

Elektrobus Sachsen-Anhalt

Abschlussveranstaltung



Magdeburg | 03.11.2016

BeSyst0[®]



Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV

© VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

1

Einführung

Elektrobus Sachsen-Anhalt – Schrittweise zum Projekterfolg

... von der Idee bis zum Betrieb des Elektrobussystems ...



Elektrobus Sachsen-Anhalt – Hintergrund

- Verkehrspolitische Zielstellung der Reduzierung verkehrsbedingter Emissionen durch eine Elektrifizierung des ÖPNVs
- Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr Sachsen-Anhalt (MLV) beabsichtigt die Einführung alternativ betriebener Busse zu unterstützen
- Im Operationellen Programm EFRE der Strukturfondsperiode 2014-2020 wurde eine Aktion zur Förderung der Elektromobilität angemeldet
- Vorbereitend sollte die Machbarkeitsstudie den Einsatz von Elektrobussen im Vergleich mit konventionell betriebenen Diesel- und Gasbussen untersuchen
- Die NASA GmbH vergab im Auftrag des MLV die Studie und begleitete deren Bearbeitung

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt



Elektrobus Sachsen-Anhalt - Machbarkeitsstudie

Bewertung des Elektrobuseinsatzes – betrieblich, technisch, wirtschaftlich & ökologisch

- Linienuntersuchungen von 11 Linien (1 Linie je VKU)
- Ermittlung des Energiebedarfs (SOC - State of Charge)
- Konfiguration E-Bussystem (Batteriebusse / Ladeinfrastruktur)
- Kostenermittlung (Gesamtkostenbetrachtung TCO-Analyse)
- Umweltauswirkungen (Well-to-Wheel Betrachtung)
- Handlungsempfehlungen

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt



2 Stellschrauben des Elektrobussystems

Ausgangssituation: Der Dieseldieselbus



Bildquelle: <http://www.mercedes-benz.de>

1 Liter Diesel entspricht einem Energieinhalt von 9,86 kWh

12m Standardbus

Euro 6

Vollklimaanlage

Stadteinsatz SORT 2

Verbrauch Diesel:

38 Liter je 100 km

Zusatzheizung Diesel:

3,5 Liter je Stunde

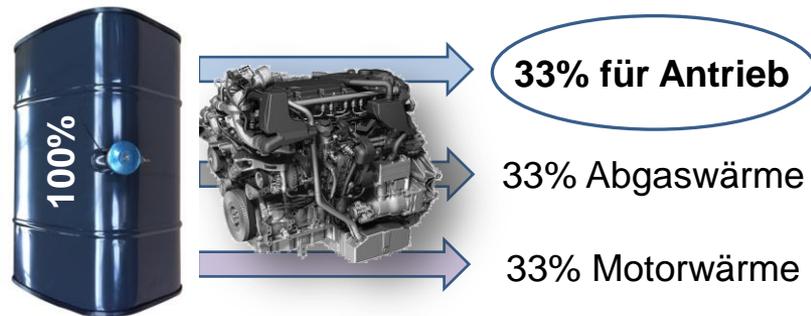
Tank:

150 Liter für 395 km

Zusatztank für Heizung:

75 Liter für 21 Heizstunden

Energiebedarf Dieselbus (überschläglich)



**1 Liter Diesel entspricht einem
Energieinhalt von 9,86 kWh**

Gesamtenergiebedarf Dieselbus: 2.219 kWh

Energie fürs Fahren

Energieinhalt Dieseltank Antrieb: **1.479 kWh**

Energieverbrauch: 3,74 kWh/km

Energie fürs Heizen

Energieinhalt Zusatztank Heizung: **740 kWh**

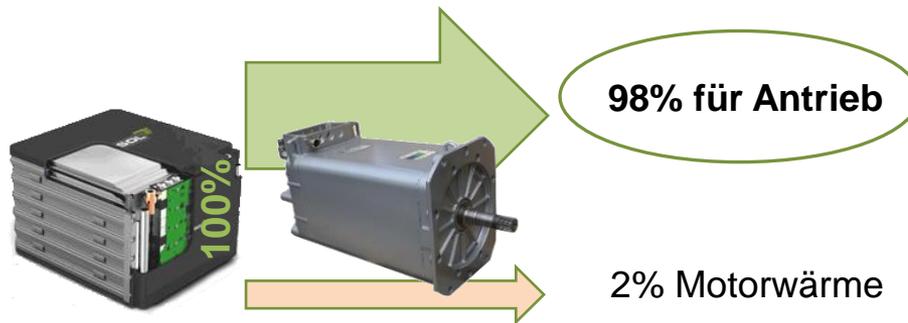
Energieverbrauch 1,75 kWh/km
(bei Ø Geschwindigkeit von 20 km/h)

Grundannahme Dieselbus

150 l Dieseltank Antrieb für 395 km

75 l Zusatztank Heizung für 21 Heizstunden

Energiebedarf Elektrobus (überschläglich)



Gesamtenergiebedarf Elektrobus: 1.640 kWh

Energie fürs Fahren

Energieinhalt Energiespeicher: **500 kWh**
 ca. 1/3 der für Dieselbus aufgewendeten Energie
 1.479 kWh / 3

Energieverbrauch: 1,26 kWh/km

Energie fürs Heizen

Energieinhalt Zusatztank Heizung: **1.140 kWh**
 740 kWh + 400 kWh
 (Äquivalent für entgangene Motorwärme)

Energieverbrauch: 2,35 kWh/km
 (bei Ø Geschwindigkeit von 20 km/h)

Gewichtsbilanzierung Dieselbus und Elektrobus (überschläglich)

Dieselbus: 2.219 kWh



Bildquelle: <http://www.mercedes-benz.de>



150 l Dieseltank
für Antrieb



75 l Zusatztank
für Heizung

Gesamtgewicht Tank : 210 kg

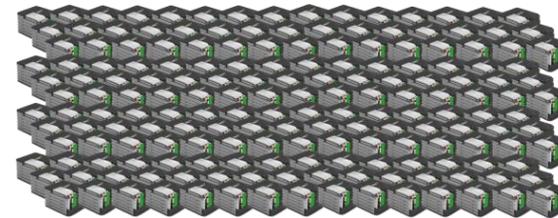
Diesel: 0,83 kg/l

Eigengewicht Tank: 0,10 kg/l

Elektrobus: 1.640 kWh



Bildquelle: <http://www.sileo-ebus.com/>



1.640 kWh Speicher

Gesamtgewicht Speicher: 16.400 kg

Speicher incl. BMS: 10 kg/kWh

BMS = Batteriemanagementsystem

Herausforderung Elektrobus

Kosten

EB: 552.000 €
bis 755.000 €
DB: 240.000 €

EB-Kosten sind
mehr als doppelt
so hoch
wie DB-Kosten

Gewicht

hohes
Speichergewicht
bedingt hohes
Fahrzeuggewicht

EB überschreitet
zulässiges
Gesamtgewicht
um über 7 t

Zuladung

keine Möglichkeit
der Fahrgast-
mitnahme mehr
möglich

notwendige
Kapazität
für 75 Fahrgäste
ca. 5,1 t

Fahrweite

abhängig von
Einsatz Neben-
verbraucher

mit Hybrid-
heizung.: 175 km
mit vollelekt.
Heizung: 72 km

! Sicherung der Finanzierung

! Reduzierung Fahrzeuggewicht / Speichergewicht durch Zwischenladung

Technische Grundlagen

Technische Grundlagen

Elektrische Antriebskonzepte

Elektrische Energiezuführung

Fragestellungen

Woran muss ich denken, um Systeminnovationen zu implementieren?

Welches System ist für MEIN Verkehrsunternehmen das Richtige?

Inwieweit lässt sich das Elektrobussystem in den bestehenden Betrieb integrieren? Passt sich der Elektrobus dem Betrieb an oder umgekehrt?

BeSystO[®]

Stand der
Technik

Elektrische
Antriebs-
konzepte

Vollader / Übernachtlader



Bildquelle: <https://www.solarisbus.com>

Abbildung Beispielhaft

BeSystO[®]

Stand der
Technik

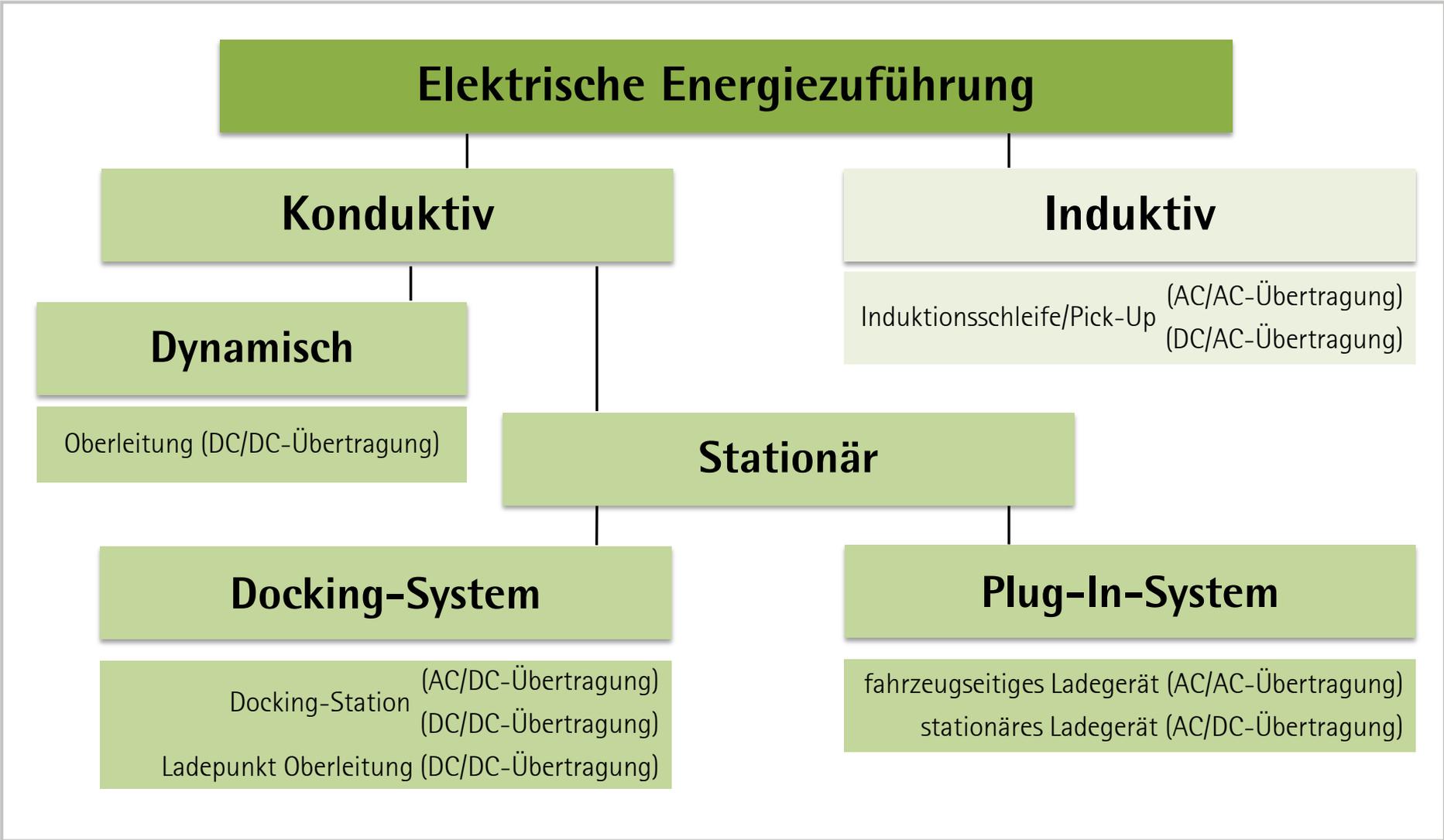
Elektrische
Antriebs-
konzepte

Gelegenheitslader



Abbildung Beispielhaft

Bildquelle: © Julian Stratenschulte/dpa <http://www.zeit.de/mobilitaet/2016-10/elektromobilitaet-linienbusse-stadtverkehr-vorteile>



BeSyst0[®]

Stand der
Technik

Elektrische
Energie-
zuführungs-
konzepte

Plug-In-System



Bildquellen (v. l. n. r.): Eigenes Foto, <https://www.e-stations.de/wissen/e-stecker>

BeSystO[®]

Stand der
Technik

Elektrische
Energie-
zuführungs-
konzepte

Docking-Station



Hub-Docking-Station
im Projekt SEB Dresden



Seiten-Docking-Station
im Projekt SEB Münster

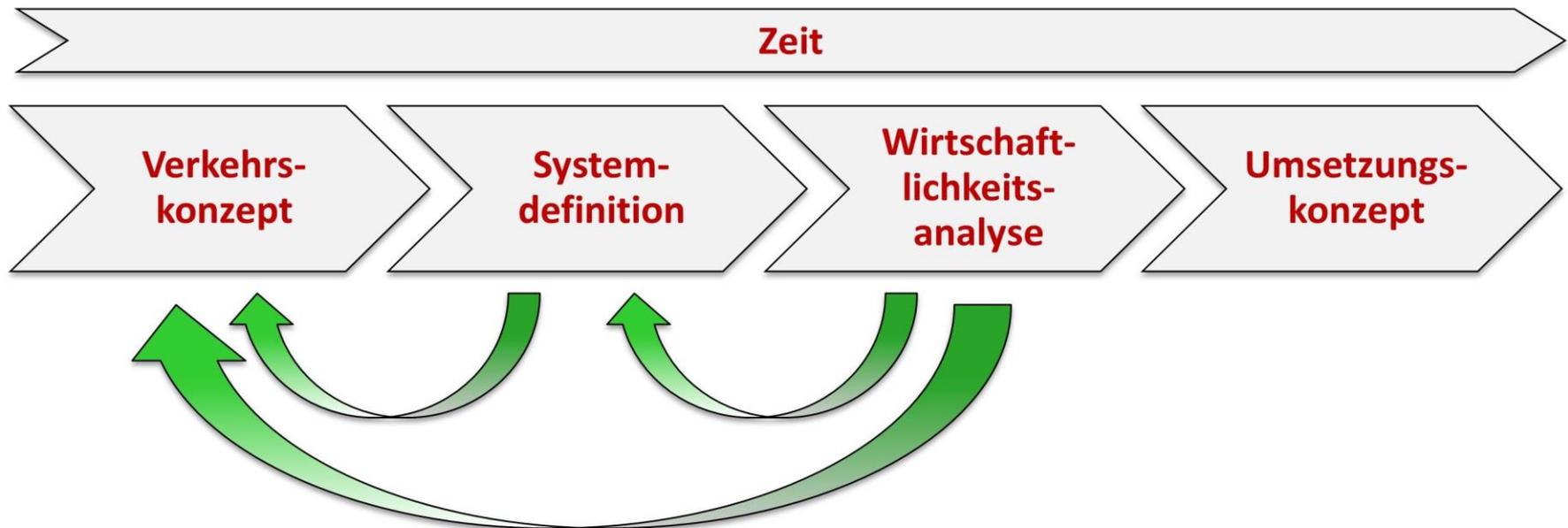


Senk-Docking-Station
im Projekt Hamburg

Bildquellen (v.l.n.r.): Fraunhofer IVI, VCDB, Wikipedia/Creative Commons

3 Ergebnisse Linienuntersuchung

BeSystO – Prozessablauf



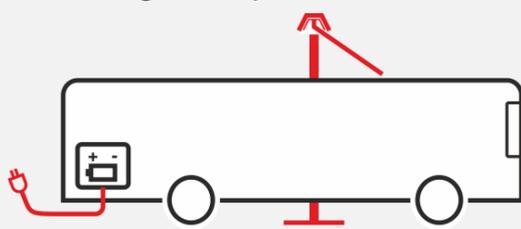
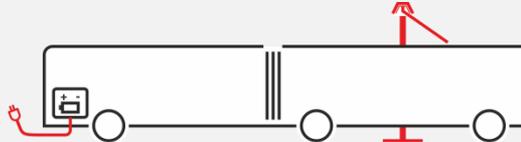
- Analyse Liniennetz
- Verkehrsangebot
- Raumstruktur

- Fahrzeugtechnologie
- Speichertechnologie
- Ladekonzept
- Infrastruktur
- „Sonstiges“

- Investitionen
- Betriebskosten
- LC-Betrachtung
- Fördermittel

- Systemscheidung
- Systemumsetzung

Elektrobussystemkomponenten Gelegenheitslader

VKU	Linie	Elektrobussystem	
Börde Bus	▪ 647: Stadt- und Regionalverkehr	▪ 2x Midibus	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ladeinfrastruktur Strecke: Docking-Station ▪ Ladeinfrastruktur Betriebshof: Plug-In-System CCS  
DVG	▪ 10/11/12: Stadtverkehr	▪ 4x Standardbus	
HAVAG	▪ 21: Stadtverkehr	▪ 3x Standardbus	
HVB	▪ 318: Regionalverkehr	▪ 1x Standardbus	
HVG	▪ 11/14: Stadtverkehr	▪ 2x Standardbus	
KVG	▪ 115: Stadtverkehr	▪ 1x Midibus	
MVB	▪ 73: Stadtverkehr	▪ 3x Gelenkbus	

Elektrobussystemkomponenten Volllader

VKU	Linie	Elektrobussystem	
PVG	<ul style="list-style-type: none"> 102: Stadtverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> 1x Standardbus 	<ul style="list-style-type: none"> Ladeinfrastruktur Betriebshof: Plug-In-System CCS 
PVGS	<ul style="list-style-type: none"> 1: City-Rufbus 	<ul style="list-style-type: none"> 2x Minibus 	
Stendalbus	<ul style="list-style-type: none"> 901: Stadt- und Regionalverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> 3x Standardbus 	
VGS	<ul style="list-style-type: none"> 41: Stadtverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> 3x Standardbus 	

Elektrobus Sachsen-Anhalt – Ergebnisse

Betrieblich-technisch Bewertung

- Grundsätzliche Umsetzbarkeit eines Elektrobussystems auf den betrachteten Linien bestätigt
- Nahezu einheitlicher Einsatz von Fahrzeugen und Ladeinfrastrukturen bestimmt
- Minimum an anwendbaren Elektrobustypen und Ladesystemen identifiziert (Voll- und Gelegenheitslader)
- Detaillierte Umsetzungsplanungen und betriebliche Optimierungen können zu einer höheren Umsetzungsreife für Elektrobussystem-Projekte führen

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt



Elektrobus Sachsen-Anhalt – Ergebnisse

Wirtschaftliche Bewertung

- Kostenparameter auf Basis von Marktpreisanalysen ermittelt
- Szenarien Analysen für die zu erwartende Gesamtwirtschaftlichkeit betrachtet
- Hohe Investitionskosten für Elektrobussysteme können durch hohe Laufleistungen kompensiert werden
- Aktive finanzielle Unterstützung der Verkehrsunternehmen notwendig (Förderrichtlinie)

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt



Elektrobus Sachsen-Anhalt – Ergebnisse

Ökologische Bewertung

- Betrachtung auf Grundlage der DIN EN 16258 2013 mittels energie- und lauleistungsbezogener CO₂-Äquivalent-Bilanzierung
- Möglichkeit des lokal emissionsfreien Öffentlichen Verkehrs durch die Installation eines Elektrobussystems (mit elektrischer Heizung)
- Signifikante Einsparungen von Treibhausgasen und sonstigen Schadstoffen in der Well-to-Wheel Betrachtung bei allen untersuchten Verkehrsunternehmen
- Hohes Lärmreduktionspotential von Elektrobussen

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt



4

Ausblick – Konzeptionierung des Elektrobussystems

Elektrobus Sachsen-Anhalt – Schrittweise zum Projekterfolg

Umsetzungsplanung

- Identifizierung von Pilotprojekten
 - Auswahl geeigneter Anwendungsfälle
 - Definieren der Systemparameter
 - Festlegen der Einsatzbedingungen (Batteriebusse / Ladeinfrastruktur)
 - Beantragen von Fördermitteln

Einführung Elektrobussystem Sachsen-Anhalt

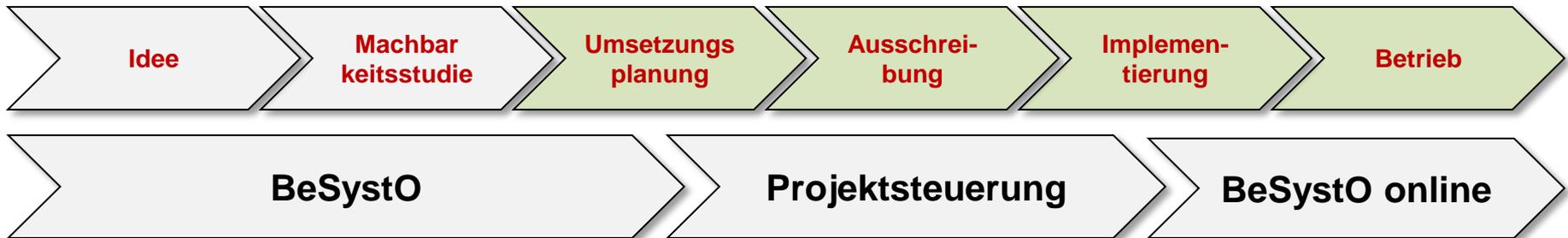


derzeitiger Projektzeitpunkt

Elektrobus Sachsen-Anhalt – Schrittweise zum Projekterfolg

Leistungsspektrum Elektromobilität VCDB

- Ihr Ansprechpartner für die Entwicklung und Koordination von Projekten im Bereich des elektrisch betriebenen ÖPNV



- Werkstatt-Exkursion | 1. Quartal 2017 | San Sebastian (ES)
 - Grundlagen-Workshop (VCDB): Elektromobilität im Busbetrieb
 - Besuch der Entwicklungs- und Produktionsstätten des Irizar i2e Elektrobusse
 - Besuch des städtischen Verkehrsunternehmens d•bus in San Sebastian

Ansprechpartner

Dipl.-Ing.

Jürgen Lange

Teamleiter

Geschäftsbereich Elektromobilität

+49 351 4823124

j.lange@vcdb.de

Dr.-Ing.

Thomas Otto

Projektleiter

Team Elektromobilität

+49 351 4823136

t.otto@vcdb.de

Dipl.-Ing.

Matthias Kiepsch

Projektingenieur

Team Elektromobilität

+49 351 4823137

m.kiepsch@vcdb.de

Magdeburg | 03.11.2016

BeSystO[®]



Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV

© VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

Elektrische Busse

Electric Vehicle (EV)

Batteriebus

Battery Electric Vehicle
(BEV)

Plug-In Hybridbus

Plug-In Hybrid Electric Vehicle
(PHEV)

Batteriebus mit Range-Extender

Range Extended Electric Vehicle
(REEV)

Vollader/Übernachtslader

(Overnight-Charging Batteriebus)

Diesel-Hybridbus

(Electric Diesel Hybrid Bus)

Batteriebus mit Brennstoffzelle

(Fuel Cell Bus)

Gelegenheitslader

(Opportunity-Charging Batteriebus)

Wasserstoff-Hybridbus

(Fuel Cell Hybrid Bus)

Batteriebus mit Dieselgenerator

(Auxiliary Power Unit)

Oberleitungsbus

(Trolleybus)

Erdgas-Hybridbus

(Natural Gas Hybrid Bus)

Energiespeicher