



DRESDEN

„Vom Diesel- zum Batteriebus – aber wie?“

Grundlagen, Nachladetechnologie, Kosten und Energieversorgung

TH Wildau 06.12.2018

„Vom Diesel- zum Batteriebus – aber wie?“

Aufgabenbeschreibung für den Ingenieur

- Welche neue technische Lösung wird angestrebt und mit welchem/-n Ziel/-en?

1. Motivation

- Welchen Randbedingungen muss die technische Lösung genügen?

2. Fahrzeug- und Betriebskonzept

- Was wird für die Umsetzung der Innovation benötigt?

3. Schlüsselkomponenten

- Welches Entwicklungsergebnis wurde erreicht?

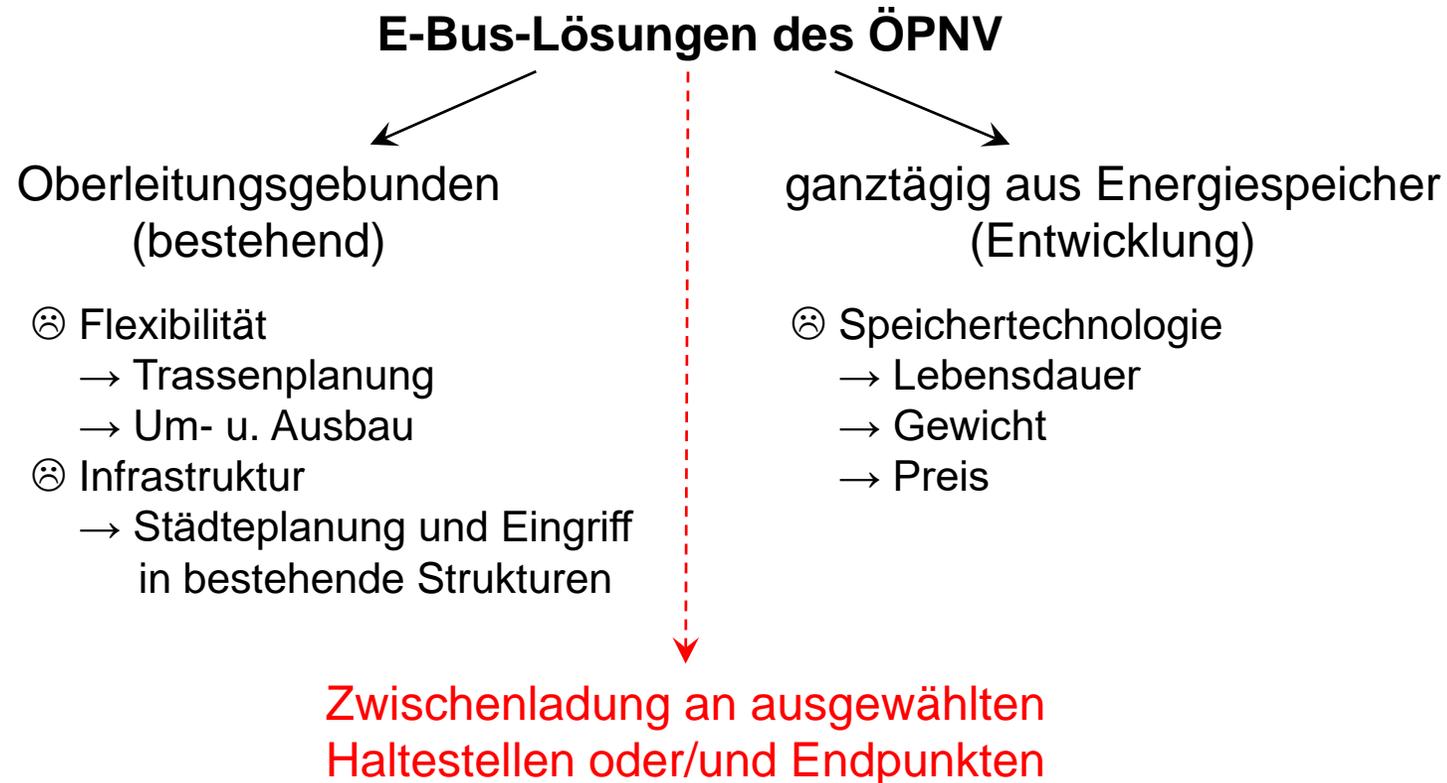
4. Praxiserprobung

- Welches weitergehende Verbesserungspotential wurde identifiziert?

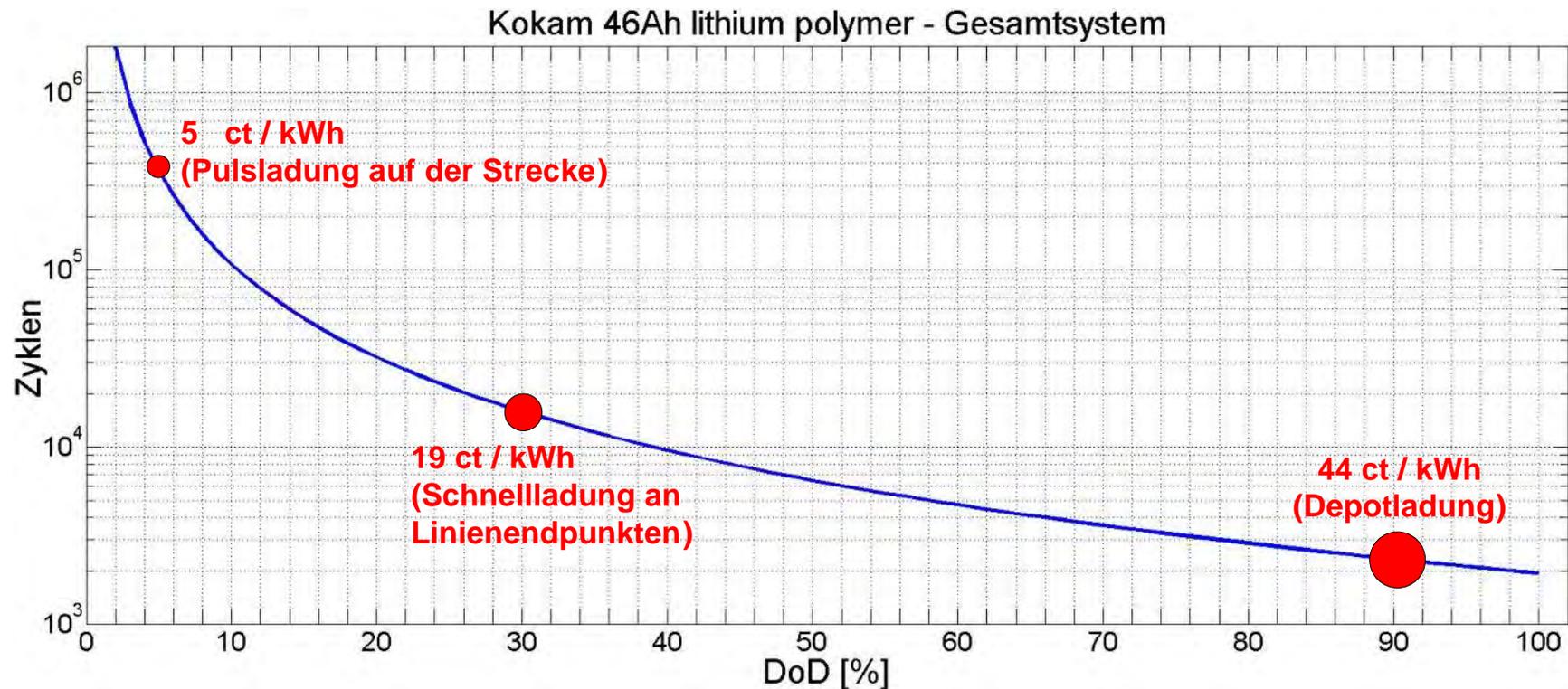
5. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation

Wege zum vollelektrischen Linien-Busbetrieb



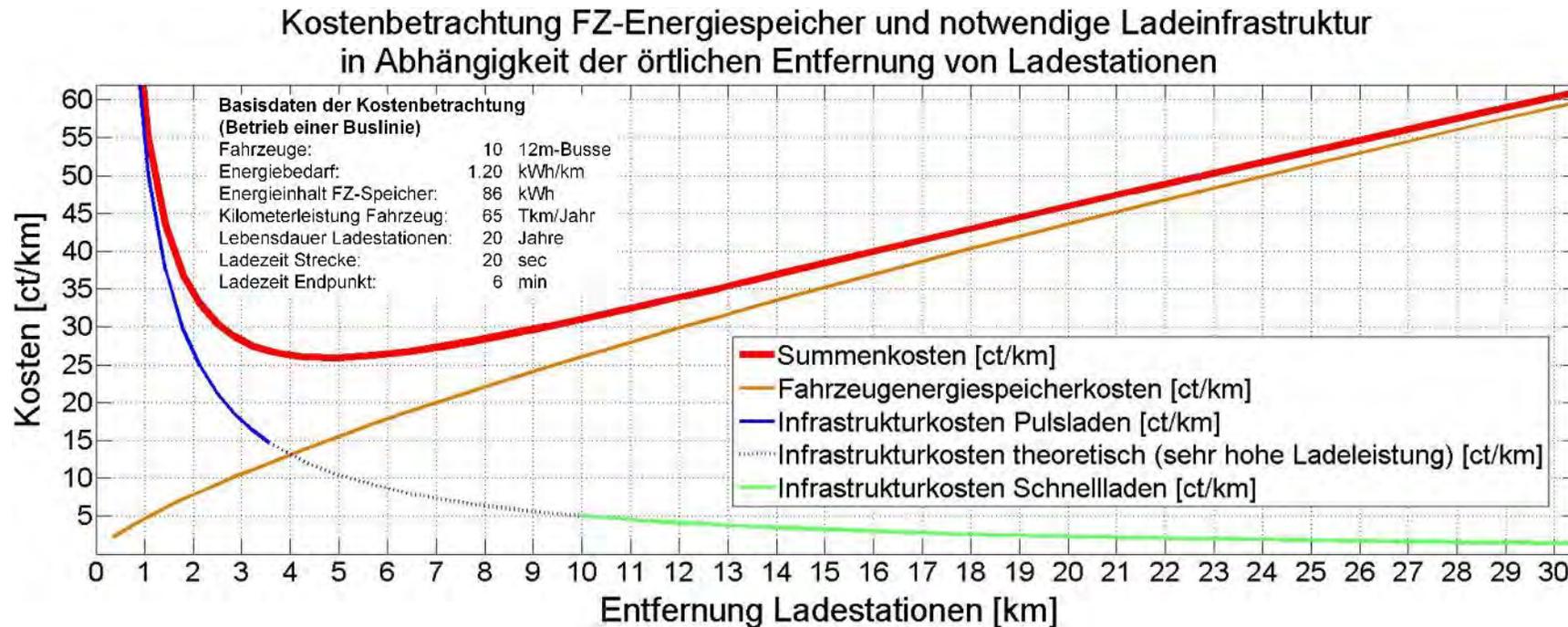
1. Motivation



● **Energiespeicherkosten pro umgesetzter kWh bis Lebensdauerende**

- Lösungsansatz bis zur Marktreife geeigneter Speichertechnologie
 - verfügbare Speichertechnologie auf dem Fahrzeug und Nachladung mit hoher Leistung an Endhaltestellen oder/und parallel zum Fahrgastwechsel

1. Motivation



- Gelegenheitsladung ist (heute) Voraussetzung für ökonomischen E-Busbetrieb
 - „Übernachtladung“ im Busdepot ist wesentlich zu teuer
 - bis etwa 10 km Abstand ist Nachladung an Linienendpunkten eine gute Lösung
 - bei größeren Abständen ist Nachladung an Unterwegshaltestellen abzuwägen

2. Fahrzeug- und Betriebskonzept

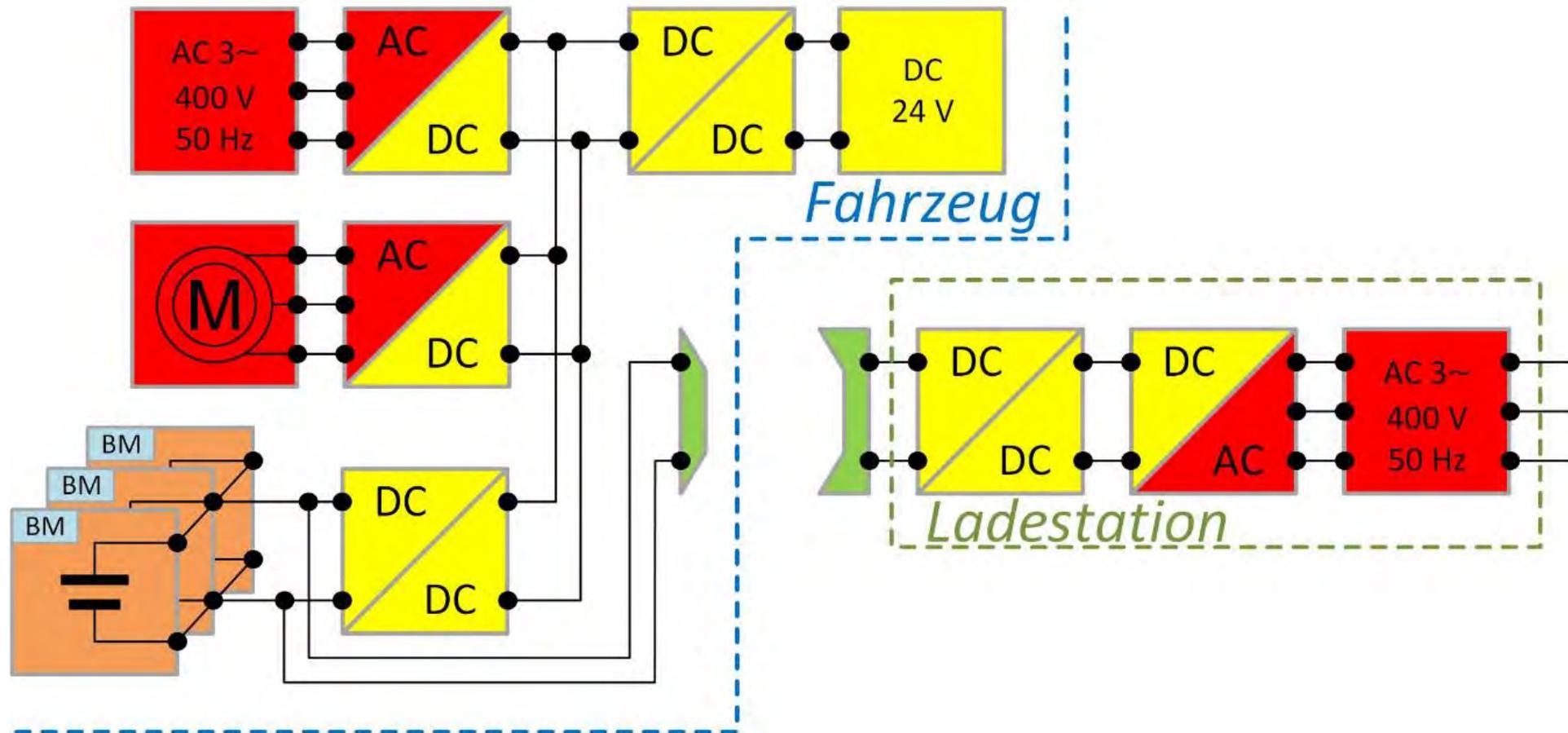
Randbedingungen

- Vollständiger Ausgleich des Speicherladezustandes nach einem „normalen“ Streckenumlauf
 - verfügbare Ladezeit etwa 6 Minuten nach 15 km Fahrbetrieb (Schnellladung)
 - Demonstration: Pulsladevorgänge mit maximaler Ladeleistung für 30 Sekunden

- Vollständige Entlastung des Fahrpersonals vom Ladevorgang
 - keine elektronische Fahrassistenz
 - Kontaktsystem muss Positionierungstoleranzen vollständig ausgleichen können
 - Fahrpersonal muss Fahrzeug während Ladevorgang verlassen können

- Praxiserprobung im realen Fahrgastbetrieb
 - Zulassung aller Anlagenteile und deren Zusammenwirken im Ladebetrieb nach Prüfung durch eine zertifizierte technische Überwachungsorganisation

2. Fahrzeug- und Betriebskonzept Anlagenschema



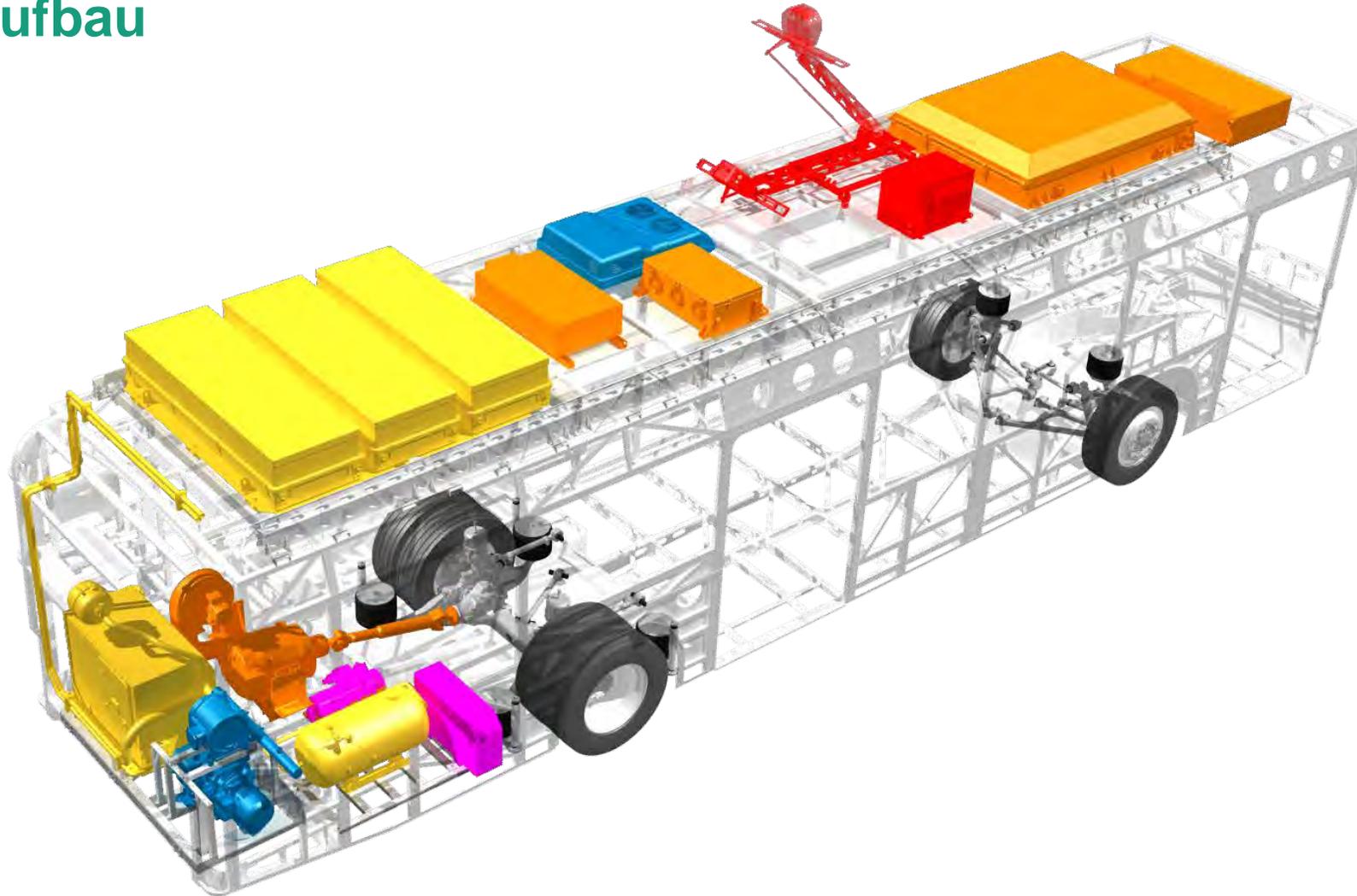
2. Fahrzeug- und Betriebskonzept

Fahrzeugaufbau



2. Fahrzeug- und Betriebskonzept

Fahrzeugaufbau



3. Schlüsselkomponenten

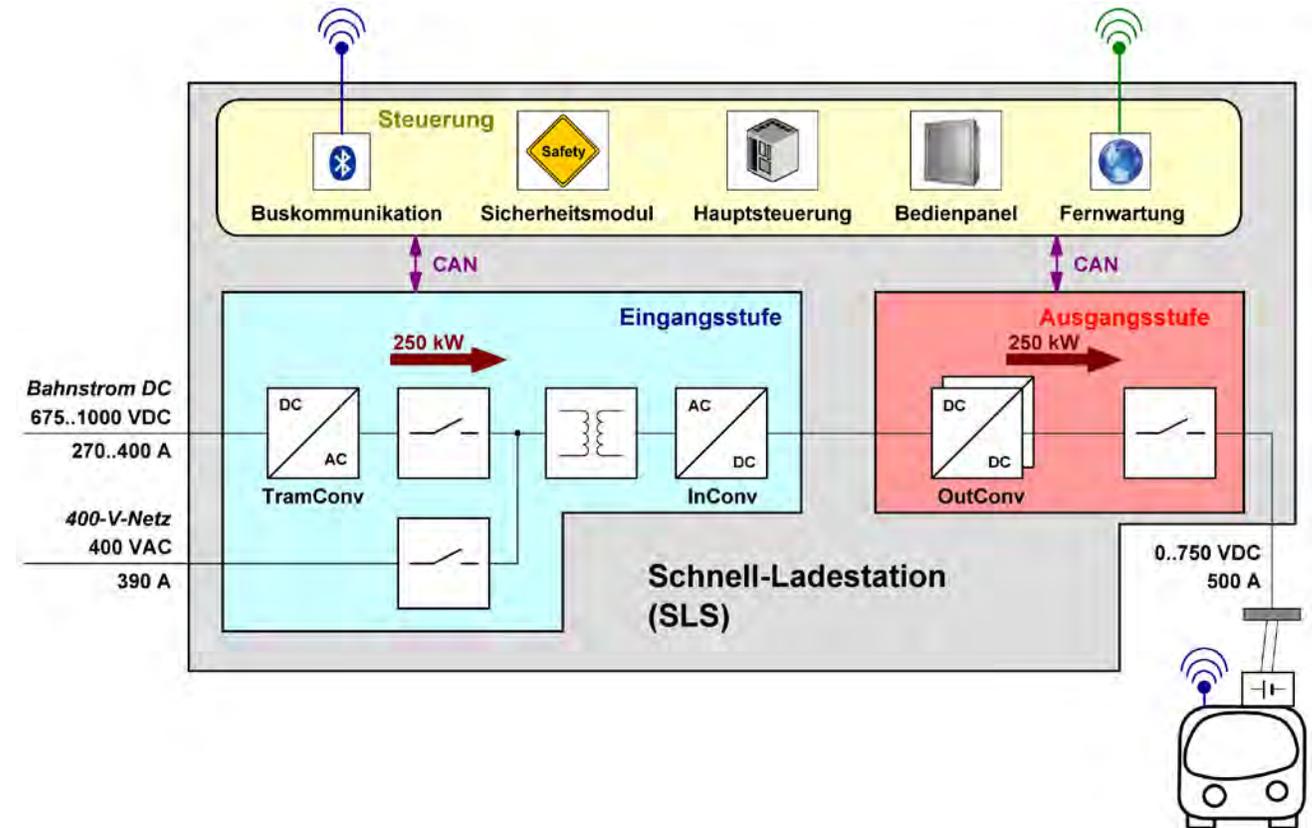
Ladestation/-en

■ Vergleich der Anbindung an DC- oder AC-Versorgungsnetz → Fallprüfung

- Entfernung zum Ladepunkt?
- Kosten für NS / MS-Anschluss?
- zusätzlicher DC/AC vs. Mittelspannungstrafo

■ „Idee“: Bahnstrom ersetzt Ladestation? → nein!!!

- Erdungsverhältnisse eines DC-Unterwerks erfüllen nicht die Anforderungen ($500 \Omega/V$) für den sicheren Ladebetrieb eines E-Busses.
- Leistungselektronik in E-Bussen der heutigen Generation wäre maximaler Spannung an DC-Unterwerkssammelschiene nicht gewachsen.



3. Schlüsselkomponenten

Kontaktsystem - mechanische Schnittstelle

- allgemein
 - ausreichend schnelle Aus-/Einfahrtgeschwindigkeit
 - ausreichende Stromtragfähigkeit (mittels Kontaktkraft und/oder Kontaktfläche)
 - sicherer Anlagenzustand ist außerhalb des Lichtraumprofils
- Standard IEC 62196 „Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen“
 - **mechanische** Absicherung der Kontaktreihenfolge PE – DC+/DC- – CP
 - fünfter Kontakt (PP) an ÖPNV-Fahrzeugen nicht notwendig
- für den Fahrzeugteil gilt hinsichtlich der Elektrosicherheit die ECE R100
 - Kennzeichnung von Hochvoltteilen (orange Kabel, Sicherheitsbeschilderung)
 - Prüfung des Isolationswiderstandes und der Schutzleitergüte
 - Einhaltung „Prüffinger“-Anforderung oder sequentielle Abschaltbarkeit

3. Schlüsselkomponenten

Fahrzeugenergiespeicher - Technologieauswahl

■ Schwungradenergiespeichersysteme

- aufgrund ihrer Systemeigenschaften (Verhältnis von Energie- und Leistungsdichte) sehr gut für ÖPNV-Anwendungen geeignet
- bestehende Sicherheitsmängel
 - derzeit kein Einsatz in Bussen und Bahnen des ÖPNV möglich

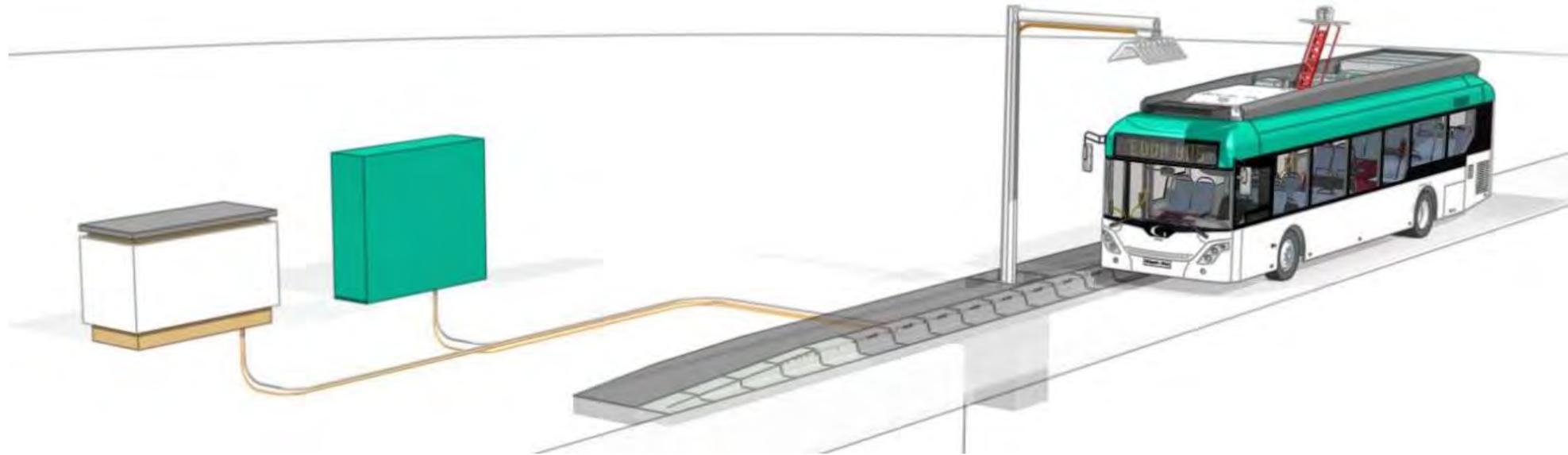
■ Superkondensatorspeichersysteme

- sehr hohe Leistungsdichte, wesentlich zu geringe Energiedichte (Reichweite)
 - Einsatz derzeit nur bei konsequenter Umsetzung des Docking-Prinzips (Pulsladung) denkbar

■ Batteriespeichersysteme

- hervorragende Energiedichte, Zelltechnologie mit akzeptabler Leistungsdichte (Hochleistungsbatterie mit 5C-Laderate) kommerziell verfügbar
 - derzeit bester Kompromiss für die Umsetzung E-Bus mit Gelegenheitsladung

4. Praxiserprobung Installationen am Ladepunkt



- Schnellladestation (250 kW dauerhaft, Linienbetrieb im Projekt) und Pulsladestation (650 kW für 20 Sekunden, Demonstration)
- Haltemast mit wegseitigem Teil des Hochstromkontaktsystems
- Kombibordstein mit wegseitigem Teil der Fahrzeugpositionserkennung

4. Praxiserprobung

Detailansichten



4. Praxiserprobung

Detailansichten



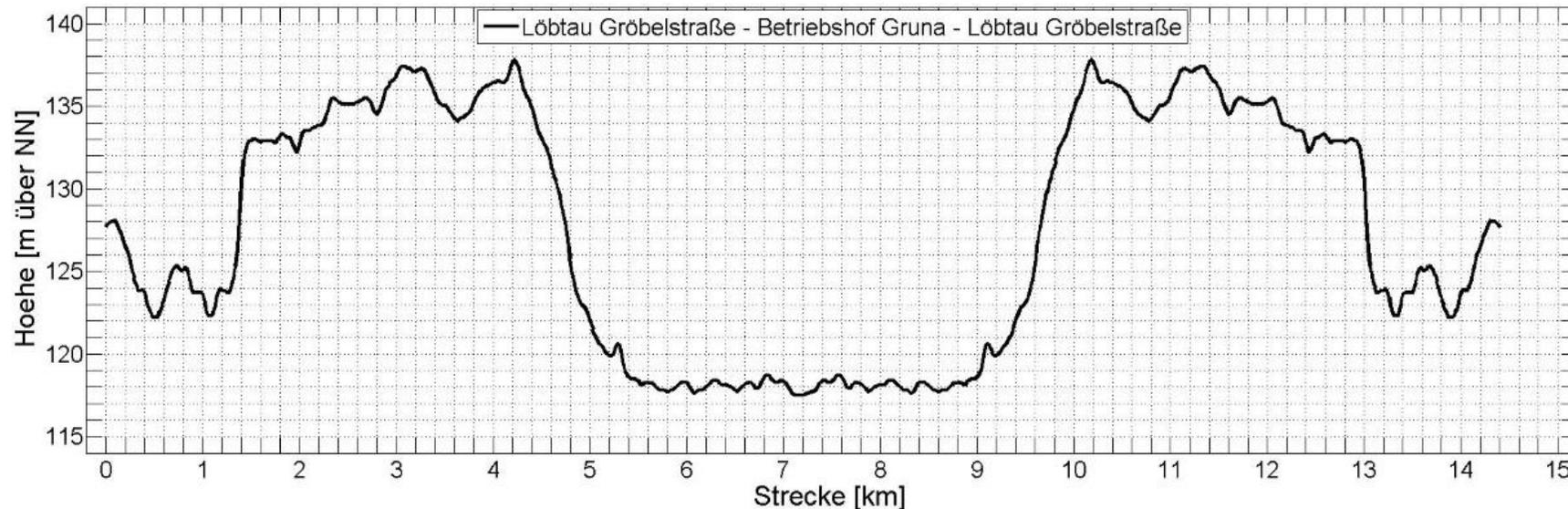
4. Praxiserprobung

Detailansichten



4. Praxiserprobung

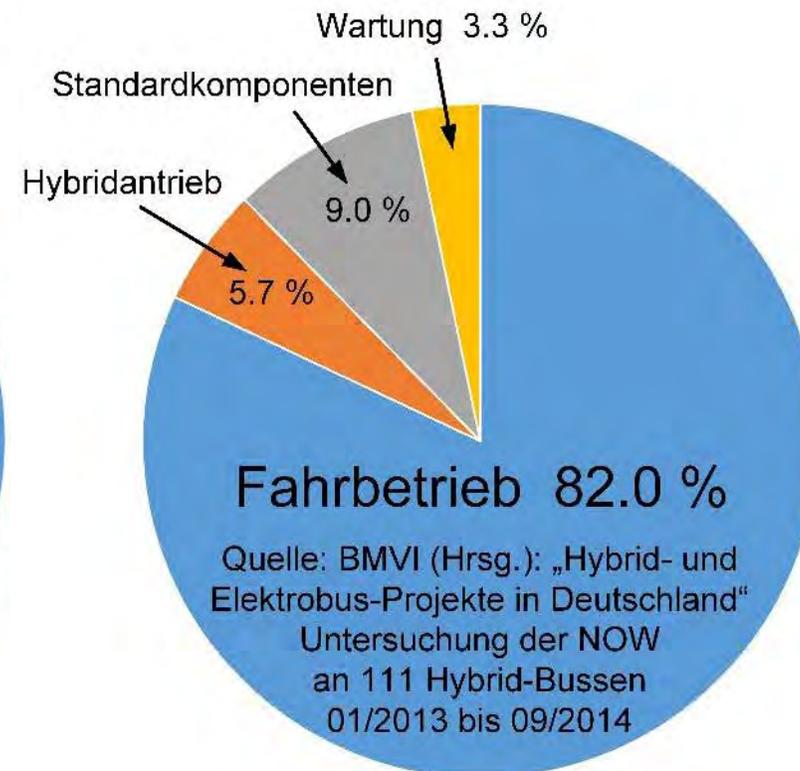
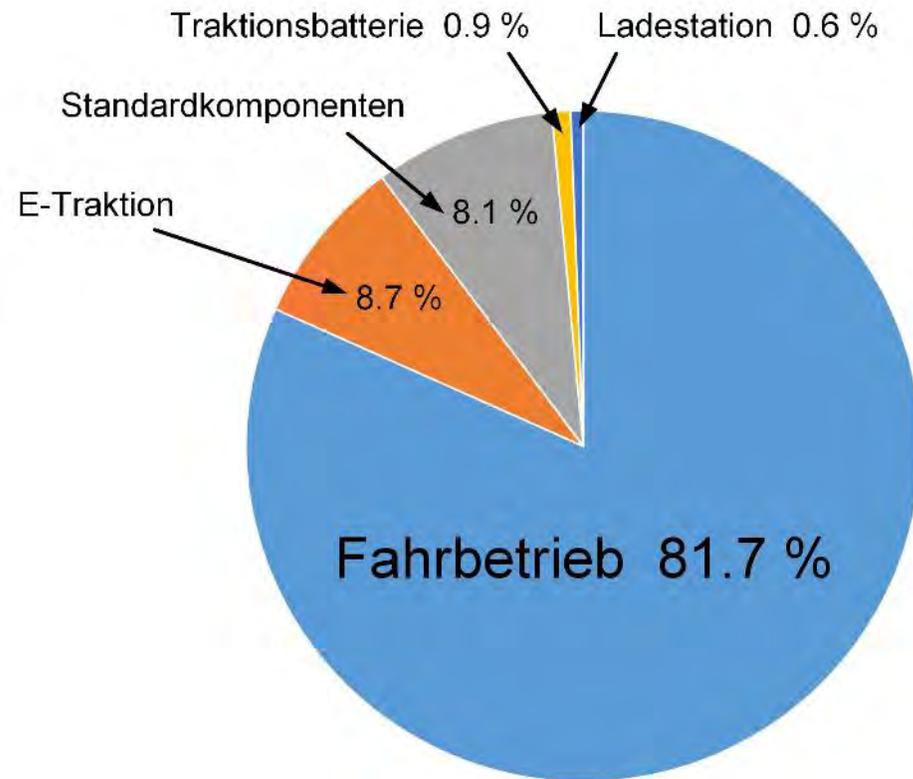
Das Projektfahrzeug in Aktion - Praxiserprobung EDDA-Bus 1. Phase



- Systemeinsatz im Linienbetrieb (DVB), keine prototypische Lösung
 - ab 09/2014 am Linienbetrieb orientierte Erprobung ohne Fahrgäste
→ Abstimmung Antriebsdrehmoment, Nebenaggregate, Fahrerschulung
 - 11/2014 – 01/2015 Teilstück der Linie 61 (Umlauflänge 14.4 km); 14 Umläufe täglich
 - Ladeinfrastruktur an einem gemeinsamen „Endpunkt“, Pulsladung in Blockpausen

4. Praxiserprobung

Das Projektfahrzeug in Aktion - Praxiserprobung EDDA-Bus 1. Phase



- Ausfallursachen von Standardkomponenten (Türen, Heizung) und E-Traktion (ISO-Fehler) behoben
→ >90 % Fahrbetrieb 2. Phase

4. Praxiserprobung

Das Projektfahrzeug in Aktion - Praxiserprobung EDDA-Bus 2. Phase



- Linienbetrieb (DVB) mit topographisch anspruchsvollem Fahrprofil
 - 02/2015 – 04/2015
 - angepasstes maximales Antriebsdrehmoment
 - Verstärkung des Fahrgastangebotes auf zweitem Teilstück der Linie 61
 - 13 Umläufe täglich
 - Umlauflänge 19.6 km

4. Praxiserprobung

Das Projektfahrzeug in Aktion - Praxiserprobung EDDA-Bus

■ Energiebedarf

- Fahrzeug wird ausschließlich mit Heizöl beheizt (sinnvoll für Entwicklungsprojekt)
- Traktionsenergiebedarf 1.19 kWh/km ab Hochstromkontaktsystem als Mittelwert der gefahrenen 18.500 km

■ Ladezeit

- < 4.5 min. benötigte Nachladezeit für Umlauflänge 14.4 km
- < 6.5 min. benötigte Nachladezeit für Umlauflänge 19.6 km (beginnendes Derating)

■ Wirkungsgrad der Energieübertragung

- Ermittlung durch Vergleich von 15 min.-Werten des Netzversorgers und eigenen Messdaten auf Fahrzeugebene
- Wirkungsgrad abhängig vom Stromverlauf (Batterieladezustand)
- 94.7 % Wirkungsgrad zwischen Netzeinspeisung (Abrechnungsstelle) und Batterieklemme als Mittelwert von über 800 ausgewerteten Ladevorgängen

5. Zusammenfassung und Ausblick

Projektergebnisse

- Die Projektergebnisse belegen die Verfügbarkeit von
 - Anlagentechnik (Traktionsbatterie, Hilfsaggregate) zum Aufbau von 12m-E-Bussen
 - Komponenten (Ladestation, Kontaktsystem) zu deren Linienbetrieb mit vollautomatisierter Schnellladung (Linienendpunkt) und Pulsladung (Strecke)
- Ableitung des nächsten Entwicklungsschrittes
 - Nach dem Nachweis der technischen Machbarkeit muss das Ziel in der ökonomischen Vergleichbarkeit zum Standardbus liegen.
 - Ergebnis einer begleitenden LCC-Analyse: akzeptabler Kostenrahmen für die benötigte Ladeinfrastruktur, charakterisiert durch:
 - hohen Nutzungsgrad (viele Fahrzeuge auf gleicher Linie)
 - lange Lebensdauer (20 Jahre) durch bewährte Anlagentechnik
- Den absehbar weiterhin hohen Energiespeicherkosten kann im ÖPNV mit dem Betriebskonzept der Gelegenheitsladung begegnet werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

■ Nachladesystem

- Standardisierung (mechanische Schnittstelle, Sicherheitsanforderungen, Ortungs- und Kommunikationstechnologie)
- Adaption auf andere Fahrzeugklassen

■ Ladeinfrastruktur

- Vor allem bei gleichzeitigem Betrieb von Stadtbahnen und Batteriebussen ist eine gemeinsame Nutzung vorhandener Infrastruktur anzustreben

- Das Schnellladesystem (Kontaktsystem) aus der Zusammenarbeit von Schunk und Fraunhofer IVI setzt sich europaweit am Markt durch

- Ladeleistung bis 750kW

- Weiterentwicklung für andere Fahrzeugkategorien



Weitere Fahrzeugkategorien

Unterbodenladesystem

- Vision für die nächsten 10-20 Jahre
 - Reichweite der elektrischen Fahrzeuge ist größer als 600 km
 - nachgeladen wird auch an zentralen Nachladepunkten wie. z.B. Tankstellen
 - Ladeleistung wird größer als 1 MW sein
 - typische Ladezeiten werden unter 5 min. liegen

- dies resultiert in Strömen größer als 1000A
- Steckerladung ist ausgeschlossen
- automatisiertes Kontaktsystem notwendig



Quelle: Daimler



Quelle: Daimler



Quelle: Google

Unterbodenladesystem

Komponenten – Wegseite für öffentlichen Bereich (Tankstelle)

- übertragbare Leistung größer als (ansteigende) Ladefähigkeit von Fahrzeugenergiespeichern
- vollständig automatisierter Ladevorgang
- integrierter Ausgleich von Positionstoleranzen
- bis Belastungsklasse D400
- kostengünstig und robust
- nur ein Antrieb



5. Zusammenfassung und Ausblick

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

■ Nachladesystem

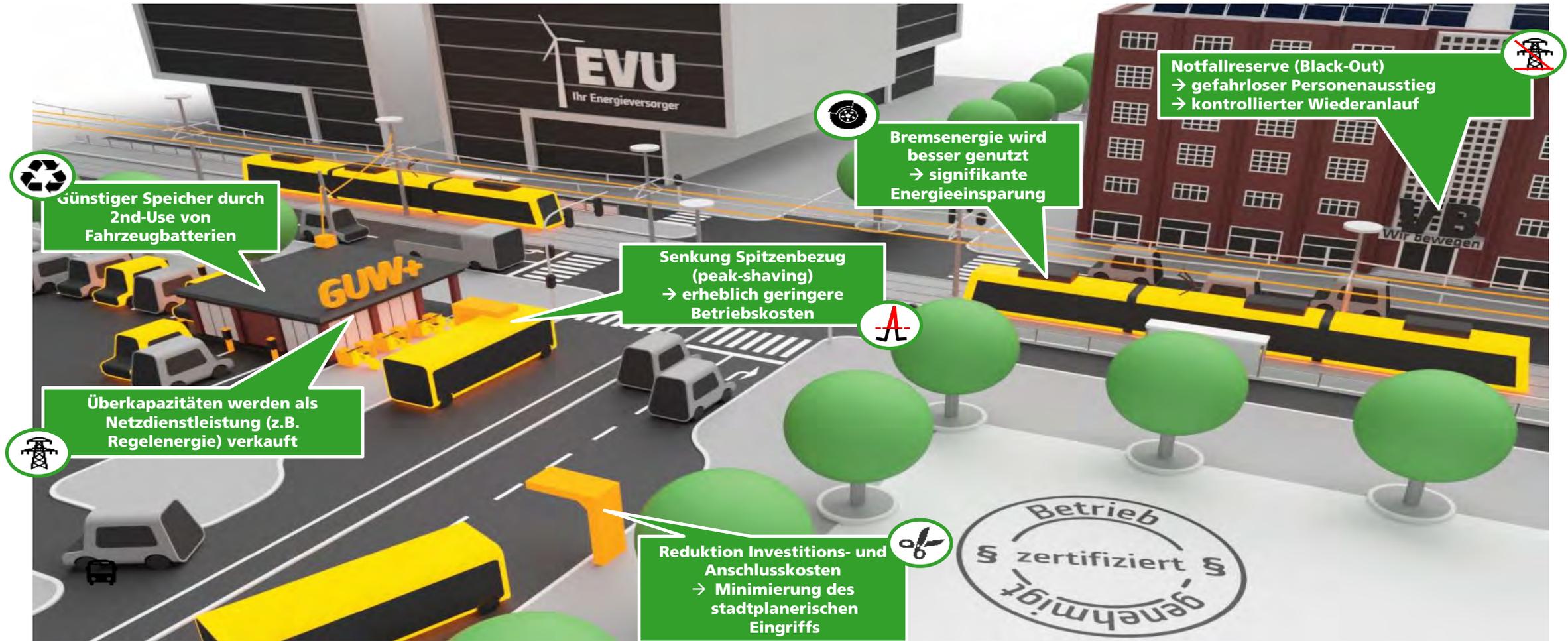
- Standardisierung (mechanische Schnittstelle, Sicherheitsanforderungen, Ortungs- und Kommunikationstechnologie)
- Adaption auf andere Fahrzeugklassen (nächster Schritt Lieferfahrzeuge)

■ Ladeinfrastruktur

- Vor allem bei gleichzeitigem Betrieb von Stadtbahnen und Batteriebussen ist eine gemeinsame Nutzung vorhandener Infrastruktur anzustreben

5. Zusammenfassung und Ausblick

Forschungs- und Entwicklungsbedarf



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- [1] KLAUSNER, Sven; LEHNERT, Martin: *Betriebsspezifische Auslegung von Energiespeichern für Straßenbahnen*. In: Elektrische Bahnen 106 (2008), Nr. 5, S. 237ff.
- [2] KLAUSNER, Sven: *Energy-Saving Potential of Energy Storage Systems in Public Transport Networks - Evaluation Results from Eberswalde*; Fraunhofer IVI, 2012
- [3] BÜCHNER, Stefan; KLAUSNER, Sven: *Vollelektrischer Bus-Linienbetrieb nach dem Docking-Prinzip*. In: Elektrische Bahnen 113 (2015), Nr. 1
- [4] KLAUSNER, Sven : Vom Diesel- zum Batteriebus – aber wie?. In: V+T – Verkehr und Technik, Erich Schmidt Verlag, Jahrgang 69 (2016), Nr.4, S. 122-124, Nr.5, S. 157-160
- [5] www.edda-bus.de
- [6] KLAUSNER, S.; SÖFFKER, C.: *Energieversorgung für Bahn und Bus - G UW+ nutzt Bestandsinfrastruktur für Elektromobilität*, Der Nahverkehr 1+2/2018:

Sven.Klausner@ivi.fraunhofer.de

<http://www.ivi.fraunhofer.de>