

# Design und Planungsansatz für HGÜ-Systeme in großskaligen Übertragungsnetzen

Hintergrund und Motivation

Analyse

Methodisches Vorgehen

Zusammenfassung und Ausblick

Name: **Muriel Krüger, Simon Thams, Patrick Düllmann, Martin Knechtges – RWTH Aachen University**

---

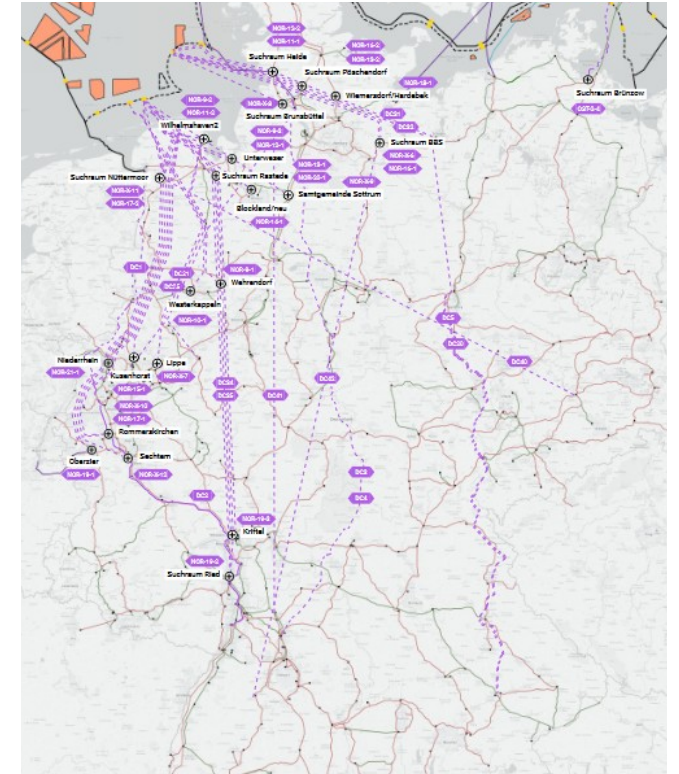
# Hintergrund und Motivation

## Bau und Planung von HGÜ-Systemen zur Integration Erneuerbarer Energien in das Übertragungsnetz

- Geeignet zum verlustarmen Transport großer Energiemengen über weite Strecken und zur Entlastung des AC-Übertragungsnetzes durch die Möglichkeit zur aktiven Lastflusssteuerung
- Entwicklung von der P2P-Verbindung hin zu Multiterminal HGÜ-Systemen
- **Zunehmende Durchdringung des AC-Netzes mit DC-Systemen**

## Wechselwirkungen zwischen AC- und DC-Netzen bereits in der Planung zu berücksichtigen

- Ziel: Resilienz und Zuverlässigkeit (R&R) im Netzbetrieb weiterhin sicherstellen und bereits in der Planung berücksichtigen
  - Bisher vor allem Einspeise- und Lastsituation und (n-1)-Ausfälle im AC-Netz dafür betrachtet
- Netzplanung von HGÜ-Systemen: Bestimmung der DC-Übertragungskapazität ohne die Berücksichtigung von Restriktionen aus dem dynamischen Zeitbereich und Interaktionen
- **R&R zukünftig auch von der HGÜ-Architektur abhängig**



# Hintergrund und Motivation

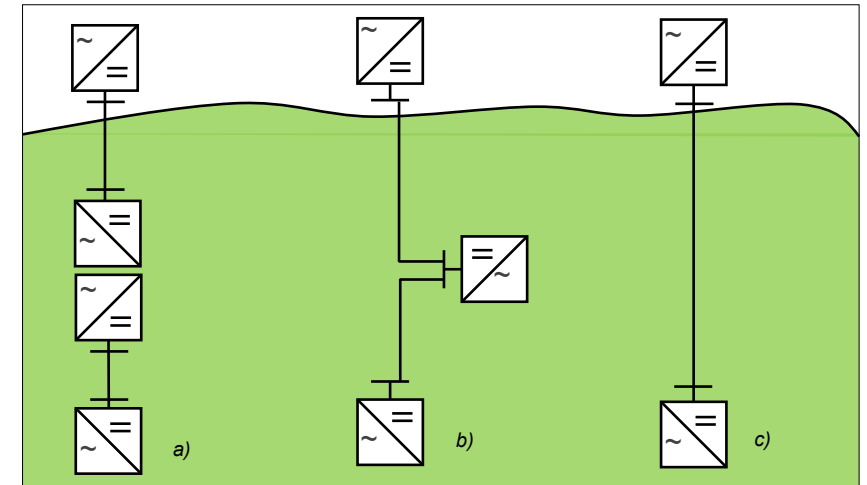
## Die HGÜ-Architektur ist definiert durch

- Zweck des HGÜ-Systems
- Konfiguration und Topologie des HGÜ-Systems
- Grad der Einbettung in das AC-Netz
- Regelungs- und Schutzkonzept (C&P)
- **Noch kein einheitlicher Standard durchgesetzt**

## Einfluss von C&P auf R&R

- C&P-Lösung entwickelt nachdem die Topologie und Konfiguration des HGÜ-Systems feststeht
- Keine Betrachtung von Restriktionen aus C&P, Isolationskoordination oder dynamischer Restriktionen in der Planung
- **Sinnvolle „Gruppierungen“ – architektonische Bausteine – könnten es ermöglichen diese Aspekte bereits in Planungsstadium zu berücksichtigen**

## Beispielhafte HGÜ-Architekturen



# Hintergrund und Motivation

---

## Ziel des Papers

Vorstellung eines Design- und Planungsansatzes für die systematische Bewertung verschiedener Optionen für HGÜ-Architekturen im Hinblick auf Resilienz und Zuverlässigkeit

- Definition architektonischer Bausteine für den Einsatz in der Netzplanung
- Vorstellung verschiedener Variationen der architektonischen Bausteine und Design Regeln im Rahmen des Ansatzes, die es ermöglichen Restriktionen aus C&P, der Isolationskoordination und dynamischen Untersuchungen zu berücksichtigen

## Beispielhafte Untersuchungen, die auf dem geplanten AC/DC Übertragungsnetz ausgeführt werden können

- Statische Redispatch-Berechnungen, RMS- und EMT-Simulationen

## Fragen, die anschließend durch Variation der Architekturbausteine beantwortet werden können

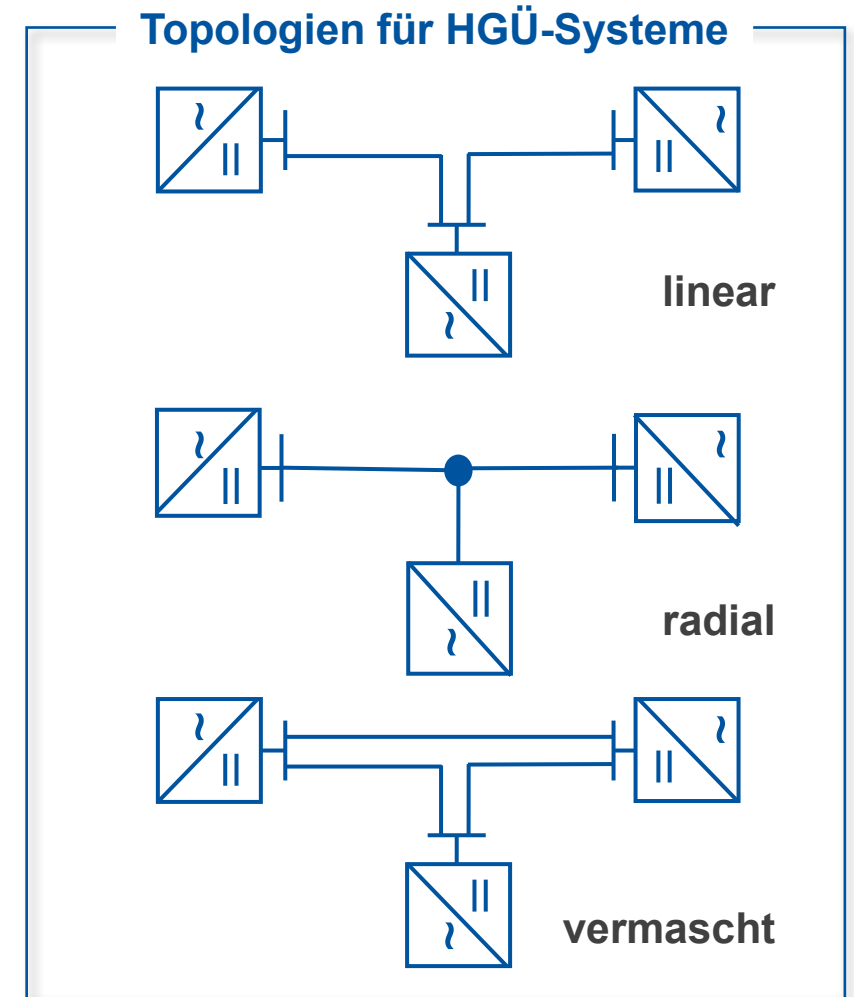
- Wie wirkt sich eine veränderte HGÜ-Architektur auf die Lastflüsse und mögliche Engpässe im Wechselstromnetz aus?
- Kann das Redispatch-Volumen durch bestimmte HGÜ-Architekturen reduziert oder die EE-Integration erhöht werden?
- Wie verändert sich die verfügbare Flexibilität im Engpassmanagement durch die HGÜ-Umrichter in einem Multiterminal HGÜ-System im Vergleich zu mehreren P2P-Verbindungen?

# Topologien und Einbettungsgrade für Multiterminal HGÜ-Systeme

## Topologien für Multiterminal HGÜ-Systeme

**Multiterminal HGÜ-System:** HGÜ-Systeme mit mehr als zwei Verknüpfungspunkten mit einem oder mehreren AC-Hoch- oder Höchstspannungsknoten

- Linear
- Radial
- Vermascht



# Topologien und Einbettungsgrade für Multiterminal HGÜ-Systeme

## Topologien für Multiterminal HGÜ-Systeme

**Multiterminal HGÜ-System:** HGÜ-Systeme mit mehr als zwei Verknüpfungspunkten mit einem oder mehreren AC-Hoch- oder Höchstspannungsknoten

- Linear
- Radial
- Vermascht

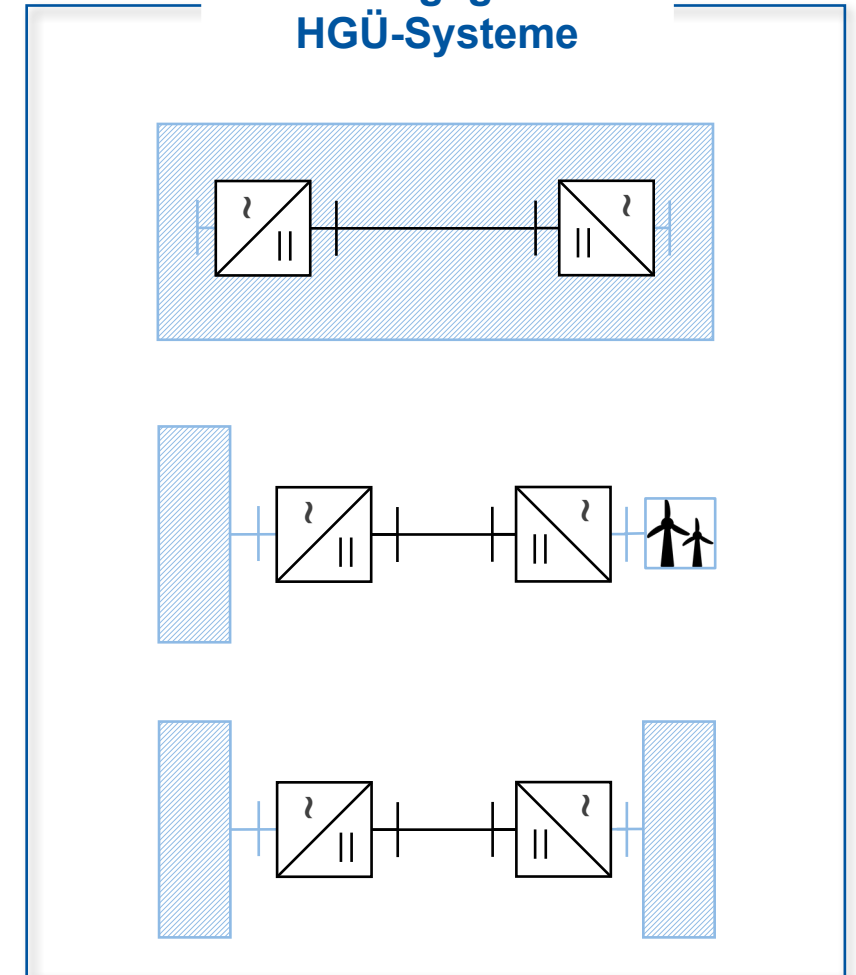
## Einbettungsgrade für HGÜ-Systeme

- Vollständig eingebettet
- Offshore-Windpark über HGÜ-System verbunden mit dem AC-Netz
- Zwei eingebettete AC-Netze
- **Topologie und Einbettungsgrad sind für das Design und die Planung von HGÜ-Systemen besonders relevant**

## Architektonische Bausteine

- Topologie und Einbettungsgrad werden als architektonische Bausteine variiert
- Design Regeln oder feste Annahmen für die weiteren Aspekte der HGÜ-Architektur

## Einbettungsgrade für HGÜ-Systeme



# Methodisches Vorgehen

---

## Ziel des Design- und Planungsansatzes

- Systematische Analyse der verschiedenen HGÜ-basierter Architekturen und ihrer Auswirkungen auf das AC-Netz

## Vorgehen

- Identifikation von Fokusregionen
  - Betrachtungsbereich: Kontinentaleuropäisches Netz inklusive einer 380 kV- und 220 kV-Spannungsebene sowie bereits bestehende und nicht erweiterbare HGÜ-Systeme
  - Lastflussberechnungen auf Basis eines gegebenen Marktergebnisses
  - Beispielhafte Fokusregionen sind:
    - Lastzentren
    - Stark vermaschte AC-Regionen
    - Regionen mit existierenden oder geplanten HGÜ-Systemen

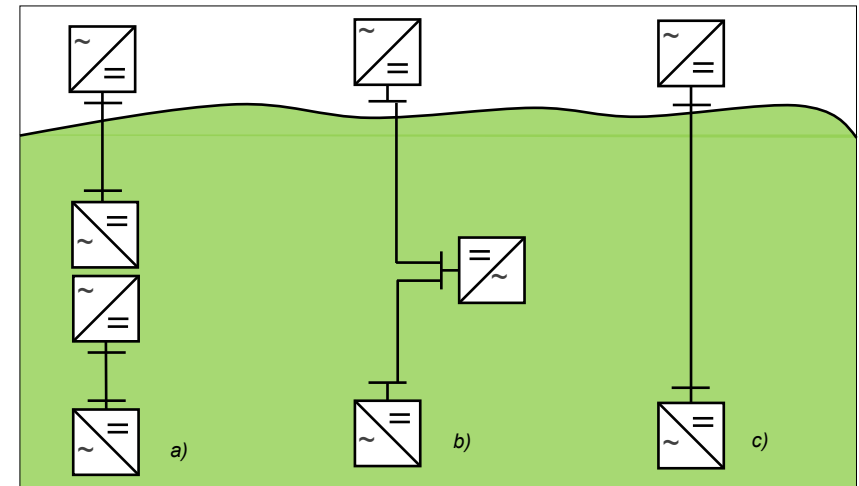
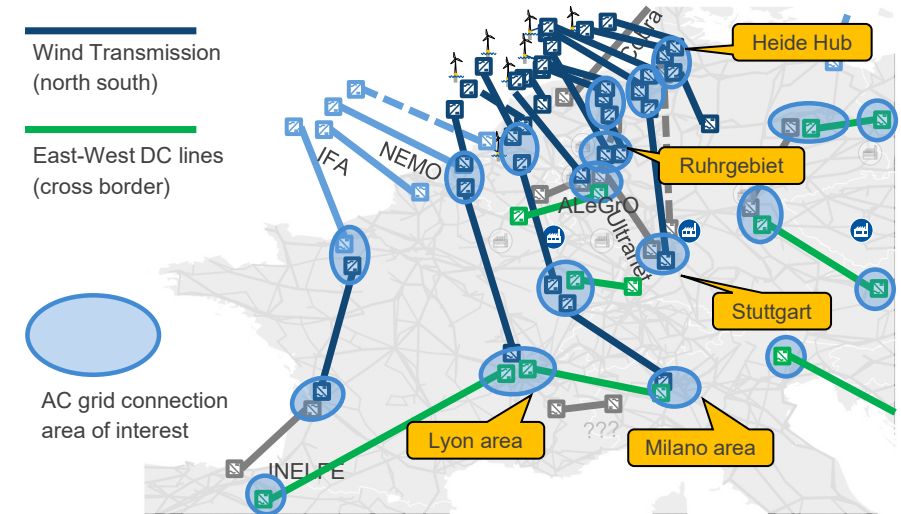
# Methodisches Vorgehen

## Ziel des Design- und Planungsansatzes

- Systematische Analyse der verschiedenen HGÜ-basierten Architekturen und ihrer Auswirkungen auf das AC-Netz

## Vorgehen

- Identifikation von Fokusregionen
- Integration der architektonischen Bausteine in das Übertragungsnetz
  - Lastzentren: Region Stuttgart
  - Stark vermaschte AC-Regionen: Ruhrgebiet
  - Regionen mit existierenden oder geplanten HGÜ-Systemen: Heide Hub
  - Innerhalb einer Fokusregion können beispielsweise die Variationen a) bis c) durchgeführt werden





# Methodisches Vorgehen

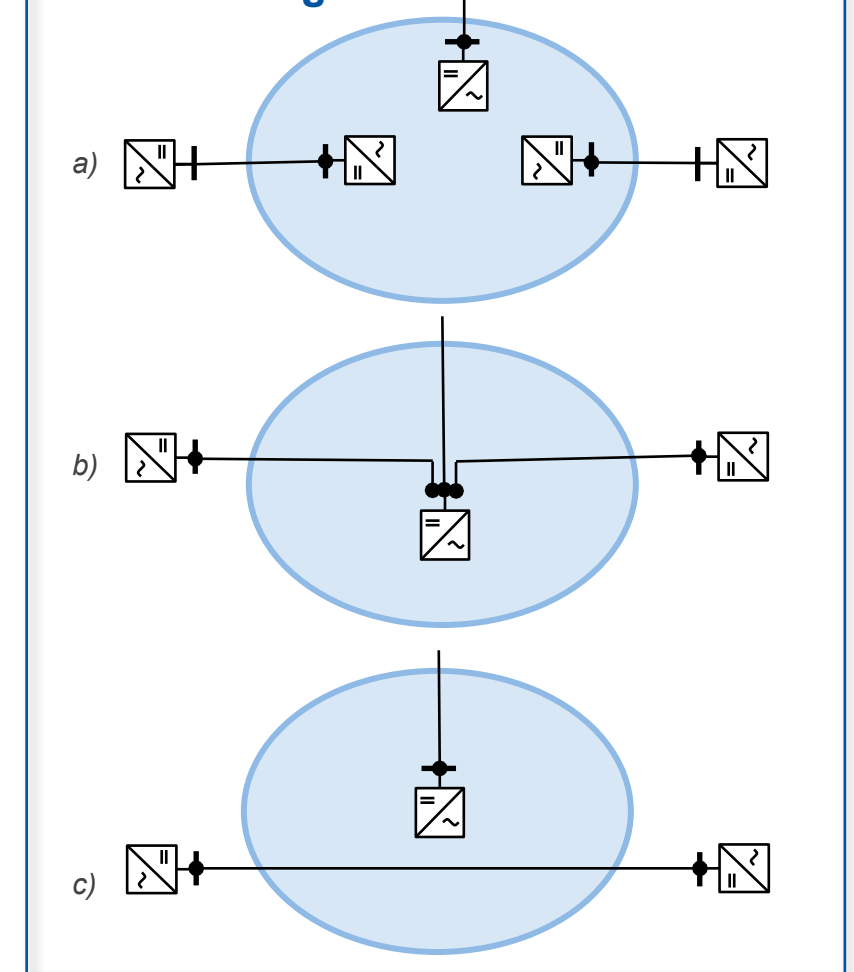
## Ziel des Design- und Planungsansatzes

- Systematische Analyse der verschiedenen HGÜ-basierten Architekturen und ihrer Auswirkungen auf das AC-Netz

## Vorgehen

- Identifikation von Fokusregionen
- Integration der architektonischen Bausteine in das Übertragungsnetz
- Variation der architektonischen Bausteine
  - Unterscheidung zwischen Fokusregionen mit viel Last oder Erzeugung und Fokusregionen mit wenig oder keiner Last oder Erzeugung
  - Fokusregionen mit viel Last oder Erzeugung
    - Last oder Erzeugung zwischen 1 p.u. und 2 p.u. des Konverterratings

## Variation der Bausteine für Fokusregionen mit viel Last



# Methodisches Vorgehen

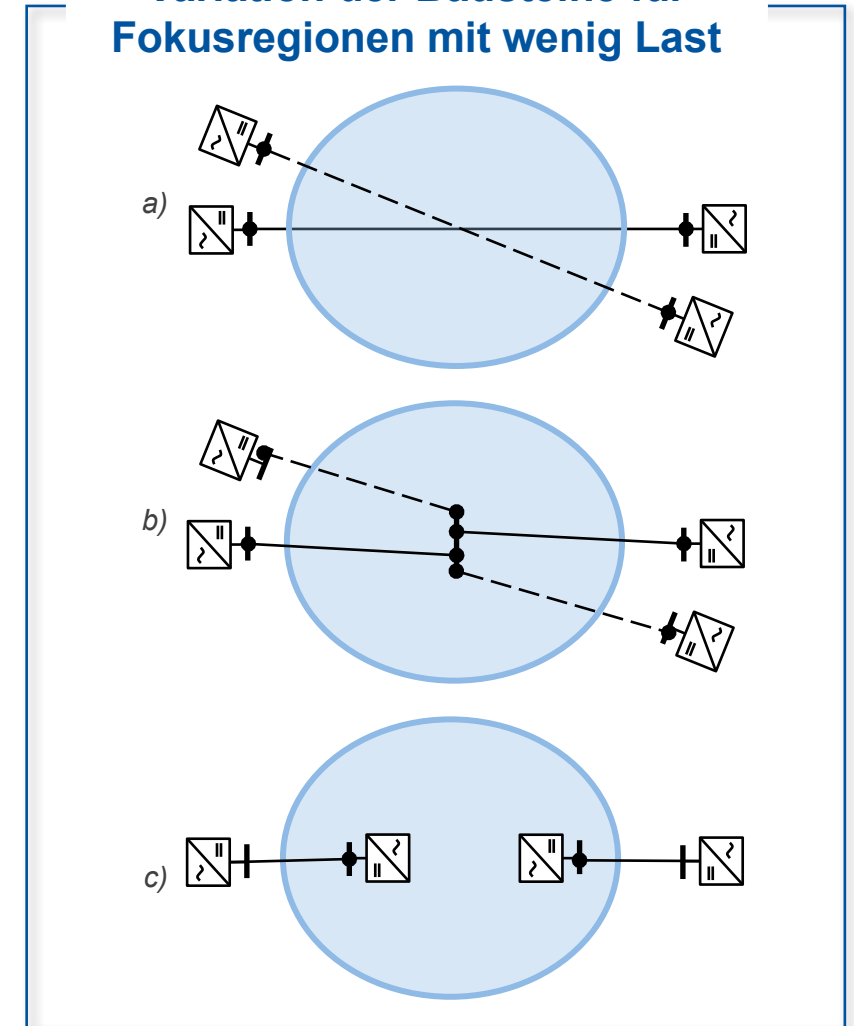
## Ziel des Design- und Planungsansatzes

- Systematische Analyse der verschiedenen HGÜ-basierten Architekturen und ihrer Auswirkungen auf das AC-Netz

## Vorgehen

- Identifikation von Fokusregionen
- Integration der architektonischen Bausteine in das Übertragungsnetz
- Variation der architektonischen Bausteine
  - Unterscheidung zwischen Fokusregionen mit viel Last oder Erzeugung und Fokusregionen mit wenig oder keiner Last oder Erzeugung
  - Fokusregionen mit viel Last oder Erzeugung
    - Last oder Erzeugung zwischen 1 p.u. und 2 p.u. des Konverterratings
  - Fokusregionen mit wenig oder keiner Last oder Erzeugung
    - Beispielsweise Offshore-Küstenregionen

## Variation der Bausteine für Fokusregionen mit wenig Last



# Methodisches Vorgehen

---

## Ziel des Design- und Planungsansatzes

- Systematische Analyse der verschiedenen HGÜ-basierten Architekturen und ihrer Auswirkungen auf das AC-Netz

## Vorgehen

- Identifikation von Fokusregionen
- Integration der architektonischen Bausteine in das Übertragungsnetz
- Variation der architektonischen Bausteine
- Design Regeln
  - Ziel: Vereinfachte Berücksichtigung von Restriktionen aus C&P, Isolationskoordination oder dynamischen Untersuchungen
  - Zur Begrenzung des maximalen Übertragungsverlustes nicht mehr als vier Konverter in einem Multiterminal HGÜ-System ohne DCCB
  - Nicht mehr als zwei bis drei Konverter elektrisch nah bei einander um Wechselwirkungen mit AC-Regelungen zu vermeiden
  - Maximal drei Verbindungen auf einer Offshore-Plattform

# Zusammenfassung und Ausblick

---

## Ziel des Papers

- Vorstellung eines Planungsansatzes für HGÜ-Systeme, der die systematische Untersuchung verschiedener Architektur-Bausteine und ihrer Auswirkung auf das AC-Übertragungsnetz ermöglicht

## Vorgehen

- Variation verschiedener HGÜ-Topologien und Einbettungsgrade in zuvor definierten Fokusregionen
- Berücksichtigung von Design Regeln zur Abbildung von Restriktionen in nachgelagerten Planungsschritten

## Funding Information

- Diese Arbeit entstand im Rahmen HVDC-WISE Projekts
- Das HVDC-WISE Projekt wird unterstützt durch das Horizon Europe Programm der EU und dem Vereinigten Königreich

## Weitere Schritte

- Anwendung des vorgestellten Planungsansatzes auf ein kontinentaleuropäisches Netzmodell und Durchführung von statischen Redispatch-Untersuchungen sowie RMS- und EMT-Simulationen
- Untersuchung der Auswirkung verschiedener HGÜ-Architekturen auf das AC-Übertragungsnetz