



Zur Aggregation von Verteilnetzen für dynamische Übertragungsnetzsimulationen

- Einleitung
- Analyse
- Methodisches Vorgehen
- Exemplarische Untersuchung
- Zusammenfassung

Hintergrund

Veränderungen in der Stromerzeugungsstruktur

- Zubau von Stromerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien
- Marktverdrängung konventioneller Kraftwerke
- Politisch motivierte Stilllegungen konventioneller Kraftwerke

- ➔ Sinkender Anteil rotierender Massen im europäischen Synchronverbund
- ➔ Potentielle Gefährdung der Frequenzstabilität

Analyse der Frequenzstabilität im europäischen Synchronverbund

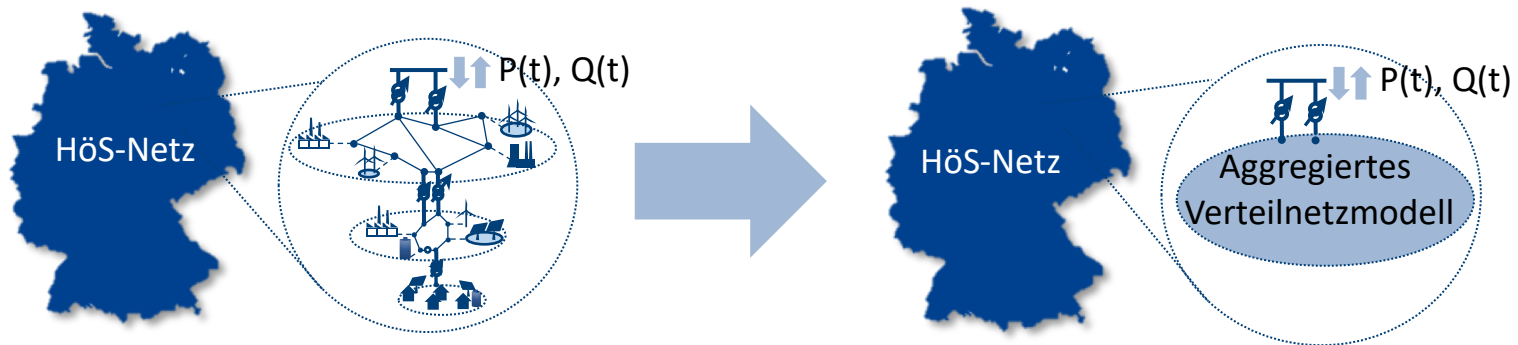
- Frequenz ist systemweite Führungsgröße
- ➔ Dynamische Simulation des Synchronverbundes erforderlich
- ➔ Hoher Rechenaufwand bei Stabilitätsanalysen großer Systeme



Hintergrund

Einfluss der Verteilnetzebenen auf das Übertragungsnetz

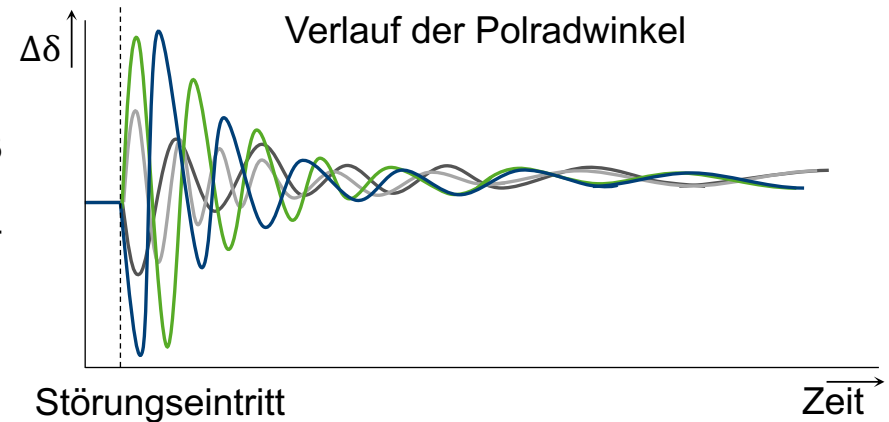
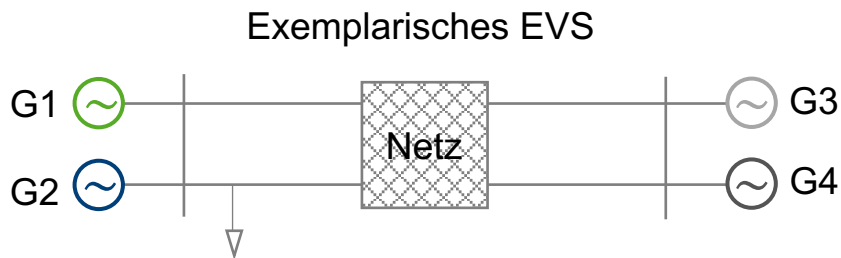
- Verteilnetzebene ist Anschlussebene eines Großteils der Verbraucher
- Verteilnetzebene ist Anschlussebene der meisten EE-Anlagen
- ➔ Einfluss der Verteilnetzebene auf dynamisches Verhalten des Übertragungsnetzes nicht vernachlässigbar



- ➔ Abbildung des Einflusses von Verteilnetzen durch aggregierte Verteilnetze, um Systemgröße zu reduzieren

Dynamisches Verhalten eines Elektrizitätsversorgungssystems

- Umladungen zwischen Energiespeichern des Systems während Ausgleichsvorgängen
 - Kopplung der Energiespeicher durch elektrisches Netz
 - Abhängig von der elektrischen Distanz ist ein asynchrones Schwingen von Generatoren in einem Mehrmaschinensystem möglich
 - Kohärente Generatoren schwingen annähernd synchron zueinander
- Berücksichtigung der elektrischen Distanz zwischen den einzelnen Netzkomponenten bei Aggregation notwendig



Aggregationsverfahren

Ziel:

- Abbildung des transienten Verhaltens von Generatoren durch äquivalente Generatoren unter Berücksichtigung der Netzimpedanz
- Abbildung einer Kohärenzgruppe durch mindestens einen äquivalenten Generator

Annahme: Zu aggregierende Generatoren und Regelungssysteme werden durch dieselben Modelle abgebildet

Verfahrensablauf:

Modalanalyse

- Identifizierung kohärenter Generatoren
- Identifizierung von Referenzgeneratoren

Ward-Ersatznetz-Verfahren

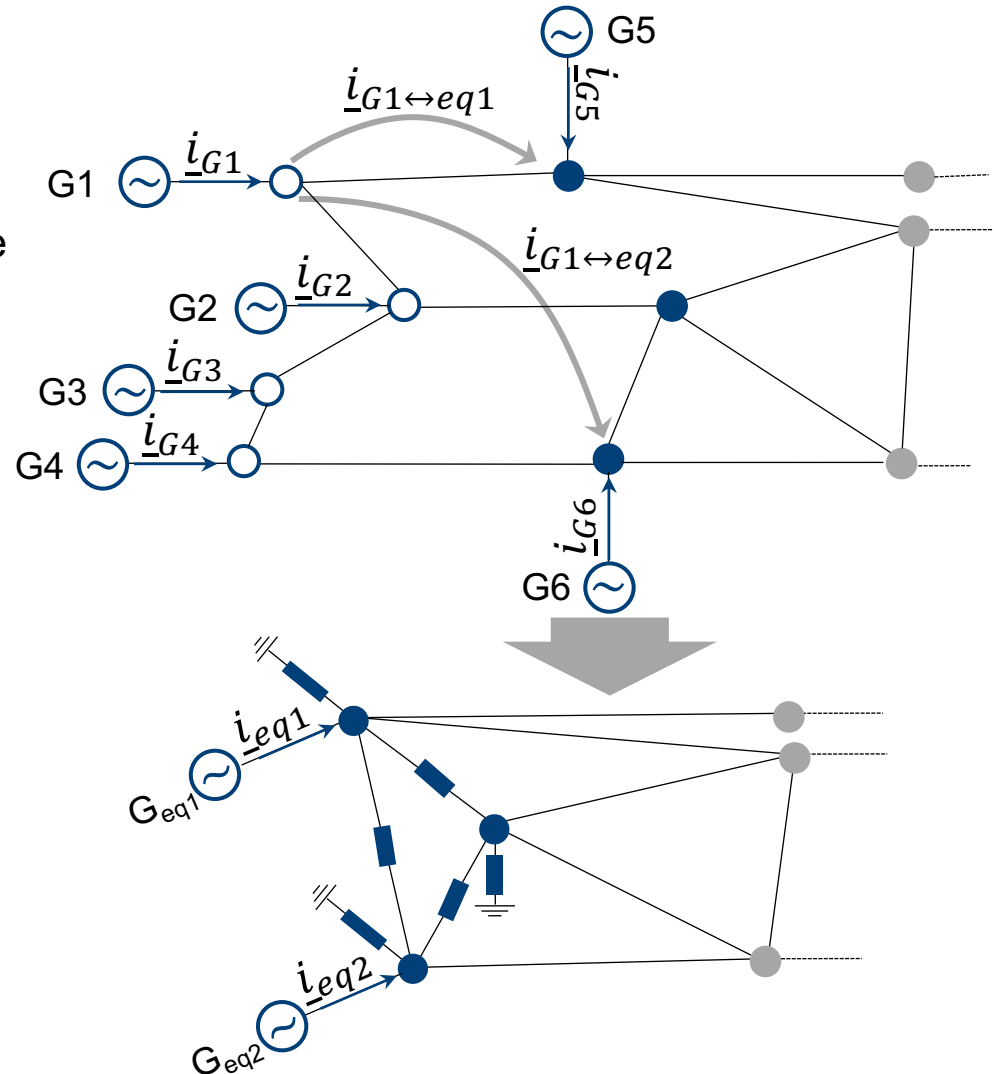
- Netzwerkreduktion
- Berücksichtigung der elektrischen Distanz der Netzwerkkomponenten

Struktur-Erhaltungsansatz

- Bestimmung der Modellparameter der äquivalenten Generatoren
- Bestimmung der Modellparameter der äquivalenten Regelungen

Aggregationsverfahren

- Anschlussknoten der Referenzgeneratoren aus Modalanalyse bleiben bei Reduktion erhalten
- Aufteilung der injizierten Ströme der dynamischen Komponenten auf diese Anschlussknoten über Netzwerkreduktionsverfahren
- Berechnung von Leistungsgewichtungsfaktoren über Teilstrom und Spannungsverhältnis
- Summation der Teilströme bzw. der gewichteten Wirkleistungseinspeisung ergibt aggregierten Strom bzw. aggregierte Wirkleistungseinspeisung
- Anpassung der Modellparameter der äquivalenten Generatoren



Exemplarische Untersuchung

Untersuchungsszenario

Ursprüngliches System

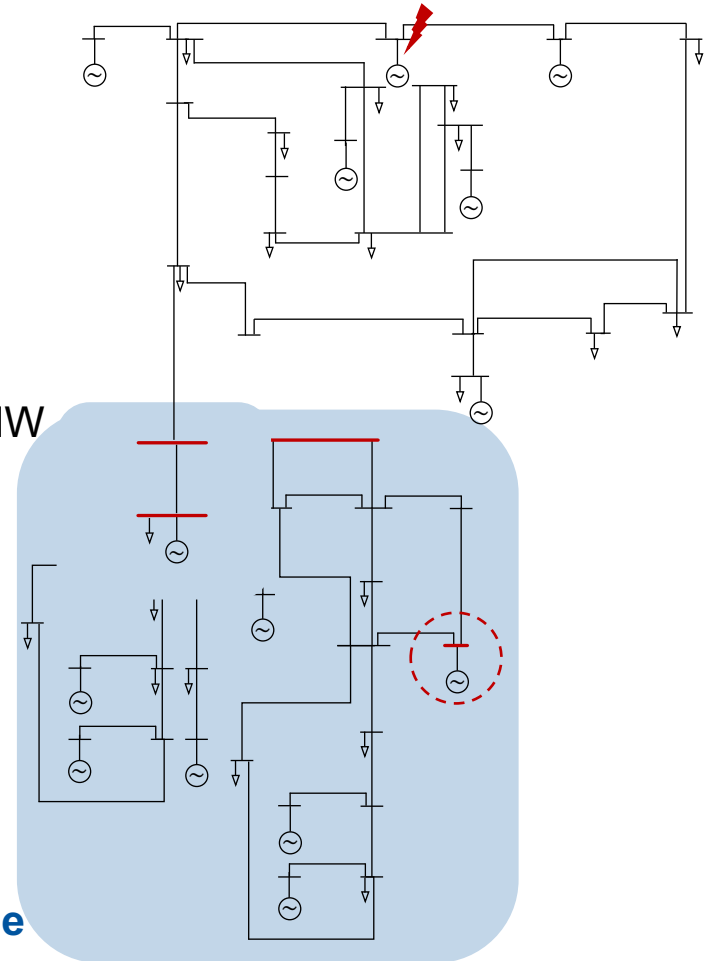
- Erweitertes IEEE New England System
- 45 Knoten-System, 13 Generatoren
- Insgesamt eingespeiste Wirkleistung: 6955 MW
- Im externen Netz eingespeiste Wirkleistung: 3210 MW

Reduziertes System

- Reduktion auf Kuppelknoten und Anschlussknoten eines Referenzgenerators
- Aggregation von sieben Generatoren zu einem äquivalenten Generator
- 23 Knoten-System, 7 Generatoren

Vergleich des dynamischen Verhaltens der Systeme

- Simulation beider Systeme im Zeitbereich
- Nach 0,5 s Ausfall von 1 % der eingespeisten Wirkleistung

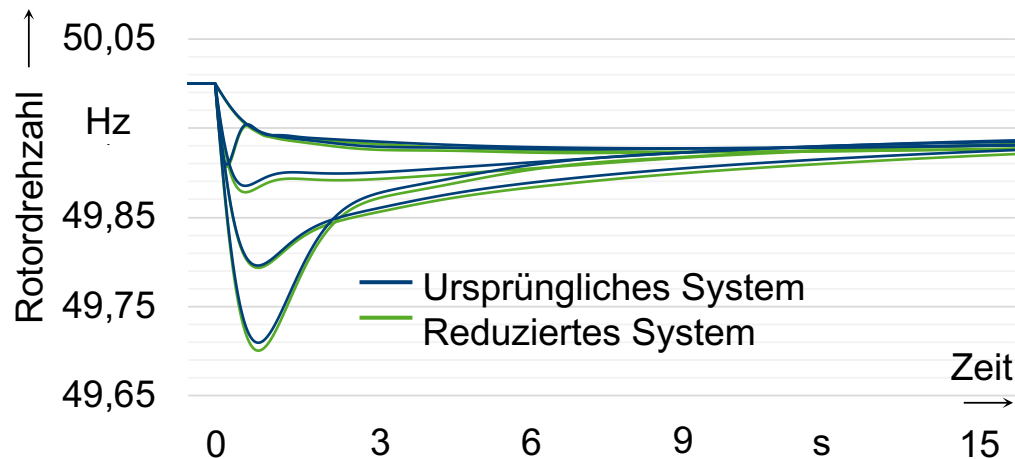


■ Externes Netz ⚡ Generatorschaden
— Remain-Knoten

Untersuchungsergebnisse

Vergleich des Rotordrehzahlverlaufs im internen Netz

- Maximaler relativer Fehler: 0,017 %
 - Durchschnittlicher relativer Fehler: 0,006 %
 - Unterschätzung der quasi-stationären Frequenzabweichung um 0,007 %
- ➔ Aggregation von EVS unter Berücksichtigung des elektrischen Netzes möglich
- ➔ Verfahren zur Aggregation von Verteilnetzen für dynamische Simulationen geeignet



Zusammenfassung

Motivation

- Marktverdrängung konventioneller Kraftwerke durch Stromerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien
- Reduktion rotierender Massen im europäischen Synchronverbund
- ➔ Potentielle Gefährdung der Frequenzstabilität
- Einfluss der Verteilnetzebene auf dynamisches Verhalten des Übertragungsnetzes nicht vernachlässigbar
- ➔ Abbildung des Einflusses von Verteilnetzen in dynamischen Simulationen durch aggregierte Verteilnetze

Analyse und Modellbildung

- Aggregation der Generatoren und Regelungssysteme zu äquivalenten Generatoren
- Berücksichtigung der elektrischen Kopplung der Komponenten bei Systemaggregation

Ergebnisse der exemplarischen Untersuchungen

- Adäquate Abbildung des dynamischen Verhaltens eines Verteilnetzes durch aggregiertes System