

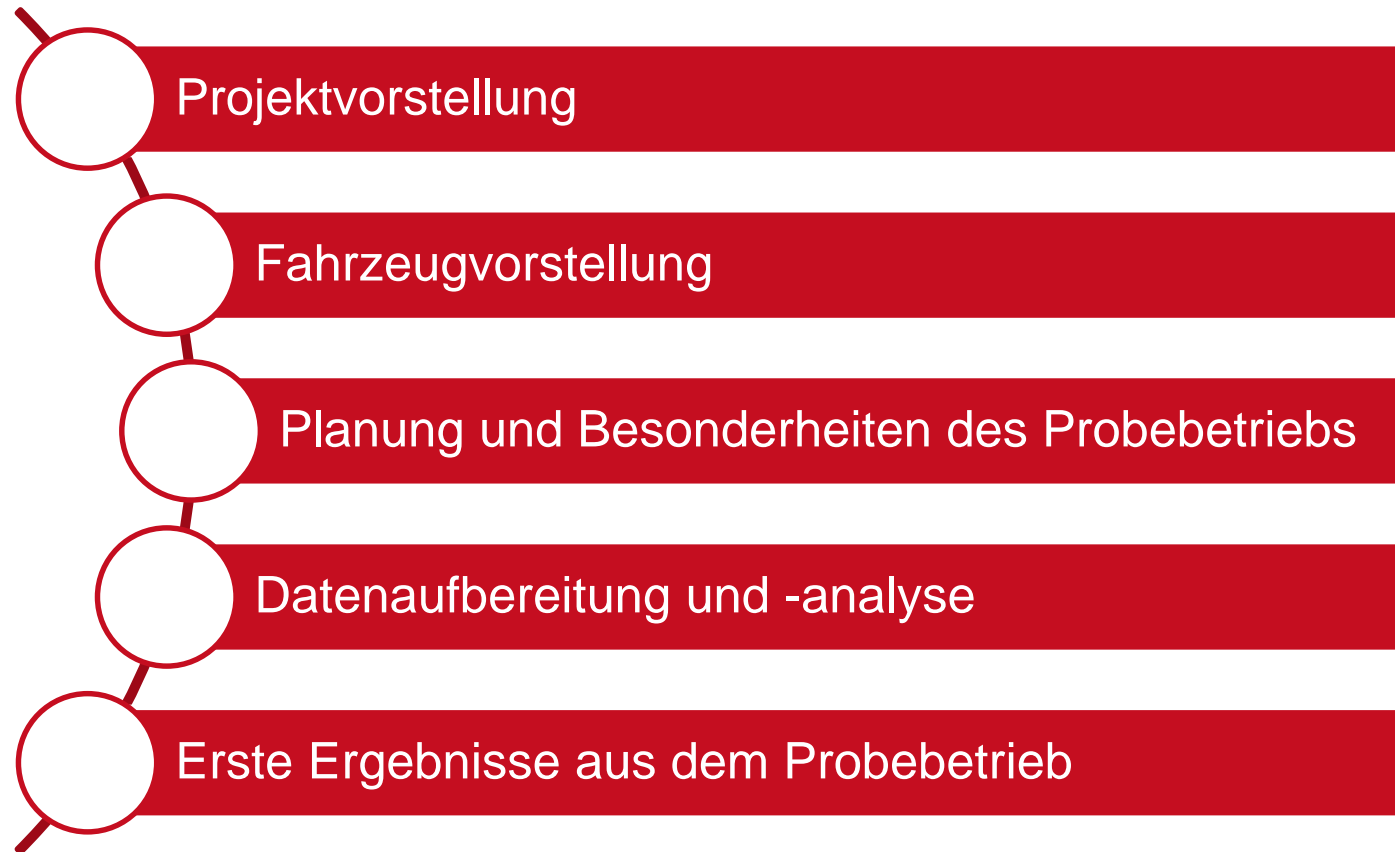


## Vorbereitung des Probebetriebs eines batterie-elektrischen Triebzuges am Beispiel des TALENT 3 BEMU – Schienenfahrzeugtagung Graz 04.04.2022

Pavel Boev<sup>1</sup>, Benjamin Ebrecht<sup>2</sup>, Stefan von Mach<sup>3</sup>, Ulrich Zimmermann<sup>2</sup>

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

## Agenda



## Projektvorstellung



### Projektpartner:



## Das Fahrzeug

- Dreiteiliger Regionaltriebzug vom Typ TALENT 3
- Modulare und redundante Traktionsbatteriesysteme (TBS) mit 300 kWh Batteriekapazität
- Der BEMU Demonstrator hat eine typische Reichweite von bis zu 40 km im Akkubetrieb, in Tests wurden maximal 53,9 km (mittels der „Batteriereserve“) erreicht.
- Das Batteriesystem ist in der Lage, erweitert zu werden und zukünftige Generationen von Batterietechnologie zu handhaben.
- Für Serienfahrzeuge können heute je nach Anwendung bereits höhere Reichweitenanforderungen von bis zu 100-150 km gewährleistet werden.



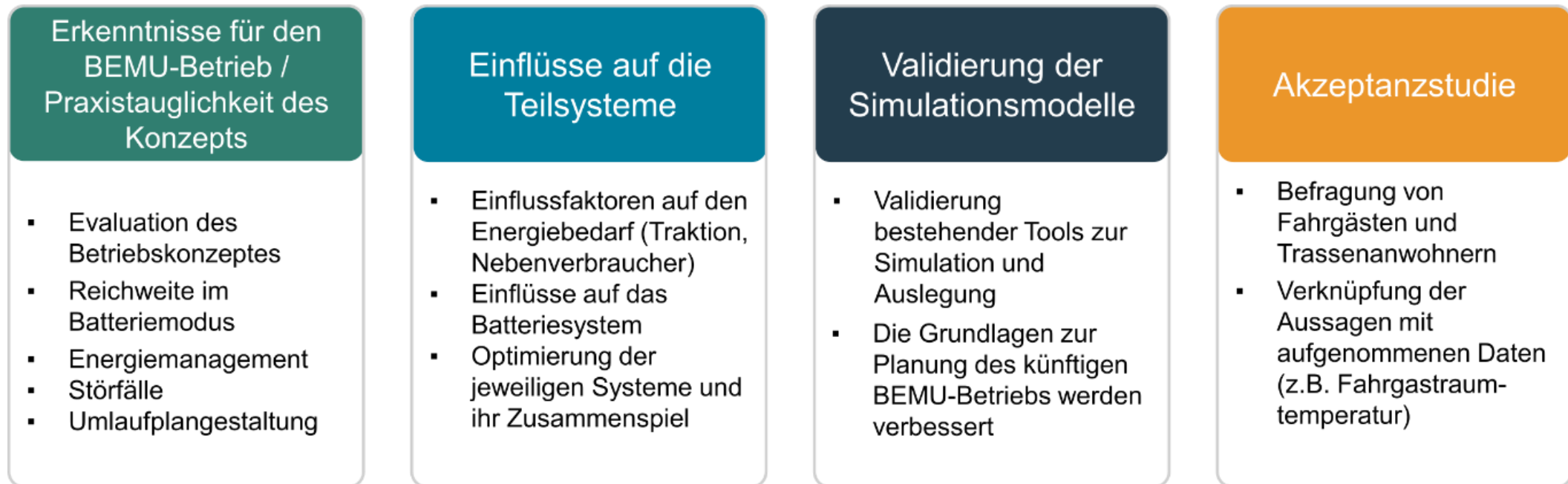


## Das Fahrzeug – Energiemanagement



- Mehrstufige Energiesparmodi (Eco-Modi), Aktivierung durch Tf
- Freischaltbare Reichweitenreserve
- Balancing: Ladezustand der vier Batteriezellen möglichst stets untereinander gleich
- Reichweitenoptimierung: Warnung bei kritischem Ladezustand, Aktivierung Eco-Modi zum Erreichen der nächsten Ladeinfrastruktur auch bei Störungen/Abweichungen vom Planbetrieb
- Lademanagement: Optimierung der Ladeleistung je nach unter Fahrdradt verfügbarer Zeit → Erhöhung der Batterielebensdauer

## Ziel des Probetriebs mit Fahrgästen



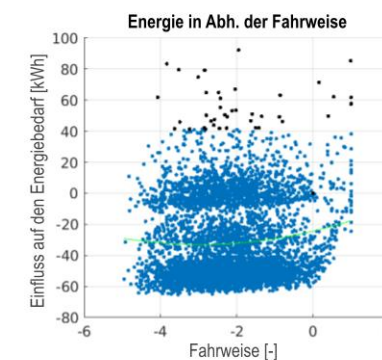
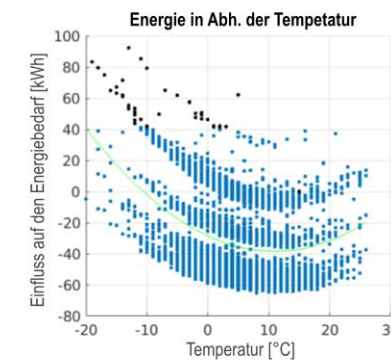
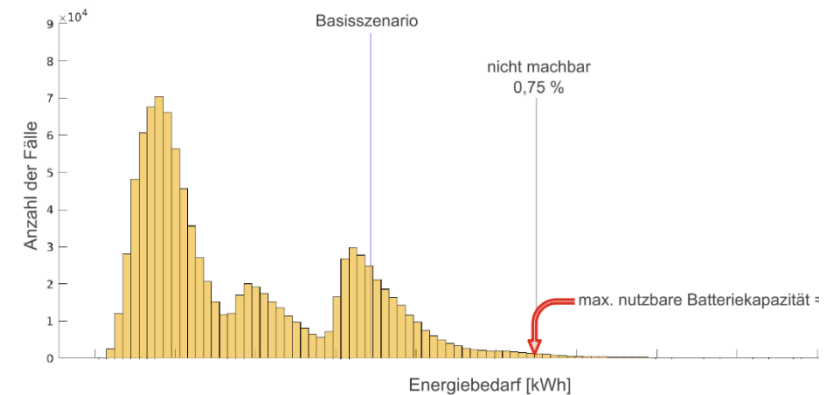
Ziel: Gewinn wertvoller Erkenntnisse für Weiterentwicklung eines Serienfahrzeuges

## Planung und Besonderheiten des Probebetriebs - Streckenauswahl

- Betrachtung von teilweise und durchgehend elektrifizierten Linien
- Bewertungskriterien u.a.:
  - Streckentopologie und Haltestellenabstände
  - Versorgungsinfrastruktur
  - Fahrgastaufkommen
  - Fahr- und Umlaufplan
- Systemwechsel im Stand und während der Fahrt zwischen
  - Batteriebetrieb (CFO – Catenary Free Operation)
  - Oberleitungsbetrieb (CATO – Catenary Operation)
- Transition während der Fahrt im Testbetrieb derzeit nur bei kompletter Elektrifizierung geplant, da ansonsten Streckeninfrastruktur (EI-Signale) errichtet werden müssten.

## Planung und Besonderheiten des Probebetriebs – Machbarkeitsanalyse

- Machbarkeitsanalyse auf Basis von energetischen Simulationen für in Frage kommende, teilelektrifizierte Strecken
- Variation von Zuladung, Fahrweise und Wetterbedingungen
- Schlussendliche Entscheidung für unterwöchigen Probebetrieb auf Gäubahn (Stuttgart – Horb)
  - Gute Bedingungen für unterschiedliche Testfälle
  - Vollständig elektrifiziert
- An ausgewählten Wochenenden Betrieb auf Strecke Pleinfeld – Gunzenhausen



**Legende:**

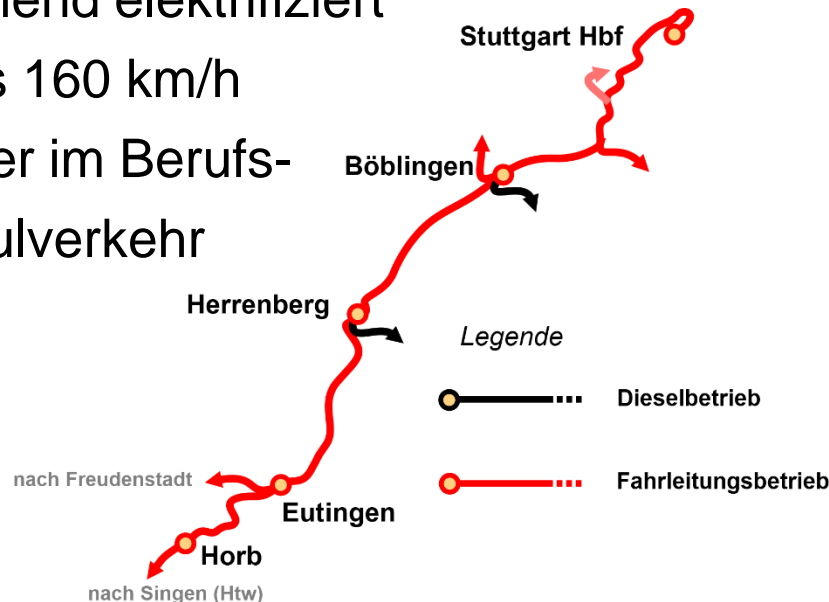
- möglich
- nicht möglich
- Durchschnitt



## Streckencharakteristika

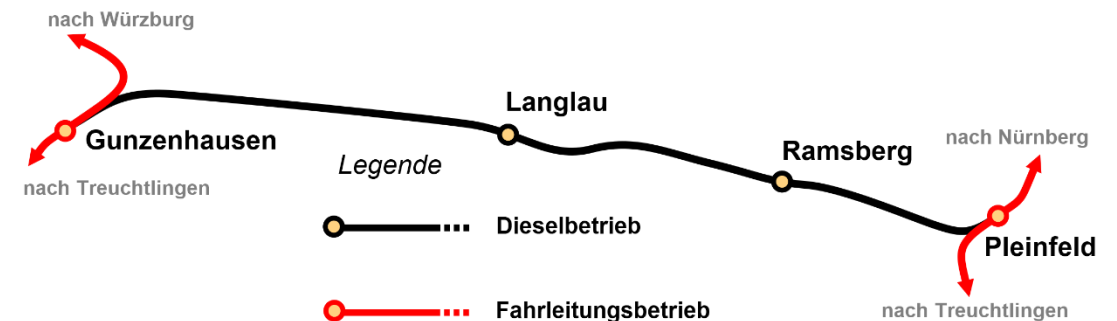
### Gäubahn (Herrenberg – Horb, BW)

- Zweigleisige Hauptstrecke
- Länge: 26 km
- durchgehend elektrifiziert
- Vmax bis 160 km/h
- Verstärker im Berufs- und Schulverkehr



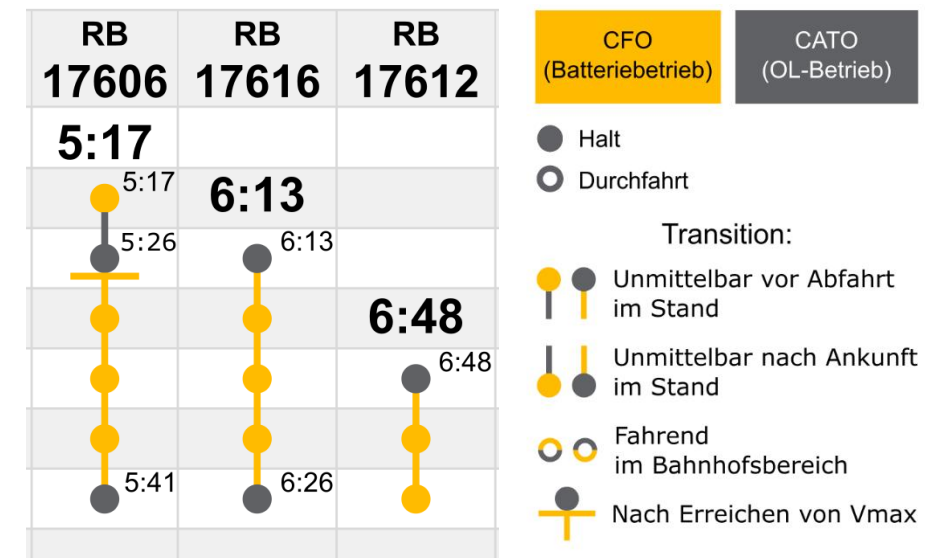
### Pleinfeld – Gunzenhausen, BY

- eingleisige Nebenbahn
- Länge: 16,7 km
- Vmax 80 – 120 km/h
- Zwei-Stunden-Takt am Wochenende
- Oberleitung nur an den Endbahnhöfen



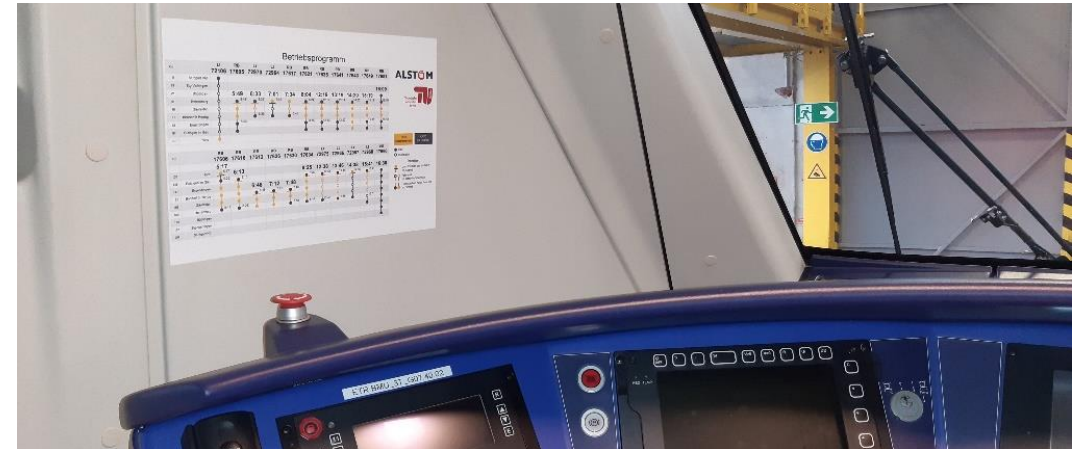
## Gestaltung des Betriebsprogramms für die Gäubahn

- Ausgewählte Ziele:
  - Hoher Anteil an CFO
  - Transitionen im Stand und während der Fahrt
  - Wenden im CATO und CFO
- Durchführung fahrtscharfer energetischer Simulationen zur Ermittlung der Machbarkeit
- Graphische Darstellung der Systemwechsel für das Fahrpersonal
- Entwicklung gemeinsam mit DB Regio und DB Netz



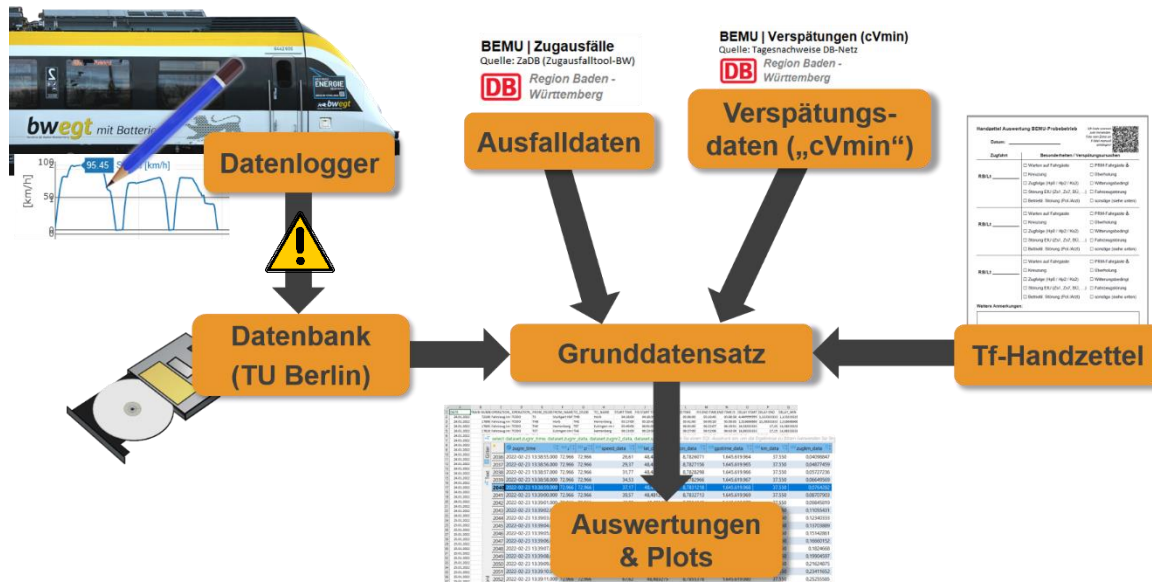
## Handzettel Triebfahrzeugführer

- Erhebung von Betriebs- und Fahrzeugstörungen
  - Wichtige Ergänzung der vom Fahrzeug geloggtten Daten
  - Einschätzung der tatsächlich aufgetretenen Situation
  - Digitales und analoges Ausfüllen möglich
  - Große Unterstützung durch die EVU



Zugfahrt	Besonderheiten / Verspätungsursachen	
RB/Lt _____	<input type="checkbox"/> Warten auf Fahrgäste	<input type="checkbox"/> PRM-Fahrgäste
	<input type="checkbox"/> Kreuzung	<input type="checkbox"/> Überholung
	<input type="checkbox"/> Zugfolge (Hp0 / Hp2 / Ks2)	<input type="checkbox"/> Witterungsbedingt
	<input type="checkbox"/> Störung EIU (Zs1, Zs7, BÜ, ...)	<input type="checkbox"/> Fahrzeugstörung
	<input type="checkbox"/> Betriebl. Störung (Pol./Arzt)	<input type="checkbox"/> sonstige (siehe unten)

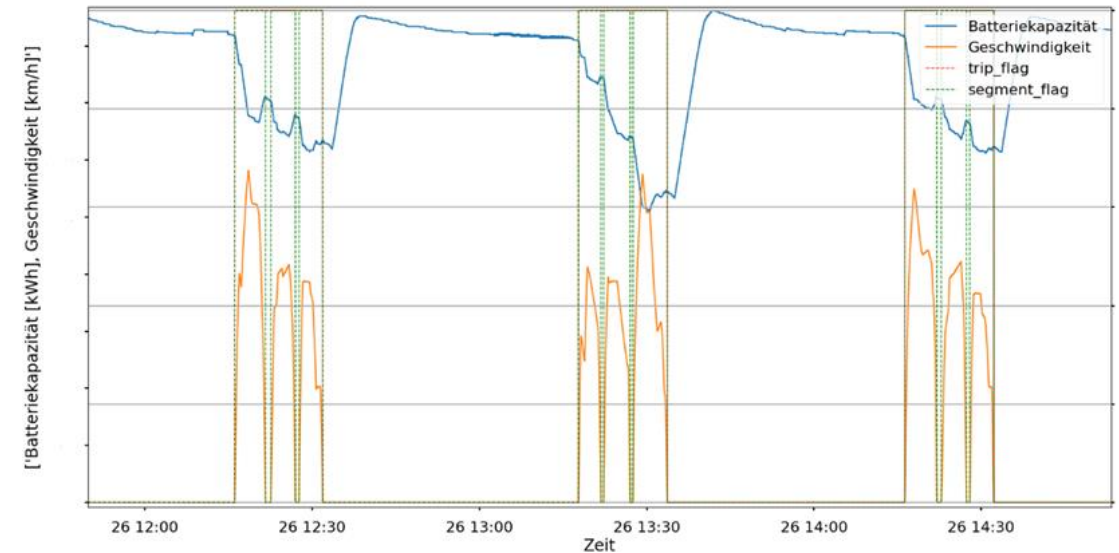
## Methodik der Auswertung



- Nutzung zahlreicher Datenquellen
  - Sensordaten vs. „Was Sensoren nicht sehen“
  - Zuarbeiten durch DB Regio und die Tfs
  - Umfangreiche Aufbereitung der Daten aus dem Fahrzeug-Logger notwendig
- Zusammenführung zu einer Datenbasis
  - Auswertungen und Grafiken auf diesen aufbereiteten Daten basieren
- Nachfolgende Zwischenauswertung
  - Datenstand 24.01. bis 04.03.22
  - = 6 Wochen Gäubahn-Einsatz sowie 4 Wochenenden Gunzenhausen - Pleinfeld

## Auswertung: Aufbereitung der Daten

- Segmentierung der Zeitreihen in einzelne Zugfahrten (trips) bzw. Fahrabschnitte (segments), welche ein Segment zwischen zwei Fahrzeughalten kennzeichnen
- Daraus können erste Rückschlüsse auf die Energieverbräuche während der Fahrt sowie der Hilfsbetriebe im Stand gezogen werden
- Parallel können die Ladeleistung und die beim Bremsen rekuperierte Energie abgelesen werden
- Beispiel: Pleinfeld – Gunzenhausen und zurück





## Auswertungen: Betriebliches (1)

- Betriebliche Kennwerte der Zwischenauswertung
  - 6.100 Zug-km im Fahrgastbetrieb (3.600 km im Batteriemodus)
  - Vergleichsweise kleine Datenbasis wird mit Fortführung des Betriebs wachsen
- Operative Zuverlässigkeit
  - Hohe Gesamtzuverlässigkeit zu erwarten
  - Auf der Linie Gunzenhausen – Pleinfeld: bislang 100%
  - Ausfälle:
    - Mix aus primären Ursachen (eigenes Fahrzeug/betrieblicher Einfluss auf die eigene Zugfahrt) sowie sekundären Anlässen
    - In Zusammenhang mit Verspätungen zu betrachten:
    - Es gibt viele kurz nacheinander folgende Pendelfahrten, d.h. relativ geringe Verspätung kann bereits zu Ausfall der Folgefahrt führen



## Fazit

- Komplexe Analyse aller Randbedingungen in der Vorbereitung des Probebetriebs notwendig
- Datenqualität- und -menge ist ausreichend; die bisherigen Auswertungen führen zu plausiblen Ergebnissen
- Fahrzeug konnte bislang erfolgreich im Betrieb eingesetzt werden – sehr positives Feedback von EVU, Triebfahrzeugführern, Fahrgästen und Anwohnern
- Erfahrungen und Ergebnisse des Testbetriebs fließen in die Entwicklung zukünftiger BEMU-Serienfahrzeuge
- Intensive Zusammenarbeit der Stakeholder aus den Bereichen Fahrzeug, Betrieb, Infrastruktur und Forschung erweist sich als entscheidend für den erfolgreichen Probebetrieb

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Bildquelle: Nick Zimmermann

## 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](mailto:pavel.boev@tu-berlin.de)

### 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](mailto:benjamin.ebrecht@tu-berlin.de)

### Stefan von Mach

Alstom Transport Deutschland GmbH

Am Rathenaupark  
16761 Hennigsdorf

E-Mail: [stefan.von-mach@alstomgroup.com](mailto:stefan.von-mach@alstomgroup.com)

### 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](mailto:ulrich.zimmermann@tu-berlin.de)