

ERKENNTNISSE AUS DEM FORSCHUNGSPROJEKT „BATTERIESTABIL“



J. Marchgraber, C. Alács, G. Lettner, W. Gawlik, P. Jonke, M. Wurm, R. Lechner, R. Igelspacher, G. Wailzer, W. Vitovec

- Projekt „BatterieSTABIL“: Bau und Beforschung eines Batteriespeichersystems mit verschiedenen Funktionen:
 - Primärregelleistungserbringung
 - Ladezustandsmanagement
 - Virtuelle Schwungmasse
 - Statische Spannungshaltung
 - Fault Ride Through (FRT)/Dynamische Netzstützung
 - Inselbetrieb



Ein Projekt mit TU Wien und AIT

Inhalt:

- Bau und Installation der Demonstrationsanlage
- Funktionsdefinition und Simulationen
- Labortests und Inbetriebnahme
- Controller Hardware-in-the-loop- (CHIL-) Versuche
- Feldversuche
- Dauerbetrieb

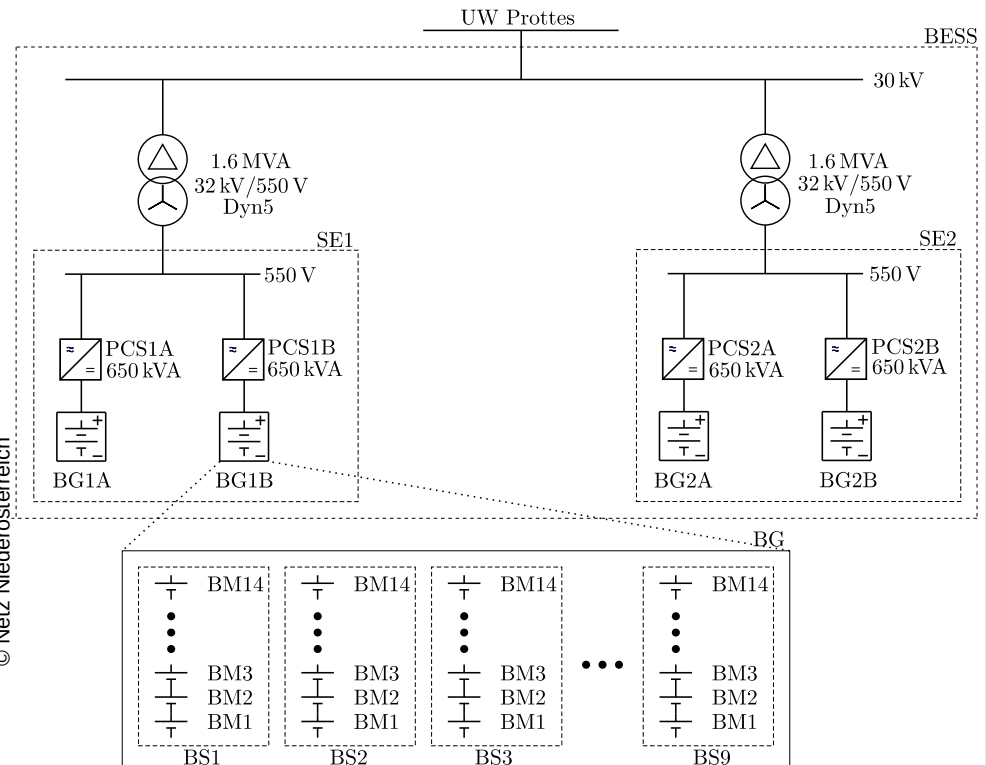
Technische Daten:

- Nennleistung: 2,5 MVA
- Speichervermögen (10a): 2,2 MWh
- Batteriezellen: Li-Ionen (NMC)
- 2 parallele „Speichereinheiten (SE)“
- 4 Umrichter (Power Conversion System (PCS))
- Einhausung in 2x40' + 2x20' ISO-Container



Batteriecontainer, Steuerungscontainer, Trafostation

© Netz Niederösterreich



- Primärregelleistungserbringung/Frequency Containment Reserve (FCR)
 - Hauptfunktion der Anlage
 - Berücksichtigung regulatorischer Vorgaben (EU/national)

 SO GL: COMMISSION REGULATION (EU) 2017/1485 → “FCR providing units with limited energy reservoir (LER-units)” → Article 154(2) “FCR additional properties”:

- Mindestanforderung zur Auslegung eines Batteriespeichers hinsichtlich Leistung und Energieinhalt (Stichwort “30-Minuten-Kriterium”)
- Berücksichtigung des angewandten Ladezustandsmanagements; in Deutschland gilt:

$$E_{min} = X_{FCR} \cdot 2 \cdot \left(T_{Krit} + \max \left(\frac{100mHz}{200mHz} \cdot 0.25h, \frac{50mHz}{200mHz} \cdot T_{anm} \right) \right)$$

X_{FCR} ... präqualifizierte Primärregelleistung

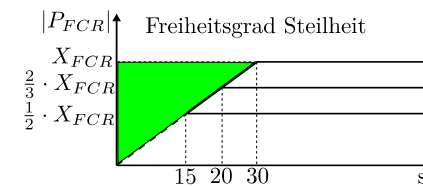
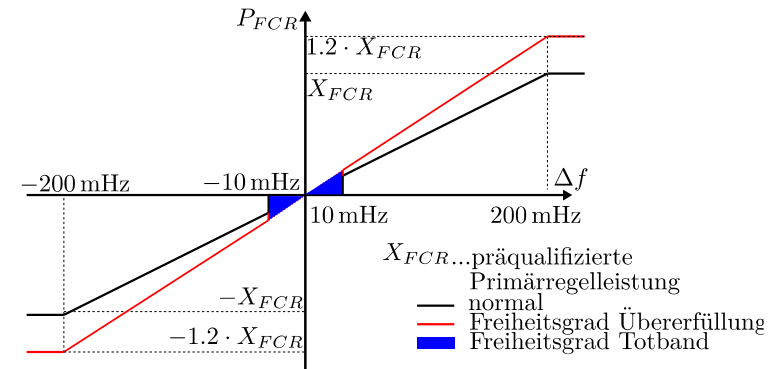
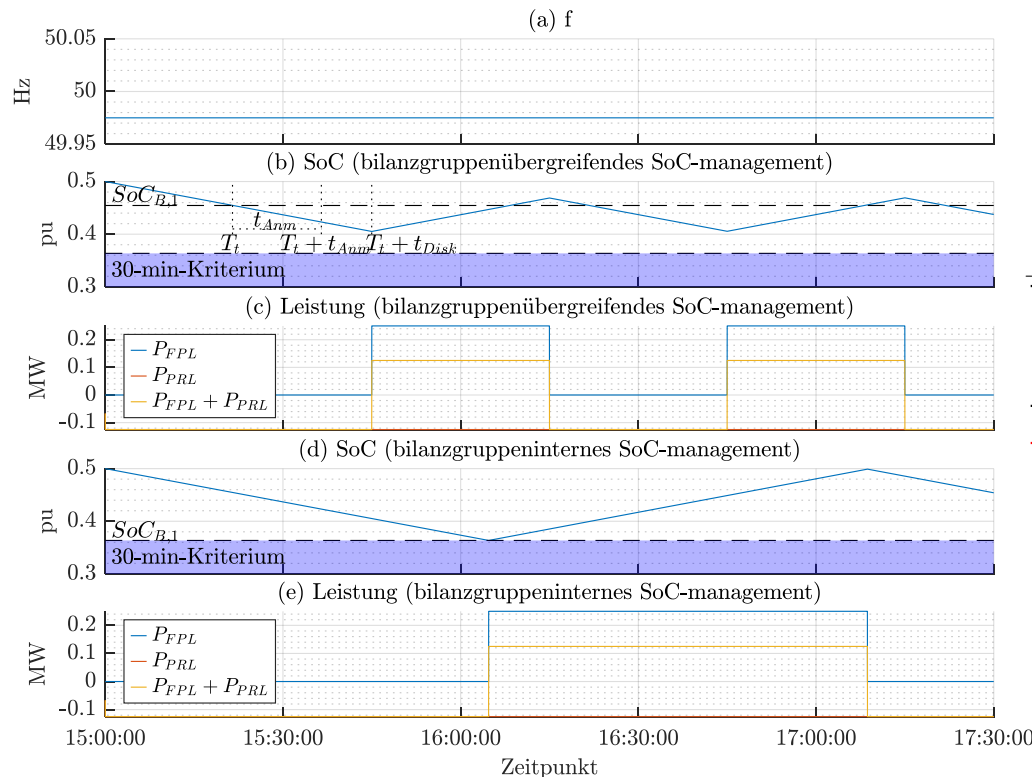
T_{Krit} ... Zeitdauer während der LER-units kontinuierlich FCR erbringen müssen

T_{anm} ... Vorlaufzeit zur Ausführung des Lademanagements

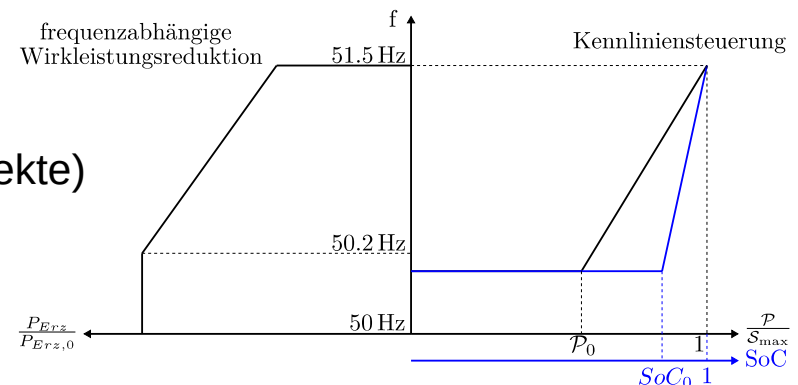

 Erläuterungen Regelreserven (APG)

- Vereinbarkeit mit anderen Funktionen

- Ladezustandsmanagement/SoC-Management
 - Verschiedene Möglichkeiten der Implementierung (bilanzgruppenintern/bilanzgruppenübergreifend)
 - Reduktion durch „Freiheitsgrade bei der Erbringung von Primärregelleistung“

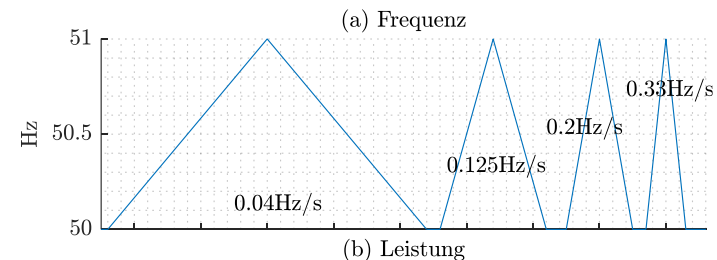
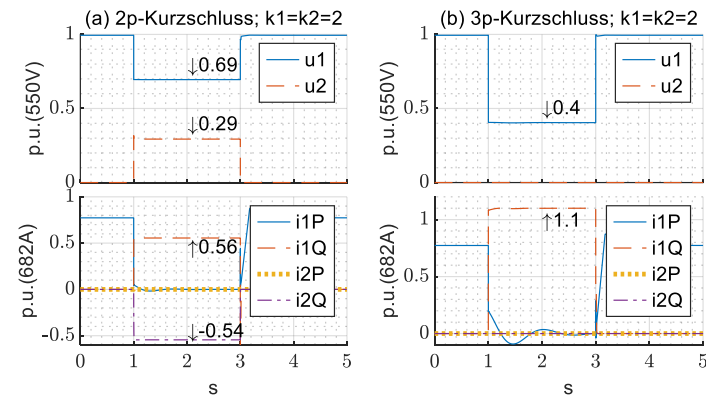
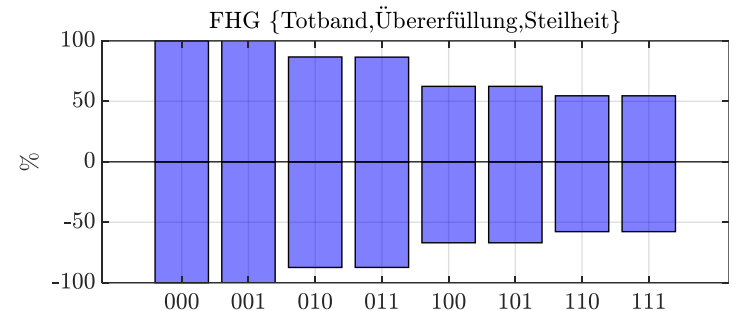


- Virtuelle Schwungmasse/synthetische Schwungmasse
 - Motivation: Ersatz für die zukünftig abnehmende „natürliche“ Momentanreserve
 - Problem: Umrichterbasierte Einspeiser besitzen keine mechanische Trägheit
 - Mögliche Realisierung:
 - Netzbildend (Stichwort: spannungsbildende Umrichter) → tatsächliche Momentanreserve
 - Netzfolgend, kennlinienbasiert $P(\dot{f}) \rightarrow$ verzögerter Leistungsoutput
- Statische Spannungshaltung
 - Verschiedene Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung laut TOR ($\cos\phi = \text{const}$, $\cos\phi(P)$, $Q(U)$, $Q = \text{const.}$)
- FRT/Dynamische Netzstützung
 - Strikte Nichttrennung im Fehlerfall
 - Einspeisung von Blindstrom während des Fehlers gemäß $\Delta i_{B1,2} = k \cdot \Delta u_{1,2}$
- Inselbetrieb
 - Netzbildender Betrieb
 - Schwarzstart: rampenförmige Spannungssteigerung (Vermeidung Inrusheffekte)
 - Kennlinienbasierte Frequenzvorgabe

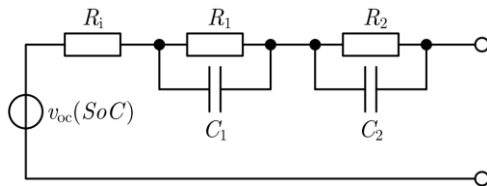


Ziel: Abbildung und Untersuchung des globalen Systemverhaltens

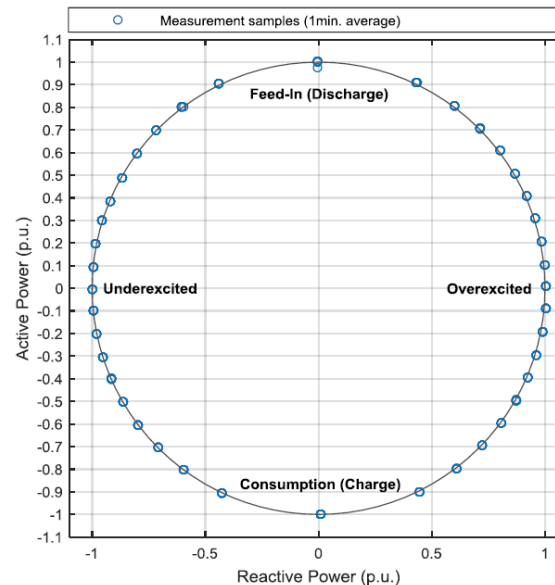
- SoC-management und Freiheitsgrade bei der Erbringung von FCR
 - SoC-Management $\sim 1/\text{Tag}$ (E/P=1,5h)
 - Reduktion durch FHG um bis zu 40%/a
- Dynamische Netzstützung
 - Keine Abbildung in üblicher Kurzschlussrechnung (IEC 60909)
 - Berücksichtigung von Vorgaben aus VDE-AR-N 4120
- Virtuelle Schwungmasse
 - Analyse der Frequenzmessung
 - Problematik der Filterung
 - 99%-Quantil Frequenzgradient 2019 $< 7\text{mHz/s}$
 - Frequenzgradient Referenzausfall: 100mHz/s



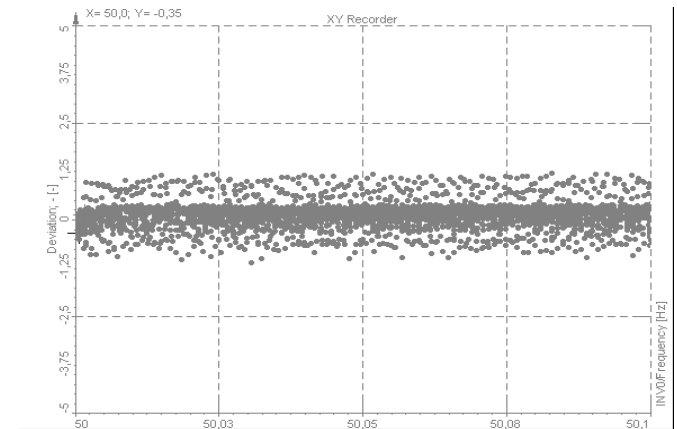
- Ziel: Komponentencharakterisierung
- Methodik: Untersuchung von Anlagenteilen (Umrichter, Batteriezellen) im SmartEST Labor des AIT
- Ergebnisse:
 - Zellcharakterisierung (Leerlaufkurve, Impulsmessungen) zur Modellierung der Batteriezellen in einem EEC-Modell
 - Umrichtertests gemäß Normvorgaben
 - Verhalten der Frequenzmessung



Batteriemodell



Umrichtertestergebnisse



Frequenzmessung

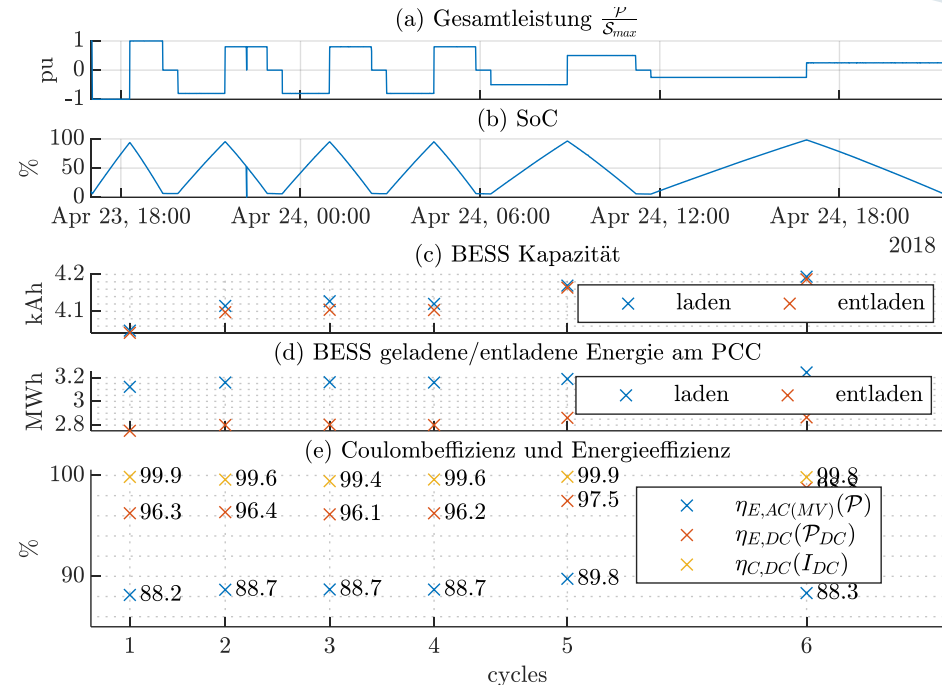
- Ziel 1: Prüfung der geforderten Komponentenkennwerte

- Kapazität
- Leistungsvermögen
- Effizienz
- Eigenbedarfsaufnahme
- ...

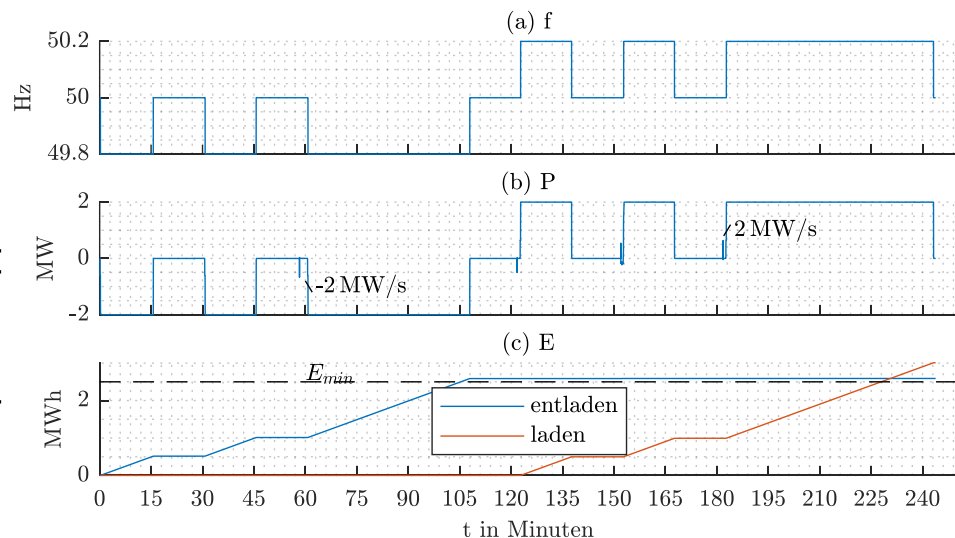
- Ziel 2: Prüfung der Funktionstüchtigkeit

- der Steuerungs- und Messeinrichtungen
- der Zusatzanlagen (HKL, Brandmeldeanlage, Schutz,...)
- der einzelnen Funktionen

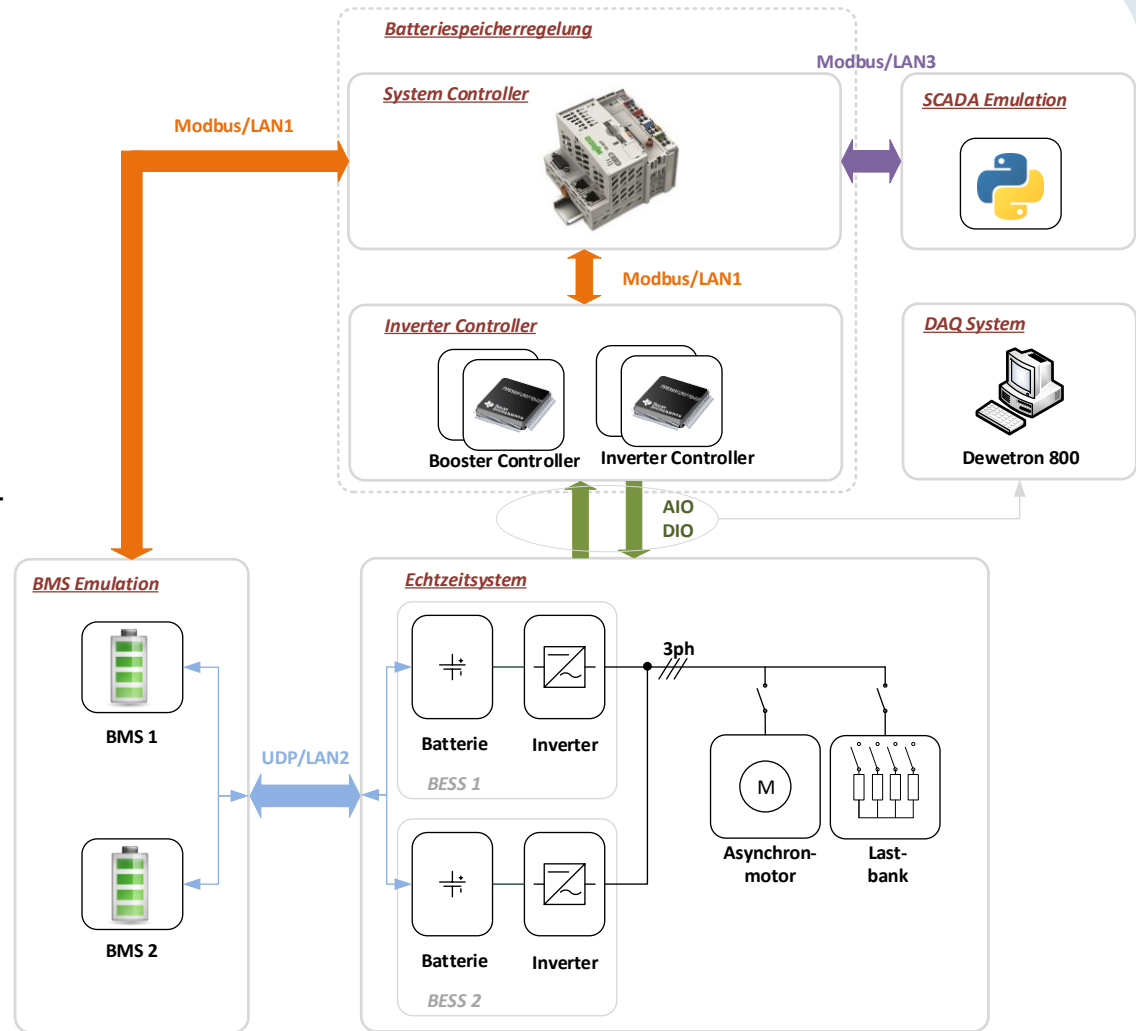
Bsp. 1: Effizienztests



Bsp. 2: Doppelhockertest

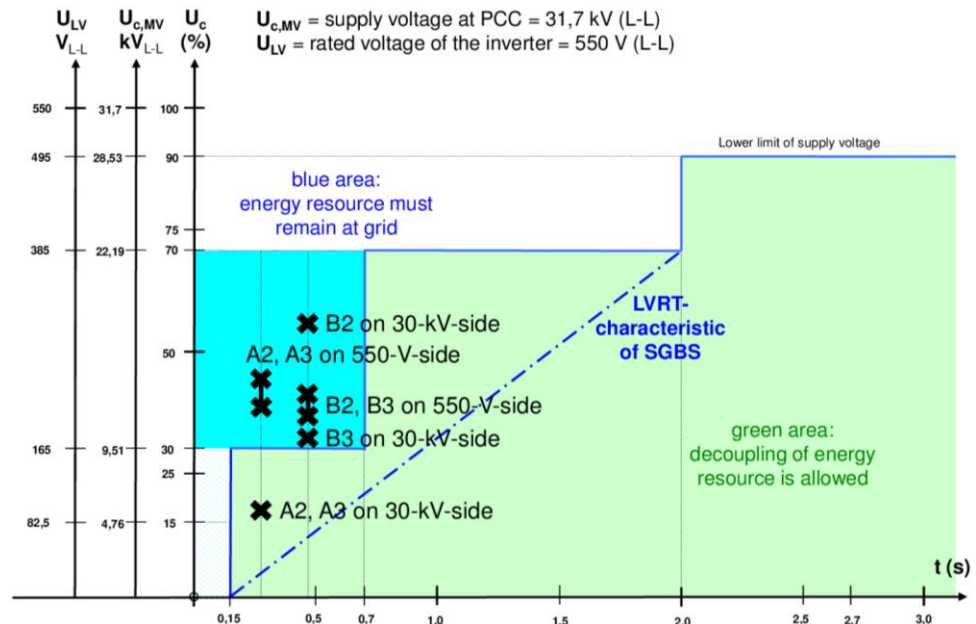


- **Ziel:** Schaffung einer Prüfumgebung für kontrollierbare und reproduzierbare Bedingungen
- **Methodik:** Einbindung von realer Hardware in eine (Echtzeit-) Simulationsumgebung (CHIL – Umgebung)
- **Anwendungsfälle:**
 - Entwicklungsumgebung für die Funktionsdefinition
 - Untersuchung des Systemverhaltens bei kritischen Zuständen (z.B. Frequenzeinbruch)
 - Planung von Feldtests



Jonke, P., Anta, A., Seidl, C. (2019): Validation of advanced grid functions of battery storage systems through a controller hardware-in-the-loop setup. In: E&I 136/1, S 12-20.

-
- The diagram illustrates a power distribution system with the following components and data:
- APG 400kV**: A transformer symbol connected to a busbar.
 - APG 30kV**: A busbar connected to the 400kV system.
 - APG 110kV**: A busbar connected to the 30kV system.
 - PRO 110kV**: A busbar connected to the 110kV system.
 - PRO 30kV**: A busbar connected to the 110kV system.
 - WEA04 30kV**: A busbar connected to the 30kV system.
 - Restnetz HA03+HA05**: A busbar connected to the 30kV system.
 - HA06 30kV**: A busbar connected to the 30kV system.
 - UW A 110kV**: A busbar connected to the 110kV system.
 - UW B 110kV**: A busbar connected to the 110kV system.
 - Batt-1A**: A battery symbol connected to the 30kV system.
- Key data points and labels:
- ul:L1=0,580 p.u.**, **ul:L2=1,052 p.u.**, **ul:L3=0,649 p.u.** (near PRO 110kV)
 - ul:L1=0,228 p.u.**, **ul:L2=0,909 p.u.**, **ul:L3=0,938 p.u.** (near UW A 110kV)
 - ul:L1=0,000 p.u.**, **ul:L2=0,917 p.u.**, **ul:L3=0,917 p.u.** (near UW B 110kV)
 - ul:L1=0,580 p.u.**, **ul:L2=1,053 p.u.**, **ul:L3=0,649 p.u.** (near WEA04 30kV)
 - i1P=0,000 p.u.**, **i1Q=0,555 p.u.**, **i2P=-0,000 p.u.**, **i2Q=-0,545 p.u.** (near WEA04 30kV)
 - l:L1=0,673 kA**, **l:L2=0,048 kA**, **l:L3=0,625 kA** (near HA06 30kV)

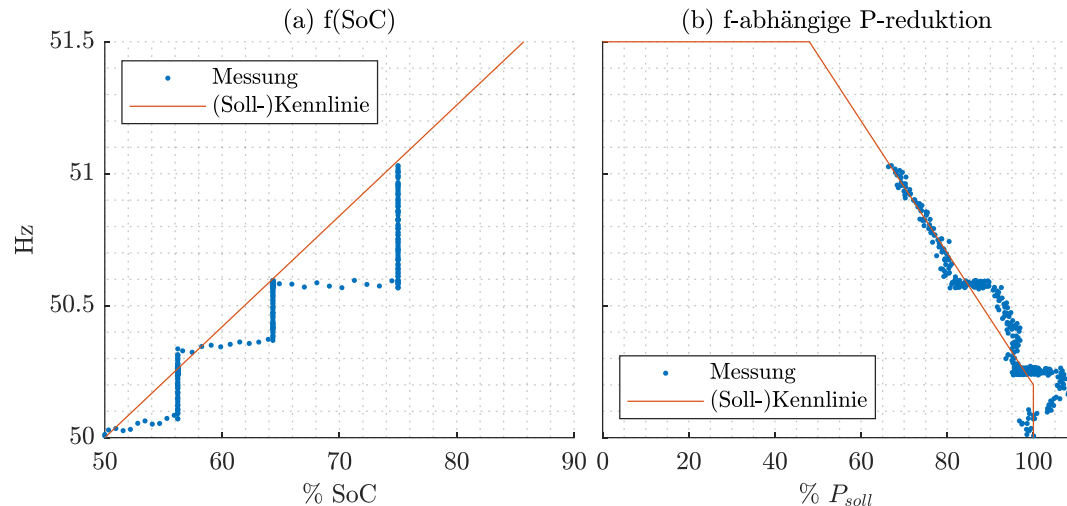
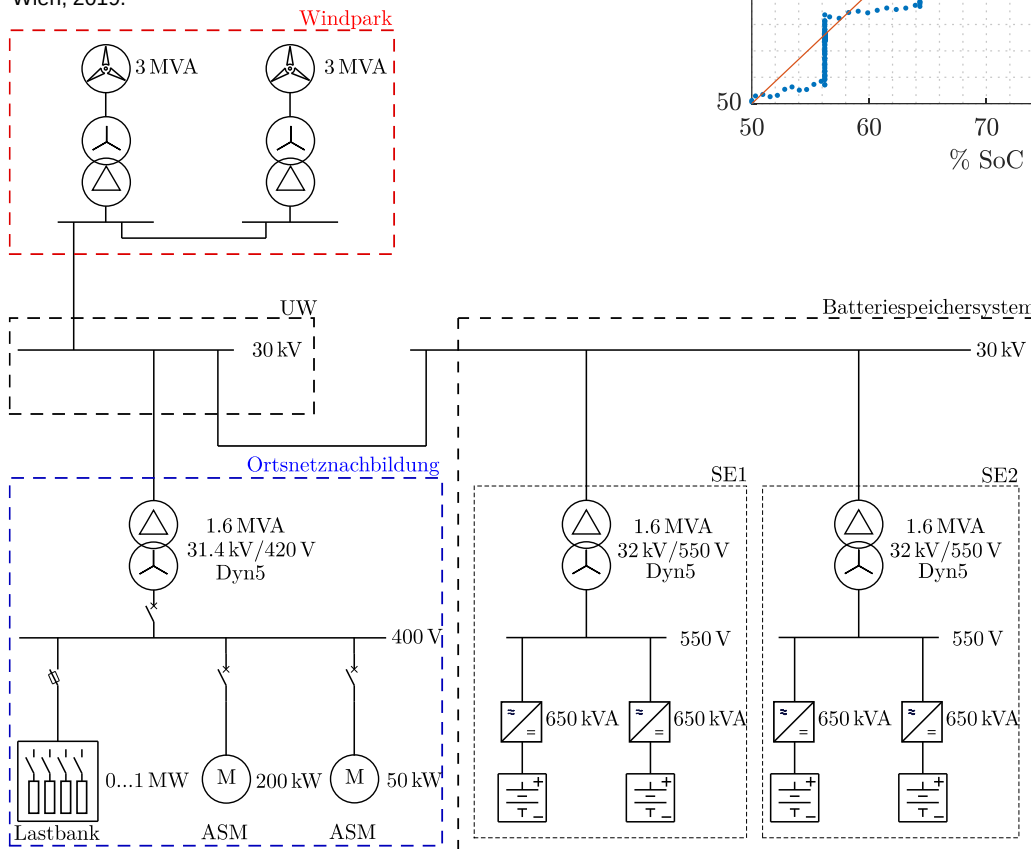


11

Inselbetriebsversuch 1:

Ziel: Dauerhafte Leistungseinspeisung von Windenergieanlagen im Inselbetrieb

J. Marchgraber, C. Alács, S. Nemec-Begluk, P. Jonke, M. Wurm, G. Wailzer und W. Vitovec: "Schwarzstart und Inselbetrieb eines Netzabschnitts mit Windenergieeinspeisung mithilfe eines Batteriespeichers," in Internationale Energiewirtschaftstagung, Wien, 2019.



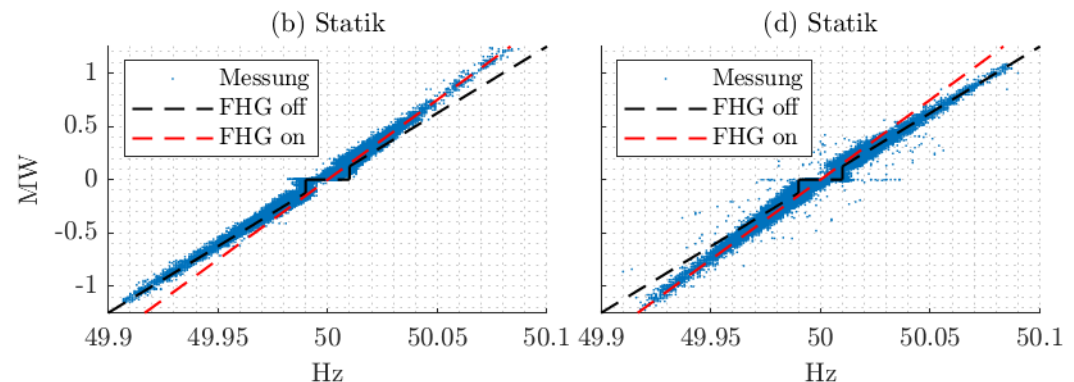
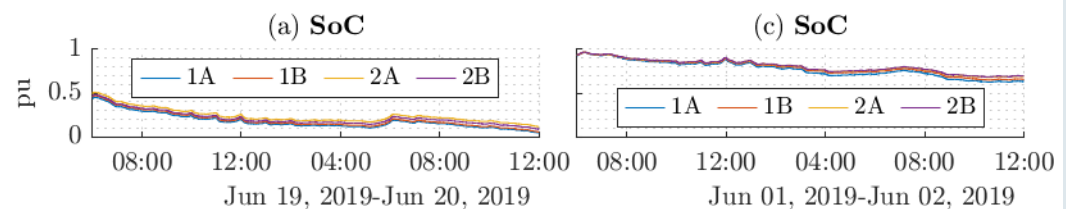
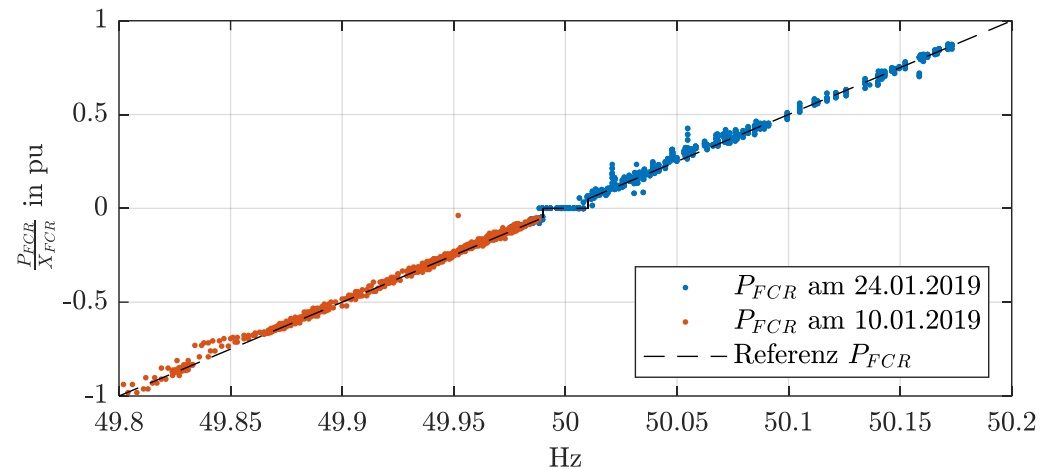
Inselbetriebsversuch 2:

Ziel: Prüfung der Eignung zur Ortsnetzversorgung im Inselbetrieb

- Prüfung der Regelfähigkeit der Anlage
- Prüfung der Spannungsqualität im Inselbetrieb
- Vergleich mit C-HIL-Simulationen

Wurm, M., Jonke, P., Marchgraber, J., Gawlik, W., Vitovec, W. (2019): Ortsnetz-Inselbetriebsversuch mit einem 2,5 MVA / 2,2 MWh-Batteriespeicher: Messergebnisse und Vergleich mit einem Controller Hardware-in-the-loop Setup. In: E&I 136/8, S 368-376.

- Ziel: Prüfung der Funktionstüchtigkeit aller Anlagenteile im Dauerbetrieb
 - Komponenten (Umrichter, Batteriemodule,...)
 - Steuerung und Kommunikation
 - Zusatzanlagen
- Nebenziel: Messaufzeichnung des Verhaltens der Funktionen
 - Frequency Containment Reserve
 - Ladezustandsmanagement
 - Freiheitsgrade



- Bau, Installation und Inbetriebnahme
 - Inbetriebnahmetests und Labortests bieten eine gute Möglichkeit zur Komponentencharakterisierung → Modellbildung
- Funktionsdefinition
 - Berücksichtigung regulatorischer Anforderungen
 - Enger Austausch zwischen Auftragnehmer und Konsortialpartner
 - C-HIL Umgebung sehr wertvoll bei der Funktionsdefinition und deren Prüfung
- Tests
 - Inbetriebnahme: Prüfung der grundsätzlichen Funktionstüchtigkeit
 - Feldtests: Prüfung während außergewöhnlicher Netzsituationen
 - Dauerbetrieb: Prüfung im „Normalbetrieb“
- Ausblick:
 - Untersuchung schneller Regelreserven
 - Neue Regelleistungsprodukte?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

ESEA

Institut für Energiesysteme
und Elektrische Antriebe



Kontakt

Jürgen Marchgraber

Projektassistent / Forschung

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

E: marchgraber@ea.tuwien.ac.at

W: www.ea.tuwien.ac.at