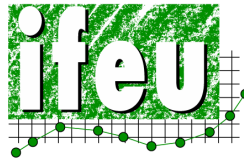




Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



ludwig bölkow
systemtechnik



Wissenschaftliche Begleitforschung der MKS

Potenziale des Hybrid-Oberleitungsbusses als effiziente Möglichkeit für die Nutzung erneuerbarer Energien im ÖPNV

Thematische Einführung, Untersuchungsziele, erste Ergebnisse

Udo Lambrecht, Fabian Bergk (ifeu), Prof. Dr. Pütz (Belicon)

Fachworkshop Hybrid-Oberleitungsbus, Berlin, 11.03.2015

Inhalt

- Einführung
- Vergleich Buskonzepte
 - Emissionen
 - Kosten
 - Betriebliche Anforderungen
- Fragestellungen des Workshops

Rahmenbedingungen

- Ziele der Bundesregierung/MKS
 - Verringerung (fossiler) Energieverbrauch
 - Reduktion der Treibhausgasemissionen
 - Integration erneuerbarer Energien
 - Integration neuer Technologien (Batterien, Ultra-Caps, ...)

- Mittel- bis langfristig steigende Ölpreise
- Luftreinhaltung
- Lärmreduktion

ab 2020 (Hamburg)/
2026 (Bremen) alle
Busneuanschaffungen
emissionsfrei



Elektrifizierung als eine Lösungsoption

Eine Option: Hybrid-Oberleitungsbus

- Bewährte Oberleitungs-Bus-Technik
- in Deutschland: Höchste Verbreitung in den 1960ern, heute noch drei Städte
- im Ausland: viel eingesetzt, insbesondere Italien, Schweiz, ...(weltweit > 300 Städte)
- Renaissance dank Kombination mit Batterie sowie veränderten Rahmenbedingungen?



"Salzburg Solaris Trollino 18 "Metrostyle"" by Obussalzburg - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - „Filosnodato Roma Linea 90" von Sky. Original uploader was Sky at it.wikipedia - Transferred from it.wikipedia (Original text : opera propria). Lizenziert unter Gemeinfrei über Wikimedia Commons

Hybrid-Oberleitungsbus



Hybrid-Bus mit Batterien

AG300T TRL **VANHOOL** EXQUI.CITY

Length: 18m - Capacity: 149 passenger - Design: Tram Look

Electric engine: 240 KW (SKODA 24ML3550K4)

Electric equipment: **vossloh**
KIEPE

Supercaps: Maxwell Double Layer HTM Power

Diesel engine: 120 KW (IVECO N 40 ENT.C)



Hybrid-Bus mit Supercaps

- Kombination von Oberleitung und Batterien/Supercaps
- keine durchgängige Oberleitung benötigt
- flexibler Einsatz
- variable Batteriegrößen
- strategisches Laden während der Fahrt

Vergleich Antriebskonzepte (Gelenkbussysteme)

| Variante | Infrastruktur | Fahrzeug | | |
|--|--|---|--|---|
| | Energiezuführung | Energiespeicher | Energiewandler | Antriebsstrang |
| Diesibus EURO VI (ab 2020 hybridisiert) | Konventionelle Diesel- Tankstelle | Flüssigkraftstofftank | Verbrennungsmotor | Automatikgetriebe + Antriebsachse |
| Hybrid-Oberleitung | Oberleitung | Batterie (70 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Overnight eBus (Nachtladung) | Langsamladung (konduktiv) | Batterie (400 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Opportunity eBus (End-)Haltestelle | Schnellladung (konduktiv, induktiv) | Batterie (180 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Brennstoffzellen- Hybrid | Druckwasserstoff- Tankstelle | Druckwasserstofftank + Batterie (30 kWh) | Brennstoffzelle + Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |

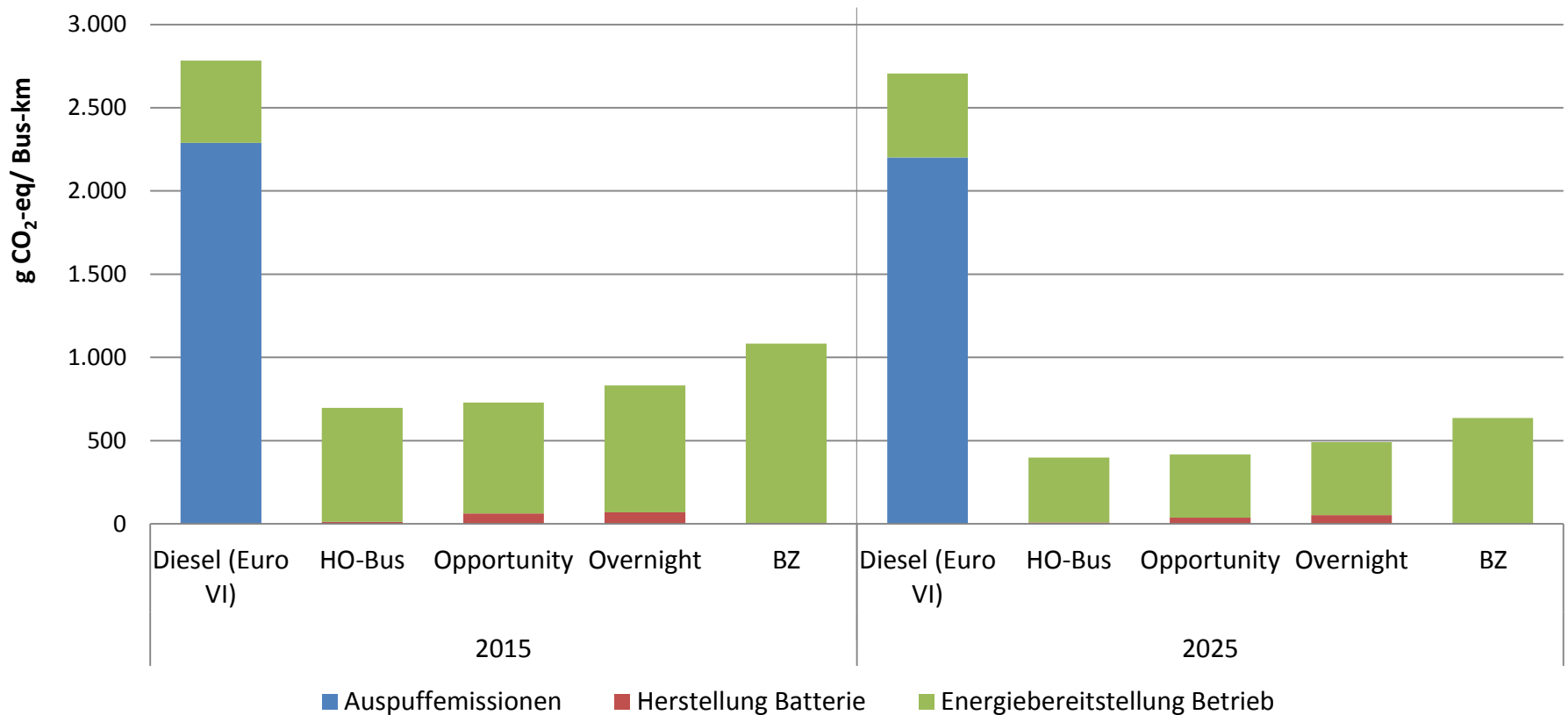
Quelle: BELICON; 2015

Vergleich Antriebskonzepte (Gelenkbussysteme)

- Emissionen (Treibhausgase, Luftschadstoffe, Lärm)
- Kosten
 - Fahrzeuge
 - Betrieb (insbesondere Energie)
 - Infrastruktur
- betriebliche Anforderungen
- ...

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselbusse – Klimagasemissionen

Klimawirkung der Antriebskonzepte für Neuzulassungen 2015/2025 über deren Lebensdauer



Vorläufige Ergebnisse

Emissionen Herstellung noch ohne Body, Brennstoffzelle

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselsebusse – Betrachtete Gelenkbussysteme

| Variante | Infrastruktur | Fahrzeug | | |
|---|--|--|---|---|
| | Energiezuführung | Energiespeicher | Energiewandler | Antriebsstrang |
| Dieselsebus EURO VI (ab 2020 hybridisiert) | Konventionelle Diesel- Tankstelle | Flüssigkraftstofftank | Verbrennungsmotor | Automatikgetriebe + Antriebsachse |
| Trolley-Hybrid | Oberleitung | Batterie (70 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Overnight eBus | Langsamladung (konduktiv) | Batterie (400 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Opportunity eBus | Schnellladung (konduktiv, induktiv) | Batterie (180 kWh) | Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |
| Brennstoffzellen- Hybrid | Druck-wasserstoff- Tankstelle | Druckwasserstofftank + Batterie (30 kWh) | Brennstoffzelle + Elektromotor(en) + Leistungselektronik | Antriebsachse |

Quelle: BELICON; 2015

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselsebusse – Kosten Fahrzeug (Gelenkbus) 2015

| Variante | Grund-fahrzeug inkl. HLK, IBIS etc. | Antrieb | | | Summe Kosten (nur mit 1. Batterie) |
|----------------------------------|---|--|---|--|---|
| | | Energiespeicher | Energiewandler | Antriebsstrang | |
| Dieselsebus EURO VI | 295.000 € | Flüssigkraftstofftank 2.000 € | Verbrennungsmotor 22.000 € | Automatikgetriebe 16.000 € Antriebsachse 15.000 € | 350.000 € (100%) |
| Trolley- Hybrid | 340.000 € (inkl. Pantograph) | Batterie (70 kWh) 70.000 € ab 2. Batterie: 21.000 € | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 90.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 515.000 € (jedoch Serie: 780.000 €) 147% (223%) |
| Overnight eBus | 295.000 € | Batterie (400 kWh) 400.000 € ab 2. Batterie: 120.000 € | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 90.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 800.000 € (229%) |
| Opportunity eBus | 295.000 € | Batterie (180 kWh) 180.000 € ab 2. Batterie: 54.000 € | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 90.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 580.000 € (166%) |
| Brennstoff- zellen- Hybrid | 295.000 € | Druckwasserstofftank 20.000 € + Batterie (30 kWh) 30.000 € ab 2. Batterie: 9.000 € | Brennstoffzelle 1.000.000 € Elektromotor(en) + Leistungselektronik 90.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 1.450.000 € (414%) |

Quelle: BELICON; 2015

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselsebuse – Kosten Fahrzeug (Gelenkbus) 2025

| Variante | Grund-fahrzeug inkl. HLK, IBIS etc. | Antrieb | | | Summe Kosten (nur mit 1. Batterie) |
|------------------------------------|---|--|---|--|---|
| | | Energiespeicher | Energiewandler | Antriebsstrang | |
| Dieselsebus EURO VI (Hybrid) | 295.000 € | Flüssigkraftstofftank 2.000 € | Verbrennungsmotor 22.000 € | Hybridisiertes Automatikgetriebe 22.000 € Antriebsachse 15.000 € | 356.000 € (100%) |
| Trolley- Hybrid | 340.000 € (inkl. Pantograph) | Batterie (70 kWh) 21.000 € weitere Batterien: 21.000 € | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 30.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 406.000 € 114% |
| Overnight eBus | 295.000 € | Batterie (400 kWh) 120.000 € weitere Batterien: 120.000 € | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 30.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 460.000 € (129%) |
| Opportunity eBus | 295.000 € | Batterie (180 kWh) 54.000 € weitere Batterien: 54.000€ | Elektromotor(en) + Leistungselektronik 30.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 394.000 € (113%) |
| Brennstoff- zellen-Hybrid | 295.000 € | Druckwasserstofftank 20.000 € + Batterie (30 kWh) 9.000 € weitere Batterien: 9.000 € | Brennstoffzelle 100.000 € Elektromotor(en) + Leistungselektronik 30.000 € | Antriebsachse 15.000 € | 469.000 € (132%) |

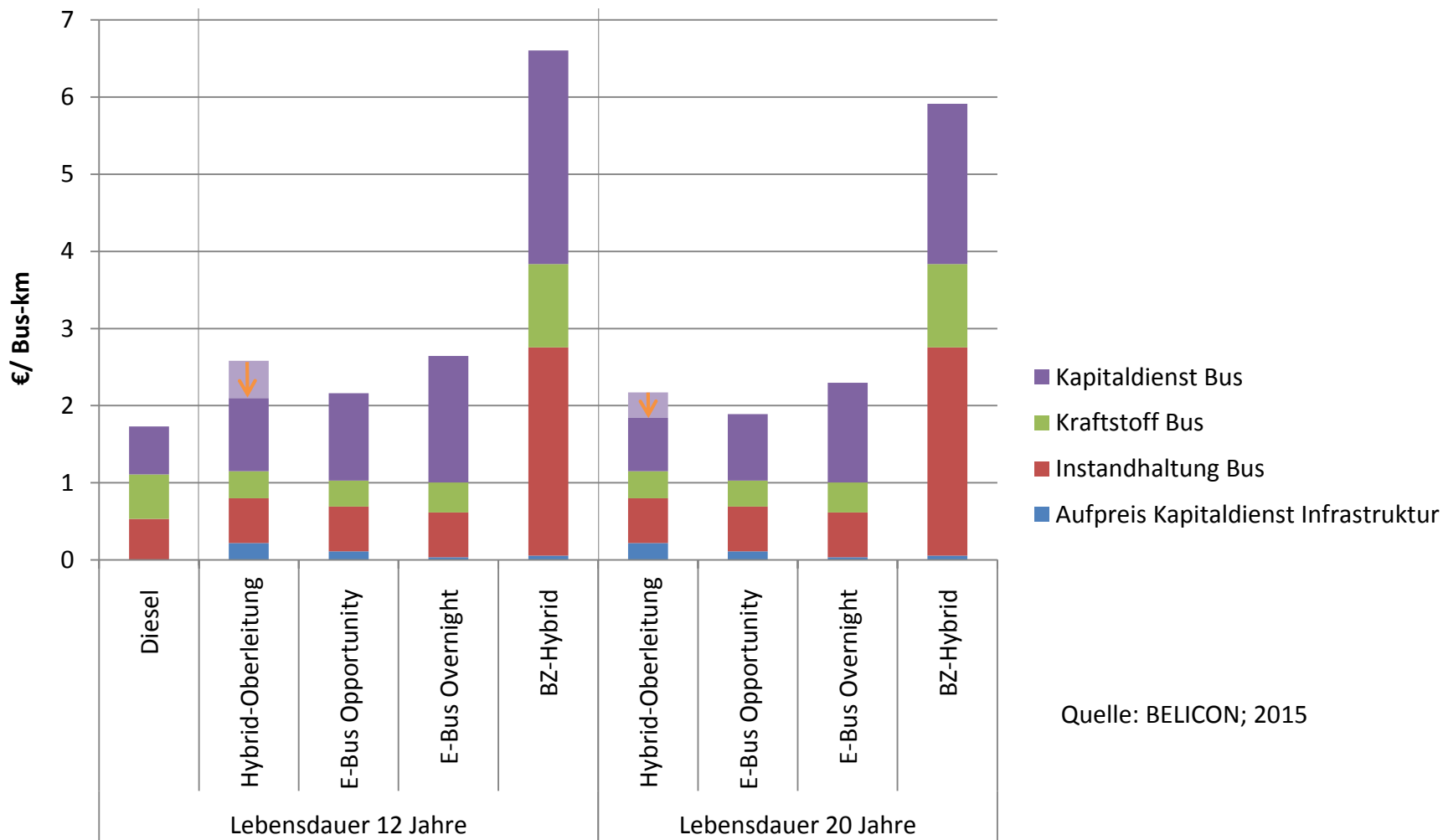
Quelle: BELICON; 2015

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselsebusse – Kosten: Varianten und Randbedingungen

| Variante | IH (Gelenk) 2015 | IH (Gelenk) 2025 | Delta KD Infrastruktur | Kraftstoffpreis 2015 | Kraftstoffpreis 2025 |
|---|---|------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | €/a/Bus | €/a/Bus | €/a/Bus | €/ l, kWh | €/ l, kWh |
| 1 EURO VI Diesel (ab 2025 hybridisiert) | 31.500 | 31.500 | 0 | 1,15 | 1,65 |
| 2 Trolley-Hybrid | 35.000 | 35.000 | 13.300 | 0,17 | 0,25 |
| 3 E-Bus Overnight | 35.000 | 35.000 | 2.100 | 0,17 | 0,25 |
| 4 E-Bus Opportunity | 35.000 | 35.000 | 6.700 | 0,17 | 0,25 |
| 5 BZ-Hybrid | 162.000 | 50.000 | 3.300 | 8,00 | 5,00 |
| 1-5 | Flotte mit 15 Bussen auf einer 15 km langen Durchmesserlinie ; Basis: SORT 2 (18 km/h), 22% Besetzungsgrad; 60.000 km/a | | | | |
| 1-5 | 2. Batterie (bei 12 Jahren Nutzungsdauer) und 3. Batterie (bei 20 Jahren Nutzungsdauer) | | | | |
| 5 | 2. BZ-Stack (bei 12 Jahren Nutzungsdauer) und 3. BZ-Stack (bei 20 Jahren Nutzungsdauer) | | | | |
| 1 | Dieselinfrastruktur vorhanden, AdBlue berücksichtigt | | | | |
| 2-3 | Abschreibung Infrastruktur bis Restwert 0 €: 40 a | | | | |
| 4-5 | Abschreibung Infrastruktur bis Restwert 0 €: 20 a | | | | |
| 4 | 2 Schnellladestationen pro Endhaltestelle | | | | |
| 2 | Konventioneller Trolley: 250.000€/km Linie o. Unterwerk; 4 Unterwerke/15 km; 430.000€/Unterwerk Trolley-Hybrid: Halbe Infrastrukturkosten im Vergleich zum konventionellen Trolley | | | | |

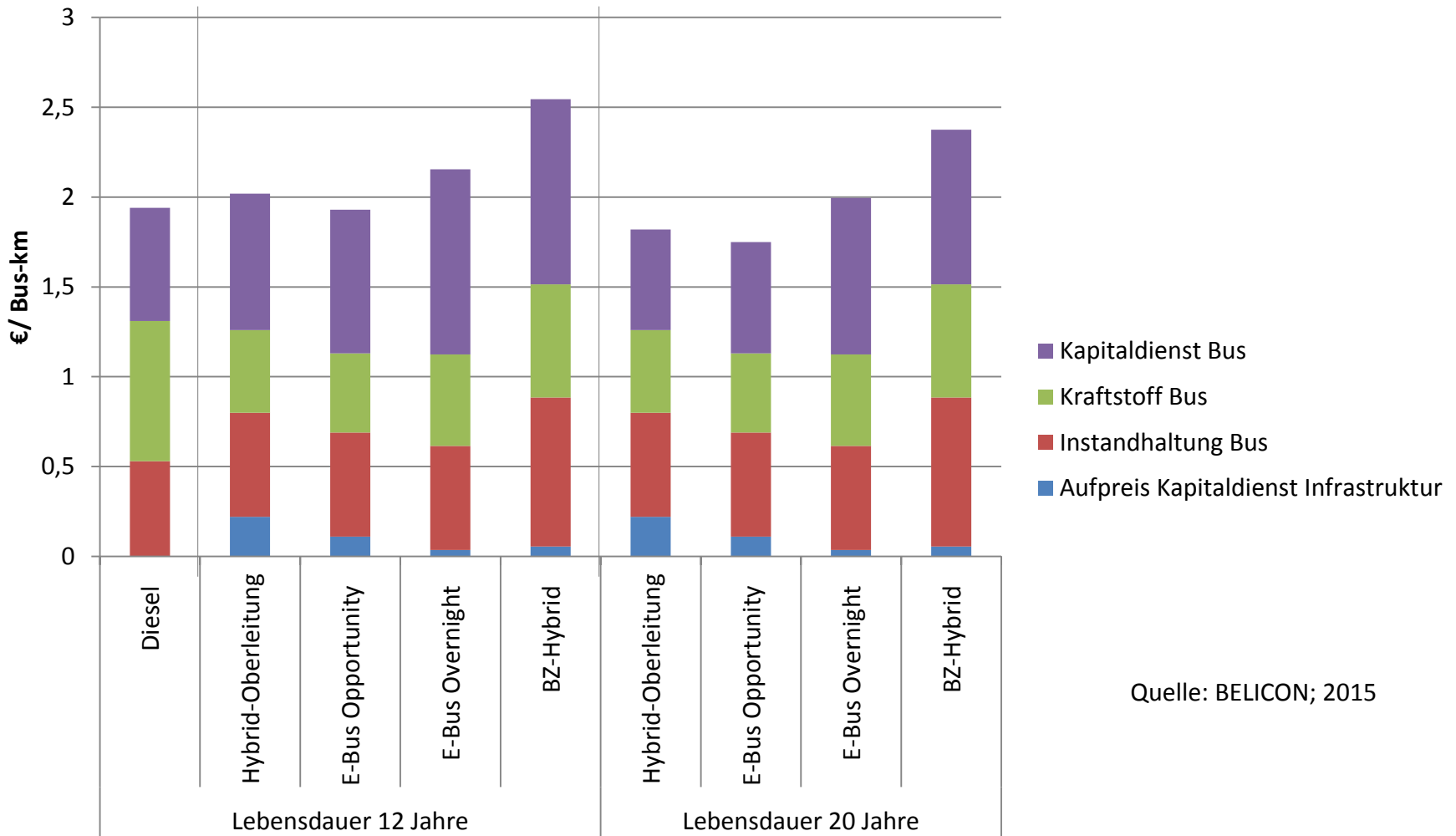
Quelle: BELICON; 2015

Kosten pro Gelenkbus heute (2015) im gesamten Lebenszyklus (12 bzw. 20 Jahre)



Quelle: BELICON; 2015

Kosten pro Gelenkbus in 2025 im gesamten Lebenszyklus (12 und 20 Jahre)



Quelle: BELICON; 2015

Anforderungen an (E-)Busse

- Keine großen Einschränkungen des Fahrbetriebes (z.B. durch Ladezeiten, Reichweiten, ..)
 - Fahrzeugauslegung
 - Fahrbetriebsplanung
- Kosten sind tragbar
- Städtebauliche Integrierbarkeit

Einsatzpotenzial Hybrid-Oberleitungsbus

insbesondere dort, wo Laden während der Fahrt notwendig

- hohem Energiebedarf je Linie
 - hohe Fahrgastaufkommen
 - anspruchsvolle Topographie
- wenig Möglichkeiten zum Laden während Halte- und Wendezeiten
 - hohe Taktfrequenz
 - hohe Durchschnittsgeschwindigkeit

Betriebliche Anforderungen

Beispiel für Ladeleistung - Extremfall:

- 18m-Bus, Winter: 3 kWh/km
- Schneller Stadtverkehr: SORT 3 (27 km/h)
- Linienlänge 15 km
 - Fahrzeit Umlauf 68 Minuten
(Annahme Wendezeit Sechstelregel **11,5** Minuten)
 - Energiebedarf Umlauf 90 kWh

⇒ Bei 500 kW Ladeleistung werden 11 Minuten Ladezeit benötigt!

Stau? Fahrer-Ablösungen?

Erste Folgerungen

- HO-Bus geringere Treibhausgasemissionen als Diesel-Bus durch Effizienzverbesserung und Nutzung von erneuerbar erzeugtem Strom
- Kostenreduktionen in allen Elektrobussystemen (HO-Bus, Opportunity-Charger, Overnight-Charger, Brennstoffzellenfahrzeuge) in den nächsten Jahren erwartet – Elektrobusse könnten wirtschaftlich konkurrenzfähig zu Dieseln werden
- HO-Bus steht in Konkurrenz zu den anderen elektrischen Bussystemen – Kostendifferenzen der Systeme zukünftig geringer
- Chancen und Risiken der Systeme müssen abgewogen werden – sowohl von der Technik als auch der Einbindung in vorhandene Linien/Systeme

Erwartungen an heutigen Fachworkshop

- Dialogprozess mit Experten aus Wissenschaft und Praxis
- Erkenntnisgewinn zu Rahmenbedingungen, Chancen und Hemmnissen
- Handlungsempfehlungen

Fragestellungen dazu

- Unter welchen Linien-/Netzbedingungen sehen Sie den HO-Bus als ein geeignetes Buskonzept?
- Was sind für Sie die zentralen Herausforderungen bei der Einführung des HO-Busses? Welche Strategien sehen Sie zur Bewältigung dieser Herausforderungen?
- Welche Einführungsstrategien sehen Sie zur Integration von HO-Bussen in vorhandene ÖPNV-Netze?
- Welche Kombinationsmöglichkeiten sehen Sie mit weiteren elektrischen ÖPNV?
- Welche Möglichkeiten sehen Sie über die Nutzung von Synergieeffekten mit anderen Bereichen der Elektromobilität oder als Erbringer von Strom-Netzdienstleistung Kosten für den HO-Bus zu senken?
- Ist eine Förderung des HO-Busses nötig und wie könnte diese ausgestaltet sein?

Vielen Dank sowie einen anregenden und produktiven Workshop!

Studienleitung: ifeu

- ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
 - » Wilckenstr. 3, 69120 Heidelberg
 - » Udo Lambrecht/Fabian Bergk
E: Udo.Lambrecht@ifeu.de/Fabian.Bergk@ifeu.de
T: 06221 4767-35
 - » Fabian Bergk
E: fabian.bergk@ifeu.de
T: 06221 4767-38
- BELICON GmbH - Institut für angewandte Nutzfahrzeugforschung und Abgasanalytik
 - » Kirchbergstraße 11, 84092 Bayerbach-Greilsberg
 - » Prof. Dr.-Ing. Ralph Pütz
E: ralph.puetz@belicon-forschung.de
T: 0871 - 506 268
- DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
 - » Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin
 - » Andreas Lischke
E: Andreas.Lischke@dlr.de
T: 030 67055-236
- LBST – Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
 - » Daimlerstr. 15, 85521 München/Ottobrunn
 - » Hubert Landinger
E: hubert.landinger@lbst.de
T: 089 608110-37