



E-Bus Berlin

Vom Pilotprojekt zur Flottenplanung

Prof. Dr.- Ing. Dietmar Göhlich

Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik

trolley:motion, Metropolitan Solutions, 31. Mai 2016



Arbeitsgruppe „Electric Transport Solutions“ (ETS)



Fachgebietsleitung, Sprecher des Forschungscampus Mobility2Grid

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich

E-Bus Berlin: Elektrische Buslinie mit induktiver Schnellladung in der Berliner Innenstadt



Tu-Anh
Ly



Alexander
Kunith



Dominic
Jefferies

Forschungscampus Mobility2Grid: Referenzquartier für das synergetische Zusammenwirken von Elektromobilität, Strom- und Wärmeversorgungsnetzen (EUREF-Campus, Berlin-Schöneberg)



Sven
Gräbener



Franziska
Kaiser



Enrico
Lauth

Projekt „E-Bus Berlin“

Betriebserfahrungen



Projekt „E-Bus Berlin“

4x Solaris Urbino 12 electric



Batteriekapazität	90 kWh
Zellentyp	Li-Ion NMC
Ladeleistung	200 kW
Antrieb	Zentralmotor
Antriebsleistung	160 kW/218 PS
Leergewicht	13.000 kg

Linie 204 Zoologischer Garten ◀▶ Südkreuz

Live-Karte unter
<http://e-bus.berlin>

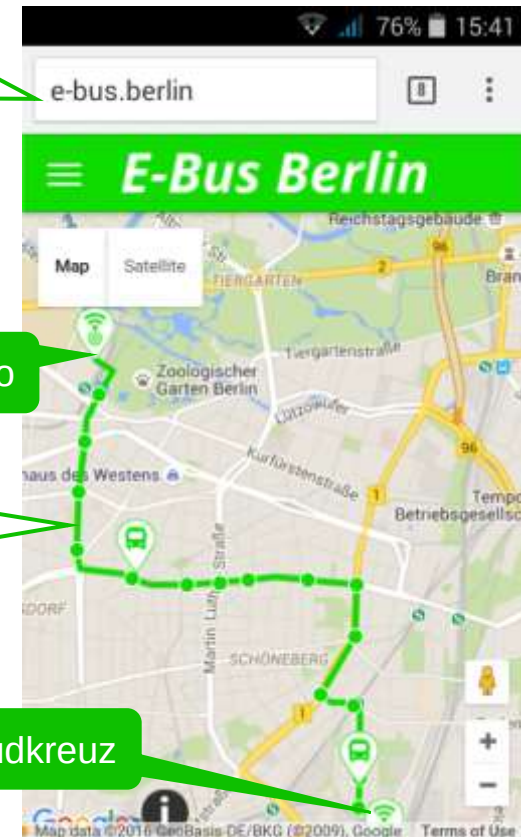


Ladestation Zoo

6,1 km
18 Haltestellen
alle 20 Minuten



Ladestation Südkreuz



BOMBARDIER



Erfahrungen Busbetrieb

- Fahrleistung je Bus 180 km/Tag
- Gefahrene Kilometer an 132 Einsatztagen (Stand: 31. März 2016): 51.211 km
- CO₂-Einsparung: 74 Tonnen (entspricht 116 „Berliner Pkw“)
- Verfügbarkeit der Busse: seit Februar 2016 >70%



© BVG/Lang

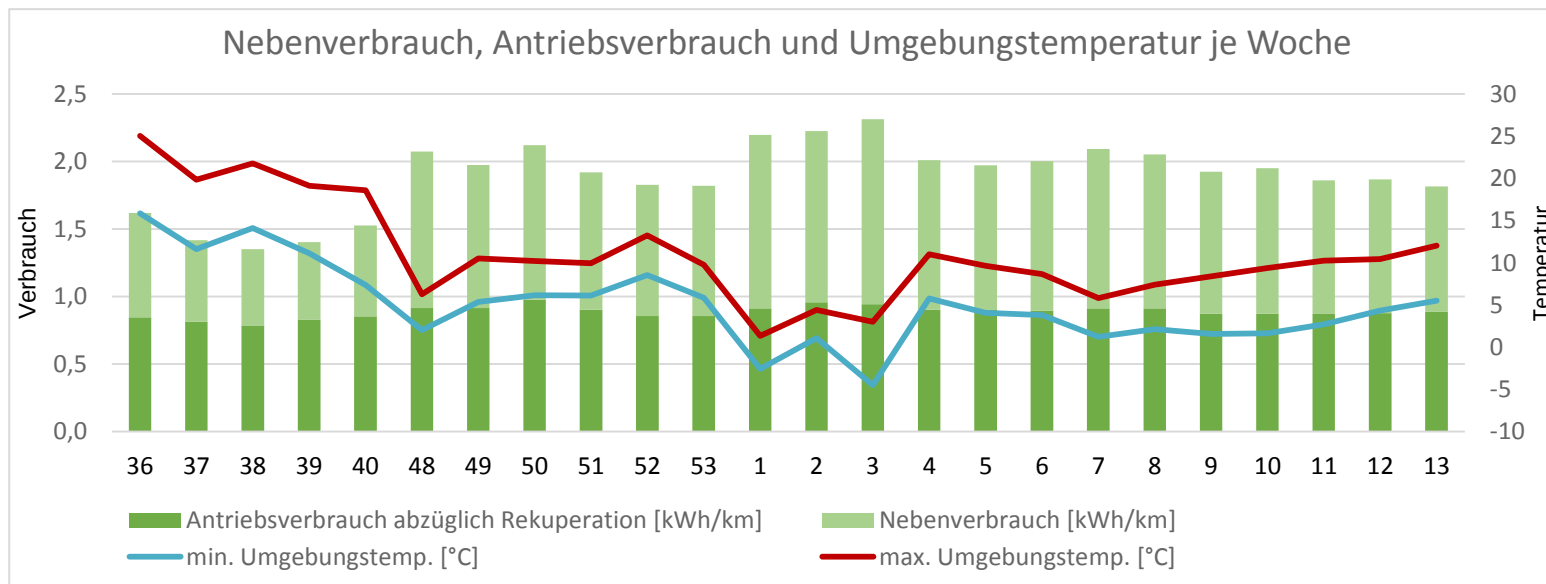


© BVG/Lang

- Anfängliche technische Probleme mit der Systemharmonisierung im HV-Kreis
- Fahrzeuge sind Einzelanfertigungen
- Fortlaufende Fahrpersonalschulungen erforderlich
- Positive Resonanz zum Fahrverhalten von Fahrern und Fahrgästen

Energiebedarf im Fahrgastbetrieb

- Mittlerer Verbrauch: 1,35 bis 2,31 kWh/km; $\emptyset$ 1,94 kWh/km
 - Gemittelt über Kalenderwoche und alle im Einsatz befindlichen Fahrzeuge
 - Hoher Winteranteil! (31.08.2015 bis 31.03.2016)
- Reduzierung des Energieverbrauchs um mehr als 55% im Vergleich zum Dieselbetrieb (4,4 kWh/km äquivalent)
- Wie erwartet, sehr hoher relativer Energiebedarf der Nebenverbraucher



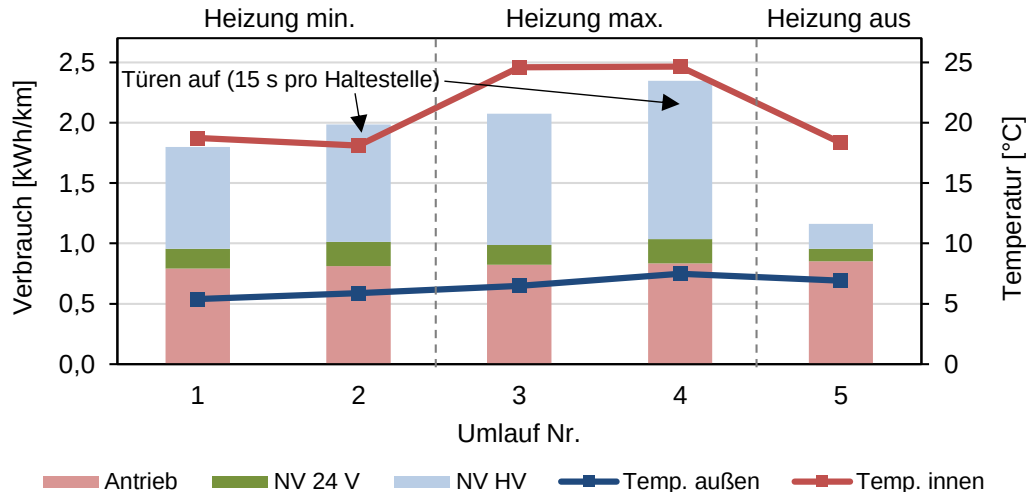
Messfahrten zum Einfluss der Fahrgastraumheizung

- 5 Umläufe auf Linie 204 mit zwei Fahrzeugen (1 Umlauf = Südkreuz → Hertzallee → Südkreuz)
- Halt an jeder Haltestelle:
 - Ohne Türöffnung: 2 bis 3 Sekunden
 - Mit Türöffnung: 15 Sekunden
 } *ohne Kneeling*
- Außentemperatur ca. 5 bis 7°C, bewölkt
- Ohne Fahrgäste (Fahrer + Mitarbeiter)

**Optimiertes Energie-
management erforderlich**



Bus 1685+1687, 20.03.2016



	Umlauf Nr.	Verbrauch [kWh/km]	%
Heizung aus	5	1,16	100%
Heizung ca. 18 °C	1	1,80	155%
Heizung ca. 18 °C, Türen auf	2	1,99	171%
Heizung ca. 24 °C	3	2,07	179%
Heizung ca. 24 °C, Türen auf	4	2,35	202%

Erfahrungen Ladeinfrastruktur

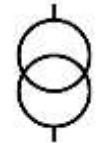
- Bauzeit der Ladestation:
ca. 3 Wochen
- Tiefbauarbeiten sind erforderlich
- Wirkungsgrad (Trafo → Batterie Bus):
>90%
- Durchschnittliche Ladedauer:
5:57 Minuten

Systemanschluss:

Mittelspannung (6 kV)



Transformator
(6 kV → 400 V)



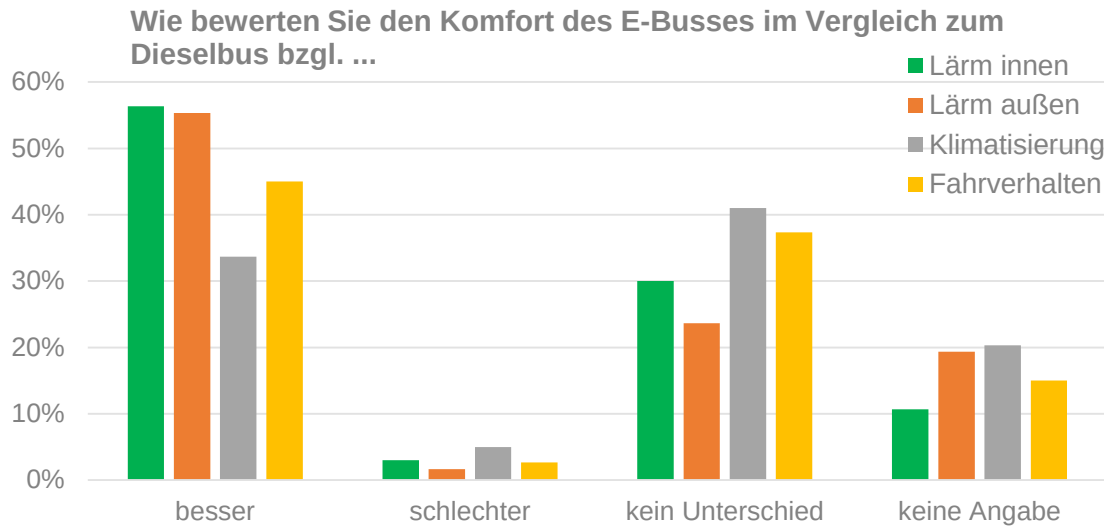
Primove Wayside
400 V AC



© Bombardier

- Sehr hohe Zuverlässigkeit der
wegseitigen Infrastruktur
(Hertzallee: 98,8%)
- Keine Auswirkungen von Schnee,
Nässe oder sonstiger Verschmutzung
auf den Ladevorgang
- Probleme mit Falschparkern

Ergebnisse der Fahrgastbefragung

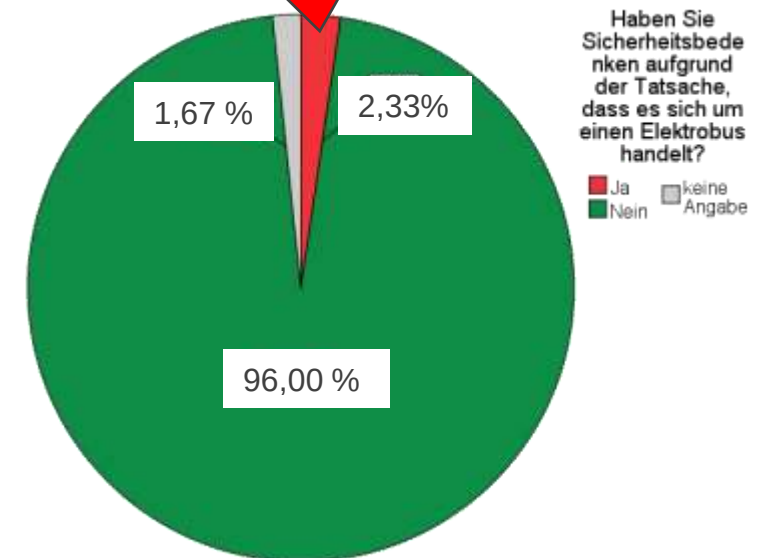


- **Sehr positive** Haltung zur Elektromobilität
- **Fragliche Wirtschaftlichkeit** wird von einigen thematisiert
- Geringe **Lärmemissionen** werden als sehr vorteilhaft angesehen. Von einigen wenigen allerdings auch als Gefahr für Fußgänger eingestuft
- **91% der Fahrgäste** würden die Einführung weiterer E-Buslinien begrüßen

Wenn ja, welche?

- „Technische Probleme führen zu Betriebsstörungen“
- „Gefahr für Fußgänger, da E-Bus akustisch nicht bemerkt wird“

10 Antworten von 7 Personen



Von der E-Bus-Linie zum E-ÖPNV

TCO-Analyse und Ladenetzoptimierung

Technologieauswahl

E-Bus Forschungs-/Demonstrationsprojekte

Brennstoffzellenbus

Wasserstoff



Hamburg, Köln, Stuttgart, ...

Batteriebus

Depotladung

Gelegenheitsladung

an Haltestellen

während Fahrt

Plug-In



Bonn, Osnabrück, Hohenlohekreis, ...

Pantograph



Hamburg, Hannover, Oberhausen, ...

Induktion



Berlin, Braunschweig, Mannheim

Plug-In



Düsseldorf

Partielle Oberleitung



Eberswalde, ...

MPM Case Studies

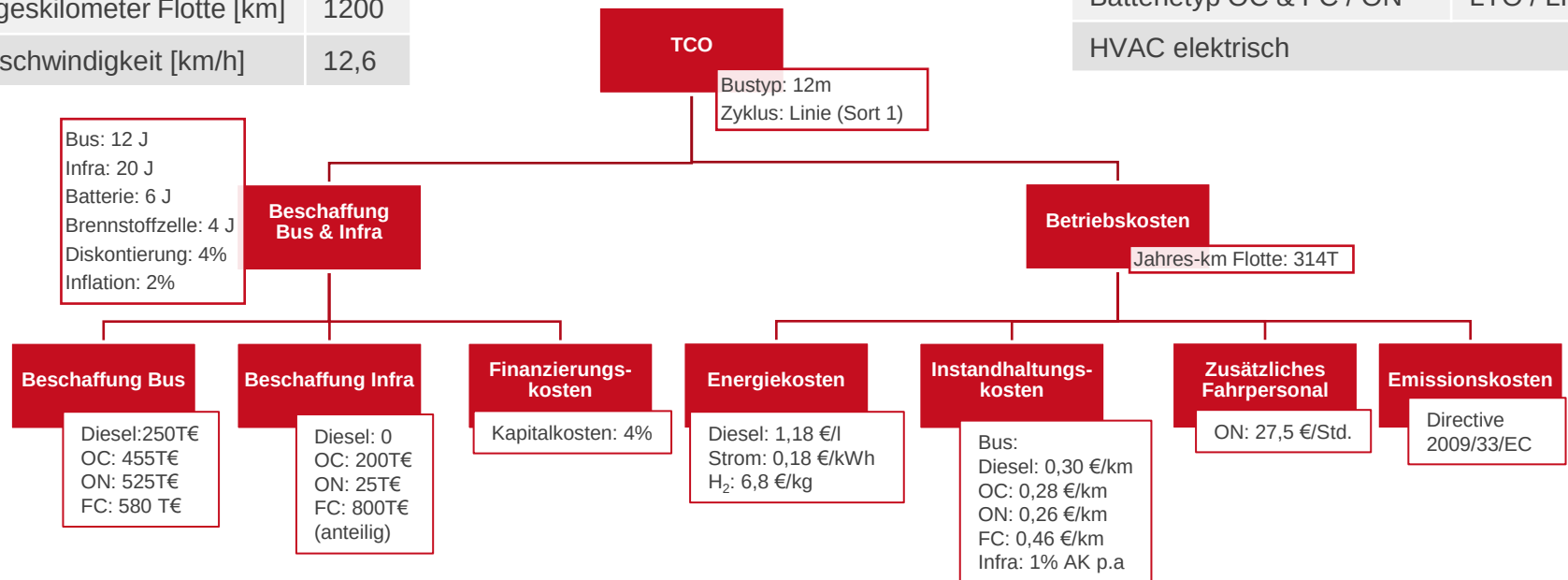
TCO Linienanalyse

- TCO Berechnungen für eine Beschaffung in 2016, 2020, 2025 und 2030
- Für jedes Szenario sind Inflation, Kostendegressionen und der zu erwartende technologische Fortschritt angenommen

Linie	
Linienlänge [km]	10,5
Taktung [min]	10
Tagesbetrieb [h]	18
Tageskilometer Flotte [km]	1200
Geschwindigkeit [km/h]	12,6

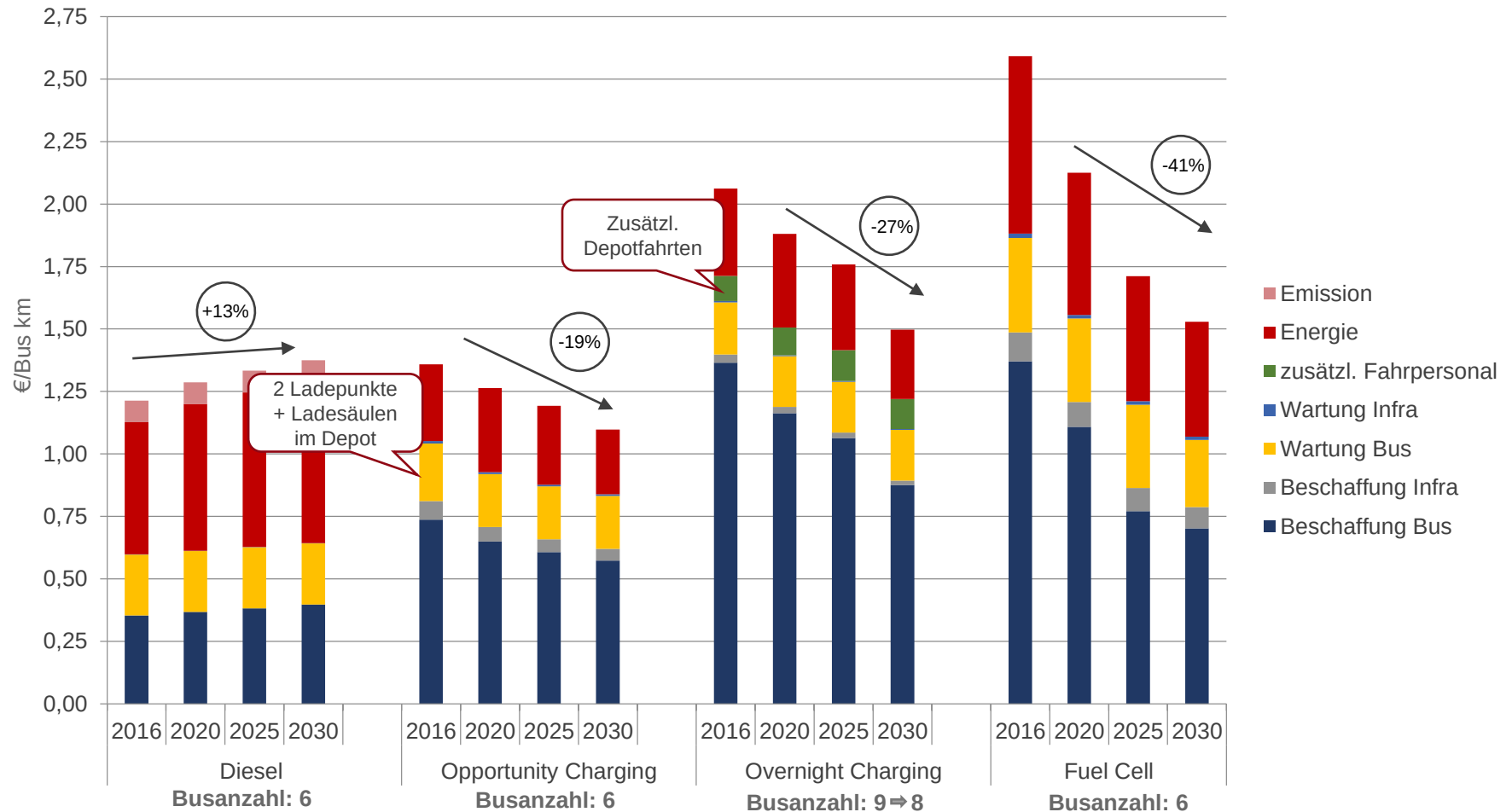
Technische Daten	
Motorleistung [kW]	160
Ladeleistung OC [kW]	200
Batteriekap. OC / ON [kWh]	90 / 315
Batterietyp OC & FC / ON	LTO / LFP
HVAC elektrisch	

Beschaffung 2016



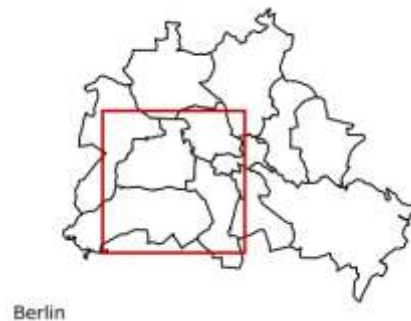
TCO-Ergebnisse

- Fahrpersonal nur bei abweichender Busanzahl berücksichtigt



Von der E-Bus-Linie zum E-Bus-Netz

- Herausforderungen einer Netzelektrifizierung:
 - Entwicklung eines geeigneten Betriebskonzepts (Betriebshof, Haltestellen, etc.)
 - Aufbau einer kostenoptimierten Ladeinfrastruktur
 - Identifizierung von Netzsynergien und Nutzung bestehender Infrastrukturen (z.B. Unterwerke, Oberleitungen)
 - Geeignete Technologiewahl für unterschiedliche Linienanforderungen



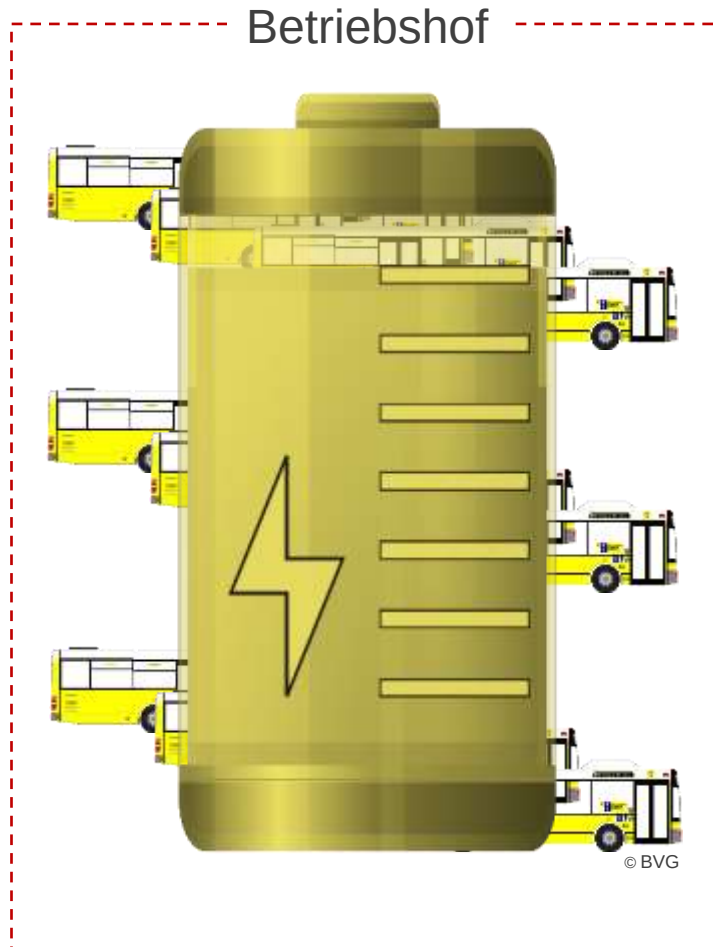
trolley:motion | Prof. D. Göhlich 31.05.2016



- Seite 15

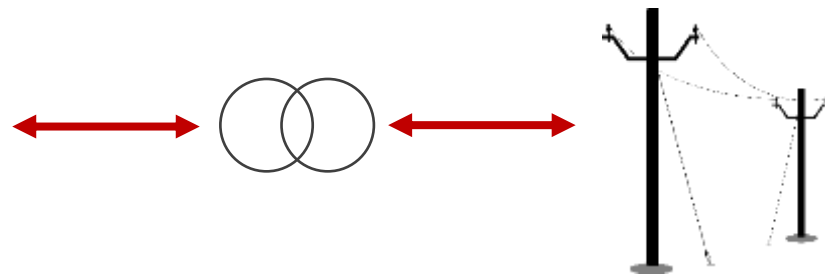


E-Bus-Flotte als Batteriespeicher



■ Beispiel Berlin BVG

- ca. 1400 Busse im Einsatz
 - verteilt auf 6 Betriebshöfe
- Wenn 10% der Flotte elektrifiziert ist, entsteht ein großer mobiler Batteriespeicher von ca. 14.000 kWh (bei 100 kWh / E-Bus)
- Laden und Entladen mit >150 kW
- **Wesentlicher Akteur am städtischen Energiemarkt**



Forschungscampus Mobility2Grid



**FORSCHUNGS
CAMPUS**
öffentlich-private Partnerschaft
für Innovationen

GEFÖRDET VOM
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

E-Bus mit bidirektionaler Ladetechnik

SIEMENS

- Bereitstellung Ladestation
- Bidirektionale Ertüchtigung

BVG

- Bereitstellung E-Bus
- Busbetreiber



- Projektkoordination
- Wissenschaftliche Begleitung
- Smart Grid Integration



© BVG © Siemens



120 kW

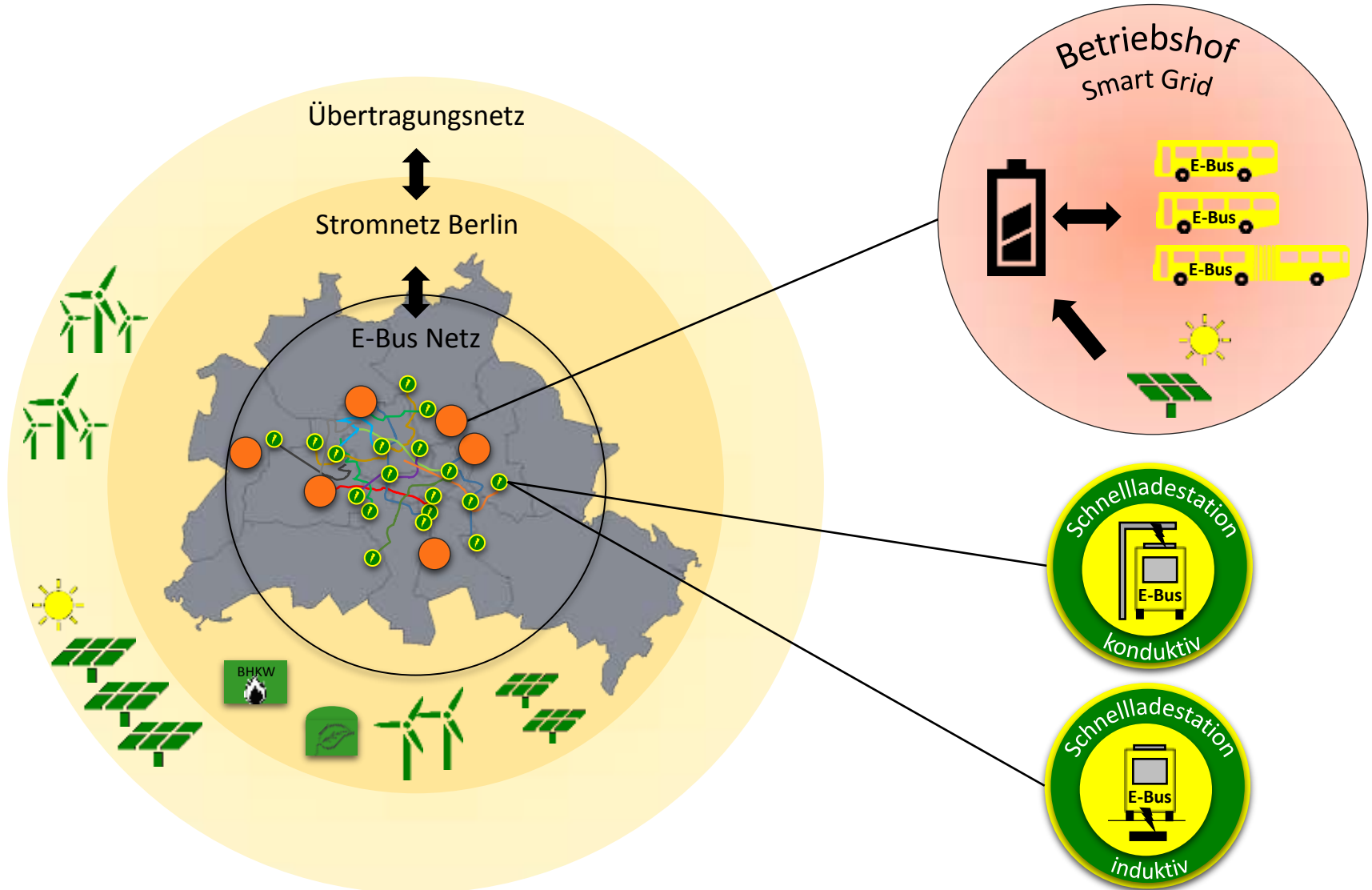
150 kW

Micro Smart Grid



© InnoZ

Vision 2026: emissionsfreier elektrifizierter Busverkehr



Aktuelle Veröffentlichungen

- D. Göhlich: *Energieversorgung und Elektromobilität*. Vortrag auf der Fach- und Ideenkonferenz der Bundesregierung „Das Elektroauto – Extravaganz für wenige oder automobiler Normalität der Zukunft?“, Berlin, 2016
- A. Kunitz, R. Mendelevitch, A. Kuschmierz, D. Göhlich: *Optimization of fast charging infrastructure for electric bus systems – Electrification of a city bus network*. EVS29 International Electric Vehicle Symposium, Montreal, 2016
- D. Jefferies, T. Ly, A. Kunitz, D. Göhlich: *Energiebedarf verschiedener Klimatisierungssysteme für Elektro-Linienbusse*. Deutsche Kälte- und Klimatagung, Dresden, 2015
- S. Gräbener, M. Tarnowski, D. Göhlich: *Commercial Vehicle Drive Train Technology and Topology Pre-selection*. IEEE Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) Conference, Monaco, 2015
- S. Gräbener, M. Tarnowski, D. Göhlich: *Multi-dimensional Value-Benefit Analysis for Electrified Commercial Vehicle Concepts*. IEEE Vehicular Power and Propulsion (VPPC) Conference, Montreal, 2015
- D. Goehlich, T. Ly, A. Kunitz: *Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin*. Urban Transport XX, WIT Press, Southampton, 2014



E-Bus Berlin

Vom Pilotprojekt zur Flottenplanung

Prof. Dr.- Ing. Dietmar Göhlich

Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik

trolley:motion, Metropolitan Solutions, 31. Mai 2016



Backup
