



Technische
Universität
Braunschweig



Bewertung verschiedener Regelungsansätze für Speichersysteme zur Verbesserung der Kurzzeit-Frequenzstabilität

Florian Rauscher, 16. Symposium Energieinnovation am 14.02.2020 in Graz

Agenda

1

Motivation und Stand der Forschung

2

Vorstellung verschiedener Regelungsstrategien für Speichersysteme

3

Einfluss der Regelungsstrategien auf die Kurzzeit-Frequenzstabilität

4

Zusammenfassung und Ausblick

Agenda

1

Motivation und Stand der Forschung

2

Vorstellung verschiedener Regelungsstrategien für Speichersysteme

3

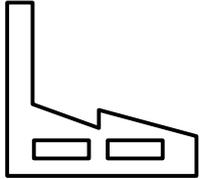
Einfluss der Regelungsstrategien auf die Kurzzeit-Frequenzstabilität

4

Zusammenfassung und Ausblick

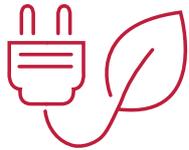
Motivation und Stand der Forschung

Zukünftige Entwicklung des Energieversorgungsnetzes



Systemdienstleistungen werden heute noch im Wesentlichen von konventionellen Kraftwerken erbracht.

Die Netzdynamik bestimmt sich nach wie vor durch das Verhalten der Synchronmaschinen.

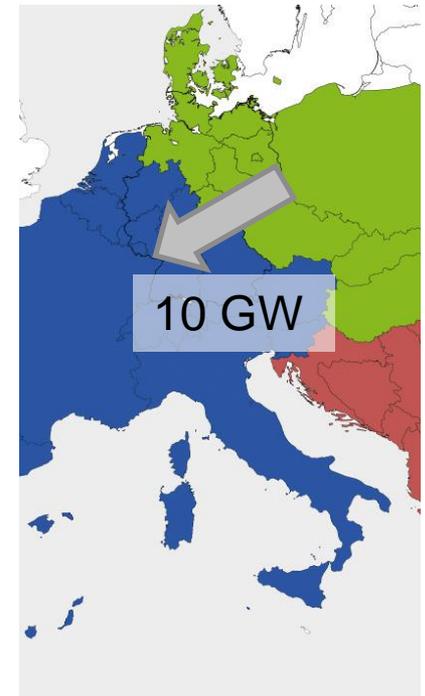


Verdrängung der konventionellen Kraftwerke und damit der Synchronmaschinen (in D)

- Atomausstieg bis 2022
- Kohleausstieg bis 2038



Zunahme der Energieübertragung innerhalb des europäischen Verbundnetzes u.a. durch die Volatilität der Erneuerbare Energien

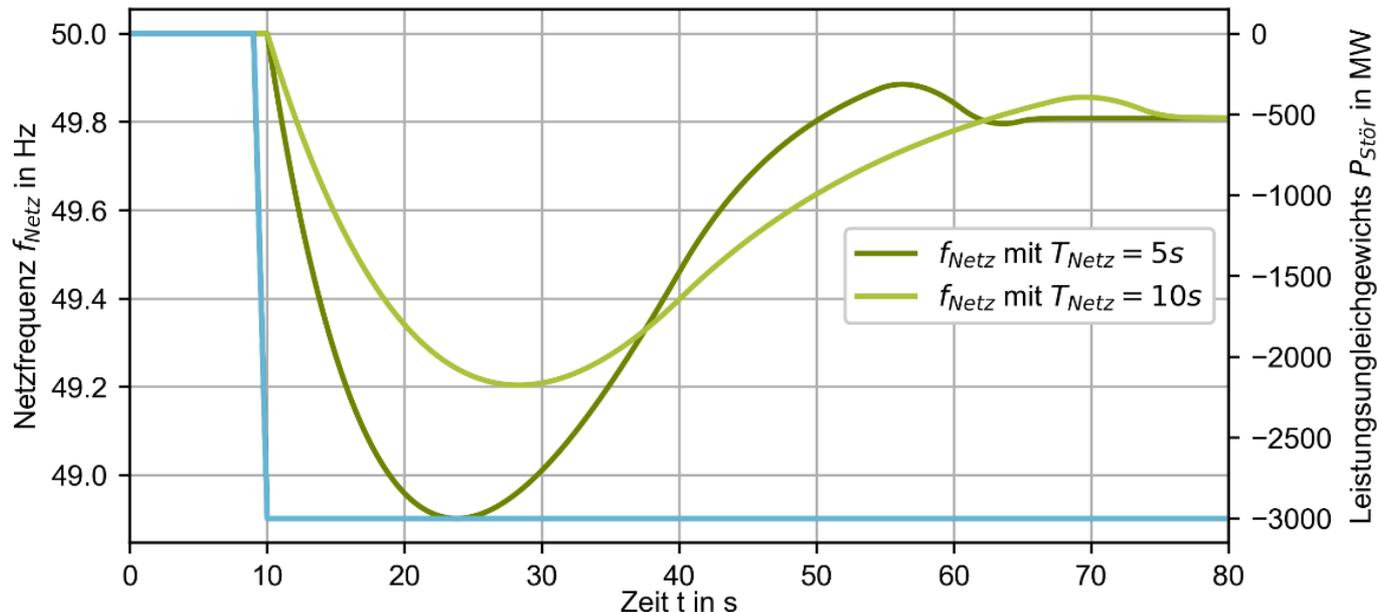


System Split 2006

Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH: „dena-Studie Momentanreserve 2030 – Bedarf und Erbringung von Momentanreserve im Jahr 2030“, 2016

Motivation und Stand der Forschung - Auswirkung einer geringeren Anzahl von konv. Kraftwerken auf die Frequenzstabilität

- Lastereignisse werden im Kurzzeitbereich aktuell ausschließlich von direkt am Netz gekoppelten Synchrongeneratoren ausgeglichen und münden in eine Abweichung von der Nennfrequenz
- Eine geringere Anzahl an Synchrongeneratoren führt demnach zu einem volatilerem Frequenzverhalten



ENTSO-E Referenzstörfall mit unterschiedlichen Netzanlaufzeitkonstanten T_{Netz}

Agenda

1

Motivation und Stand der Forschung

2

Vorstellung verschiedener Regelungsstrategien für Speichersysteme

3

Vergleich der Regelungsstrategien in Labor und Simulation

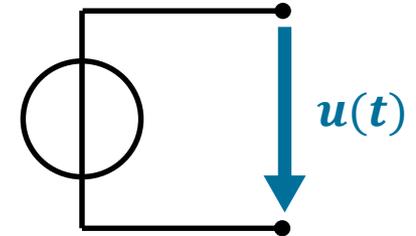
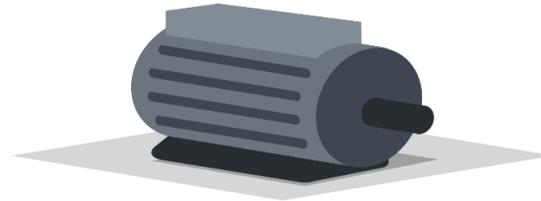
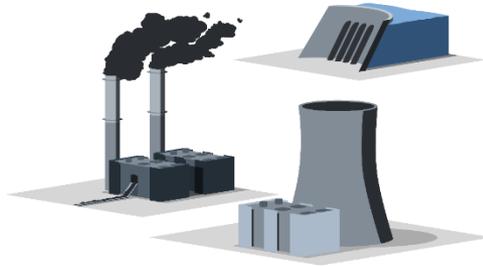
4

Zusammenfassung und Ausblick

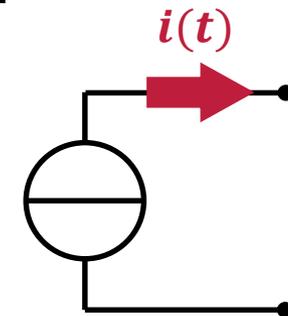
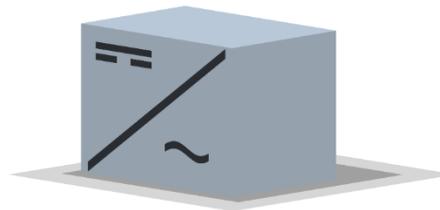
Vorstellung der Regelungsstrategien für Speichersysteme

Unterschiede im Klemmenverhalten von Erzeugungsanlagen

Spannungseinprägendes Klemmenverhalten



Stromeinprägendes Klemmenverhalten



Vorstellung der Regelungsstrategien für Speichersysteme

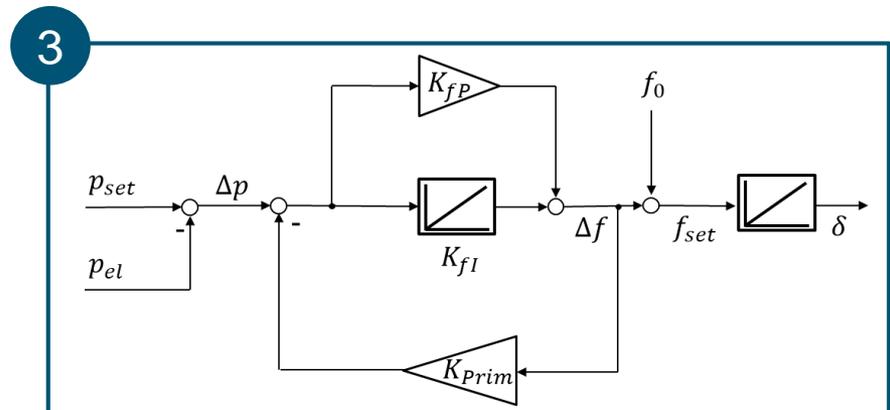
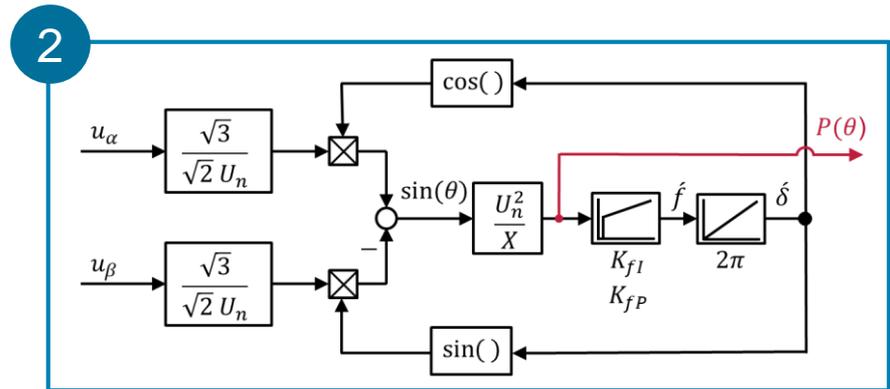
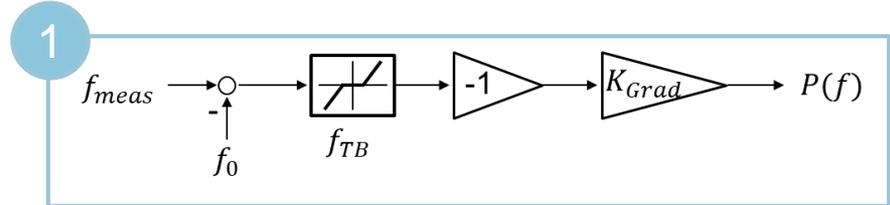
Funktionsweise der Regelung

Stromeinprägendes Verfahren CCI

- Einspeisung eines definierten Wirk- und Blindstromes und damit P und Q
- Wirkleistungswert kann durch eine P(f)- oder P(theta)-Regelung zur Systemstützung angepasst werden
- Verfahren sind dadurch auch kombinierbar
- Prinzipiell in derzeitige Wechselrichter implementierbar

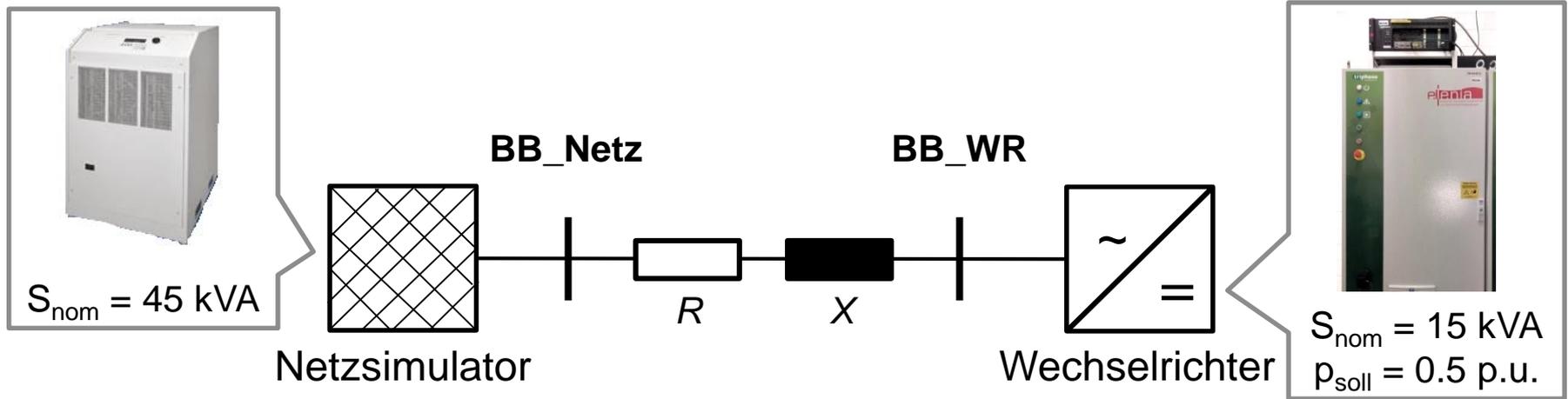
Spannungseinprägendes Verfahren VCI

- Wirkleistungsänderung ergibt sich inhärent aus der äußeren Spannung
- Mit einer virtuellen Synchronmaschinen (VSM)-Regelung ist ein stabiler Netzparallelbetrieb möglich



Vorstellung der Regelungsstrategien für Speichersysteme

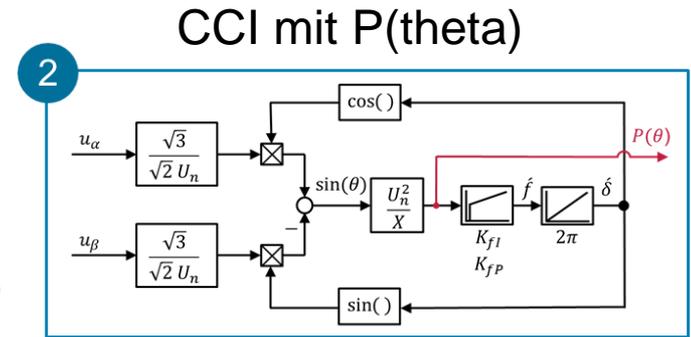
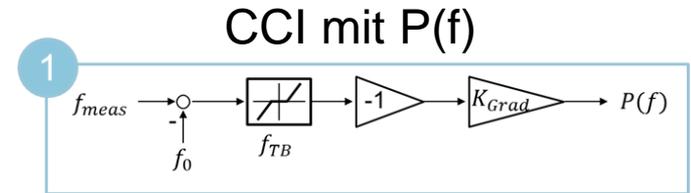
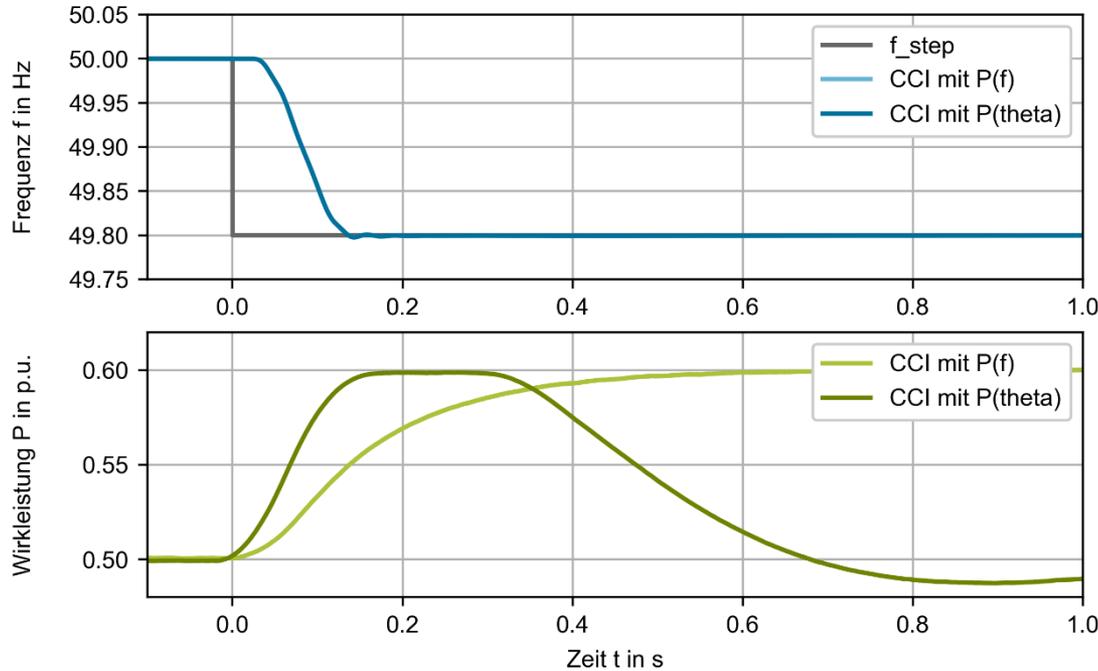
Aufbau der Laboruntersuchung



- Test der Performance der Regelung in der Laborumgebung mit einem Netzsimulator
- Realisierung der jeweiligen Regelungsansätze mittels eines frei programmierbaren Wechselrichters
- Betrachtung der Wirkleistungsreaktion auf einen Frequenzsprung zum Vergleich der Dynamik der Regelungsansätze
- Messung der Frequenz erfolgt mittels einer PLL

Vorstellung der Regelungsstrategien für Speichersysteme

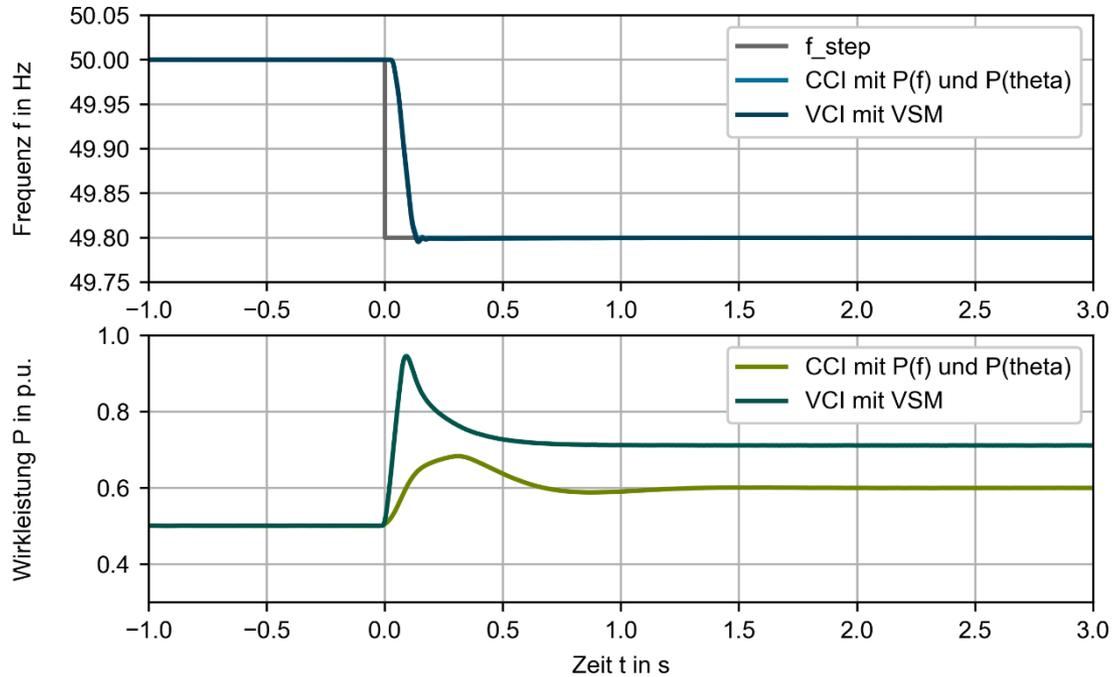
Vergleich der beiden stromeinprägenden Regelungsverfahren



- Die P(f)-Regelung reagiert im Wesentlichen proportional zur Dynamik der Frequenzmessung und ist dadurch begrenzt
- Die P(theta)-Regelung reagiert auf die geänderten Phasenwinkel im Zuge der abrupten Frequenzänderung, was eine schnellere Wirkleistungsbereitstellung zur Folge hat

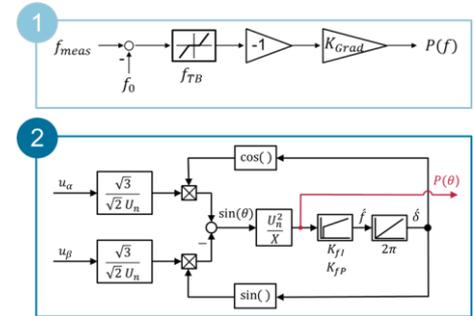
Vorstellung der Regelungsstrategien für Speichersysteme

Vergleich des strom- und spannungseinprägenden Verfahrens

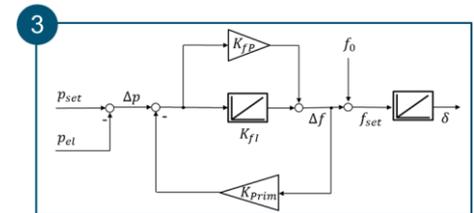


- Durch den kombinierten Einsatz von $P(f)$ und $P(\theta)$ kann schnelle dynamische Wirkleistungsreaktion erreicht werden
- Dennoch reagiert der VCI mit der Wirkleistungsreaktion deutlich schneller und ausgeprägter

CCI mit $P(f)$ und $P(\theta)$



VCI mit VSM



Agenda

1

Motivation und Stand der Forschung

2

Vorstellung verschiedener Regelungsstrategien für Speichersysteme

3

Einfluss der Regelungsstrategien auf die Kurzzeit-Frequenzstabilität

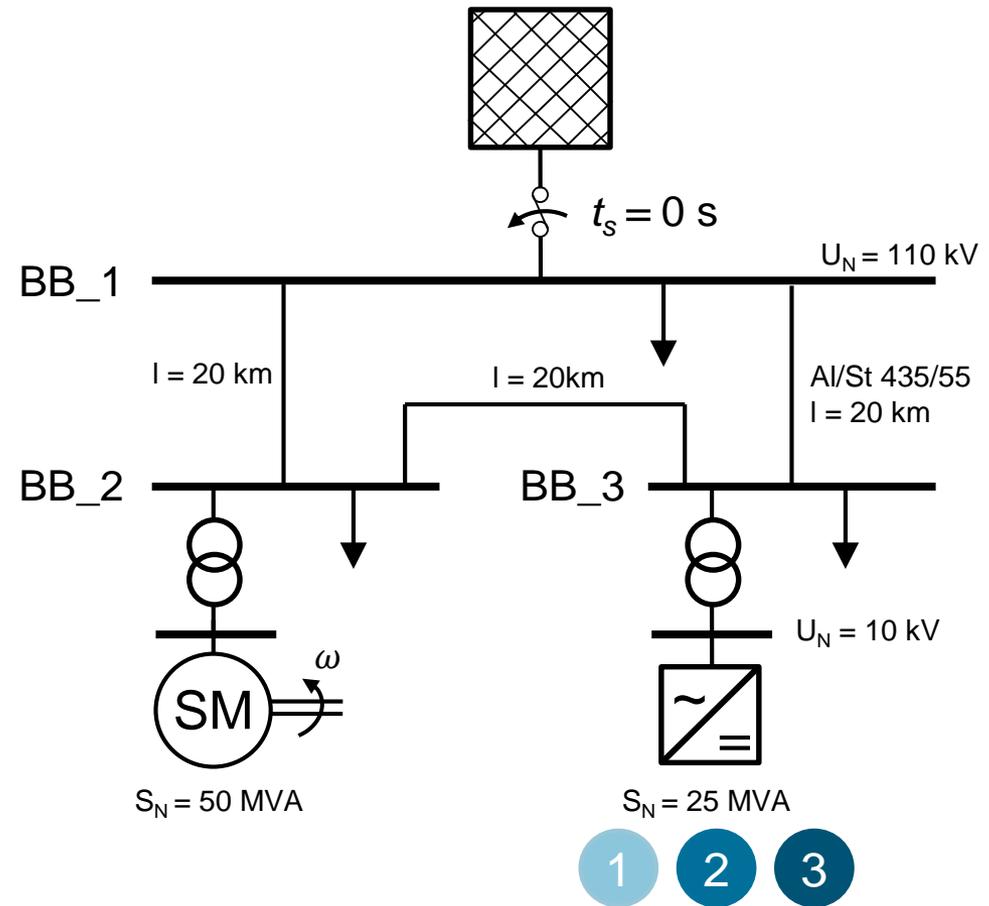
4

Zusammenfassung und Ausblick

Vergleich der Regelungsstrategien

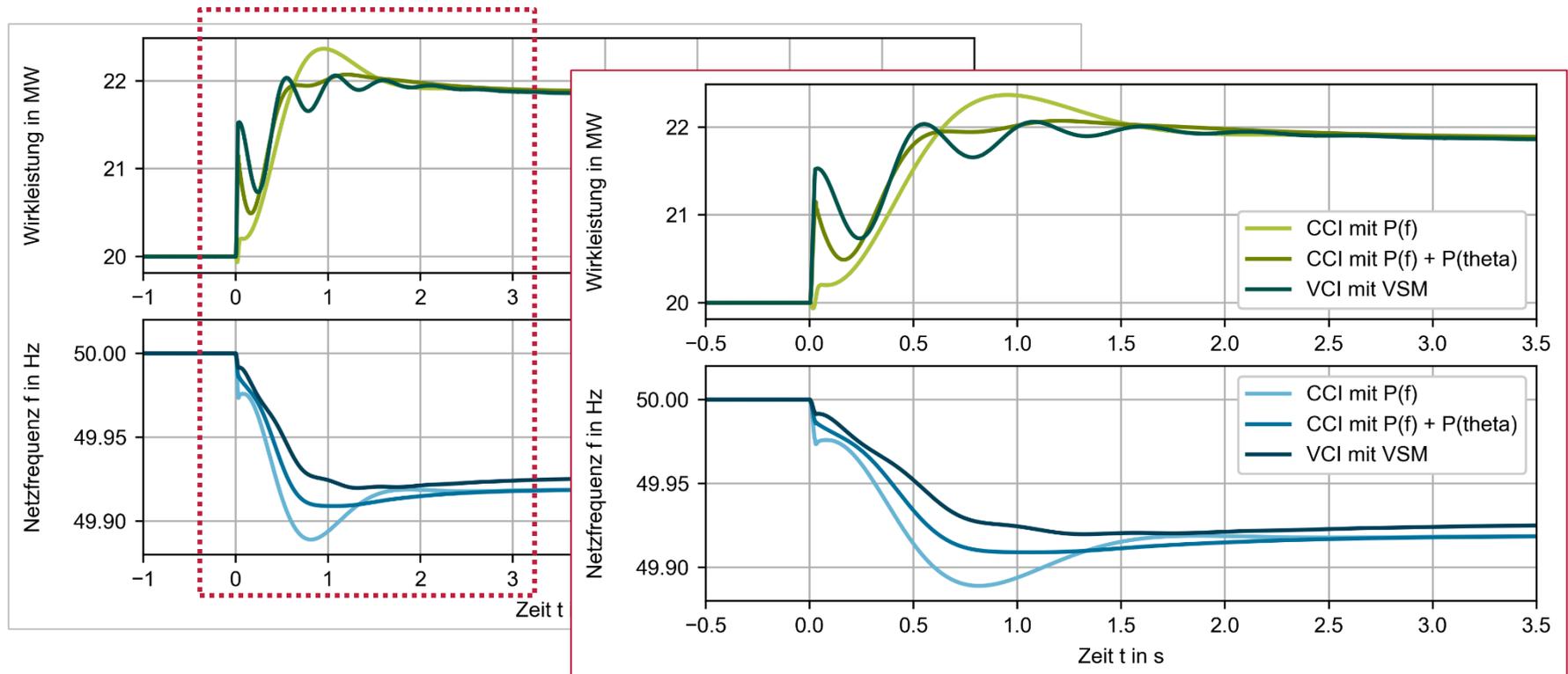
Aufbau der Simulation zum Nachweis des Frequenzverhaltens

- Anregung des Systems durch Netztrennung/Inselung
- Die verbleibende Synchronmaschine prägt hauptsächlich das Frequenzverhalten
- Der Wechselrichter wird mit verschiedenen Regelungsansätzen betrieben
- Die Frequenz wird mittels einer PLL an der Sammelschiene BB_1 bestimmt



Vergleich der Regelungsstrategien

Simulationsergebnisse



- Die P(f)-Regelung reagiert durch die proportionale Regelung verzögerter als die anderen beiden Regelungsansätze
- Die VSM-Regelung zeigt das beste Frequenzverhalten, wobei der kombinierte Einsatz beider CCI-Regelungen ebenfalls ähnliche Ergebnisse liefert

Agenda

1

Motivation und Stand der Forschung

2

Vorstellung verschiedener Regelungsstrategien für Speichersysteme

3

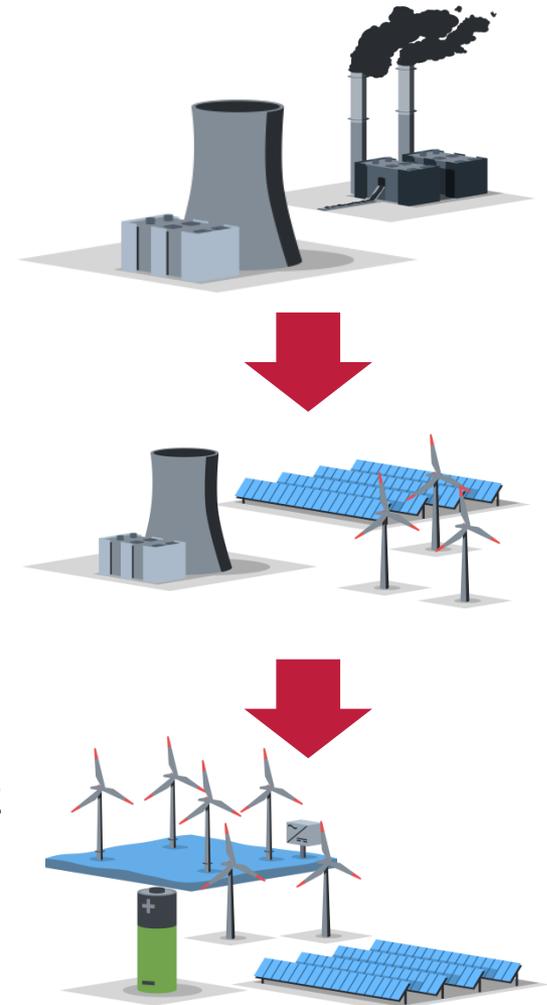
Einfluss der Regelungsstrategien auf die Kurzzeit-Frequenzstabilität

4

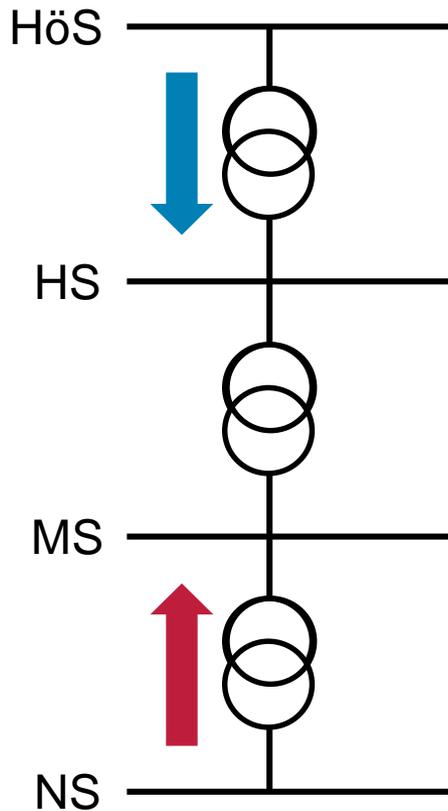
Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

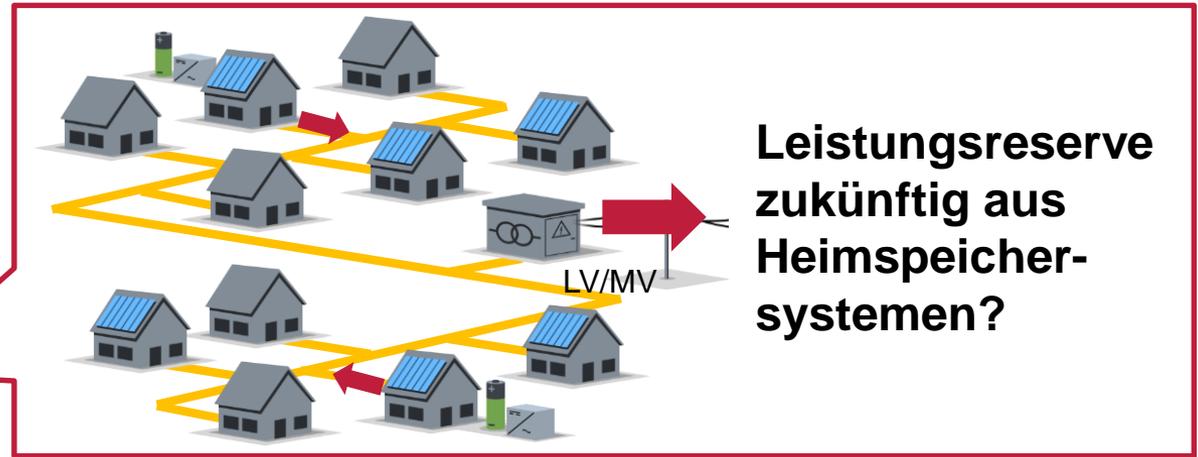
- Prinzipiell verbessern alle Verfahren die Kurzzeit-Frequenzstabilität
- Je mehr Komponenten auf Frequenzabweichungen reagieren, desto geringer die Abweichungen von der Nominalfrequenz
- Ergänzungen bei stromeinprägenden Regelungen bieten eine verhältnismäßig einfache Möglichkeit, frequenzstützendes Verhalten in Speichersystemen umzusetzen
- Das beste Frequenzverhalten wird durch den Einsatz von spannungseinprägenden Regelungen erreicht, jedoch müssen Netze entsprechend ausgelegt sein



Zusammenfassung und Ausblick



Leistungsreserve aus konventionellen Kraftwerken



Leistungsreserve zukünftig aus Heimspeichersystemen?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die vorliegenden Erkenntnisse wurden im Rahmen des BMWi-geförderten Verbundvorhabens „Netzregelung 2.0“ (Förderkennzeichen 0350023B) ermittelt. Die Autoren danken dem BMWi für die finanzielle Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor und spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Projektkonsortiums Netzregelung 2.0 wieder.

Florian Rauscher, M.Sc.

Institut für Hochspannungstechnik und
elektrische Energieanlagen - elenia

Phone: +49 (0) 531 / 391 7760

Mail: f.rauscher@tu-braunschweig.de

Co-Autoren:

Björn Oliver Winter (elenia)

Julia Seidel (elenia)

Bernd Engel (elenia, SMA)