

BeSyst0®



Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV

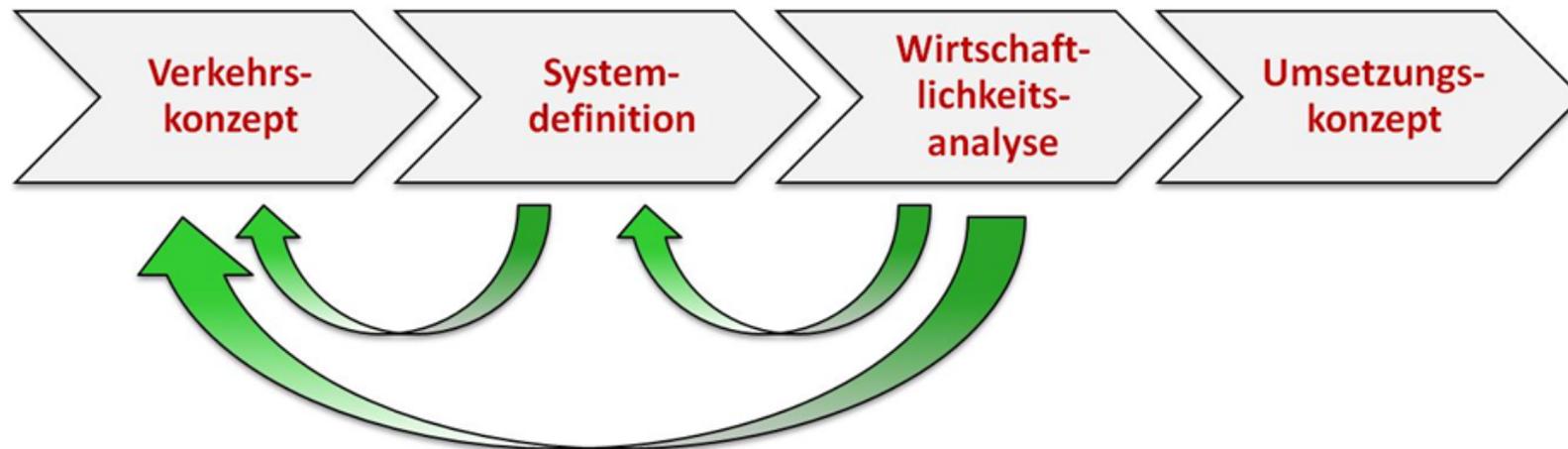
© VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

Dresden, den 10.12.2015

Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV

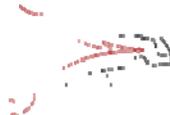
BeSystO® **Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV**

- ✓ Integriertes Planungs- und Bewertungstool
- ✓ Standardisiertes Verfahren
- ✓ Individuelle Konzepte



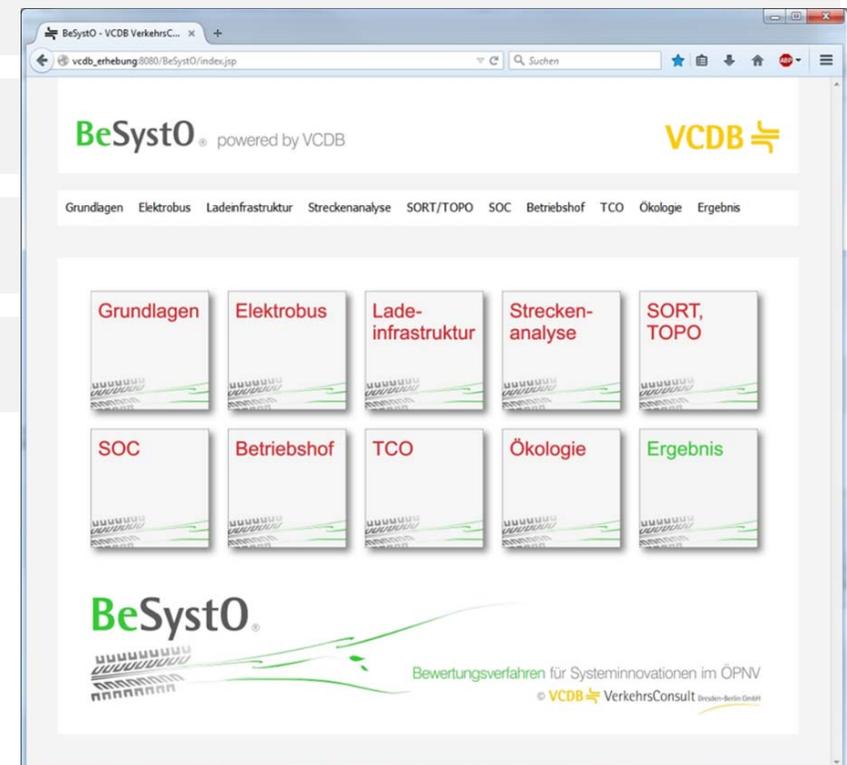
BeSystO® **Wegweiser**

VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

 Fahrzeugtechnik	 Verkehrsplanung/ Verkehrstechnik	 Verkehrs- telematik	 Infrastruktur- planung	 Elektromobilität	 Betriebs- assistentz
---	--	--	--	--	--

BeSystO® **Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV**

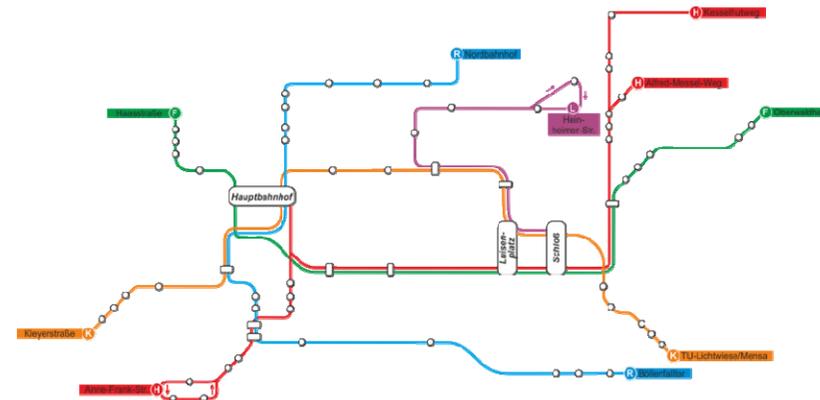
- Eingangsdaterfassung
- Linienanalyse und Busbetrieb
- Technik
- Betrieb
- Wirtschaft



BeSystO® Eingangsdatenerfassung

- Betriebliche Daten / Fahrplan / Dienstplan / Umlaufplan ...
- Betriebskosten / Diesel / Strom / Instandhaltung ...
- Klimafaktoren / Stromlieferant / CO₂-Werte ...
- Personalqualifizierung / Betriebshofausrüstung ...

Dienst:		3 / 12.12.2015 / MO-FR, S						
Ort:		Bernburg						
Gültig:		Mo-Fr, s						
Linie	Beschi	F-Nr	von	bis	T	Fahrstrecke	Last-km	Leer-km
			13:40	13:50	V	Vorbereitung		
			13:50	14:00	A	*Bernburg, Betriebshof - Bernburg, Flutbrücke		1,5
115	37	13	14:00	14:22	O	Bernburg, Flutbrücke - Bernburg, Breite Straße - Bernburg, Alter Markt - Bernburg, Auguststraße - Bernburg, Süd-Ost - Bernburg, PEP-Markt	8,4	
115	38	16	14:30	14:53	O	Bernburg, PEP-Markt - Bernburg, Lindenstraße - Bernburg, Karlsplatz - Bernburg, Marienkirche - Bernburg, Flutbrücke	6,4	
115	37	15	15:00	15:22	O	Bernburg, Flutbrücke - Bernburg, Breite Straße -	8,4	



BeSystO® ➤ Linienanalyse und Busbetrieb

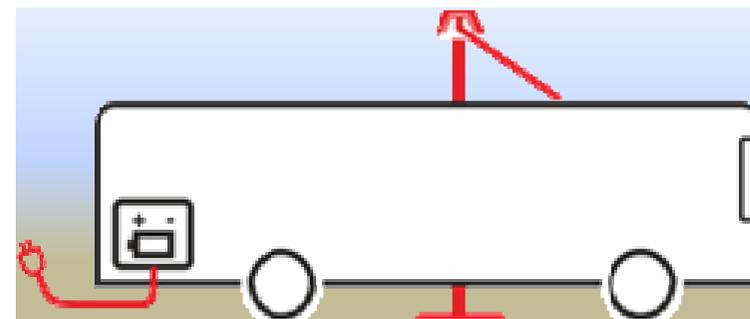
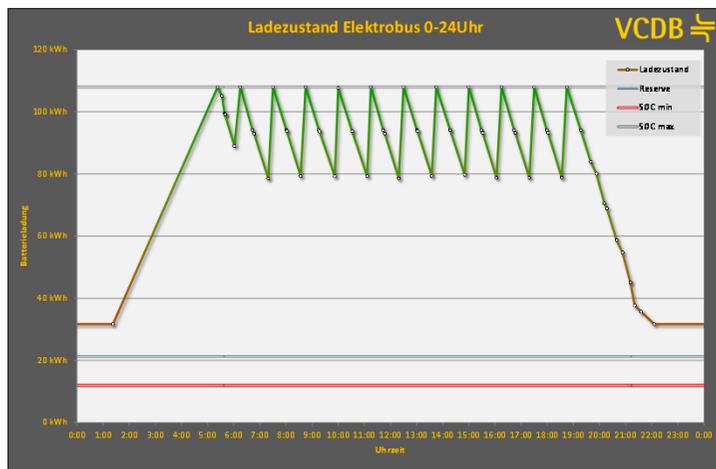
- Analyse Liniennetz / Fahrplan / Dienstplan / Echtzeitdaten ...
- Verkehrsangebot / Taktzeiten / Anschlüsse ...
- Raumstruktur / Verkehrsstruktur / Umwelt ...
- SORT- und TOPO-Bewertung

Tagesumlauf (km)	360	320	280	240	200	160	120	80
Besetzungsgrad (%)	80	70	60	50	40	30	20	10
Antriebsleistung (kW)	260	250	240	230	220	210	200	190
Störanfälligkeit (min/Tag)	80	70	60	50	40	30	20	10
Ø Haltestellenabstand (m)	150	250	350	450	550	650	750	850
Ø Geschwindigkeit (km/h)	12	13	14	15	16	17	18	19
Ø Wendezeit (min)	0	1	2	5	10	15	20	25
.....	0	1	2	3	4	5	6	7



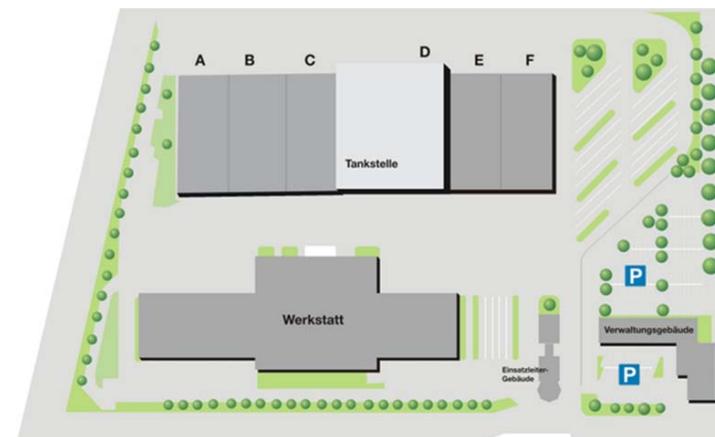
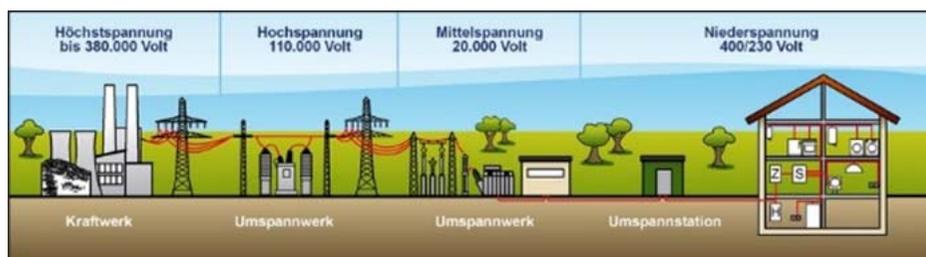
BeSyst0® Technik

- Fahrzeugtechnologie / Volllader / Gelegenheitslader / Wasserstoff ...
- Speichertechnologie / Batterie / Super Caps ...
- Ladekonzept / Konduktiv / Induktiv / Oberleitung
- Infrastruktur / Mittelspannungsnetz / Unterwerk Strab ...



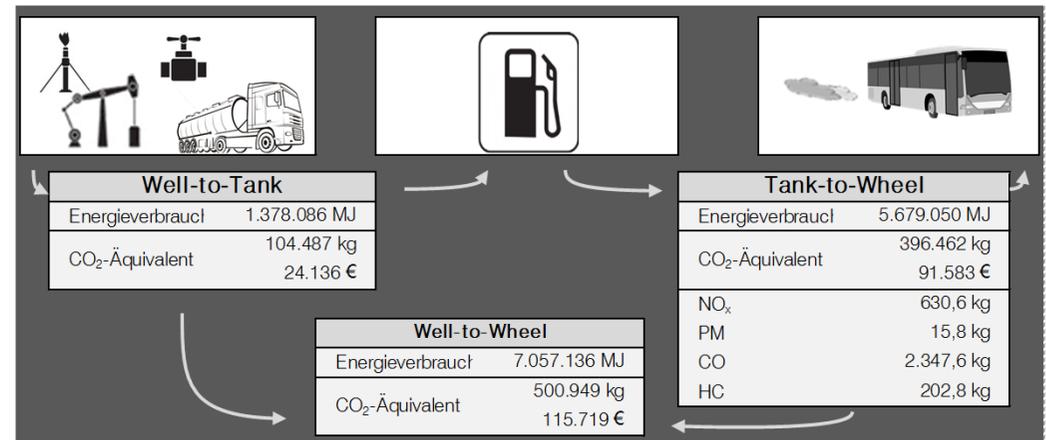
BeSystO® **Betrieb**

- Energieversorgung / Strombereitstellung / grüner Strom / Selbsterzeuger ...
- Personalqualifizierung / Fahrer / Werkstatt / Service ...
- Instandhaltungsaufwendungen / Werkstattausrüstung / Dacharbeitsstand / Diagnosemittel ...
- Betriebshofmanagement / Abstellordnung / Nachladepunkte / Disposition ...



BeSystO® **Wirtschaft**

- Investitionskosten / Finanzierung / Kapitaldienst / Abschreibung ...
- Betriebskosten / Betriebsmittel / Fahrpersonal / Instandhaltung ...
- Amortisation / LCC / TCO / Folgekosten ...
- Umweltbilanz / volkswirtschaftlicher Nutzen ...



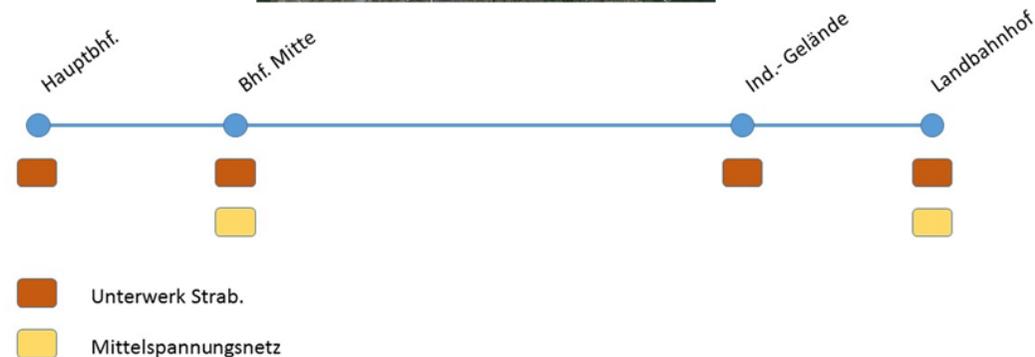
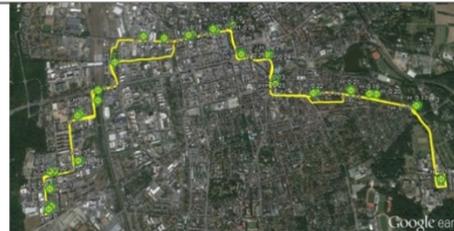
BeSystO® Grunddaten Linie

8.1 Liniendaten Linie 20

Linierverlauf:	Hauptbahnhof - Industriegelände - Landbahnhof
Linienlänge:	12,9 km
Fahrzeit:	1:06
Ø Geschwindigkeit Fahrplan:	17 km/h
mittlerer Haltestellenabstand:	465 m
Jahreslaufleistung:	1.453.590 km/Jahr
Jahresbetriebsdauer:	115.628 h/Jahr

Fahrzeugeinsatz-IST:

Fahrzeuganzahl:	10
Fahrzeugtyp:	Gelenkbus
Fahrzeugklasse:	18 m
Energiezuführung:	Diesel



BeSystO® Kritischer Umlauf

Kurs: 20-2-Mo-Fr

Betriebshof Ausfahrt:	05:33	Btf.Dr
Fahrtbeginn:	05:40	DBM
Fahrtende:	21:11	DHbf
Betriebshof Einfahrt:	21:21	Btf.Dr
Fahrzeit IST	12:39	
Einsatzzeit:	15:48	
Fahrleistung auf Linie:	186 km	
Fahrleistung gesamt:	193 km	
Summe Wendezeiten:	02:52	

Ø Fahrplanverspätungsausgleich am Endpunkt:		
00:00	06:00	1 min
06:00	09:00	3 min
09:00	15:00	1 min
15:00	18:00	2 min
18:00	20:00	3 min
20:00	00:00	0 min

Streckenparameter			
Länge der Strecke (mit/ohne Anfahrtsstrecke)	195.911 m	4.697 m	191.214 m
Zeit (mit/ohne Wendezeiten)	58.904 s	6.463 s	52.441 s
Anzahl der Halte (mit/ohne Wendehalten)	# 766	# 29	# 737
Haltezeit (mit/ohne Wendezeiten)	26.511 s	6.463 s	20.048 s

Verkehrsparameter	
Stoppes je Kilometer:	4 Stopps/km
Haltezeitanteil:	38 %
Durchschnittsgeschwindigkeit:	13,1 km/h

Verkehrsablauf:	
SORT - Stopps je Kilometer	SORT 2
SORT - Haltezeitanteil	SORT 2
SORT - Durchschnittsgeschwindigkeit	SORT 1
	SORT 2

Lage der Haltestellen	
Anzahl der Halte:	411
mittlerer Haltestellenabstand:	465 m

Höhenprofil:	
Glättungsfaktor für Höhendifferenzen:	500 m
Höhendifferenz der Strecke:	92 m
minimale Höhe:	116 m
maximale Höhe:	208 m
TOPO - Höhenunterschied	TOPO 2

Steigung und Gefälle:	
maximale Steigung:	6 %
maximales Gefälle:	-6 %
Maximum aus Steigung und Gefälle:	+/- 6 %
TOP - Steigung/Gefälle	TOPO 2
	TOPO 2

Abfahrt ort	Abfahrtszeit IST	Ankunftszeit IST	Ankunft ort	Fahrzeit IST	Ent fernung
Ausrücken					
BDA	05:17:00	05:32:00	DHbf	00:15:00	5.000 m
Einrücken					
DTulim	18:57:00	19:12:00	BDA	00:15:00	4.000 m
DHbf	05:32:00	05:50:11	DTulim	00:18:11	5.133 m
DTulim	05:52:00	06:13:38	DHbf	00:21:38	5.488 m
DHbf	06:17:00	06:34:14	DTulim	00:17:14	5.133 m
DTulim	06:37:00	06:58:06	DHbf	00:21:06	5.488 m
DHbf	07:02:00	07:18:41	DTulim	00:16:41	5.133 m
DTulim	07:22:00	07:43:58	DHbf	00:21:58	5.488 m

BeSystO® ➤ Ermittlung Energieverbrauch

Berechneter Energieverbrauch mit elektrischer Heizung	Strecke 3,94 kWh/km	Wendepunkt 50,01 kWh/h
---	------------------------	---------------------------

Berechneter Energieverbrauch mit Hybridheizung	Strecke 1,77 kWh/km	Wendepunkt 17,8 kWh/h
--	------------------------	--------------------------

Anlagenwirkungsgrad des Antriebs inkl. Rekuperation:	0,80
Nettoantriebsleistung für leeres Fahrzeug o. Batterie:	163 kW
Anteil Beschleunigung:	60%
	radnaher Antrieb 130 kW
	SORT 2
	TOPO 2

Fahrgastgewicht bei 6.125 kg bei Besetzungsgrad 2 /4

	Zuschlag	Nutzung je Tag
Leistung Nebenverbraucher	20 kW	40%
Leistung Klimaanlage	9,0 kW	70%
Leistung Heizung (Hybridheizung)	14 kW	
Leistung Heizung (vollelekt. Heizung)	60 kW	70%

BeSystO® ➤ Speicher Volllader Linie 20 – Nachladung nur im Betriebshof



Auslegung mit elektrischer Heizung	Platzkapazität IST	- 76 Plätze
	Platzkapazität SOLL	142 Plätze

Fahrzeug Volllader?	ja		Fahrzeuggewicht	28.000 kg
Fahrzeug aufgelastet?	nein	ja	Batteriekosten (HE)	1.564.980 €
Auslegung Energiespeicher	1.565 kWh			
Nutzbare Energiemenge (SOC max)	80%	1.252 kWh		
Nutzbare Energiemenge (SOC min)	20%	313 kWh	939 kWh-Netto	
Batteriegewicht mit BMS:	10 kg/kWh			



Auslegung mit Hybridheizung	Platzkapazität IST	53 Plätze
	Platzkapazität SOLL	142 Plätze

Fahrzeug Volllader?	ja		Fahrzeuggewicht	28.000 kg
Fahrzeug aufgelastet?	nein	ja	Batteriekosten (HE)	686.323 €
Auslegung Energiespeicher	686 kWh			
Nutzbare Energiemenge (SOC max)	80%	549 kWh		
Nutzbare Energiemenge (SOC min)	20%	137 kWh	412 kWh-Netto	
Batteriegewicht mit BMS:	10 kg/kWh			

BeSystO® ➤ Speicher Gelegenheitslader Linie 20 – Nachladung am Endpunkt und im Betriebshof

Auslegung mit elektrischer Heizung

Platzkapazität IST

81 Plätze

Platzkapazität SOLL

142 Plätze



Fahrzeug Gelegenheitslader?

Fahrzeug aufgelastet?

ja

nein

ja

Fahrzeuggewicht

28.000 kg

Auslegung Energiespeicher

500 kWh

Batteriekosten (HL)

750.000 €

Nutzbare Energiemenge (SOC max)

90%

450 kWh

Nutzbare Energiemenge (SOC min)

10%

50 kWh

400 kWh-Netto

Batteriegewicht mit BMS:

10 kg/kWh

Auslegung mit Hybridheizung

Platzkapazität IST

137 Plätze

Platzkapazität SOLL

142 Plätze



Fahrzeug Gelegenheitslader?

Fahrzeug aufgelastet?

ja

nein

ja

Fahrzeuggewicht

28.000 kg

Auslegung Energiespeicher

120 kWh

Batteriekosten (HL)

180.000 €

Nutzbare Energiemenge (SOC max)

90%

108 kWh

Nutzbare Energiemenge (SOC min)

10%

12 kWh

96 kWh-Netto

Batteriegewicht mit BMS:

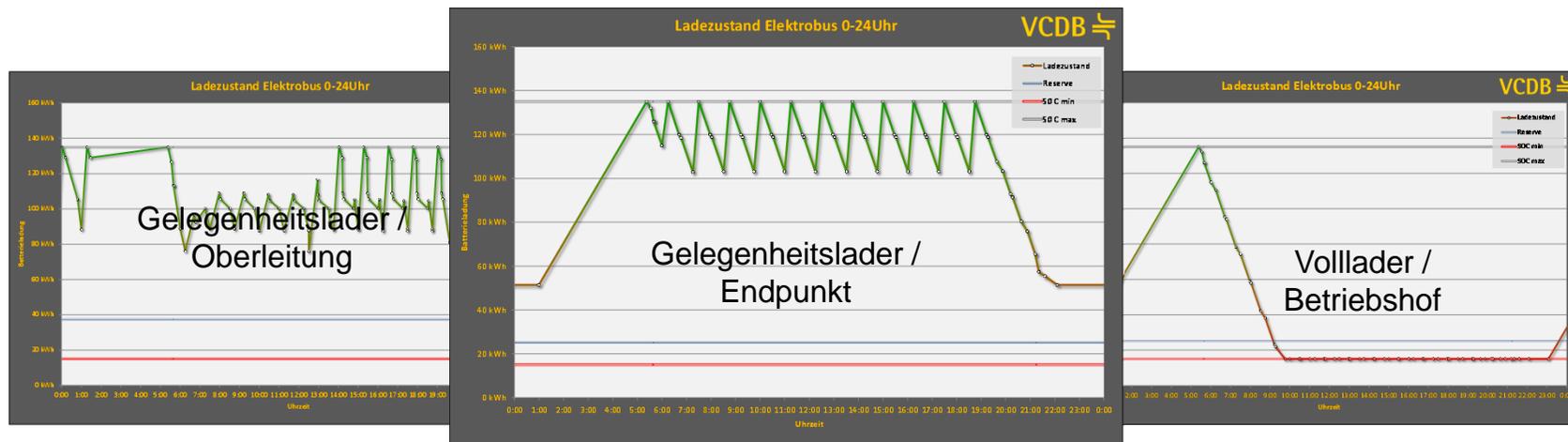
10 kg/kWh

BeSyst0® ➤ Speicher Gelegenheitslader Linie 20 – Nachladung über partielle Oberleitung und Betriebshof



Auslegung mit elektrischer Heizung	Platzkapazität IST	132 Plätze
	Platzkapazität SOLL	142 Plätze

Fahrzeug Gelegenheitslader?	ja		Fahrzeuggewicht	28.000 kg
Fahrzeug aufgelastet?	nein	ja	Batteriekosten (HL)	225.000 €
Auslegung Energiespeicher	150 kWh			
Nutzbare Energiemenge (SOC max)	90%	135 kWh		
Nutzbare Energiemenge (SOC min)	10%	15 kWh	120 kWh-Netto	
Batteriegewicht mit BMS:	10 kg/kWh			



BeSystO® ➤ TCO-Berechnung Investitionskosten

▪ Nachladung Endpunkt

▪ Nachladung partielle Oberleitung

Gesamtkosten bei Linienumstellung		ohne Förderung
1. Fahrzeug	10 Stück	7.020.000 €
2. Ladeinfrastruktur		626.124 €
3. Sonstige Kosten*		303.072 €
Gesamtkosten:		7.949.196 €

Gesamtkosten bei Linienumstellung		ohne Förderung
1. Fahrzeug	10 Stück	8.290.000 €
2. Ladeinfrastruktur		4.081.142 €
3. Sonstige Kosten*		303.072 €
Gesamtkosten:		12.674.214 €

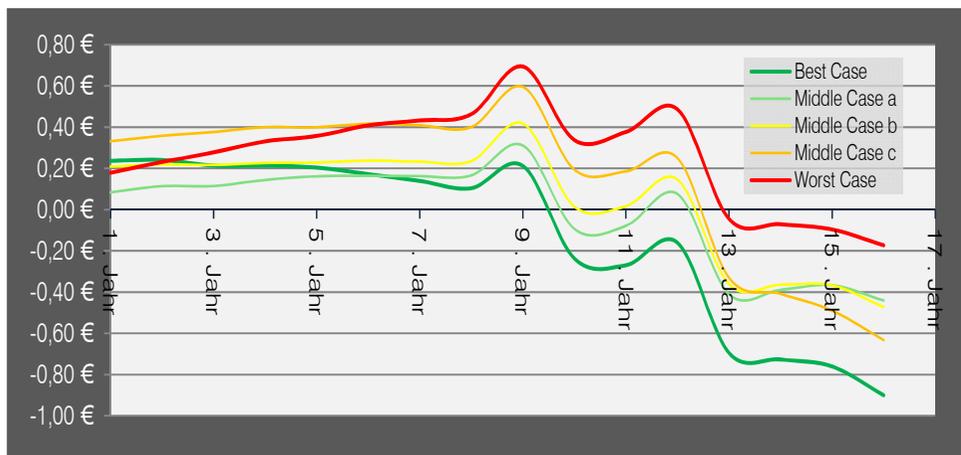
Kostenübersicht Elektrobus: 18 m Gelenkbus		1 Stück
Grundfahrzeug		233.000 €
*Fahrzeugaufbau mit 3 Türen, Grundheizung Fahrerarbeitsplatz/Fahrgastraum elektrisch, *Minderung Motor, Anbauteile, Getriebe, Antriebsachse, Nachlaufachse, *Minderung Klimaanlage Fahrer/Fahrgast und Zusatzheizung, *Zusätzliche kundenspezifische Ausstattung (RBL, Fahrgastinformationssystem, Verkaufssysteme), *zusätzliche Fahrzeugtür		
Traktionsausrüstung		211.000 €
*Traktionskomponenten: Leistungselektronik, Traktionsrichter, Stromrichter, Bremswiderstand, Bordnetzumformer, Drehstromrichter, *Radnabenmotor (Paar) mit Achsgestell (Längs- und Querträger, Achsfederträger, Felgen/Reifen), *Sonstige Traktionsausrüstung, Monitoringsystem		
Nebenaggregate		70.000 €
*Hilfskomponenten für Antrieb: Kompressor, Kompressormotor, Hydraulikpumpe, Umwälzpumpe, Kühlung, *Klimatisierung Fahrer elektrisch, *Klimatisierung Fahrgastraum elektrisch, *Zusatzheizung Fahrgastraum/Fahrerarbeitsplatz diesel-elektrisch (hybrid)		
Fahrzeugsseitige Ladeinfrastruktur		198.000 €
*Stromabnehmer Fahrleitung (Stangenstromabnehmer O-Bus), *doppelte Isolierung, *Wandler zur Spannungsregulierung		
Energiespeicher		225.000 €
*Lithium-Ion-Batterie, Gelegenheitslader (Batteriegroße) Hochleistungs-batterie		
GESAMTKOSTEN		837.000 €

Kostenübersicht Ladeinfrastruktur		
Ladung über Oberleitung konduktiv-dynamisch		3.798.144 €
*Anschluss Fahrleitung an bestehendes Unterwerk, *Fahrleitungsanlage Neubau 2 Richtungen, ohne Weichen, enge Kurven und Kreuzungen (optimiert auf Nachladung während der Fahrt), *Einfaahrfahrleitung 1-spuriger Ausleger mit verminderter Fahrgeschwindigkeit, *Baustelleneinrichtung		
DC/DC-Ladung (Stromabnehmer Docking-Station) konduktiv-stationär	1 Stück	0 €
DC-Ladung (Plug-In-System mit Stromabnehmer) konduktiv-stationär	0 Stück	0 €
AC/DC-Ladung (Plug-In-System mit Kabel) konduktiv-stationär	10 Stück	255.250 €
*Anschlusskosten an vorhandenes Betriebsnetz (400 V/AC) im Betriebsbereich bis 50 A, *mobiles Nachladegerät bis 32 A (19,5 kW), *Baustelleneinrichtung		
Induktive Ladung	0 Stück	0 €
Leistungswegkosten		13.874 €
*Fremdleistungswegkosten für Baufreihaltung, Leitungskreuzung sichern, Hindernisse im Boden, Einzelarbeiten abwehren / aufnehmen / entfernen, *Kosten verkehrshindernder Maßnahmen, Verkehrsicherung VZ-Plan, Kontrolle der Arbeitssitellensicherheit, Schutz-/Sicherungsmaßnahmen, Bauzeiten, Anfertigen des Halbarbeitsprotokolls, präventive und begleitende Vorfahrtsicherung, *Nachweise über Boden- und Tragfähigkeitsproben, Boden- und Tragfähigkeitsproben, *Baugenehmigungen, *Dokumentation der Verlegungen in digitalen grafischen Informationssystemen (GIS)		
GESAMTKOSTEN		4.067.268 €

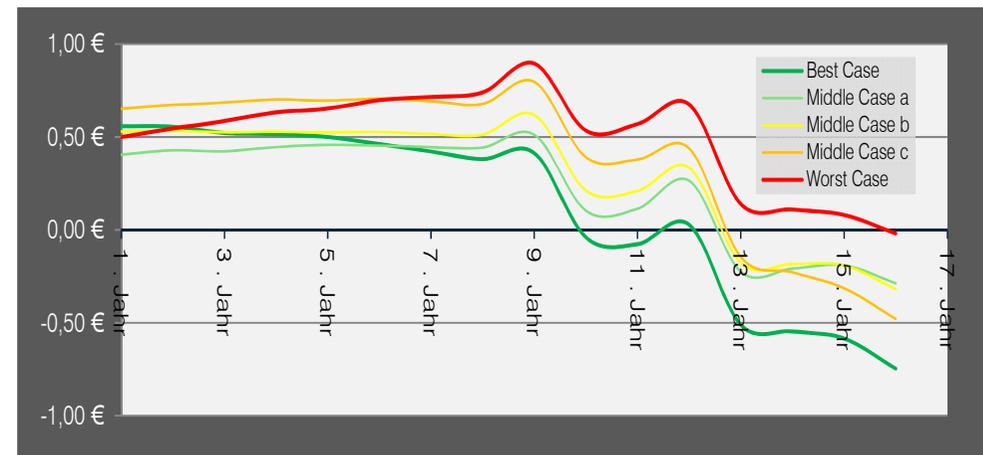
Kostenübersicht Werkstattausstattung		
Dacharbeitsstand		21.600 €
*Mobile Arbeitsbühne (Portalbauweise), *Projektierungs- und Bauebenenkosten		
Kran		25.000 €
*Portal-Deckenkran, *Projektierungs- und Bauebenenkosten		
Flurfördergeräte		43.200 €
*Elektro-Gabelstapler 5 t, **vorbaugerüst Kranhaken 1. Stapler, *Anschlagmittel		
HV-Spezialwerkzeug		3.800 €
*Satz HV-Spezialwerkzeuge, *Isolationsmatte, *Satz Abspermaterial (Pylonen, Flatterband/Gurt, Warnschilder)		
Prüf- und Messgeräte		87.100 €
*Spannungsprüfer - 1.000 V, *Isolationmessgerät, *Fahrzeug-Diagnosesystem (herstellerspezifisch), *Ladehaube zu-/abschaltbar für Hybridrolley		
Persönliche Schutzausrüstung		2.680 €
*Schutzhandschuhe (Paar) gem. DIN EN 60903 VDE 0682-311, Kl. 0 (-1.000 V), *Schutzhelm (für Einsatz Kran/Flurfördergeräte)		
GESAMTKOSTEN		183.380 €

BeSystO® ➤ TCO-Vergleich Elektrobus / Dieselbus (€/km)

▪ Nachladung Endpunkt



▪ Nachladung partielle Oberleitung



Eingangsparameter

Fahrzeugeinsatz: 10 Elektrobusse (EB)
 Betrachtungszeitraum: 16 Jahre
 gesamte Einsatzleistung: 23.257.440 km

Referenzfahrzeuge: 10 Dieselbusse (DB)
 1.453.590 km/Jahr

BeSystO® ➤ Folgekostenberechnung Summe diskontierter Cash-Flow

▪ Nachladung Endpunkt

8.9.1 Best-Case

System mit 10 Dieselbussen	-1.005.197.728 €
System mit 10 Elektrobussen	-883.811.692 €
Differenz	-121.386.036 €
Differenz zu System Dieselbusse	-3,34 €/km

8.9.5 Worst-Case

System mit 10 Dieselbussen	-927.848.794 €
System mit 10 Elektrobussen	-956.940.977 €
Differenz	29.092.184 €
Differenz zu System Dieselbusse	0,80 €/km

▪ Nachladung partielle Oberleitung

8.9.1 Best-Case

System mit 10 Dieselbussen	-1.005.197.728 €
System mit 10 Elektrobussen	-900.115.274 €
Differenz	-105.082.455 €
Differenz zu System Dieselbusse	-2,89 €/km

8.9.5 Worst-Case

System mit 10 Dieselbussen	-927.848.794 €
System mit 10 Elektrobussen	-966.901.081 €
Differenz	39.052.287 €
Differenz zu System Dieselbusse	1,07 €/km

Eingangsparameter

Fahrzeugeinsatz:	10 Elektrobuse (EB)	Referenzfahrzeuge	10 Dieselbusse (DB)
Betrachtungszeitraum:	25 Jahre		
gesamte Einsatzleistung:	36.339.750 km		1.453.590 km/Jahr
Betrachtung:	Fahrzeug, Ladeinfrastruktur, Werkstattausrüstung, Betriebsdurchführung		

BeSystO® ➤ Ökologische Bewertung

Basis: Strom Deutschland (DIN EN 16258 - 2013)

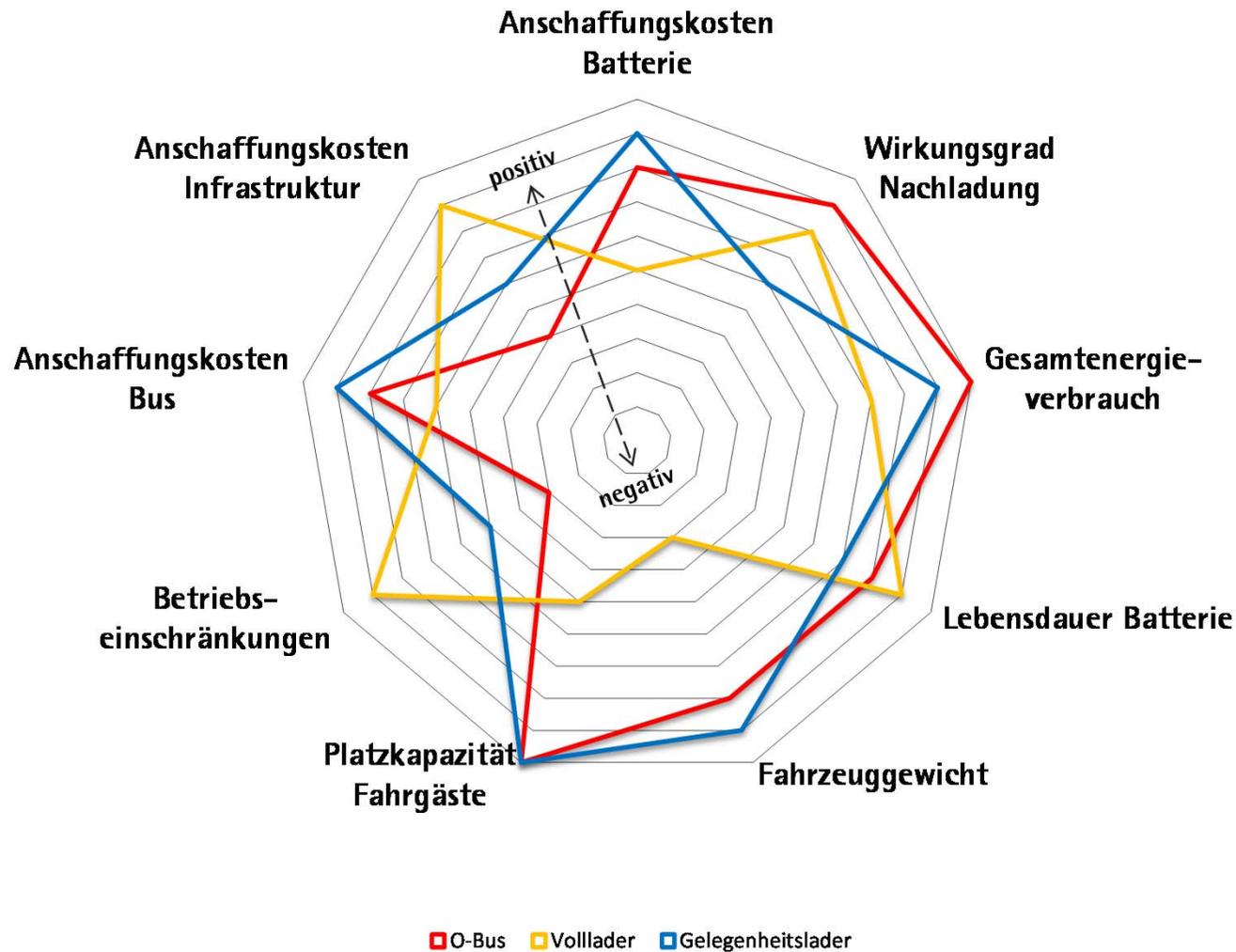
Well-to-Wheel	
Energieverbrauch	30.089.524 MJ
davon Heizung	1.613.485 MJ
<i>Ersparnis</i>	<i>-5.196.156 MJ -15%</i>
CO ₂ -Äquivalent (Menge)	1.732.684 kg
<i>Ersparnis</i>	<i>-772.062 kg -31%</i>
CO ₂ -Äquivalent (Kosten)	400.250 €
<i>Ersparnis</i>	<i>-178.346 € -31%</i>



Eingangsparameter

Laufleistung:	1.453.590 km/Jahr	Fahrzeugeinsatz:	10 Elektrobusse
Heizmonate:	5 Heizmonate/Jahr		

BeSystO® ➤ Bewertung verschiedener Antriebssysteme



BeSystO®



Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV

© VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

Kontakt:

Jürgen Lange

VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

Könneritzstraße 31

01067 Dresden

+49 (0) 351 482 31 24

j.lange@vcdb.de

BeSystO®



Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV
© VCDB  VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH