



GUW+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV

ALSTOM, Elpro,

Fraunhofer IVI, M&P,

TU Dresden, ÜSTRA:

Projektabschlusstreffen, Hannover, 23.01.2024



Agenda

■ Erarbeitung des Pflichtenhefts

- Technische und rechtliche Grundlagen für die Projektbearbeitung
- Motivation des „Demonstrationspartners“ ÜSTRA

■ Auslegung und Umsetzung am Standort Döhren

■ Funktionen im Zusammenspiel

■ Projektabschluss

- Weiterentwicklung in Hannover
- Verwertungsplan



Assoziierte Partner

ÜSTRA

avacon

enercity
positive energie



ISABELLENHÜTTE

EvoBus



Leipziger
Verkehrsbetriebe



Netzdienste
RheinMain
Ein Unternehmen der Mainova



vonBredow Valentin Herz

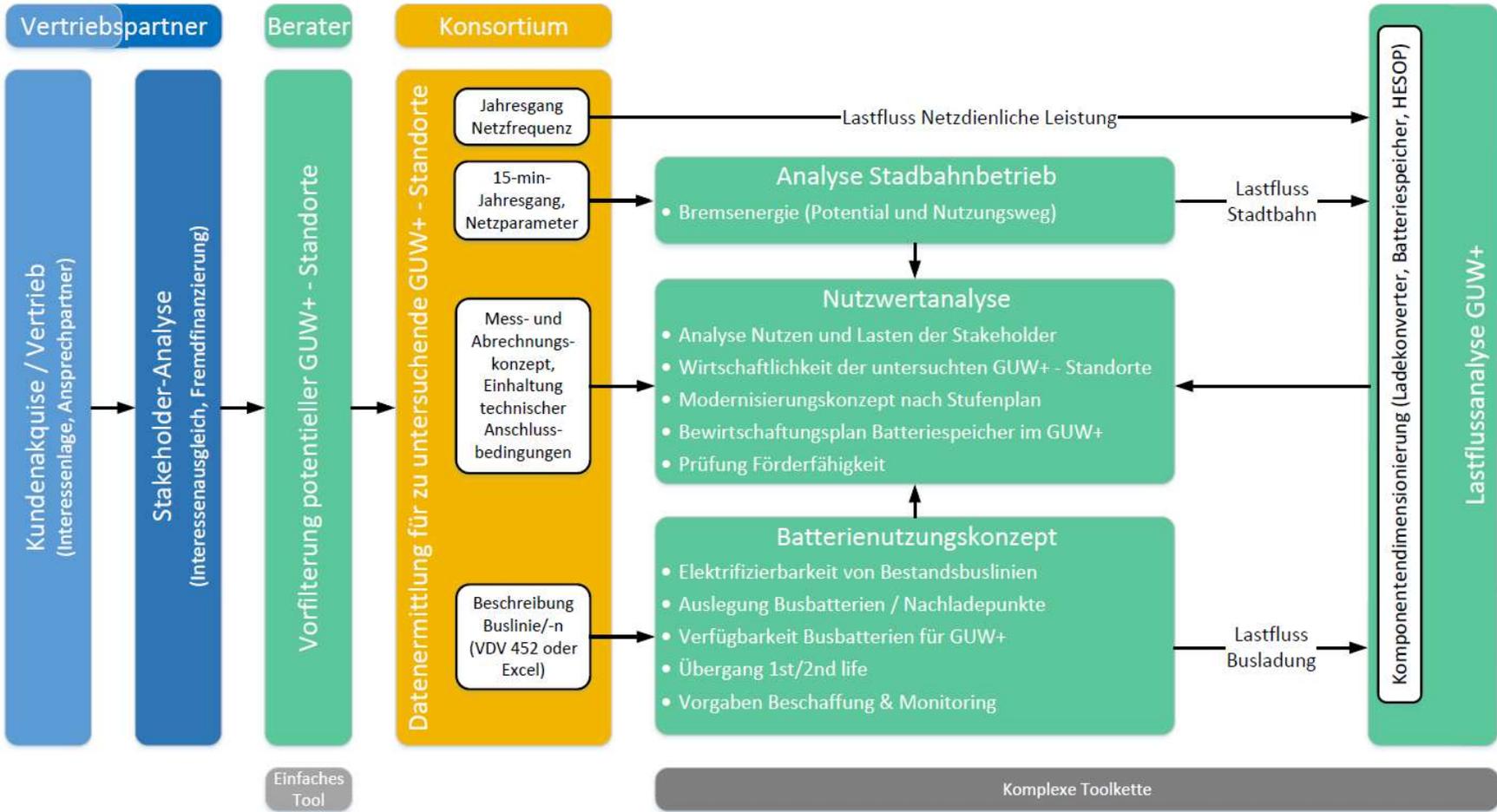
Partnerschaft von Rechtsanwälten mbB



GUW+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV.
ALSTOM, Elpro, Fraunhofer IVI, M&P, TU Dresden, ÜSTRA:
Projektabschlussstreffen in Hannover // 23.01.2024

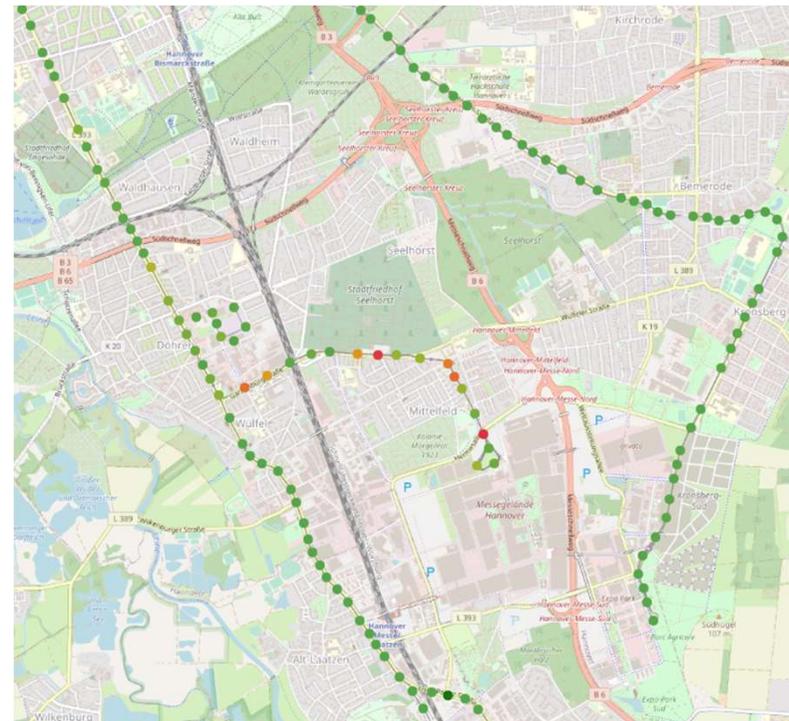
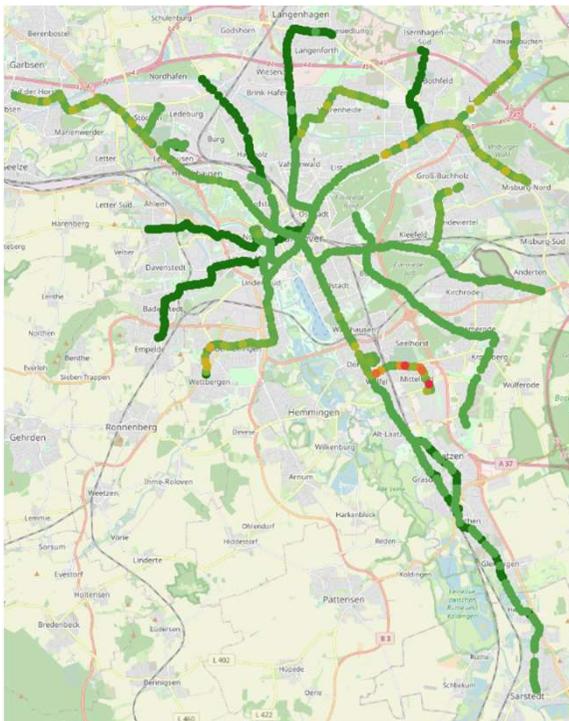
Standortuntersuchung und Nutzwertanalyse G UW+

Modernisierung Bestands-GUW zu G UW+ für Nahverkehrsunternehmen, welche Stadtbahnen betreiben und Elektrobusse mit Gelegenheitsladung einführen möchten



1. Motivator für das Forschungsvorhaben G UW+ Weitere Verbesserung der Energieeffizienz

- „Das Bessere ist der Feind des Guten“ - es geht in Hannover noch immer Bremsenergie verloren



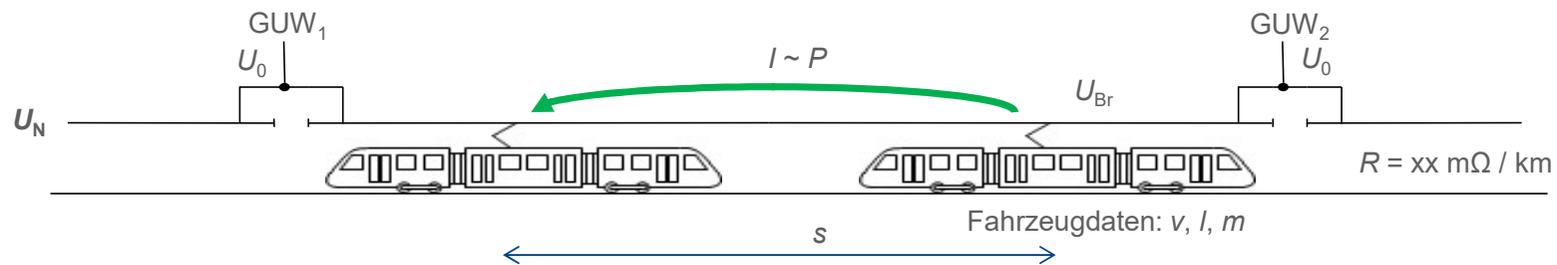
G UW+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV.
ALSTOM, Elpro, Fraunhofer IVI, M&P, TU Dresden, ÜSTRA:
Projektabschlussstreffen in Hannover // 23.01.2024

1. Motivator: Energieeffizienz

Wie lässt sich der Energieaustausch zwischen den Bahnen verbessern ?

Ziel ist die Erhöhung der Leistungsgrenze $P_{\max} = I_{\max} \cdot U_N = U_N \cdot \frac{U_{\text{Br}} - U_0}{R}$

- Nennspannung U_N erhöhen: eher langfristige Migration
- Bremsspannung U_{Br} erhöhen: Ausnutzung normativer Grenzen unter Berücksichtigung von Bestandsfzg.
- Leerlaufspannung U_0 absenken: steht häufig im Konflikt mit Traktionsanforderungen bzw. $U_{k, \min}$
- (wirksamen) Schleifenwiderstand R verringern:
 - Abstand s verringern durch höheren Takt – was aber auch das Leistungsangebot erhöht
 - Bauart der Oberleitung verändern, zusätzliche Speise- oder Rückleiterkabel



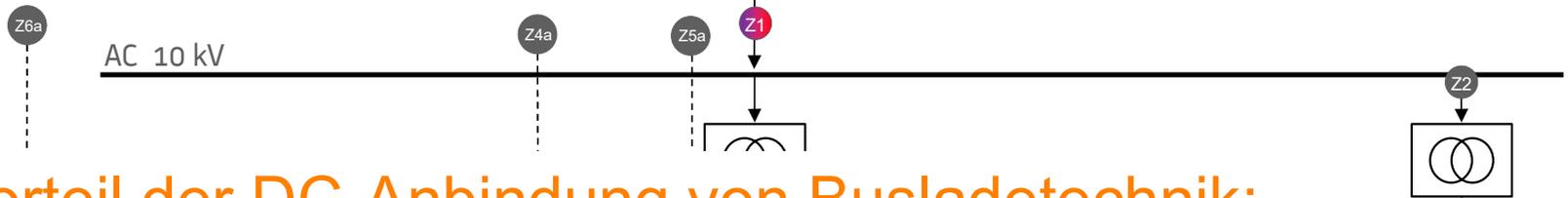
Die örtliche und zeitliche Verteilung von nicht übertragbaren Bremsenergie“paketen“ ist netzabhängig.

2. Motivator für das Forschungsvorhaben G UW+ Elektrifizierungskampagne bei der ÜSTRA



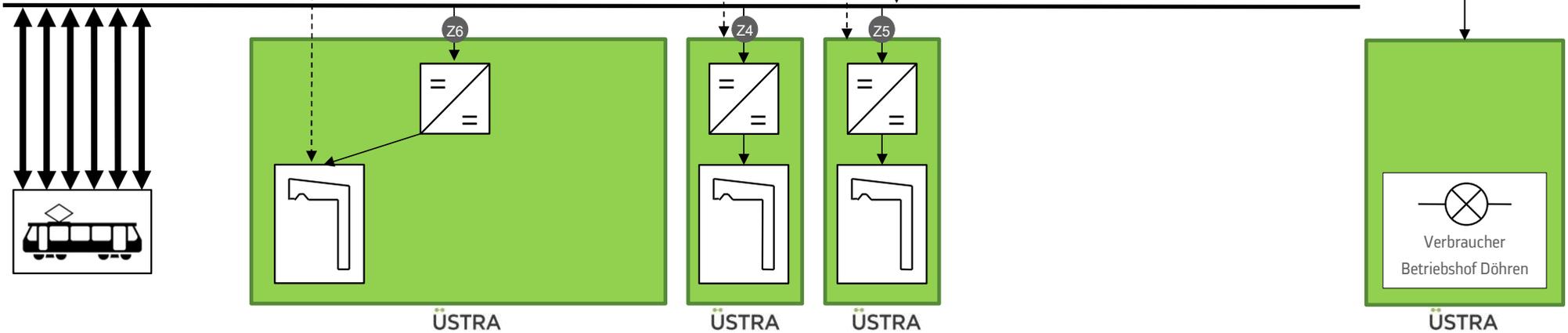
G UW+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV.
ALSTOM, Elpro, Fraunhofer IVI, M&P, TU Dresden, ÜSTRA:
Projektabschlussstreffen in Hannover // 23.01.2024

2. Motivator: DC-Anbindung Busladung (Auszug Mess- und Abgrenzungskonzept)



Großer Vorteil der DC-Anbindung von Busladetechnik:
Integration in den Leistungspool der Stadtbahn

DC 600 V

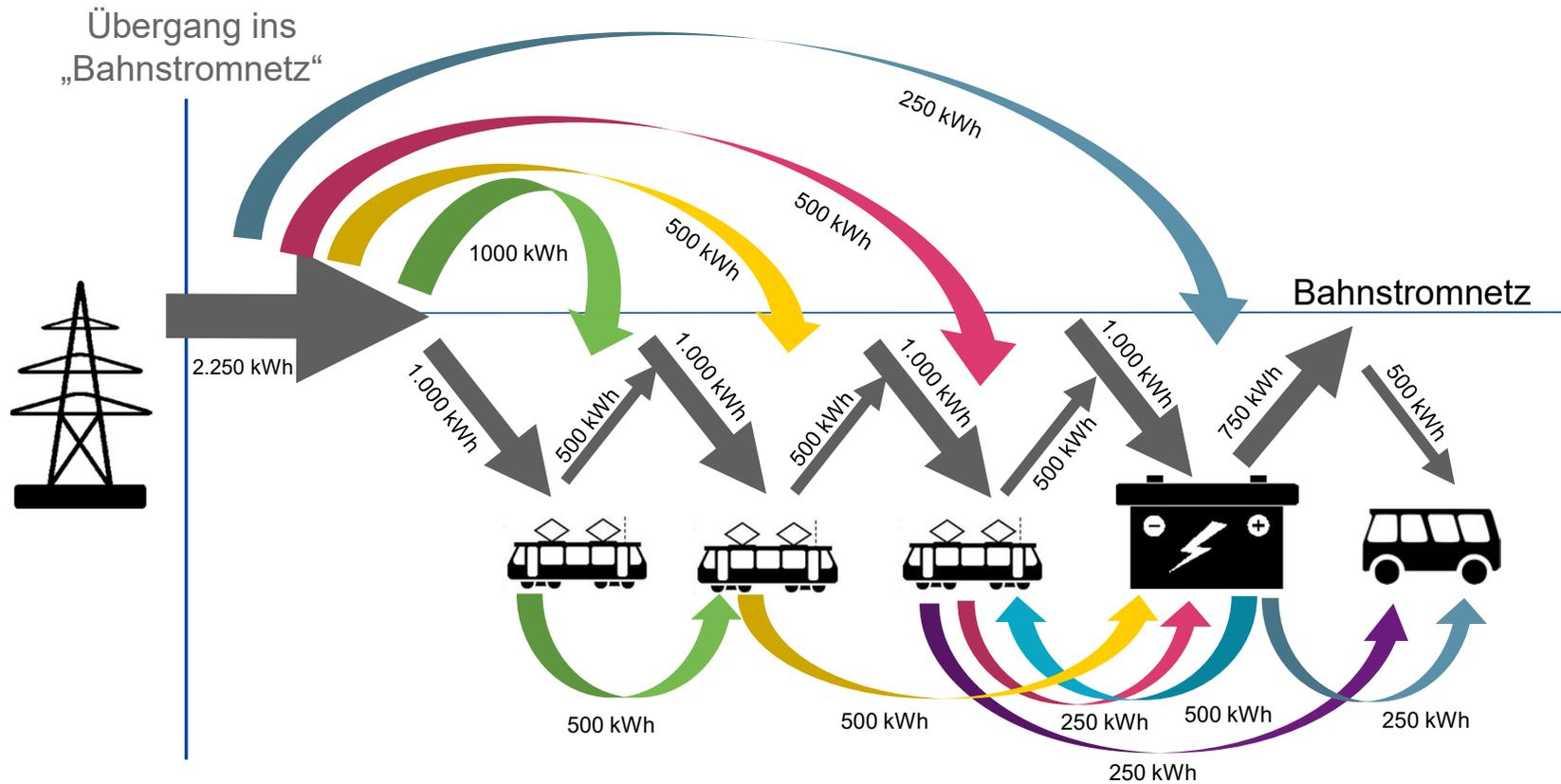


3. Motivator für das Forschungsvorhaben G UW+ Ein zweites Leben für ausgediente eBus-Batterien

- Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Ressourcenknappheit sind für die ÜSTRA wichtige Themen und werden untersucht.
 - Die Batterien der Elektrobusse bieten diesbezüglich ein neues Potenzial
 - Sie sind Eigentum der ÜSTRA. Sie könnten am Ende zurückgegeben werden, müssen es aber nicht.
 - Somit ist eine Weiternutzung der Batterien im G UW+ möglich, wenn sie nicht mehr für den Fahrbetrieb ausreichen sollte (Bsp.: Kapazität fällt unter 80% des Nennwertes)



Schematische Darstellung der zu erfassenden Energieflüsse...

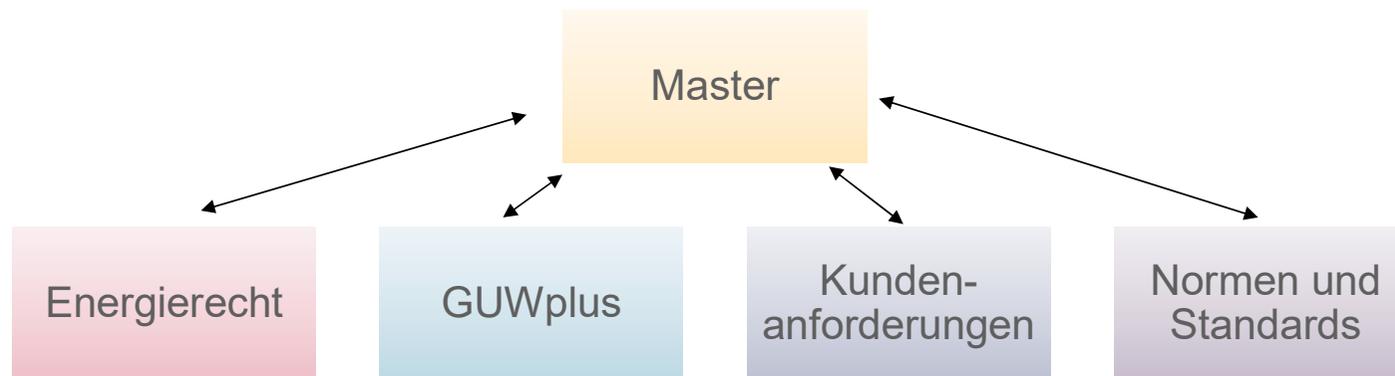


Konstruktiver Dialog mit der Bundesnetzagentur stützte die Herausgabe des Leitfadens „Messen und Schätzen“.



Struktur des Anforderungsmanagements

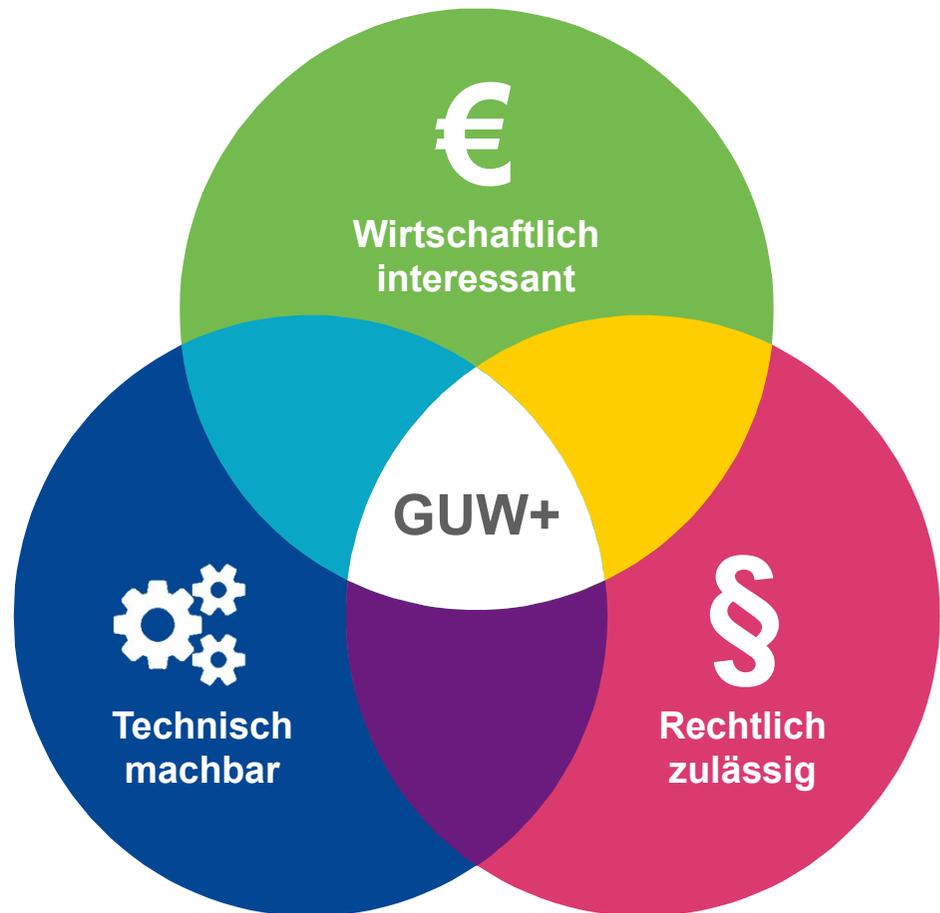
- Als Tool für die Koordinierung des Anforderungsmanagements wurde sich für DOORS® von IBM entschieden.
- Es wurden verschiedene Grundmodule und ein Mastermodul erstellt.
- In dem Mastermodul wird die Umsetzung des G UW+ beschrieben und auf die Anforderungen aus den Grundmodulen verwiesen.
- Herausforderungen:
 - Der Zugriff für externe Unternehmen herzustellen zur selbständigen Bearbeitung ist nicht gelungen.
 - Das Mastermodul konnte bisher nicht abgeschlossen werden, da Input aus der Umsetzung insbesondere der Betriebsmodi fehlt.



Tragfähiges Konzept für den Standort Döhren

Betreibersicht (ÜSTRA)

- Umbau-Stufenplan ermöglicht minimalen Betriebseingriff
- Investitionskosten:
 - +1 HESOP, 1 DC-Schaltanlage
 - E-Busladung war ohnehin geplant
 - Energiespeicher nach Bedarf
- Amortisationspfade im Betrieb:
 - Peak-shaving für den Bus
 - Bremsenergiepotenzial gering
 - Systemdienstleistungen in Kooperation mit Enercity



Agenda

■ Erarbeitung des Pflichtenhefts

- Technische und rechtliche Grundlagen für die Projektbearbeitung
- Motivation des „Demonstrationspartners“ ÜSTRA

■ Auslegung und Umsetzung am Standort Döhren

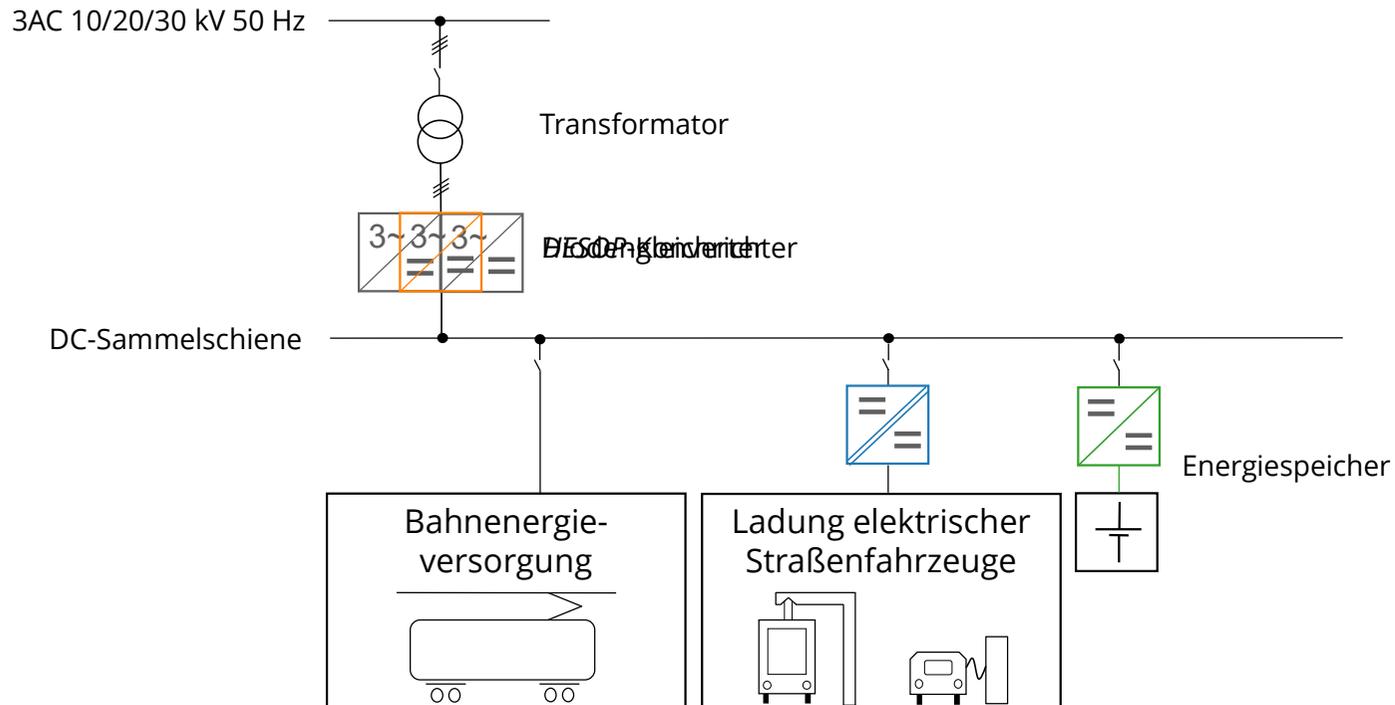
■ Funktionen im Zusammenspiel

■ Projektabschluss

- Weiterentwicklung in Hannover
- Verwertungsplan



Betriebsmodi G UW+



- Erweiterung der Grundfunktionen:
 - um die Busladung
 - um die Pkw/Lkw-Ladung
- Zusätzliche Funktionalitäten:
 - Lastspitzenkappung (15min-Jahreslastspitze)
 - Nutzung bislang ungenutzten Bremsenergiepotenzials
 - kurzzeitige Pufferung von Blackouts
 - aktive Spannungsregelung auf der DC-Sammelschiene
 - Blindleistungsbereitstellung/-kompensation
 - Vermeidung zu hoher Momentanleistungsspitzen
 - Stromhandel und PRL

Umsetzung am Standort Döhren

Bauablauf G UW+



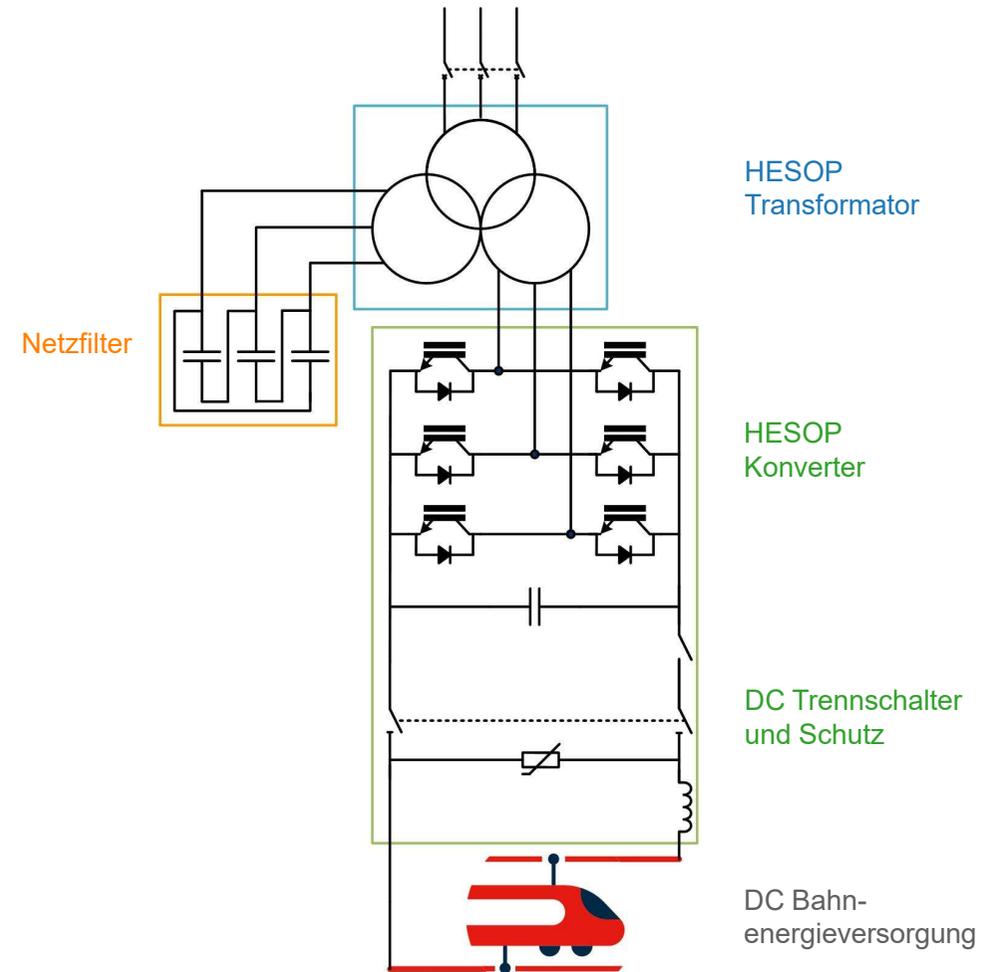
GUW+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV.
ALSTOM, Elpro, Fraunhofer IVI, M&P, TU Dresden, ÜSTRA:
Projektabschlussstreifen in Hannover // 23.01.2024

1. Motivator: Energieeffizienzsteigerung HESOP-Konvertersystem

Architektur und Hauptfunktionen

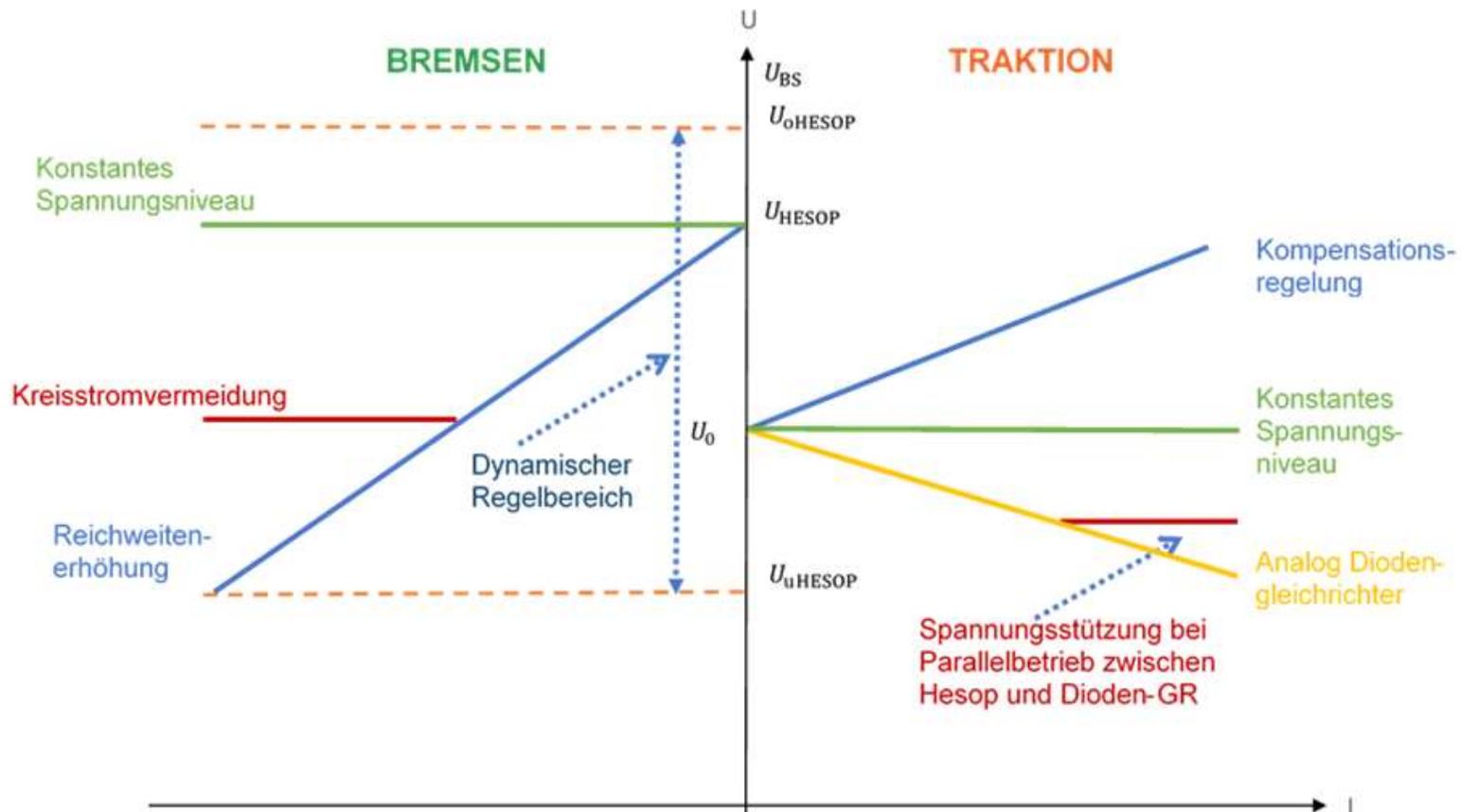
- HESOP ist ein bidirektionaler Stromrichter, bestehend aus einem IGBT-Vierquadrantensteller mit PWM-Regelung.
- Für DC-Netze von 600 V bis 1500 V und von 1 MW bis 4 MW (städtische und regionale Linien).
 - Spitzenleistung: bis 12 MW
- Wesentliche Vorteile:
 - Dynamische Spannungsregelung zur energetischen Optimierung im Einspeisemodus.
 - Nutzung verfügbarer Bremsenergie im Rückspeisemodus.

Für weitere Informationen sei auf folgenden Fachartikel verwiesen:
Modernisierung bestehender DC-Bahnenergieversorgungsanlagen mittels HESOP
(Elektrische Bahnen 115 [2017])

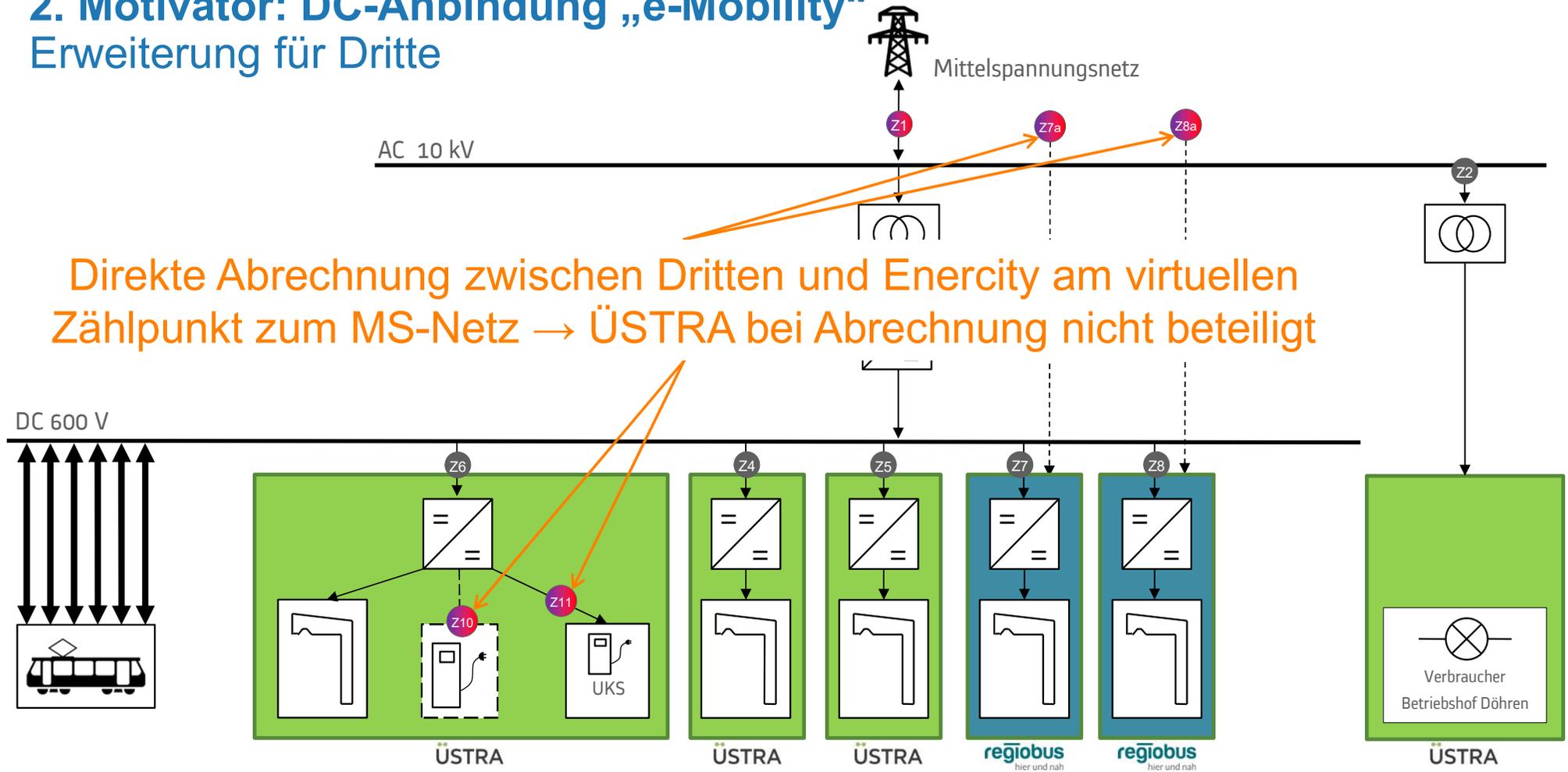


HESOP-Konvertersystem

Dynamische Spannungsregelung

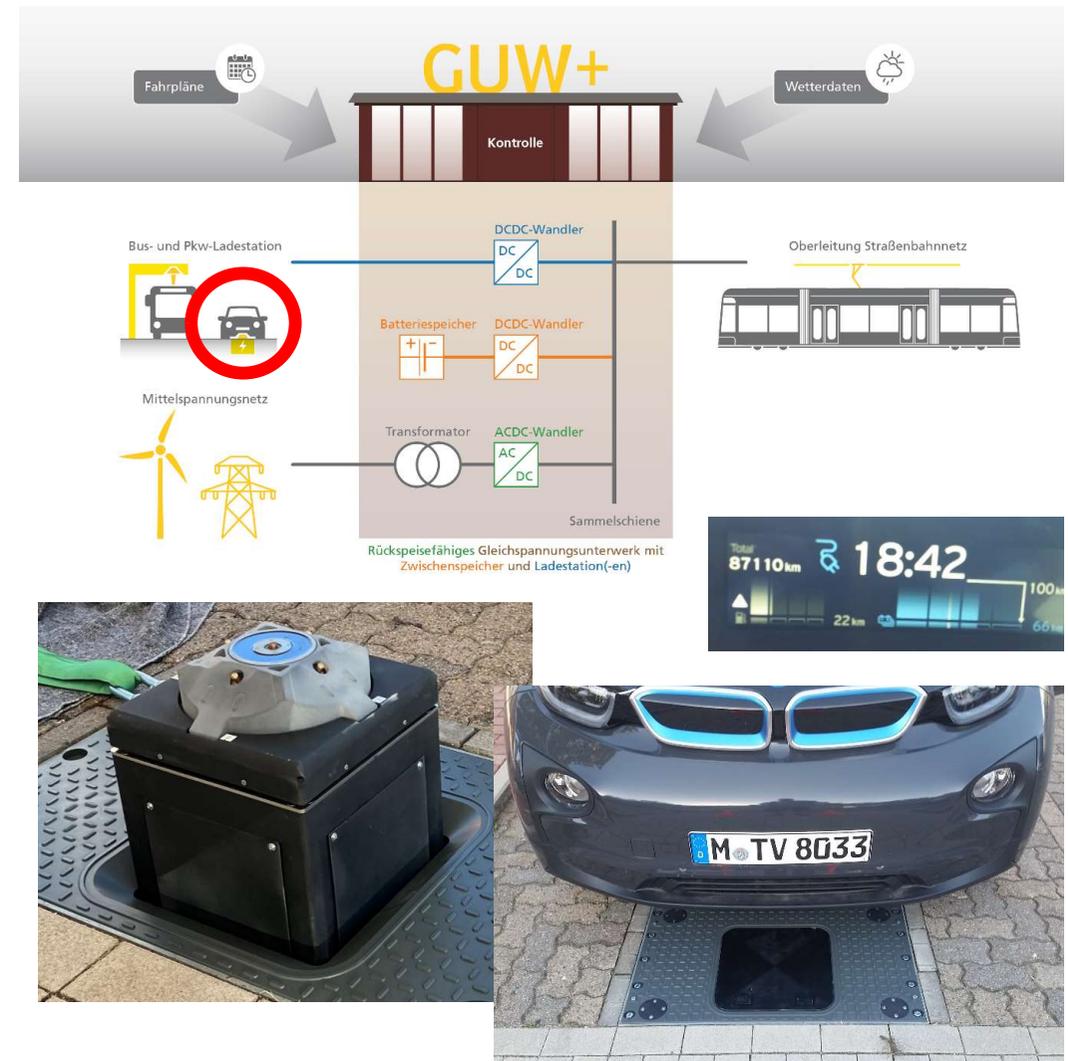


2. Motivator: DC-Anbindung „e-Mobility“ Erweiterung für Dritte



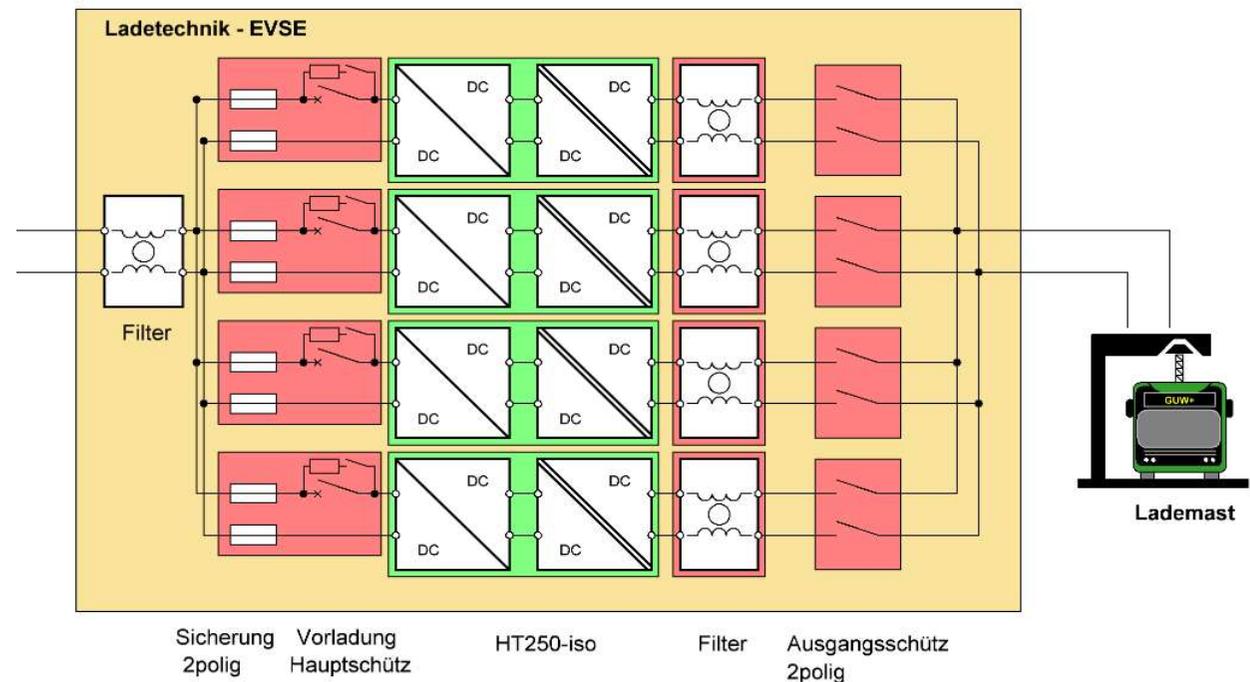
Unterboden-Kontaktsystem (UKS)

- Projektziel: Demonstration PKW-Fahrbetrieb
 - Car-Sharing-Anbieter in Hannover Bedenken aufgrund Nutzer-Laufwege
 - protec Service GmbH (e-NV 200) Kooperationsvorhaben mit NISSAN gescheitert an CHAdeMO-IP-Vorgaben
- 1. Änderung: Mittelumwidmung zur Beschaffung eines (gebrauchten) e-Golf
 - Beschaffung gescheitert (SAP-Einführung FhG)
- 2. Änderung: Umbau eines BMW i3 (Flotte FhG)



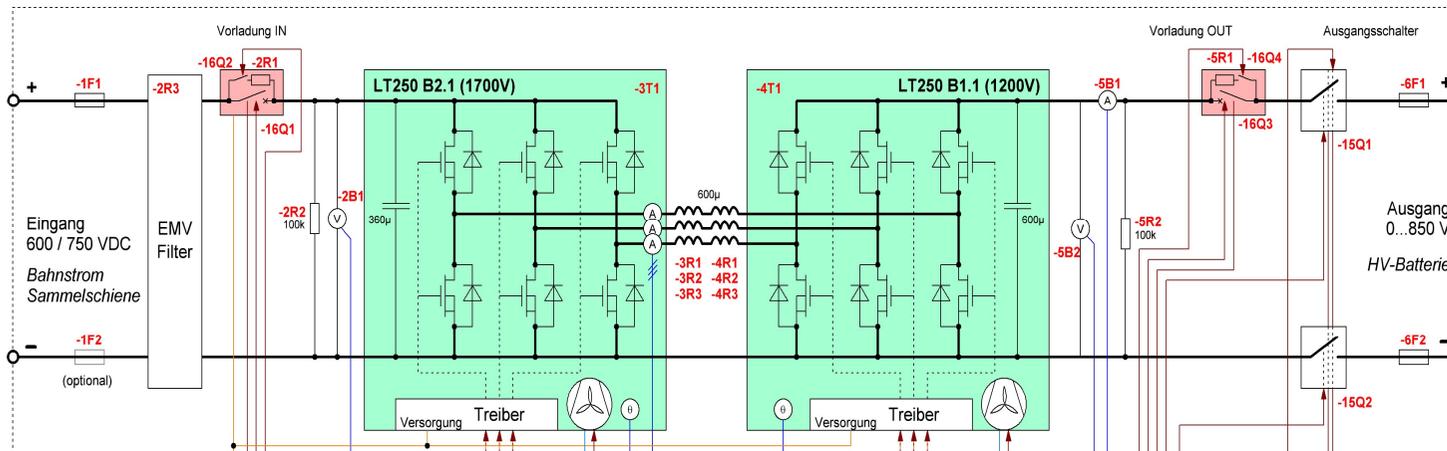
Busladekonverter

- 3 Ladestationen 300 kW, angeschlossen an der DC-Spannungsversorgung der Bahn
- Einzelkonverter 75 kW (max. 50 dBA), max. Leistung >100 kW
- Weiterbetrieb bei Fehler eines Konverters
- bisher mehr als 3000 Ladevorgänge seit 10/22, davon 1600 seit Dez. 23
- Etwa 40 Ladevorgänge/Tag mit 1600 kWh/Tag und einer durchschnittlichen Dauer von 17 min.



Batterieladekonverter

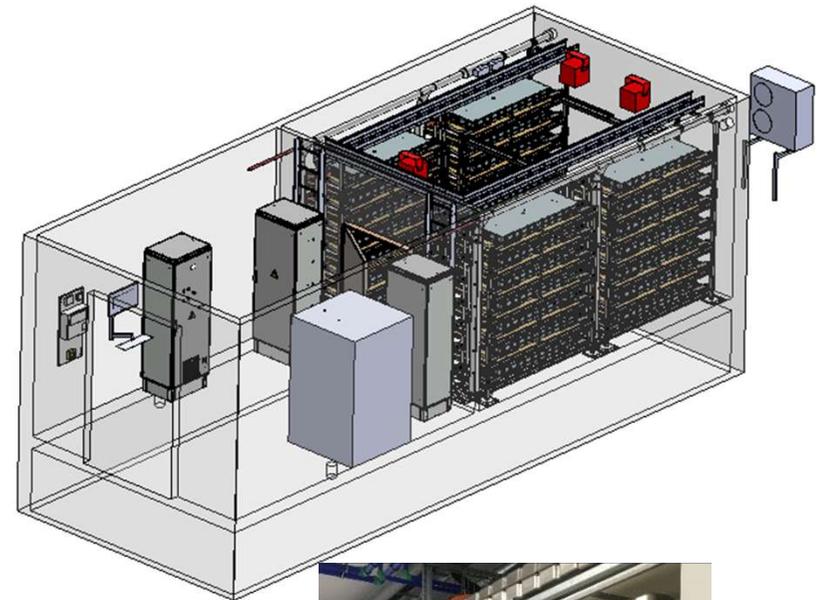
- Max. Strom 450 A
- Eingangsspannung bis 1200 V
- Bidirektionales Hoch- und Tiefsetzen
- Kommunikation mit dem BMS über den Gerätemanager



3. Motivator: Stationärer Energiespeicher Umsetzung 2nd-life Batteriespeicher

- 28 gebrauchte Traktionsbatteriemodule aus eCitaros
 - Verwendung der 15 OEM 37 PRC von Akasol
 - Aufteilung auf zwei Stränge à 14 Traktionsspeicher
 - Nennkapazität im Neuzustand: 700 kWh
 - Zugesicherte Mindestkapazität: 350 kWh*
 - Dauerstrom: 500 A
 - Spannungsbereich: 522 – 740 V
- Integration von Aerosol-Löschgeneratoren und Rauchgasabführung
- Umsetzung durch Mercedes Benz Energy

* Wiederholung der Kapazitätsmessung zur Bestimmung der tatsächlichen Kapazität steht noch aus



Zusammenfassung

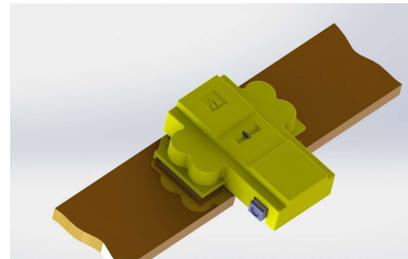
GUW+ in voller Ausprägung



Eichrechtskonforme DC-Zähler

Entwicklung und Zulieferung von Isabellenhütte

- Messung in den Trennerfeldern mit Shunts für eichrechtskonforme DC-Messung:
 - geringe Fehlertoleranz bei lastabhängiger Temperaturerhöhung!
 - Cover als mechanischer Manipulationsschutz
- Eichrechtskonformes Display
 - bidirektionale Messung, z.B. für Batterie



Zugelassen für Ladeeinrichtungen von elektrischen Fahrzeugen

- Weiterentwicklung mit Smart-Meter-Gateway für erweiterte Anwendungen:
 - cloudbasiert
 - Abrechnung von Fahrzeugen von Drittfirmen oder Privatpersonen
 - perspektivisch höhere Stromstärken

PTB
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut

KBS
Konformitätsbewertungsstelle



Baumusterprüfbescheinigung

Type-examination Certificate

Ausgestellt für: Isabellenhütte Heusler GmbH & Co KG
Issued to: Eibacher Weg 3-5
35683 Dillenburg

gemäß: Anlage 4 Modul B der Mess- und Eichverordnung vom 11.12.2014 (BGBl. I S. 2010)
In accordance with: Annex 4 Modul B of the Measures and Verification Ordinance dated 11.12.2014 (Federal Law Gazette I, p. 2010)

Geräteart: Gleichstromzähler (elektronisches Messwerk)
Type of instrument:

Typbezeichnung: IEM-DCC-500-1000...
Type designation:

Nr. der Bescheinigung: DE-17-M-PTB-0094, Revision 1
Certificate No.:

Gültig bis: 11.12.2029
Valid until:

Anzahl der Seiten: 29
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-2.3-4101728
Reference No.:

Nr. der Stelle: 0102
Body No.:

Zertifizierung: Braunschweig, 11.03.2021
Certification:

Im Auftrag: Siegel
On behalf of PTB

Dr. Christoph Leicht

Bewertung:
Evaluation:
Im Auftrag
On behalf of PTB

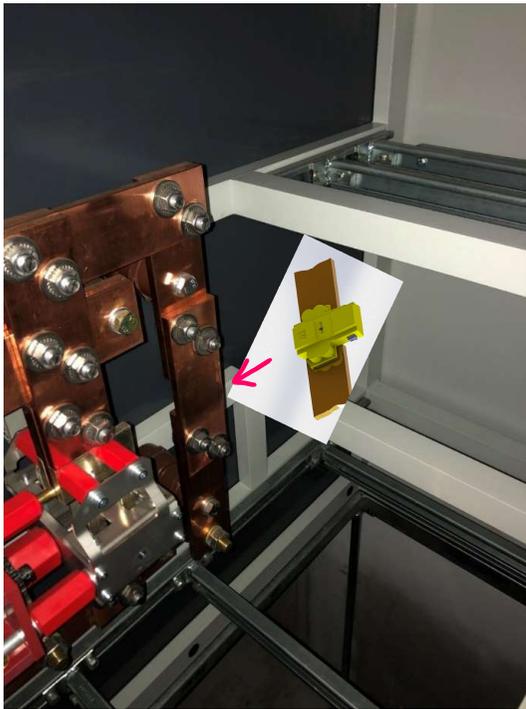
Dr. Michael Blaz

Baumusterprüfbescheinigungen ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Diese Baumusterprüfbescheinigung darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
Type-examination Certificates without signature and seal are not valid. This Type-examination Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.



Eichrechtskonforme DC-Zähler

Integration in der Anlage



Mechanische Integration der Messung mit Shunt



Zwei Zähler für Trennerfeld
Lademasten 1 und 4



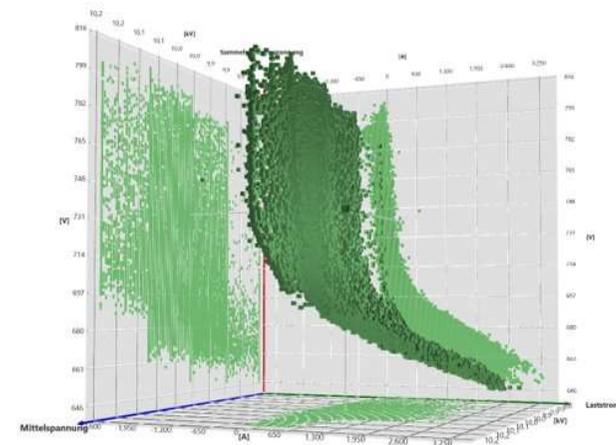
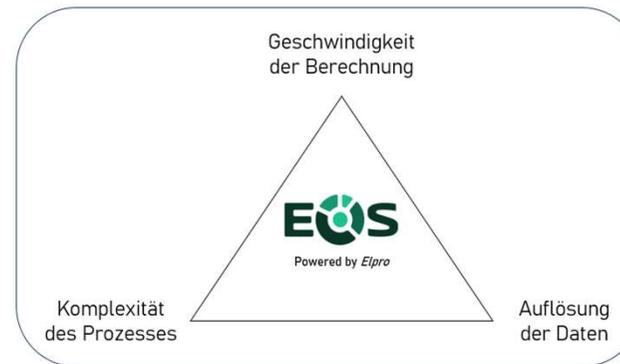
Drei Zähler für Trennerfeld
Lademasten 2, 3 und 5

Validierung der Funktionen

EOS – Software für die Prozess- und Energieoptimierung im G UW+

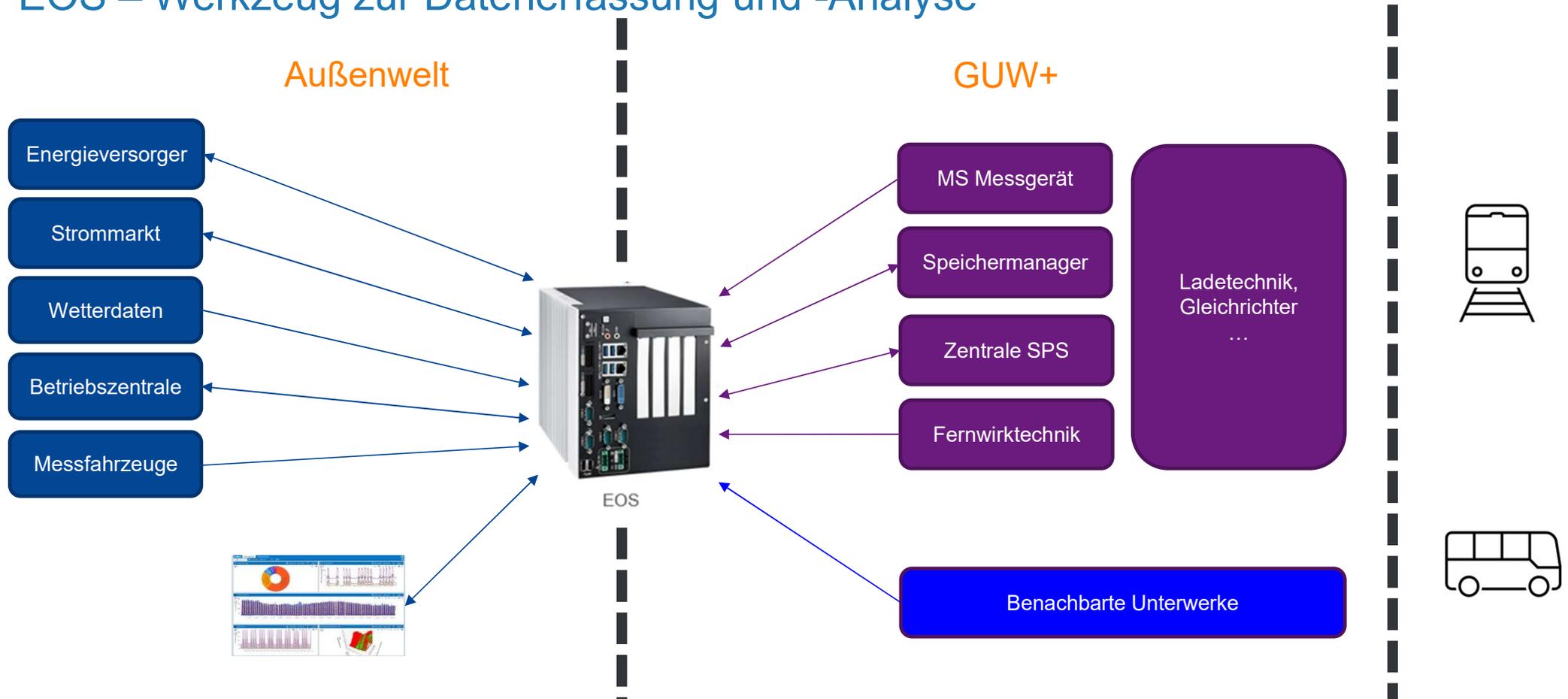
EOS-Features im G UW+:

- Lückenlose Messwertaufzeichnung
- Echtzeitanalyse von Prozessdaten
- Steuerung der Energieverteilungssysteme
- Berechnung und Visualisierung von KPIs
- Lastspitzenmanagement
- Blindleistungsregelung



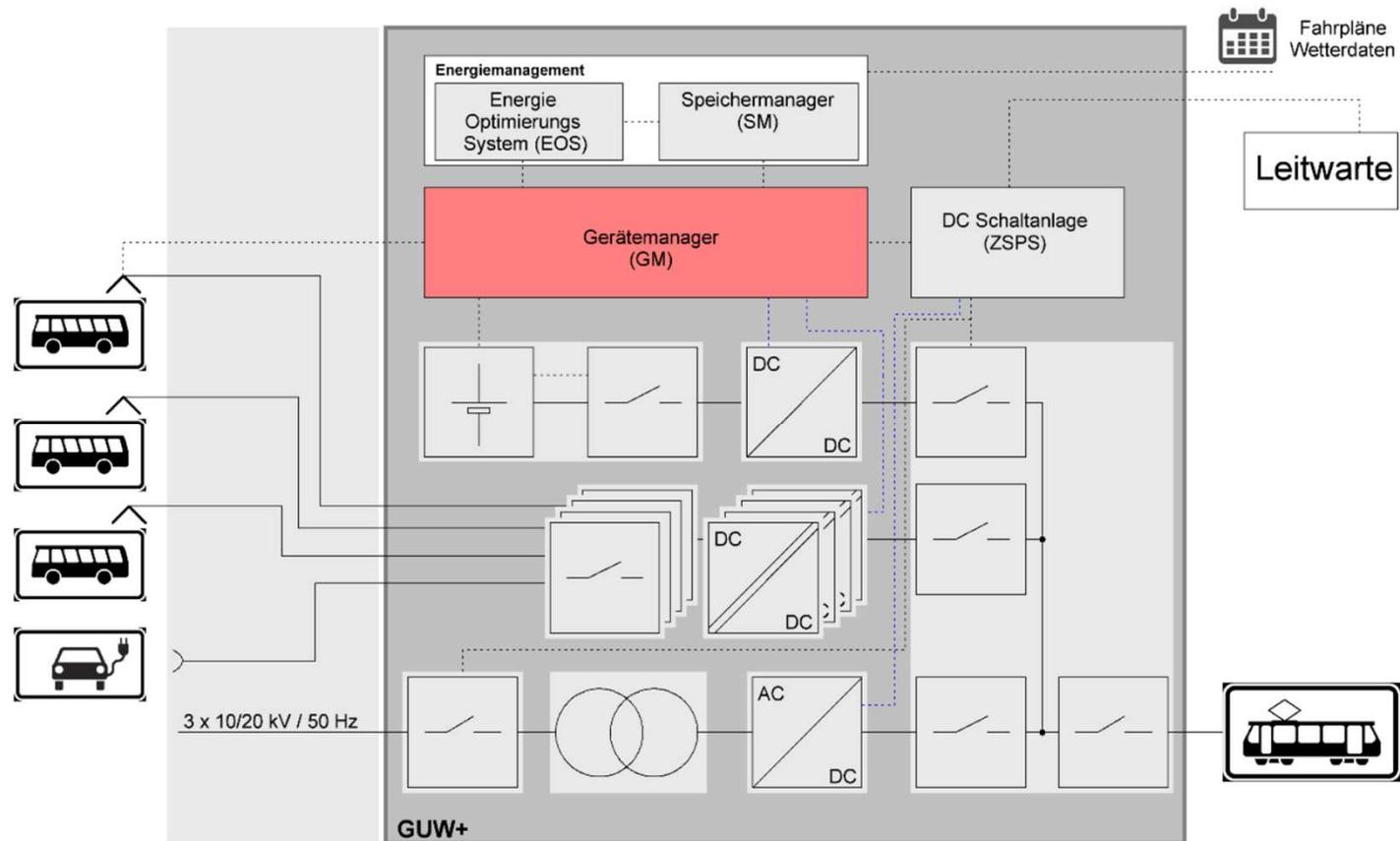
Validierung der Funktionen

EOS – Werkzeug zur Datenerfassung und -Analyse



Gerätemanager, zentraler Informationsknotenpunkt im GUV+

- Alle Konverter werden über den Gerätemanager zum Energiemanagement verbunden
- Zusätzliche Funktionen
 - Regelung der Batterieleistung
 - Blackout-Modus
- Logging der Ladeprozesse der Busladekonverter



Umsetzung am Standort Döhren

Inbetriebnahmeprozess

- Inbetriebnahme des Bahnstromteils des GUW+ gemäß BOStrab.
- Antrag nach § 60 BOStrab
- Teilinbetriebnahmen Bahnstrom nach § 62 Abs. 7 BOStrab
 1. Bahnstromversorgung des Betriebshofs Döhren über Gleichrichter
 2. Bahnstromversorgung des Streckenabschnitts Döhren über Gleichrichter
 3. Inbetriebnahme HESOP-Strang
 4. Inbetriebnahme der Batteriespeicheranlage
- Anschließend Genehmigung nach § 62 BOStrab

- Inbetriebnahme E-Bus Ladetechnik:
 1. Ladetechnik unter Spannung setzen
 2. Funktionstests mit E-Bussen zur Freigabe für den Probebetrieb
 3. Probebetrieb mit Linienverkehr und Ladetests
 4. VOB-Abnahme



Agenda

■ Erarbeitung des Pflichtenhefts

- Technische und rechtliche Grundlagen für die Projektbearbeitung
- Motivation des „Demonstrationspartners“ ÜSTRA

■ Auslegung und Umsetzung am Standort Döhren

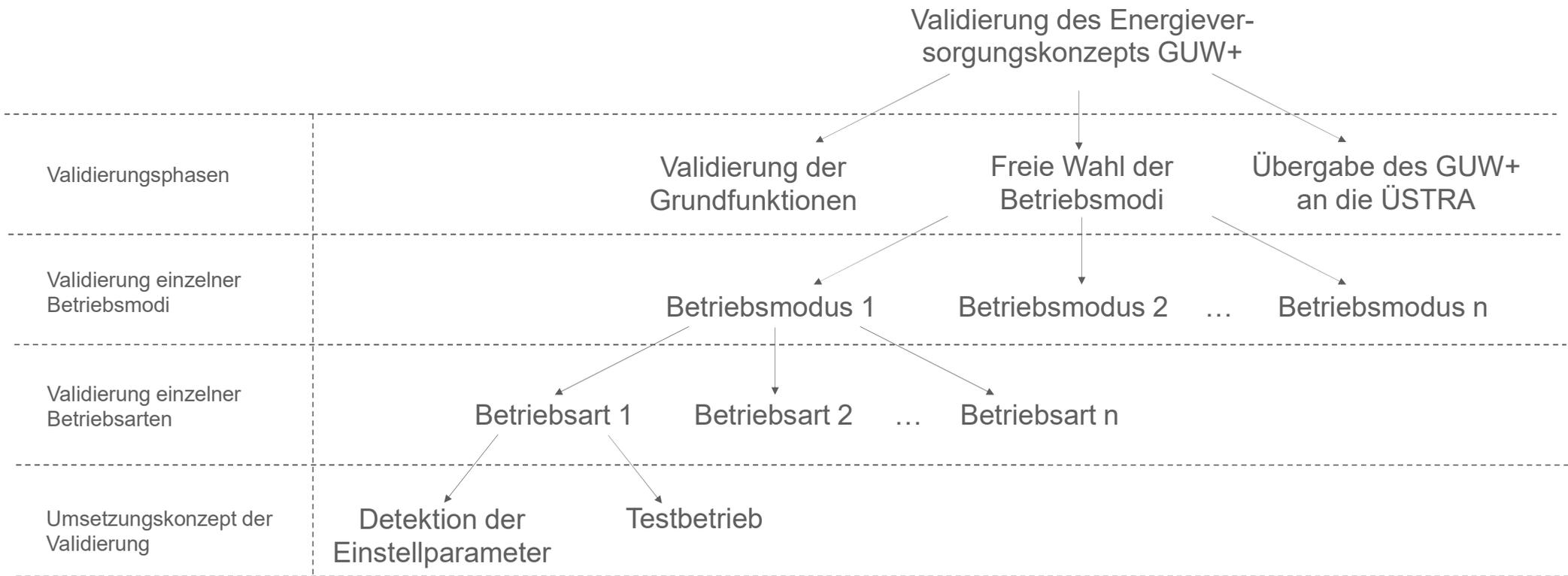
■ Funktionen im Zusammenspiel

■ Projektabschluss

- Weiterentwicklung in Hannover
- Verwertungsplan



Validierungsplanung für Betriebsmodi im Feldversuch



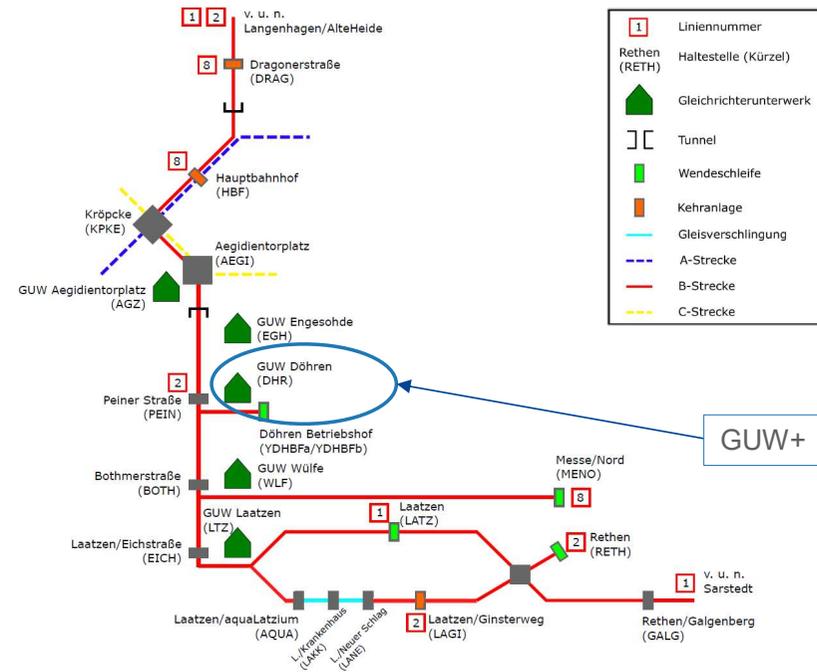
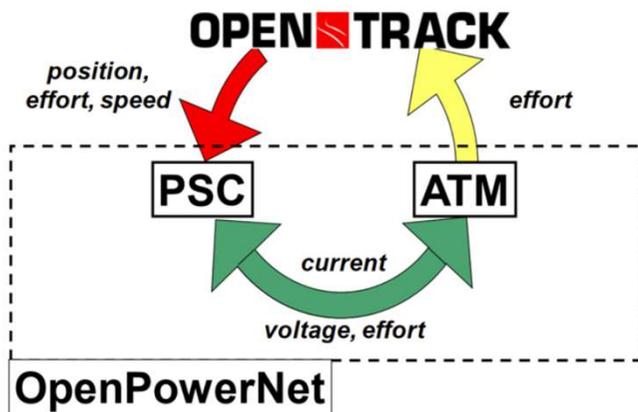
Definition von Annahmekriterien sowie Entwicklung von Ressourcen- und Zeitplänen für jede Betriebsart



Funktionen im Zusammenspiel

Umgang mit Versorgungsunterbrechungen – Simulative Voruntersuchungen

- Verwendung des Bahnbetriebssimulators **OpenTrack** in einer Co-Simulation mit dem Netzberechnungsprogramm **OpenPowerNet**:



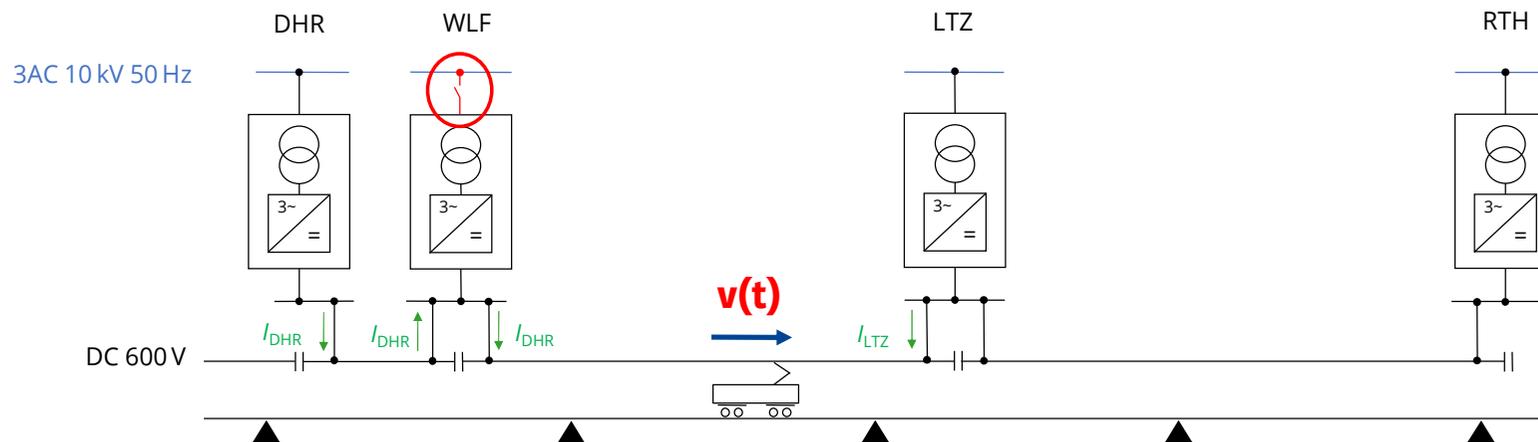
Generierung wesentlicher Erkenntnisse durch Simulation für Tests im Feld (Detektion von Einstellparametern)



GUV+ - Nutzung kommunaler Bestandsinfrastruktur für die integrierte Energieversorgung von E-Mobilität im ÖPNV.
 ALSTOM, Elpro, Fraunhofer IVI, M&P, TU Dresden, ÜSTRA:
 Projektabschlussstreifen in Hannover // 23.01.2024

Validierungsplanung für Betriebsmodi im Feldversuch, Beispiel

Betriebsmodus: Spannungsregelung, Betriebsart: Spannungsanhebung



- Annahmekriterium:
 - Fahrzeug kann, ggf. mit Leistungseinschränkungen, den Abschnitt befahren (Spannung am Stromabnehmer größer als 400V)
 - DHR bleibt am Netzanschlusspunkt in den zulässigen Grenzen
- Fahrer notwendig und Person in Schalt- und Leitwarte zur Einstellung der geforderten Testumgebung
- Durchführung in Betriebspause, um definierte Randbedingungen vorzufinden

Funktionen im Zusammenspiel

Spannungsanhebung zur N-1 Versorgung

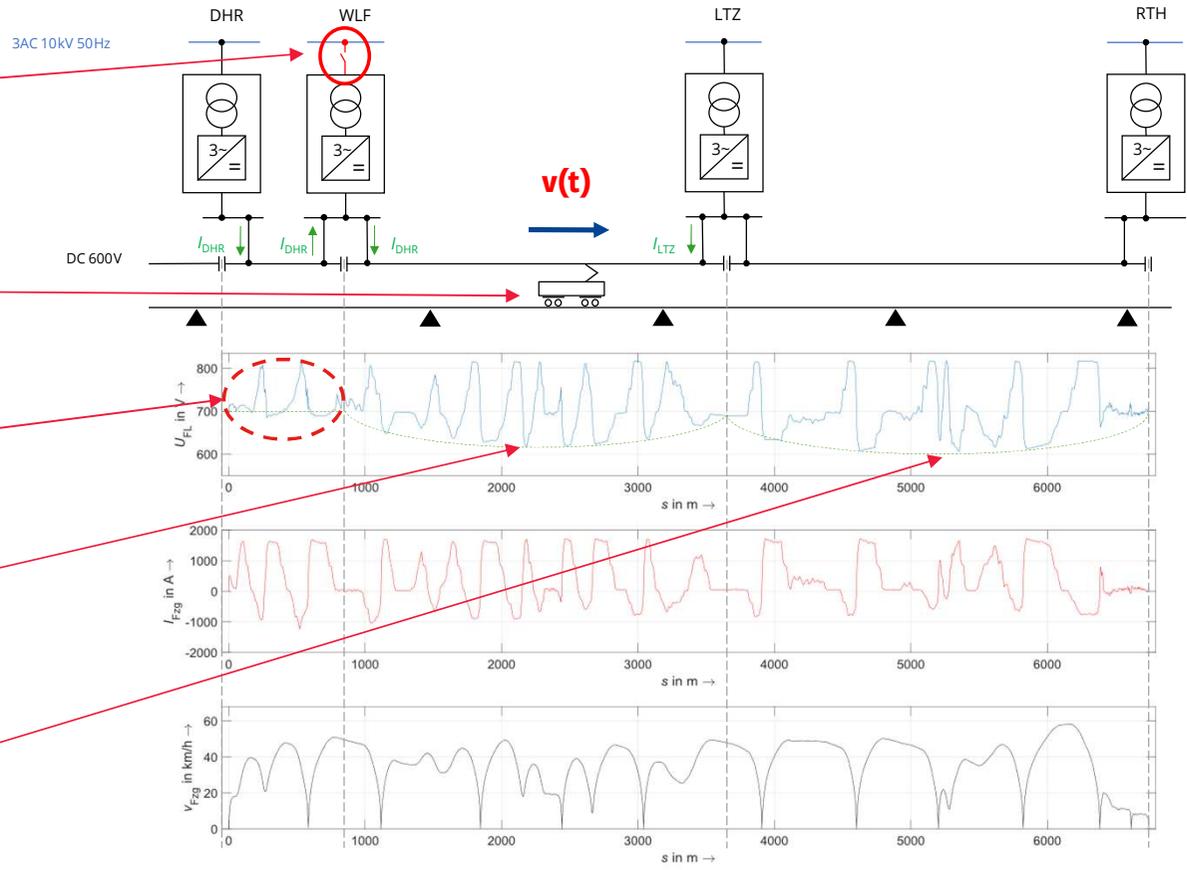
Testszenario: Freischaltung des angrenzenden Unterwerks Wüfel „WLF“ (Revision, Ausfall)

Planmäßige Fahrt einer Stadtbahn-Dreifachtraktion über den gesamten Streckenabschnitt

HESOP-Spannungsanhebung (bis 750 V) kompensiert den Spannungsfall über der Strecke

Minimalspannung am Pantographen liegt im kritischen Abschnitt deutlich über 600V !

Spannungshaltung im planmäßig von Gleichrichtern gespeisten Abschnitt ist schlechter ...



Funktionen im Zusammenspiel

Spezielle Batterie-Funktionen

Bremsenergierückgewinnung

■ Ziel:

- möglichst vollständige Zwischenspeicherung überschüssiger Bremsenergie ohne negative Beeinflussung des Energieaustausches zwischen bremsenden und beschleunigenden Bahnen

■ These:

- Ein Energiespeichersystem kann die Energieeffizienz auch bei sehr gut ausgebautem Netzzustand erhöhen (Gesamtspeicherwirkungsgrad größer als der mittlere Übertragungswirkungsgrad). Gearbeitet wird an der Quantifizierung mittels vergleichendem Energiespeichereinsatz bei gleichzeitiger Beobachtung von Fahrzeugen im betreffenden Speisebereich über einen ausreichend langen Zeitraum.

■ (gewählte) Wirkweise des im G UW integrierten stationären Energiespeichersystems:

- Energieeinspeicherung: Vorgabe Batteriesollleistung in Abhängigkeit von der Sammelschienen-Spannung.
- Energieausspeicherung: Vorgabe Batteriesollleistung in Abhängigkeit von der Summenleistung in den Streckenfeldern.
- Speichereingriff nur in einem Teilbereich des Arbeitsbereiches und mit begrenzter Leistung von 500 kW. Anteile überschüssiger Bremsenergie mit höherer Leistung können mittels HESOP ins MS-Netz zurückgespeist werden.



Funktionen im Zusammenspiel

Spezielle Batterie-Funktionen

Lastspitzenkappung

- Netzentgelt hat immer die Bestandteile Arbeitspreis (AP) für den Energiebezug und Leistungspreis (LP) für die Bereitstellung der angeforderten Leistung am Netzanschlusspunkt (NAP). Betrieb Stadtbahnnetz bedeutet kontinuierlich hohen Energiebedarf und damit Interesse an geringem Arbeitspreis (AP).
- Zusammenführung (Pooling) der Abrechnung mehrerer NAP bewirkt den Wechsel in Jahresbenutzungsdauer ≥ 2500 h (Verhältnis von Jahresenergiemenge zu Jahreslastspitze) aufgrund der dadurch erfolgenden passiven Lastspitzenkappung, Tarifmodell gekennzeichnet durch geringen AP bei hohem LP im Vergleich zu Jahresbenutzungsdauer < 2500 h.
 - gesetzliche Anforderung Pooling: interne elektrische Verbindung der NAP (hier Oberleitung oder Stromschiene)
- Beispiel: E-Bus-Ladestation(-en) mit örtlichem Bezug zu einem GUW können in den (Bestands-)Pool integriert werden.
 - Kostenvorteil durch passive Lastspitzenkappung, mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit fällt die Jahreslastspitze des Pools nicht in dieselbe Viertelstunde des Jahres wie die Jahreslastspitze des Einzelverbrauchers (hier E-Bus-Ladestation(-en))
- Gezielte Lastspitzenkappung als weitere (Kosten-)Optimierung bezieht sich auf die Beeinflussung der den LP bestimmenden Höhe der Jahreslastspitze (max. Leistungsmittelwert (15 Minuten Intervall) des laufenden Jahres), beispielsweise durch Verschiebung Ladezeitpunkte E-Bus, Eingriff Fahrzeugheizung, Energiespeichereinsatz...
- Voraussetzung: Leistungsverlauf des Pools hinreichend genau und mit ausreichender Vorlaufzeit vorhersagbar

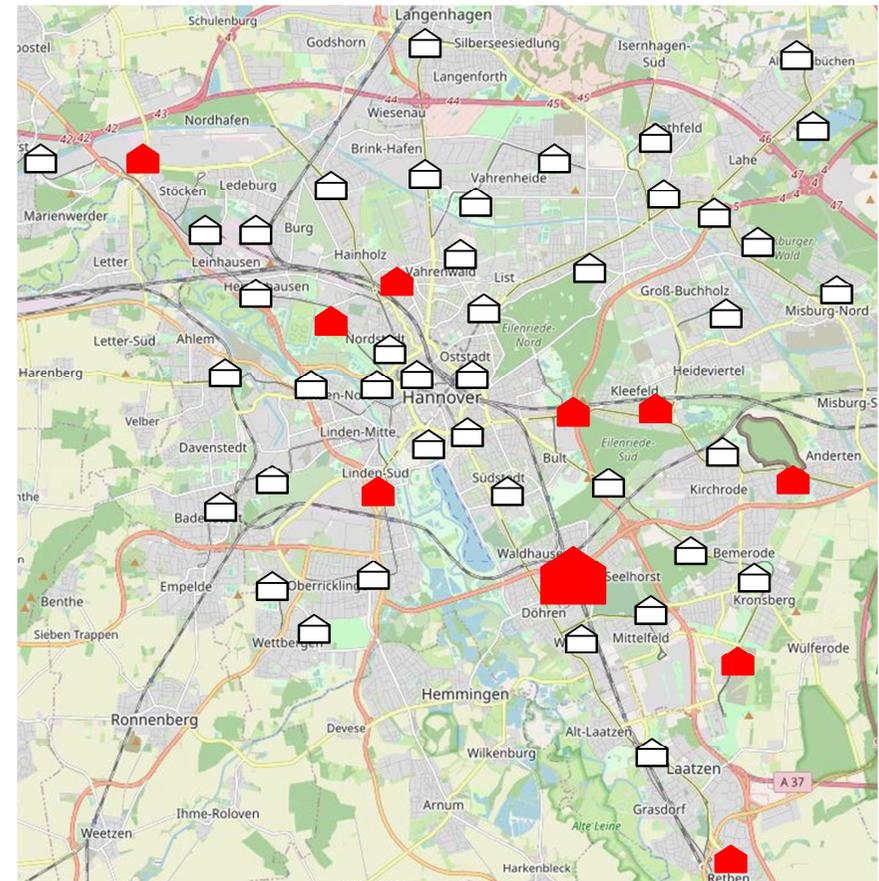


3. Motivator: 2nd-life für Busbatterien

Stationärer Speicher im G UW

Lastspitzenkappung in 3 Schritten

- 1. Schritt: Pooling der einzelnen NVP (G UW) führt zu einer Vergleichmäßigung des Lastgangs des Stadtbahnbetriebes (passive Lastspitzenkappung, „gelebte Praxis“)
- 2. Schritt: Integration von E-Bus-Ladepunkten in den Bestandspool (Erweiterte passive Lastspitzenkappung)
- 3. Schritt: Aktive Lastspitzenkappung
 - Basis 1: hinreichend genaue Prognose des Lastgangs mit ausreichender Vorlaufzeit zur Vorbereitung von Maßnahmen, Umsetzung mittels KI-Algorithmus.
 - Basis 2: Echtzeitbestimmung des Lastgangs zur gezielten Lastspitzenkappung im laufenden Betrieb, Umsetzung mittels Leistungsmessung ausgewählter NVP im Netz und Extrapolation.

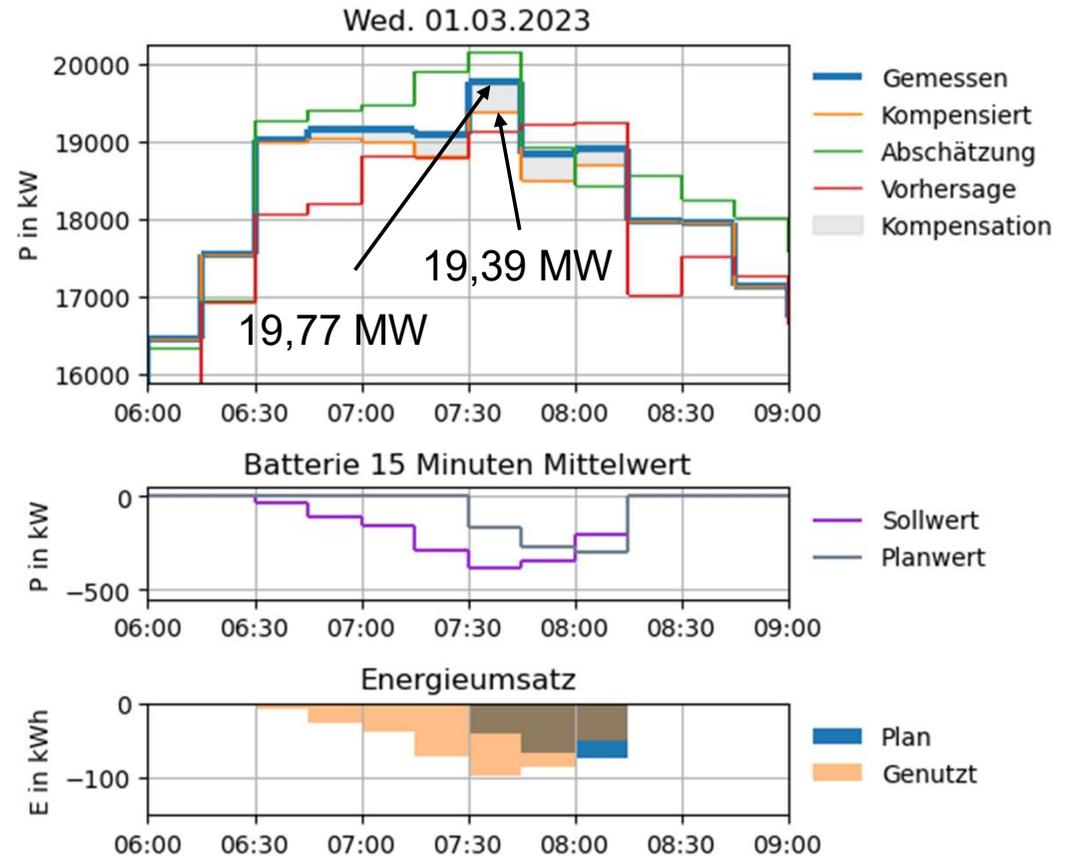


3. Motivator: 2nd-life für Busbatterien Stationärer Speicher im G UW

Aktive Lastspitzenkappung

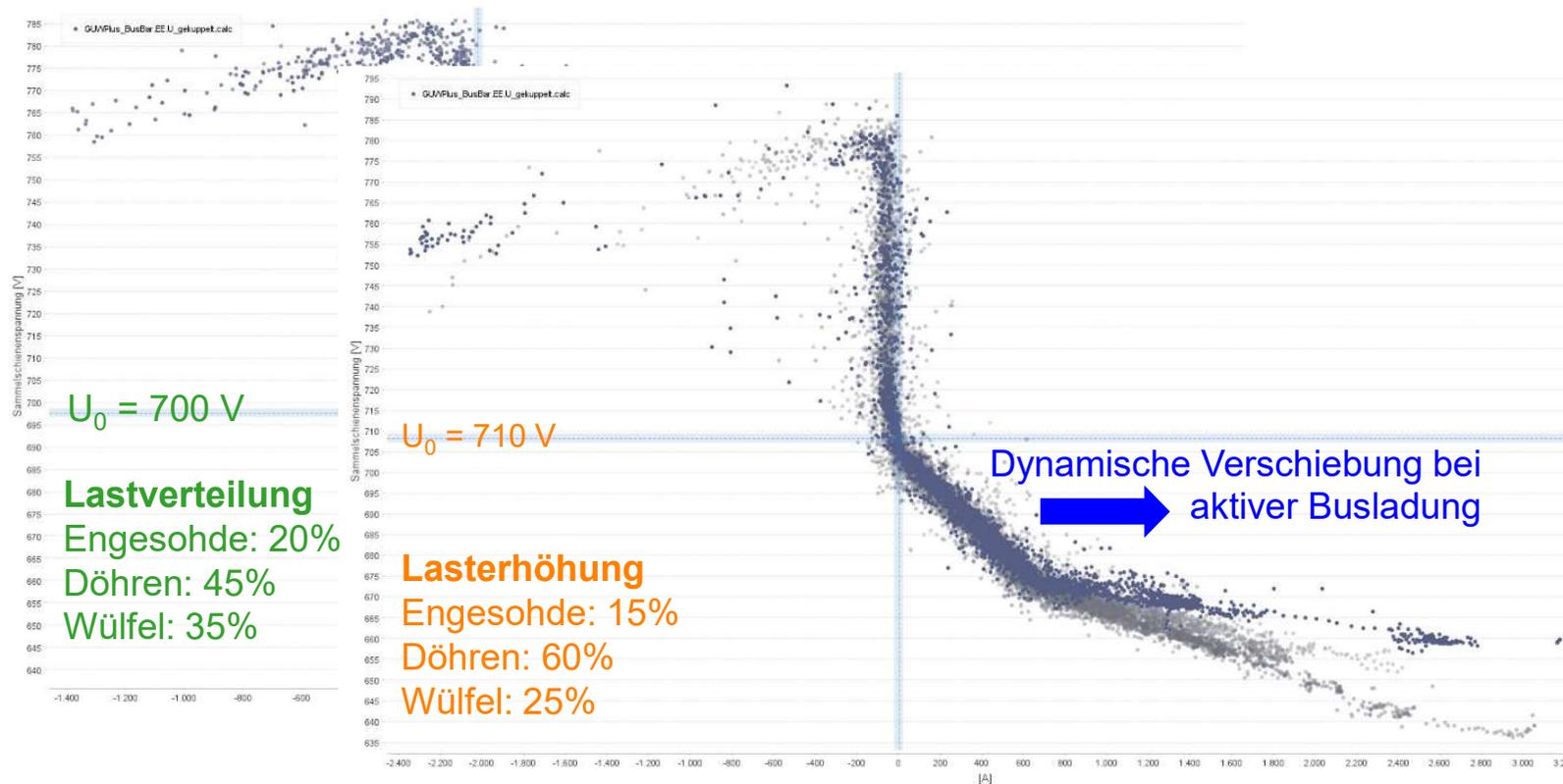
- Ab 01.01.2023 anwachsende Lastüberhöhungen und am 01.03.2023 auftretende Jahreslastspitze wurden entsprechend prognostiziert.
- Bei früherer Verfügbarkeit des Energiespeichersystems (500 kWh) hätte eine Lastspitzenabsenkung von etwa 380 kW erreicht werden können.
- Ab 11/2023 bis zum Frühjahr 2024 erfolgt die Validierung im Realbetrieb.

$$380 \text{ kW} \cdot 101 \text{ €}/(\text{kW} \cdot \text{a}) \sim 38.000 \text{ €/a}$$



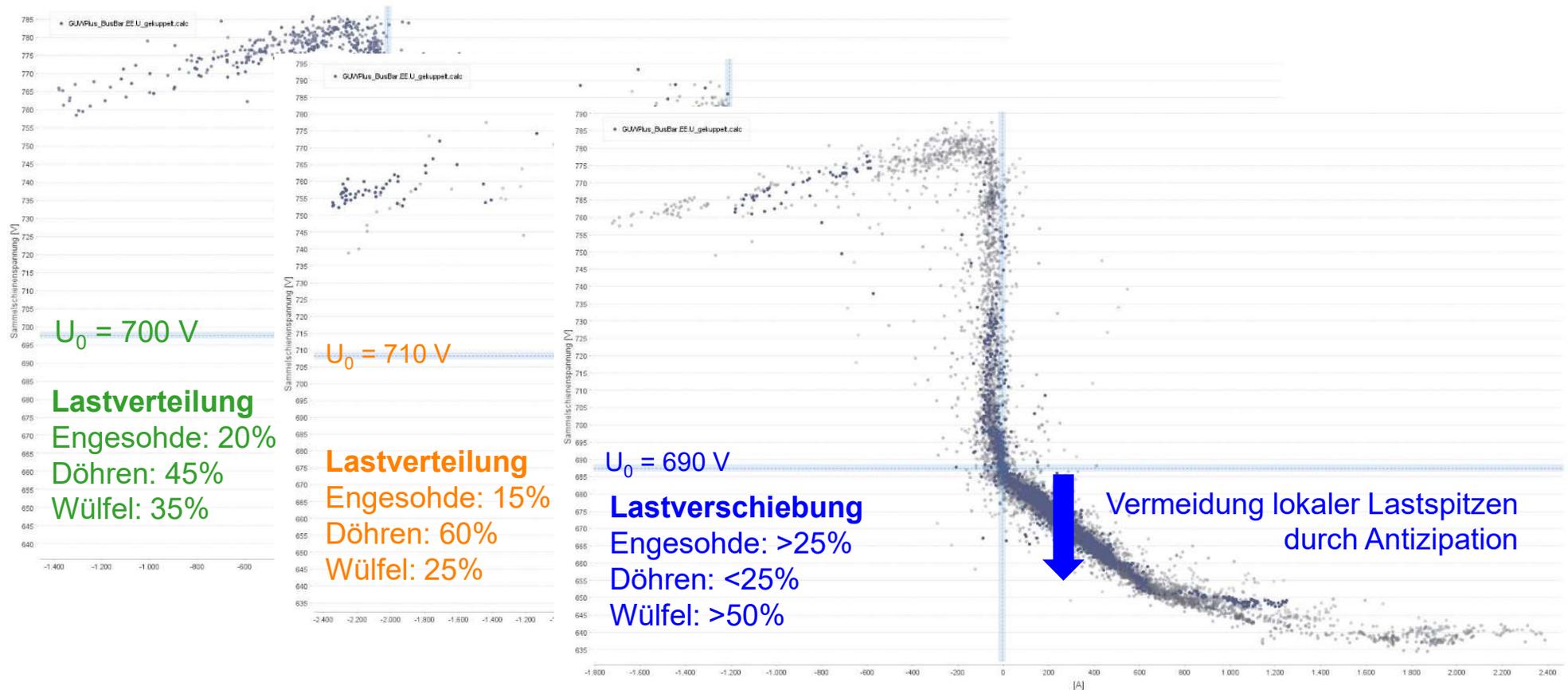
Funktionen im Zusammenspiel

Lasterhöhung mittels HESOP-Spannungsregelung



Funktionen im Zusammenspiel

Nutzung der HESOP-Spannungsregelung

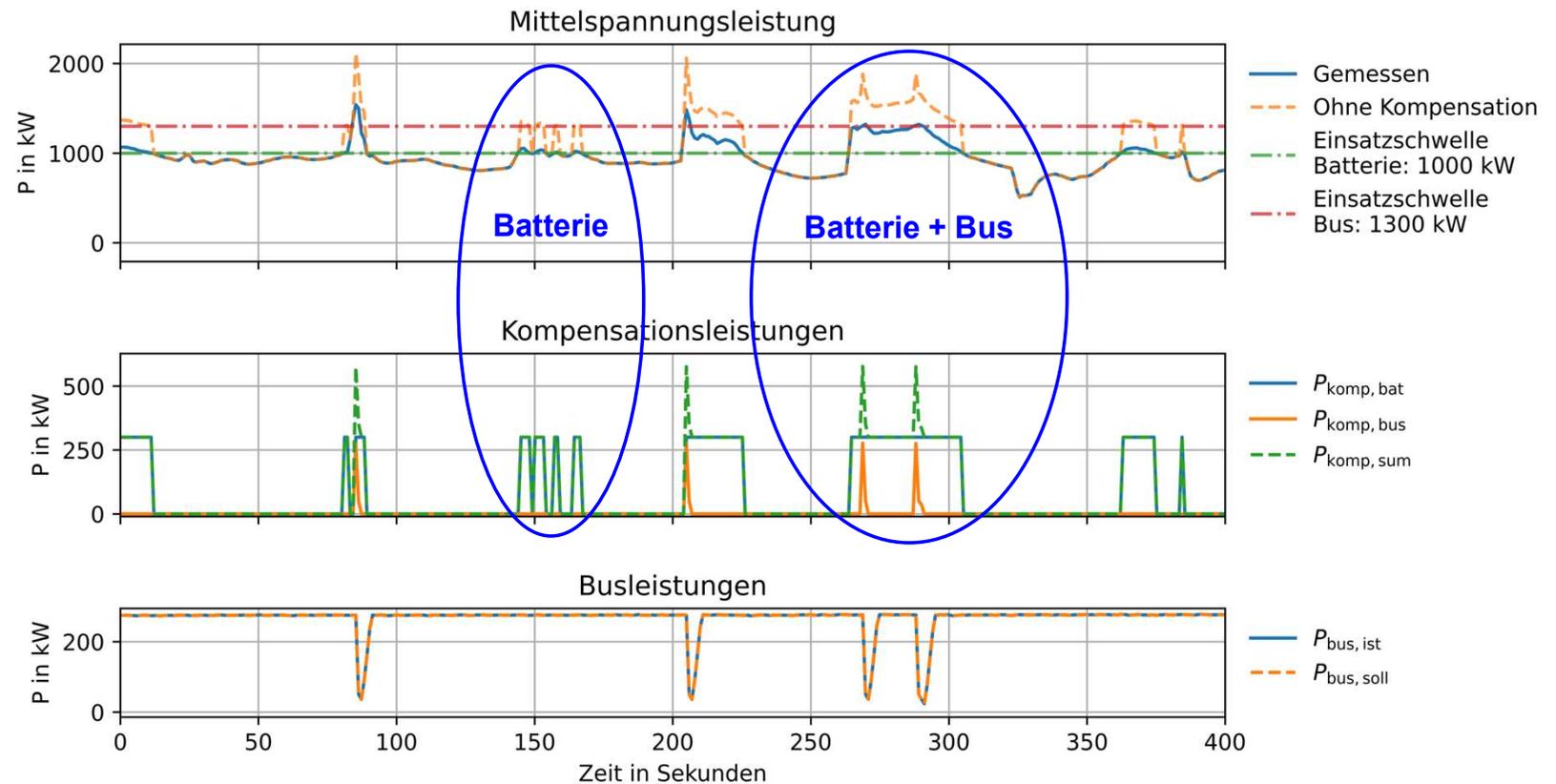


Funktionen im Zusammenspiel

Momentanleistungsbegrenzung

■ Bei Überschreitung von (einstellbaren) Leistungswerten am Netzanschlusspunkt werden stufenweise Maßnahmen zur Begrenzung eines weiteren Anstiegs ausgeführt:

- Ausspeichern von Energie aus dem Batteriesystem
- Zusätzlich kurzzeitige Abregelung der Busladung

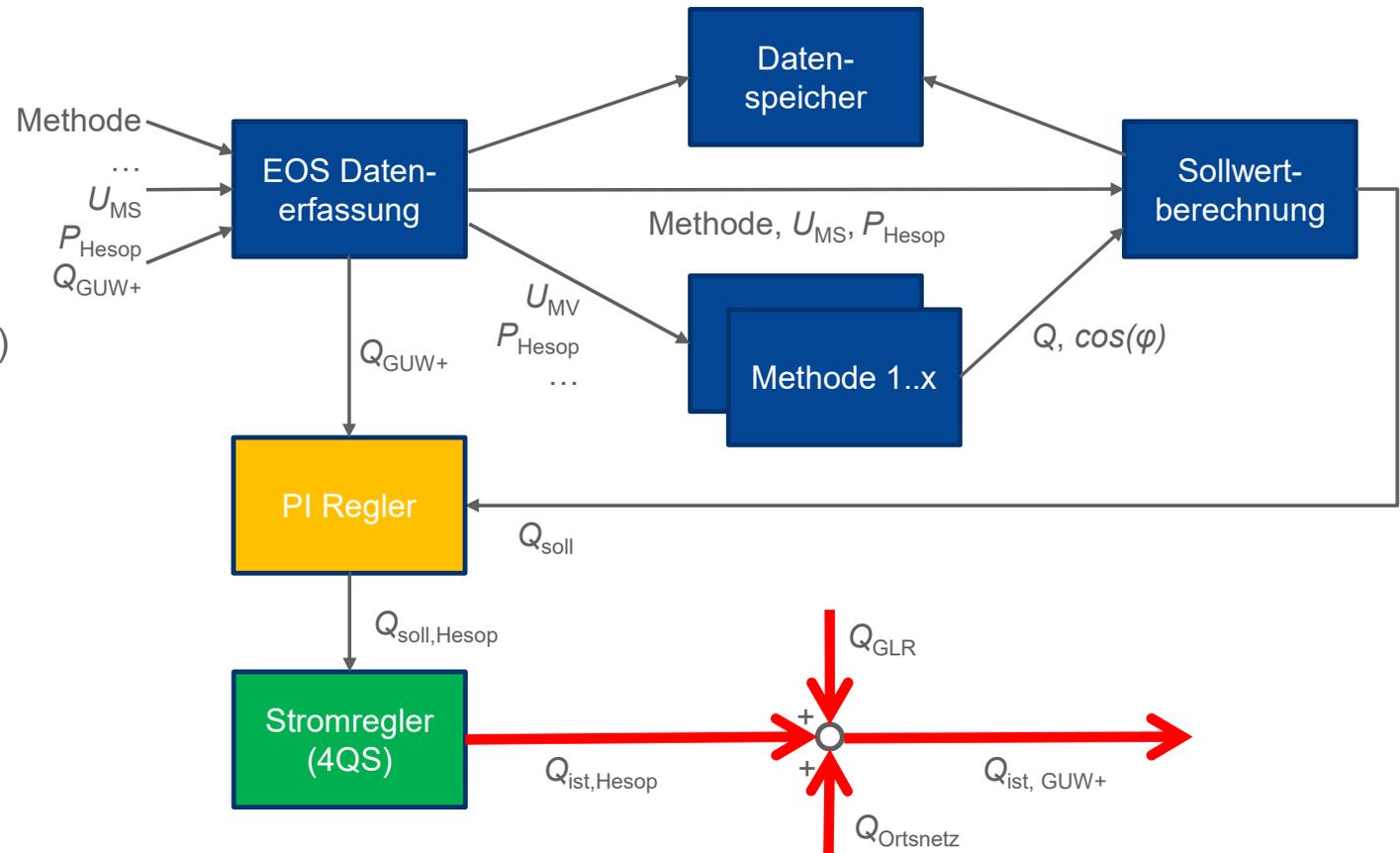


Funktionen im Zusammenspiel

Blindleistung am Netzanschlusspunkt

Aufbau der Regelung

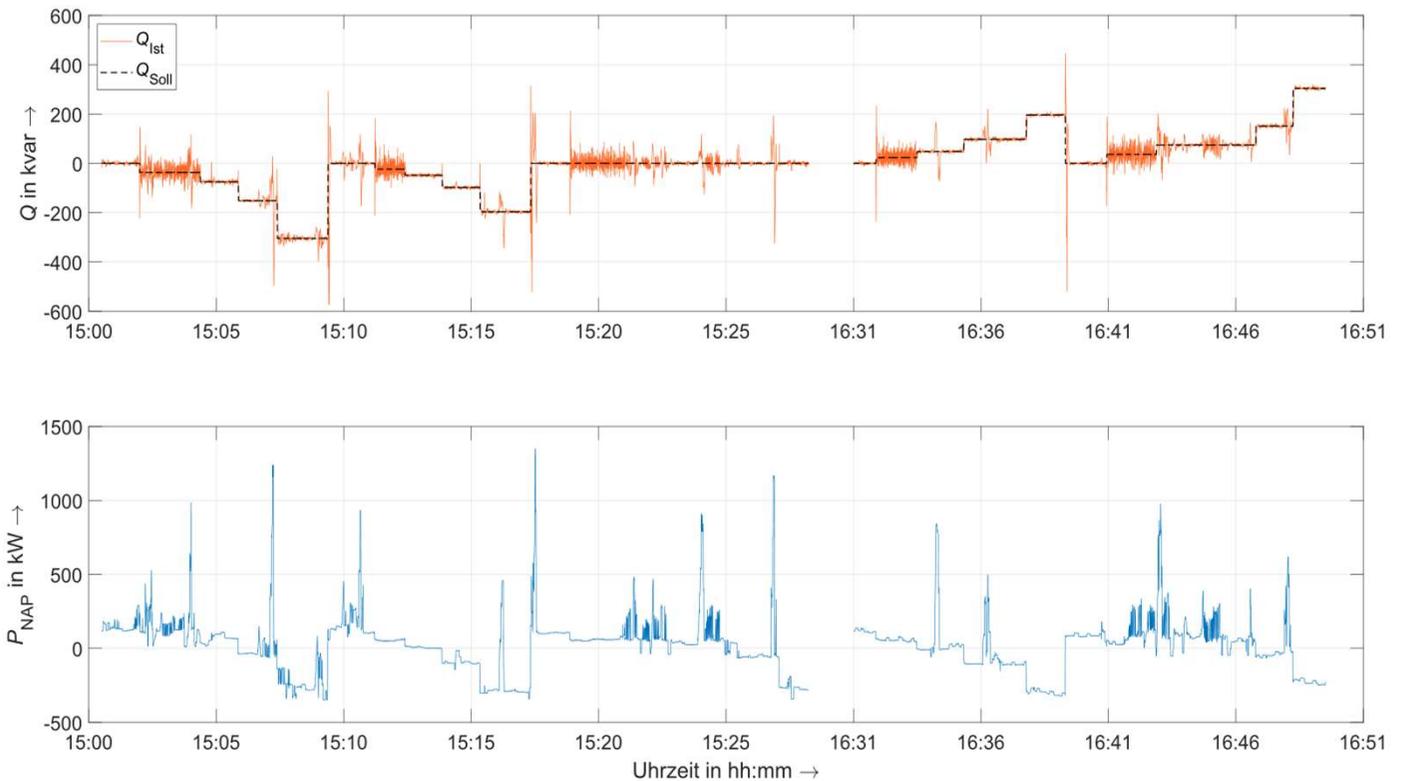
- Erbringung von Blindleistung nach spezifischer Vorgabe des Verteilnetzbetreibers bzw. entsprechend der neuen Richtlinie VDE 4110 (welche vier verschiedene Methoden vorsieht)
- HESOP kann Betrag und Phase des Netzstroms separat regeln, so dass (unabhängig von der Wirkleistung) ± 500 kvar angefordert werden können.
- Aufgrund des geschlossenen Regelkreises mit PI-Regler werden sogar die Blindleistungsbedarfe von Gleichrichter- und Ortsnetztrafo mit ausgeregelt.



Funktionen im Zusammenspiel

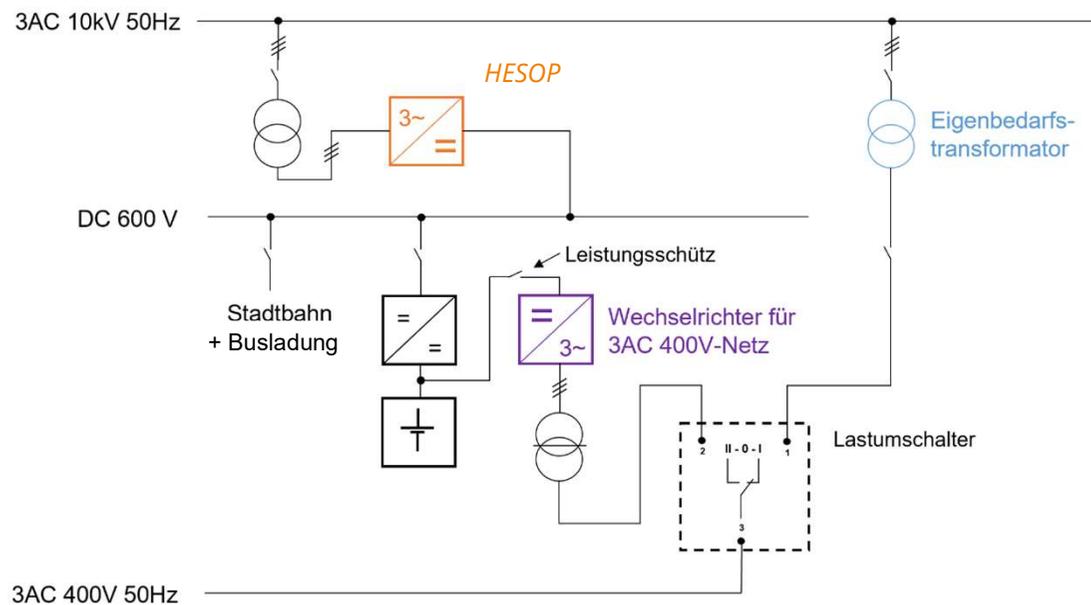
„Stromhandel“ – hier: Ausspeichern ins Verteilnetz (Einspeisung)

- Nach VDE 4110 kann der Netzbetreiber verschiedene Verfahren zur Netzstützung vorgeben – hier: konstanter Leistungsfaktor.
- Eingestellte Parameter für Test:
 - $\cos(\varphi) = [0,8_{\text{kap}} ; 0,9_{\text{kap}} ; 1,0 ; 0,9_{\text{ind}} ; 0,8_{\text{ind}}]$
 - $P_{\text{ES}} = [0; 50; 100; 200; 400]$ kW
- Die Sollwertberechnung ist korrekt und präzise.
- Die Istwerte werden stationär genau angeregt; bei Transienten am NAP oder niedriger Einspeisewirkleistung (50 kW) treten größere Schwankungen auf.



Funktionen im Zusammenspiel

Umgang mit Versorgungsunterbrechungen – Generelle Vorbetrachtungen



Erkenntnis 1:

Im Falle eines Blackouts und somit der Notwendigkeit aus dem Speicher den Stadtbahnbetrieb kurzzeitig aufrecht zu erhalten, muss auch die Niederspannungsebene versorgt werden, damit die Kühlung und andere essentielle Unterwerksfunktionen sichergestellt werden können.

Es ist ein zusätzlicher Blackout-Wechselrichter notwendig, der aus dem Energiespeicher 230/400 V aufbaut.

Erkenntnis 2:

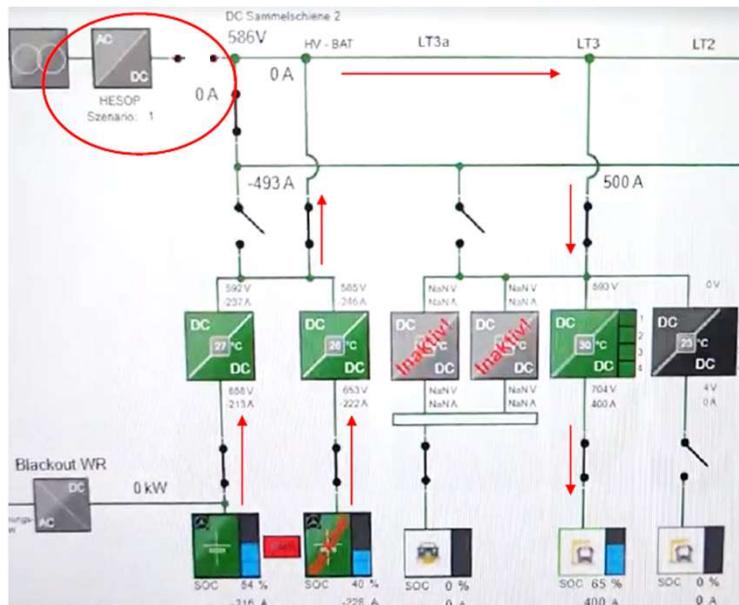
Um den Leistungsbedarf auf der Niederspannungsebene gering zu halten, muss eine Unterscheidung zwischen relevanten und nicht-relevanten Verbrauchern für den Blackout-Betrieb vorgenommen werden.

Vorgesehen ist ein einfacher Lasttrennschalter, der lediglich relevante Verbraucher weiter speist.

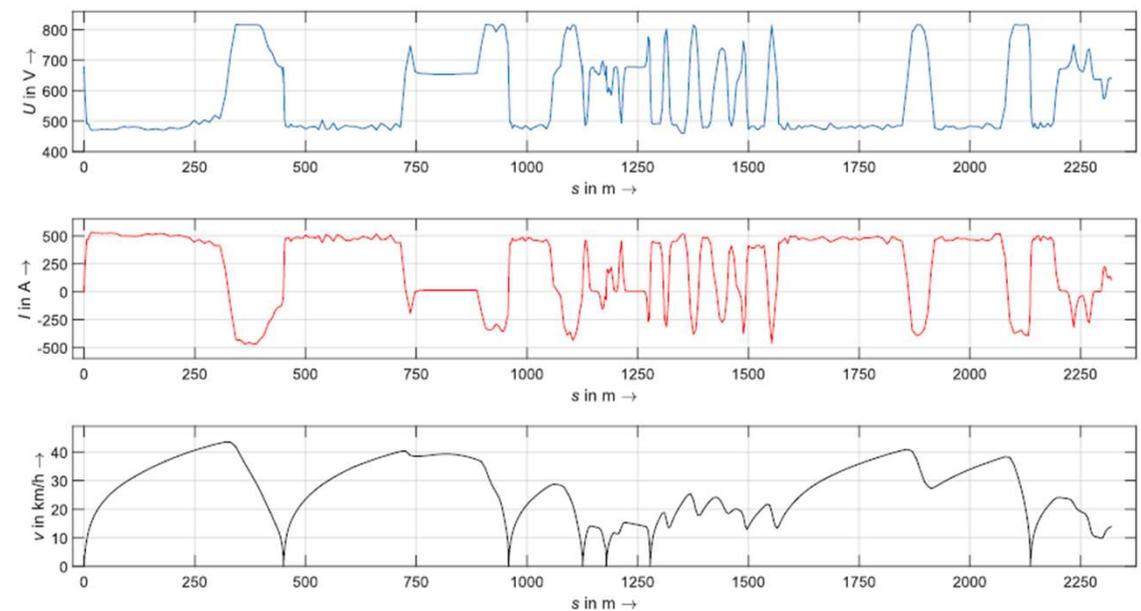
Funktionen im Zusammenspiel

Umgang mit Versorgungsunterbrechungen

E-Bus-Ladung während „Blackout“



Bahnfahrt während „Blackout“



Agenda

■ Erarbeitung des Pflichtenhefts

- Technische und rechtliche Grundlagen für die Projektbearbeitung
- Motivation des „Demonstrationspartners“ ÜSTRA

■ Auslegung und Umsetzung am Standort Döhren

■ Funktionen im Zusammenspiel

■ Projektabschluss

- Weiterentwicklung in Hannover
- Verwertungsplan



Wie geht es weiter?

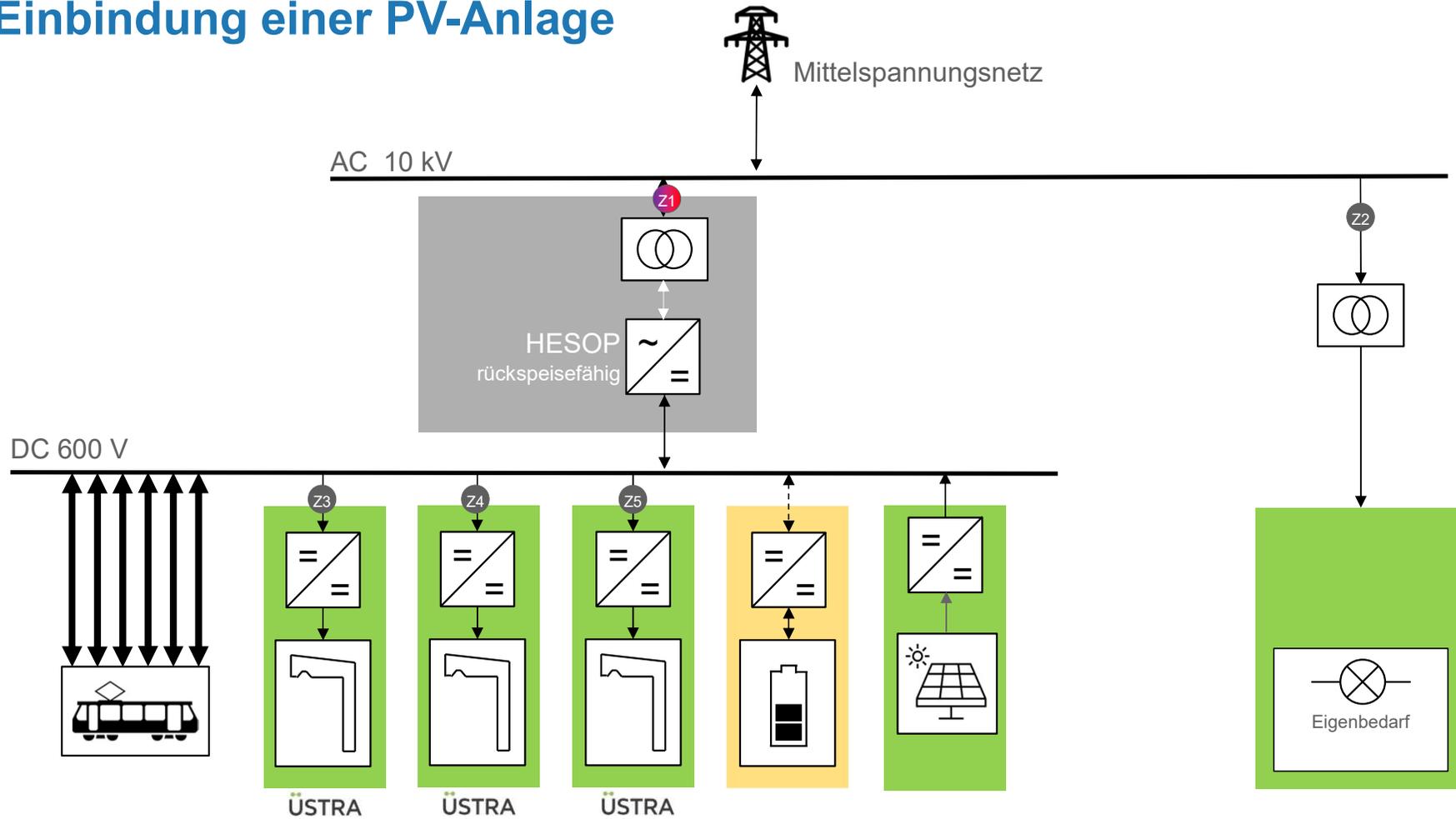
Nächste Schritte

Ideenpool der ÜSTRA

- kurzfristig:
 - Volle Aufnahme des Linienbetriebs der 128 und 134
 - Integration einer PV auf dem Dach des GUW+ Gebäudes (DC-Anbindung)
- mittelfristig:
 - Verknüpfung der Lastspitzenkappung-Prädiktion mit dem zentralen E-Bus-Lademanagement
 - Erweiterung der Ladetechnik für weitere Linien
 - Bestückung 2. Batterieraum mit „eigenen“ 2nd-life-Batterien
 - Erbringung von Regelleistung im Pool mit enercity-Speicherkraftwerk
- weitere Standorte:
 - Untersuchung des Potenzials an weiteren Standorten
 - Betrachtung der Randbedingungen im gesamten ÜSTRA-Netz



DC-Einbindung einer PV-Anlage

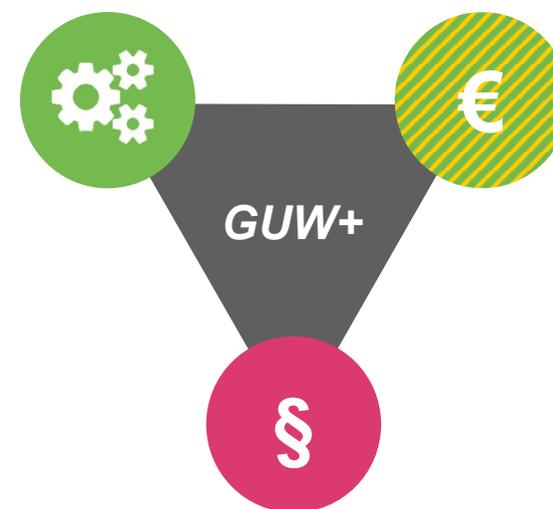


Innovatives Energieversorgungskonzept G UW+

Fazit: G UW+ kann die E-Mobilität und damit die Phase 2 der Energiewende voranbringen

In allen drei Achsen wurden große Teile des Weges zurückgelegt :

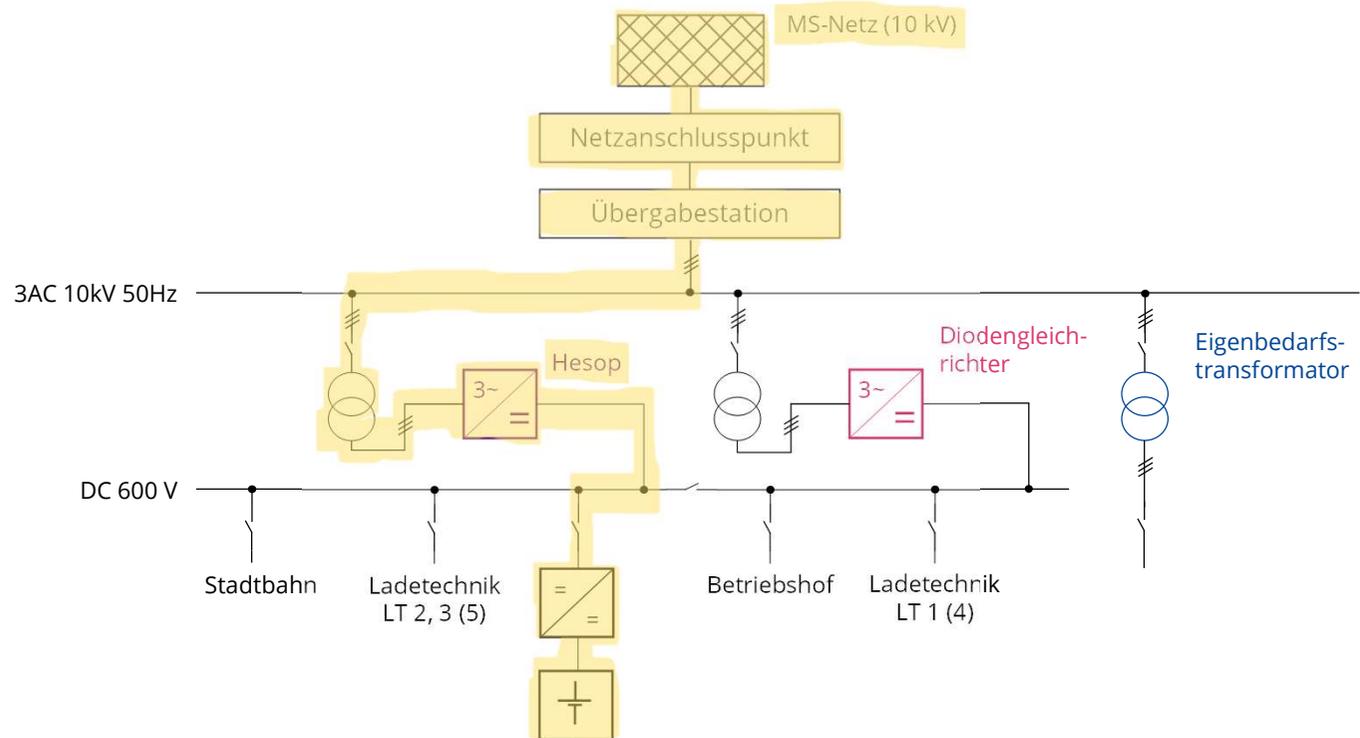
- Passende Komponenten sind am Markt verfügbar und wurden erfolgreich „systemintegriert“.
 - Bahnstromversorgung > 5 GWh
 - NetZRückspeisung ~ 100 MWh
 - Busladung > 100 MWh
 - Speichernutzung (Lade-/Entladezeit) > 1.500 h
- Relevante Amortisationspfade sind vorhanden und robust, sofern die örtlichen und betrieblichen Parameter ein positives Ergebnis liefern.
- Aufgrund tiefgehender Abstimmung mit vielen Stellen sind die (energie-)rechtlichen Risiken deutlich reduziert worden. Allerdings erscheinen die formale Präqualifizierung für den Regelleistungsmarkt als auch die Zertifizierung nach VDE 4110 architekturbedingt schwer erreichbar.



Akzeptanz der Sonderfunktionen

Technische Stellungnahme hinsichtlich VDE-AR-N 4110

- Erzeugungsanlagen nach VDE 4110 müssen definiertes Verhalten am Netzanschlusspunkt aufweisen
→ Rekuperation der Stadtbahn explizit ausgenommen
- Strengere Vorgaben seit 2018 aufgrund steigender Anzahl dezentraler Erzeuger
→ Netzqualität in definierten Grenzen sicherstellen
- GUW+ kann aus betrieblichen, technischen und sicherheitskritischen Gründen nicht alle Vorgaben erfüllen, z. B. Netzsicherheitsmanagement, dynamische Netzstützung usw.
- Zusammenfassung und Erläuterung im Kontext VDE 4110 in technischer Stellungnahme in Zusammenarbeit mit Zertifizierungsstelle TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG



Zusammenfassung

Welchen ökonomischen Nutzen weist das G UW+ auf?

- Das Grundkonzept des G UW+ bleibt weiterhin der verknüpfte Betrieb von Stadtbahn und elektrisch angetriebenen Bussen
- Integration des Energiespeichers im Rahmen eines Batterienachnutzungskonzeptes
 - Der Speicher wird aus gealterten Energiespeichern der E-Busse des Verkehrsbetriebes aufgebaut
 - positiver Effekt auch für Fahrzeughersteller
- Funktionsumfang G UW+
 - optimierter Betrieb durch aktive Spannungsregelung, Vermeidung zu hoher Momentanleistungsspitzen sowie die temporäre Aufrechterhaltung des Betriebs im Blackout
 - Ausschöpfung wirtschaftlicher Potenziale durch die vollständige Nutzung der rekuperierten Bremsenergie, die Kappung der Jahreslastspitze und die Teilnahme am Stromhandel
 - Möglichkeit zur Erbringung von Netzdienstleistungen durch die Blindleistungserbringung / -kompensation sowie die Bereitstellung von Primärregelleistung

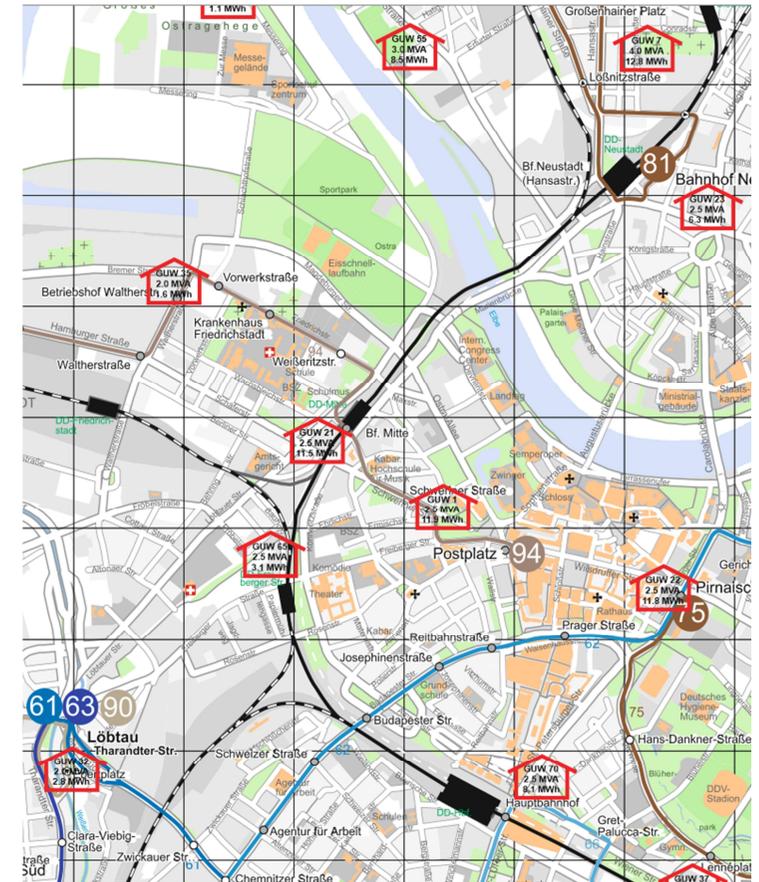


Wie geht es weiter?

Standortbewertung

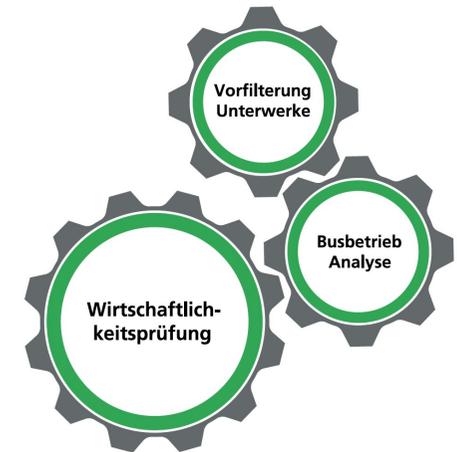
Zweistufiges Verfahren

- Stufe 1: Standortidentifikation - Einfache Standortbewertung (z.B. für alle GUV einer Stadt / eines Pools)
 - vereinfachte Betrachtung der E-Buslinien (Batterienutzungskonzept - BNK)
 - Identifikation von GUV mit prinzipieller Eignung für GUV+
 - Benötigte Ladeinfrastruktur und Lade-Lastprofile für E-Buslinienendpunkte
 - Untersuchung der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für GUV mit prinzipieller Eignung
- Stufe 2: Standortauslegung - Detaillierte Standortbewertung (z.B. für vom VU ausgewählte GUV aus Stufe 1)
 - detaillierte Betrachtung der betreffenden E-Buslinien (BNK)
 - Komponentendimensionierung (Leistungselektronik, Speichersystem)
 - Detaillierte Untersuchung der wirtschaftlichen Erfolgsaussicht für das untersuchte GUV

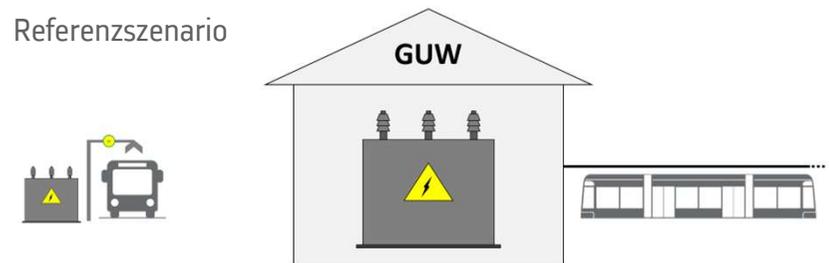


Standortbewertung Methodik

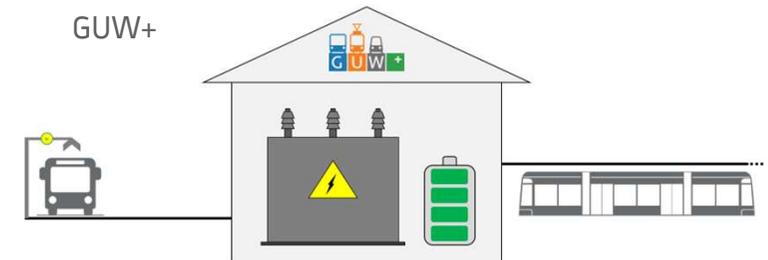
- Vorfilterung der Unterwerke
 - Örtlicher Bezug zu E-Buslinienendpunkt(en) (Zuordnung Buslinienendpunkte zu Unterwerk)
 - Prüfung Modernisierungszeitraum und Anschlussreserve
- Batterienutzungskonzept
 - Energie- und Leistungsbedarfe an Linienendpunkt(-en)
 - Notwendige Ladeinfrastruktur (Leistung und Gleichzeitigkeit)
 - Zeitpunkt für Beginn 2nd-life der Busbatterien (Depotbetrachtung)
- Wirtschaftlichkeitsprüfung
 - notwendige Zusatzaufwendungen bei Aufrüstung zu G UW+ während anstehender Modernisierung
 - Abschätzung Einsparungen und Erlöse im Vergleich zum Referenzszenario



Referenzszenario



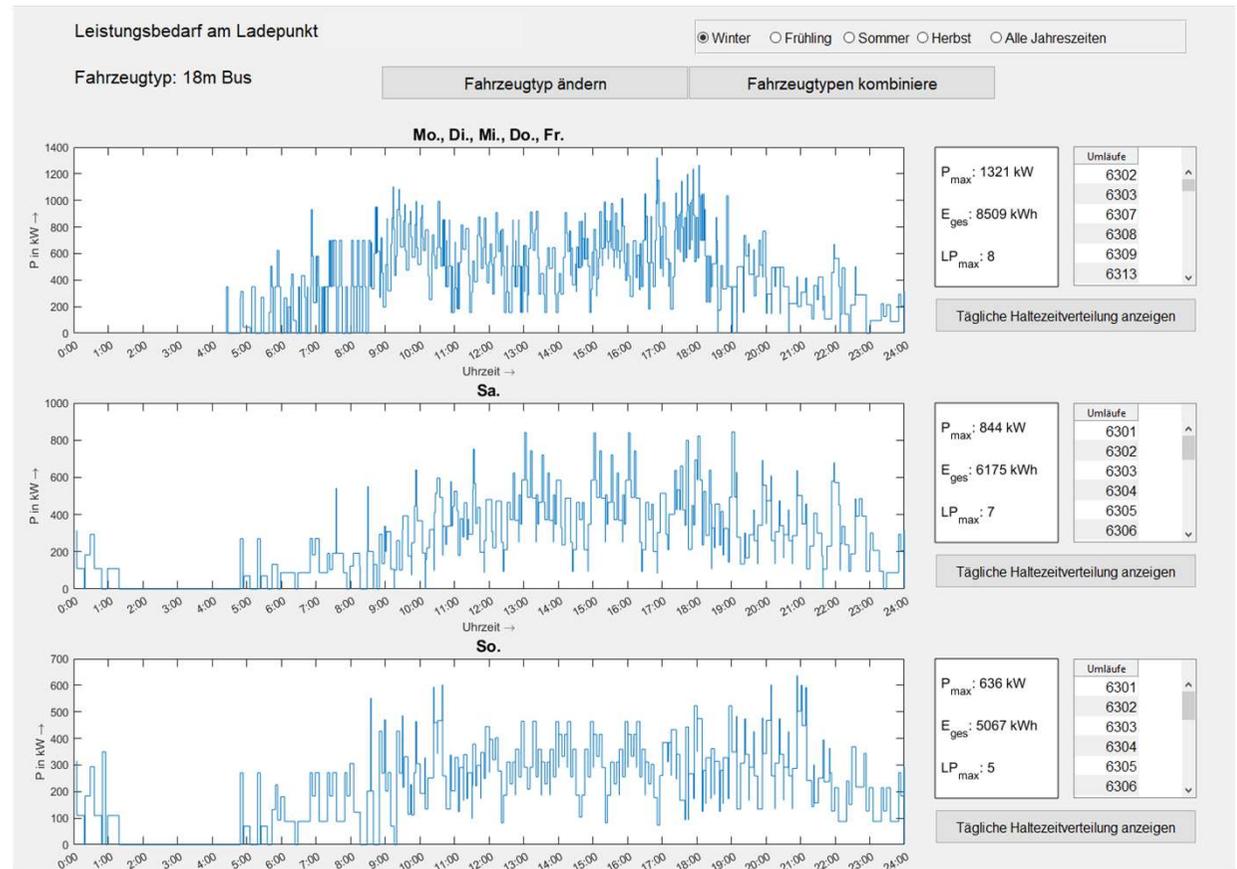
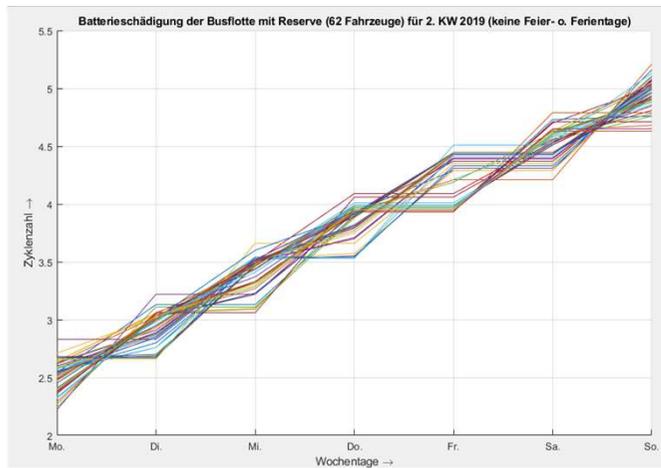
G UW+



Standortbewertung

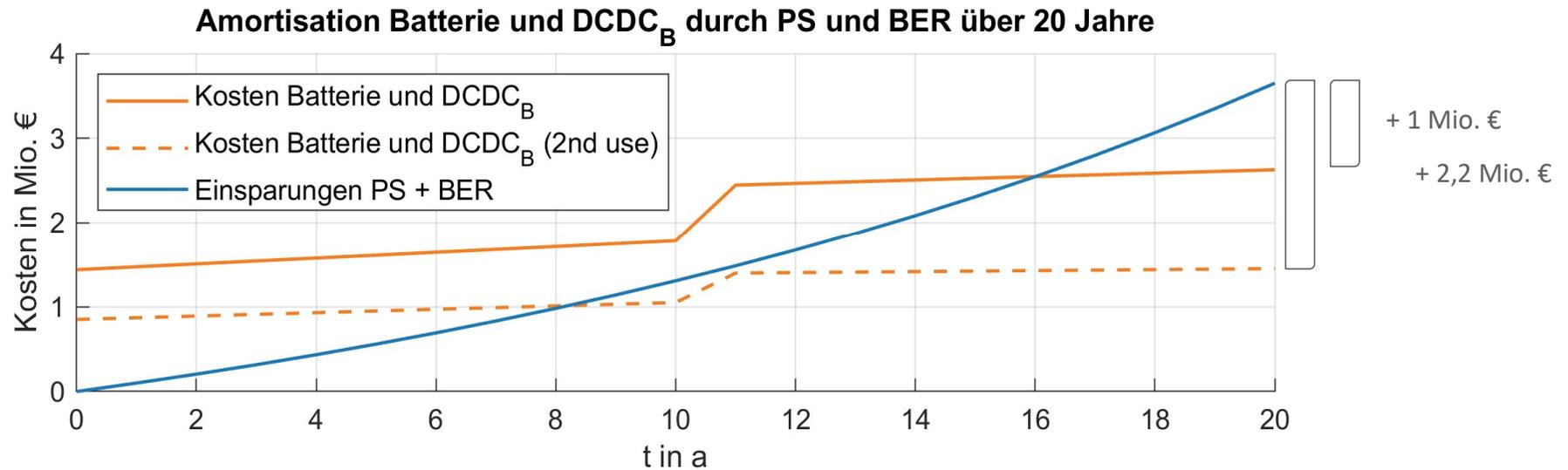
Ergebnisse Batterienutzungskonzept

- Buslinienendpunkt(-e)
 - Lastprofile Busladung
- 2nd-life Speicher
 - Prognose Wechselzeitpunkte Busbatterien



Standortbewertung

Wirtschaftliche Erfolgsaussicht Batteriespeichersystem



- Kapazität 2nd-life-Speicher so gewählt, das ein Austausch über Betrachtungszeitraum von 20 Jahren erfolgt
- Amortisation Batteriespeichersystem: aktive Lastspitzenkappung und (Standortabhängig) Bremsenergierückgewinnung

Wie geht es weiter?

Nächste Schritte

Ideenpool von ALSTOM

■ Digitalisierung der Energiewende:

- Messungen in drei Unterwerken brachten neue Erkenntnisse zum Energiefluss zwischen Gleichrichter-Unterwerken
- Ausweiten der Messungen auf ein gesamtes Gleichspannungsnetz braucht **Innovationen bei der Datenerfassung**
- Neue Methoden zur **Verarbeitung großer Datenmengen** erforderlich

■ Technologieorientierte Systemanalyse:

- **Erweiterte Modellierung von Lastflüssen im Energiesystem** für die urbane E-Mobilität
- Vergleich zwischen unterschiedlichen Netzen, um generische und spezifische Einflussgrößen zu identifizieren und bezüglich Signifikanz zu bewerten
- **Transparenz und Dokumentation der Modelle**, insbesondere bei Verwendung von KI-Algorithmen

■ Internationalisierung des GUW+-Konzeptes

■ Förderung von GUW+ 2.0

im Energieforschungsprogramm „Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung“?





Das GUV+ stellt ein integratives Verkehrskonzept dar, das Vorteile im Betrieb bringen und die Umstellung von Diesel- auf Elektrobusse wirtschaftlich gestalten kann.

www.guvplus.de

