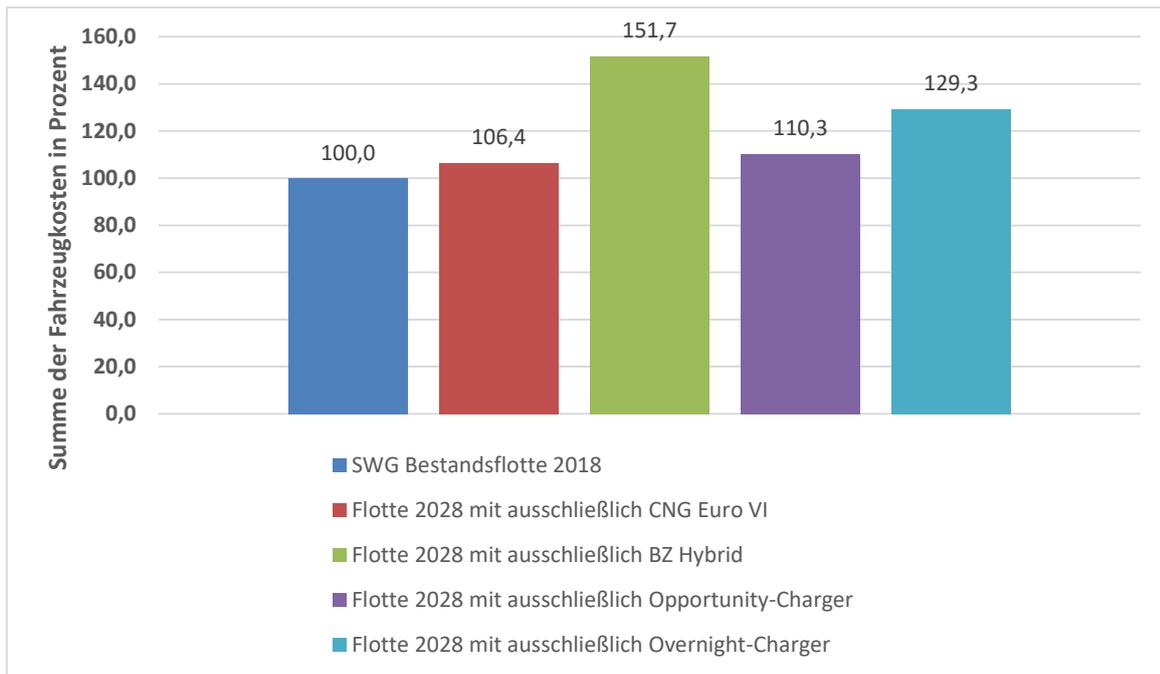


Abbildung 5-21: Kostenvergleich der Antriebstechnologien für die SWG-Flotte (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für den Zeithorizont „mittelfristig“– ohne Förderung und ohne Infrastruktur

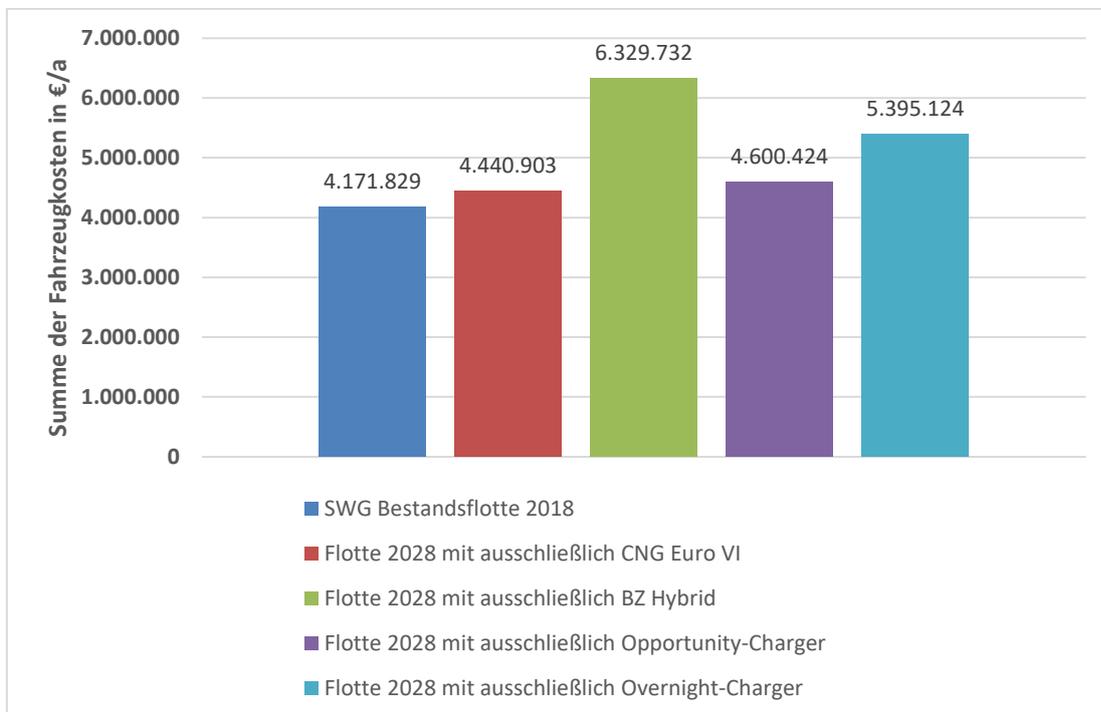


Abbildung 5-22: Relativer Kostenvergleich der Antriebstechnologien für die SWG-Flotte (Lebenszykluskosten ohne Fahrerkosten) auf der Basis jährlicher Fahrzeugkosten für den Zeithorizont „mittelfristig“– ohne Förderung und ohne Infrastruktur

Es ist ersichtlich, dass mittelfristig (Jahr 2030) Elektrobusse – insbesondere wegen der anzunehmenden Steigerung der Energiepreise für die fossilen Kraftstoffe Diesel und Erdgas sowie der Reduktion der Batterie- und BZ-Kosten und trotz steigender Strompreise – sich wirtschaftlich an die konventionellen Antriebe annähern werden. Die Wirtschaftlichkeit der etablierten, hochsauberen Konzepte mit Verbrennungsmotor wird jedoch auch mittelfristig von den Optionen der Elektromobilität für die Gegebenheiten der SWG nicht erreicht werden. Mit der mittelfristig noch dominierenden, heutigen Lithium-Ionen-Batterietechnik wird ein Betrieb von Elektrobussen wie bei Bussen mit Verbrennungsmotor – also Overnight Charger (GL) – aufgrund der hohen Investitionskosten bereits **ohne Berücksichtigung der Investitionen in die Infrastruktur** nur mit **hochsignifikanten Mehrkosten** von rund 30% gegenüber heute möglich sein. Der Opportunity Charger (GL) wird – ohne Berücksichtigung der Infrastrukturkosten noch um mehr als 10% Mehrkosten aufweisen. Die mittelfristig wirtschaftlichste Option wird der Betrieb mit Erdgasbussen (Biogas) bleiben.

Zu einer qualitativ äquivalenten Bewertung kommt auch das Haus McKinsey, 2011 in seiner doch recht allgemein gehaltenen Studie, an der jedoch alle Stakeholder beteiligt waren (siehe Abb. 5-23). Hierin wird ebenfalls prognostiziert, dass im Jahr 2030 die konventionellen Antriebe mit Verbrennungsmotor weiterhin hochsignifikante Kostenvorteile gegenüber den Optionen der Elektromobilität haben werden. Die Studie prophezeit ebenfalls der Erdgastechnik (CNG) für 2030 die größte Wirtschaftlichkeit.

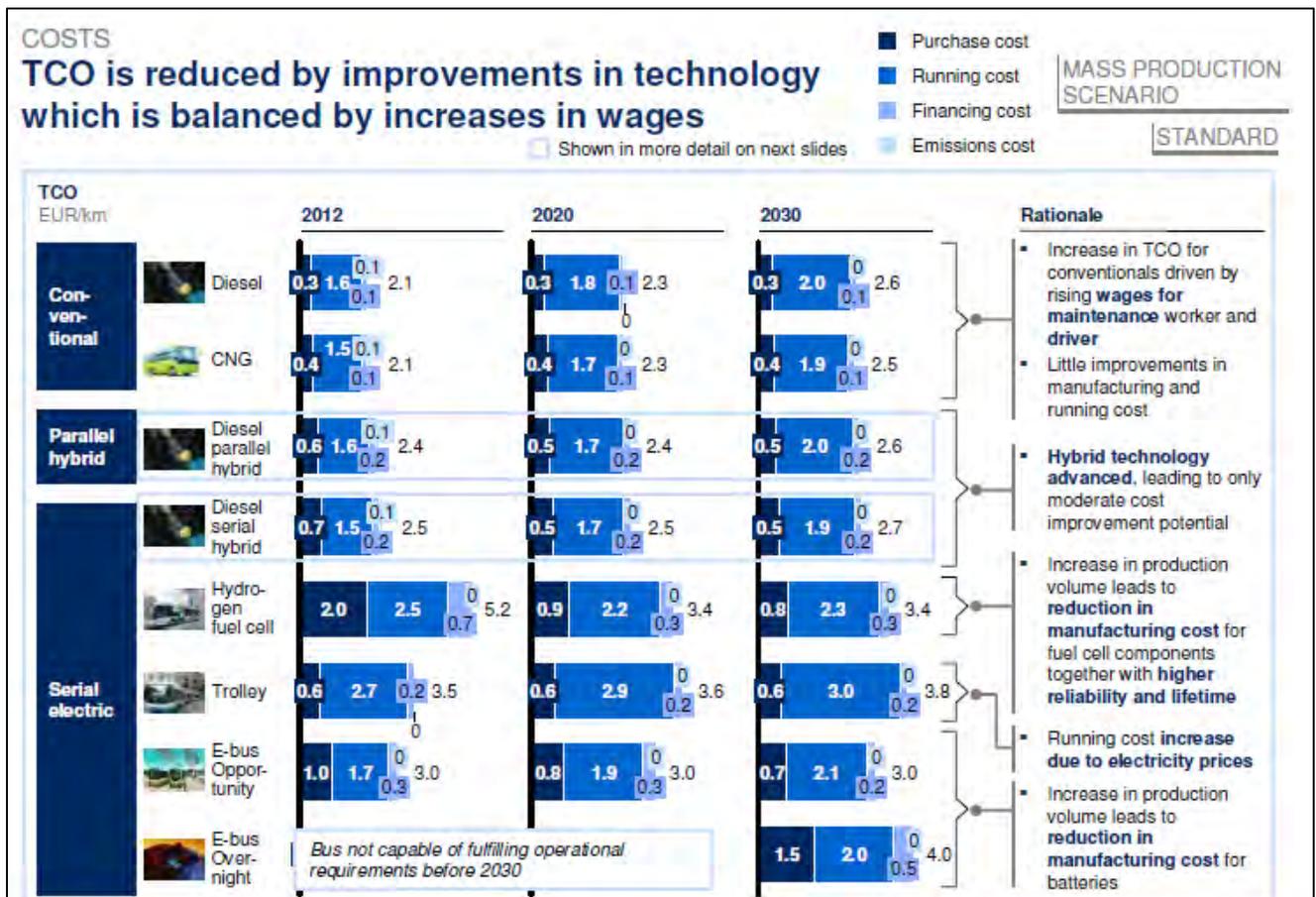


Abbildung 5-23: Allgemeiner Kostenvergleich der Antriebstechnologien (Lebenszykluskosten) auf verschiedenen Zeithorizonten (Quelle: Mc Kinsey, 2011)

Da die Weiterentwicklung der Elektromobilität im Pkw-Bereich als Treiber auch für die Kostendegression der Elektromobilität bei Linienbussen angesehen wird, soll hier die Bewertung FEV Aachen (2017) für den Zeitverlauf bis zum Jahr 2030 angeführt werden, siehe Abbildung 5-24. Demnach werden im Jahr 2030 lediglich 20% der Neuzugänge im Bereich Pkw und leichte Nutzfahrzeuge nicht über einen Verbrennungsmotor verfügen. Batteriefahrzeuge werden dann 19% und Brennstoffzellenfahrzeuge lediglich 1% der Fahrzeugneuzugänge ausmachen. Allerdings sollen 91% der Neuzugänge über einen elektrischen Antriebsstrang verfügen, was die zunehmende Bedeutung der (Plug-in) Hybridisierung belegt. Den mit 51% größten Anteil an den Neuzugängen werden den Mild-Hybriden zugeschrieben.

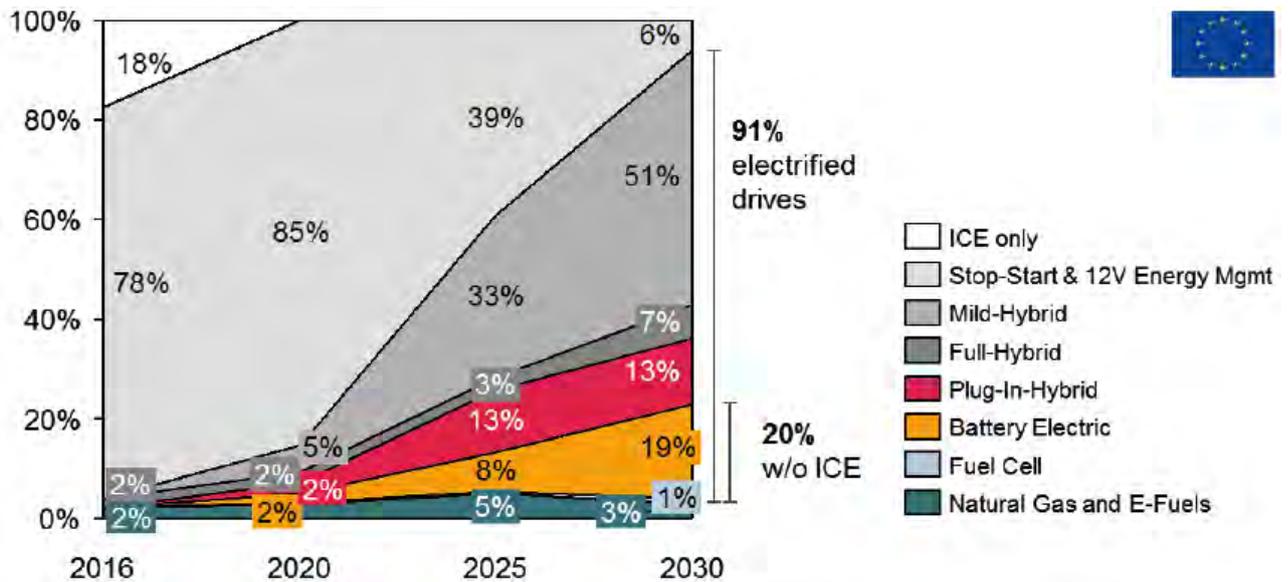


Abbildung 5-24: Entwicklung der Antriebstechnologien: Neuzugänge im Bereich Pkw und leichte Nfz bis 2030 (Quelle: FEV, 2017)

Trost (2016) entwickelte in seiner Dissertation am Fraunhofer IWES eine Prognose für die Entwicklung des Fahrzeugbestandes je Antriebstechnik im Zeitverlauf, siehe Abbildung 5-25. Er prognostiziert für das Jahr 2030 einen Anteil an Batteriefahrzeugen um rund 7%. Erst nach 2040, mit der erwarteten Einführung der Post-Li-Ionen-Technik (Li-Luft, Li-S, Festkörperbatterien...) wird die Batterieelektromobilität an Bedeutung gewinnen.

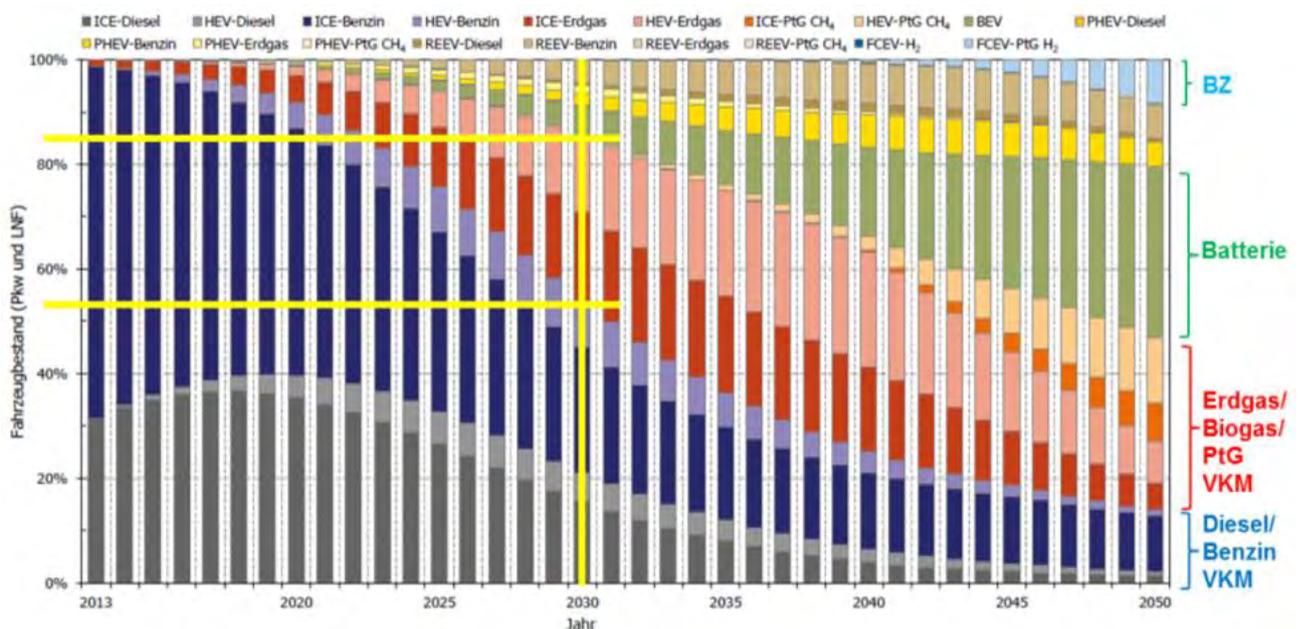


Abbildung 5-25: Entwicklung der Fahrzeugbestände nach Antriebstechnologien bis 2030 (Quelle: Trost, Diss. 2016)

6 Schlussfolgerungen zum Vergleich konventioneller und alternativer Antriebe für die Technologieausrichtung der SWG

Die ökologische und ökonomische Analyse der zurzeit eingesetzten oder im Test befindlichen alternativen Antriebstechnologien für Linienbusse und deren erwartete Weiterentwicklung hat gezeigt, dass konventionelle „Near Zero Emission“-Antriebe mit CNG-Verbrennungsmotoren für die überschaubare Zukunft, d.h. den Betrachtungshorizont „mittelfristig“, für die Bedingungen der SWG weiterhin die erste Wahl für Linienbusse bleiben werden, denn sie ermöglichen es weiterhin sowohl wirtschaftlich als auch umweltgerecht zu handeln. Alternative Antriebe des Spektrums Elektromobilität würden im Vergleich zu der etablierten CNG-Verbrennungsmotor-Option heute (2018) systembezogen die Ökobilanz nicht verbessern. Erst mittelfristig (2030) können die alternativen Optionen der Elektromobilität das ökologische Niveau der etablierten Antriebsoption mit CNG-Verbrennungsmotor und fossilem Erdgas für die Randbedingungen der SWG unterbieten. Unangefochten die **ökologisch günstigste Option bleibt auch mittelfristig die Erdgasbustechnik mit Biogas aus Abfällen**.

Ökonomisch betrachtet liegen alle alternativen Antriebe des Spektrums Elektromobilität heute (2018) – trotz der Förderung von 80 Prozent der Fahrzeugmehrkosten gegenüber einer Euro-VI-Erdgasbusflotte und trotz der Förderung von 40 Prozent der Anschaffungskosten für die Energiezuführungsinfrastruktur – weitab jenseits eines wirtschaftlichen Einsatzes. So wäre **heute** inklusive der aktuellen Fahrzeug- und Infrastrukturförderung des Bundes **mit jährlichen Mehrkosten (inklusive Infrastruktur)** in der Größenordnung **von rund 12 Prozent beim Opportunity Charger (Gelegenheitslader) und 15 Prozent beim Overnight Charger** zu rechnen. Weit abgeschlagen liegt heute der Brennstoffzellen-Hybridbus mit rund 108 Prozent Mehrkosten als teuerste Option. Etwaige Mehrkosten aufgrund noch geringerer Verfügbarkeit oder reduzierter Fahrgastkapazität (Overnight-Charger) wurden dabei nicht berücksichtigt.

Auch **mittelfristig** (2030) werden die Mehrkosten der Optionen des Spektrums Elektromobilität – bei dann nicht mehr unterstellter spezifischer Förderung – noch nicht das Niveau der hochsauberen Verbrennungsmotoroptionen erreicht haben und bei Be-

rücksichtigung der Energiezuführungsinfrastruktur (dann ohne Förderung) im Abschreibungszeitraum **noch Mehrkosten zwischen rund 10 Prozent (Opportunity Charger) und 29 Prozent (Overnight Charger)** gegenüber der aktuellen SWG-Flotte erfordern. Die Mehrkosten für Brennstoffzellenhybride werden dann immer noch abgeschlagen bei rund 52 Prozent liegen. Für alle Antriebsoptionen wurde auf dem Zeithorizont „mittelfristig“ das Vorhandensein einer entsprechenden Infrastruktur für die Energiezuführung vorausgesetzt. Aufgrund der rasanten Entwicklung der Elektromobilität wird jedoch ausdrücklich empfohlen, eine Neubewertung nach etwa fünf Jahren durchzuführen, um Einflüsse evtl. neuer Batterietechnologien, die aus heutiger Sicht zu diesem Zeitpunkt nicht als betrieblich serienreif absehbar sind, zu berücksichtigen.

Um das vorhandene Potenzial alternativer (elektromobiler) Busantriebe vollumfänglich zu entwickeln ist es wichtig, dass einige – **große** – Verkehrsunternehmen dazu bereit sind, solche Busse im Linienverkehrseinsatz zu testen und so wertvolle Erfahrungen zu sammeln, die allen Verkehrsunternehmen und damit der gesamten ÖPNV-Branche dienen. Kleinere und mittlere Verkehrsunternehmen sind von dieser Pionierrolle indes i.d.R. massiv überfordert, da eine kritische Größe von etwa 200 Linienbussen oder Synergien durch das Vorhandensein einer Straßenbahn/Stadtbahn vorhanden sein sollten bzw. müssen. Die Erprobung alternativer Antriebe des Spektrums Elektromobilität ist darüber hinaus auch nur dann möglich, wenn **kontinuierlich** umfangreiche Mittel der öffentlichen Hand **über lange Zeit** hierfür zur Verfügung gestellt werden oder die jeweilige Kommune hier äquivalent unterstützt.

Trotz der objektiven Fakten zu den tatsächlichen ökonomisch-ökologischen Realitäten der unterschiedlichen Antriebsoptionen heute und mittelfristig, die in dieser Studie auf der Basis der Randbedingungen der SWG erhoben wurden, ist allgemein ein massiver politischer Druck auf die Verkehrsunternehmen zu erkennen, eine Elektromobilität im ÖPNV zu etablieren. Deshalb wählen aktuell viele Verkehrsunternehmen, die der Autor mit seinem Institut berät, den pragmatischen Weg, aufgrund der aktuell massiven Förderung zunächst einige wenige Elektrobusse sowie die Energiezuführungsinfrastruktur zu beschaffen, so lange die Förderanreize bestehen, um einerseits den Anforderungen der Politik Genüge zu tun und andererseits trotz der noch hochsignifikant reduzierten Verfügbarkeit und Einschränkungen des Systems „Elektromobilität“ (Elektrobusse und Ladungsinfrastruktur) dann mit den vorhandenen konventionellen Bussen mit Verbrennungsmotor den Betriebsablauf sicherzustellen.

7 Literaturverzeichnis

- Achilles, L. (2008): Verkehrsgeschichte(n) vom Hamburger Nahverkehr.
- AG Energiebilanzen (2015): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern.
- F. Bergk, U. Lambrecht und R. Pütz, Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses zur Nutzung regenerativer Energien und Steigerung der Energieeffizienz, Heidelberg, IFEU/BELICON, 2015
- F. Bergk, U. Lambrecht, R. Pütz und H. Landinger, *Analyse der Lebenszykluskosten von Hybrid-Oberleitungsbussen*, Heidelberg, IFEU/BELICON, 2015
- Björklund, S. / Soop, C. / Rosenqvist, K. / Ydstedt, A. (2000): New Concepts for Trolley Buses in Sweden. Malmö, Sweden.
- Bormann, R. / Bracher, T. / Duemmler, O. / Duenbier, L. / Haag, M. / Holzapfel, H. / Kunst, F. / Mietzsch, O. / Mirbach, J. / Mossakowski, H. / Ubbelohde, J.-H. / Werner, J. / Zoubek, H. (2010): Neuordnung der Finanzierung des Oeffentlichen Personennahverkehrs.
- Brandt, A. (2009): Converting Oil Shale to Liquid Fuels with the Alberta Taciuk Processor: Energy Inputs and Greenhouse Gas Emissions. In: *EnergyFuels*. Vol. 23, pp. 6253–6258.
- Bundesverband Erneuerbare Energien (2015): Beitrag der Erneuerbaren Energien im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor im 1. Halbjahr 2015.
- Burmeister, J. (2013): Der Filobus kehrt in die italienischen Städte zurück. In: *Nahverkehrspraxis*. No.1, pp. 14–16.
- Delft, C. E. (2013): Zero emissions trucks An overview of state-of-the-art technologies and their potential.
- Deutsch, V. (2003): Einsatzbereiche neuartiger Transportsysteme zwischen Bus und Bahn. Bergische Universität Wuppertal.
- DLR / IWES / IfnE (2012): Leitstudie 2011 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.
- Duflou, J. R. / De Moor, J. / Verpoest, I. / Dewulf, W. (2009): Environmental impact analysis of composite use in car manufacturing. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. Vol. 58, No.1, pp. 9–12.
- Ebrahimi, B. E. (2014): Life Cycle Assessment of High Speed Rail Electrification Systems and Effects on Corridor Planning. NTNU Trondheim.
- Elgowainy, A. / Reddi, K. / Wang, M. (2013): Life-Cycle Analysis of Hydrogen On-Board Storage Options. In: *Argonne National Laboratory*. http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review13/an034_elgowainy_2013_o.pdf.
- Ewi / GWS / Prognos (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.
- FH ISI (2013): Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge. NPE. http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/e/projekte/npetco_316741_plp.php.

- Fralalocchi, A. (2012): How a small city renewed the trolleybus service: the case of Ancona. Presentation during the ASSTRA Workshop, Parma, May 2012.
- Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (2015): Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im ersten Halbjahr 2015.
- Gavrilova, O. / Vilo, R. / Vallner, L. (2010): A life cycle environmental impact assessment of oil shale produced and consumed in Estonia. In: *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 55.
- H2Gen (2007): Specifications HGM.
- Haase, R. (2007): Für eine Renaissance des O-Busses. In: *Internationales Verkehrswesen*. Vol. 59, No.5.
- Haase, R. (2012): Neue Horizonte im Stadtverkehr. In: *Internationales Verkehrswesen*. Vol. 4, No.64, pp. 66–67.
- Habermacher, F. / Althaus, H.-J. (2011): Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Passenger Cars - Comparison of LCA results between electric and conventional vehicle scenarios. In: *Dep. of Environmental Sciences*. Vol. Master, p. 94.
- Heer, D. / Bärsch, A. / Kokot, T. (2013): Trolleybus Luzern: Trolleybusstrategie. Luzern, Schweiz.
- Huober, W. (2008): Der Obus heute. <<http://www.vossloh-kiepe.com/elektrobusse/vkproduktordner.2008-06-15.5305035969/der-obus-heute>> (Jul. 31, 2015).
- ifeu (2011): Umbrella: Umweltbilanzen Elektromobilität - Grundlagenbericht. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. H. Helms, J. Jöhrens, J. Hanusch, U. Höpfner, U. Lambrecht, M. Pehnt. Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg. <http://www.emobil-umwelt.de/>.
- ifeu (2014): Aktualisierung „Daten - und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960- 2030“ (TREM-OD) für die Emissionsberichterstattung. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg.
- ifeu (2015a): Protokoll des Fachworkshops Hybrid-Oberleitungsbusse – Ein Beitrag zur Gestaltung der Energiewende im Verkehrssektor oder Techniknostalgie? in Berlin am 11. März 2015. <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/mks-fachworkshop-hybrid-oberleitungsbusse.html>.
- ifeu (2015b): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Institut für Energie und Umweltforschung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. In Druck., Heidelberg.
- ifeu / TU Graz (2015): Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) und Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3711 96 105. Dessau-Roßlau, April 2015.
- International Energy Agency (2013): world energy outlook.
- IPCC (2007): Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf. www.ipcc.ch.

- JEC (2014): WELL-TO-WHEELS Report Version 4.a. Technical Report for the European Commission. Joint Research Centre (JRC), EUCAR, Concawe.
- Korolkov, S. / Andersson, P. G. / Backhaus, W. / Haskins, D. (2015): How To Build and Operate an Efficient Trolleybus System.
- Kudlicza, P. (2009): Der Obus erlebt eine Renaissance. In: *VEÖ Journal*. Vol. JÄN, pp. 1–5.
- Kuusik, R. (2012): CO2 mineralization - option for abatement of CO2 emissions at Estonian oil shale processing?
- Lehmann, J. (2013): Der Obusbetrieb in Rheydt 1952-1973. <<http://obus269.homepage.t-online.de/s400rhey.htm>> (Jul. 31, 2015).
- Lehmann, J. (2015a): Obusse in der Epoche 3.
- Lehmann, J. (2015b): Auf oder Abgehängt? – Die Entwicklung im Obus-Sektor. <http://www.trolley-motion.eu/www/verwaltung/de/argumente/auf_ab.htm>.
- Maaß, C. / Waluga, G. / Weyland, R. (2015): Fahrscheinlos - Grundlagen- und Machbarkeitsstudie Fahrscheinloser ÖPNV in Berlin.
- Mackinger, G. (2014): Der O-Bus – ein verlässlicher Partner. In: *4. Internationale E-Bus-Konferenz*. Hamburg.
- McKinsey (2012): Urban buses : alternative powertrains for Europe.
- MIL Thüringen (2015): ÖPNV-Innovationsrichtlinie.
- MVI Baden-Württemberg (2014): Straßenverkehrslärm - Leitfaden für Lärmschutz in Städten und Gemeinden.
- MVI Baden-Württemberg (2015): Elektro- und Hybridbusse im ÖPNV.
- Neumann, P. (2009): An der Strippe. Eberswalde hält am Obus-Verkehr fest und kauft zwölf neue Fahrzeuge. In: *Berliner Zeitung*.
- Öko-Institut (2009): Renewability: Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030 - Teil 1: Methodik und Datenbasis. Berlin.
- Öko-Institut (2011): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), version 4.7.
- Öko-Institut / Agora-Verkehrswende (2017): Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Berlin
- Prognos (2010): Studie Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung.
- Pütz, R. (2016), On-Road-Emissionsvermessung (PEMS) von Euro-VI-Gelenkominibussen in Gießen: Vergleich der Realemissionen eines CNG- und eines Diesel-Gelenkbusses des Herstellers MAN im Linienbetrieb auf den repräsentativen Gießener Stadtbuslinien 801 und 1 (**Bericht Nr. BELICON/SWG-1-21.08.2016**)
- Pütz, R. (2010): Strategische Optimierung von Linienbusflotten Köln: Alba Fachverlag, 2010.
- Pütz, R., Einführung in die Linienbustechnik, Köln: Alba Fachverlag, 2012.
- Pütz, R., Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses zur breiteren Einführung der Elektromobilität im ÖPNV mit Linienbussen- Ökonomische Analyse unter LCC-

Aspekten, Berlin, 2016

- Quian, J. / Wang, J. (2006): World oil shale retorting technologies.
- Rogge, M. / Wollny, S. / Sauer, D. (2015): Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements. In: *Energies*. Vol. 8, No.5, pp. 4587–4606.
- Sabanov, S. / Sokman, K. (2008): Technological and Environmental Aspects of Assessment of a Combination of Different Mining Methods Used in Estonian Oil Shale Industry. In: *Oil Shale*. Vol. 25, No.2 Special, pp. 163–173.
- Salman, O. / Chen, Y. (2013): Comparative Environmental Analysis of Conventional and Hybrid Wheel Loader Technologies - A Life Cycle Perspective.
- Schaden, H. / Mackinger, G. (2004): Positionspapier Trolleybus. Betreffend die EU-Verordnung zur Vergabe öffentlicher Dienstleistungsaufträge im Personenverkehr.
- Scherr, C. (2015): Elektrochemisches Verhalten von Lithium-Schwefel-Zellen mit unterschiedlicher Kathodenstruktur. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- Schmied, M. / Mottschall, M. / Kappus, J. / Klußmann, A. / Hecht, M. / Eschweiler, P. (2013): Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr.
- Schnell, P. / Retzke, C. (2010): Total Deutschland: Aktivitäten und Planungen zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur.
- Schulz, A., Batterieelektrische Fahrzeuge im gewerblichen Flottenbetrieb, Berlin, Dissertation, 2015
- Schweizer, F. (2006): Plädoyer für den Trolleybus. In: *Üsi Meinig, Mitteilungsblatt des VCS und WWF Schaffhausen*. Vol. 1, pp. 14–17.
- Spousta, J. / Németh, Z. Á. / Wolek, M. / Weiß, A. / Chick, D. G. (2013): Trolleybus Intermodal Compendium.
- Stadtbus Winterthur (2013): Der Trolleybus fährt seit 75 Jahren. Eine Erfolgsgeschichte. In: *Stadtbus Aktuell*. Winterthur.
- SVE (2015): Geschichte der Städtischen Verkehrsbetriebe Esslingen: 1950-1959. SVE (Städtische Verkehrsbetriebe Esslingen). <http://www.sves.de/Lde/start/SVE/1950+_+1959.html>.
- Tica, S. / Filipović, S. / Živanović, P. / Bajčetić, S. (2011): Development of Trolleybus Passenger Transport Subsystems in Terms of Sustainable Development. In: *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. Vol. 1, No.4, pp. 196–205.
- TNO (2014): NOx and PM emissions of a Mercedes Citaro Euro VI bus in urban operation.
- Trolley-motion (2014): Esslingen: City-News Archiv. <http://www.trolley-motion.eu/www/index.php?id=38&L=0&n_ID=2107> (Jul. 31, 2015).
- Trolley-motion (2015a): Die Geschichte des Trolleybus. <<http://www.trolley-motion.eu/www/index.php?id=44>> (Jul. 31, 2015).

- Trolley-motion (2015b): Liste aller Trolleybusstädte. <<http://www.trolley-motion.eu/www/index.php?L=0&id=36&land=all>>.
- UBA (2013): Position: Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos. Dessau-Roßlau. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position_kurzfristig_kaum_laerminderung_im_verkehr.pdf.
- VBSG (2007): Die Verkehrsbetriebe St. Gallen. Trolleybus: Ja oder Nein?
- VCDB (2010): SAXHYBRID - schnellladefähige Hybridbusse im Linienbetrieb; Fachforum Sachsen- Modellregion Elektromobilität.
- VDV (2017): Busförderung in den Ländern Stand : Juni 2017.
- Verbio (2016/17): Jahresbericht.
- Vossloh Kiepe GmbH (2014): Modern e-bus propulsion systems 4 . International E-Bus-Conference in Hamburg Vossloh Kiepe.
- Wotek, M. / Wyszomirski, O. (2013): The Trolleybus as an Urban Means of Transport in the Light of the Trolley Project. Danzig.
- Zavada, J. / Zavada, J. B. / Miloš, K. (2010): Conditions for implementing trolleybuses in public urban transport. In: *Promet - Traffic & Transportation*. Vol. 22, No.6, pp. 467–474.
- Zid, B. (2015): Ausbau der Elektromobilität. Projekt "O-Bus 2020" der Verkehrsbetriebe Solingen. Präsentation im Rahmen des Fachworkshops Hybrid-Oberleitungsbusse – Ein Beitrag zur Gestaltung der Energiewende im Verkehrssektor oder Techniknostalgie? Berlin, 11. März 2015.