



Abschluss des FuE-Vorhabens Batterie-Triebzug BEMU NOW 2. Plattformtreffen Schiene „Zero-Emission-Antriebe für den Schienenverkehr“

Pavel Boev¹, Benjamin Ebrecht², Stefan von Mach³, Ulrich Zimmermann²

TU Berlin, ¹FG Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik / ²FG Bahnbetrieb und Infrastruktur / ³Alstom Transport Deutschland

Agenda



Projektvorstellung



Projektpartner:



DB Regio



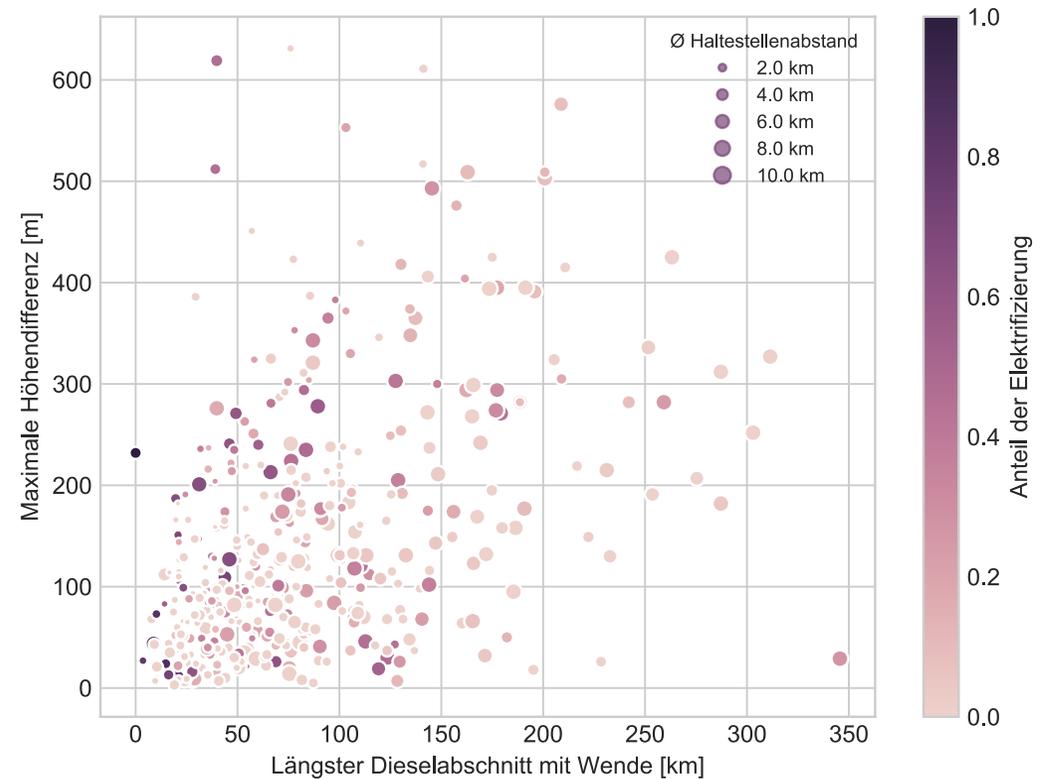
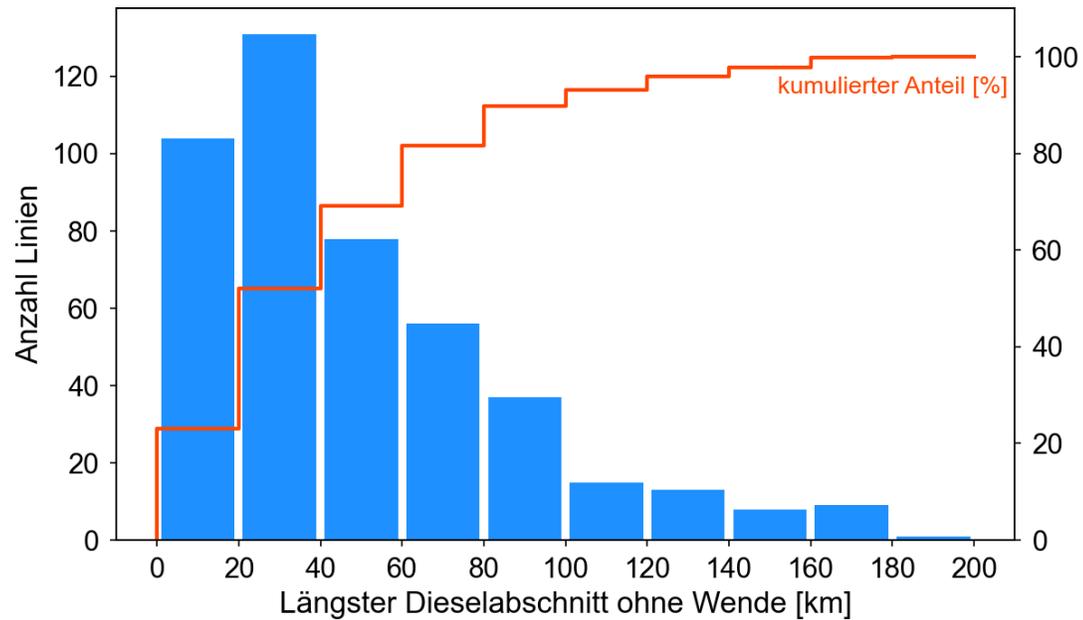
Das Fahrzeug

- Dreiteiliger Regionaltriebzug
- Modulare und redundante Traktionsbatteriesysteme (TBS) mit 300 kWh Batteriekapazität
- Der BEMU Demonstrator hat eine betriebliche Reichweite von bis zu 40 km im Akkubetrieb, in Tests wurden mit Nutzung der „Batteriereserve“ deutlich größere Längen zurückgelegt.
- Das Batteriesystem ist in der Lage, erweitert zu werden und zukünftige Generationen von Batterietechnologie zu handhaben.
- Für Serienfahrzeuge können heute je nach Anwendung Reichweitenanforderungen von bis zu 80-120 km gewährleistet werden



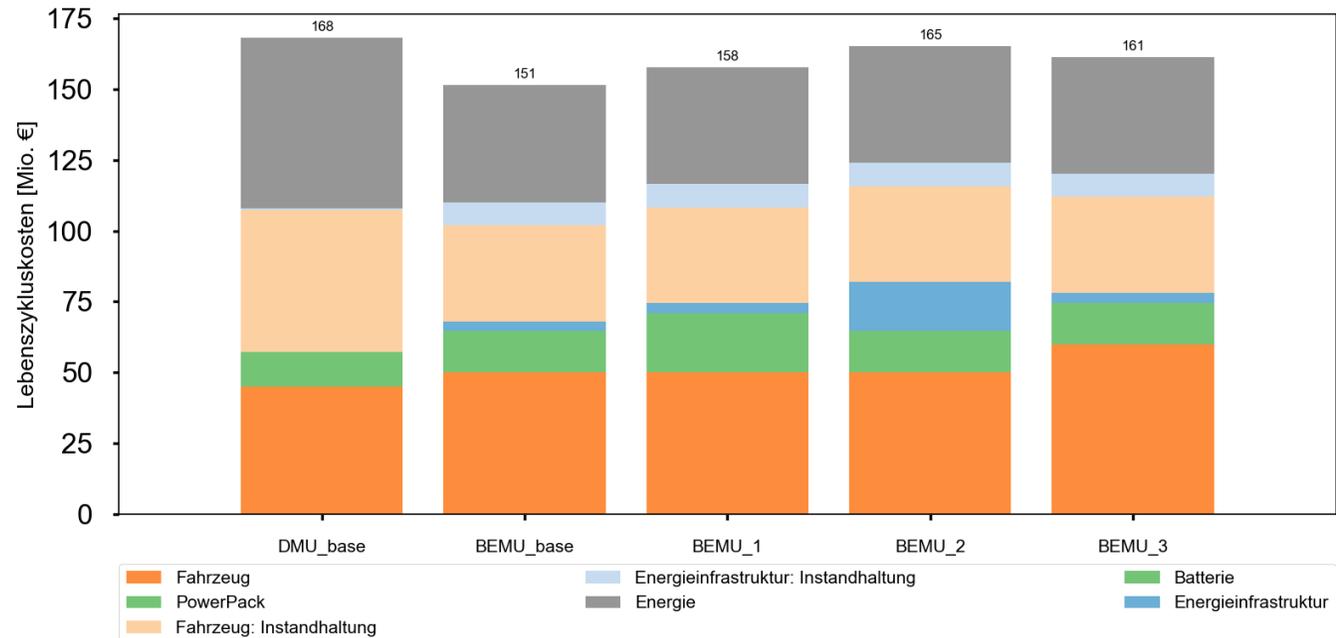
Linienanalyse

- Etwa 450 dieselbetriebene SPNV-Linien



Wirtschaftlichkeit

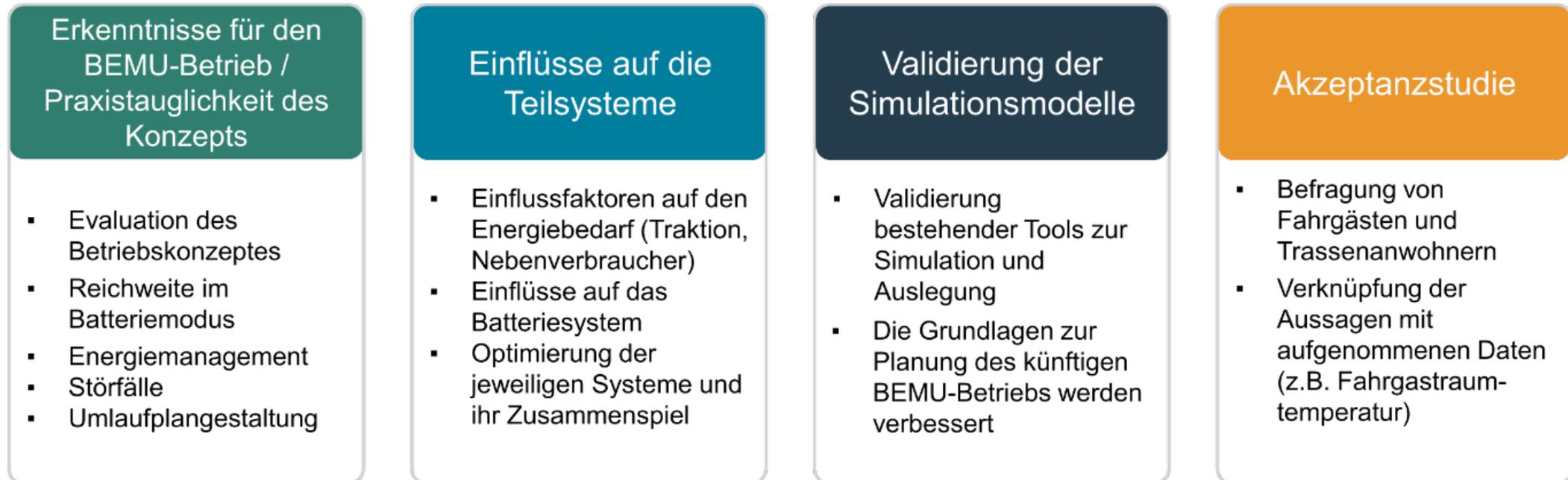
- Verschiedene Netztypen untersucht
- Starke Prognoseschwankung durch lange Fahrzeuglebensdauer
- Werte basieren zum Teil aufgrund fehlender Erfahrungswerte auf Schätzungen und Simulationen (z.B. Batterielebensdauer)
- Großteil der Untersuchungen ergibt über die Fahrzeuglebensdauer Vorteile von BEMU gegenüber Diesel.



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Beispielnetz

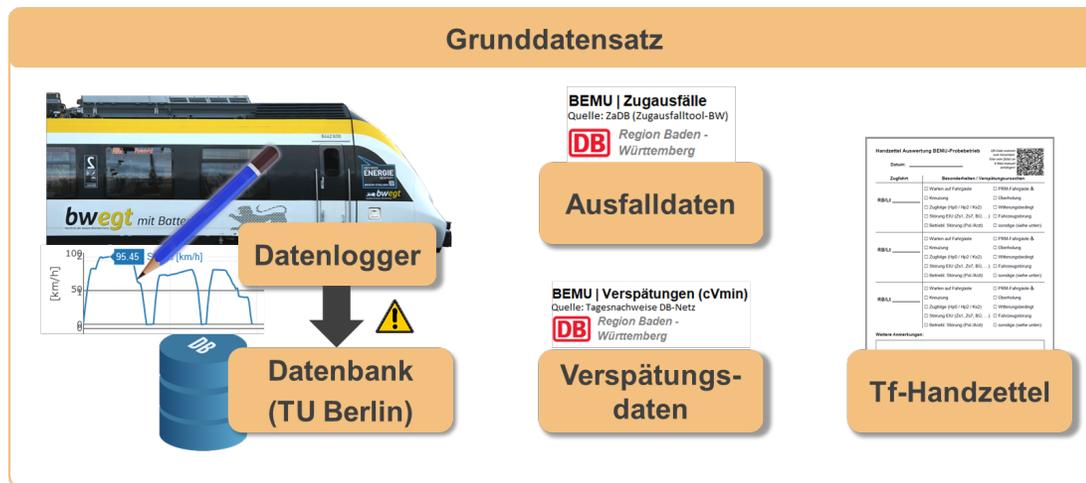
Szenarien: BEMU_1: verkürzte Batterielebensdauer; BEMU_2: erhöhte Ladestationskosten; BEMU_3: erhöhte BEMU-Fahrzeugkosten

Ziel des Probetriebs mit Fahrgästen



Ziel: Gewinn wertvoller Erkenntnisse für Weiterentwicklung eines Serienfahrzeuges

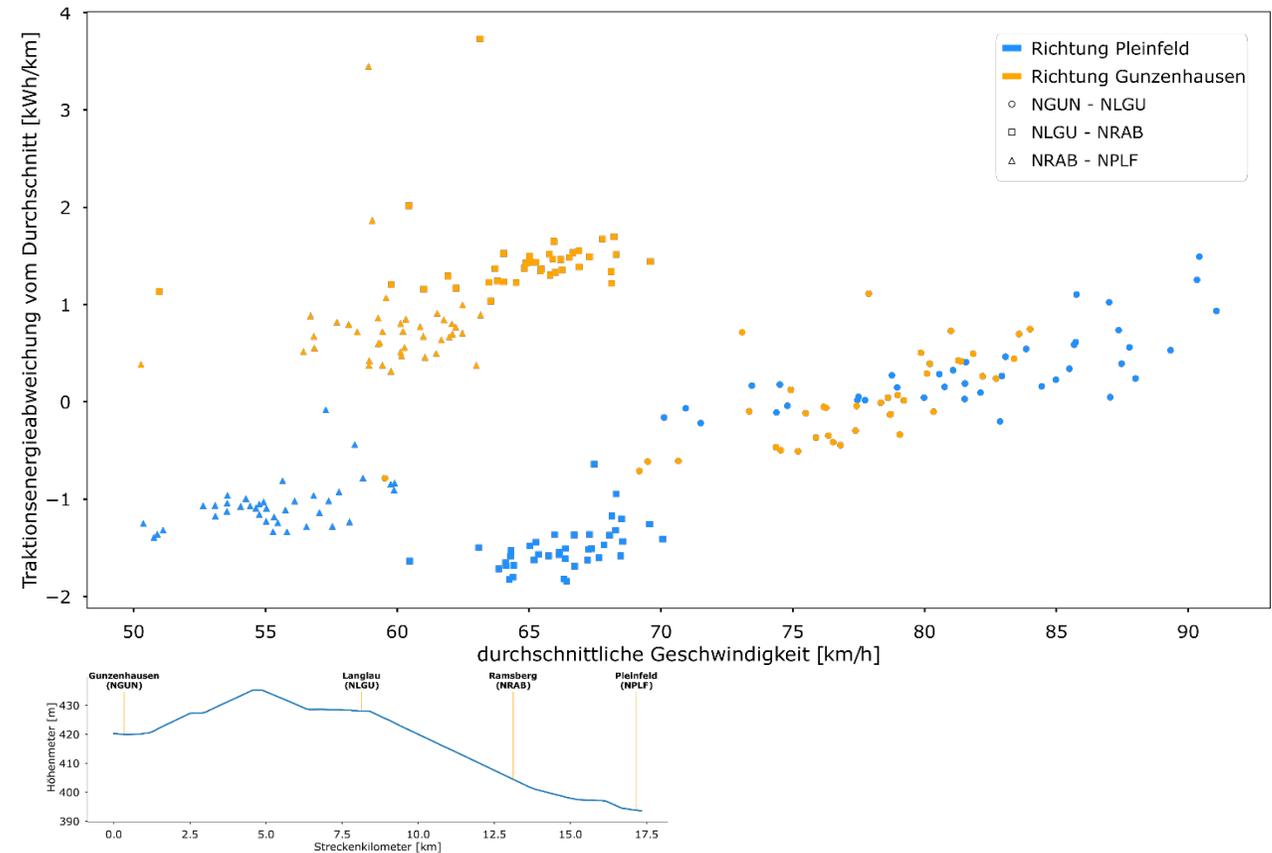
Probetrieb: Methodik der Auswertung



- Nutzung zahlreicher Datenquellen
 - Sensordaten vs. „Was Sensoren nicht sehen“
 - Zuarbeiten durch DB Regio und die Tf (Rückmeldungen aus dem Betrieb)
 - Umfangreiche Aufbereitung der Daten aus dem Fahrzeug-Logger notwendig
- Zusammenführung zu einer Datenbasis
 - Auswertungen und Grafiken basieren auf den aufbereiteten Daten

Probetrieb: Energetische Auswertung

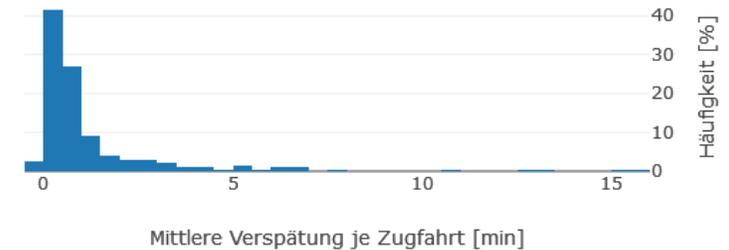
- Beispielhaft: Traktionsenergieverbrauch pro km (mit Rekuperation) in Abh. der durchschnittlichen Geschwindigkeit pro Segment
- Bezogen auf den Durchschnittsverbrauch während der Testbetriebszeit
- Die signifikante Verbrauchsstreuung ist hauptsächlich auf das Streckenprofil zurückzuführen
- Straffere Fahrweise (im selben Abschnitt) bei niedrigeren Geschwindigkeiten hat kaum Einfluss auf den Verbrauch
- Die Rekuperation hat einen hohen Einfluss auf den Verbrauch bei kürzeren Abschnitten



Probetrieb: Betriebliche Auswertung

- Verspätungen und deren Entwicklung – Gäubahn:
 - BEMU befährt im CFO-Modus ein CATO-Fahrplangefüge
 - Anfangsverspätungen werden im Mittel trotz verringerter CFO-Antriebsleistung beibehalten
 - Signifikanter Anteil sekundärer Ursachen (bspw. „Zugfolge“)
- Verspätungen und deren Entwicklung – Franken:
 - Schwerpunkt: 20 % der Fahrten mit Anfangsverspätung > 0,9 min (Warten auf Fahrgäste), die meist verringert werden kann
 - Häufigkeit deckt sich mit Dieselbetrieb
 - Bei anfangsverspäteten Fahrten signifikant größerer Verspätungsabbau mit BEMU gegenüber Dieselbetrieb!

Mittlere Verspätung: Fahrgastfahrten Gäubahn



Mittlere Verspätung: Fahrgastfahrten Franken



Probetrieb: Akzeptanzstudie

- Befragung von Triebfahrzeugführern, Fahrgästen, Anwohnern und Entscheidungsträgern
- Stimmungsbild ist sehr homogen (positiv)
- Fahrgäste und Anwohner:
 - Erwartung: Besser für die Umwelt, besseres Fahrverhalten und weniger Lärm als die Dieselfahrzeuge
 - Die Einführung weiterer Linien, die mit BEMUs betrieben werden, wird stark befürwortet
 - Vereinzelt Bedenken wegen Batteriebrand, der Energieerzeugung (CO₂-neutral) oder der Batterieherstellung (u. A. Abbau von Lithium und Kobalt)
- Triebfahrzeugführer:
 - Fahrzeughandhabung (insb. die Batteriefunktionen und die Umschaltung CATO/CFO) wird nicht als Zusatzaufwand wahrgenommen
 - Arbeitsalltag bleibt eher unverändert
 - BEMU-Prinzip wird als eine „sehr gute Sache“ bezeichnet, nicht nur als Haupttechnologie für bestimmte Linien, sondern auch als Überbrückungstechnologie, falls OL irgendwann gebaut wird

Zusammenfassung

- Fahrzeug konnte erfolgreich im Betrieb eingesetzt werden und die Anforderungen im Fahrgastbetrieb erfüllen
- Alstom und TU Berlin sehr zufrieden mit den Erfahrungen und Ergebnissen aus dem Probebetrieb
- Sehr gute und kooperative Zusammenarbeit mit DB Regio sowie den Aufgabenträgern NVBW und BEG in Bezug auf die Planung und Durchführung des Probebetriebs
- Alle Erkenntnisse des Projekts werden bereits jetzt für die Entwicklung zukünftiger BEMU-Serienfahrzeuge genutzt
- Betreiber und Aufgabenträger müssen die besonderen Merkmale von BEMU-Fahrzeugen berücksichtigen (begrenzte Reichweite, Aufladen, Infrastrukturplanung, Umlaufplanung usw.)
- Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz positiv im Vergleich zum Dieselfahrzeug
- Trotz Verzögerungen wurden die Projektziele erreicht und der Talent 3 BEMU ist als erster für den Fahrgastbetrieb zugelassener BEMU in Deutschland (und laut ERA Register auch in Europa) in Betrieb gegangen.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Kontakt

Pavel Boev

Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik

Sekr. H10

Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

E-Mail pavel.boev@tu-berlin.de

Stefan von Mach

Alstom Transport Deutschland GmbH

Am Rathenaupark
16761 Hennigsdorf

E-Mail: stefan.von-mach@alstomgroup.com

Benjamin Ebrecht

Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur

Sekr. SG 18

Severingelände - Geb. SG-12

Salzufer 17 – 19
10587 Berlin

E-Mail benjamin.ebrecht@tu-berlin.de

Ulrich Zimmermann

Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur

Sekr. SG 18

Severingelände - Geb. SG-12

Salzufer 17 – 19
10587 Berlin

E-Mail ulrich.zimmermann@tu-berlin.de

BACKUP

Wirtschaftlichkeitsanalyse

Weitere Annahmen:

- BEMU: 5 Mio. € | 30 Jahre
- DMU: 4,5 Mio. € | 30 Jahre
- Batterie (NMC/C): 750 €/kWh | 6 Jahre
- Dieselpowerpack: 160.000 € | 3 Jahre
- Ladestation: 1 Mio. € | 60 Jahre
- Instandhaltung BEMU: 0,69 €/km
- Instandhaltung DMU: 1,02 €/km
- Instandhaltung BEMU Infrastruktur: 50.000 €/a/Stück
- Instandhaltung DMU Infrastruktur: 20.000 €/a/Stück
- Diesel: 1,20 €/l
- Strom: 0,13 €/kWh

Annahmen:

10 Fahrzeuge
150.000 km jährliche Laufleistung
Projektlaufzeit: 30 Jahre
BEMU-Verbrauch: 5 kWh/km
DMU-Verbrauch: 1,1 l/km
Batteriekapazität: 600 kWh (6 Jahre)
5 Ladestationen á 1 Mio. €
BEMU: 5 Mio. €