

Schwarzstart, Betrieb und Synchronisation eines umrichterbasierten Inselnetzes geführt durch einen netzbildenden Batteriespeicher

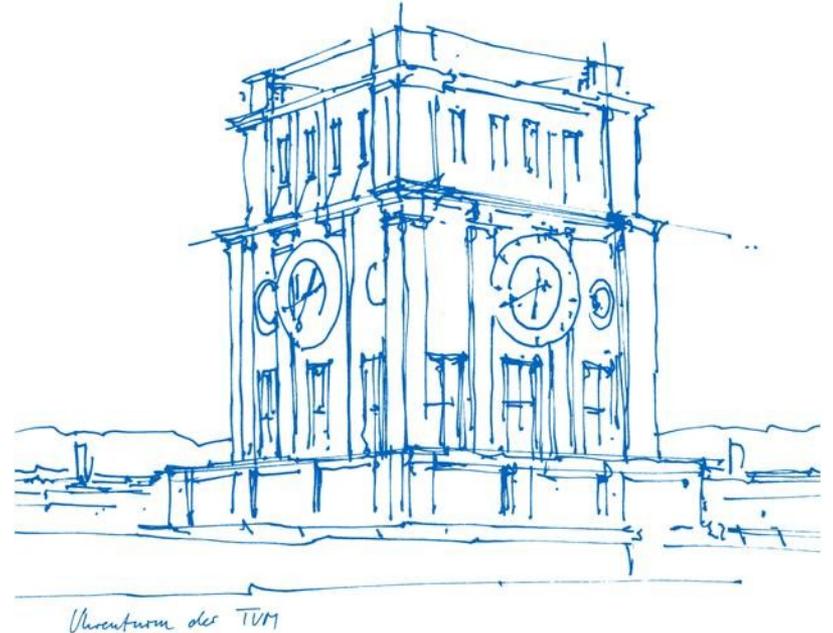
Carolin Vogel

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungsnetze

Graz, 16. Februar 2024



Motivation

Übergeordnetes Ziel: Konzept für den Inselnetzbetrieb mit netzbildendem Batteriespeicher (BESS)

1. Anwendungsnahe Untersuchung verschiedener Inselnetzbetriebsfälle im Testaufbau
 - Verhalten des BESS bei Belastung (Entladen und Laden)
 - Belastungsgrenzen des BESS im Inselnetzbetrieb
 - Interaktion mit weiteren netzbildenden Einheiten
 - Synchronisation mit dem öffentlichen Netz
2. Praktische Erfahrung im Umgang mit der Steuerung und Parametrierung
3. Datengrundlage für weiterführende simulative Untersuchungen
 - Validierung und Anpassung vorhandener Modelle anhand der erhobenen Messdaten
 - Integration weiterer Komponenten (z. B. dezentrale Erzeugungsanlagen oder Lasten)

Der Inselnetz-Testaufbau

Abbildung 1: Darstellung des 0,4 kV Inselnetzes mit netzbildendem BESS

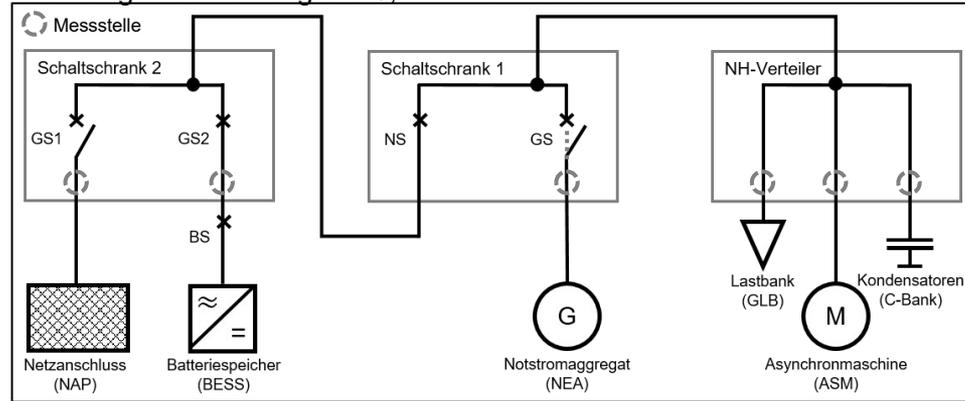


Tabelle 1: Elektrische Kenndaten der Komponenten des Testaufbaus

		Nennleistung	Nennstrom	Leistungsfaktor
BESS	[2]	68,5 kVA	100 A	-1,0 bis 1,0
NEA	[3]	50 kVA	72 A	0,8
GLB	[4]	1.000 kVA	1,4 kA	0,8 bis 1,0
ASM	[5]	11 kW	23 A	0,84
C-Bank	[6]	35 kvar	51 A	0

Abbildung 2: Der Inselnetz-Testaufbau am Campus der OTH Regensburg (Foto: Ludwig Brey, FENES) [1]



Parametrierung des BESS im netzbildenden Betriebsmodus

Netzbildende Funktion basierend auf Droop Regelung

- Spannung im Inselnetz anhand $U(Q)$ -Statik
- Frequenz im Inselnetz anhand $f(P)$ -Statik

Spannung und Frequenz im Inselnetz entsprechen nur dann den Referenzwerten, wenn BESS die Referenzleistung bereitstellt.

Abbildung 3: Parameter der $f(P)$ -Statik

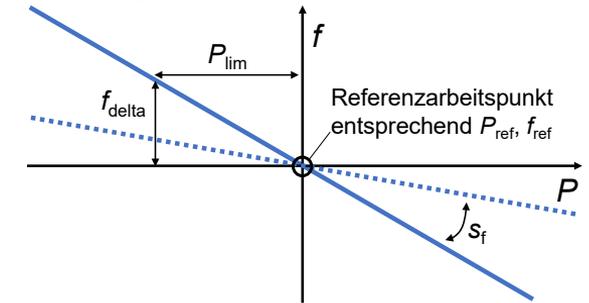
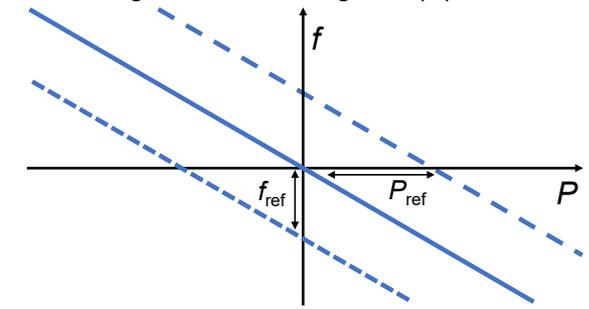


Tabelle 2: Parameter zur Einstellung des netzbildenden Betriebsmodus des BESS

	Name	Verfügbarer Einstellbereich			Im Betrieb veränderbar
		minimal	maximal	default	
Referenzwirkleistung	P_{ref}	-68,5 kW	68,5 kW	0 kW	ja
Referenzblindleistung	Q_{ref}	-68,5 kvar	68,5 kvar	0 kvar	ja
Referenzfrequenz	f_{ref}	47,5 Hz	52,5 Hz	50 Hz	ja
Referenzspannung	U_{ref}	208 V	253 V	230 V	ja

Abbildung 4: Verschiebung der $f(P)$ -Statik



Symmetrische Belastung des netzbildenden BESS

10 ms-RMS-Daten der Frequenz und Spannung, gemessen am BESS

Abbildung 5: Entladen (hier GLB, $\Delta S \approx 10$ kVA)

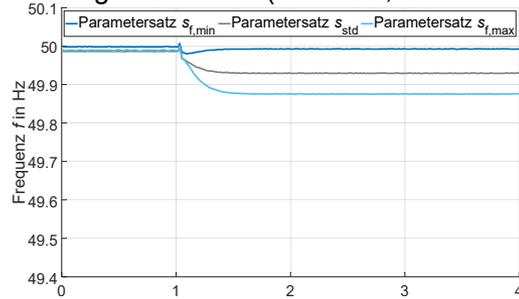


Abbildung 6: Laden (hier NEA, $\Delta S \approx 10$ kVA)

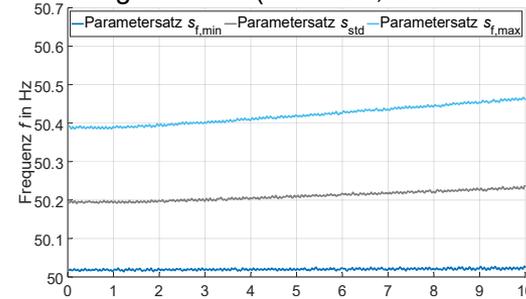
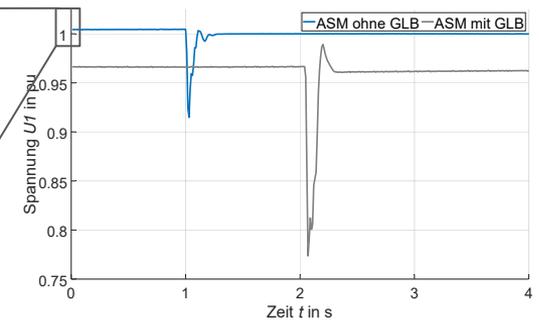
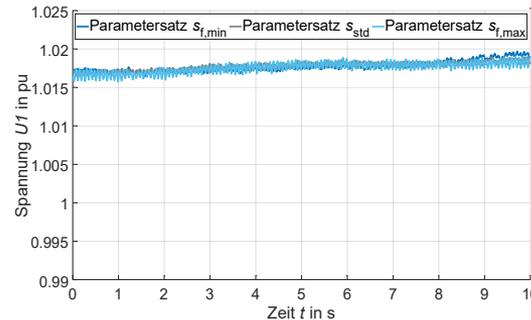
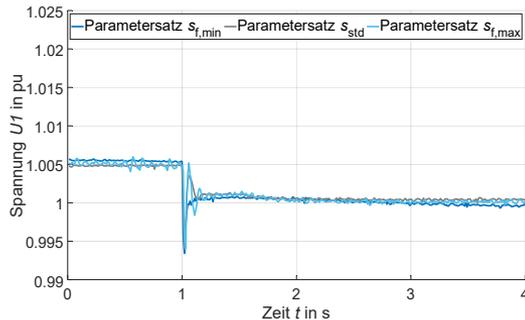
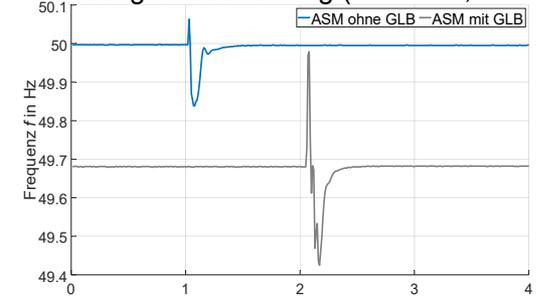


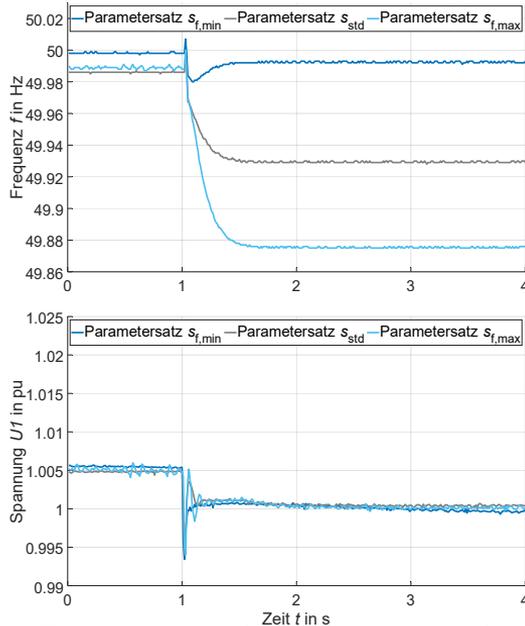
Abbildung 7: Überlastung (hier ASM, Anlauf)



Verteilte Inselnetzbildung mit BESS und NEA (1/2)

10 ms-RMS-Daten der Frequenz und Spannung, gemessen am BESS

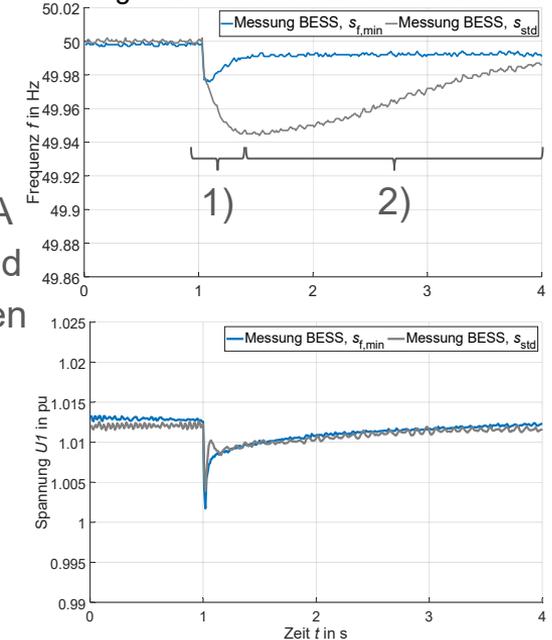
Abbildung 8: BESS als Netzbildner (vgl. Abb. 5)



1) BESS ist deutlich schneller als NEA
 → Initiale Änderung der Spannung und Frequenz entsprechend BESS Statiken

2) NEA entlastet BESS allmählich
 → Frequenz und Spannung nähern sich den Sollwerten an

Abbildung 9: BESS und NEA als Netzbildner



Verteilte Inselnetzbildung mit BESS und NEA (2/2)

- Wiederholt Leistungspendelungen zwischen NEA und BESS, insbesondere bei kleiner $f(P)$ -Statik
- OK solange NEA Leistung einspeist (Versorgung der Last und Laden des BESS)
- Aber: Abschaltung des NEA bei Rückspeisung (Schutzauslösung)
- Weiterversorgung nur innerhalb der Leistungsgrenzen des BESS möglich

10 ms-RMS-Daten und zyklische 200 ms-Daten der Wirkleistung, gemessen an BESS und NEA

Abbildung 10: Kurzzeitige Leistungsaufteilung

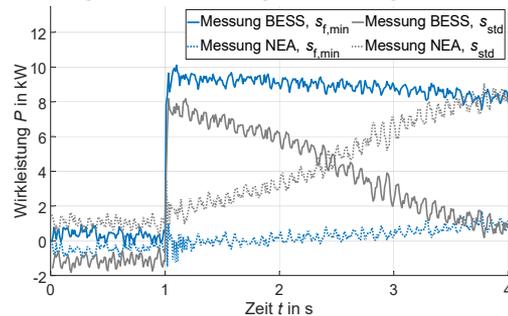


Abbildung 11: Leistungspendelungen

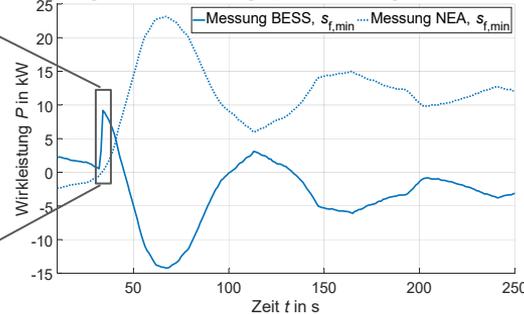
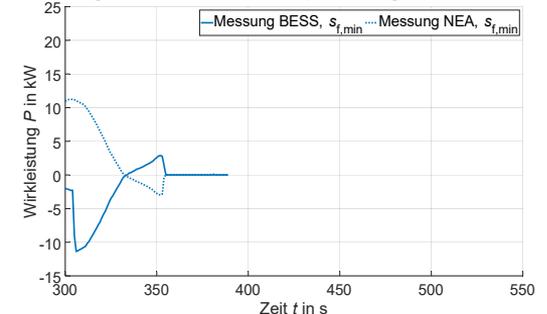


Abbildung 12: NEA-Rückspeisung, Abschaltung



Synchronisation mit dem öffentlichen Netz

Abbildung 13: Synchronisationslogik nach [7]

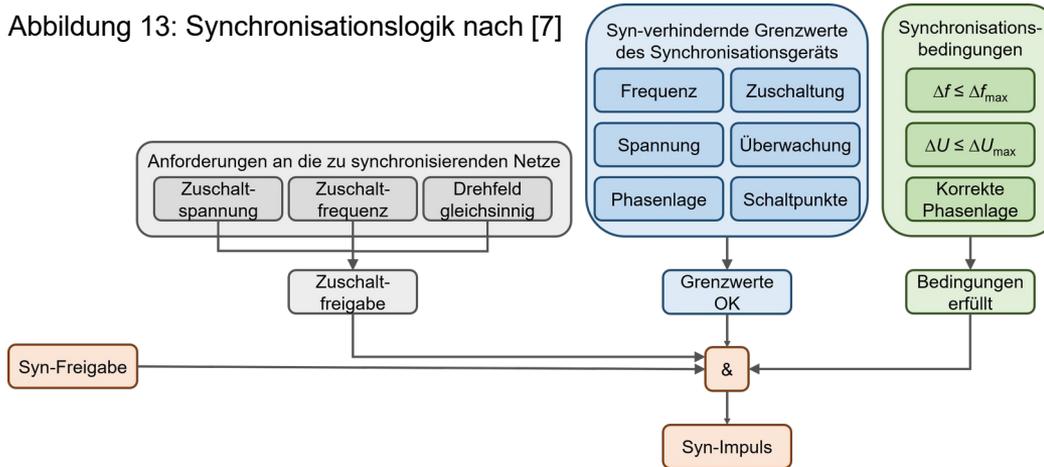
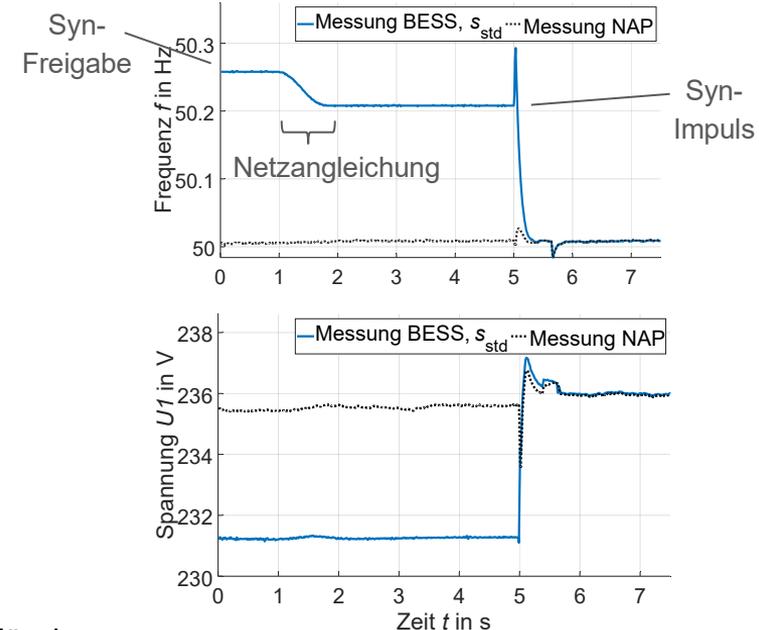


Tabelle 3: Synchronisationsbedingungen nach VDE Anwendungsregel

	Name	Niederspannung [8]	Mittelspannung [9]
Spannungsabweichung	ΔU_{\max}	$\pm 10 \%$	$\pm 5 \%$
Frequenzabweichung	Δf_{\max}	$\pm 500 \text{ mHz}$	$\pm 200 \text{ mHz}$
Phasendifferenz	$\Delta \varphi_{\max}$	$\pm 10^\circ$	$\pm 10^\circ$

Abbildung 14: Synchronisation des Inselnetzes mit netzbildendem BESS



Einordnung der Ergebnisse

Belastungsgrenzen des BESS

- Kurzzeitige Überlastungen und sprunghafte Leistungsänderungen werden vom BESS abgefangen (z. B. Ausfall zusätzlicher Erzeugungseinheiten durch Schutzauslösung oder Zuschaltung dynamischer Lasten)
- Abschätzung der Spannung und Frequenz im Inselnetz bei bekannter Lastsituation im Vorfeld möglich

Verteilte Netzbildung

- Koordinierte Leistungsaufteilung bei mehr als einem Netzbildner durch abgestimmte Regelung möglich
- Alternativ: Einbinden weiterer Erzeugungseinheiten im netzstützenden statt netzbildenden

Betriebsmodus

Synchronisation

- Netzangleichung durch Kennlinienverschiebung unabhängig von der Steigung der Statiken möglich
- Anpassung der Synchronisationsbedingungen kann Netzurückwirkungen verringern, insbesondere bei

Last- und Erzeugungsschwankungen dauert Netzangleichung ggf. länger oder ist u. U. nicht möglich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Carolin Vogel

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungsnetze

carolin.vogel@tum.de

18. Symposium Energieinnovation
Graz, 16. Februar 2024



Gefördert durch:



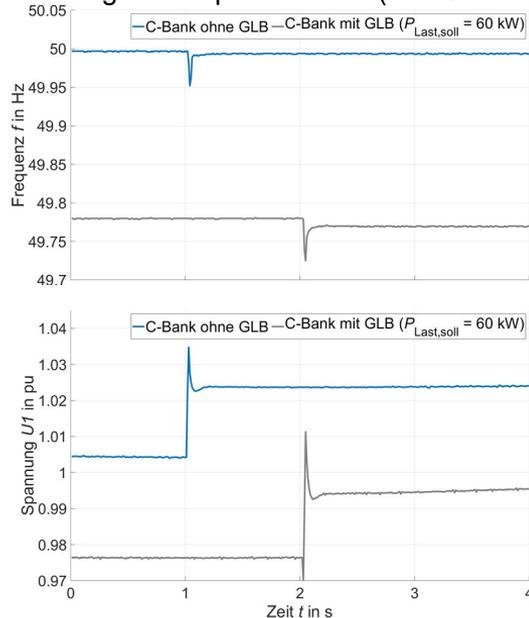
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Referenzen

- [1] L. Brey, „Erprobung von Inselnetz-Betriebsstrategien im Outdoor-Leistungslabor am Campus der OTH Regensburg“, 2023. [Online]. <https://forschungsprojekt-industriezelle.de/blog-post/>
- [2] INTILION AG, „Technisches Datenblatt, scalebloc, power boost, 68,5 kVA“
- [3] Bredenoord BV, „Technische Daten, Aggregat 50 kVA Super Silent“
- [4] Bredenoord BV, „Technische Daten, induktiver Lastwiderstand, 1000 kVA“
- [5] Schorch-Werke AG Rheydt, „Typenschild, d3KHC 550/4“
- [6] Condensator Dornit, „Technische Daten, Festkondensator CLMD, 35 kvar“
- [7] KORA Industrie-Elektronik, „Handbuch, Synchronisier-Gerät SYN-8“, 2021.
- [8] VDE, „VDE-AR-N 4105 - Anwendungsregel: 2018-11, Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz“, 2018.
- [9] VDE, „VDE-AR-N 4110 - Anwendungsregel: 2023-09, Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)“, 2023.

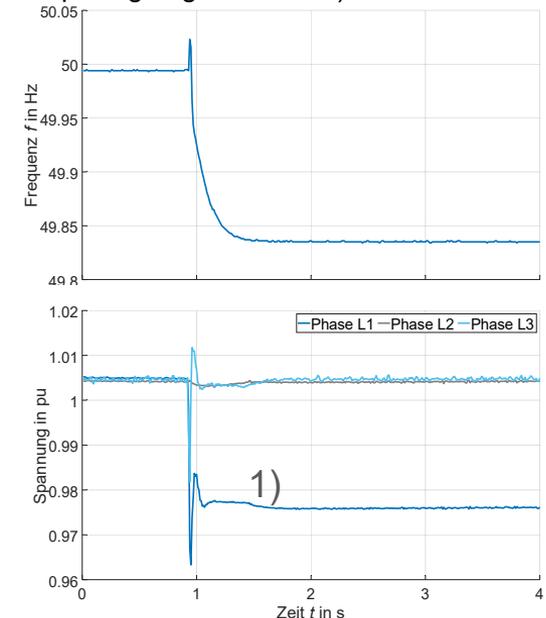
Anhang: Sonderfälle, Belastung des netzbildenden BESS

10 ms-RMS-Daten der Frequenz und Spannung, gemessen am BESS
Abbildung A.1: Kapazitive Last (hier C-Bank)



1) Phase L2 der GLB abgeklemmt
→ Last liegt nur an L1 und L3 an
(P hauptsächlich an L3, Q an L1)
→ Spannungsänderung an L1
entsprechend der $U(Q)$ -Statik

Abbildung A.2: Schiefast (hier GLB, 60 kVA, zweiphasig angeschlossen)



Anhang: Parametersätze des netzbildenden BESS

Tabelle A.1: Parametersätze des netzbildenden Betriebsmodus des BESS im Testaufbau

		S_{std}	$S_{f,min}$	$S_{f,max}$	$S_{u,min}$	$S_{u,max}$
P_{ref}		0 kW	0 kW	0 kW	0 kW	0 kW
Q_{ref}		0 kvar	0 kvar	0 kvar	0 kvar	0 kvar
f_{ref}		50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
U_{ref}		230 V	230 V	230 V	230 V	230 V
S_f	P_{lim}	68,5 kW	68,5 kW	68,5 kW	68,5 kW	68,5 kW
	f_{delta}	0,5 Hz	0,05 Hz	1,0 Hz	0,5 Hz	0,5 Hz
S_U	Q_{lim}	68,5 kvar	68,5 kvar	68,5 kvar	68,5 kvar	68,5 kvar
	U_{delta}	5 %	5 %	5 %	2 %	10 %

vgl. Abbildung 8: BESS als Netzbildner

