

# E-ÖPNV: Technologie und Einführungsstrategie

## Motivation: Warum Elektromobilität im ÖPNV?

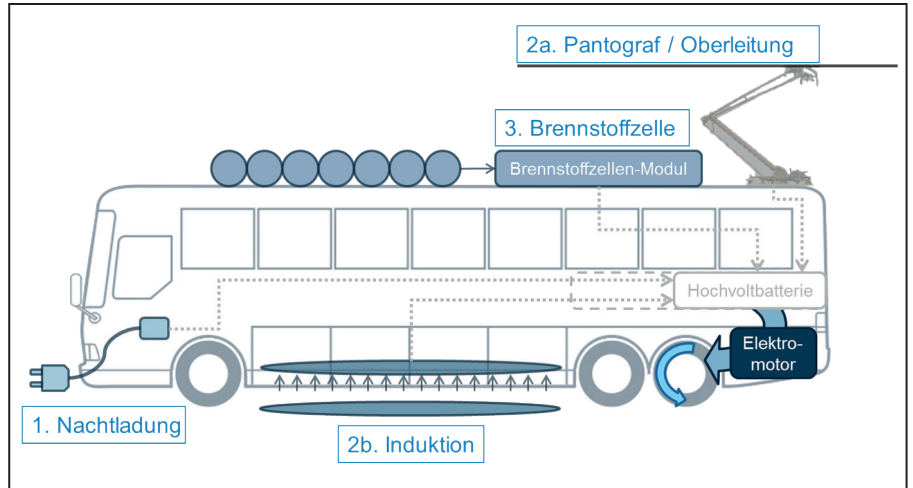
Eine Vielzahl deutscher Städte steht vor der Herausforderung, die Belastung der Luft durch Abgase – allen voran Stickoxide – zu senken, um gesetzliche Auflagen erfüllen zu können und die Lebensqualität in Ballungsräumen zu sichern. Um dies zu erreichen, werden Reglementierungen des Verkehrs diskutiert, bis hin zu Dieselfahrverboten. Eine Elektrifizierung des ÖPNV kann einen wichtigen Beitrag leisten, um die Emissionen in den Innenstädten zu verringern. Durch die Umstellung des Linienbusverkehrs auf Elektrobusse ergäbe sich in Deutschland ein CO<sub>2</sub>-Einsparungspotential von ca. 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr<sup>1</sup>.

Im Folgenden werden zentrale Aspekte der Elektromobilität im ÖPNV diskutiert: Welche Technologieoptionen existieren für den Betrieb von Elektrobusen? Wie gelingt ein reibungsloser und nachhaltiger Umstieg auf Elektrobusse? Welche Rolle spielt Elektromobilität in der Energiewende?

### Elektrobustechologien

Für den Betrieb von Elektrobusen bieten sich verschiedene Technologien und Konzepte an. Reine Batteriebusse können auf zwei Arten geladen werden: Bei der Nachtladung (engl.: „over-night charging“) wird die Batterie des Busses mehrere Stunden – typischerweise über Nacht – im Busdepot an einer Ladestation geladen. Bei der Gelegenheitsladung (engl.: „opportunity charging“) wird die Batterie des Busses „bei Gelegenheit“, z.B. an Endhaltestellen während längerer Pausen oder während der Fahrt (mit Oberleitung, engl.: „in-motion charging“), mit hoher Leistung nachgeladen und so die Reichweite vergrößert.

<sup>1</sup> Greenpeace: <https://www.greenpeace.de/files/publications/elektrobusse-dieselbonus-greenpeace-20160202.pdf>



Technologieoptionen im ÖPNV: Batteriebus mit Nachtladung, Batteriebus mit Gelegenheitsladung (Pantograf oder induktiv) und Brennstoffzellen-Hybrid-Bus.

Der Brennstoffzellen-Hybrid-Bus erzeugt die elektrische Energie für den Antrieb direkt an Bord in einer Brennstoffzelle. Der dazu benötigte Wasserstoff wird an einer Wasserstofftankstelle in ähnlicher Weise wie Erdgas- oder Dieselfuhrkraftstoff in wenigen Minuten getankt.

Die Technologien unterscheiden sich im Wesentlichen in den maximalen Reichweiten, der Komplexität der Ladeinfrastruktur und den Investitionskosten. Nachtlader weisen die geringsten Einstiegskosten auf und sind auf kurzen Strecken leicht in den regulären Fahrbetrieb zu integrieren. Auf Grund dessen bietet sich diese Technologie bei kurzen Umläufen und für Pilotprojekte beziehungsweise für eine kurzfristige Umsetzung an. Die Reichweite von Gelegenheitsladern ist durch das wiederholte Aufladen der Batterie theoretisch unbegrenzt. Allerdings ist in vielen Fällen eine Anpassung des Betriebsplans erforderlich, um ausreichend Ladezeiten zur Verfügung zu haben. Zudem ist die Installation der Pantografen oder Induktionsplatten an den Haltestellen mit hohen Investitionen und planerischem Aufwand verbunden.

Mit der Brennstoffzellentechnologie ist der Ersatz von Dieselfahrern im Betrieb nahezu 1:1 möglich, da sich die

Technologien in puncto Reichweite und Tankvorgang sehr ähnlich sind. Zur Versorgung der Busse mit Wasserstoff ist allerdings die Errichtung einer Wasserstofftankstelle erforderlich.

### Einführungsstrategien

Grundlage für eine nachhaltig erfolgreiche Flottenumstellung ist eine ausgiebige Planungsphase. Hier steht vor allem die Auswahl der am besten geeigneten Elektrobus-Technologie(n) im Vordergrund. Dazu werden das Liniennetz mit den Umlaufplänen, die Bestandsflotte und die örtlichen Rahmenbedingungen umfassend analysiert. Anschließend gilt es, eine Strategie zu entwickeln, welche die kurz-, mittel- und langfristige Umstellung auf Elektrobusse beschreibt. Wichtig ist: Die Umstellungsstrategie sollte so gewählt werden, dass sie nach einigen Jahren flexibel an Technologie- und Preisentwicklungen angepasst werden kann.

In der ersten Phase der Umstellung wird ein Pilotbetrieb der ersten Elektrobusse empfohlen. Im Vordergrund steht hierbei das Sammeln erster Erfahrungen über Elektrobusse im Linieneinsatz sowie die Abläufe in der Werkstatt und dem Depot.

weiter auf Seite 8

# E-ÖPNV: Technologie und Einführungsstrategie

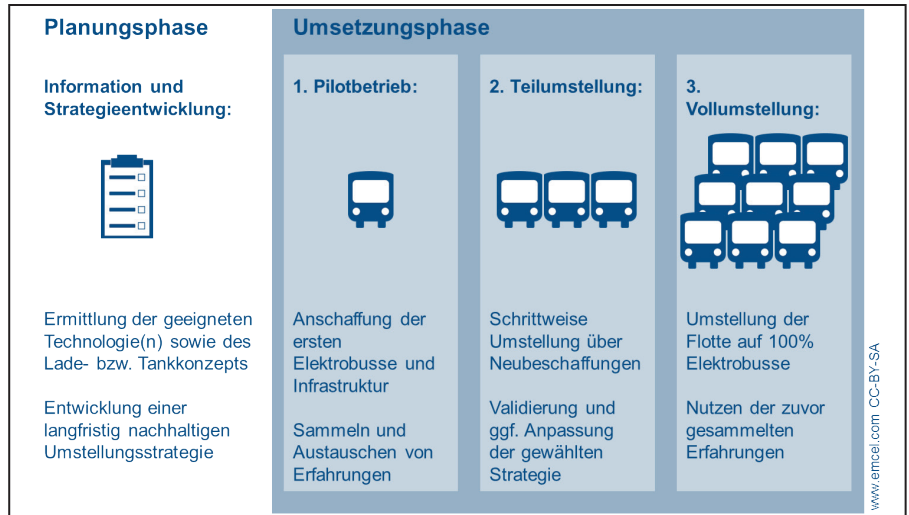
weiter von Seite 7

In der zweiten Phase erfolgt eine schrittweise Teilumstellung der Busflotte. Mit den Erkenntnissen der ersten Phase werden mit der turnusmäßigen Neubeschaffung weitere Elektrobusse eingeführt. Parallel zur Beschaffung größerer Elektrobuschargen ist die jeweilige Infrastruktur (Ladepunkte, Netzinfrastruktur, Wasserstofftankstellen) entsprechend zu erweitern.

In der dritten Phase erfolgt die Vollumstellung auf 100 % Elektrobusse. Alle zuvor gewonnenen Erfahrungen und Informationen helfen nun, die bestmögliche Umstellung von Diesel- auf E-Mobilität zielgerichtet und nachhaltig realisieren zu können. Die validierte Umstellungsstrategie weist dabei den klaren Weg zur emissionsfreien Busflotte.

## Brennstoffzellenbusse und Wasserstoffinfrastruktur

Was heißt das am Beispiel Brennstoffzellenbusse? Besonders die Wasserstoffmobilität kann wesentlich zum Gelingen der Verkehrswende beitragen, da sie im innerstädtischen Bereich und in Ballungsräumen mit einer einfachen Tankinfrastruktur auskommt und es als einzige Technologieoption ermöglicht, Dieselbusse im Betrieb 1:1 zu er-



Flottenumstellung auf Elektrobusse in drei Phasen

setzen. Brennstoffzellenbusse werden wie Dieselbusse an der Zapfsäule einer Tankstelle, z.B. auf dem Busbetriebshof, betankt. Der Tankvorgang selbst unterscheidet sich praktisch nicht von der gewohnten Betankung: Innerhalb von etwa 10 Minuten wird der auf 350 bar komprimierte Wasserstoff für eine Reichweite von ca. 400 km betankt.

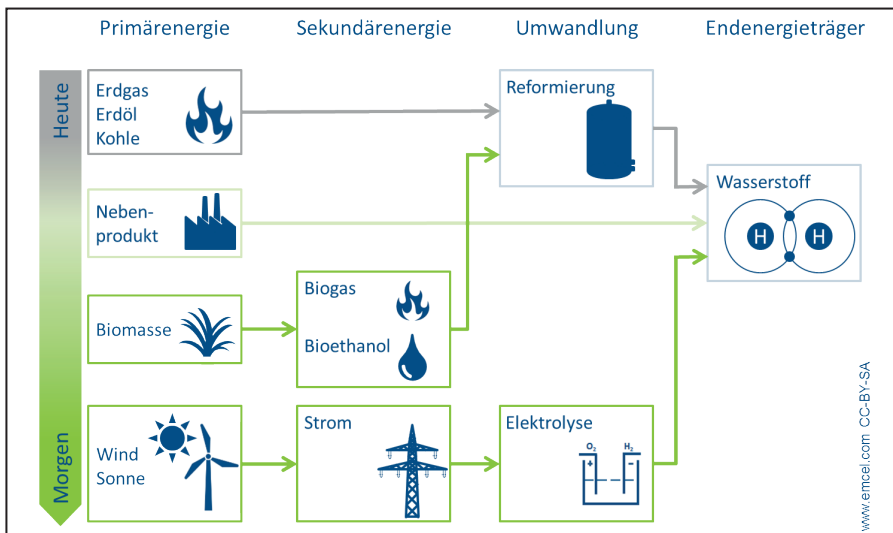
Zurzeit wird der Großteil des weltweit produzierten Wasserstoffes noch mittels Reformierung aus Erdgas gewonnen. Damit Brennstoffzellenbusse nicht nur lokal, sondern auch global emissionsfrei fahren, muss die Produktion des Wasserstoffes

zukünftig CO<sub>2</sub>-neutral erfolgen. Für die Produktion von grünem Wasserstoff hat die Wasserelektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Quellen die größte Relevanz. Neben der Versorgung des Verkehrssektors mit Wasserstoff kann die Elektrolyse dazu beitragen, das Stromnetz zu stabilisieren und durch „Power-to-Gas“ die Sektorkopplung (die Vernetzung der drei Sektoren der Energiewirtschaft Elektrizität, Wärmeversorgung und Mobilität) weiter voranzutreiben.

Somit spielt die Elektrifizierung des ÖPNV auch für die Energiewende eine entscheidende Rolle. Insbesondere die Nutzung des Energieträgers Wasserstoff ist ein Schlüsselement der Sektorkopplung. ■

Marcel Corneille, EMCEL GmbH

**Kontakt**  
 EMCEL GmbH Ingenieurbüro für Brennstoffzelle Wasserstofftechnologie und Elektromobilität  
 Marcel Corneille  
 Brüsseler Str. 85  
 50672 Köln  
 Tel: 0221 / 299 319-29  
 E-Mail: [mc@emcel.com](mailto:mc@emcel.com)  
 Internet: [www.emcel.com](http://www.emcel.com)



Produktionspfade von Wasserstoff