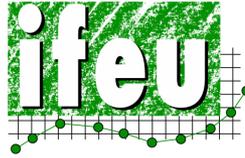




Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



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

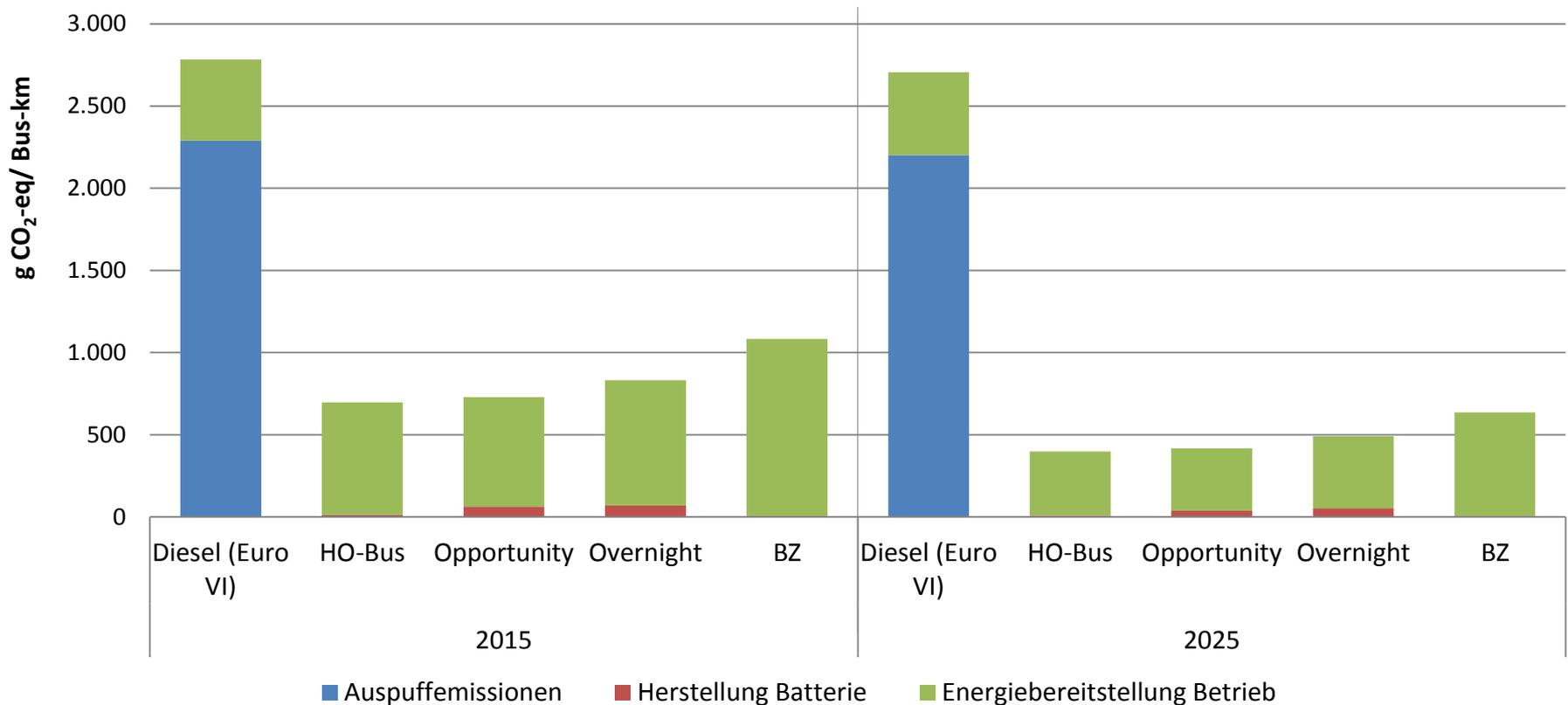
Quelle: BELICON; 2015

Vergleich Antriebskonzepte (Gelenkbussysteme)

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

Vergleich Elektrobuskonzepte und Dieselsebusse – 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 Dieselsebusse – 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%)

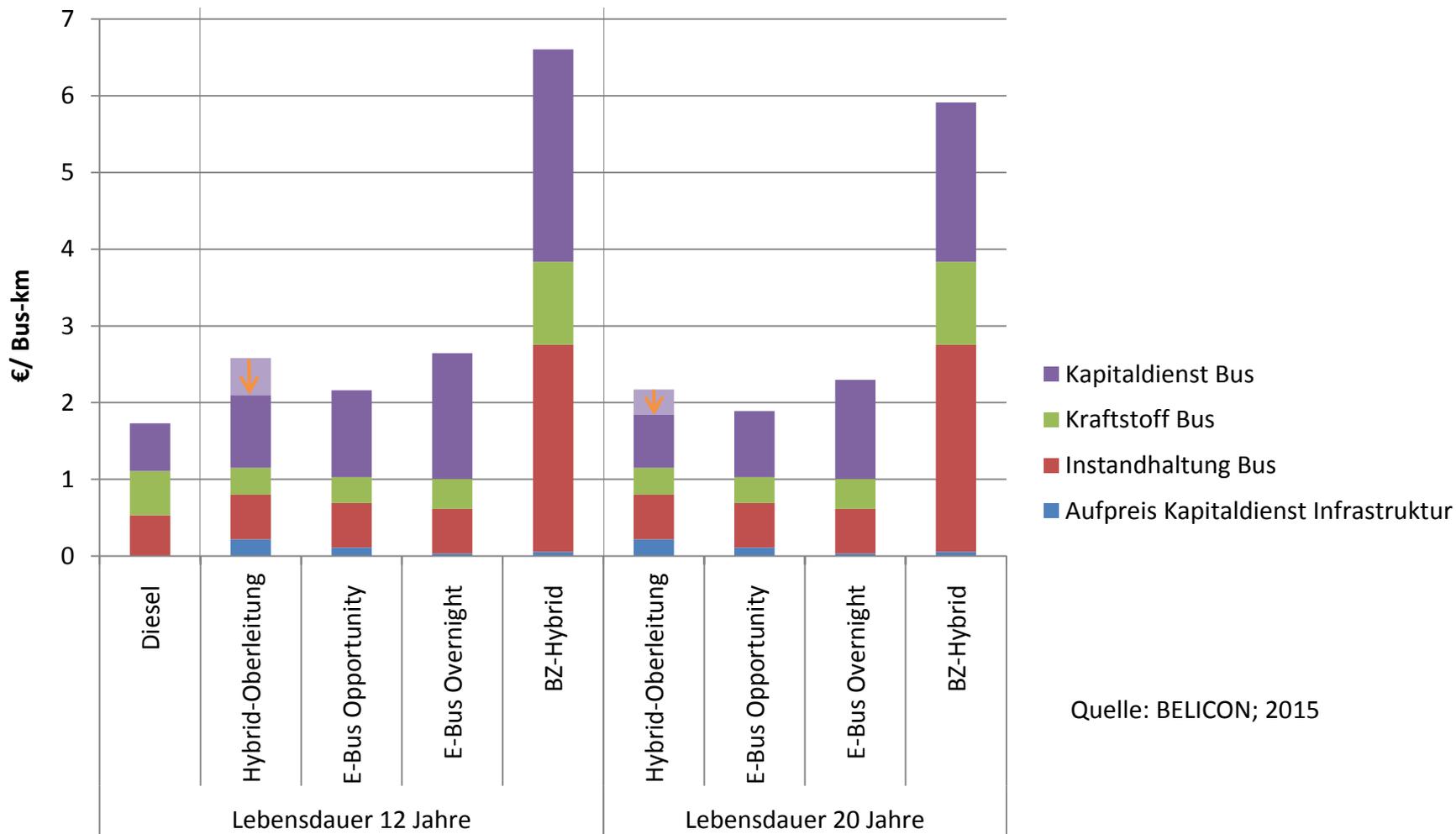
Quelle: BELICON; 2015

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				

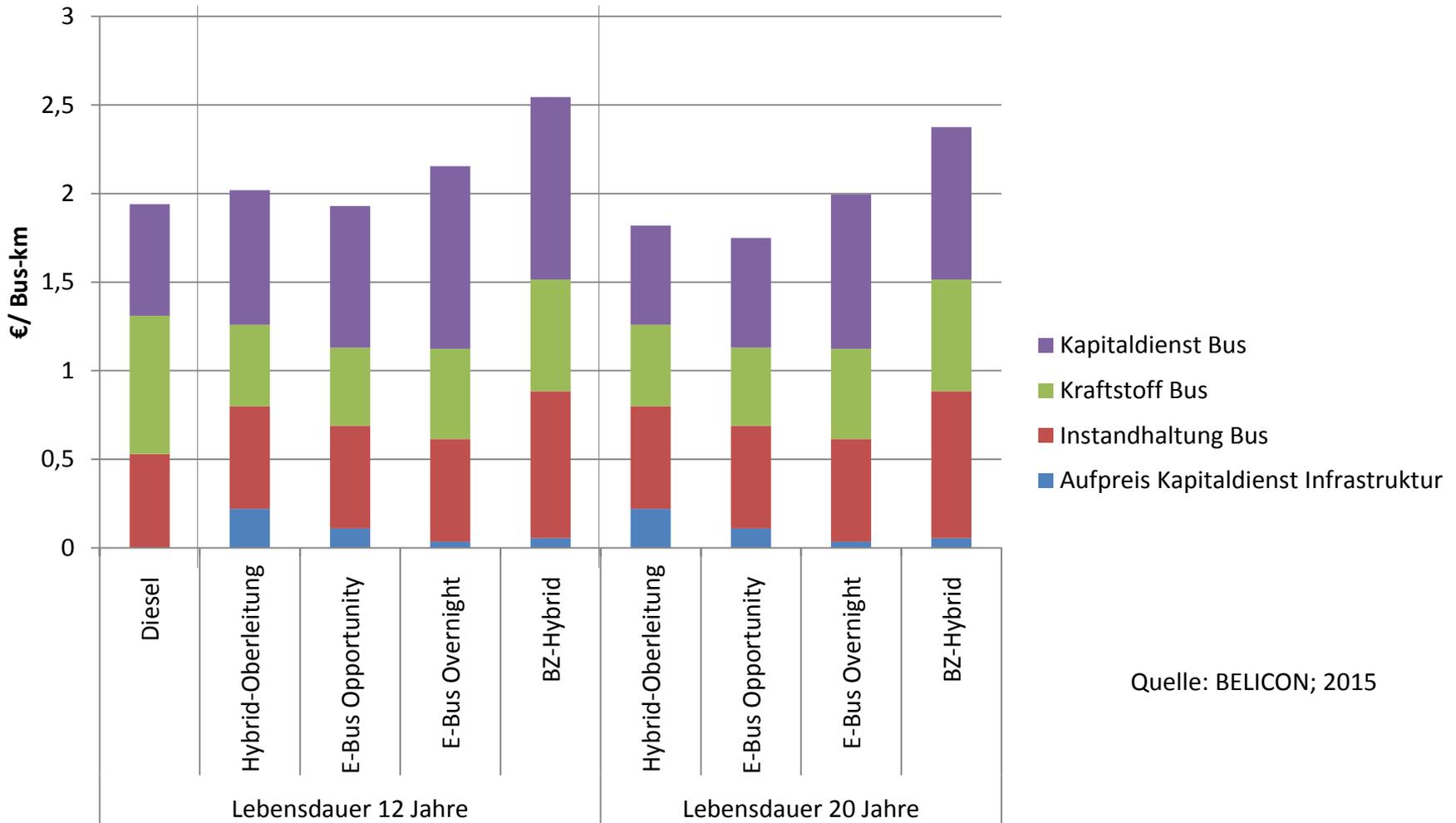
Quelle: BELICON; 2015

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