



Technische  
Universität  
Braunschweig



## Bereitstellung von Momentanreserve aus Mittel- und Niederspannungsnetzen

Florian Rauscher, M.Sc. | 17. Symposium Energieinnovation 2022 in Graz | 16.02.2022

# Momentanreserve aus Mittel- und Niederspannungsnetzen

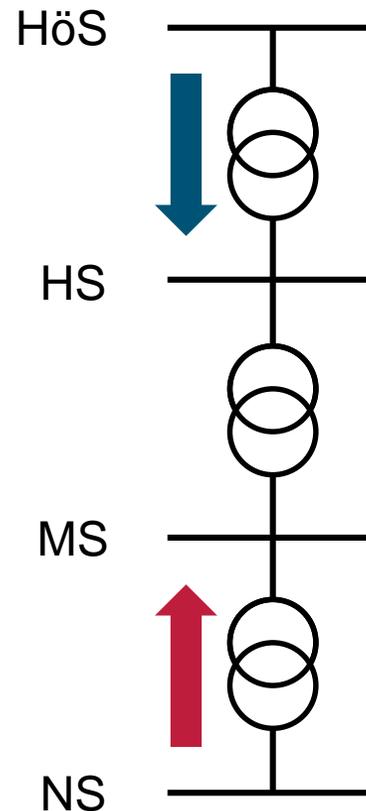
## Agenda

### Motivation

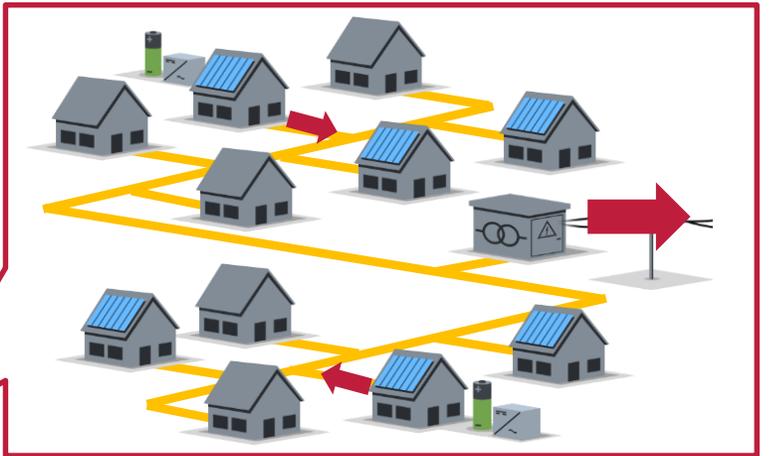
Vorarbeiten und Methodik

Ergebnisse der Simulationsreihen im spannungsebenenübergreifenden Netz

Zusammenfassung der Ergebnisse und weitere Fragestellungen



Momentanreserve aus konventionellen Kraftwerken



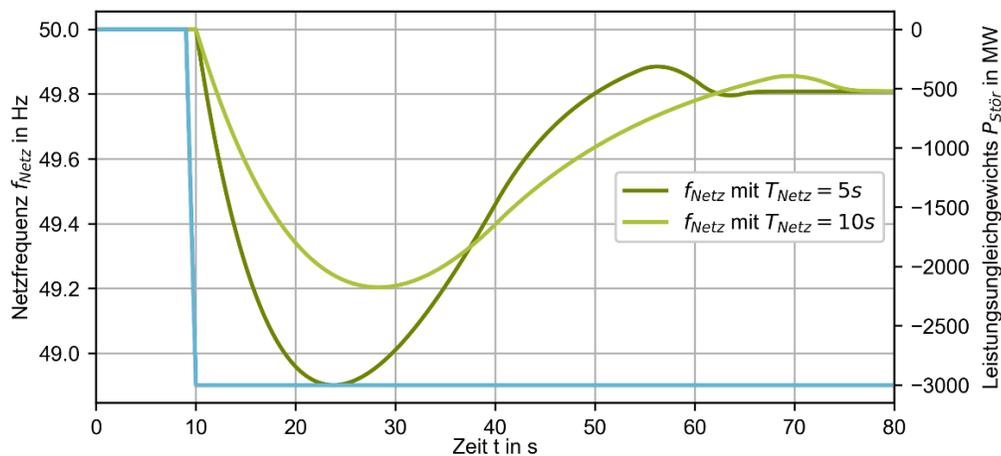
Momentanreserve aus Anlagen im Mittel- und Niederspannungsnetz?

# Momentanreserve und Frequenzstabilität

Die Maßnahmen der Frequenzstabilität benötigen ein Mindestmaß an Momentanreserve, um Großstörungen des Verbundnetzbetriebes beherrschen zu können

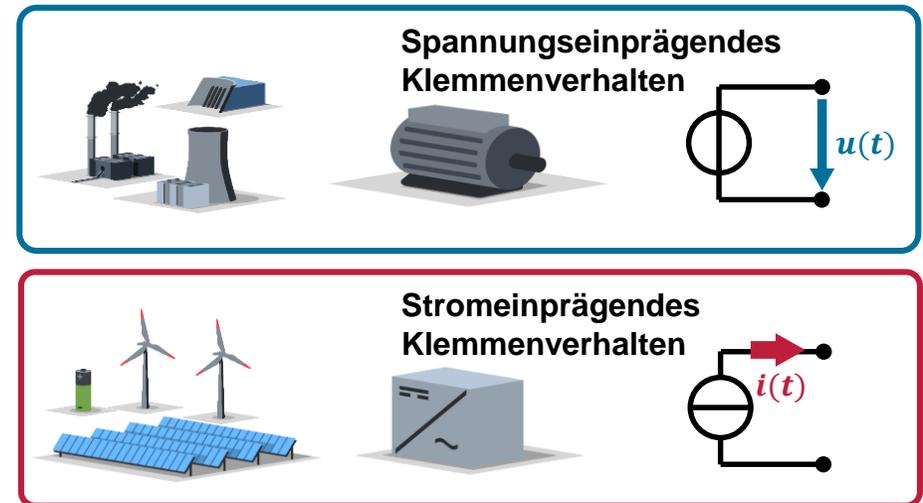
## Bedarf an Momentanreserve

- Lastereignisse werden im Kurzzeitbereich aktuell ausschließlich durch die netzstabilisierende kinetische Energie der direkt gekoppelten Synchrongeneratoren ausgeglichen
- Eine abnehmende Anzahl an Synchrongeneratoren führt demnach zu einem volatilerem Frequenzverhalten bis zum Verlust der Frequenzstabilität



## Quellen von Momentanreserve

- Momentanreserve wird durch ein netzbildendes spannungseinprägendes Klemmenverhalten bereitgestellt
- Aktuell sind die einzigen Netzbildner im Netz die Synchrongeneratoren der Großkraftwerke
- Zukünftig können netzbildende, spannungseinprägende Wechselrichter diese Lücke schließen



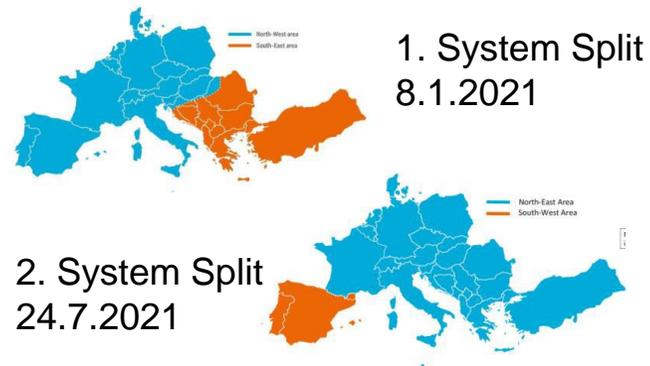
# Rechtlich-regulatorischer Rahmenbedingungen der Momentanreserve

Die rechtliche Basis für eine marktliche Beschaffung für Momentanreserve liegt bereits vor und muss nur umgesetzt werden

## EU-Strommarktrichtlinie

- EU-Beschluss der neuen Strommarktrichtlinie
- Umsetzung nationaler Ebene (in D) über die § 12h EnWG „Marktgestützte Beschaffung von nicht-frequenzgebundenen Systemdienstleistungen“ (nf-SDL)
- Diskriminierungsfreie marktliche Beschaffung der Momentanreserve als Trägheit der lokalen Netzstabilität
- BNetzA 2020: Aussetzung nach § 12h Nr. 3 EnWG u.a. weil kein akuter Bedarf an Momentanreserve bestehe (Perspektive auf den System Split 2006)
- 2023: Turnusmäßige Neubewertung

## Entwicklung in 2021



- Zwei System-Splits
- Anschließend vorgezogener Kohleausstieg im Koalitionsvertrag
- Ausweisung eines akuten Bedarfs an Momentanreserve von 600 GWs im neuen Netzentwicklungsplan (NEP)

## Vorgezogener Kohleausstieg

- Langfristig Überführung in nationale bzw. europäische Anschlussregeln TAR bzw. EU NC / RfG
- Kurzfristig kann die marktliche Beschaffung als Anreiz zur Deckung der akuten Versorgungslücke genutzt werden
- BNetzA kann über § 12h Nr. 3 EnWG einzelne Spannungsebenen aus der marktlichen Beschaffung ausnehmen
- NEP: Prüfung, ob alle zukünftigen EE-Anlagen auch zur Deckung der Momentanreserve beitragen können

# Momentanreserve aus Mittel- und Niederspannungsnetzen

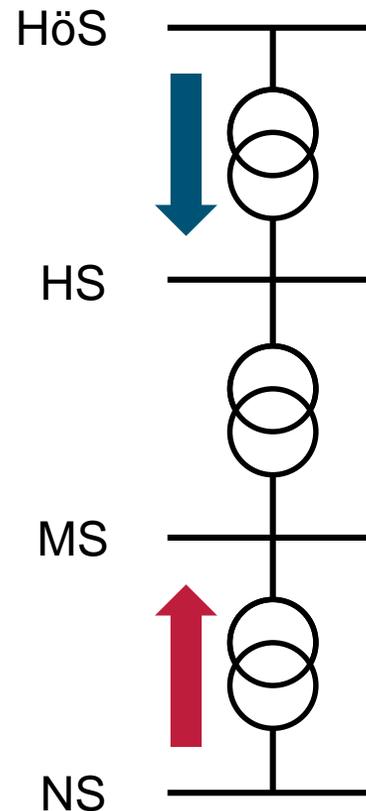
## Agenda

Motivation

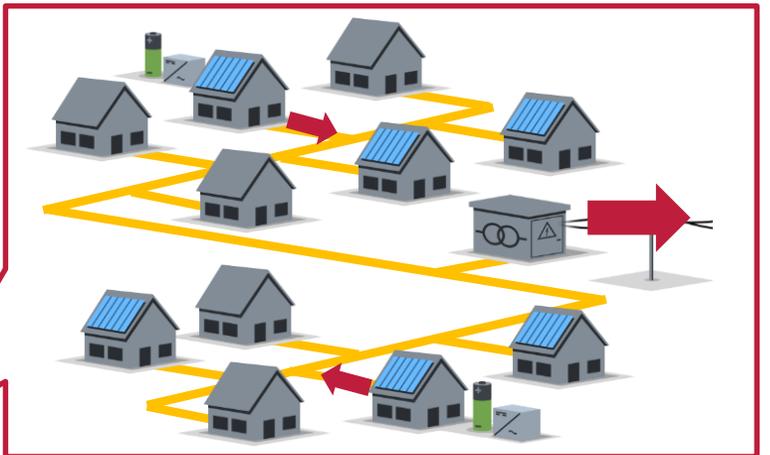
### Vorarbeiten und Methodik

Ergebnisse der Simulationsreihen im spannungsebenenübergreifenden Netz

Zusammenfassung der Ergebnisse und weitere Fragestellungen



Momentanreserve aus konventionellen Kraftwerken



Momentanreserve aus Anlagen im Mittel- und Niederspannungsnetz?

# Vorarbeiten und Einordnung des Untersuchungsgegenstandes

Studien im Bereich des Verhaltens von verteilten Anlagen existieren überwiegend nur für stromeinprägende netzfolgende Wechselrichter, die aufgrund der Zeitkonstanten im Reglerverhalten keinen Beitrag liefern können

VDE-Studie



Weiterentwicklung des Verhaltens von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz im Fehlerfall

Abschlussbericht

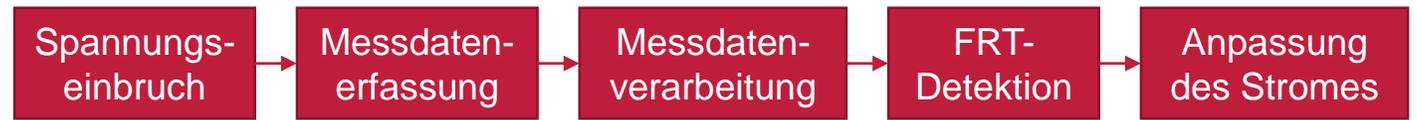
FNN

VDE



Nicht direkt anwendbar

Verhalten von netzfolgenden Wechselrichtern mit Stromquellenverhalten



Dauer\*: 10 - 20 ms

Aktivierte Regelungsfunktion auf Basis des Spannungseinbruchs

\* T. Sauer, F. Tiedt, F. Rauscher, B. Engel, „Vergleich verschiedener Wechselrichterregelungen in Netzfehlersituationen im Netzdynamiklabor“, 17. Symposium Energieinnovation, 16.-18.02.2022, Graz/Austria

Verhalten von netzbildende Wechselrichter mit Spannungsquellenverhalten



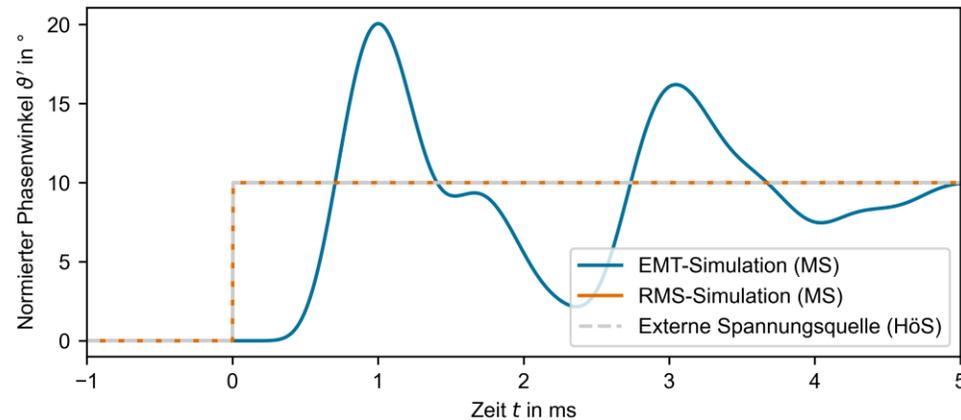
Ausgleichsvorgang aufgrund der Differenz in Spannungszeigern

# Methodisches Vorgehen

## Momentanwert-Simulation eines kombinierten spannungsebenenübergreifenden Netzes mit dynamischen Netzmodellen für Synchronmaschinen und netzbildende Wechselrichter

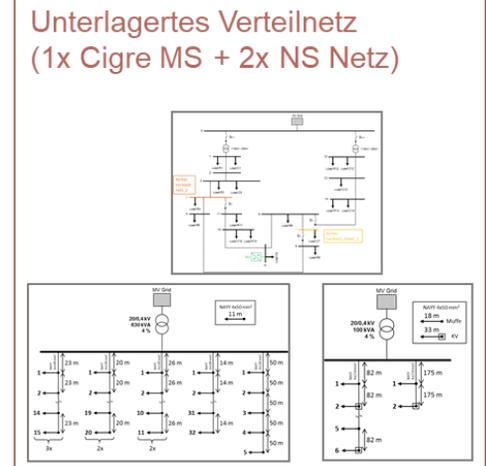
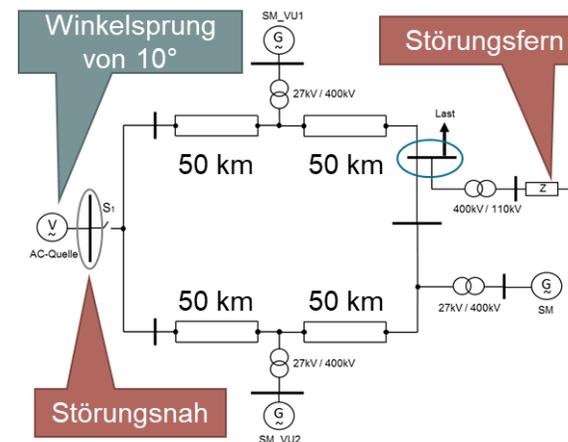
### Herausforderungen bei der Durchführung der Simulationen

- Spannungsebenen-übergreifendes Netz mit vielen Netzkomponenten
- Mehrere netzbildende Einheiten (Synchrongeneratoren und netzbildende Wechselrichter) um ein aggregiertes Verhalten zu untersuchen
- Dynamische Simulation (EMT) zwingend notwendig, da RMS Simulationen keine Zeitverläufe von Phasenwinkeln betrachten



### Simulationsnetz

- Höchstspannungsnetz mit einer externen Spannungsquelle, die den Winkelsprung einprägt, sowie drei weitere Synchrongeneratoren
- Ein unterlagertes Verteilnetz mit einer Kombination aus dem Cigre Mittelspannungsnetz sowie zwei typischen Niederspannungsnetzen mit verteilten netzbildenden Wechselrichtern



# Momentanreserve aus Mittel- und Niederspannungsnetzen

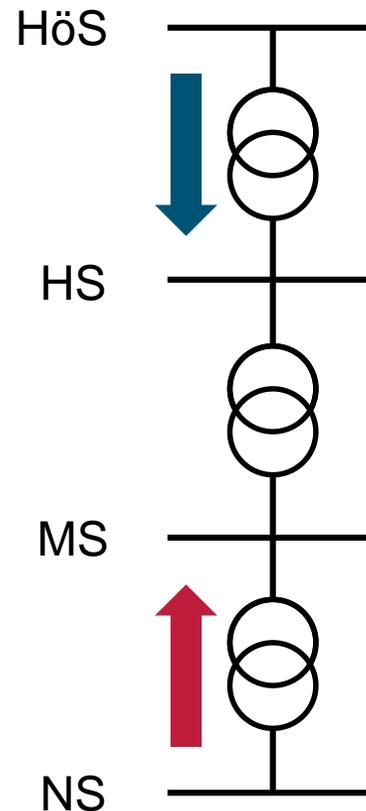
## Agenda

Motivation

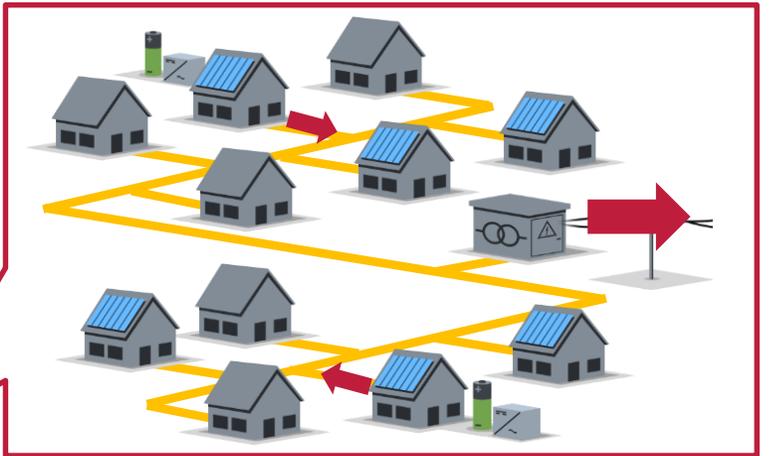
Vorarbeiten und Methodik

**Ergebnisse der Simulationsreihen im spannungsebenenübergreifenden Netz**

Zusammenfassung der Ergebnisse und weitere Fragestellungen



Momentanreserve aus konventionellen Kraftwerken

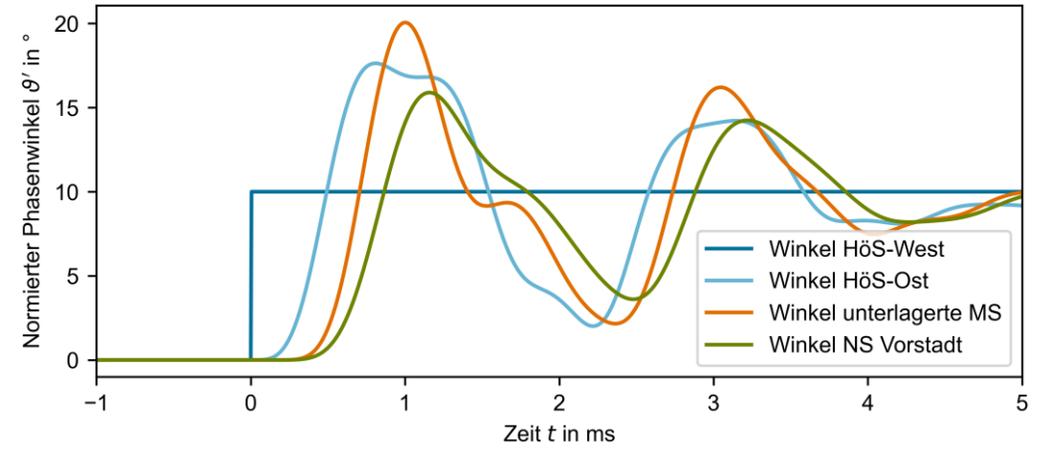


**Momentanreserve aus Anlagen im Mittel- und Niederspannungsnetz?**

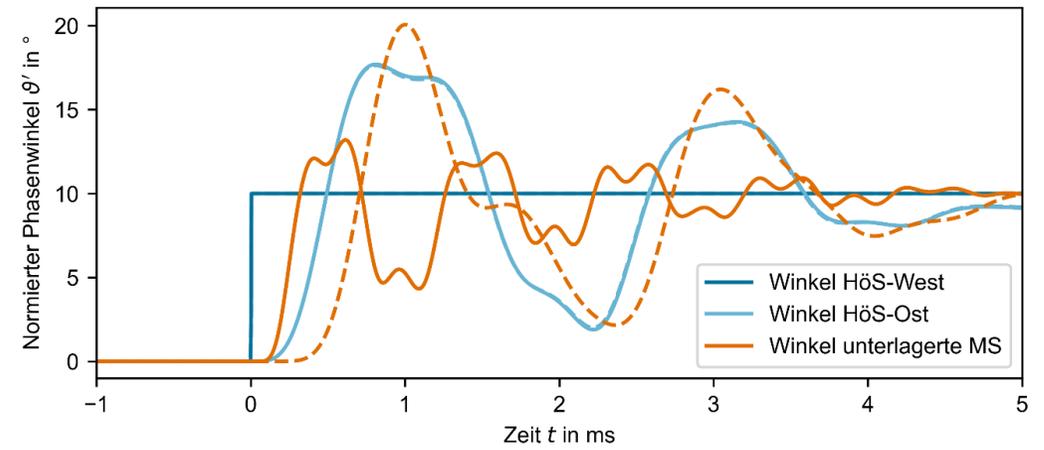
# Ausbreitung eines Winkelsprungs innerhalb des Simulationsnetzes

Die Auswirkungen des Raumzeigerwinkelsprungs innerhalb des spannungsebenen-übergreifenden Simulationsnetzes sind bis zum Niederspannungsnetz stets in unter 1 ms detektierbar

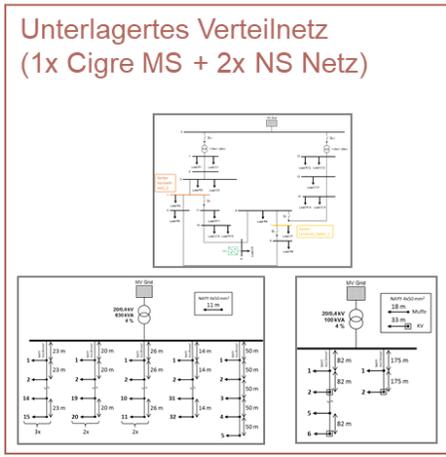
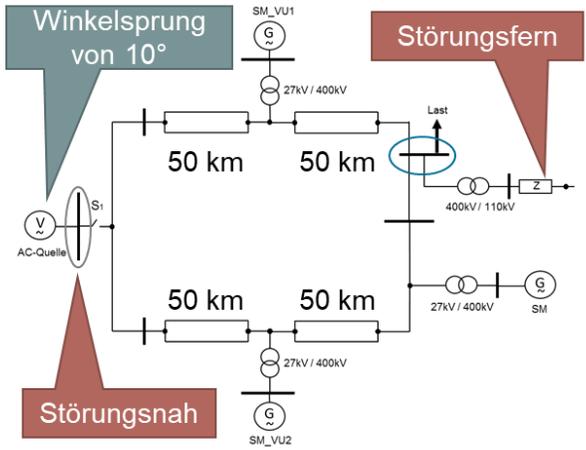
- Analyse von zwei Szenarien: störungsfern (a) und störungsnah (b) verbundenes Verteilnetz
- Deaktivierung aller Synchronmaschinen und netzbildenden Wechselrichter, um die Ausbreitung des Winkelsprungs rein durch die Netzstruktur zu analysieren
- Vergleich der Reaktionszeiten, wo die Änderung des Winkels erstmalig sichtbar wird



a) Störungsfern



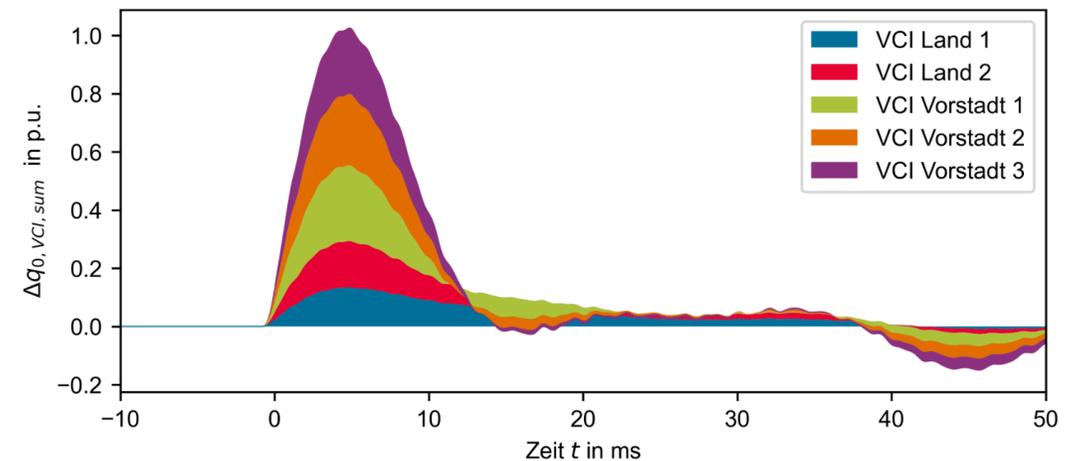
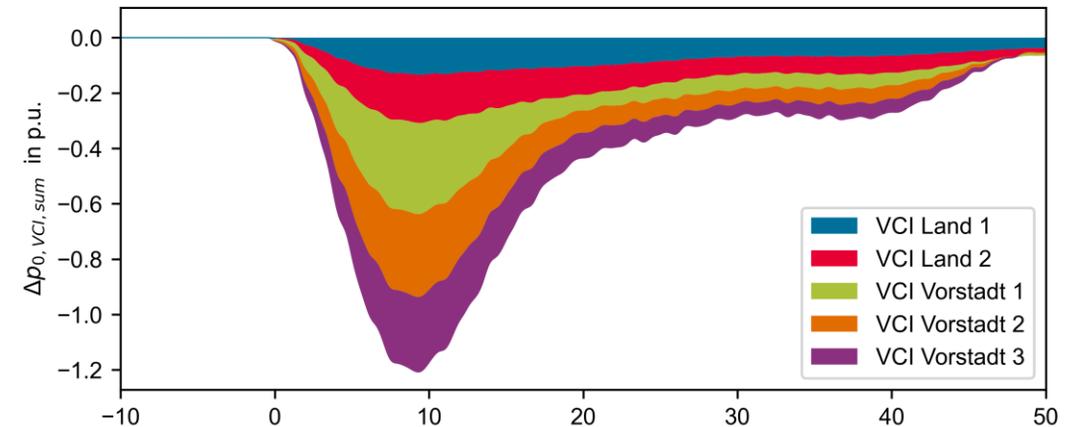
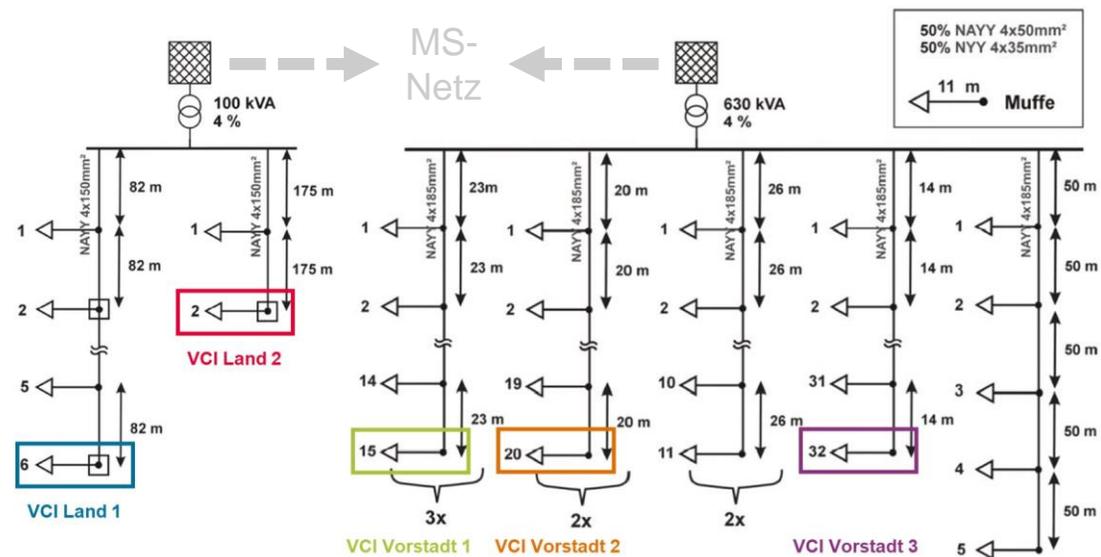
b) Störungsnah



# Aggregierte Wirk- und Blindleistungsreaktion im Niederspannungsnetz

## Gemeinsame Leistungsreaktion verschiedener netzbildender Wechselrichter an verschiedenen Einspeiseorten in Niederspannungsnetzen

- Aktive netzbildende Regelung bei fünf 10 kVA Wechselrichtern an den jeweiligen Ausläufern der Niederspannungsnetze
- Kein unmittelbares Gegeneinander-Schwingen der Komponenten beobachtbar, aber auch gleiche Parametrierung und gleiche Größe der Wechselrichter

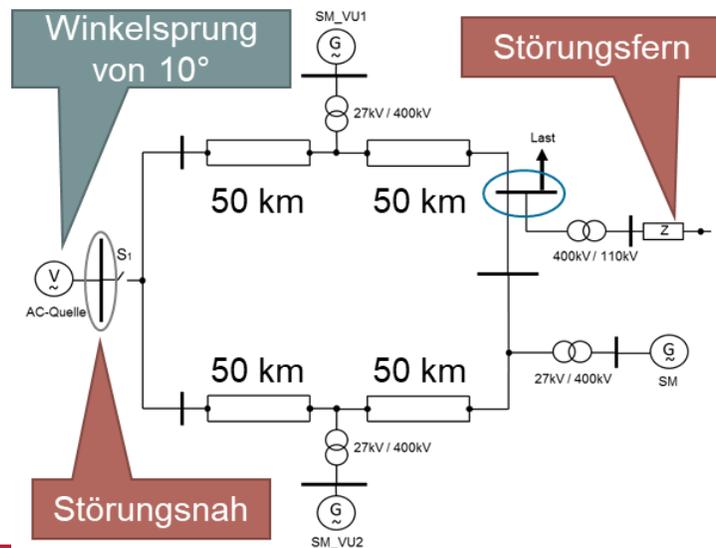


# Sensitivität gegenüber verbleibenden Synchrongeneratoren

Bei gleichbleibender Durchdringung von netzbildenden Wechselrichtern nimmt deren Wirkleistungsreaktion auf den Winkelsprung bei einer Abnahme an Synchronmaschinen im Höchstspannungsnetz zu

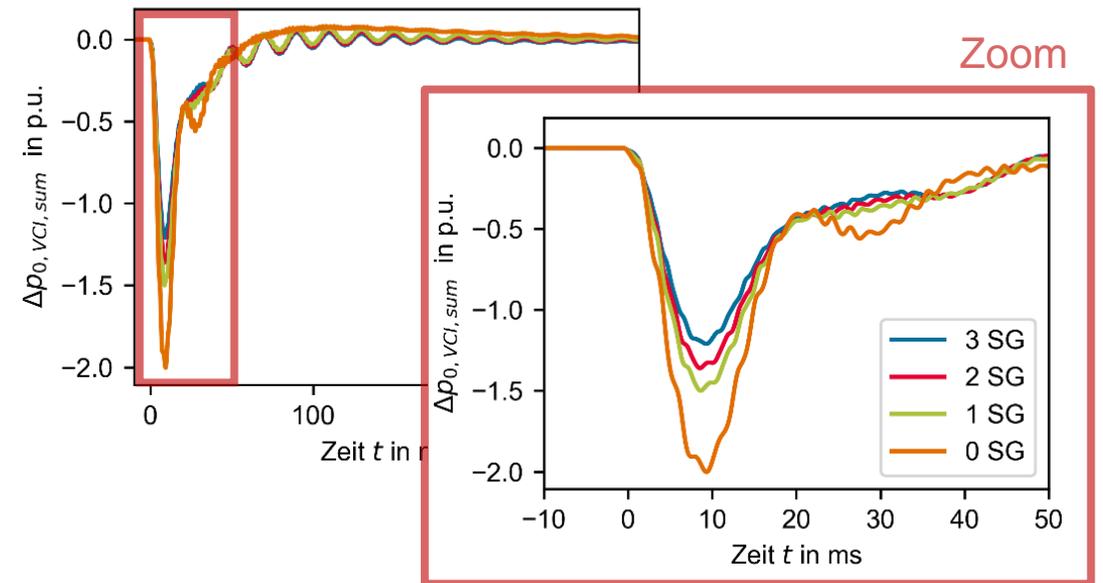
## Untersuchungsszenario

- Eingprägter Winkelsprung von  $10^\circ$
- Analyse der aggregierten Leistungsbereitstellung der verteilten netzbildenden Wechselrichter
- Sensitivität: Reduktion der Anzahl aktiver Synchronmaschinen, die am Höchstspannungsnetz angeschlossen sind



## Ergebnis

Bei einer abnehmenden Anzahl an Synchrongeneratoren im Netz und gleichzeitig gleichbleibendem Winkelsprung werden die netzbildenden Wechselrichter in den unterlagerten Spannungsebenen mehr gefordert



# Momentanreserve aus Mittel- und Niederspannungsnetzen

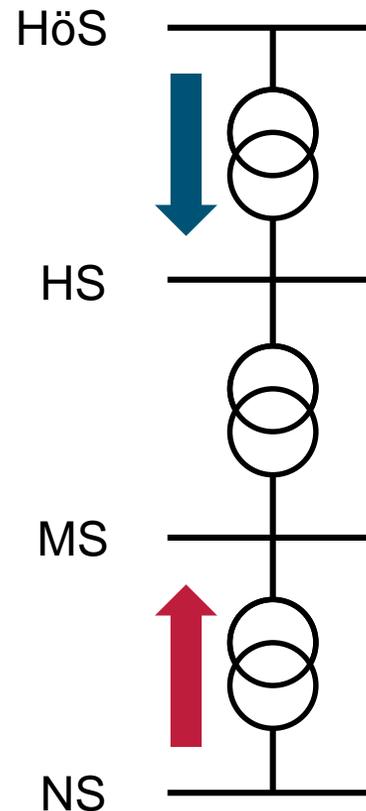
## Agenda

Motivation

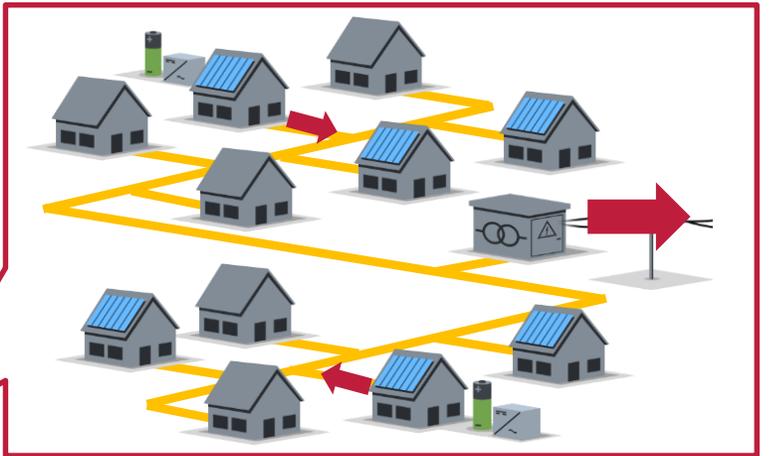
Vorarbeiten und Methodik

Ergebnisse der Simulationsreihen im spannungsebenenübergreifenden Netz

**Zusammenfassung der Ergebnisse und weitere Fragestellungen**



Momentanreserve aus konventionellen Kraftwerken



**Momentanreserve aus Anlagen im Mittel- und Niederspannungsnetz?**

# Zusammenfassung und Ausblick

## Ergebnisse aus den Simulationsreihen

- Phasenwinkelsprünge breiten sich selbst bis ins Niederspannungsnetz in unter einer Millisekunde aus
- Somit kann davon ausgegangen, dass die notwendige Bedingung für eine hinreichend schnelle Bereitstellung von Momentanreserve erfüllt ist (in Diskussionen häufig  $< 5$  ms)

## Auswirkung der Ergebnisse für die nf-SDL nach § 12h EnWG

- Die Bereitstellung von Momentanreserve bzw. Trägheit der lokalen Netzstabilität kann prinzipiell auch durch die Mittel- und Niederspannungsnetze erfolgen
- Eine pauschale Ausnahme dieser Spannungsebenen kann aus rein physikalischen Gründen nicht erfolgen
- Neben der effektiven Bereitstellung stellt sich nach wie vor die Frage einer effizienten Bereitstellung, was erst durch eine ausführliche Kosten-Nutzen Abwägung erfolgen kann

## Weitere Forschungsbedarf und Fragestellungen

- Wie lassen sich die neuen netzbildenden Wechselrichter in die aktuelle Betriebsführung insbesondere der Verteilnetze integrieren?
- Wie interagieren diese Komponenten mit bestehenden Schutzsystemen und Netzfunktionen?
- Wie verhalten sich die aggregierte Leistungsbereitstellung von netzbildenden Wechselrichtern mit unterschiedlicher Leistungsklasse und unterschiedlicher Parametrierung?
- Wie verhält sich die Bereitstellung von Momentanreserve aus dem Verteilnetz in einer closed-loop Simulation?

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Kontaktdaten



**FLORIAN RAUSCHER, M.SC.**

*Wissenschaftlicher Mitarbeiter*

Team Netzdynamik und  
Systemstabilität

Arbeitsgruppe Energiesysteme

[f.rauscher@tu-braunschweig.de](mailto:f.rauscher@tu-braunschweig.de)

+49 531 391 7760

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Danksagung

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.



**elenia Institut für Hochspannungstechnik u.  
Energiesysteme**

Technische Universität Braunschweig

Schleinitzstraße 23  
38106 Braunschweig  
Germany

