

# HGÜ-Netze

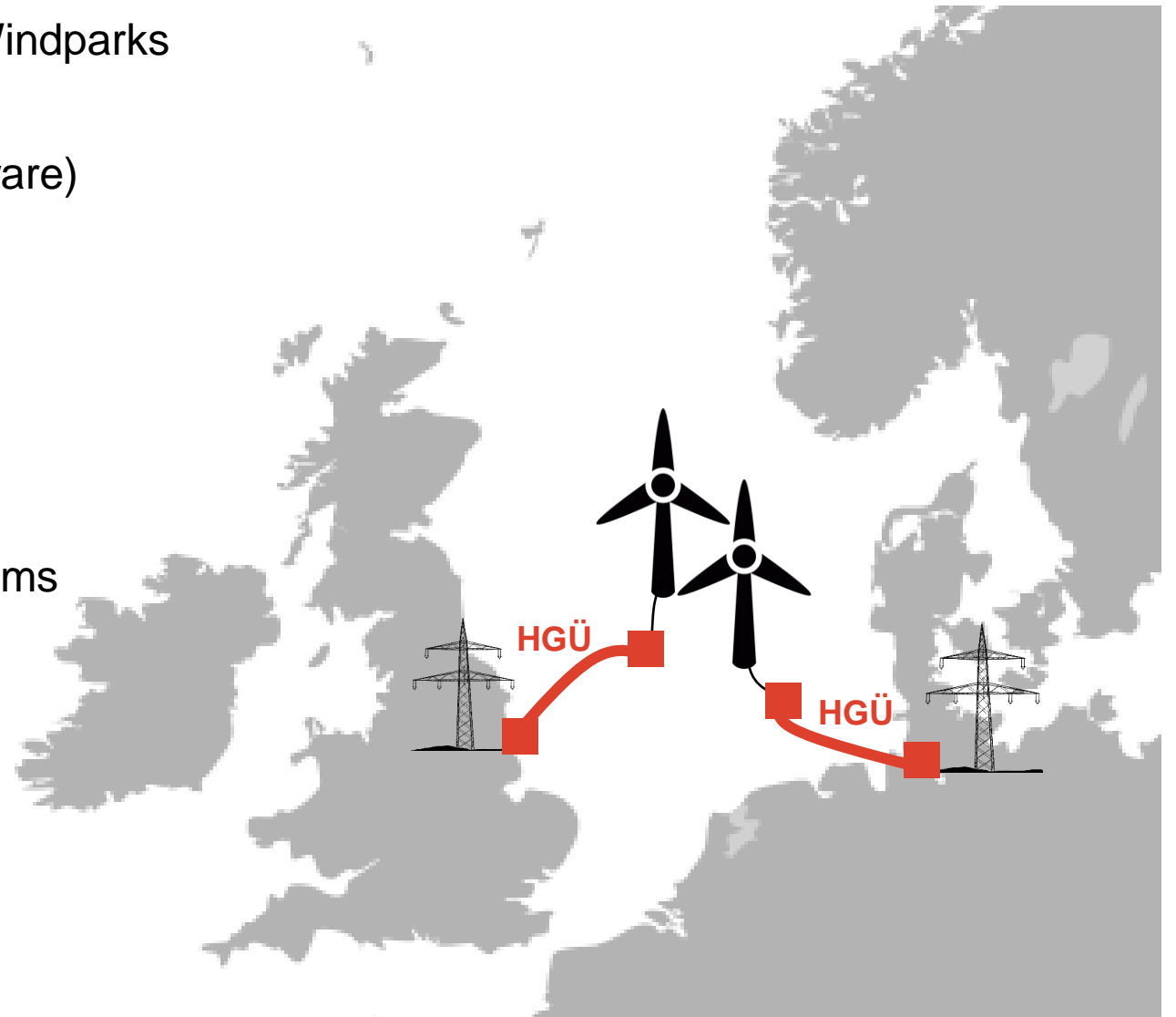
Wissenschafts-Dialog der Bundesnetzagentur

23. September 2023

Forum Technik: Von Multi-Terminal-Verbindungen zu einem HGÜ-Netz

# Hochspannungs-Gleichstromübertragung = HGÜ

- Klassische Anwendung: Anschluss von Offshore-Windparks
- 2 Konverter, Kabel, (+ diverse Hardware und Software)
- Effizienter als klassische Wechselstromleitungen
- Keine Kompensationsanlagen nötig
- Englisch: High-voltage direct-current (HVDC) systems



# Offshore Wind-Park

---



Bild: PROMOTioN project / TenneT

# Offshore HGÜ-Plattform



Bild: PROMOTioN project / TenneT



# Konverter

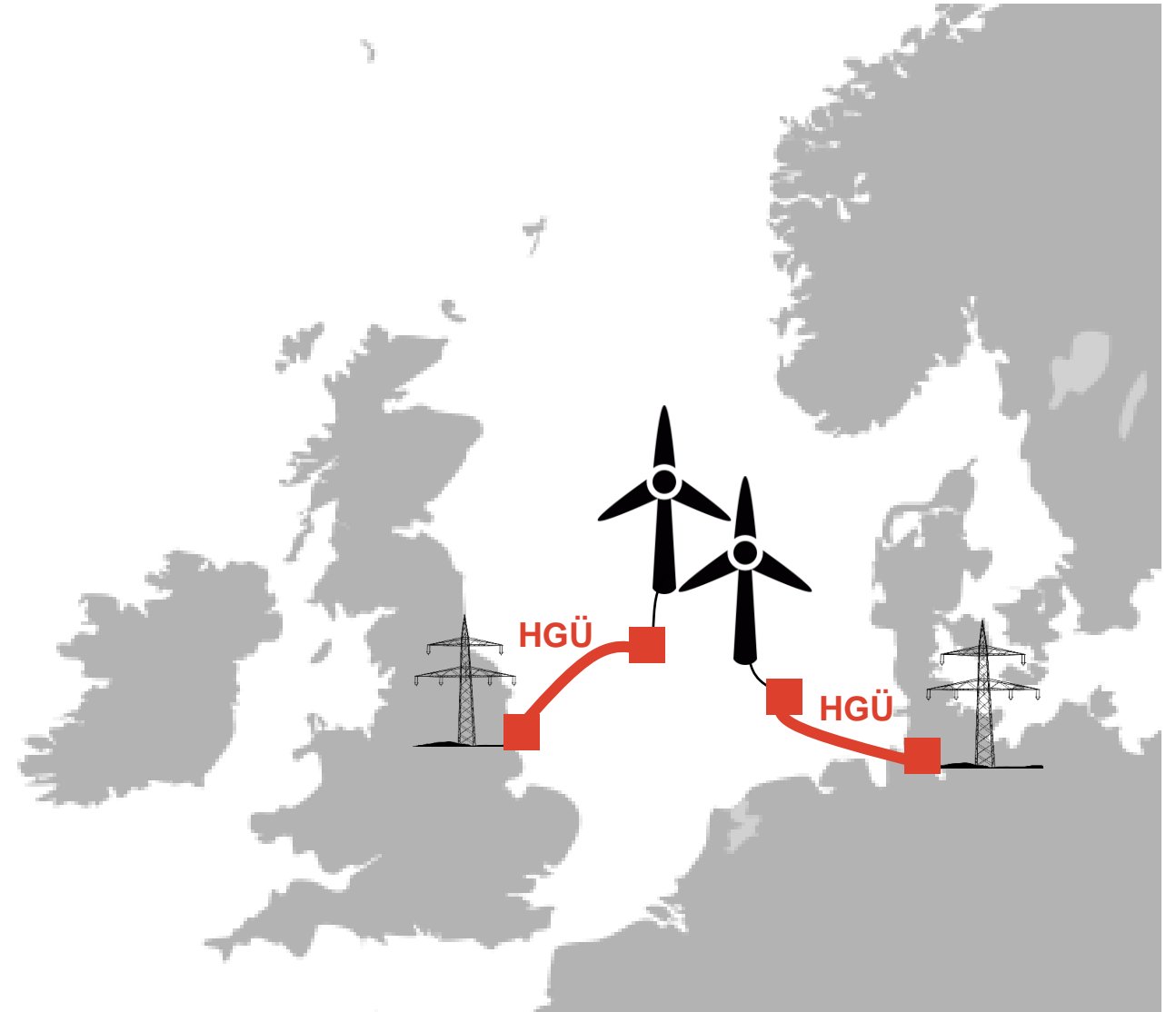
- Leistungselektronik
- Software-definiertes Verhalten
- Auslegung mit Hilfe von Computersimulationen



Bild: ABB/Hitachi

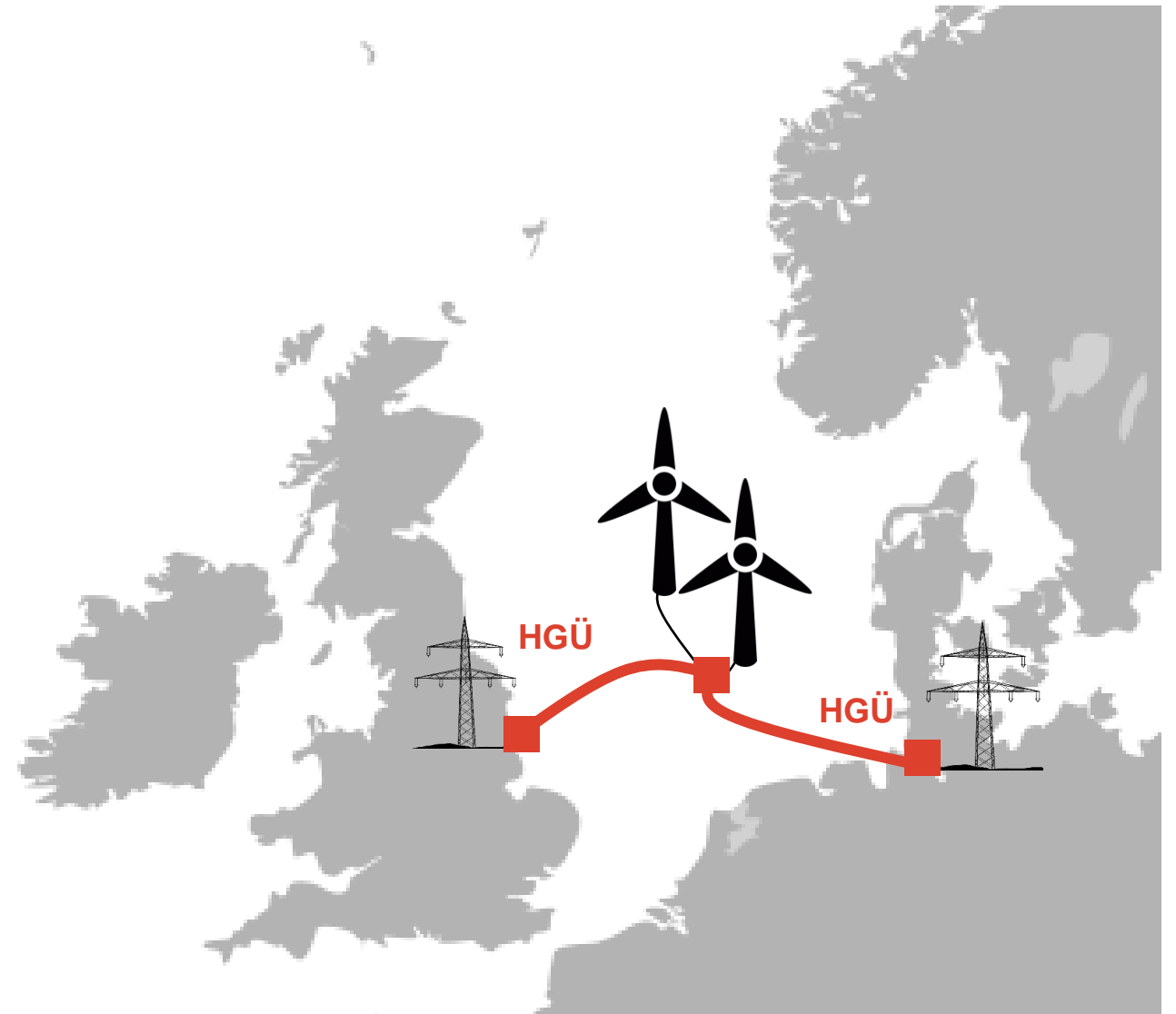
# Von Konvertern zu HGÜ-Netzen

## ■ Punkt-zu-Punkt HGÜ



# Von Konvertern zu HGÜ-Netzen

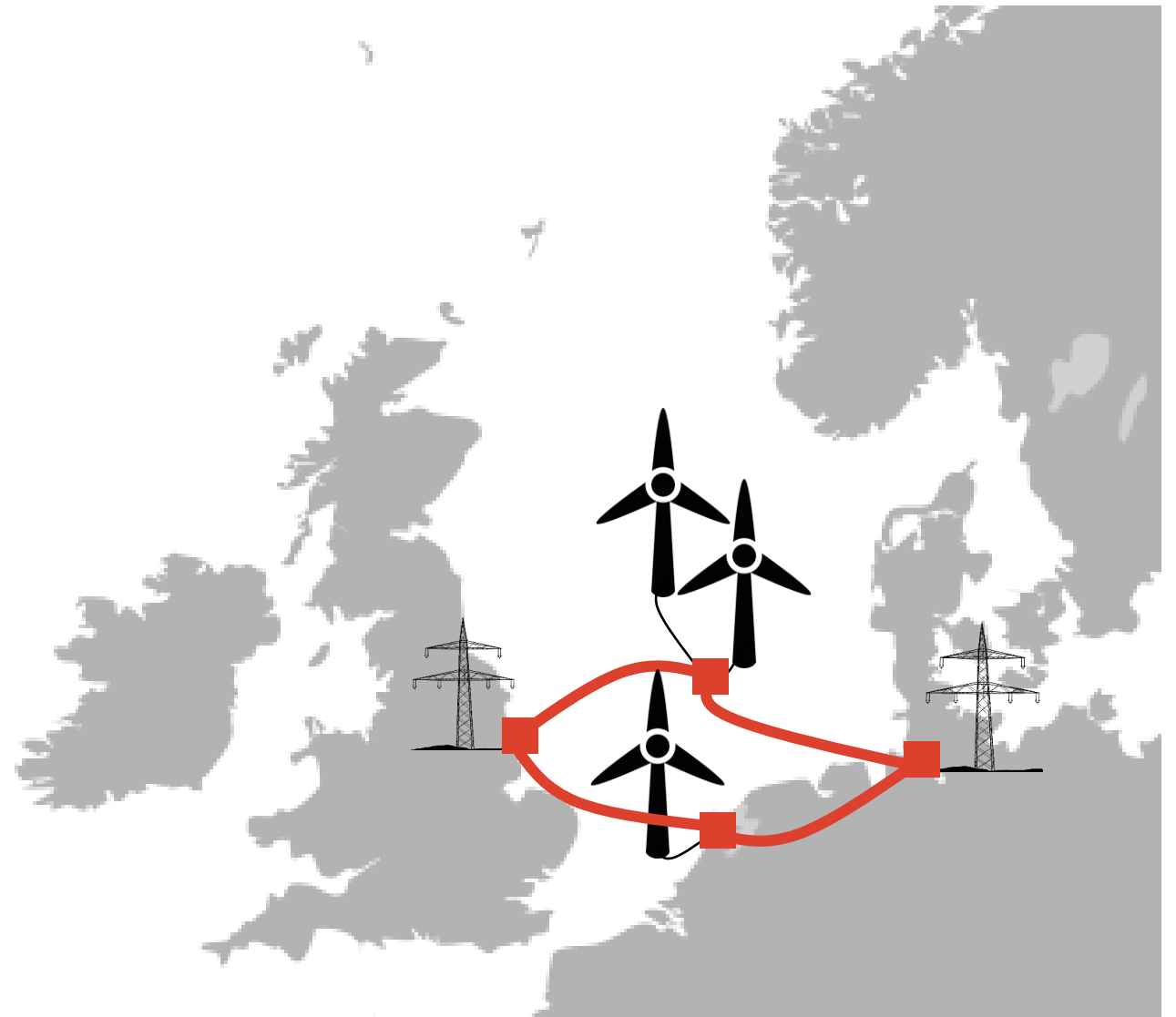
- Punkt-zu-Punkt HGÜ
- Multiterminal HGÜ System





# Von Konvertern zu HGÜ-Netzen

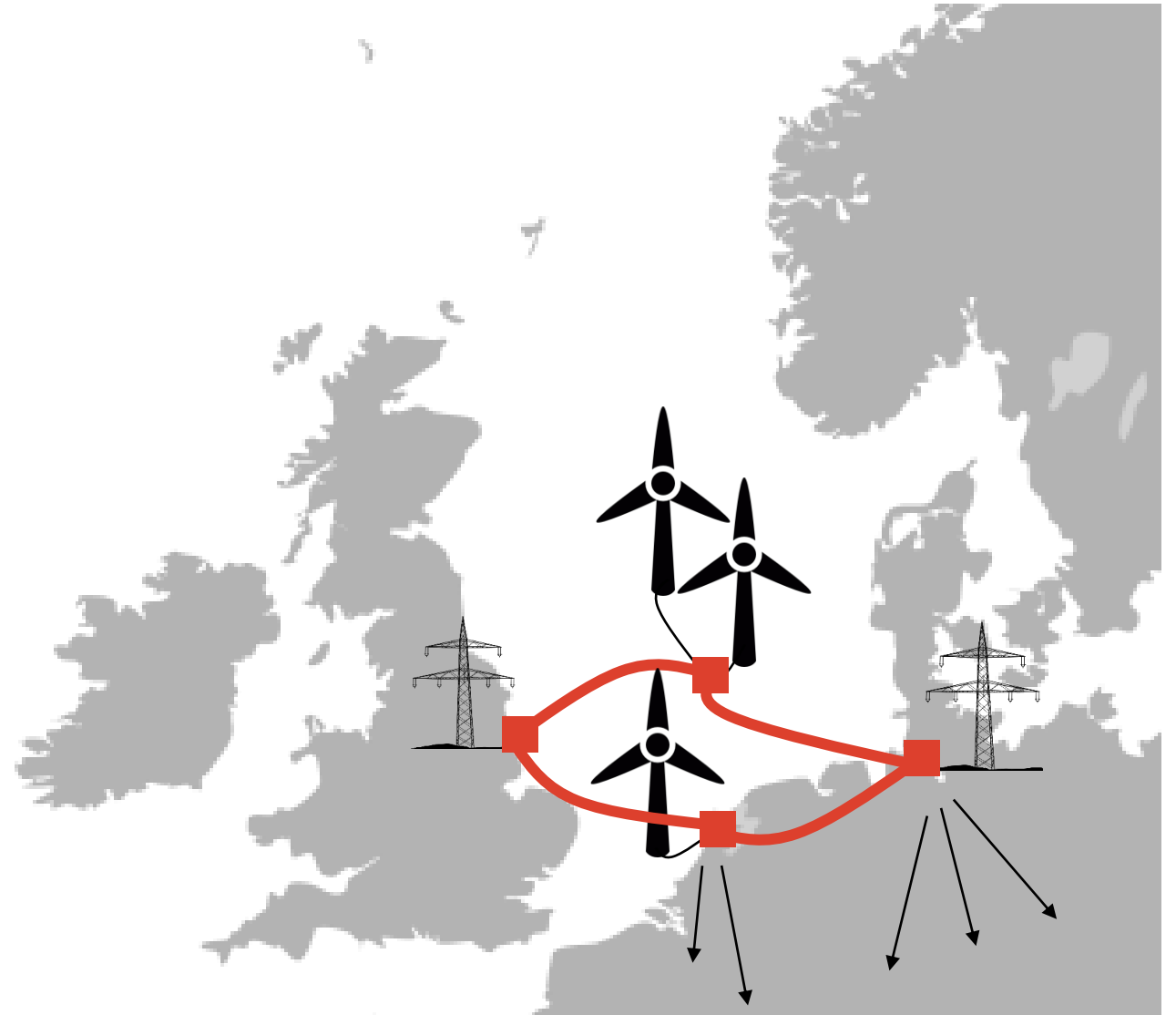
- Punkt-zu-Punkt HGÜ
- Multiterminal HGÜ System
- Vermaschte HGÜ-Netze





# Von Konvertern zu HGÜ-Netzen

- Punkt-zu-Punkt HGÜ
- Multiterminal HGÜ System
- Vermaschte HGÜ-Netze
- Onshore Netzausbau



# Steigende Ausbauziele

## ■ Offshore Windparks

- ≡ EU: 300 GW (2050)
- ≡ Deutschland: 70 GW (2045)

## ■ North Sea Summit Esbjerg, 18. Mai 2022

- ≡ BE, DK, DE, NL
- ≡ 2030: 65 GW
- ≡ 2050: 150 GW

## ■ North Sea Summit Dublin, 12. September 2022

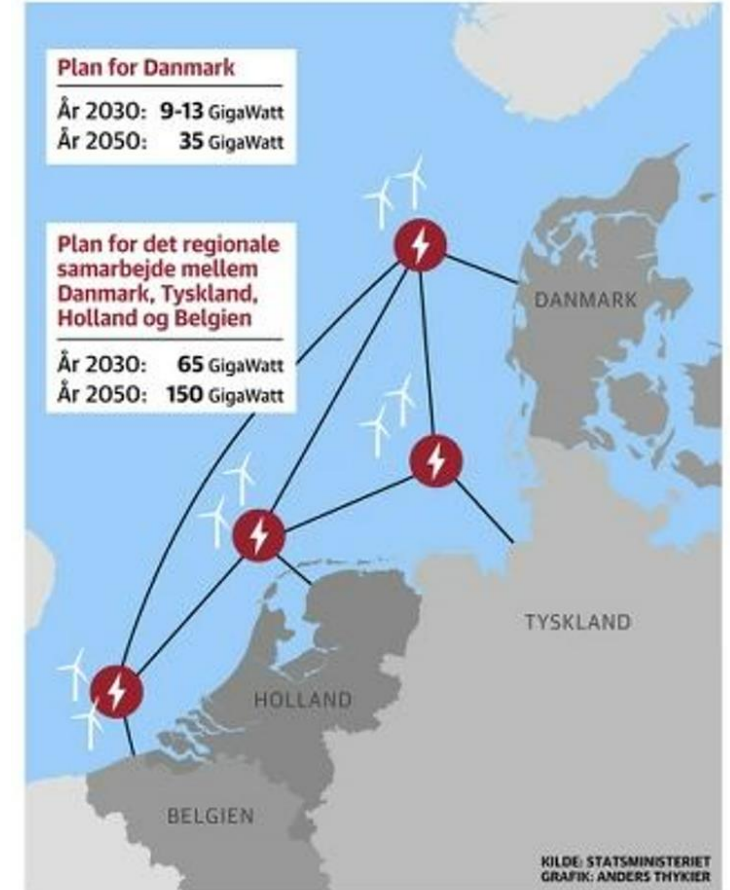
- ≡ BE, DK, DE, NL, IE, FR, LU, NO, SE
- ≡ 2030: 76 GW
- ≡ 2040: 193 GW
- ≡ 2050: 260 GW = 85% der EU Ziele

Windparks werden  
vorrangig mit  
HGÜs angeschlossen

Ausbauziele steigen  
immer schneller

## Havvindsatsning i Nordsøen

I forbindelse med et topmøde om havvind underskriver regeringslederne fra Danmark, Tyskland, Holland og Belgien en erklæring om at sætte turbo på udbygningen af havvindmøller i Nordsøen og udbygge mindst 150 GW i 2050.



# Ziele

## ■ Machbarkeitsstudie Offshore Wind 2019

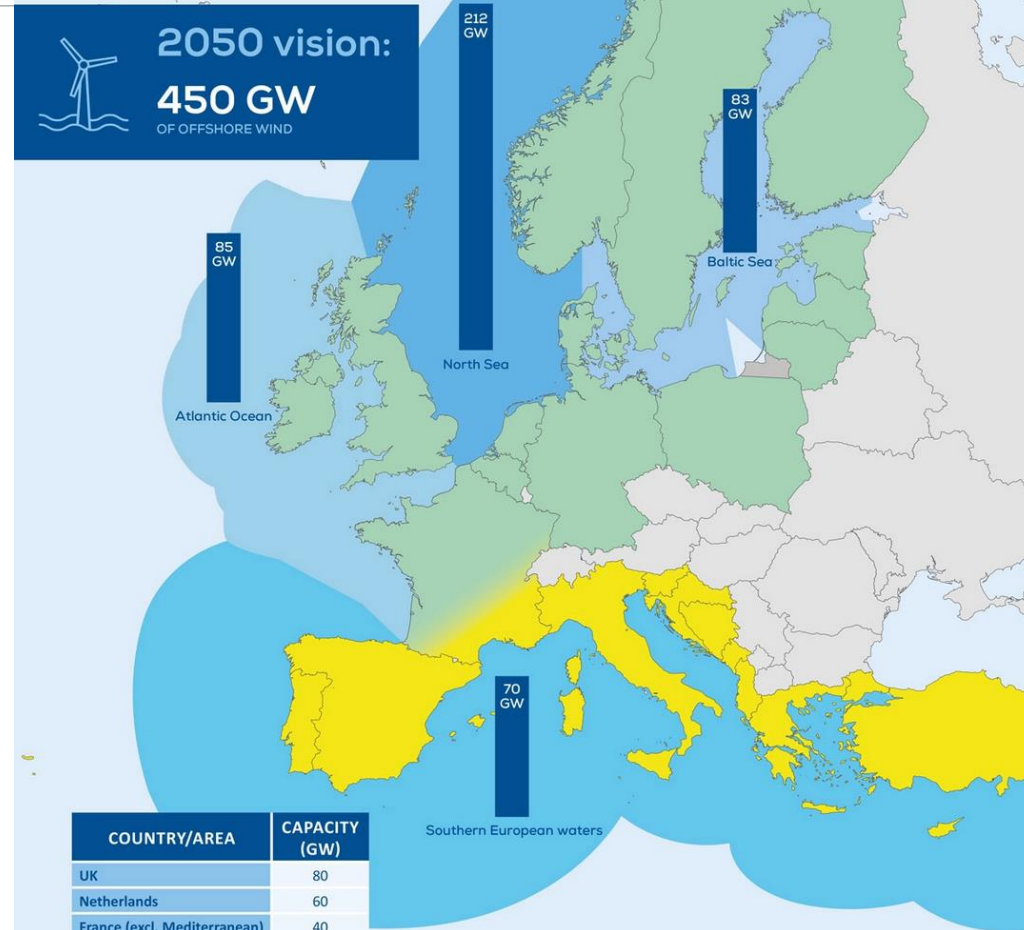
### ■ Europa

- ≡ Machbar: 450 GW (2050)
- ≡ Ziel EU: 300 GW (2050)

### ■ Nordsee

- ≡ Machbar: 200 GW (2050)
- ≡ Heute installiert: ca. 25 GW
- ≡ Ziel NorthSea Wind Summit: ~~200 GW~~ **260 GW**

FIGURE 3  
Breakdown by sea basin and country of 450 GW of offshore wind



COUNTRY/AREA	CAPACITY (GW)
UK	80
Netherlands	60
France (excl. Mediterranean)	40
Germany	36
Denmark	35
Norway	30
Poland	28
Ireland	22
Sweden	20
Finland	15
Belgium	6
Lithuania	4
Latvia	3
Estonia	1
<b>Total</b>	<b>380</b>

COUNTRY/AREA	CAPACITY (GW)
Rest of Mediterranean	31
France (Mediterranean)	17
Spain	13
Portugal	9
<b>Total</b>	<b>70</b>

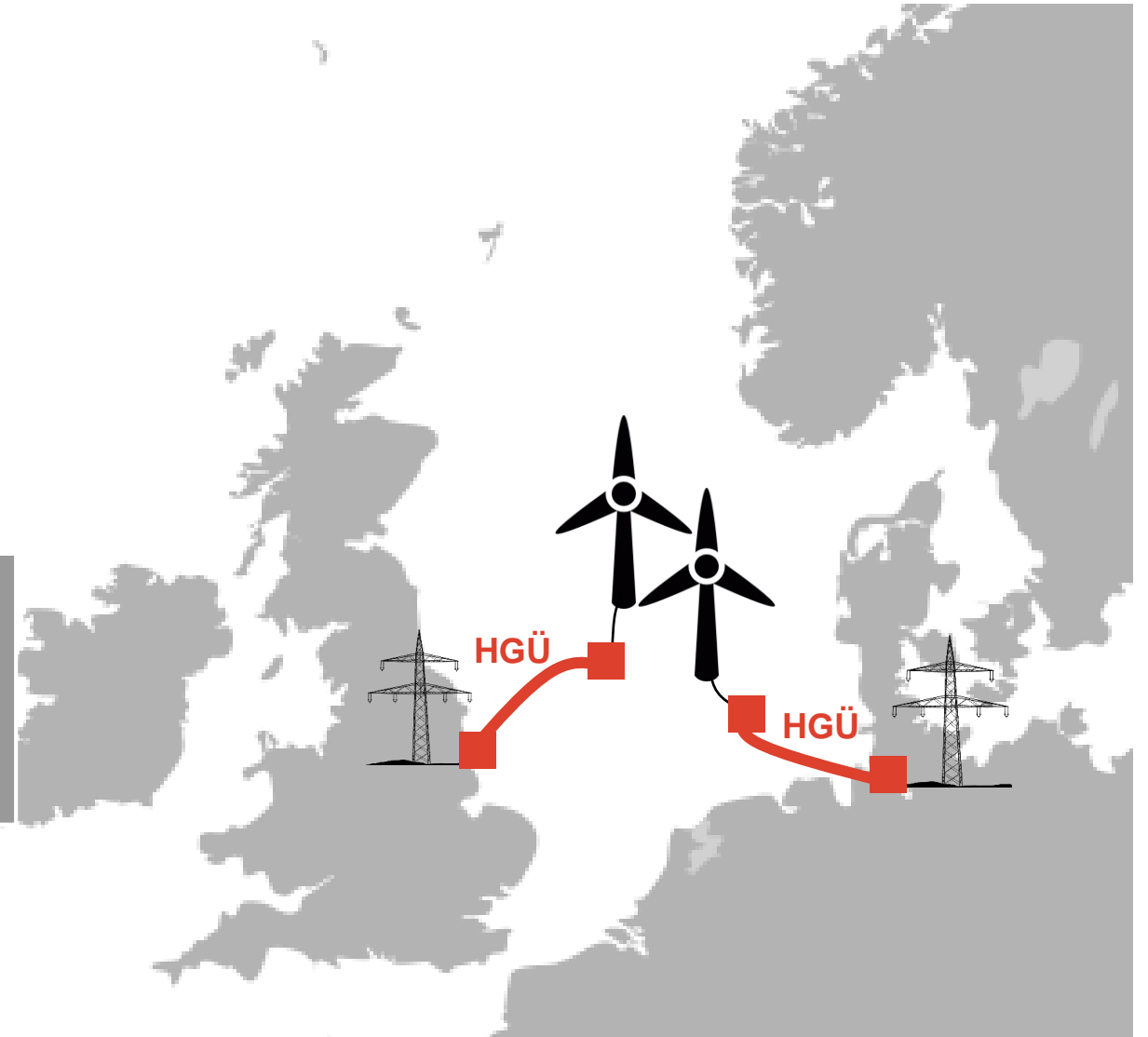
■ Northern Seas: 380 GW  
 ■ Southern European waters: 70 GW  
 ■ Rest of Europe

Graphik: WindEurope

# Ziele

- Machbarkeitsstudie Offshore Wind 2019
- Europa
  - ≡ Machbar: 450 GW (2050)
  - ≡ Ziel EU: 300 GW (2050)
- Nordsee
  - ≡ Machbar: 200 GW (2050)
  - ≡ Heute installiert: ca. 25 GW
  - ≡ Ziel NorthSea Wind Summit: ~~200 GW~~ **260 GW**

**Wir müssen 260 GW  
Nordseestrom anschliessen  
→ Annahme 5 GW HGÜs**





# Ziele

- Machbarkeitsstudie Offshore Wind 2019
- Europa
  - ≡ Machbar: 450 GW (2050)
  - ≡ Ziel EU: 300 GW (2050)
- Nordsee
  - ≡ Machbar: 200 GW (2050)
  - ≡ Heute installiert: ca. 25 GW
  - ≡ Ziel NorthSea Wind Summit: ~~200 GW~~ **260 GW**

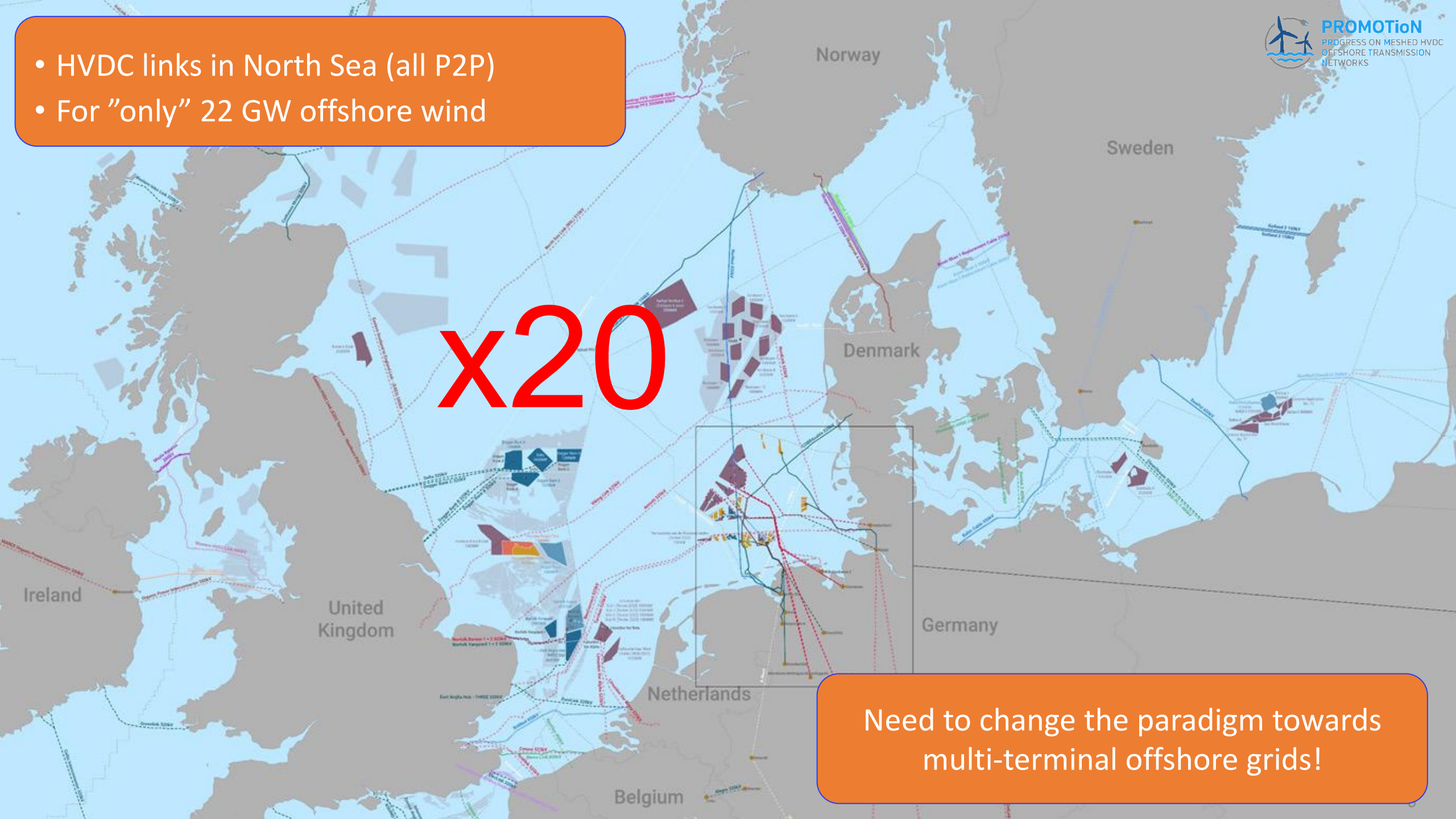
**Wir müssen 260 GW  
Nordseestrom anschliessen  
→ Annahme 5 GW HGÜs**



- HVDC links in North Sea (all P2P)
- For "only" 22 GW offshore wind

x20

Need to change the paradigm towards multi-terminal offshore grids!



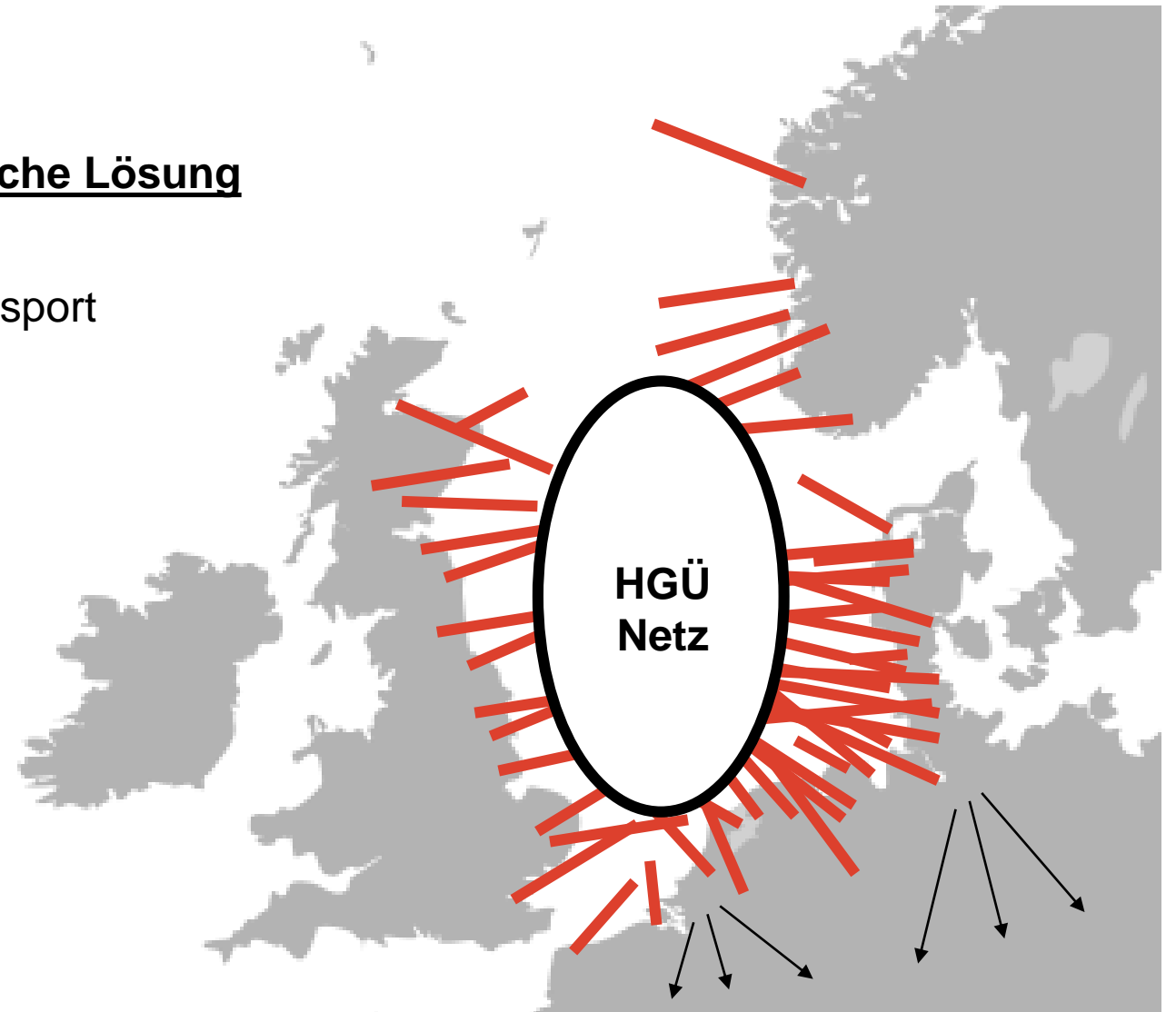
# Überschlagsrechnung Punkt-zu-Punkt HGÜs

- Annahme 400 GW offshore via HGÜ (ganz Europa)
- 2 GW Windparks / Konverter
  - ≡ 400 Konverter (200 onshore + 200 offshore)
  - ≡ Annahme Konverterkosten: Onshore 220 M€, Offshore 500 M€
  - ≡  $200 * 220 \text{ M€} + 200 * 500 \text{ M€} = 144 \text{ Milliarden €}$
- 150-200 km Kabel
  - ≡ Annahme Kabelkosten: 2 M€/GW/km
  - ≡  $150 * 200 * 2 * 2 \text{ M€} = 120 \text{ Milliarden €}$  (bis 160 Milliarden €)
- Total: 264 - 304 Milliarden €
- 400 GW in 2050 → 14.3 GW/Jahr
  - ≡ 15 Konverter/Jahr
  - ≡ 2000 km Seekabel/Jahr
  - ≡ 10 Milliarden €/Jahr
  - ≡ Zum Vergleich: ca. 20 Milliarden € Umsatz (Netzbetreiber mit Nordseeanschluss, 2022)



Credit: Prof. Van Hertem @KU Leuven, Belgium

- **Vermaschte HGÜ-Netze sind die einzig realistische Lösung**
- Ausbau der Onshore-Netze zum Energieweitertransport
- HGÜ-Netze auch Onshore



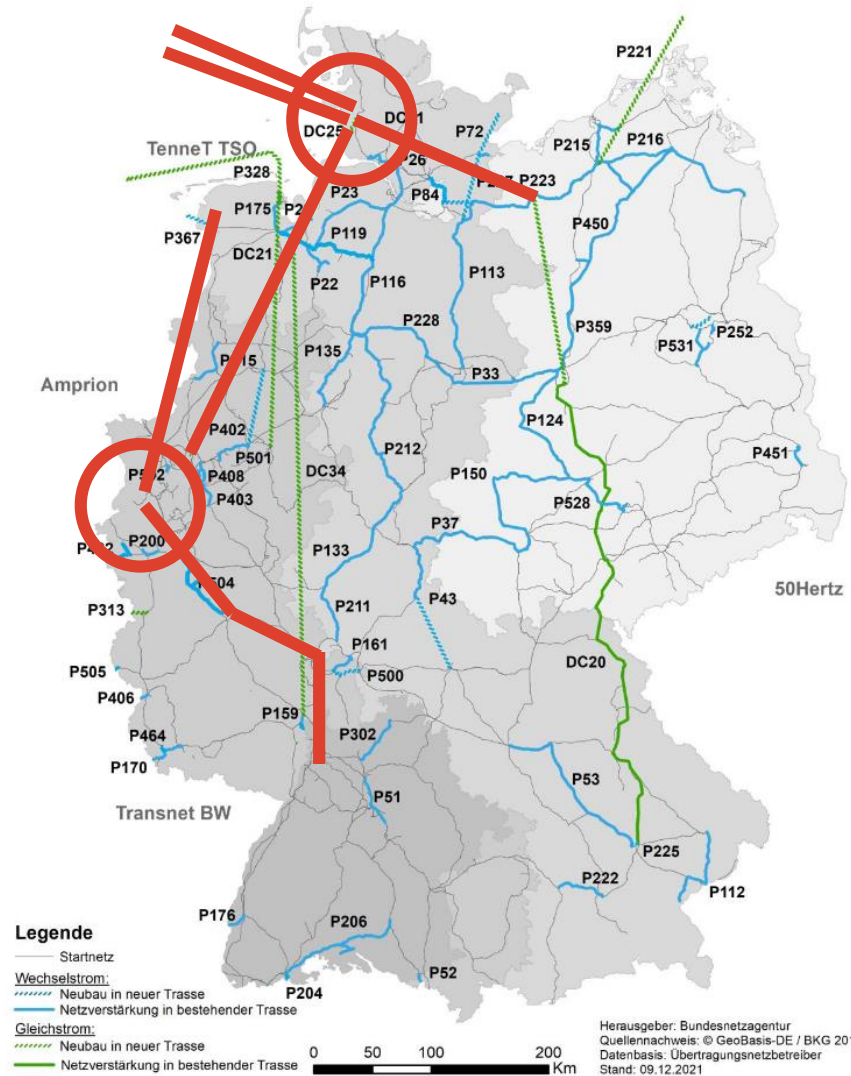


# Situation in Deutschland

- Weitertransport des Nordseestroms nach Süden
- Mehrere Punkt-zu-Punkt HGÜs in Betrieb und geplant
- Erste Multi-Terminal Systeme



## Netzentwicklungsplan Strom 2021 - 2035: bestätigte Maßnahmen



# Multi-Vendor / Multi-Terminal HGÜ-System in China

- Nan'ao 2013 (3 Terminals)
- Zhangbei 2020 (4 Terminals, vermascht)



Bild: Tang 2018



Bild: Bathurst 2015

## Multi-Vendor / Multi-Terminal HGÜ-Systeme in Europa

- Caithness-Moray-Shetland
- 3-Terminal System
- 1 Hersteller



Bild: Hitachi

# Multi-Vendor / Multi-Terminal HGÜ-Systeme in Europa

■ Johan Sverdrup

- Multi-Vendor, 2 Hersteller
- Neue Funktion: Integrator
- 4 Jahre Planung
- In Betrieb Sommer 2022

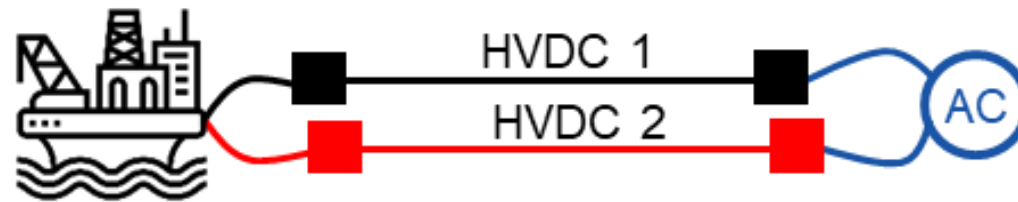


Bild: Equinor

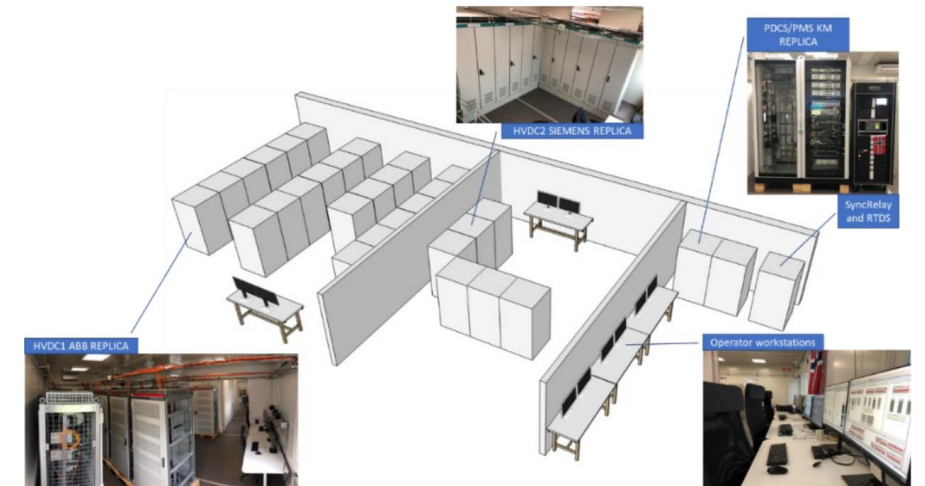


Bild: RTEi



# HGÜ-Netze mit mehreren Herstellern „Multi-Vendor“

---

- Traditionell massgeschneiderte/optimierte HGÜs (1 Hersteller)
- Herausforderungen in Multi-Vendor Systemen
  - ≡ Technologieunterschiede
  - ≡ Black-Boxed Software (Simulation und Produkt)
  - ≡ Intellectual Property
  - ≡ Standardisierung:
  - ≡ Haftung
- Aktueller Ansatz Multi-Vendor Systeme
  - ≡ Detaillierte Echtzeit-Simulation (RTDS/OPAL)
  - ≡ Hardware Replicas von allen Regelungs & Schutzsystemen
  - ≡ Umfassende Simulationen (10000 Szenarien für Johan Sverdrup)
  - ≡ Iterativer Ansatz: Multi-vendor Interoperabilität

**Unrealistisch für  
geplanten Ausbau**

# Forschung HGÜ-Netze mit mehreren Herstellern „Multi-Vendor“

- Modularisierung Schutz & Regelung  
(Hintergrund: Leistungselektronik – Netzverhalten)

- Modulares Testen

- Konverter-Software rekonfigurieren

- ≡ Interaktionen beseitigen
- ≡ An veränderte Netze anpassen

- Open Upper Software Layer (Control & Protection)

- ≡ Software zuständig für Netzverhalten
- ≡ CIGRE B4.85

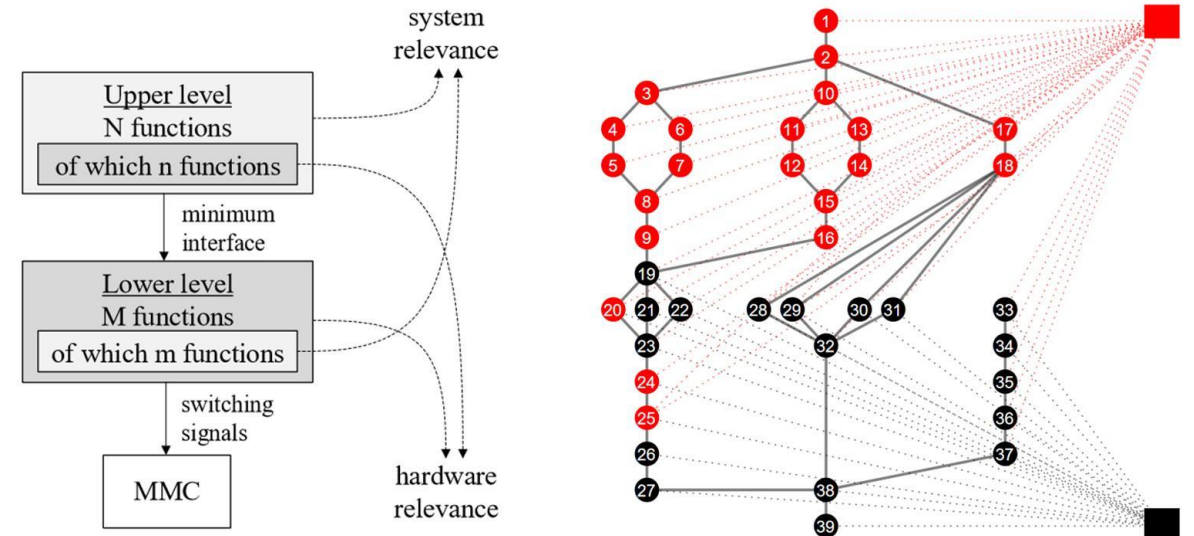


Bild: Jahn et al: **On the Partitioning of MMC Control Systems Using Graph Theory**, IEEE OJPEL 2022

# Fazit

## ■ Wir brauchen HGÜ-Netze

## ■ Grosse Herausforderungen

- ≡ Onshore Netzausbau
- ≡ Volumen, Personal, Supply Chain,...
- ≡ Standardisierung
- ≡ Multi-Vendor Interoperabilität

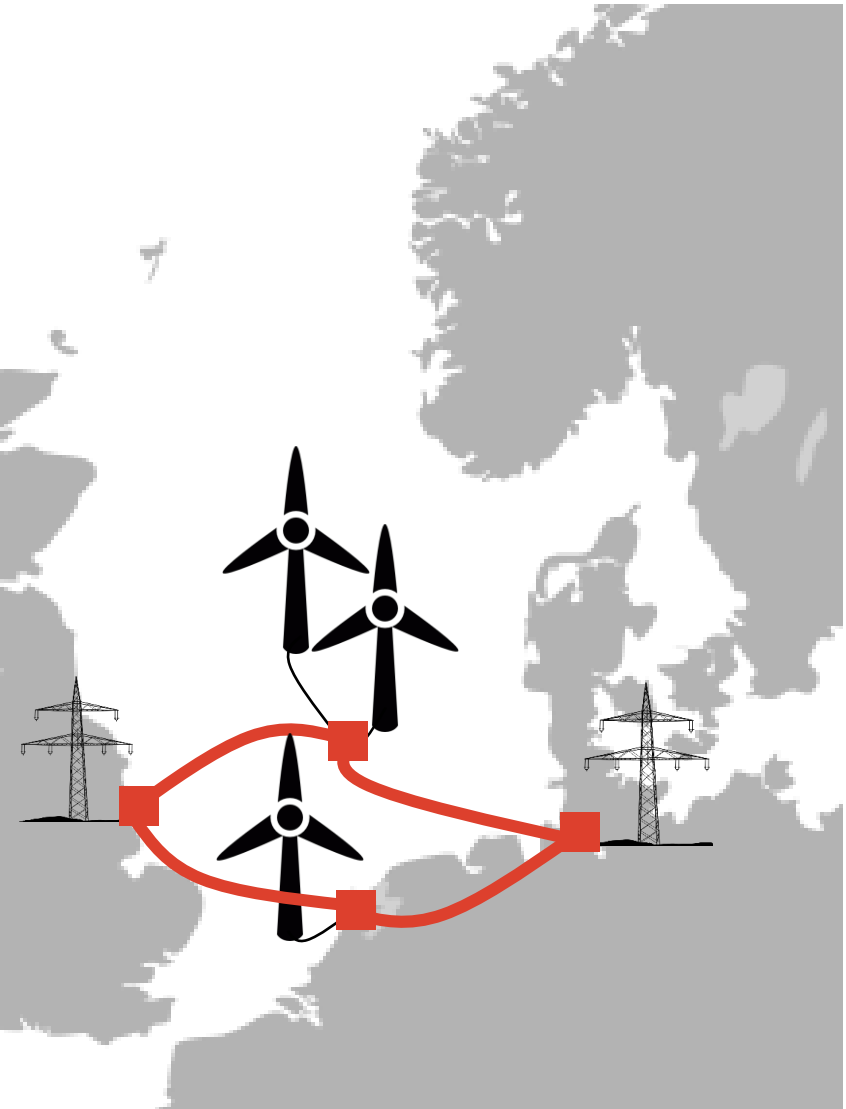
## ■ Jetzt bauen!

## ■ Fachlicher Dialog:

- ≡ <https://www.ready4dc.eu/>
- ≡ Machen Sie mit!



Erfahrungen machen  
während  
Standardisierungsphase





## Kontakt

E.ON Energy Research Center  
Mathieustraße 10  
52074 Aachen  
Germany

Dr. Ilka Jahn  
+49 241 80 49618  
[ilka.jahn@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:ilka.jahn@eonerc.rwth-aachen.de)

<http://www.eonerc.rwth-aachen.de>

**ACS** | Automation of Complex  
Power Systems

