

Zukünftige Netzregelung mit Erneuerbaren Energien

Dr.-Ing. Wilhelm Winter, TenneT TSO GmbH
Prof. Dr.-Ing. Istvan Erlich, Univ. Duisburg-Essen

Gliederung

1. Einleitung

2. Motivation für netzbildende Regelungsverfahren und Fragestellungen

3. Vergleich stromeinprägende und spannungseinprägende Regelung

4. Möglichkeiten der Implementierung spannungseinprägender Regelungen

5. Ergebnisse der Analysen in unterschiedlichen Testsystemen

6. Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Ausblick

Einleitung

- Leistungsanteil LE-basierter Erzeugung steigt kontinuierlich an und erreicht bereits heute bis zu 80 % der Einspeiseleistung an Tagen mit sehr hohem Wind- und Solardargebot.
- LE-basierte Betriebsmittel (WEA, PV, HVDC, FACTS) werden üblicherweise als geregelte Stromquellen betrieben.
 - ein stabiler Betrieb des Netzes mit heutiger Regelung ohne einen Mindestanteil an Synchrongeneratoren nicht möglich
 - Für die weitere Integration EE müssen spannungseinprägende Verfahren zeitnah in den Stand der Technik überführt werden
 - Funktionale Anforderungen Spannungsregelung in der TAR 4131 für HGÜ Systeme und Offshore WEA bereits formuliert
 - Erste Untersuchungsergebnisse für alternative Regelungskonzepte liegen aus nationalen und internationalen Studien vor

SUE Projekt

- Funktion des frequenzabhängigen Lastabwurfs bei zunehmender Dezentralisierung
- Funktion des Netzschutzes bei zunehmender Einspeisung aus Leistungselektronik
- Einfluss LE-basierter Betriebsmittel auf Kurzschlussleistung, Netzstabilität und Power Quality
- Überfrequenzregelung bei Bildung von Teilnetzen mit hoher Einspeisung aus LE



SUE: Systemeigenschaften Umrichterbasierter Erzeugung

50Hertz Transmission GmbH

Heidestraße 2
10557 Berlin
E-Mail: info@50hertz.com

TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth
E-Mail: info@tennet.eu

Amprion GmbH

Rheinlanddamm 24
44139 Dortmund
E-Mail: info@amprion.net

TransnetBW GmbH

Osloer Straße 15–17
70173 Stuttgart
E-Mail: info@transnetbw.de

Motivation

Netzbildende Regelungsverfahren

- Verringerung des Anteils Synchronmaschinen am Netz durch Verdrängung durch dezentrale erneuerbare Einspeisung (umrichterbasiert bzw. leistungselektronisch)
- Stabilitätsphänomene werden bei schlagartiger Absenkung der Kurzschlussleistung und rotierender Masse offensichtlich
- Für DE Systemverhalten insbesondere bei Teilnetzbildung relevant
 - Netzbildendes Regelverhalten, auch im Verbundbetrieb (keine Umschaltungen)
 - Stabilität der Regelung im Momentanwertbereich (direkt und wenige Netzperioden nach einer Störung)

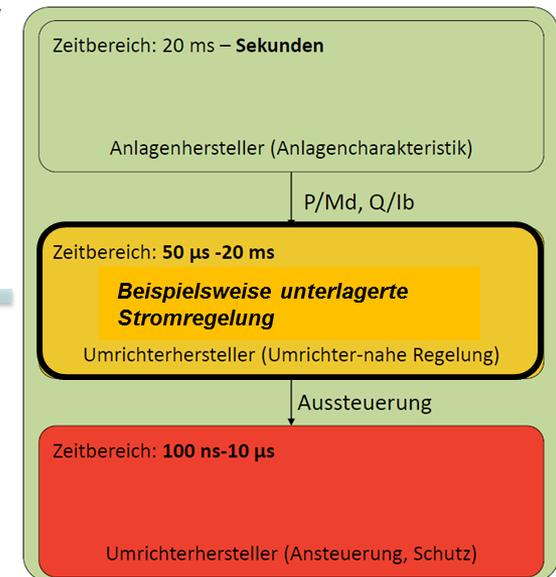
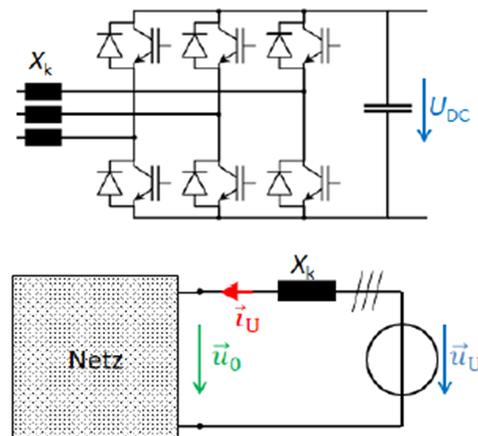
Fragestellungen hinsichtlich Reglerstabilität

- Welchen Einfluss hat die zunehmende Durchdringung umrichterbasierter Erzeugung auf
 - die transiente Stabilität und die Spannungsstabilität der Netze?
 - die Spannungsqualität im Netz?
 - das Kurzschlussstromverhalten und auf den Netzschutz?
 - die Beherrschung von Fehlern und Großstörungen?
- Sind netzbildende Regelungsverfahren in zukünftigen Netzen mit einem hohen Anteil an Leistungselektronik erforderlich?
- Grenzen der klassischen Stromregelung

Strom- und spannungseinprägende Regelung

- Neben überlagerten Regelungen (Leistungsregelung bzw. P(f)-Statik) ist bei Netzauftrennungen auch das Verhalten der umrichter-nahen Regelung (derzeit stromeinprägende Regelung / klassische Stromregelung) relevant
- Unterscheidung nach Klemmenverhalten in **strom- oder spannungseinprägende Regelung**

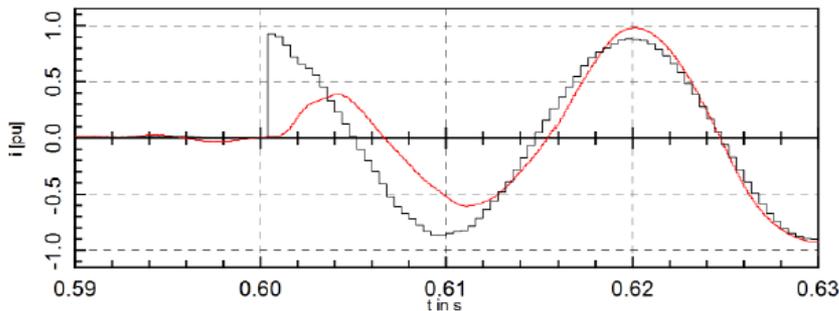
H. Wrede: Verhalten von Umrichtern am Netz, ETG/GMA-Fachtagung 2017



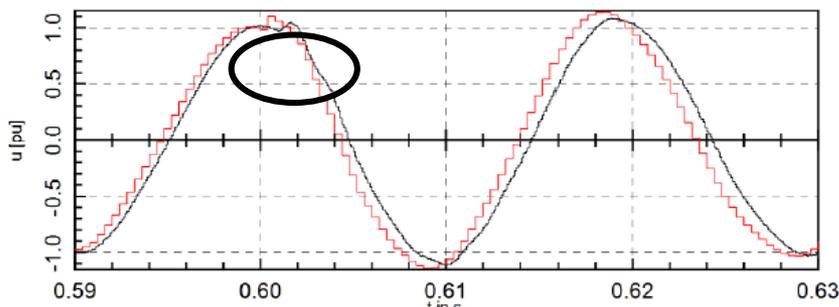
Typisches Zeitverhalten am „schwachen Netz“

- Verhalten bei Sollwertsprung in der Wirkleistung
- Starker Regeleingriff durch Stell- bzw. Quellenspannung

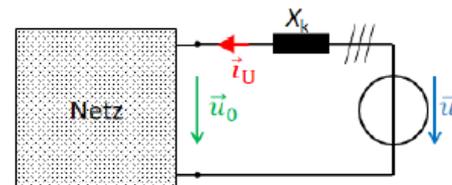
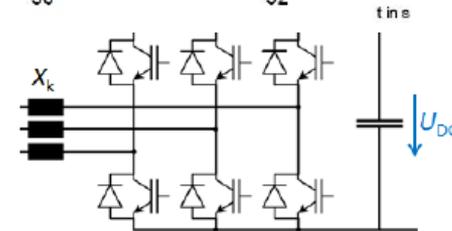
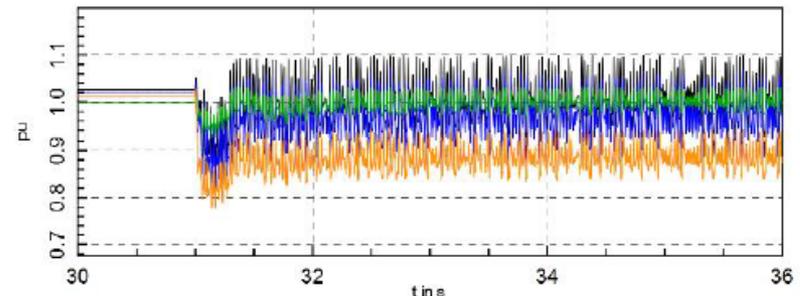
Netzstrom (schwarz: Sollwert, rot: Istwert)



Netzspannung (schwarz) und Stellspannung (rot)



Stromeinprägende Regelung



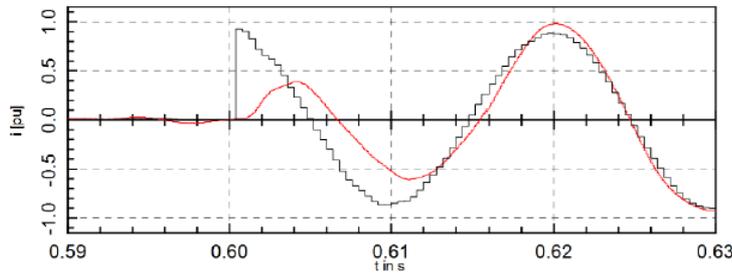
Konsequenz

H. Wrede: Verhalten von Umrichtern am Netz, ETG/GMA-Fachtagung 2017

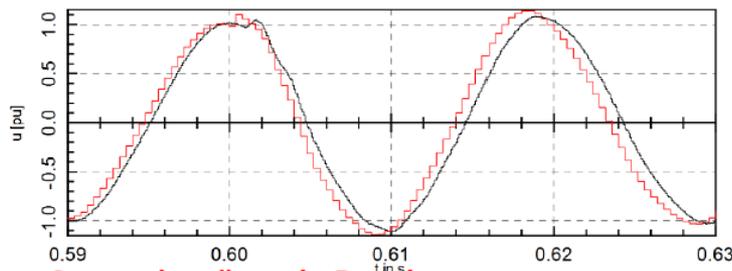
Typisches Zeitverhalten am „schwachen Netz“

- Verhalten bei Sollwertsprung in der Wirkleistung
- Grundsätzlich unterschiedliche Wirkungsweise des Stelleingriffs durch Quellenspannung

Netzstrom (schwarz: Sollwert, rot: Istwert)

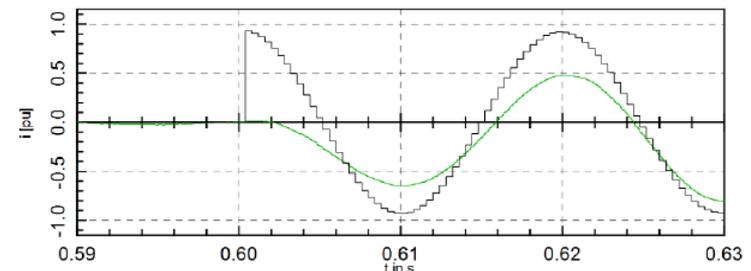


Netzspannung (schwarz) und Stellspannung (rot)

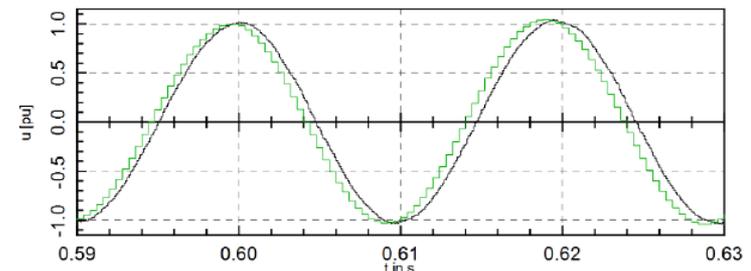


Stromeinprägende Regelung

Netzstrom (schwarz: Idealer Wert, grün: Istwert)



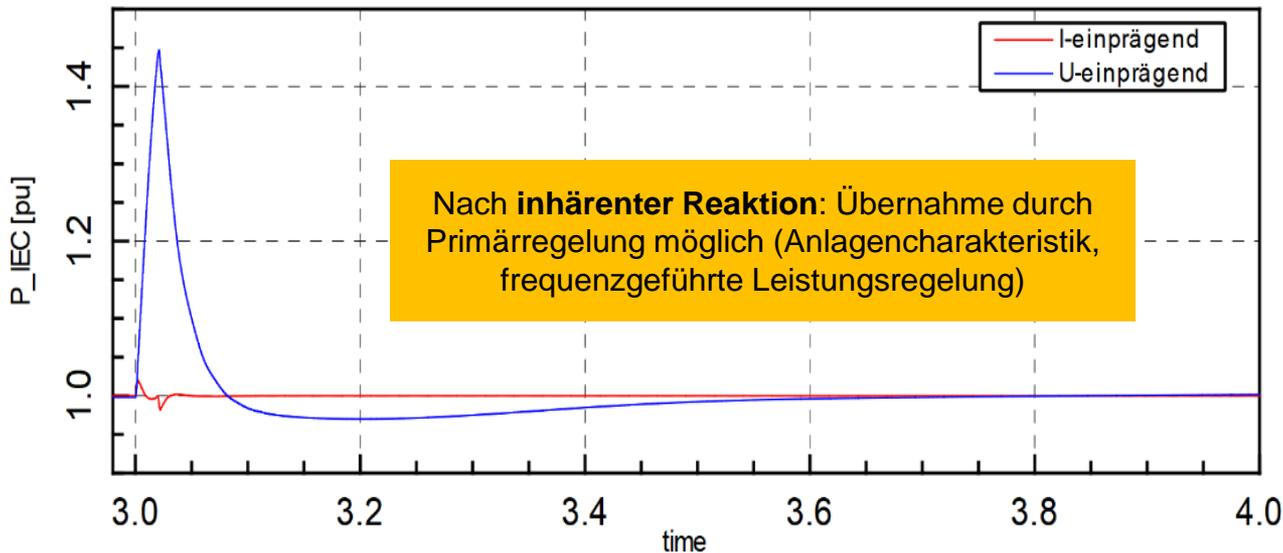
Netzspannung (schwarz) und Stellspannung (grün)



Spannungseinprägende Regelung

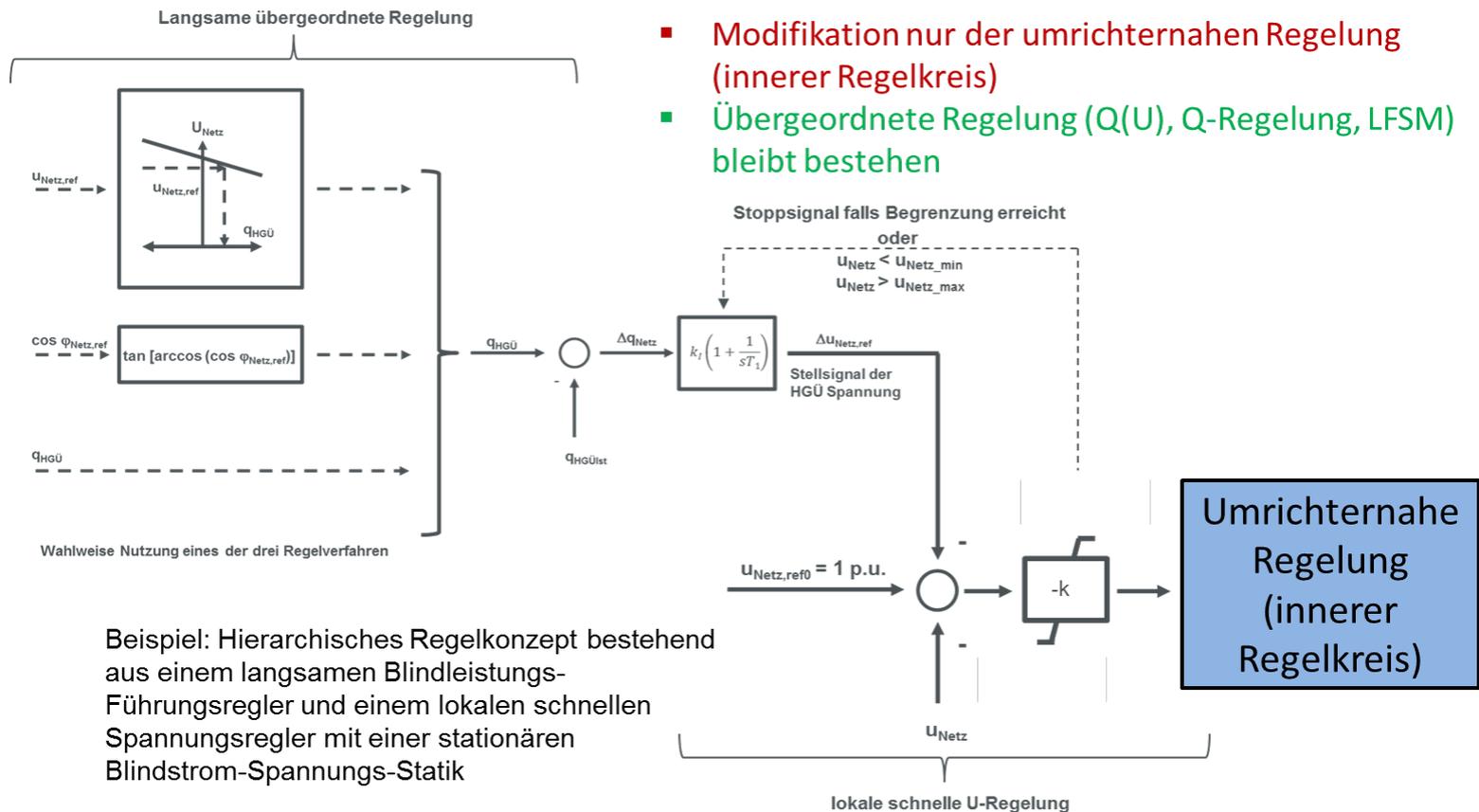
Strom- Spannungseinprägende Regelung

- Inhärente Bereitstellung von Momentanreserve im Momentanwertbereich möglich



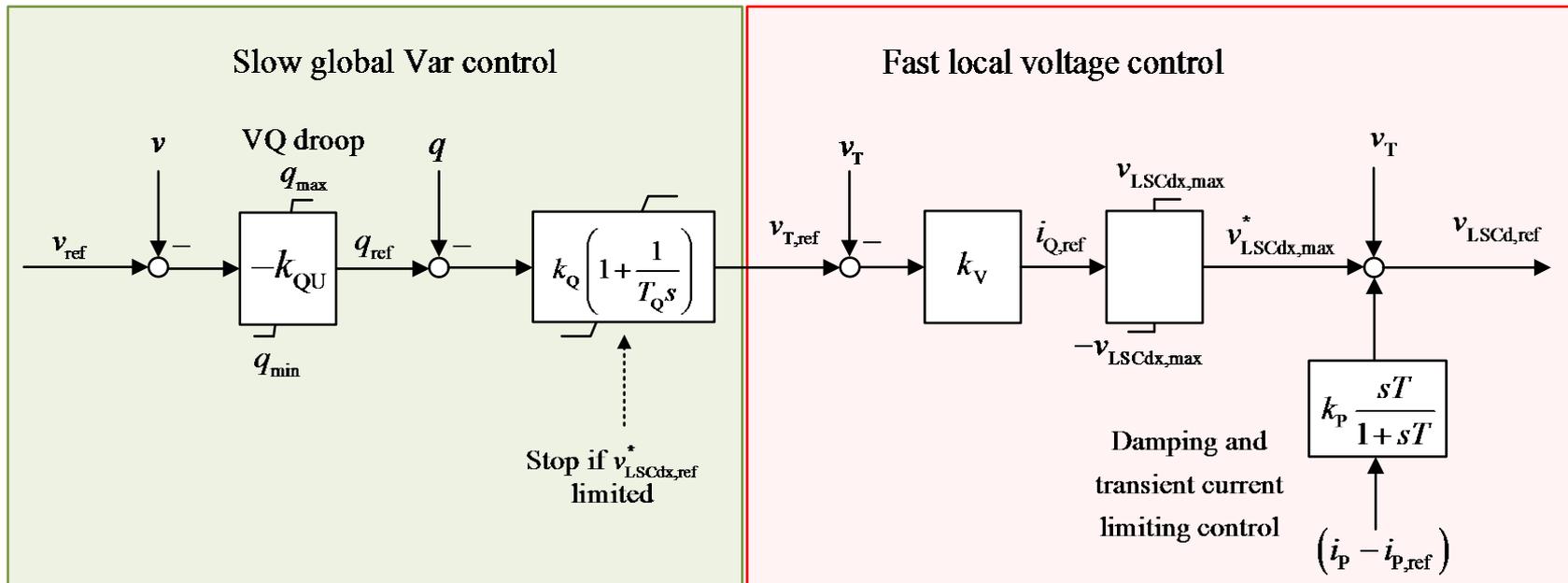
Möglichkeiten der Implementierung

Integration in bestehende Regelungskonzepte



Möglichkeiten der Implementierung

Beispiel Spannungs-Blindleistungsregelung

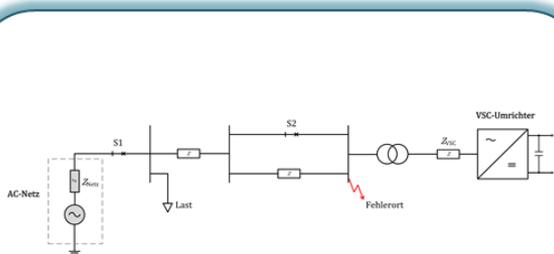


Lässt sich optimal in die heutigen Regelungskonzepte integrieren

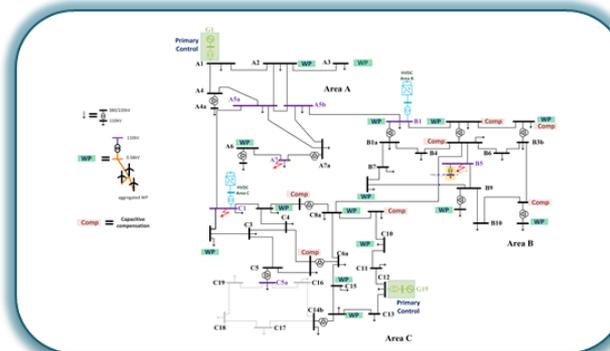
Ergebnisse der Analysen in unterschiedlichen Testsystemen

Analyse der repräsentativen heutigen Regelung in verschiedenen Testnetzen:

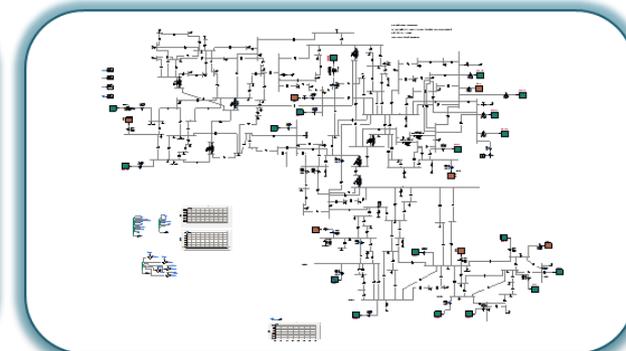
- **Ein-Maschinennetz:** Verhalten des Umrichters, auch im Inselnetz (Benchmark, **Nachweisverfahren**)
- **Definiertes SUE-Testnetz:** Übergangsszenarien mit zunehmender Umrichtereinspeisung
 - Dominanz heutiger Regelung vs. neuartige Regelungskonzepte
 - **Vergleich stationäre Kurzschlussverhältnisse** vs. Stabilität des Netzes
- **IEEE 118 Knoten Netz:** Validierung in einer **standardisierten Benchmark-Testumgebung** (Vergleichbarkeit)



Benchmark-Netz

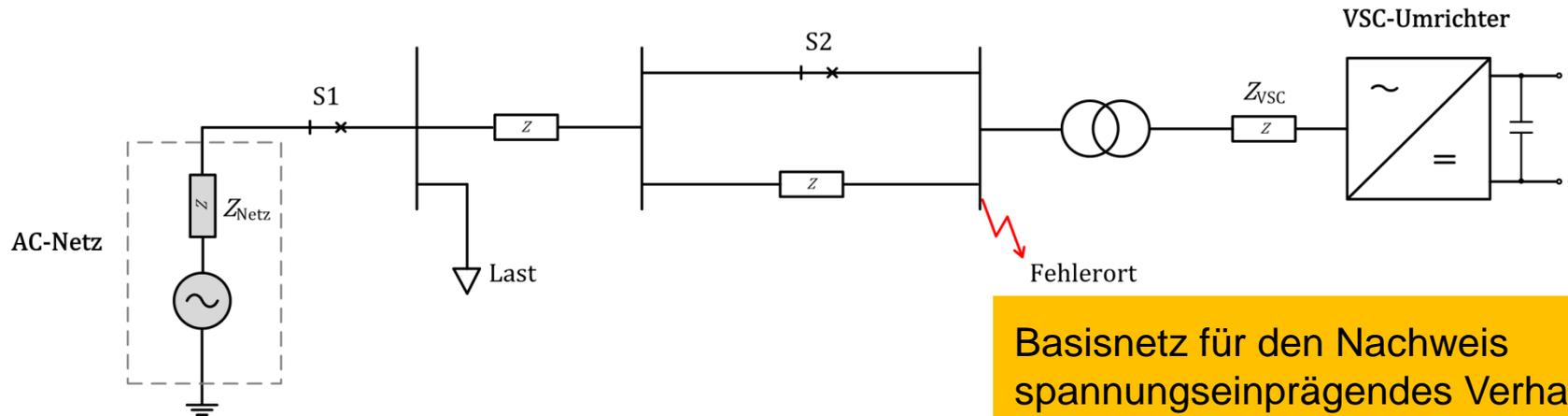


SUE-Netz



IEEE 118

Nachweis des spannungseinprägenden Verhaltens

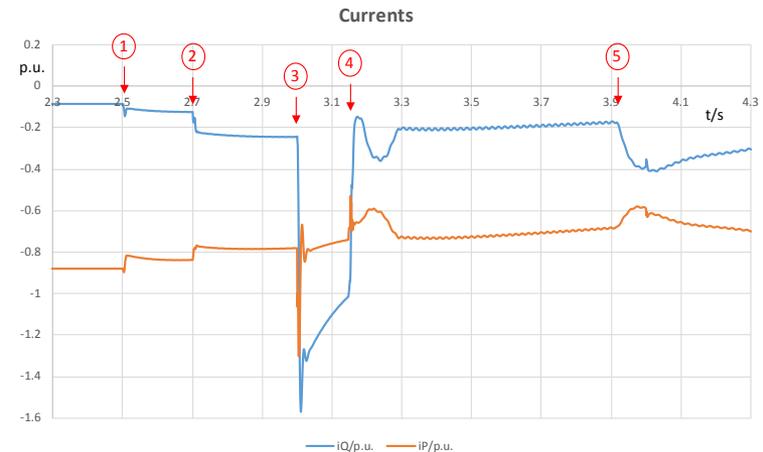
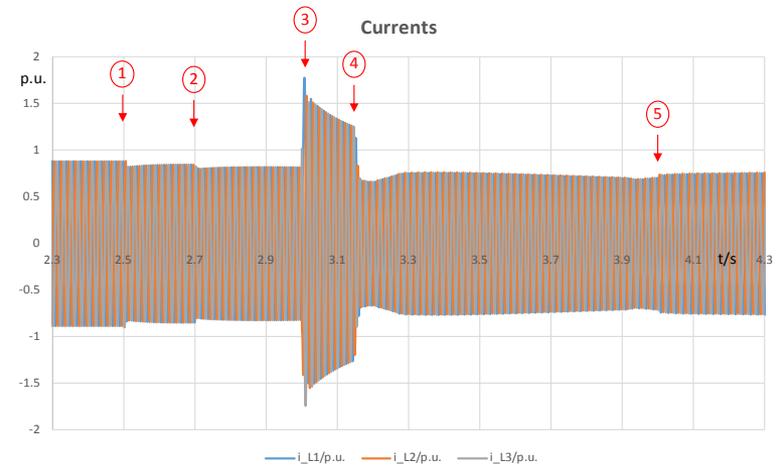
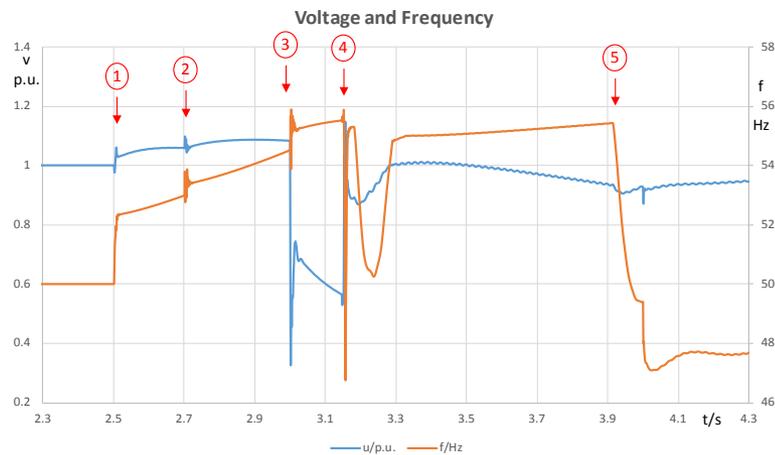


Basisnetz für den Nachweis spannungseinprägendes Verhalten der umrichter-nahen Regelung

Ereignisreihenfolge zur Untersuchung des Umrichter-Verhaltens:

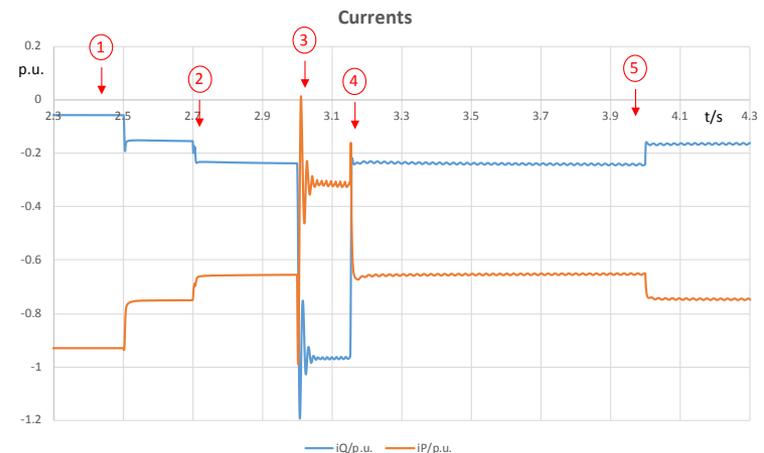
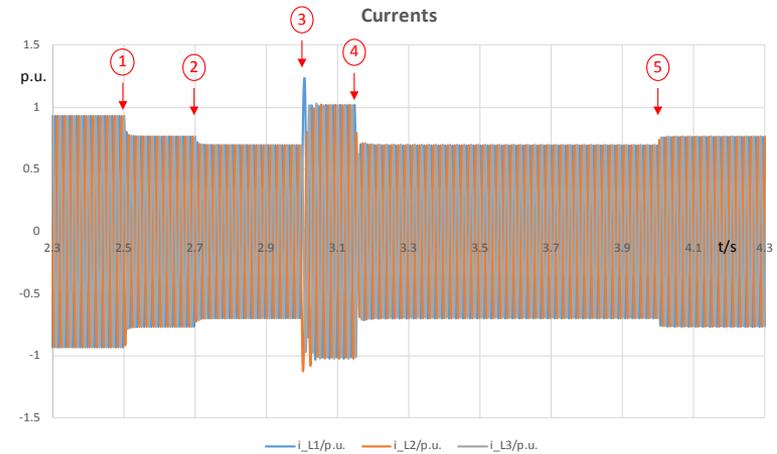
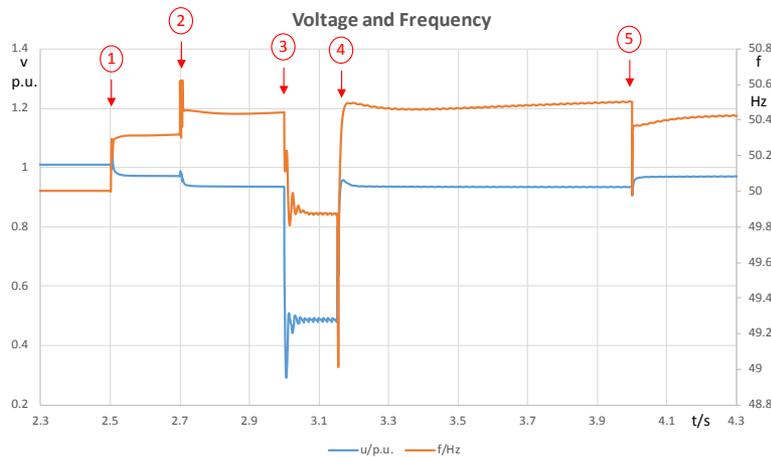
- | | |
|------------------------------|---|
| 1) Öffnen von S1 | Inselnetzbildung für eine Anlage, Wirkleistungsbilanz unverändert |
| 2) Öffnen von S2 | Änderung der Serienimpedanz - Spannungswinkelsprung |
| 3) 3-poliger Kurzschluss ein | Spannungssprung in Betrag und Winkel |
| 4) Kurzschluss löschen | Spannungssprung in Betrag und Winkel |
| 5) Schließen von S2 | Änderung der Serienimpedanz - Spannungswinkelsprung |

Benchmark-Netz: Stromeinprägende Regelung



→ Die klassische Stromregelung zeigt kein stabiles Verhalten bei Inselnetzbildung

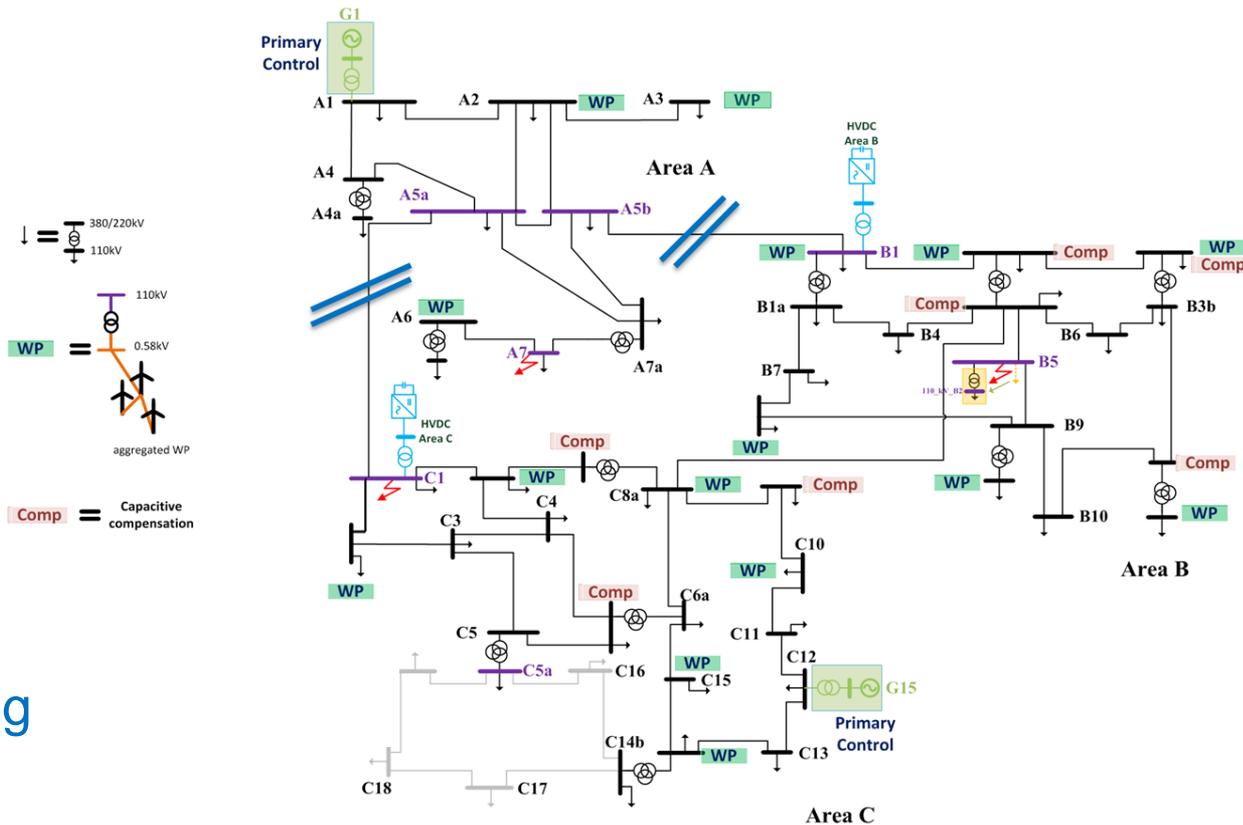
Benchmark-Netz: Spannungseinprägende Regelung



→ Stabiles Verhalten bei Inselnetzbildung mit der spannungseinprägenden Regelung

SUE Testnetz - Studie der Deutschen ÜNB

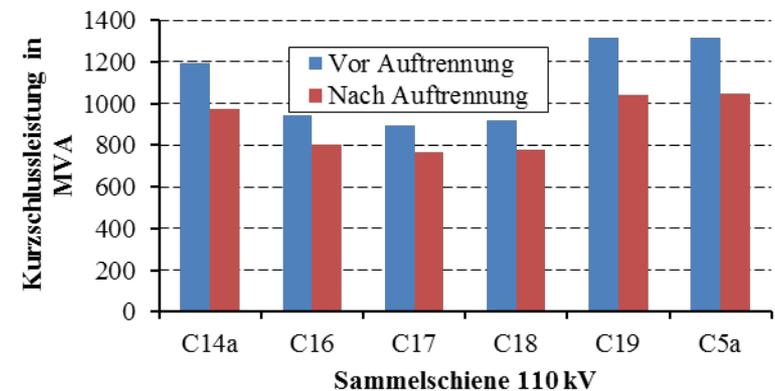
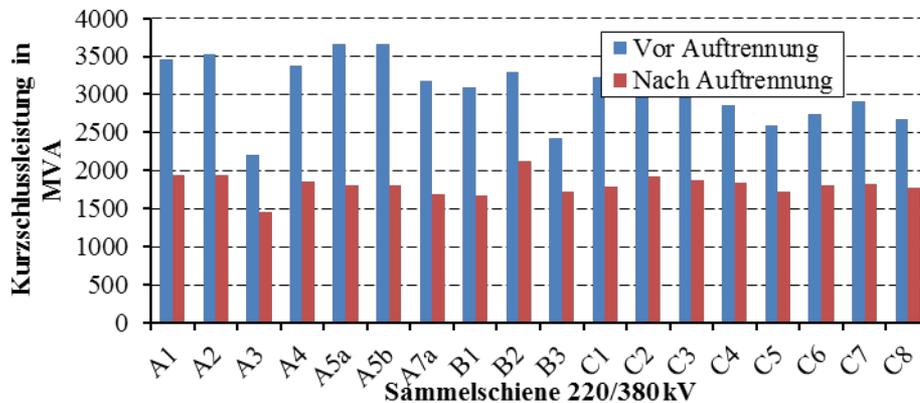
88 % Umrichter-
einspeisung



Netzauftrennung

SUE Testnetz: Untersuchung statische Kurzschlussleistung

Vergleich der Kurzschlussverhältnisse vor und nach Netzauftrennung bei reduzierter Anzahl Synchronmaschinen (Auftrennung zwischen A5a/B1 und A5b/C1):

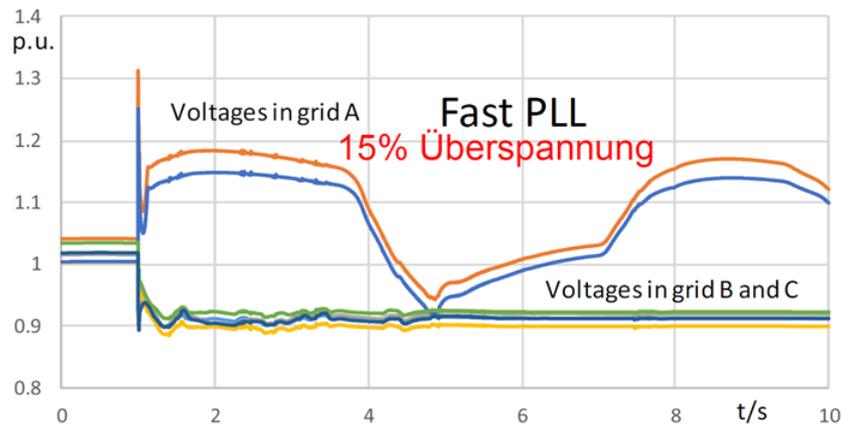


- Deutliche Minderung der KS-Leistung in 220/380 kV Ebene in allen Netzknoten
- KS Leistung auf Verteilnetzebene jedoch nur um ca. 1/4 reduziert

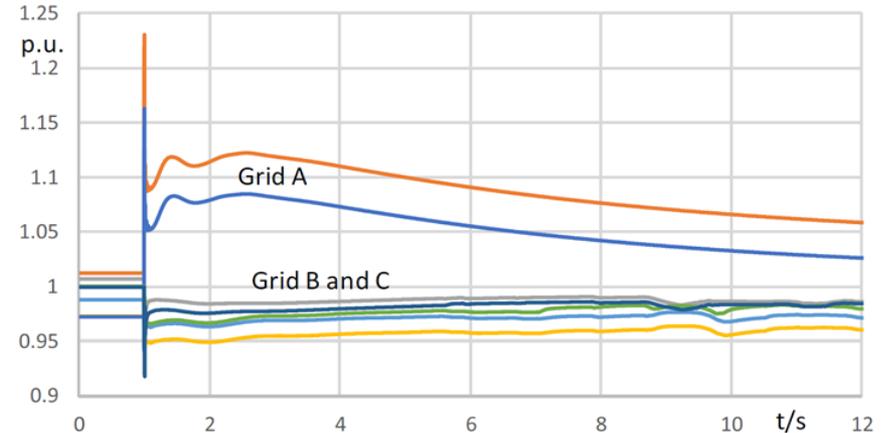
SUE Testnetz: Vergleich Regelungsverfahren

Busspannungen im Netzgebiet A und Netzgebiet B/C bei Netzauftrennung mit

stromeinprägend

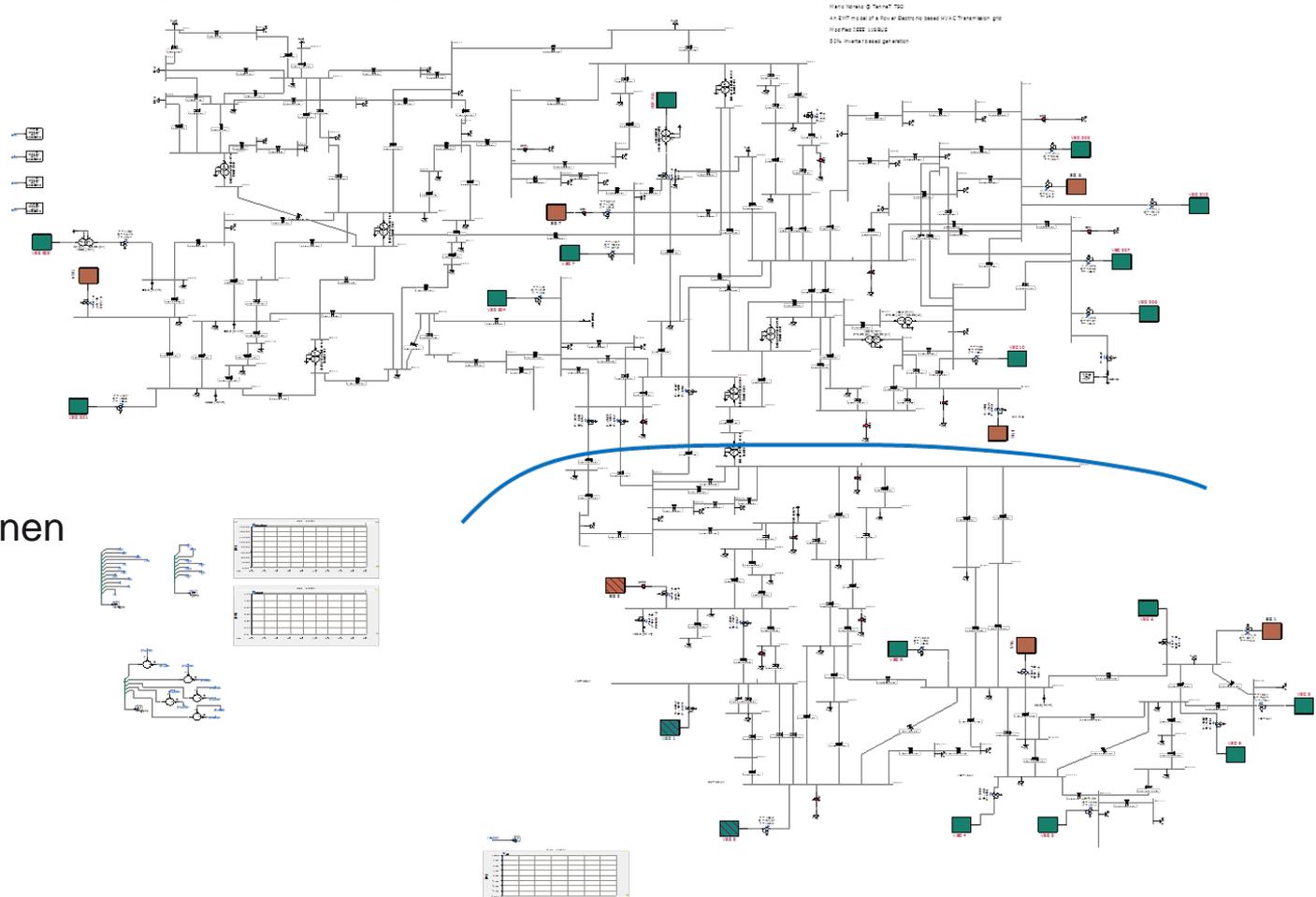


spannungseinprägend



- Mit stromeinprägender Regelung kommt es zu Überspannungen in einem Netzgebiet
- Trotz spannungseinprägender Regelung (Spannungsbetrag) kommt es zu Frequenzproblemen (weitere Anforderungen hinsichtlich der Frequenzregelung zwingend notwendig)

IEEE-118 Knoten Netz



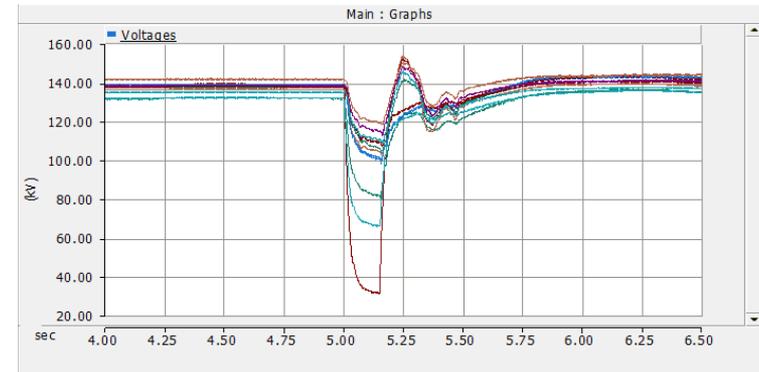
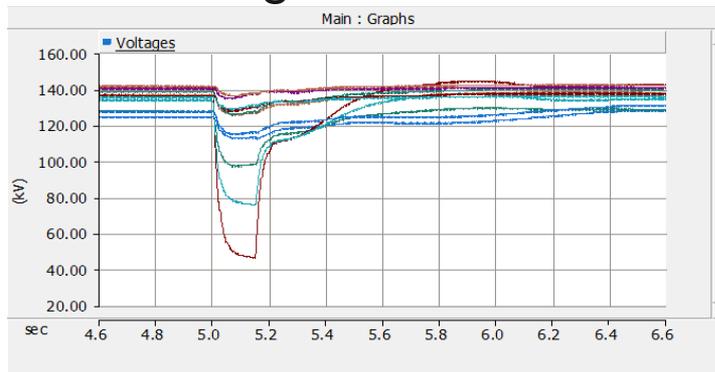
- 345kV, 138kV
- 7 Synchronmaschinen
- 18 VSC-Umrichter

Netzauftrennung

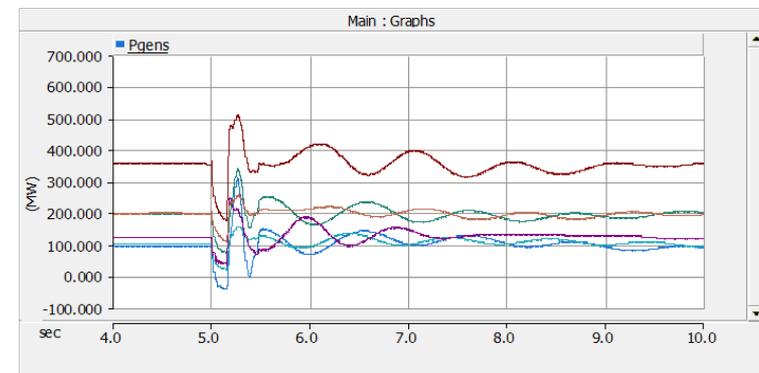
IEEE 118: 50-70% Umrichtereinspeisung

Klassische Stromregelung

3-poliger Kurzschluss an Bus B55: Busspannungen und Generatorwirkleistungen



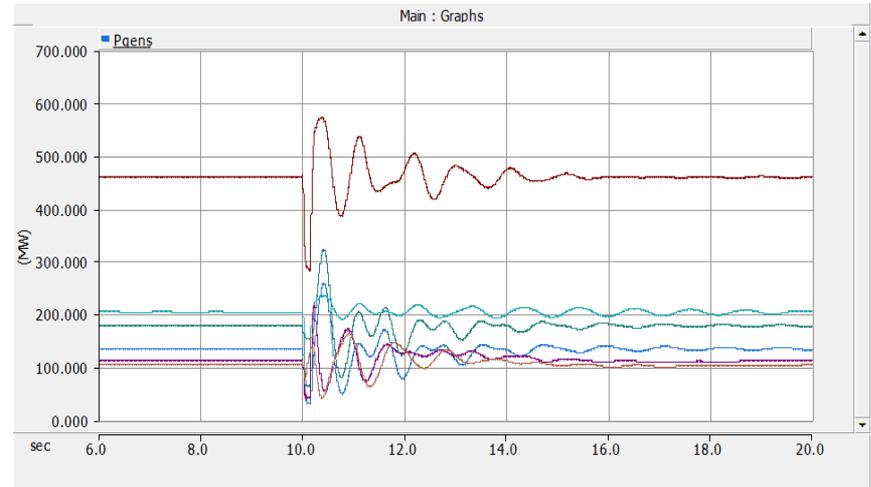
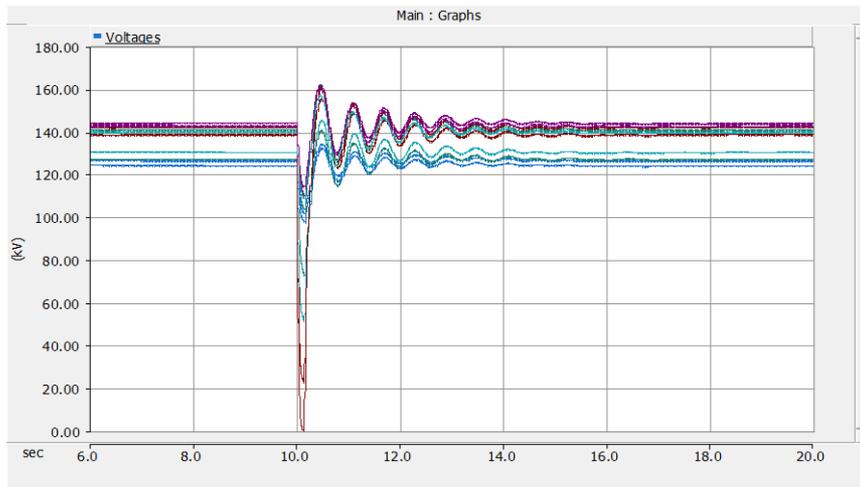
→ Bei 70% kommt es zu größeren Spannungseinbrüchen und weiträumiger Beeinflussung



70% Umrichtereinspeisung

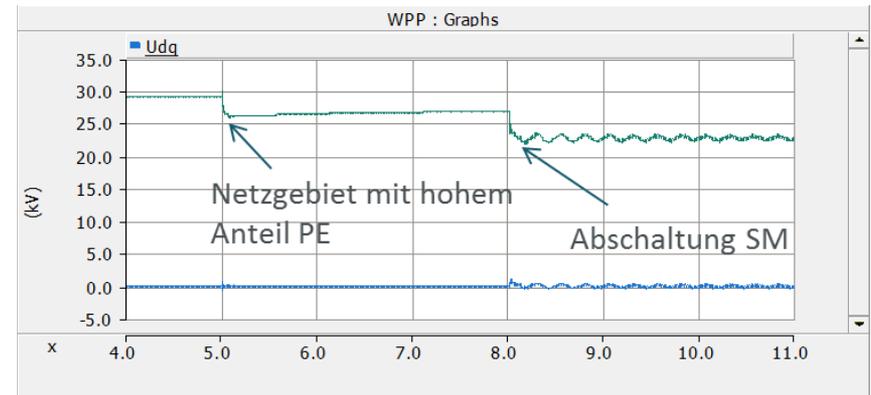
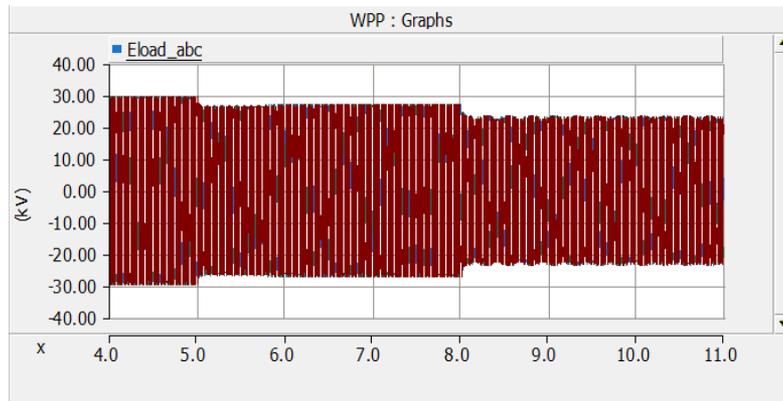
Spannungseinprägende Regelung

- 3-poliger Kurzschluss am Bus B55: Busspannungen und Generatorwirkleistungen

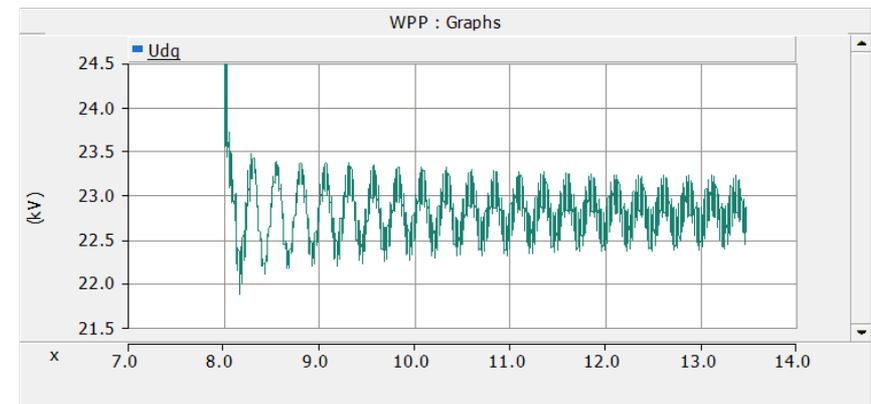


Netz mit hoher Umrichtereinspeisung

Klassische Stromregelung

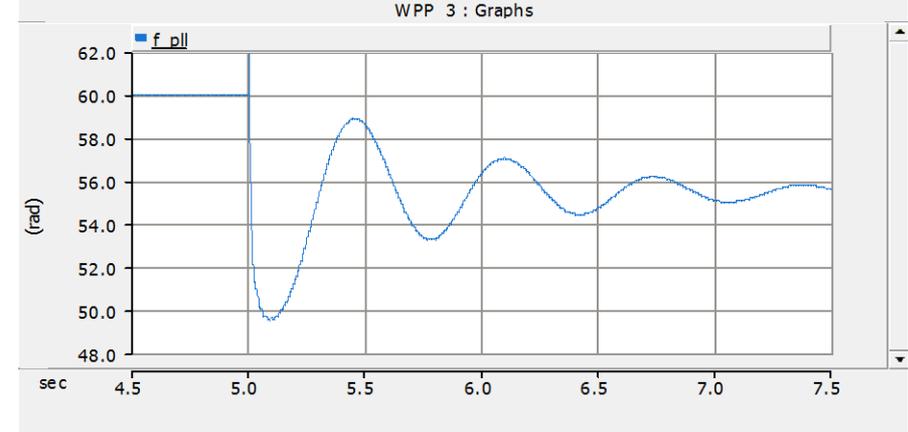
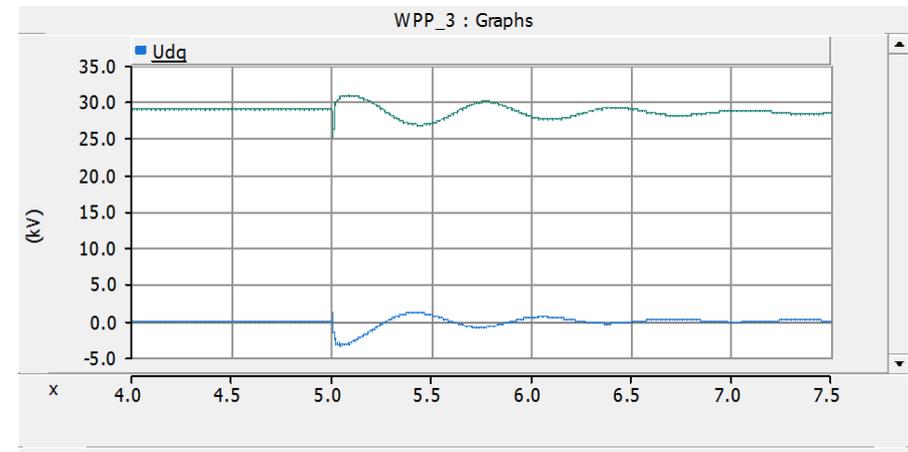
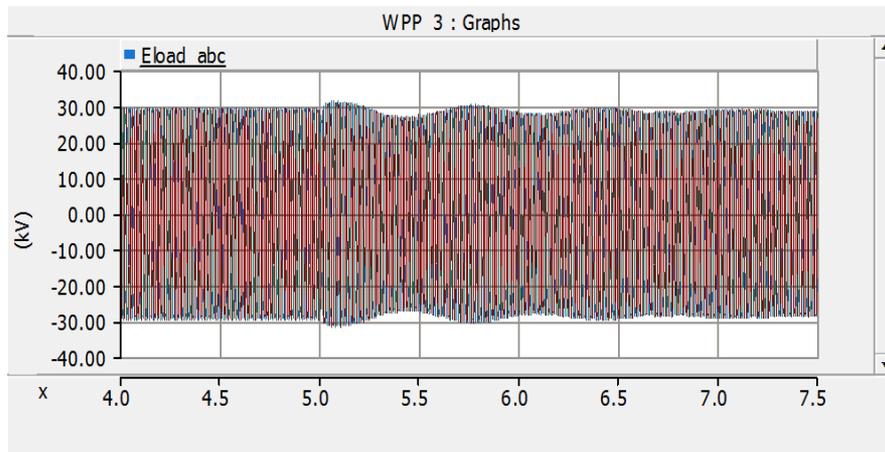


- keine signifikanten Wirkleistungstransite bei Netzauftrennung
 - konkrete Auswirkungen auf Spannungsstabilität / trans. Stabilität
- Abschaltung der verbliebenen Synchronmaschinen



Netz mit hoher Umrichtereinspeisung

Spannungseinprägende Regelung



→ stabiles Systemverhalten mit
spannungseinprägendem Verfahren
nach Netzauftrennung

Ergebnisse

- Bei **40% installierter Umrichterleistung** sind **Transite von bis zu 50%** in einem Teilnetz bei Teilnetzbildung mit **derzeitigen Umrichterregelungen** noch beherrschbar (heutige Situation)
- Ab **ca. 60% installierter Umrichterleistung** (je nach Parametrierung der stromeinprägenden Regelung) kann eine Teilnetzbildung (**Transite von bis zu 50%**) bei derzeitigen Umrichterregelungen **nicht mehr beherrscht** werden
- Bei **80% installierter Umrichterleistung** sind bereits **Transite ab 10%** in einem Teilnetz bei Teilnetzbildung mit derzeitigen Umrichterregelungen **nicht mehr beherrschbar**
- Mit **spannungseinprägenden Verfahren** kann ein **stabiles Systemverhalten** auch in Inselnetzen erreicht werden → **stromeinprägende Regelungsverfahren nicht mehr zielführend**

Ausblick

- VDE-AR-N 4131
 - ab 8.09.2019 anwendbar
 - enthält in Kapitel 10.1.4 bereits als Zusatzanforderung die Fähigkeit der dynamischen Frequenz-Wirkleistungsregelung (instantane Momentanreserve) bei HGÜ Systemen
 - enthält in Kapitel 10.1.9.2 bereits als Grundanforderung die Fähigkeit zur direkten Spannungsregelung (als Teil der umrichternahen Regelung)
 - Nachweisverfahren und Guideline zur Implementierung

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



© 2009 B&B
Wilhelm Winter GmbH | ISO 9001