

Gasbusse im ÖSPNV – eine bezahlbare Alternative?

Die Klimaziele der Bundesregierung stellen den Verkehrssektor vor große Herausforderungen. Hinzu kommt die Notwendigkeit, lokal erzeugte **Luftschadstoffe in Ballungsgebieten zu reduzieren**. Dadurch geraten auch die Fahrzeuge des öffentlichen Straßenpersonennahverkehrs (ÖSPNV) in den Fokus der **Diskussion um saubere, alternative Antriebskonzepte**. Eine Option zur Modernisierung bestehender Busflotten sind Gasbusse, die sowohl zu einer Minderung der lokalen Emissionen beitragen als auch ein bemerkenswertes Treibhausgas-Einsparpotenzial bieten. Im Vergleich zu anderen alternativen Antriebskonzepten wie batterieelektrischen Bussen oder Brennstoffzellenbussen können Gasbusse deutlich einfacher in den bestehenden ÖPNV-Betrieb integriert werden. Die Busse sind technisch voll ausgereift und sofort verfügbar. Dies zeigt der **erfolgreiche Einsatz von Gasbussen** in mehr als 20 Städten und Kommunen in Deutschland. Hierzu gehören u. a. Augsburg, Gießen, Köln, Oldenburg und ab 2020 auch Koblenz.

von: Wolfgang Köppel, Maximilian Heneka & Dr. Frank Graf (alle: DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut)

Der öffentliche Straßenpersonennahverkehr (ÖSPNV) mit seinen momentan rund 35.000 Bussen in Städten und Ballungsräumen [1] wird als ein wichtiger Baustein zur Senkung der innerstädtischen Schadstoff- (u. a. Stickoxide, Feinstaub) und Lärmemissionen sowie der verkehrsbedingten Treibhausgas-Emissionen gesehen (z. B. [2]). Voraussetzung dafür ist der Austausch der aktuell ca. 32.000 Dieselbusse [3] durch umwelt- und klimafreundliche Alternativen. Die Betreiber stehen dabei vor der Herausforderung, aus den vorhandenen alternativen Antriebskonzepten eine zukunftsfähige, technisch ausgereifte und gleichzeitig kosteneffiziente Lösung zu wählen.

Im Zuge dieser Diskussion untersuchte die DVGW-Forschungsstelle in einer Studie, inwieweit Gasbusse eine solche Option darstellen. Hierzu wurden die benötigte Betankungsinfrastruktur und die spezifischen Anforderungen an Personal und Werkstätten diskutiert sowie im Vergleich zu Diesel-, Brennstoffzellen- und batterieelektrischen

Bussen die Total Cost of Ownership (TCO) und die Klimawirksamkeit des Linienbetriebs bewertet.

Alternative Antriebskonzepte für den ÖSPNV mit Bussen

Aktuell werden im ÖSPNV mit Bussen nahezu ausschließlich Fahrzeuge mit Dieselantrieb eingesetzt. Alternative Antriebskonzepte hatten im Jahr 2017 einen Anteil von nur etwa 5 Prozent am Linienbusbestand (Gasbusse: 3 Prozent, Batteriebusse: < 1 Prozent, Brennstoffzellenbusse: < 0,1 Prozent) [3]. Im Gegensatz zu Diesel-, Gas- und Brennstoffzellenbussen, die konventionell an Tankstellen tanken, stehen zum Laden der Batteriespeicher von batterieelektrischen Bussen verschiedene Ladestrategien mit unterschiedlichen Ladetechniken (Plug-in, Docking (Pantograf) oder Induktion) zur Verfügung. Nachfolgend werden ausschließlich Batteriebusse betrachtet, die im Depot und mithilfe der weit verbreiteten [4] Plug-in-Technik (kabelgebundener (konduktiver) Ladevorgang) aufgeladen werden. Für eine

ausführliche Betrachtung der verschiedenen Ladestrategien sei an dieser Stelle auf den Studienbericht verwiesen.

Sogenannte Mild-Hybrid-Konzepte bilden eine Weiterentwicklung im Bereich der Diesel- und Gasbusse. Durch Rekuperation und Stopp-Start-Automatik haben Mild-Hybrid-Fahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugmodellen einen um etwa 12 bis 13 Prozent reduzierten Kraftstoffverbrauch und eine verringerte Lärm- und Schadstoffbelastung.

Infrastruktur und Linienbetrieb

Für die Beurteilung der Infrastrukturmaßnahmen bei der Einführung von Gasbussen wurden eine Betreiberumfrage und eine Literaturrecherche durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die kurzfristige Bereitstellung von Erdgas respektive Biomethan und zukünftig von SNG, z. B. aus Power-to-Gas-Prozessen sowie die Umrüstung von Werkstätten nur einen vernachlässigbaren Aufwand bedeuten.

Operativ bestehen zwischen Diesel- und Gasbussen keine wesentlichen Unterschiede. Gasbusse sind technisch ausgereift und können Dieselbusse ohne Einschränkungen bei Tankdauer, Fahrgastkapazität und Einsatzflexibilität hinsichtlich Streckenprofil und Reichweite ersetzen.

Die Auswirkungen der Einführung von Batterie- und Brennstoffzellenbussen auf die bestehende Infrastruktur und den Betriebsablauf eines Verkehrsunternehmens wurden in der Studie nicht im Detail betrachtet. Generell ist jedoch – insbesondere bei batterieelektrischen Bussen – eine umfangreiche standortspezifische Systemauslegung vorzunehmen. Je nach Art der lokalen Randbedingungen (z. B. Streckentopologie, Netzanschluss) und der Fahrzeugspezifikationen (z. B. Fahrgastkapazität, Reichweite, Ladekonzept) kann der erforderliche Anpassungsbedarf mehr oder weniger hoch ausfallen.

Lokale Schadstoffemissionen

Um die Feinstaub- und Stickoxidgrenzwerte der Abgasnorm Euro VI bei Dieselbussen einzuhalten, ist der Einsatz von Partikelfiltern und Stick-

stoffreinigungsverfahren notwendig. Bei modernen Gasfahrzeugen hingegen ist außer einem Drei-Wege-Katalysator keine weitere Abgasreinigungstechnik erforderlich. Dennoch werden die von Euro-VI-Dieselfahrzeugen erreichten Werte teilweise deutlich unterschritten (Stickoxide: ca. minus 40 Prozent, Feinstaub: ca. minus 90 Prozent, Lärmemissionen: ca. minus 50 Prozent) [5–7]. Batterie- und Brennstoffzellenbusse verursachen keine lokalen Schadstoffemissionen. Zudem sind die Lärmemissionen im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Antriebskonzepten auf die Rollgeräusche reduziert.

Well-to-Wheel-Analyse

Der Well-to-Wheel-Ansatz bietet eine Möglichkeit, die Klimawirkung von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien bzw. Kraftstoffen (z. B. fossile oder regenerative Kraftstoffe) auf einer einheitlichen Basis zu vergleichen. Hierzu werden der energetische Aufwand und damit die anfallenden Treibhausgas-Emissionen bei der Bereitstellung und bei der Nutzung der Kraftstoffe berücksichtigt. Im Ge-

SCOUT VGS 4500

Höchste Produktivität und Genauigkeit

Die mobile Messeinheit „**Scout VGS 4500**“ von Schütz GmbH Messtechnik ist ein System, mit dem die Gaslecksuche entsprechend dem neuen DVGW-Regelwerk von 2019 mit einem KFZ erfolgen kann.

 **SCHÜTZ
MESSTECHNIK**



Q-02846-17-1-1
DIN EN ISO 9001:2015

Schütz GmbH Messtechnik · Im Dornschlag 6 · D-77933 Lahr, Schwarzwald · Tel: +49(0)7821 32 80 100
info@schuetz-messtechnik.de · www.schuetz-messtechnik.de

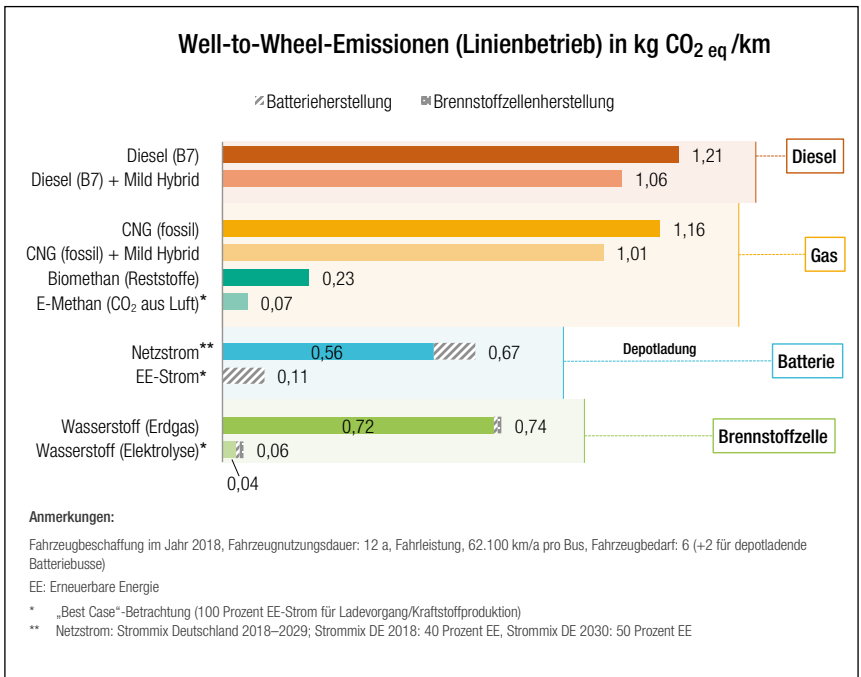


Abb. 1: Well-to-Wheel-Emissionen des Linienbetriebs nach Antriebsart

Dieselmotoren mit 7 Prozent Biodieselanteil) und im Vergleich zu mit fossilem CNG betriebenen Gasbussen die geringsten Treibhausgas-Emissionen verursachen. Werden ausschließlich regenerative Kraftstoffe verwendet, liegen alle alternativen Antriebskonzepte in einer ähnlichen Größenordnung. Hervorzuheben sind jedoch mit Biomethan betriebene Gasbusse, die bereits heute z. B. in Augsburg, Gießen und ab 2020 in Koblenz eingesetzt werden und im betrachteten Nutzungszeitraum gegenüber mit Netzstrom betriebenen batterieelektrischen Bussen eine Treibhausgas-Einsparung um ca. 65 Prozent und gegenüber konventionellen Dieseln um ca. 80 Prozent ermöglichen.

Total Cost of Ownership (TCO)

Der wirtschaftliche Vergleich der betrachteten Antriebsstränge erfolgte auf Basis einer Total-Cost-of-Ownership-Analyse (TCO) unter Annahme einer Fahrzeugbeschaffung im Jahr 2018. Berücksichtigt wurden alle wesentlichen Kostenelemente, darunter z. B. die Kapitalkosten der Fahrzeuge und der (Lade-)Infrastruktur, die Kosten für den Austausch von Batterien und Brennstoffzellen, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Fahrpersonalkosten sowie die Kosten für Betriebsstoffe (durchschnittliche Kraftstoffpreise im Jahr 2018: Diesel: 1,28 Euro/l, CNG: 1,10 Euro/kg, Biomethan: 1,20 Euro/kg¹, Wasserstoff: 9,50 Euro/kg, AdBlue: 0,59 Euro/l; durchschnittlicher Strompreis für Industriekunden im Jahr 2018: 18,47 Cent/kWh). Investitionszuschüsse für die Beschaffung der Fahrzeuge und den eventuell erforderlichen Aufbau der Infrastruktur² wurden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

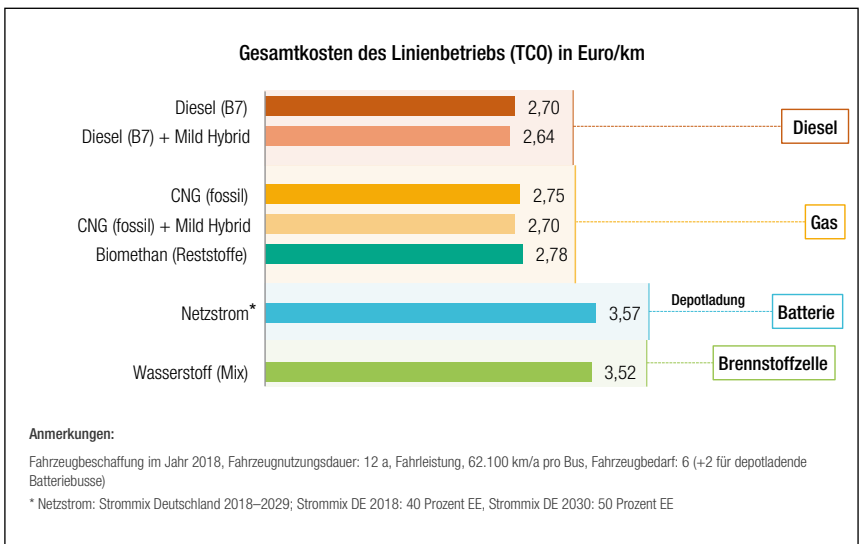


Abb. 2: Total Cost of Ownership (TCO) des Linienbetriebs nach Antriebsart

Der Berechnung der TCO liegen eine Fahrzeugnutzungsdauer von zwölf Jahren, eine Infrastrukturnutzungs-

gensatz zu einer vollständigen Ökobilanz gemäß ISO 14040 [8] und ISO 14044 [9] sind Bauvorleistungen, Wartungs- und Instandhaltungsprozesse und die Entsorgung von z. B. Abfallstoffen nicht Gegenstand des Well-to-Wheel-Betrachtungsrahmens [10].

Die Berechnung der Well-to-Wheel-Emissionen wurde auf Basis einer Modelllinie, bestehend aus sechs Fahrzeugen mit einer Fahrzeugnutzungsdauer von zwölf Jahren, für den Zeitraum 2018–2029 und eine Fahrleistung von

62.100 km/a pro Bus durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Kraftstoffoptionen bzw. Ladestromszenarien berücksichtigt. Im Falle der (depotladenden) batterieelektrischen Busse werden infolge der geringeren Reichweite zwei zusätzliche Austausch-Fahrzeuge benötigt.

Die Well-to-Wheel-Analyse (Abb. 1) zeigt, dass der Linienbetrieb mit batterieelektrischen Bussen und Brennstoffzellenbussen im Vergleich zu konventionellen Dieseln (Annahme: B7-

¹ Die Abnahmepreise für CNG und Biomethan wurden auf Basis existierender Tankstellen erhoben.

² Im Falle der Dieseln wurde angenommen, dass die benötigte Tankstelle bereits existiert.

INFORMATIONEN

Die vollständige Studie ist unter www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-busstudie/ abrufbar. Eine Kurzfassung der Studie ist außerdem in der Dokumentationsreihe des Deutschen Städte- und Gemeindebundes (DStGB) erschienen (DStGB-Dokumentation N° 152: „Einsatz von Gasbussen im ÖPNV“).

dauer von 24 Jahren und ein Diskontsatz von 5 Prozent/a zugrunde. Für die Austausch- bzw. Ersatzkomponenten und die Betriebsstoffe wurden Kostenentwicklungen auf Basis von Literaturwerten hinterlegt. Außerdem wurden die Entwicklung der Energiesteuer und die Steuerentlastungen für ÖPNV-Betreiber beim Bezug von Strom und Kraftstoffen für Busse gemäß § 9 c StromStG und § 56 EnergieStG berücksichtigt.

Die Ergebnisse (Abb. 2) zeigen, dass Gasbusse für die betrachteten Betriebsbedingungen mit 2,75 Euro/km bzw. 2,78 Euro/km bei Verwendung von Biomethan ähnliche Kosten wie Euro-VI-Dieselbusse (2,70 Euro/km) verursachen. Demgegenüber sind bei den batterieelektrischen und den Brennstoffzellenbussen bis zu 32 Prozent höhere Kosten zu erwarten. Grund dafür sind insbesondere die höheren Fahrzeugschaffungskosten und der speziell bei depotladenden batterieelektrischen Bussen erhöhte Fahrzeugbedarf. Die Kosten für eine möglicherweise erforderliche Netzertüchtigung im Falle batterieelektrischer Busse sind darin noch nicht enthalten.

Fazit

Batterie- und Brennstoffzellenbusse sind als „Nullemissionsfahrzeuge“ in Bezug auf die lokalen Emissionen eine Option für Metropolen mit hohem Verkehrsaufkommen. Derzeit ist der Einsatz von batterieelektrischen Bussen und Brennstoffzellenbussen jedoch

ohne eine sehr hohe Förderung nicht wirtschaftlich umsetzbar. Zudem lassen sich hohe Treibhausgas-Einsparungen nur unter Verwendung von ausschließlich erneuerbarer elektrischer Energie bzw. erneuerbarem Wasserstoff erzielen. Gasbusse bieten dagegen schon heute eine schnell umsetzbare, kostenneutrale und technisch ausgereifte Alternative, um heutige Busflotten mit geringem Aufwand zu modernisieren und die hohen lokalen Emissionen in vielen Ballungsräumen zu mindern. Ferner haben Busflottenbetreiber im ÖPNV mithilfe von Biomethan als Kraftstoff die Möglichkeit, schon heute einen wichtigen Beitrag zu den ambitionierten Klimaschutzkonzepten und Treibhausgas-Minderungszielen vieler Städte und Kommunen zu leisten. ■

Literatur

- [1] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, „VDV-Statistik 2017“, Okt. 2018. [Online] Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/vdv-statistik-2017.pdf?forced=true>. Zugriff am: Apr. 26 2019.
- [2] J. Erhard et al., „Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland: Weichenstellungen bis 2050“, Berlin, Jun. 2014. [Online] Verfügbar unter: http://www.www.de/fileadmin/fm-www/Publikationen-PDF/Verbaendekonzept_Klimafreundlicher_Verkehr.pdf. Zugriff am: Apr. 23 2018.
- [3] Zukunft ERDGAS e. V., „Vorfahrt für saubere Technologien: Antriebe für den ÖPNV im Kosten- und Umweltvergleich“, Zukunft ERDGAS e. V., Berlin, 2018. [Online] Verfügbar unter: https://zukunft.erdgas.info/fileadmin/public/PDF/Politischer_Rahmen/Summary_Busstudie-OEPNV.pdf. Zugriff am: Mrz. 26 2019.
- [4] H. Arnold und M. Rohs, E-Bus-Radar 2019: Die Zukunft des öffentlichen Nahverkehrs? Zugriff am: Sep. 11 2019.
- [5] S. Feldpausch-Jägers, N. Lefort, M. Henel, J. Ruf und W. Köppel, „Potentialanalyse LNG - Einsatz von LNG in der Mobilität: Schwerpunkte und Handlungsempfehlungen für die technische Umsetzung“, Bonn, 2016.
- [6] P. Hendrickx, „LNG/LBG ist die einzige nachhaltige und wirtschaftliche Alternative zu Dieselmotoren im Güterfernverkehr“, April 2015.
- [7] LNG Task Force, „LNG Heavy Duty trucks Case Studies: Informal Document for the 104th meeting of group of experts on general safety“, United Nations, Genf, Apr. 2012.
- [8] DIN EN ISO 14040:2009-11, Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006, 2009.
- [9] DIN EN ISO 14044:2018-05, Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd. 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018, 2018.
- [10] R. Edwards, J.-F. Larivé, D. Rickeard und W. Weindorf, „Well-to-Tank Report Version 4. a: Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context“, Institute for Energy and Transport, Luxembourg, 2014. [Online] Verfügbar unter: http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/about-jec/files/documents/report_2013/wtt_report_v4_july_2013_final.pdf. Zugriff am: Apr. 18 2017.

Die Autoren

Wolfgang Köppel ist Leiter der Gruppe „Systeme und Netze“ an der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Maximilian Heneka ist Projekt Ingenieur mit Schwerpunkt Mobilität in der Gruppe „Systeme und Netze“ an der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Dr. Frank Graf leitet den Bereich „Gastechnologie“ an der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut (EBI) des Karlsruher Instituts für Technologie.

Kontakt:

Maximilian Heneka
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT
Engler-Bunte-Ring 1-7
76131 Karlsruhe
Tel.: 0721 608-41225
E-Mail: heneka@dvgw-ebi.de
Internet www.dvgw-ebi.de



GERHARD RODE
Rohrleitungsbau GmbH & Co. KG

**INNOVATION
AUS TRADITION –
WASSER | GAS
FERNWÄRME | KABEL
ANLAGEN**

Seit mehr als 80 Jahren

Münster | Beckum | Wischhafen | Stade
www.rodde.de