

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Machbarkeitsstudie Dekarbonisierung alternative Antriebe MVVG – Ergebnispräsentation

Prof. Dr.-Ing. Thoralf Knotz

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Zeunerstraße 38

01069 Dresden

www.ivf.fraunhofer.de

Neubrandenburg, 07.12.2022

Zielrichtung

Umstellung von Diesel- auf alternative Antriebsformen

- Erarbeitung von Konzept
 - als konsistente und zeitlich gestaffelte Handlungsempfehlungen
 - als Grundlage für Technologie- und Gremienentscheide
 - als Grundlage für Fördermittelbeantragung für Busse und Infrastruktur
- basierend auf umfassender technischer Analyse aller Betriebsabläufe und örtlicher Gegebenheiten
- ausgerichtet an am Markt verfügbaren Technologien und realen Kosten.



Quelle: Van Hool



Hintergrund

Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz

■ Gilt für M3-Busse der Klasse I

■ Beschaffung sauberer Fahrzeuge

- bis Ende 2025: 45 % (davon ½ als emissionsfreie Fahrzeuge)
- 2026 – 2030: 65 % (davon ½ als emissionsfreie Fahrzeuge)
- Neubewertung der Anteile: ab 2027

■ Saubere Fahrzeuge

- elektrisch angetriebene Busse, H₂-Brennstoffzellenbusse (emissionsfrei)
- Verbrennungsmotoren mit Erdgas, synthetischen Kraftstoffen, Biokraftstoffen
- Heizungsvariante wird vom Gesetz nicht geregelt

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Stand der Technik



■ Stand der Technik und Ausblick

- Beispielfahrzeuge für Untersuchungen zu Brennstoffzellenbussen



CAETANO H2 City Gold
37,5 kg H₂



Van Hool A 330 FC
38,5 kg H₂

- generell sehr geringes Angebot an Fahrzeugen, keine Low-Entry-Fahrzeuge

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Stand der Technik



■ Stand der Technik und Ausblick

- Beispielfahrzeuge für Untersuchungen zu Batteriebussen



MAN Lion's City 12e
bis zu 480 kWh



IVECO Crossway LE Electric
bis zu 466 kWh
war ab Mitte 2022 angekündigt

- breites Angebot an NF-Fahrzeugen von allen etablierten Herstellern, erste LE-Fahrzeuge

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Ist-Stand

Betriebshof	Kleinbusse	Midi- und Solobusse ¹⁾	Gelenk- / 15 m-Busse
Altentreptow	5	10	3
Demmin	5	24	-
Friedland	5	22 ²⁾	2
Neubrandenburg ³⁾	1	16	1
Röbel ⁴⁾	-	10	2
Stavenhagen	1	21	-
Waren/Müritz ⁴⁾	4	28 ⁵⁾	3
Gesamt	21	131	11

1) inkl. 13- und 13,5 m-Busse

2) davon zwei Busse in Woldegk stationiert

3) Fahrzeugliste stimmt nicht mit der Anzahl von an Schultagen notwendiger Fahrzeuge überein (20)

4) Angaben zu den Betriebshöfen Röbel und Waren/Müritz lagen nur gemeinsam vor

5) davon je drei Busse in Malchow und in Penzlin stationiert

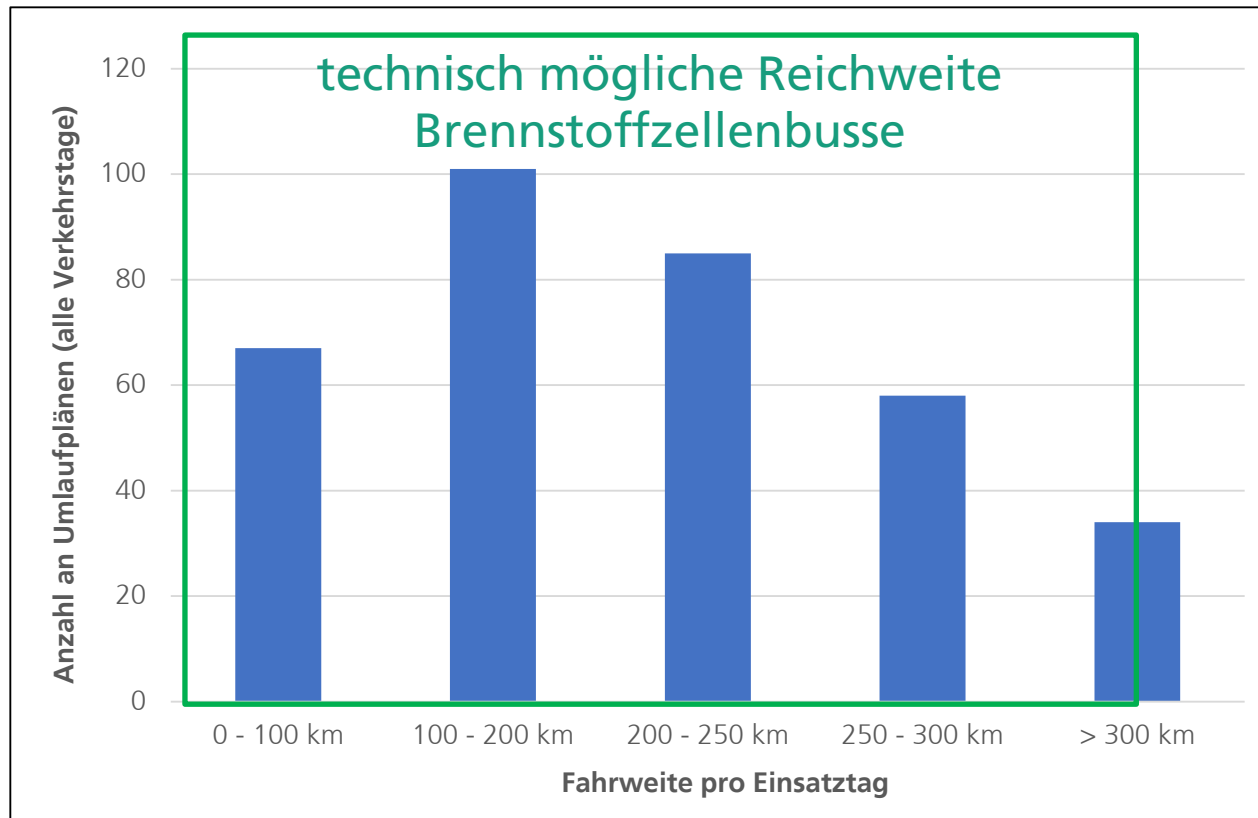
■ Nicht in Betrachtungen einbezogen:

- Malchow
- Penzlin
- Woldegk

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Überblick über Betriebsabläufe

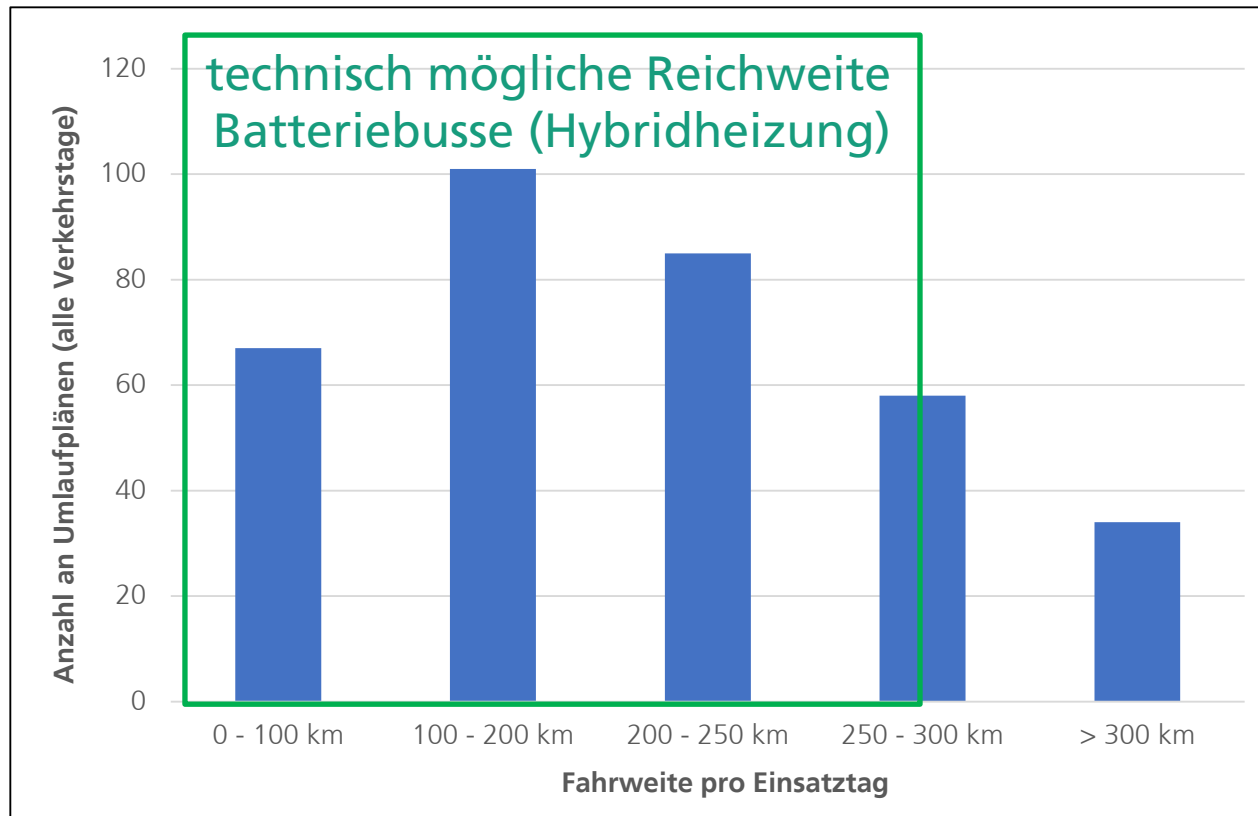
- Tagesfahrweiten vs. mögliche Reichweite – Schultage (345 Umlaufpläne)



Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Überblick über Betriebsabläufe

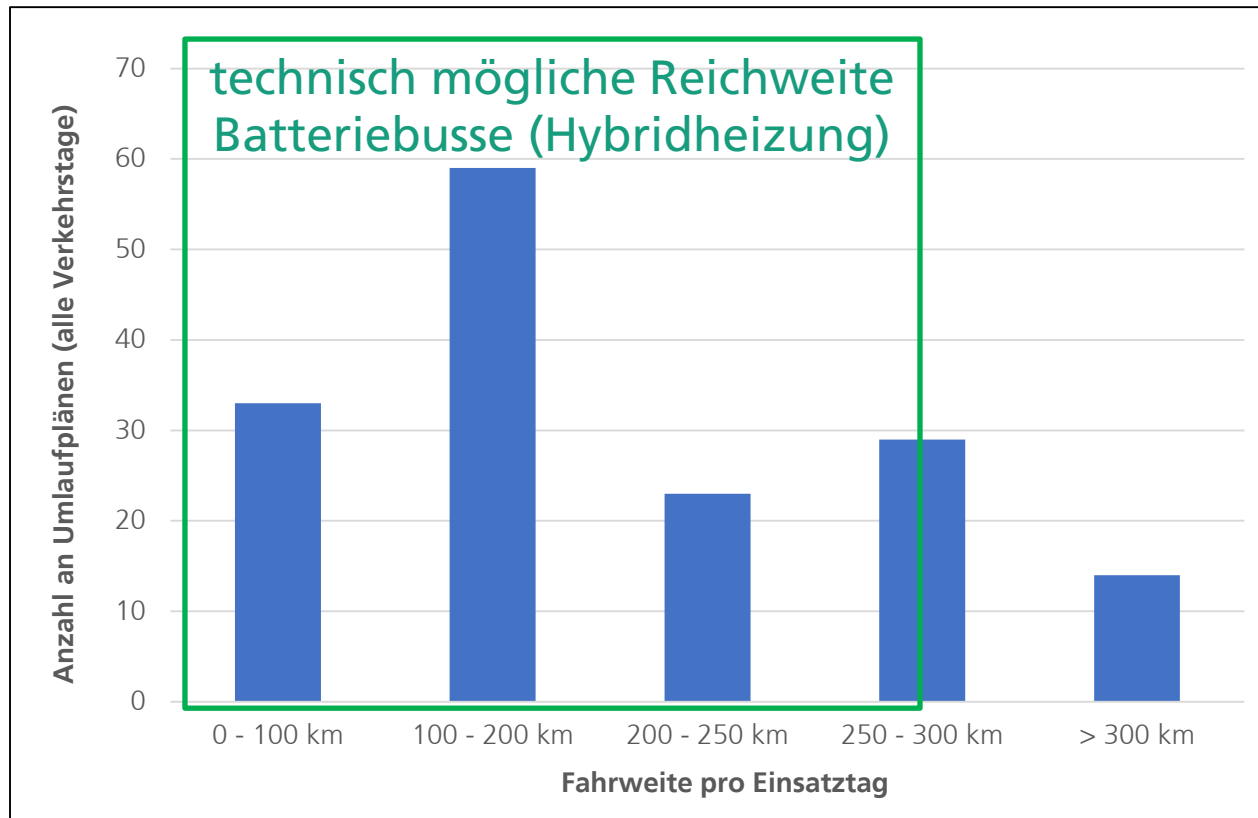
- Tagesfahrweiten vs. mögliche Reichweite – Schultage (345 Umlaufpläne)



Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Überblick über Betriebsabläufe

- Tagesfahrweiten vs. mögliche Reichweite – Ferientage (158 Umlaufpläne)



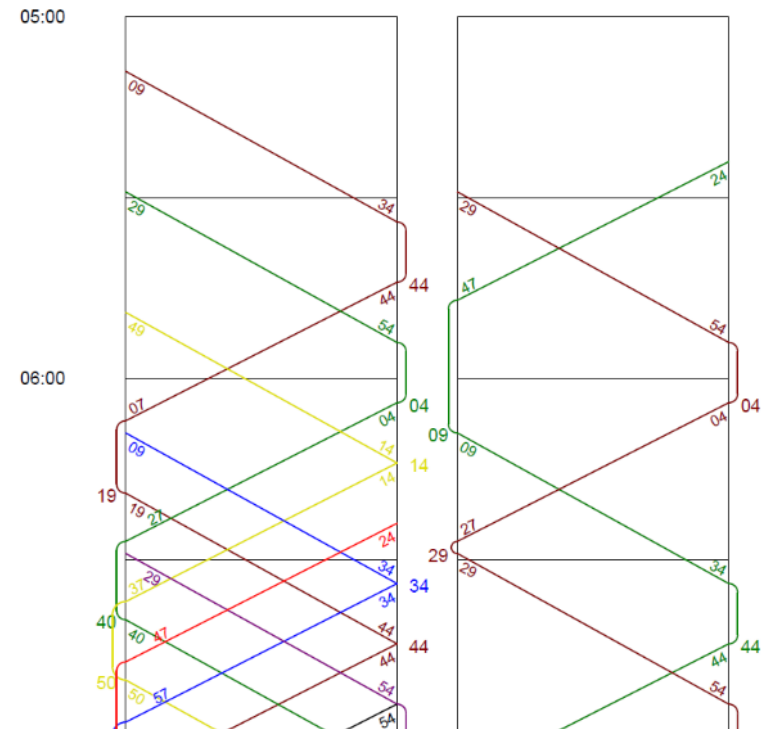
Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Energiebilanzierungen



■ Technische Bewertung von Batteriebussen

- Grundlage: Energiebilanzierung von Umlaufplänen mittels IVInet
 - Prüfung, ob stets ausreichend Energie im Fahrzeug vorhanden ist
- Abgleich mit Marktangebot mittels notwendiger Speichergröße
- Hybridheizung / rein elektrische Heizung
- Potential für Volllader
- Potential für Zwischen- / Gelegenheitslader
 - Fokus: Nachladung in Betriebshöfen
- Mehrbedarfe
 - Fahrzeuge
 - Leer-Kilometer
 - Fahrpersonalstunden



Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Energiebilanzierungen – keine Zwischenladung



■ Schultage – Batteriebusse mit Hybridheizung, Stand der Technik

Altentreptow

305
350
150
350a
203
350b
350c
350d
351
151
351a
351b
351c
3521
352
352a
352b
353
3531
353
353a
353b
353c
353d
353e
353f
354
154
354a
354b
355
355a
355b
355c
355d
3551
356
356a
356b
356c
357
357a
357b
357c
358
358a
359
359a
360
360a
360b
360c
360d
360e
361
5103
5103a

Demmin

201
402
202a
403
203b
204
204a
205
205a
206
207
207a
208
209
209a
210
211
211a
211b
212
212a
213
213a
214
215
215a
215b
215c
216
217
218
218a
218b
219
219a
220
220a
2041
2041a
2051
2081
2101
2101a
2111
2111a
2111
2161
2171
2172
2173
2174
2175
2181
2181a
2201

Friedland

401
402
402a
403
404
404a
405
406
407
407a
408
408a
409
409a
409b
410
411
411a
411b
412
412a
413
413a
415a
416
418
4181
4182
419

Neubrandenburg

501
501a
502
502a
502b
502c
502d
503
503a
503b
503c
503d
504
504a
504b
504c
504d
505
505a
505b
505c
506
506a
506b
506c
506d
507
507a
507b
507c
507d
508
509
509a
509b
510
510a
510b
511
511a
511b
511c
511d
512
512a
512b
512c
512d
513
513a
514
514a
515
515a
519
519a
5021
5022
5031
5032
5041
5102
5121
5112
5121a
420
4151
4152
414a

Röbel

19
19a
20
20a
21
21a
21b
21c
22
22a
23
23a
24
24a
25
25a
26
26a
27
27a
28
28a
28b
28c
29

Stavenhagen

101
101a
101b
102
102a
102b
102c
102d
103
103a
104
105
105a
105b
106
107
107a
107b
107c
108
108a
109
110
110a
110b
111
111a
111b
111c
112
112a
112b
112c
113
113a
113b
113c
113d
114
114a
114b
115
115a
116
117
117a
117b
118
118a
118b
1011
1111
1121
1122
1141
1141a
1171
1172
1181

Waren/M.

W1
W2
W2a
W3
W4
W4a
W5
W5a
W6
W6a
W6b
W7
W7a
W7b
W7c
W8
W8a
W9
9a
W9b
W10
W11
W11a
W11b
W12
W12a
W12b
W13
W13a
W13b
W13c
W18
W19
WS12
WS13
WS13a
WS14
WS14a
WS14b
WS15
WS16
WS16a
WS16b
WS17
WS17a
WS17b
WS18
WS18a
W60
W61
W62

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Energiebilanzierungen – mit Zwischenladung*



- Schultage – Batteriebusse mit Hybridheizung, Stand der Technik

Altentreptow	Demmin	Friedland	Neubrandenburg	Röbel	Stavenhagen	Waren/M.
305	201	401	501	19	101	W1
350	202	402	501a	19a	101a	W2
150	202a	402a	502	20	101b	W2a
350a	203	403	502a	20a	102	W3
350b	203b	404	502b	21	102a	W4
350c	204	404a	502c	21a	102b	W4a
350d	205	405	502d	21b	102c	W5
351	205a	406	503	21c	102d	W5a
151	206	407	503a	22	103	W6
351a	207	407a	503b	22a	103a	W6a
351b	207a	408	503c	23	104	W6b
351c	208	408a	503d	23a	105	W7
3521	209	409	504	24	105a	W7a
352	209a	409a	504a	24a	105b	W7b
352a	210	409b	504b	25	106	W7c
352b	211	410	504c	25a	107	W8
3531	211a	411	504d	26	107a	W8a
353	211b	411a	505	26a	107b	W9
353a	212	411b	505a	27	107c	9a
153	212a	412	505b	27a	108	W9b
353c	213	412a	505c	28	108a	W10
353d	213a	413	506	28a	109	W11
353e	214	413a	506a	28b	110	W11a
353f	215	415a	506b	28c	110a	W11b
354	215b	416	506c	29	110b	W12
154	215c	418	506d		111	W12a
354a	216	4181	507		111a	W12b
354b	217	4182	507a		111b	W13
355	218	419	507b		112	W13a
355a	218a		507c		112a	W13b
355b	218b		507d		112b	W13c
355c	218c		508		112c	W18
355d	219		509		113	W19
3551	219a		509a		113a	WS12
356	220		509b		113b	WS13
356a	220a				113c	WS13a
356b	2041				113d	WS14
356c	2041a				114	WS14a
357	2051				114a	WS14b
357a	2081				114b	WS15
357b	2101				115	WS16
357c	2101a				115a	WS16a
358	2111				116	WS16b
358a	2111a				117	WS17
359	2161				117a	WS17a
359a	2171				117b	WS17b
360	2172				118	WS18
360a	2174				118a	WS18a
360b	2175				118b	W60
360c	2181				1011	W61
360d	2181a				1111	W62
360e	2201				1121	
361					1122	
5103					1141	
5103a					1141a	
					1171	
					1172	
					1181	

*auf Heimatbetriebshof
mit $t_H > 30$ min

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Energiebilanzierungen – mit Zwischenladung*



- Schultage – Batteriebusse mit Elektroheizung, Stand der Technik

Altentreptow	Demmin	Friedland	Neubrandenburg	Röbel	Stavenhagen	Waren/M.
305	201	401	501	19	101	W1
350	202	402	501a	19a	101a	W2
150	202a	402a	502	20	101b	W2a
350a	203	403	502a	20a	102	W3
350b	203b	404	502b	21	102a	W4
350c	204	404a	502c	21a	102b	W4a
350d	204a	405	502d	21b	102c	W5
351	205	406	503	21c	102d	W5a
151	205a	407	503a	22	103	W6
351a	206	407a	503b	22a	103a	W6a
351b	207	408	503c	23	104	W6b
351c	207a	408a	503d	23a	105	W7
3521	208	409	504	24	105a	W7a
352	209	409a	504a	24a	105b	W7b
352a	209a	409b	504b	25	106	W7c
352b	211	410	504c	25a	107	W8
3531	211a	411	504d	26	107a	W8a
353	211b	411a	505	26a	107b	W9
353a	212	411b	505a	27	108	9a
153	212a	412	505b	27a	108a	W9b
353c	213	412a	505c	28	109	W10
353d	213a	413	506	28a	110	W11
353e	214	413a	506a	28b	110a	W11a
353f	215	415a	506b	29	110b	W11b
354	215b	416	506c	29a	111	W12
154	215c	418	506d	29b	111a	W12a
354a	216	4181	507	29c	111b	W12b
354b	217	4182	507a	29d	112	W13
355	218	419	507b		112a	W13a
355a	218a		507c		112b	W13b
355b	218b		507d		112c	W13c
355c	219		508		113	W14
355d	219a		509		113a	W15
3551	220		509a		113b	W16
356	220a		509b		113c	W17
356a	2041				114	W18
356b	2041a				114a	W19
356c	2051				114b	W20
357	2081				115	W21
357a	2101				115a	W22
357b	2101a				116	W23
357c	2111				117	W24
358	2111a				117a	W25
358a	2111				117b	W26
359	2161				118	W27
359a	2171				118a	W28
360	2172				118b	W29
360a	2174				1011	W30
360b	2175				1111	W31
360c	2181				1121	W32
360d	2181a				1122	W33
360e	2201				1141	W34
361					1141a	W35
5103					1171	W36
5103a					1172	W37
					1181	W38

*auf Heimatbetriebshof
mit $t_H > 30$ min

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Energiebilanzierungen – mit Gelegenheitsladung

■ Sinnvoll wenn

➤ zusätzliche Umlaufpläne bedient werden können

- ZOB Demmin: 2 zus. Umlaufpläne bedienbar (Schule)
- ZOB Friedland: 1 zus. Umlaufplan bedienbar (Schule)
- ZOB Neubrandenburg: 5 zus. Umlaufpläne bedienbar (Schule)
- ZOB Stavenhagen: 1 zus. Umlaufplan bedienbar (Schule),

oder

- #### ➤ durch geringere Entladung die Batterien geschont werden (längere Lebensdauer)
- MVVG: kein vertretbares Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen.

■ Fazit: Gelegenheitsladung keine Option für MVVG

Analyse von Fuhrparks und Betriebsabläufen

Zwischenfazit

■ Brennstoffzellenbusse grundsätzlich geeignet

- universell einsetzbare Fahrzeuge
- geringe Notwendigkeit zur Umstellung von Betriebsabläufen
- rein elektrische Heizung

■ Batteriebusse bei Zwischenladung grundsätzlich geeignet

- Wenn Zwischenladung möglich -> keine Betriebsumstellung bei Beachtung von Weiterentwicklung von Batterien notwendig
 - Busse werden geeigneten Umlaufplänen zugeordnet
- Fahrzeuge der ersten Generation(en) nicht auf allen Umlaufplänen einsetzbar
- Zusätzliche Einschränkungen beim Einsatz rein elektrischer Heizungen
 - Umstellung auf rein elektrische Heizung bei Fortschritt der Batterietechnik

Einführungskonzeption

Grundansätze

- Ersatz ohnehin zu ersetzender Dieselbusse
 - Kosteneffizienz
- Keine Drittelung des Fuhrparks in Diesel-, saubere und emissionsfreie Fahrzeuge, sondern nur
 - Dieselbusse
 - Brennstoffzellen- oder Batteriebusse
- Jeweils nur eine Fahrzeugklasse umstellen
 - Start mit Solobussen
- Dieselbusse als Ersatz wo sinnvoll (z. B. 15 m-Busse)
- Umstellung der Betriebshöfe soweit wie möglich zeitlich entzerren

Einführungskonzeption

Einführungsschritte

Betriebshof	Umstellungszeitraum	Anzahl Busse ¹⁾
Waren / Müritz	2024 – 2026	0 / 22 ²⁾ / 0
Röbel	2025 – 2027	0 / 10 / 0
Demmin	2026 – 2028	0 / 24 / 0
Altentreptow	2028 – 2030	0 / 10 / 0
Stavenhagen	2030 – 2032	1 / 21 / 0
Neubrandenburg / Friedland	ab 2034	6 / 36 ³⁾ / 0
Malchow / Penzlin / Woldegk	ca. 2040	0 / 8 / 0
Ergänzung Betriebshöfe 15 m-Busse	nach 2040	0 / 0 / 11
Ergänzung Betriebshöfe Kleinbusse	nach 2040	14 / 0 / 0
Gesamt		21 / 131 / 11

¹⁾ Kleinbusse / Midi- und Solobusse / 15 m-Busse (auch als Ersatz für Gelenkbusse)

²⁾ ohne in Penzlin und Malchow stationierte Busse – Ersatzbeschaffung zunächst als Dieselbusse

³⁾ ohne in Woldegk stationierte Busse – Ersatzbeschaffung zunächst als Dieselbusse

H₂-Bedarf, Tankinfrastruktur, H₂-Bereitstellung

H₂-Bedarf

Betriebshof	Max. Tages-H ₂ -Verbrauch [kg/d]	Jahres-H ₂ -Verbrauch [kg/a] ¹⁾	Jahres-Energieverbrauch [kWh] ^{1) 2)}
Altentreptow	300	52.900	159.100
Demmin	450	81.500	244.500
Friedland	280	52.700	158.100
Neubrandenburg	320	57.000	171.000
Röbel	220	48.500	145.500
Stavenhagen	440	81.700	245.100
Waren/Müritz	400	83.500	250.500
Gesamt	-	457.800	1.373.800

¹⁾ Basierend auf: Kleinbusse: ca. 15.900 km/a / Midi- und Solobusse: ca. 5,382 Mio. km/a / 15 m-Busse: ca. 631.000 km/a

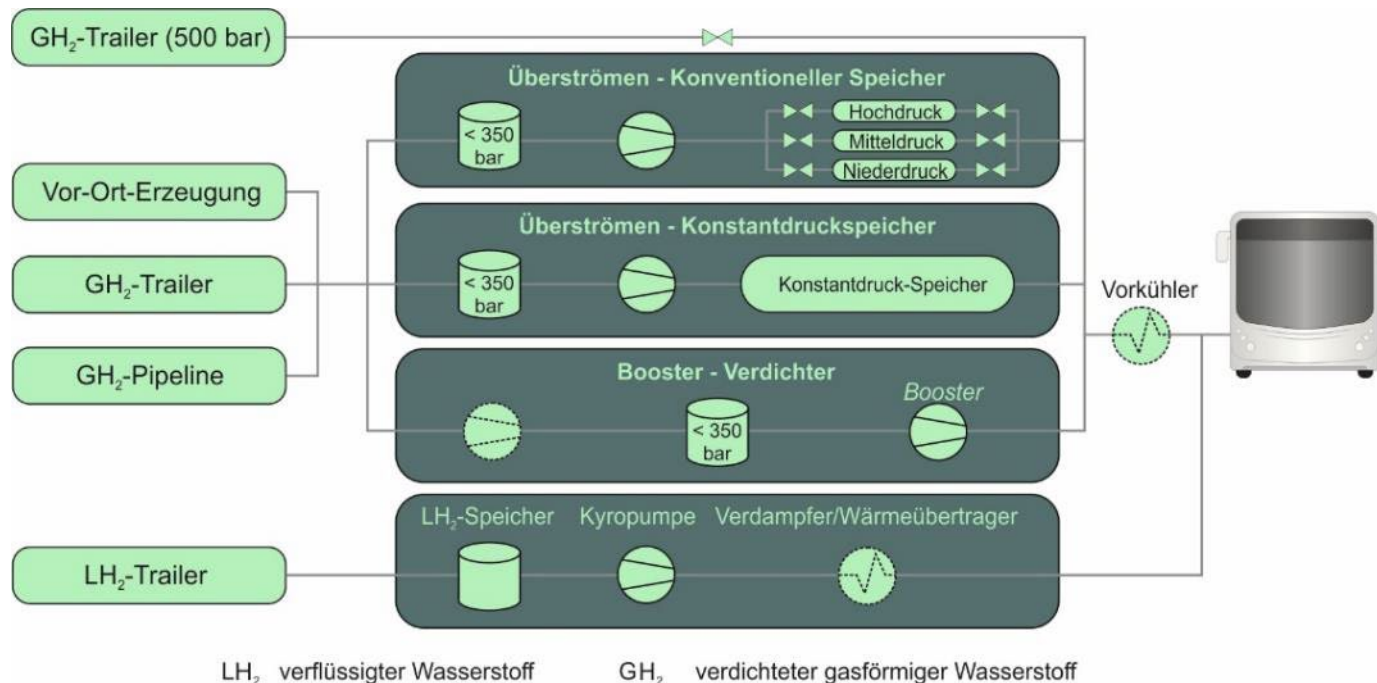
²⁾ Energieverbrauch für die Betankung der Fahrzeuge

H₂-Bedarf, Tankinfrastruktur, H₂-Bereitstellung

Tankinfrastruktur und H₂-Bereitstellung

■ Unterschiedliche Möglichkeiten der H₂-Bereitstellung

- für MVVG: Anlieferung von gasförmigem Wasserstoff

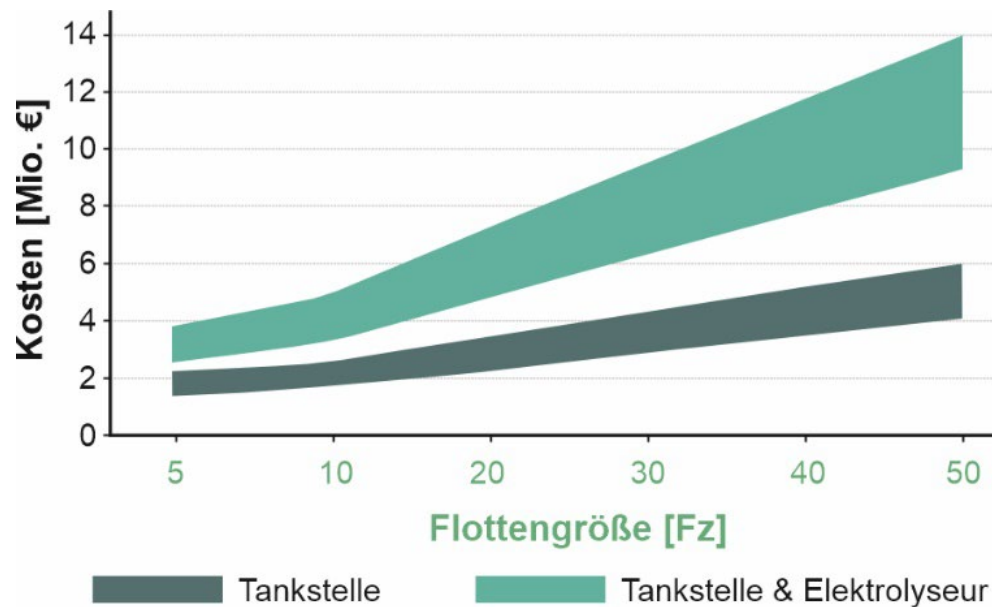


H₂-Bedarf, Tankinfrastruktur, H₂-Bereitstellung

Tankinfrastruktur und H₂-Bereitstellung

■ Kosten für H₂-Tankinfrastruktur

- hohe Sprungkosten
- aus Kostengründen keine Eigenerzeugung



H₂-Bedarf, Tankinfrastruktur, H₂-Bereitstellung

Tankinfrastruktur und H₂-Bereitstellung

	Alten- treptow	Demmin	Friedland	Neubran- denburg	Röbel	Staven- hagen	Waren/ Müritz
Teilflotte [Fzg.]	18	29	27	20	12	22	29
Kosten Infr.¹⁾ [Mio. €]	2,8	3,5	3,4	3,0	2,1	3,1	3,5
Kosten Trailer [T€]	300	300	300	300	300	300	300
Flächenbedarf [m²]	500	550	550	500	450	500	550
Integrierbarkeit	nein	ja	nein	ja ²⁾	nein	nein	bedingt
Grundstück [T€]	15,0	-	16,5	15,0	13,5	15,0	-

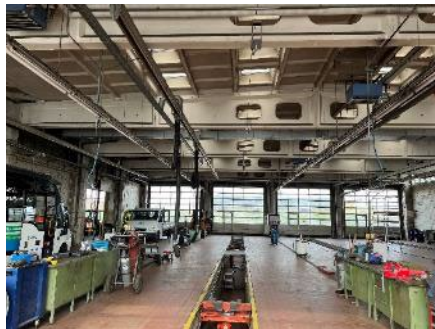
¹⁾ ohne Miet- bzw. Investitionskosten für zusätzliche Flächen

²⁾ nur unter Einbeziehung der gegenwärtig verpachteten Fläche (Garagenhof)

Wasserstoff-Sicherheit

Umbaumaßnahmen

	Demmin	Friedland	Neubrandenburg	Stavenhagen	Waren/Müritz
Neubau Oberlichter inkl. ATEX-Stelltechnik	55.000 €	20.000 €	-	-	58.000 €
Nachrüstung ATEX-Stelltechnik	-	5.000 €	-	-	7.500 €
H₂-Sensoren inkl. Anlage	72.000 €	40.000 €	-	-	44.000 €
Nachrüstung Luftschlitze o. ä.	-	-	10.000 €	20.000 €	-
Gesamt	127.000 €	85.000 €	10.000 €	20.000 €	109.500 €



Energiebedarf, Ladeinfrastruktur, Energiebereitstellung

Energiebedarf

■ Zwei Varianten

- Variante 1 – Hybridheizung
- Variante 2 – Rein elektrische Heizung

Betriebshof	Max. Tagesenergieverbrauch Variante 1 [kWh/d]	Jahresenergieverbrauch Variante 1 [kWh/a] ¹⁾	Jahresverbrauch an Heizöl Variante 1 [l/a] ¹⁾	Jahresenergieverbrauch Variante 2 [kWh/a] ¹⁾
Altentreptow	4.500	714.500	28.850	851.900
Demmin	6.800	1.087.000	43.480	1.304.400
Friedland	4.200	707.700	28.450	846.400
Neubrandenb.	4.900	769.300	31.030	917.800
Röbel	3.400	653.100	26.260	780.100
Stavenhagen	6.700	1.089.300	43.570	1.307.200
Waren/Müritz	6.100	1.128.000	45.510	1.345.200
Gesamt	-	6.148.900	247.150	7.353.000

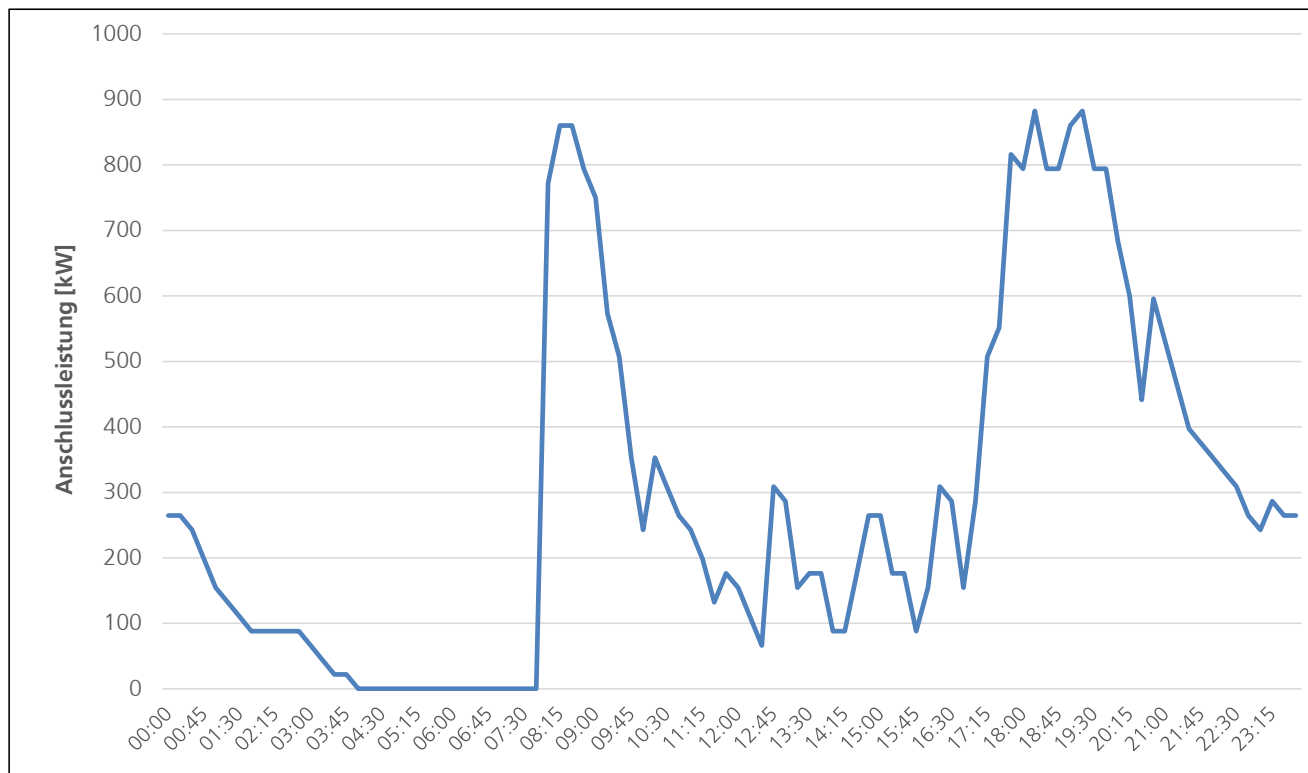
¹⁾ Basierend auf: Kleinbusse: ca. 15.900 km/a / Midi- und Solobusse: ca. 5,382 Mio. km/a / 15 m-Busse: ca. 631.000 km/a

Energiebedarf, Ladeinfrastruktur, Energiebereitstellung

Anschlussleistung in Betriebshöfen

■ Beispiel: Waren/Müritz, rein elektrische Heizung

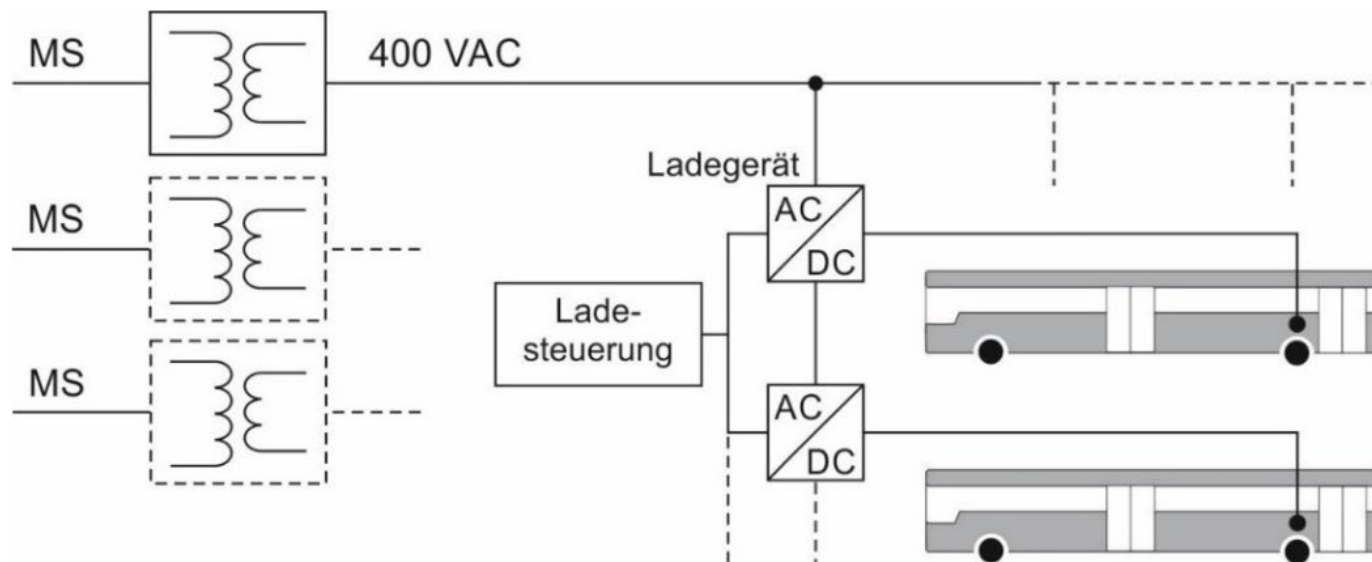
- Ladestrategie: Bus wird direkt nach Abstellung mit $P_{\max}$ geladen



Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Grundsätzlicher Aufbau der Ladeinfrastruktur

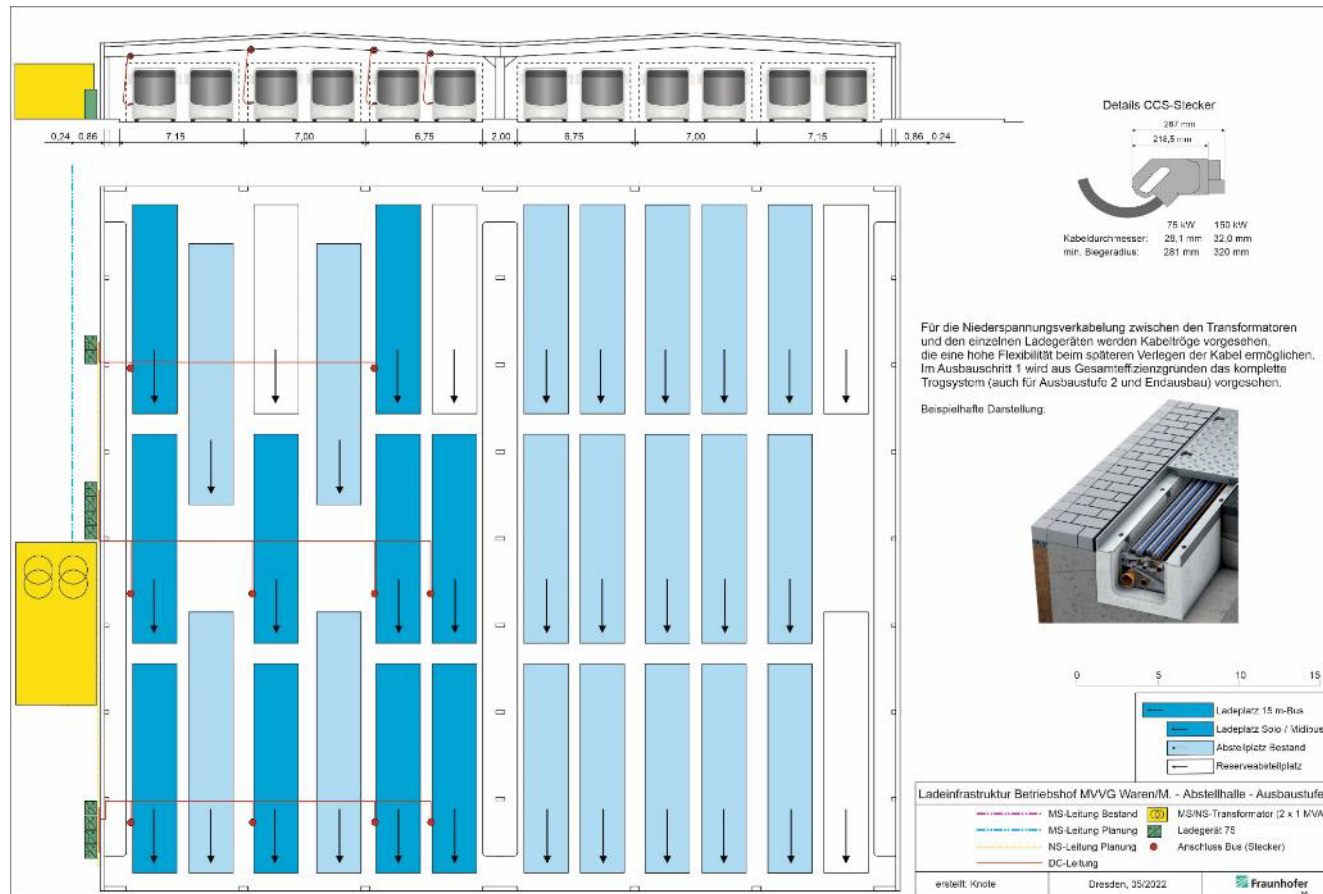
- Grundsätzlich: Anschluss an Mittelspannungsnetz
- Verfügbarkeit von Netzreserven für alle Betriebshöfe gegeben



Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Betriebshöfe

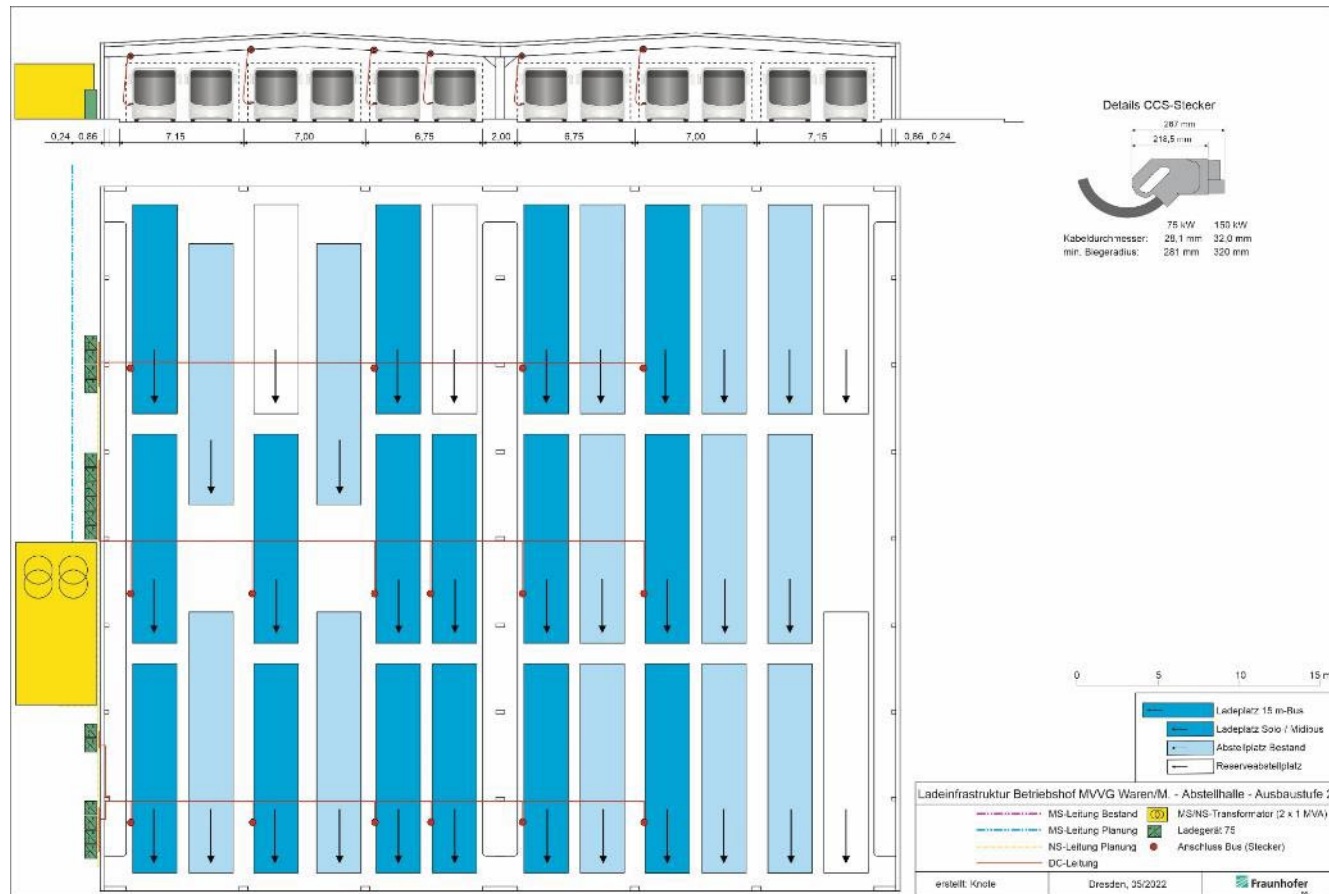
■ Beispiel: Waren/Müritz



Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Betriebshöfe

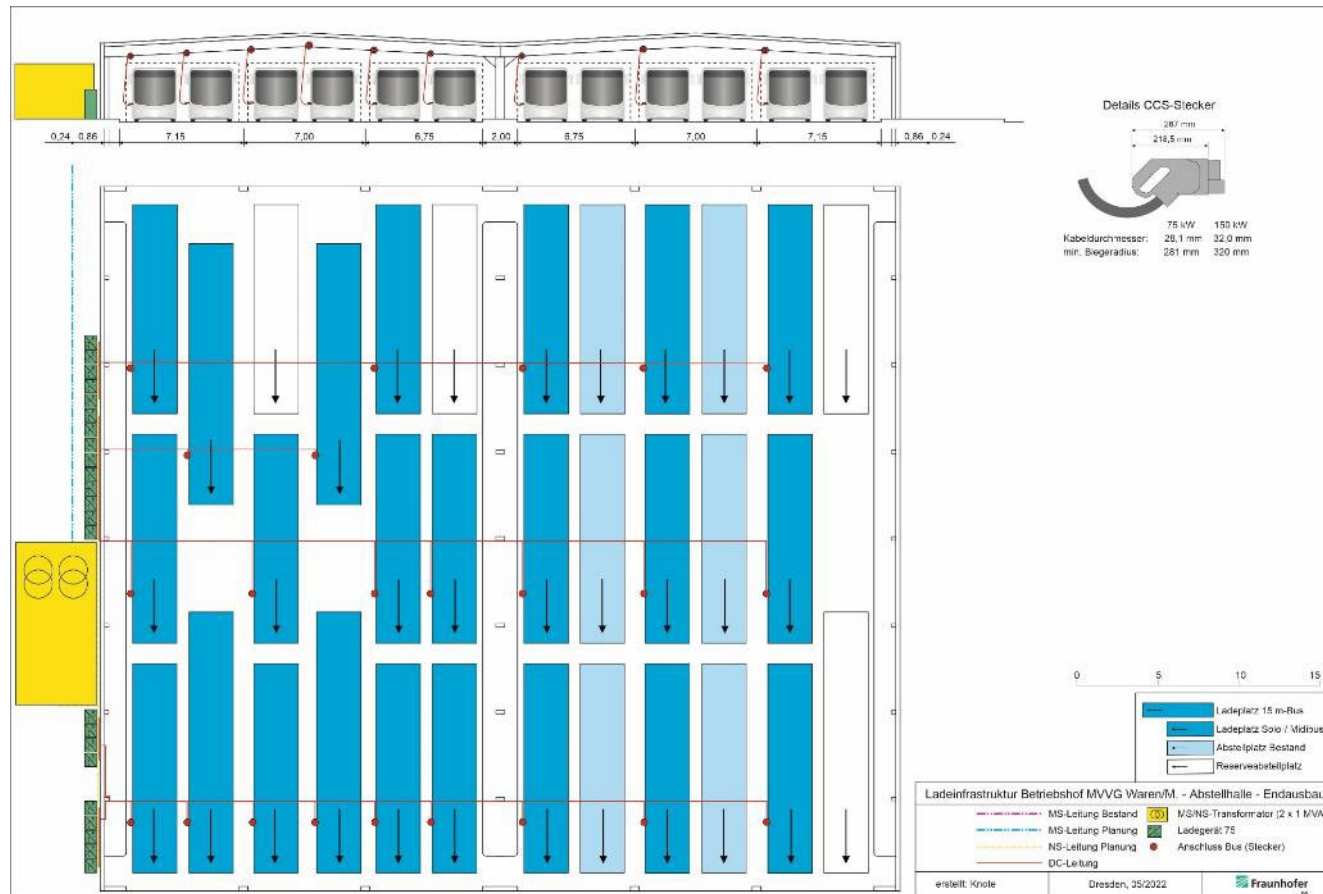
■ Beispiel: Waren/Müritz



Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Betriebshöfe

■ Beispiel: Waren/Müritz



Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Betriebshöfe

- Extrem unterschiedliche Voraussetzungen und Möglichkeiten
 - wenig Probleme: Demmin, Neubrandenburg, Röbel, Waren/Müritz
 - Platzprobleme: Altentreptow, Stavenhagen (Quarantäneplätze)
 - weitgehend ungeeignet: Friedland
- Ungelöste Frage: Umgang mit Friedland und Neubrandenburg
 - Werkstatt
 - ggf. Betriebshofneubau

Ladeinfrastruktur und Energiebereitstellung

Investitionskosten – Angaben in 1000 €

	Alten- treptow	Demmin	Friedland	Neubran- denburg	Röbel	Staven- hagen	Waren/ Müritz
Netzanschlussleistung	1,2 MVA	1,7 MVA	1,0 MVA	1,3 MVA	0,85 MVA	1,5 MVA	1,1 MVA
Baukostenzuschuss	60	85	50	54	43	75	100
Transformatorgebäude	63	119	63	63	63	63	63
Transformatoren kompl.	107	157	110	128	97	125	126
MSR-Technik inkl. USV	12	23	12	12	12	12	12
MS/NS/DC-Verkabelung	104	217	135	135	85	90	135
Ladegeräte komplett¹⁾	960	1.560	1.140	1.320	720	1.200	1.380
PLC-Satelliten inkl. Kabel	-	39	26	18	-	30	35
sonst. baul. Maßnahmen	12	2	3 ³⁾	29	9	2	8
sonstige Kosten²⁾	108	194	121	127	97	110	127
Gesamt	1.426	2.396	1.660	1.886	1.126	1.707	1.984

¹⁾ 75 kW-Ladegerät: 60.000 €, inkl. Fundament, Errichtung, kurzem Kabel und Stecker

²⁾ HOAI-Planungskosten, Verwaltungskosten, interne Baunebenleistungen, Baustelleneinrichtung

³⁾ ohne Rückbaukosten für die Abstellhalle

Werkstattausrüstung

Hochvoltausrüstung / Dacharbeitsplatz

■ Zwei Werkstätten für Arbeiten an Hochvoltkomponenten

- Waren/Müritz
- Demmin

	Ausbaustufe 1	Ausbaustufe 2
Spezialwerkzeug (5 Sets)	2.800 €	2.800 €
Schutzausrüstung (max. 10 Sets)	800 €	800 €
Prüf- und Messtechnik	3.200 €	3.200 €
Laptops für Fahrzeugdiagnosesystem¹⁾	5.000 €	5.000 €
Dacharbeitsplatz samt Portalkran (1 t Traglast, 4 m Höhe) inkl. Anschlagmittel	180.000 €	180.000 €
mobiles Werkstattladegerät	24.000 €	24.000 €
Gesamt	215.800 €	215.800 €

¹⁾ Fahrzeugdiagnosesystem i. d. R. im Fahrzeugpreis enthalten

Schulungskosten

3 Stufen-Modell

■ Stufe A

- Fahrpersonal

■ Stufe B

- Servicepersonal (Reinigung, Abschleppen)

■ Stufe C

- Stufe C1: nichtelektrotechnische Arbeiten
- Stufe C2: elektrotechnische Arbeiten im spannungsfreien Zustand
- Stufe C3: elektrotechnische Arbeiten unter Spannung
- Stufe C4: Übernahme von Unternehmerverantwortung

■ Gesamtkosten:

- Brennstoffzellenbusse: ca. 101.500 €
- Batteriebusse: ca. 96.600 €

Wirtschaftliche Betrachtung – 131 Solobusse

Investitions- und Schulungskosten

	Einmalkosten
Kosten für 131 Solo-BSZ-Busse	81,2 Mio. €
Kosten H₂-Infrastruktur	23,9 Mio. €
Kosten Werkstattausrüstung	433.350 €
Schulungskosten	101.500 €

	Einmalkosten
Kosten für 131 Solo-Batteriebusse	77,29 Mio. €
Kosten Ladeinfrastruktur	12,23 Mio. €
Kosten Werkstattausrüstung	431.600 €
Schulungskosten	96.600 €

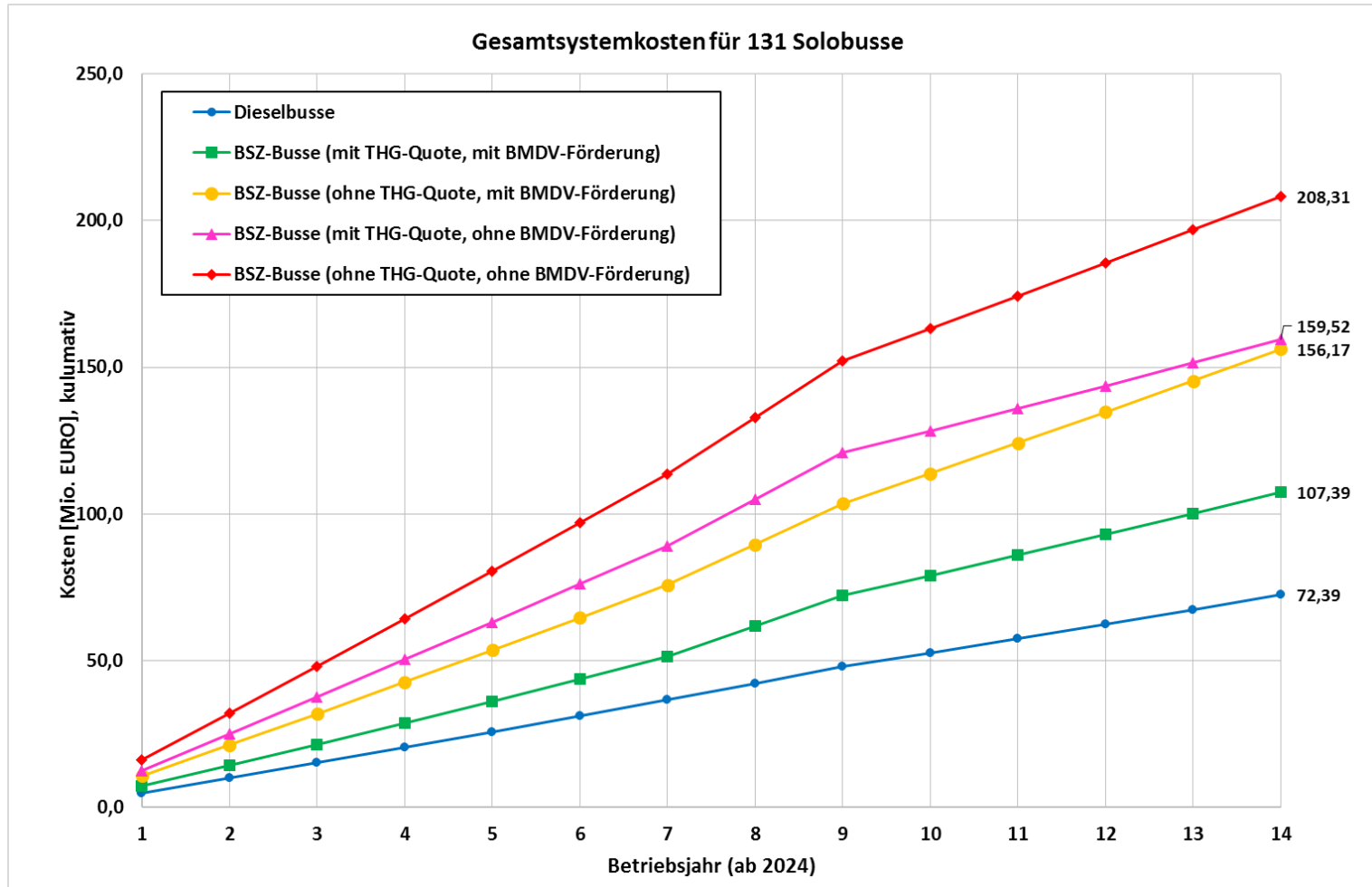
Wirtschaftliche Betrachtung – 131 Solobusse

Fördermöglichkeiten

- Förderung durch Landkreis (in jedem Szenario berücksichtigt)
 - 100.000 €/Fzg. für Dieselbusse oder „Grundfahrzeug“
 - (200.000 €/Fzg. für Busse mit emissionsfreien Antrieb)
- Förderung durch BMDV
 - 80 % der Mehrkosten verglichen mit Dieselbus (= Grundfahrzeug)
 - 40 % auf Infrastruktur (ins. Ladeinfrastruktur)
 - mehrere Deckelungen und Einschränkungen
- THG-Quotenerlöse
 - zulässig für Batteriebusse
 - zulässig für H₂-Produktion => Weitergabe an Verkehrsbetrieb
 - extrem volatiler Preis

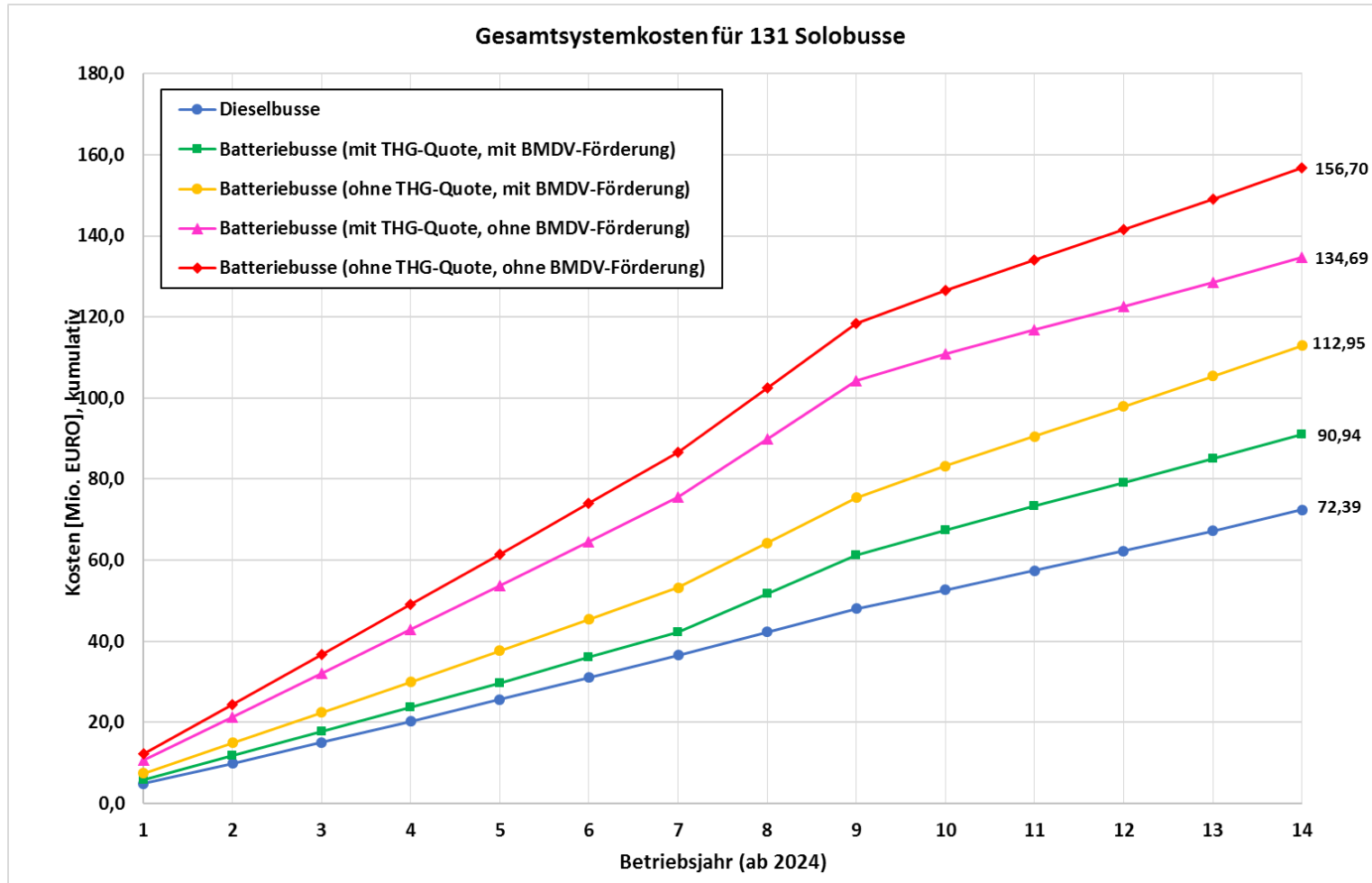
Wirtschaftliche Betrachtung – 131 Solobusse

Vergleich Brennstoffzellen- vs. Dieselbusbetrieb



Wirtschaftliche Betrachtung – 131 Solobusse

Vergleich Batterie- vs. Dieselbusbetrieb



Umwelt- und Klimawirkung – 131 Solobusse

Einsparung von CO₂ + Luftschadstoffen

- Für den Ersatz von 131 Diesel- durch Solobatteriebusse
- Datenbasis: HBEFA 4.1
- Einsparungspotenzial (warme Emissionen)
 - CO₂: 3.831 t/a / 4.475 t/a¹⁾
 - NO₂: 1.141 kg/a
 - NO_x: 4.832 kg/a
 - PM: 170 kg/a

¹⁾ unter Annahme rein elektrischer Heizung und erneuerbarer elektrischer Energie

Fazit und Empfehlungen

Handlungsempfehlungen für vollständige Umstellung

- Umstellung auf Batteriebusse technologisch möglich
 - viele geteilte Umlaufpläne
 - keine Drittelung des Fuhrparks (nur Diesel- und Batteriebusse)
- Schrittweise vollständige Umstellung bis etwa 2040
 - zunächst nur Solobusse
 - möglichst immer nur ein Betriebshof (Start in Waren/Müritz)
 - Ersatzbeschaffungen für Klein- und 15 m-Busse zunächst als Diesel
 - nochmals Dieselsolobusse für Malchow, Penzlin und Woldegk
- Mehrkosten unvermeidbar
 - Abmilderung durch Förderung
 - THG-Quotenerlöse sehr volatil



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr.-Ing. Thoralf Knotz

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme

Zeunerstraße 38
01069 Dresden

www.ivi.fraunhofer.de