

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

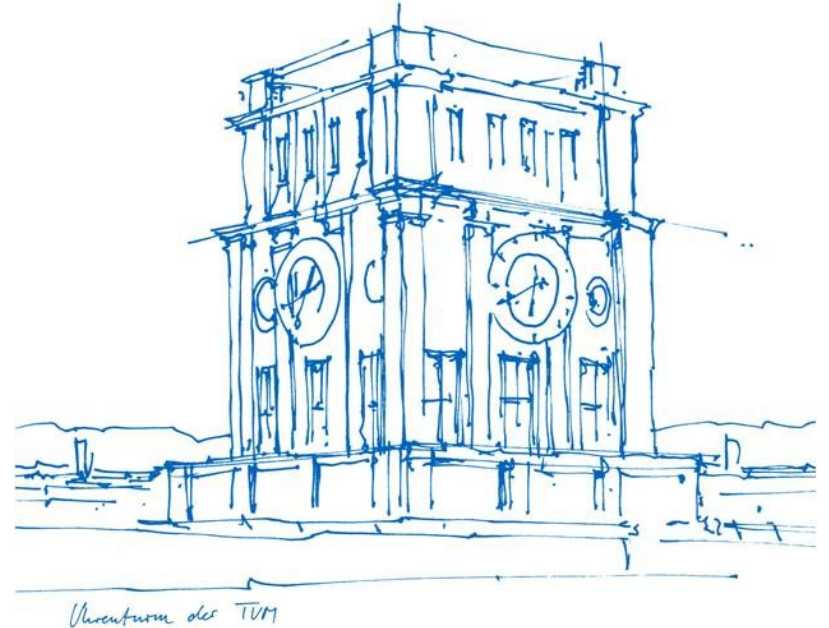
Carolin Vogel

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

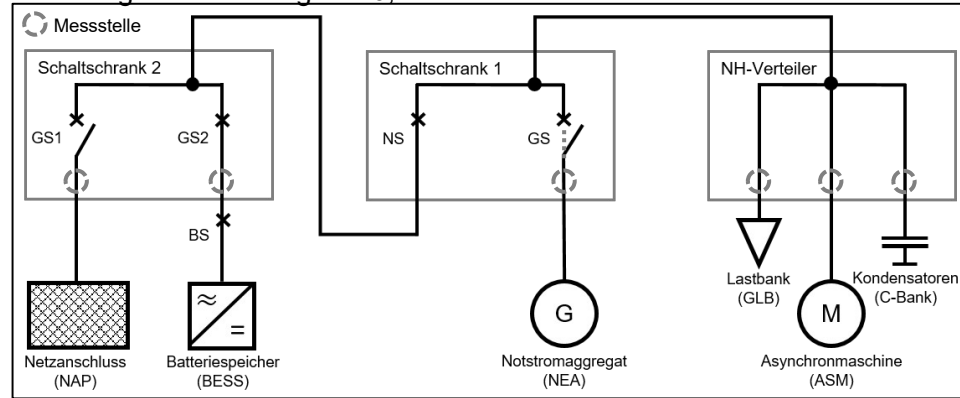


Tabelle 1: Elektrische Kenndaten der Komponenten des Testaufbaus

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

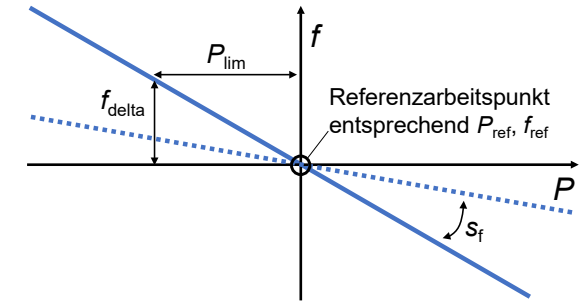
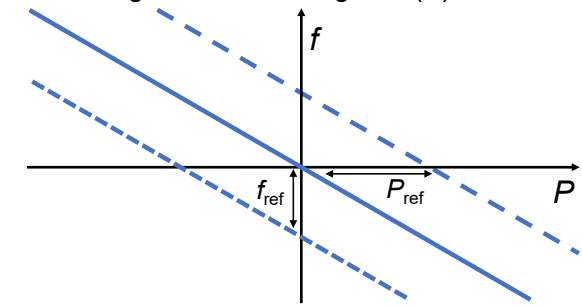


Tabelle 2: Parameter zur Einstellung des netzbildenden Betriebsmodus des BESS

	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)

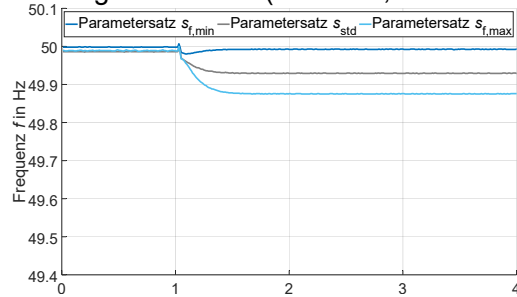


Abbildung 6: Laden (hier NEA,  $\Delta S \approx 10$  kVA)

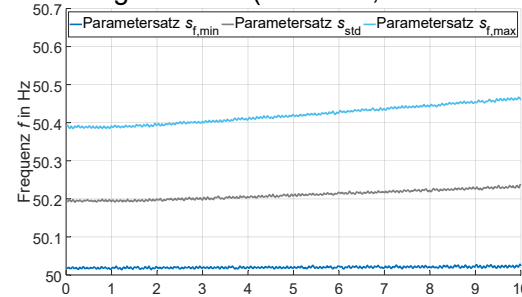
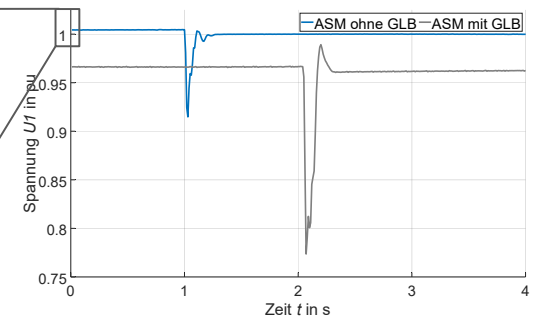
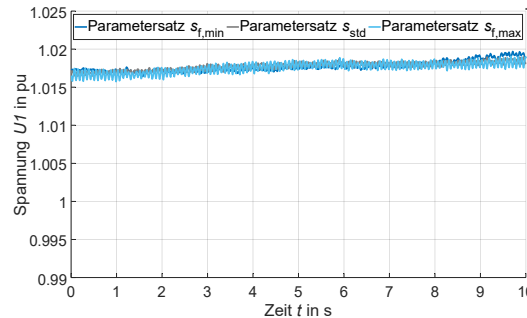
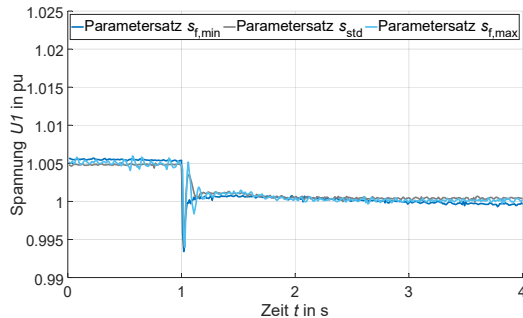
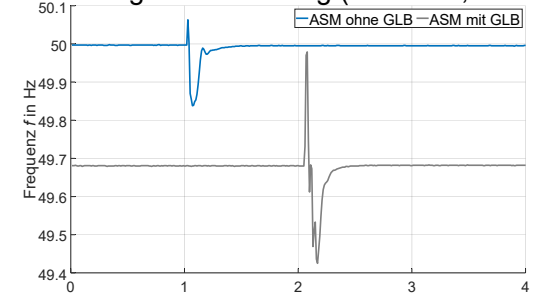


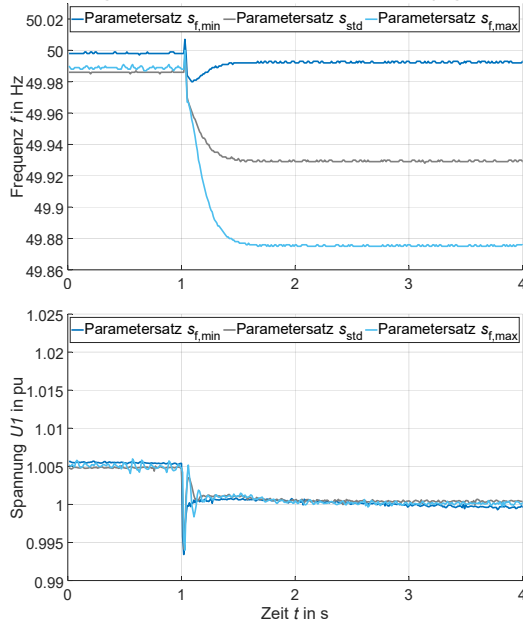
Abbildung 7: Überlastung (hier ASM, Anlauf)



# Verteilte Inselnetzbildung mit BESS und NEA (1/2)

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

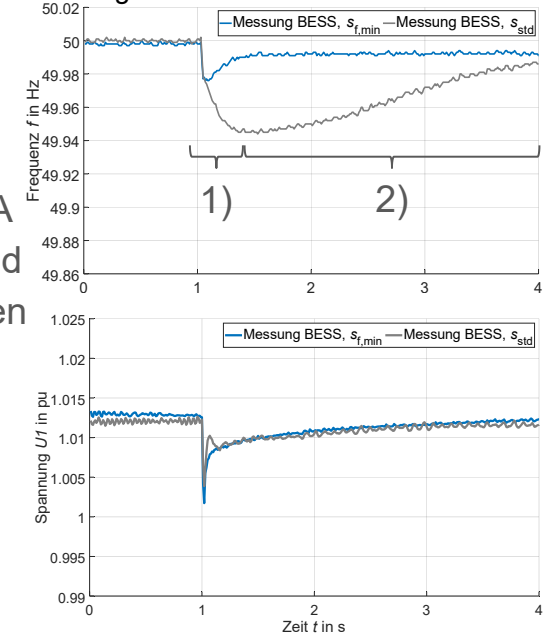
Abbildung 8: BESS als Netzbildner (vgl. Abb. 5)



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

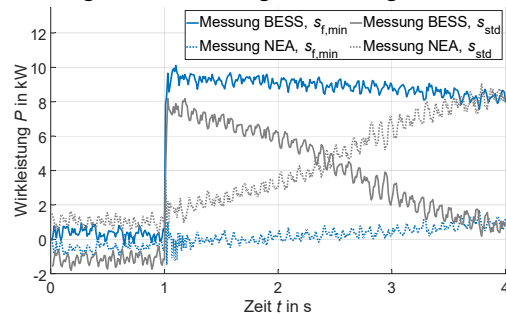


Abbildung 11: Leistungspendelungen

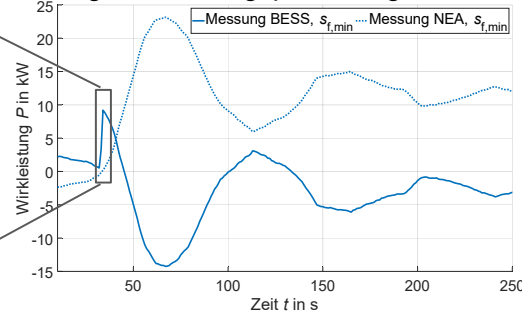
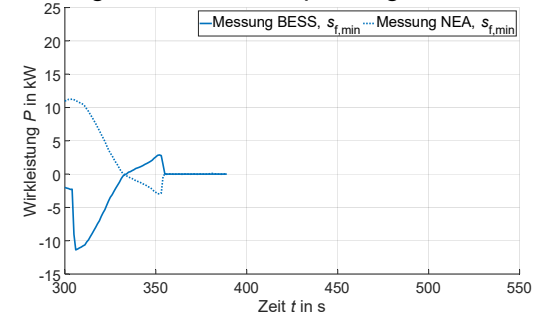


Abbildung 12: NEA-Rückspeisung, Abschaltung



# Synchronisation mit dem öffentlichen Netz

Abbildung 13: Synchronisationslogik nach [7]

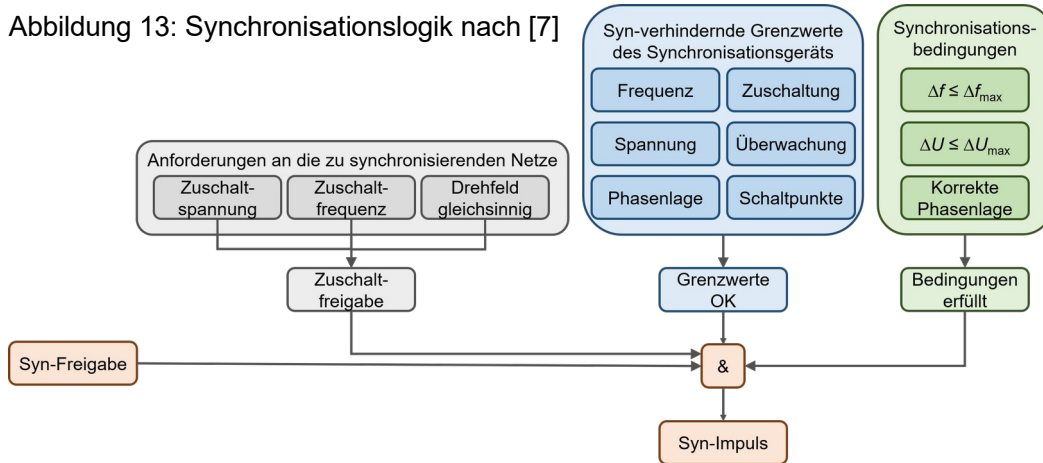
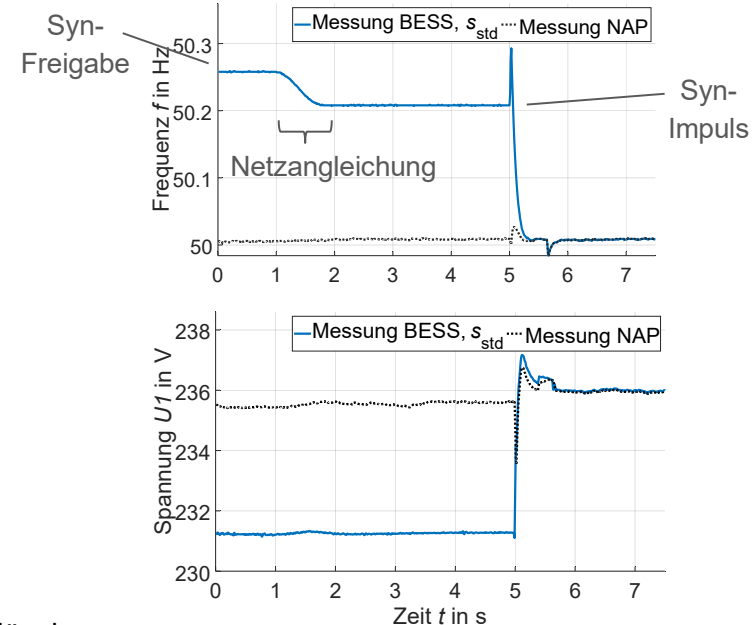


Tabelle 3: Synchronisationsbedingungen nach VDE Anwendungsregel

	Name	Niederspannung [8]	Mittelspannung [9]
<b>Spannungsabweichung</b>	$\Delta U_{\max}$	$\pm 10 \%$	$\pm 5 \%$
<b>Frequenzabweichung</b>	$\Delta f_{\max}$	$\pm 500 \text{ mHz}$	$\pm 200 \text{ mHz}$
<b>Phasendifferenz</b>	$\Delta \varphi_{\max}$	$\pm 10^\circ$	$\pm 10^\circ$

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:



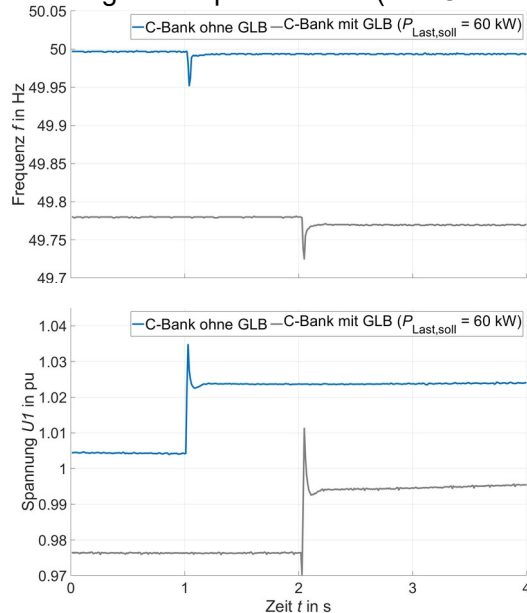
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# 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 Dominit, „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.

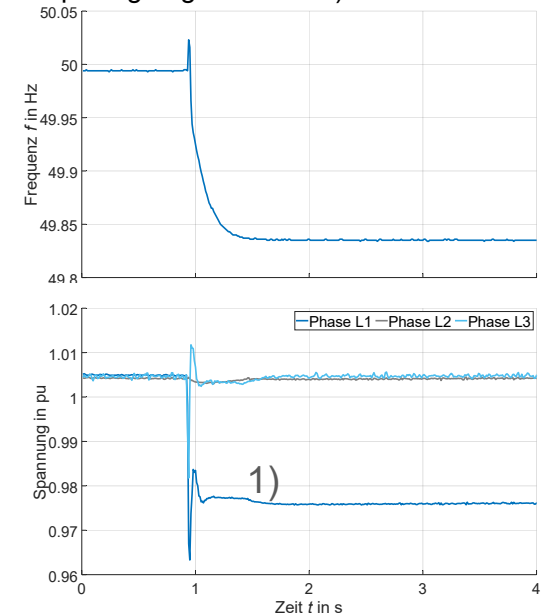
# Anhang: Sonderfälle, Belastung des netzbildenden BESS

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

