

---

# Die Rolle der Windenergie in der Energiewende: Chancen und Herausforderungen

Bernhard Lange, Fraunhofer IWES

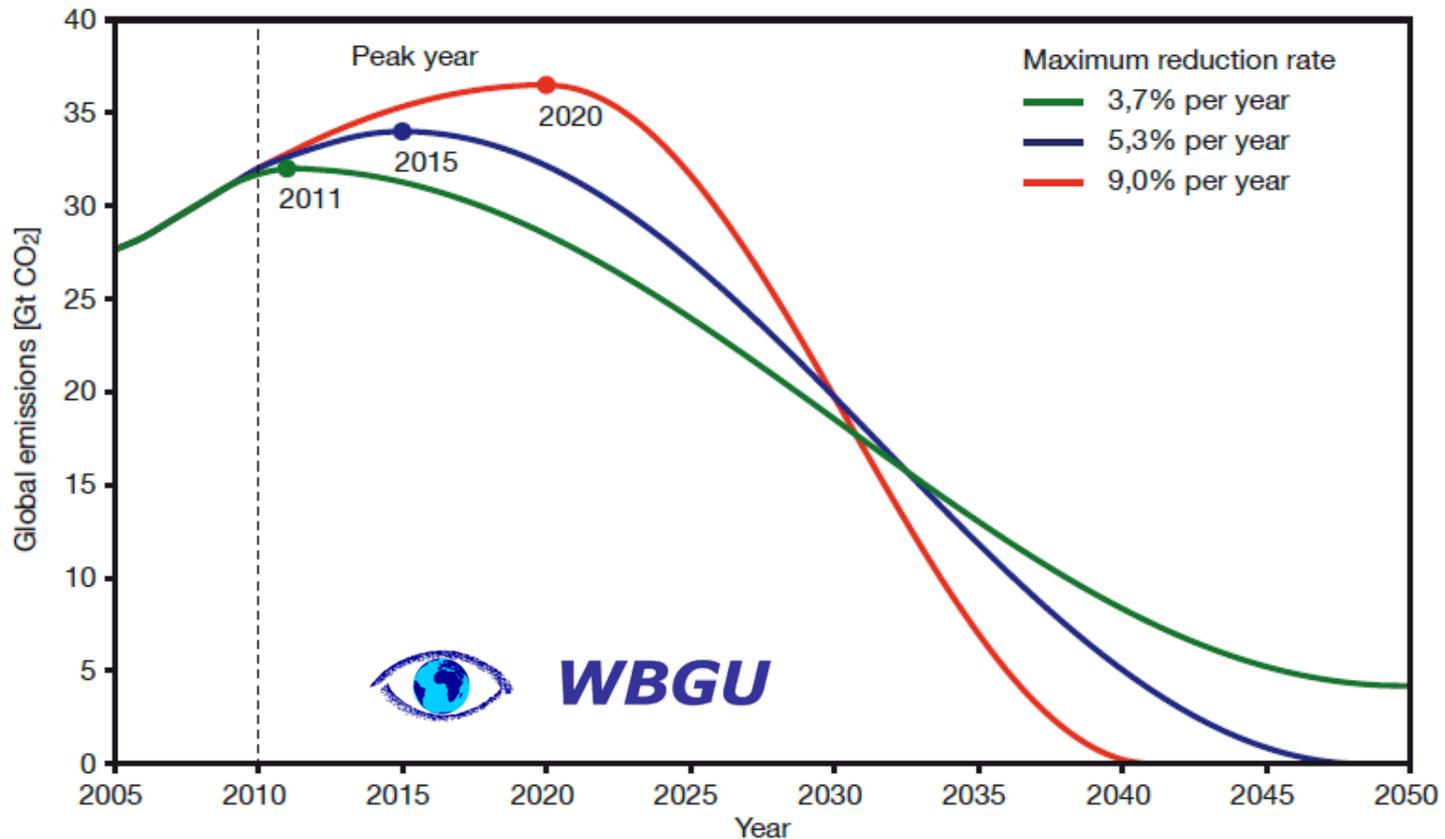
---



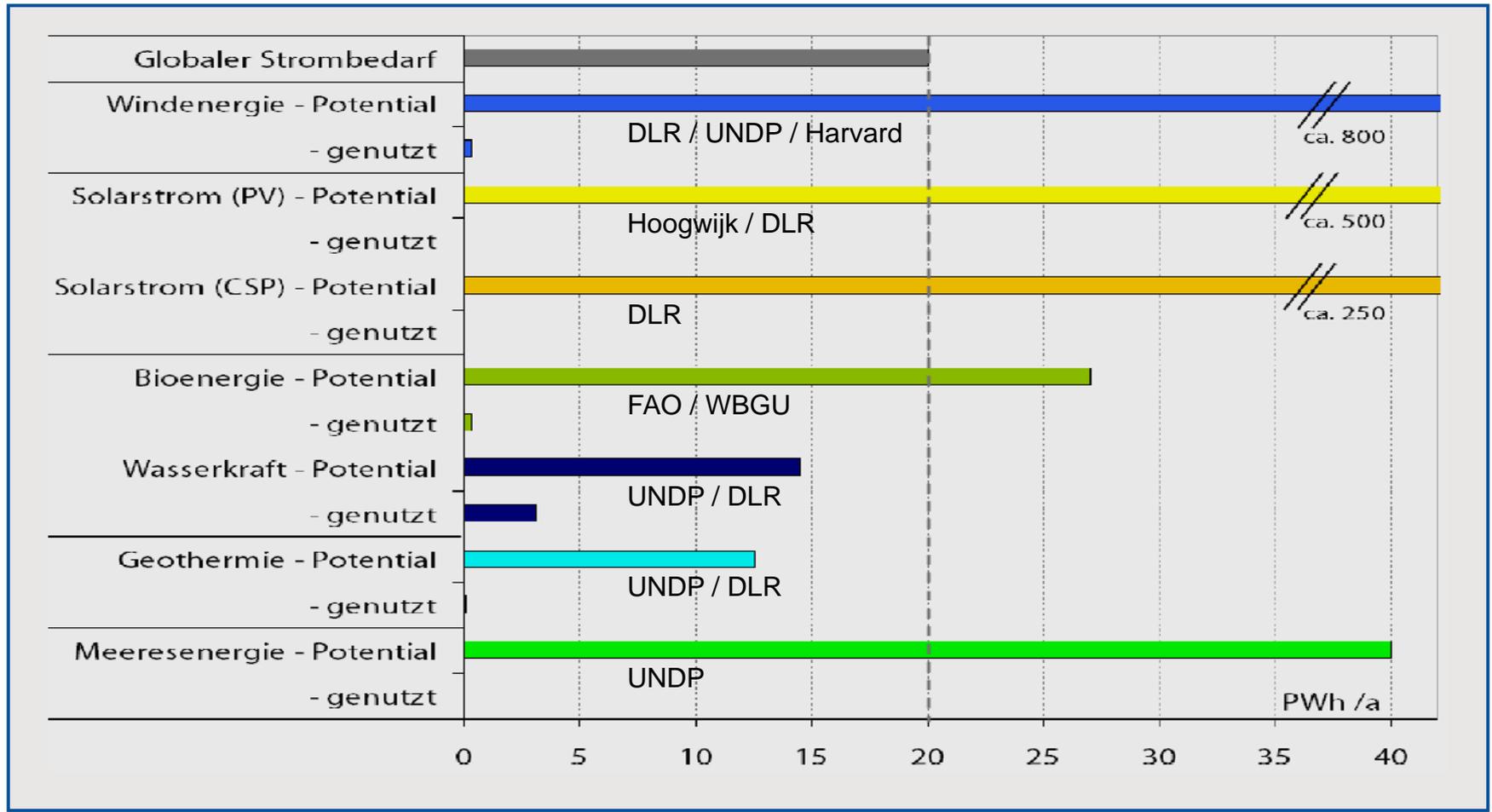
# Herausforderung Klimaschutz

## Globale Emissionspfade

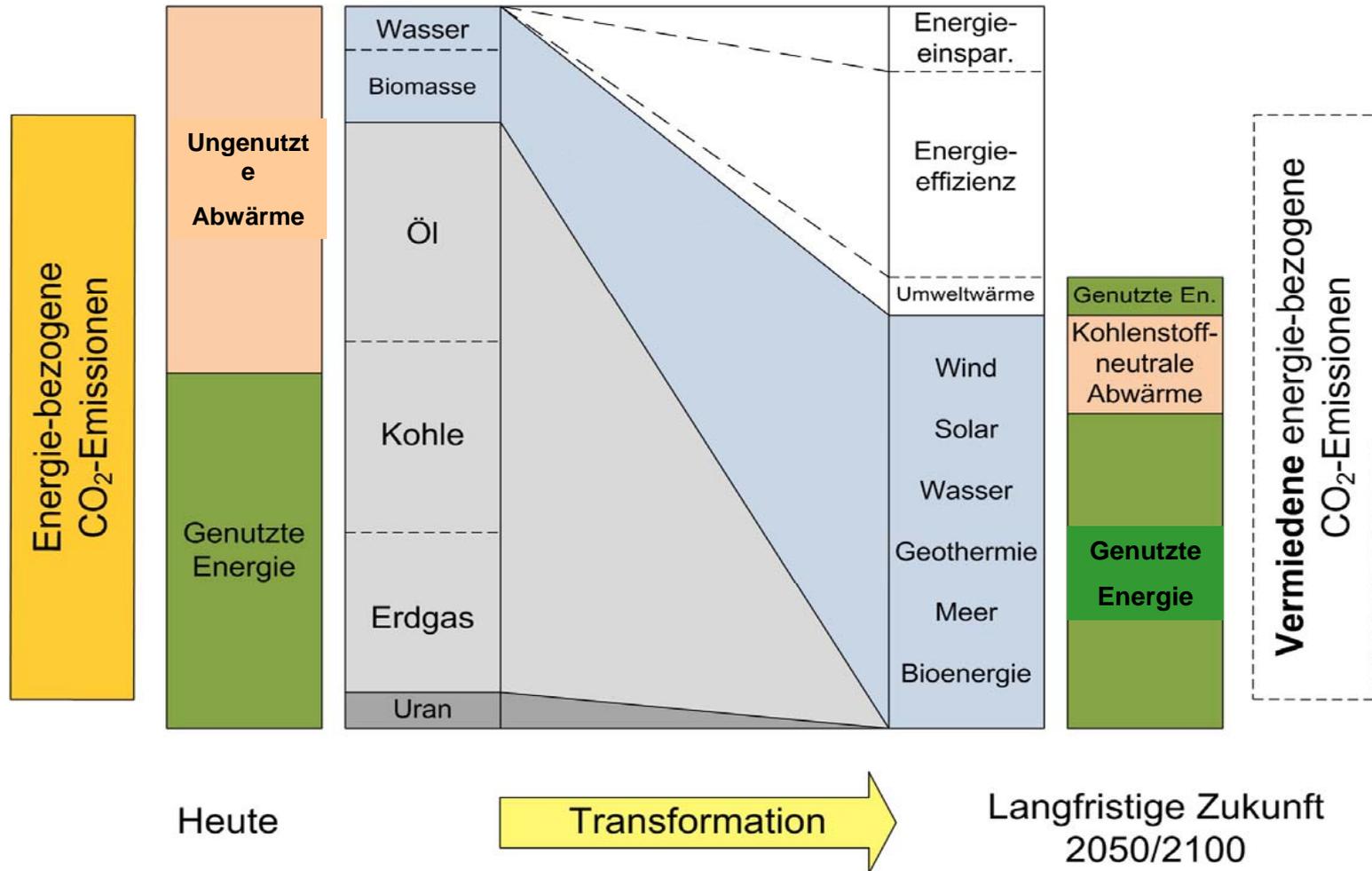
Vorgabe: max. globale Emissionen 750 GT CO<sub>2</sub>



# Globales Potential Erneuerbarer Energien

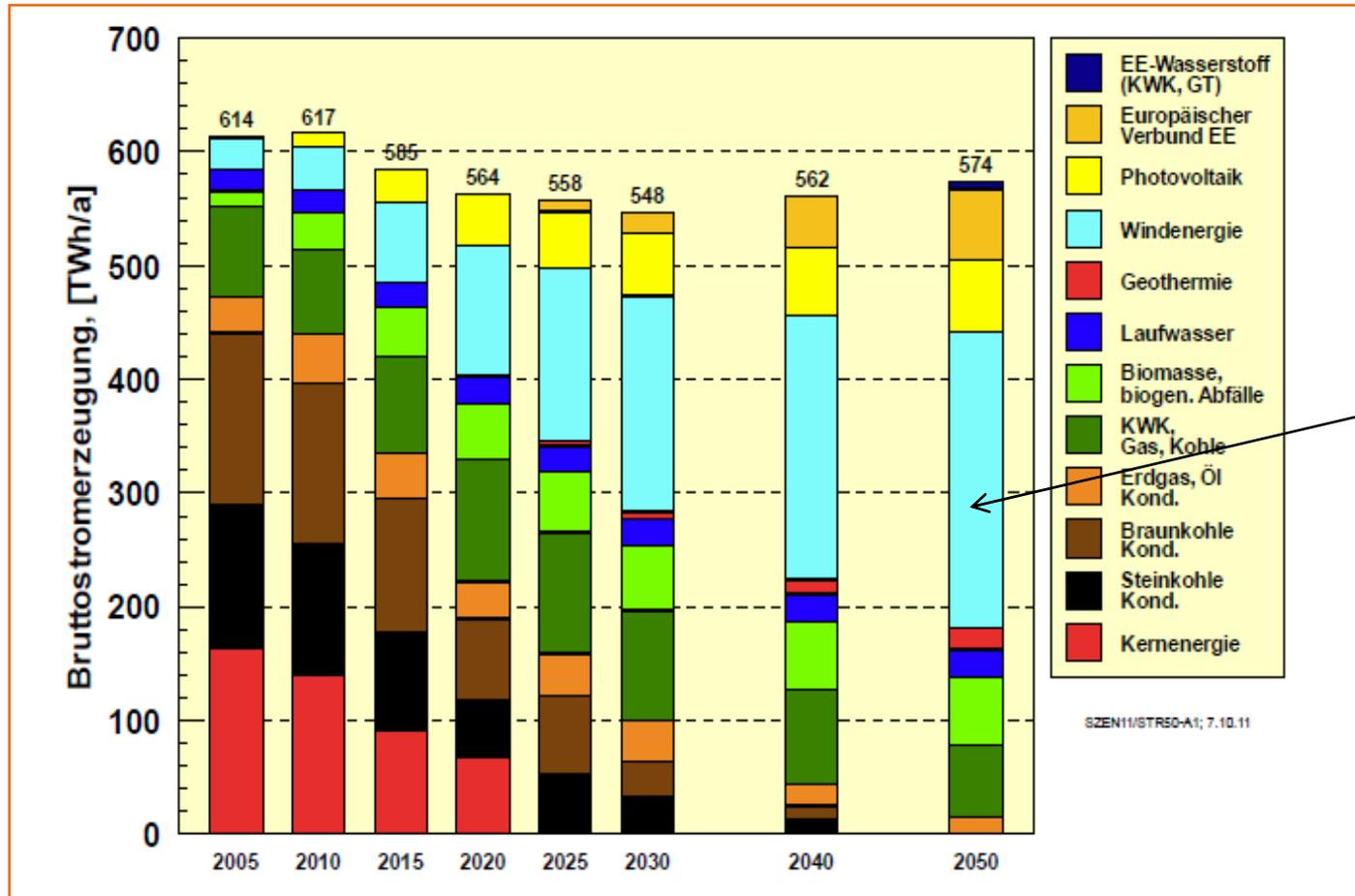


# Transformation des Energieversorgungssystems



Quelle: Sterner, 2009

# Zubau EE bis 2050 – BMU-Leitstudie 2011



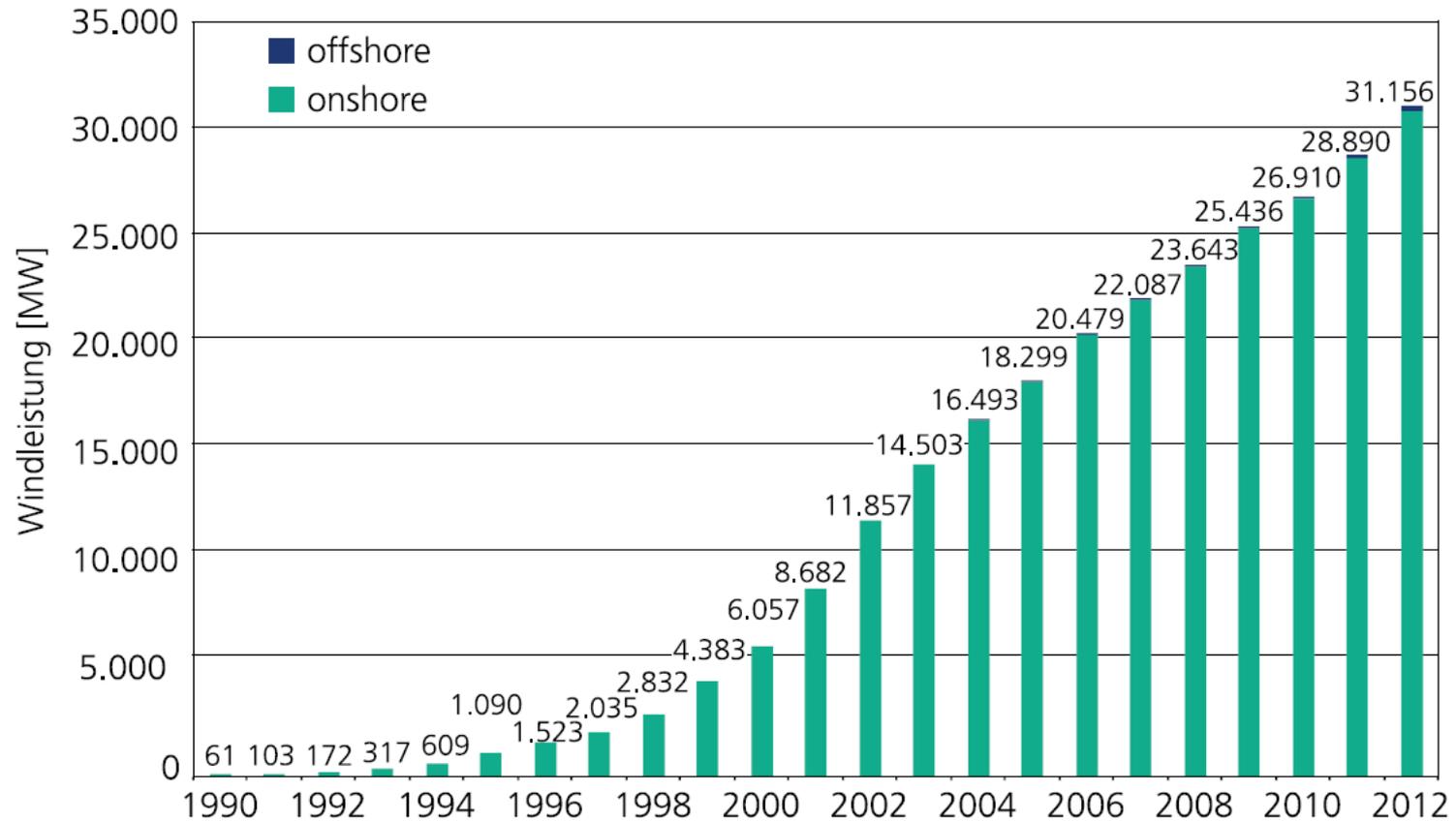
Energie:  
260 TWh  
Leistung:  
83 GW

Windenergie als Hauptträger der Stromversorgung

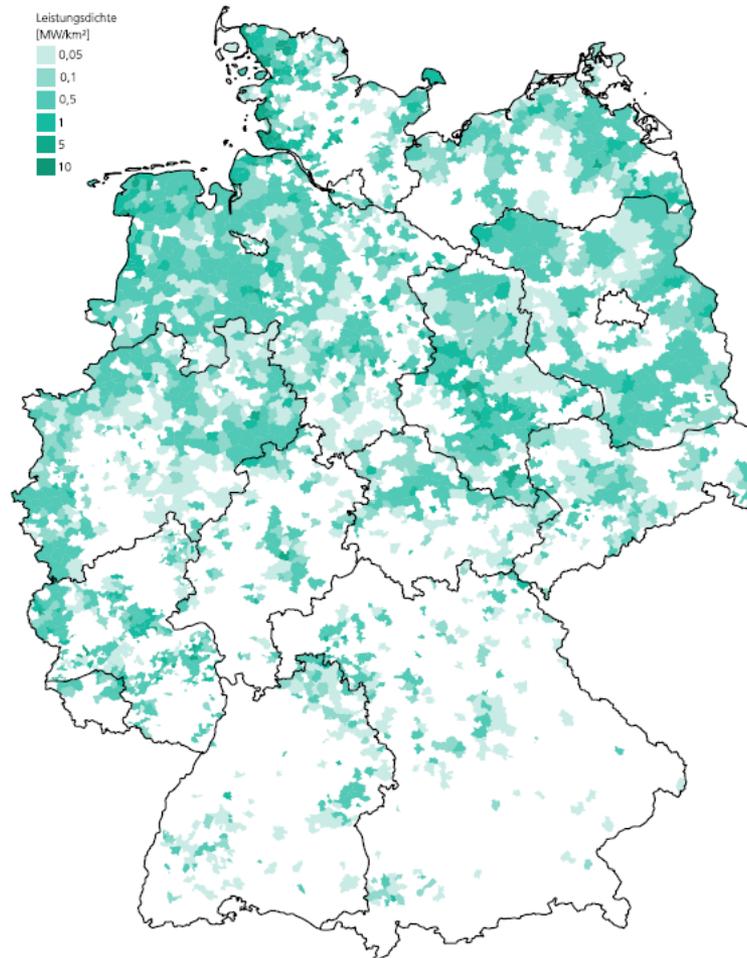
# Inhalt

- Energiewende
- Stand und Potential der Windenergienutzung
  - Ausbaustand
  - Technologieentwicklung
  - Potential
- Transformation des Energieversorgungssystems
  - Herausforderungen
  - Windleistungsprognosen
  - Steuerung der Windleistung
  - Netzausbau

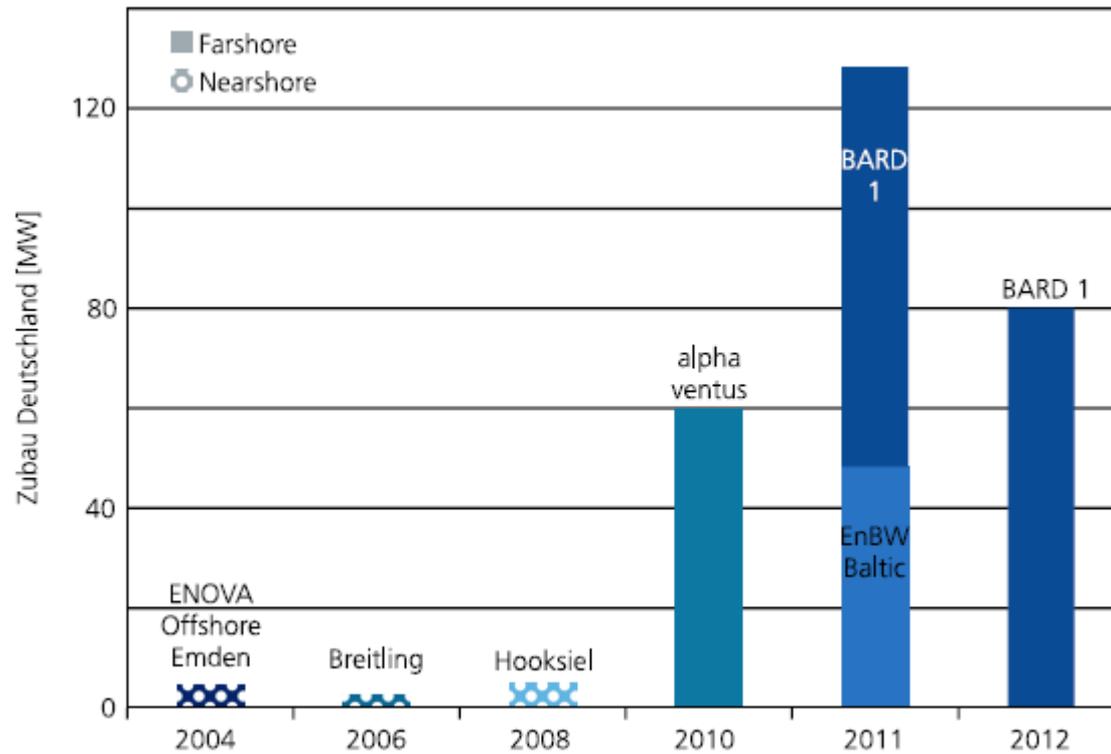
# Installierte Leistung in D



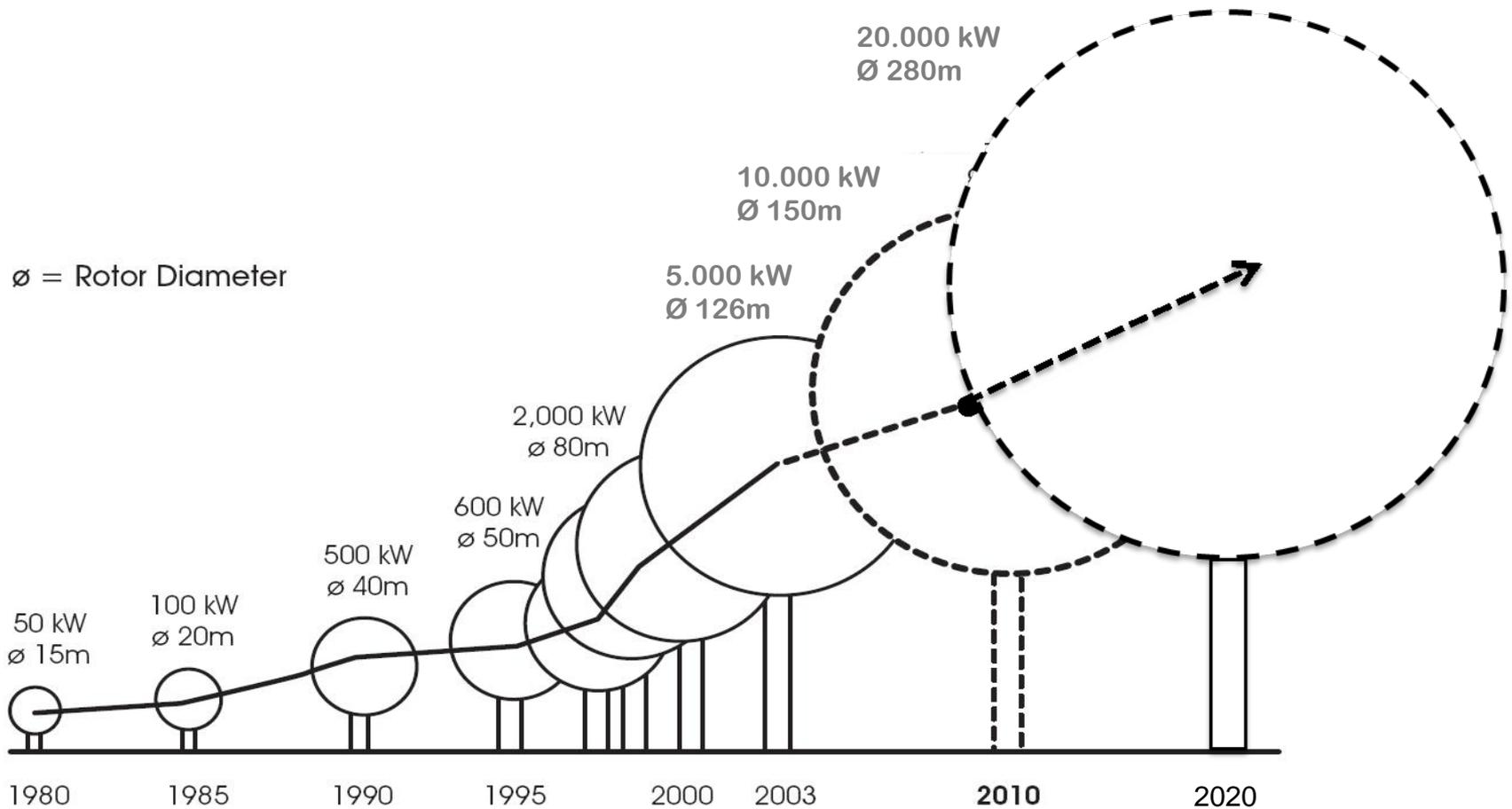
# Räumliche Verteilung der installierten Leistung



# Ausbau Offshore



# Entwicklung der Anlagengröße



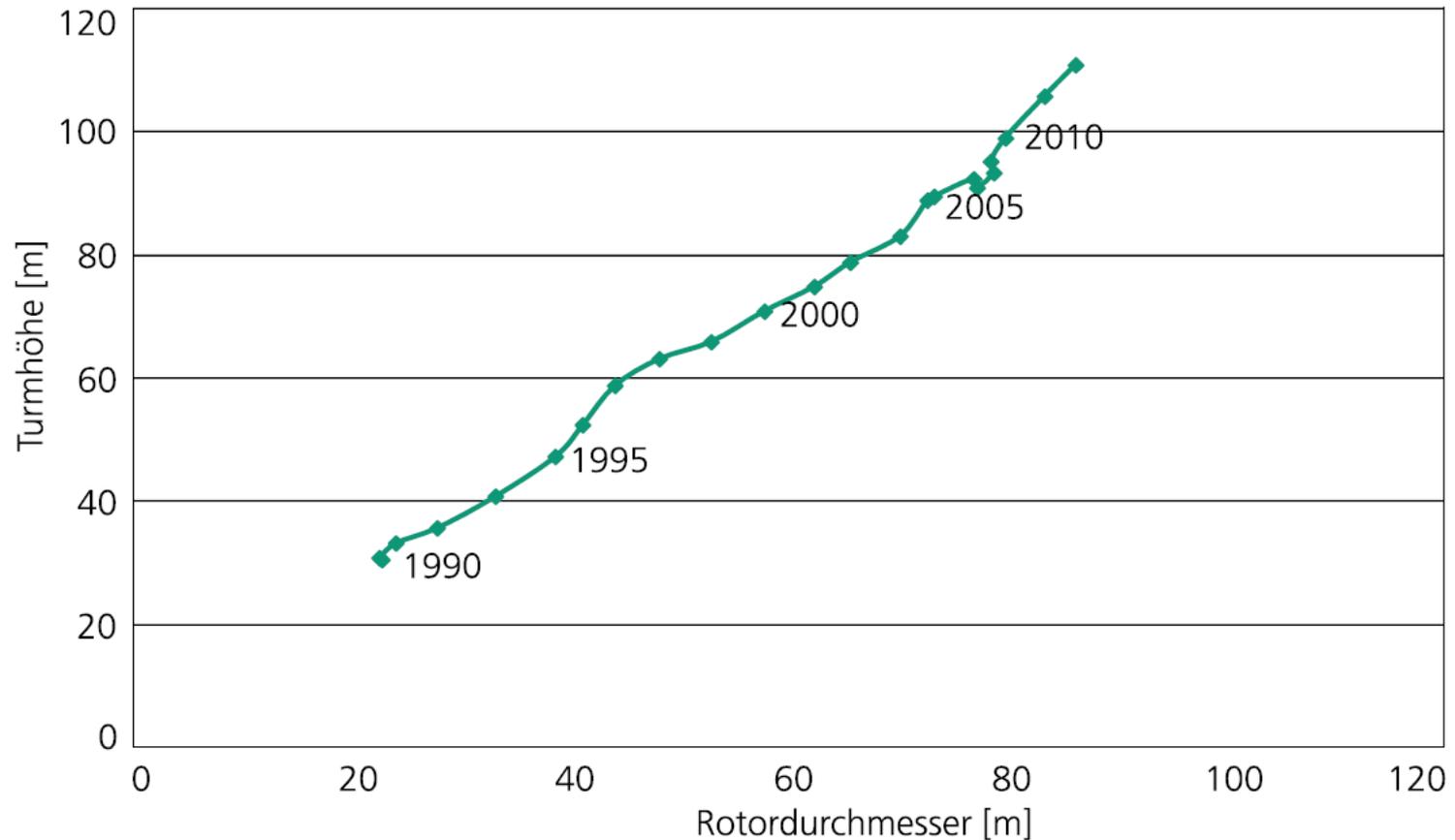
# Größenvergleich



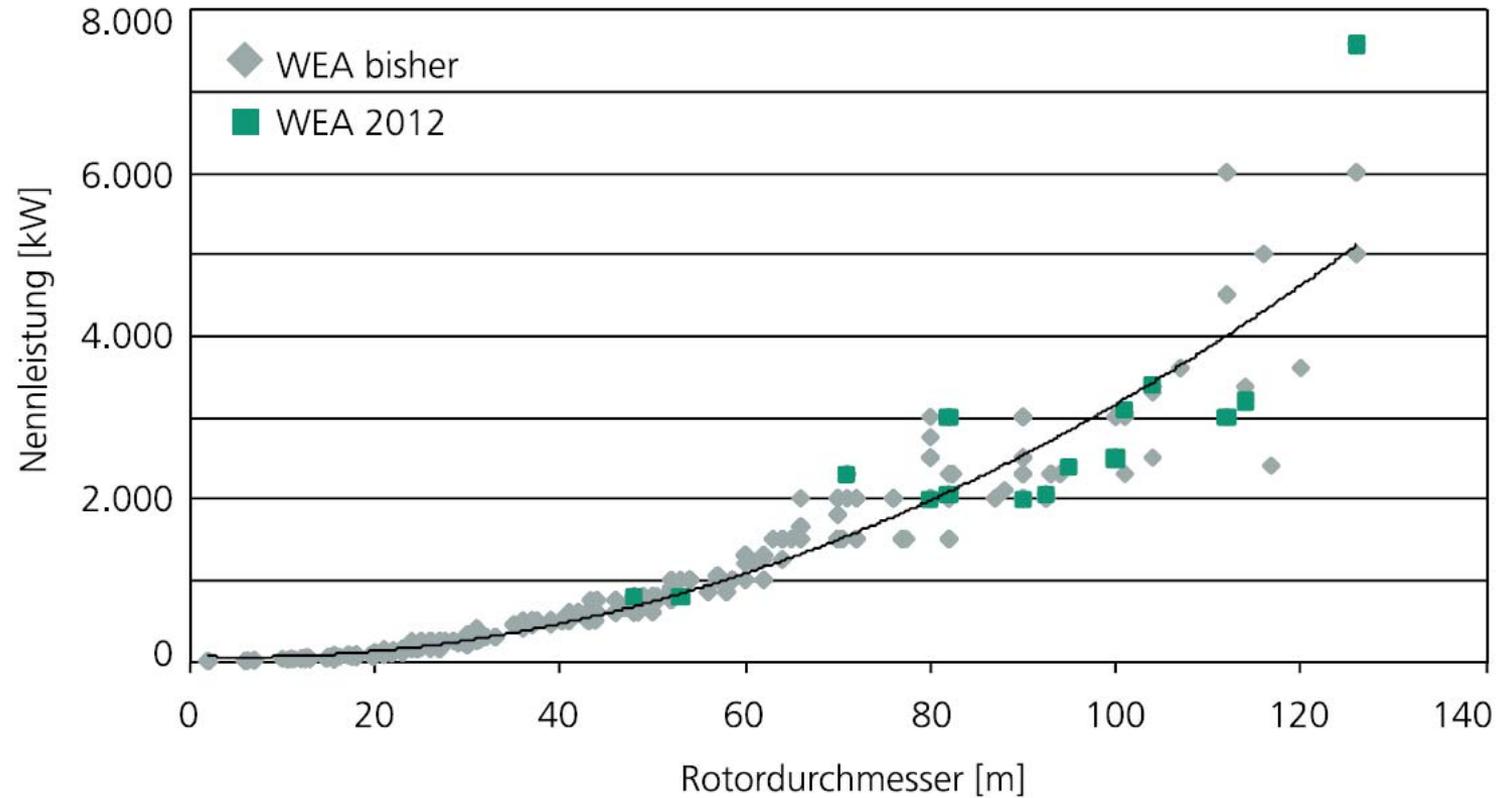
# Größenvergleich



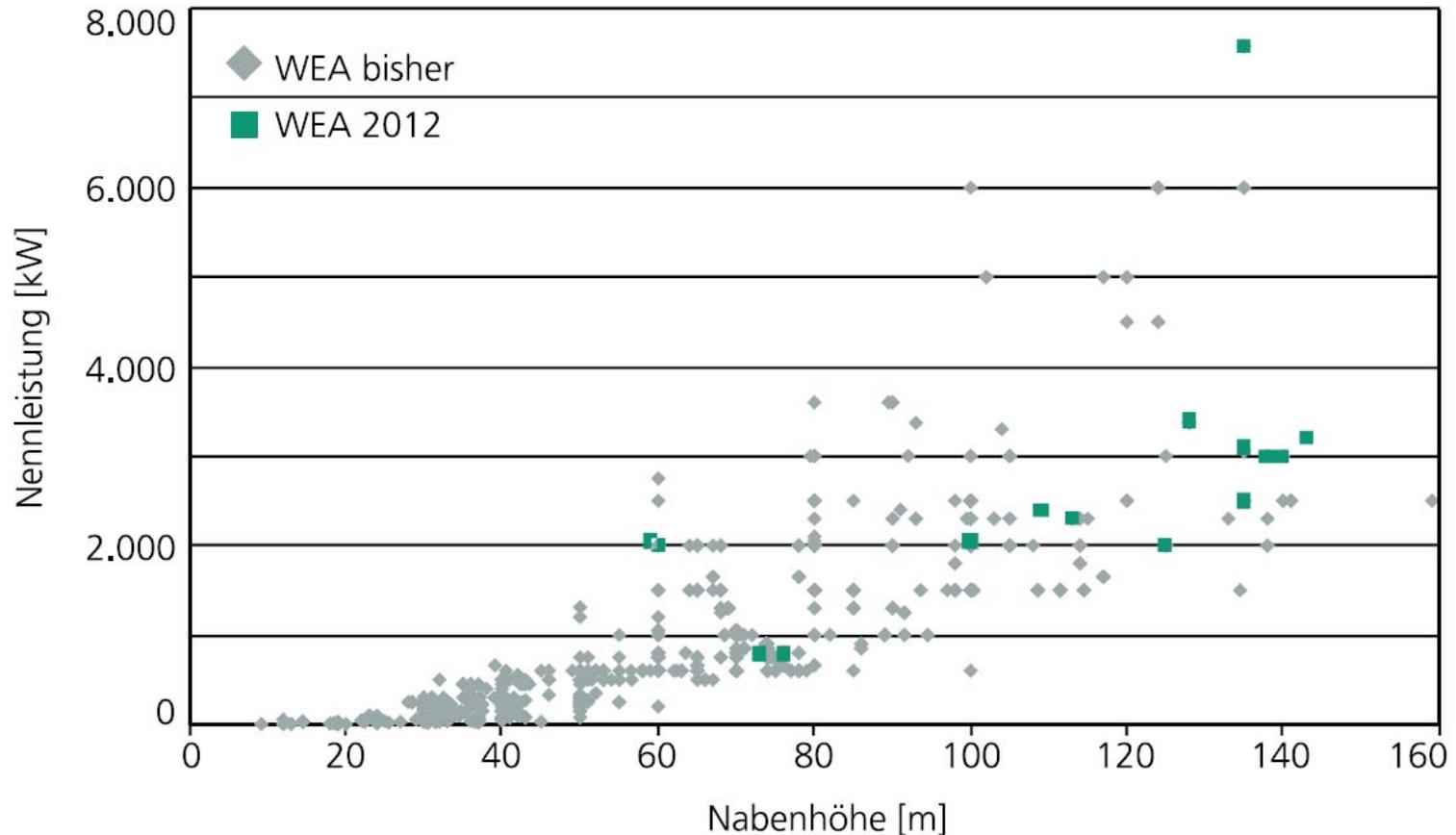
# Größentwicklung Rotor und Turm



# Entwicklung Verhältnis Rotor zu Leistung



# Entwicklung Verhältnis Höhe zu Leistung

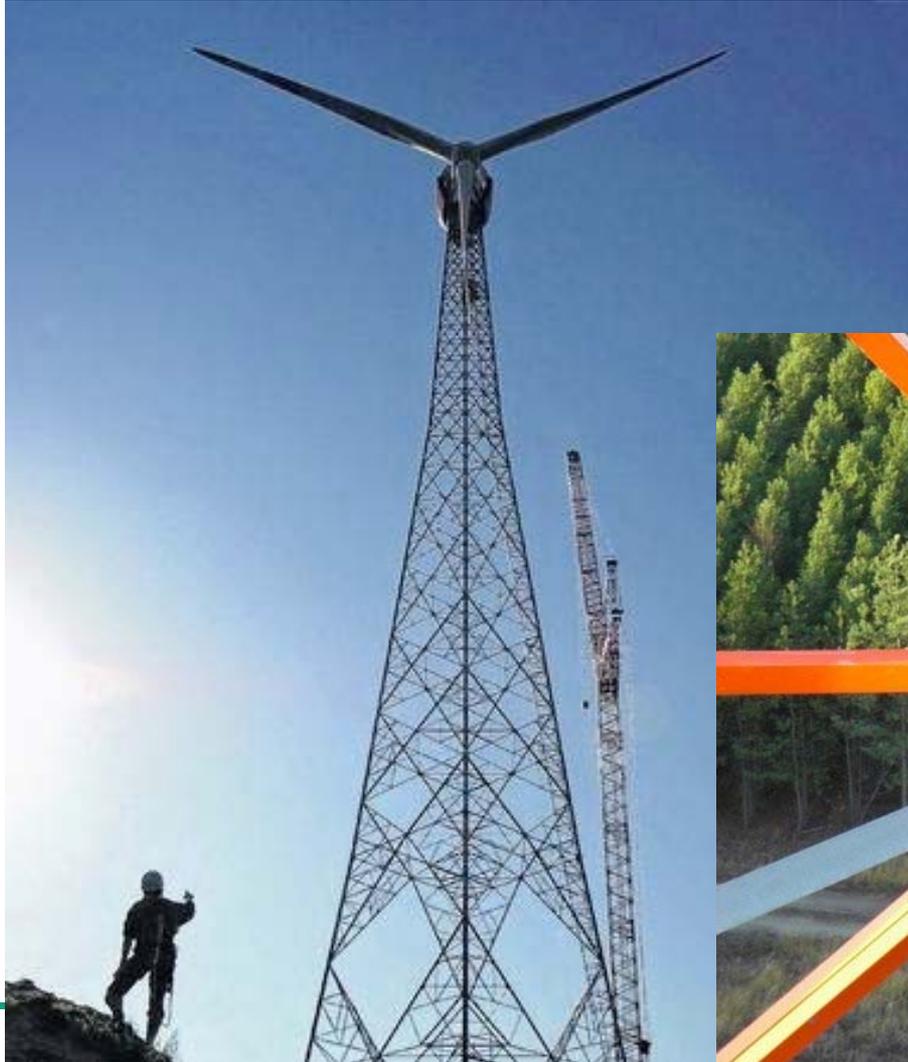


# Going south : wind in forest areas



[www.energiewende-sta.de](http://www.energiewende-sta.de)

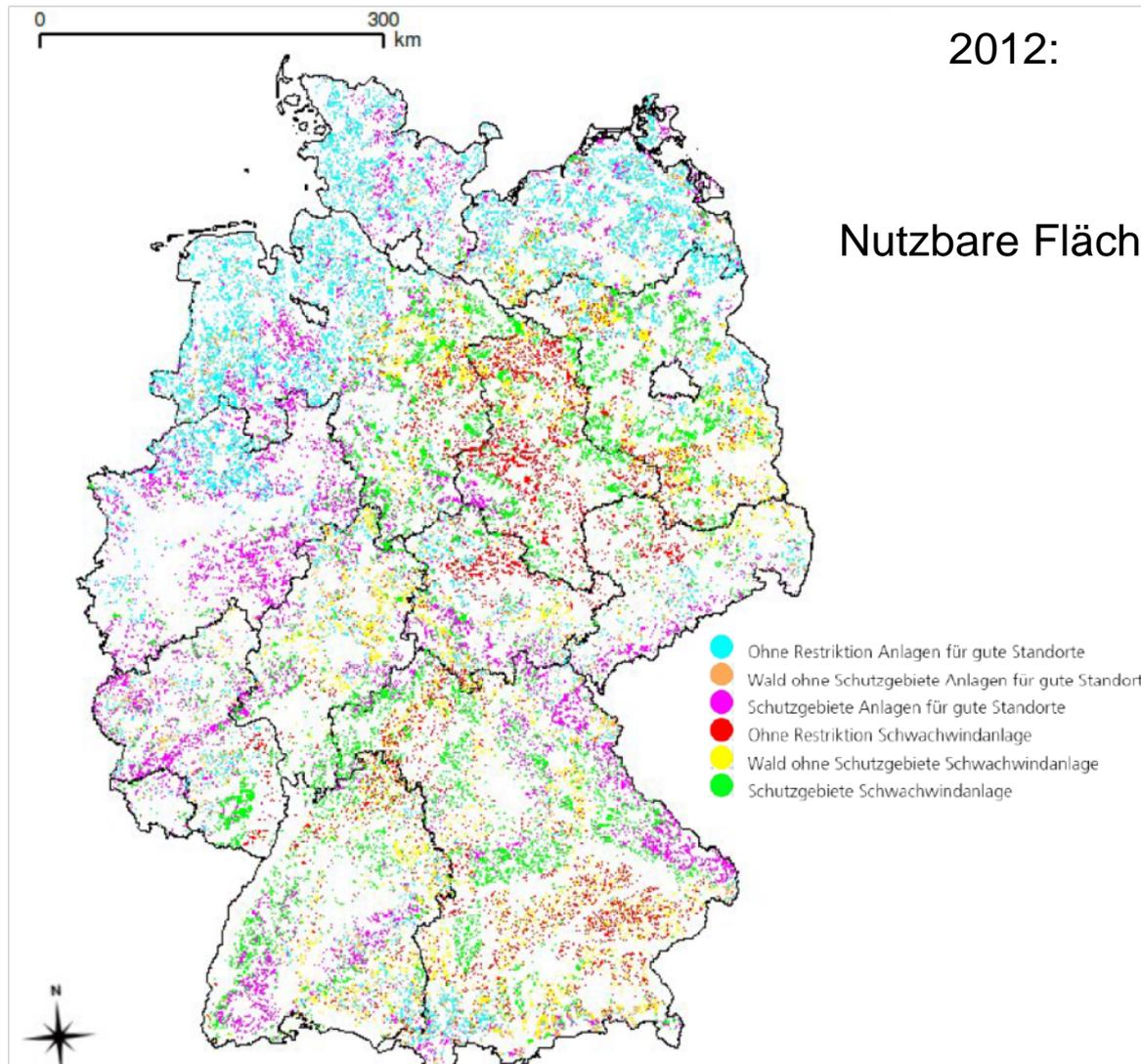
# Alte Turmkonzepte kommen zurück...



# ...und neue werden entwickelt



# Potenzial in Deutschland

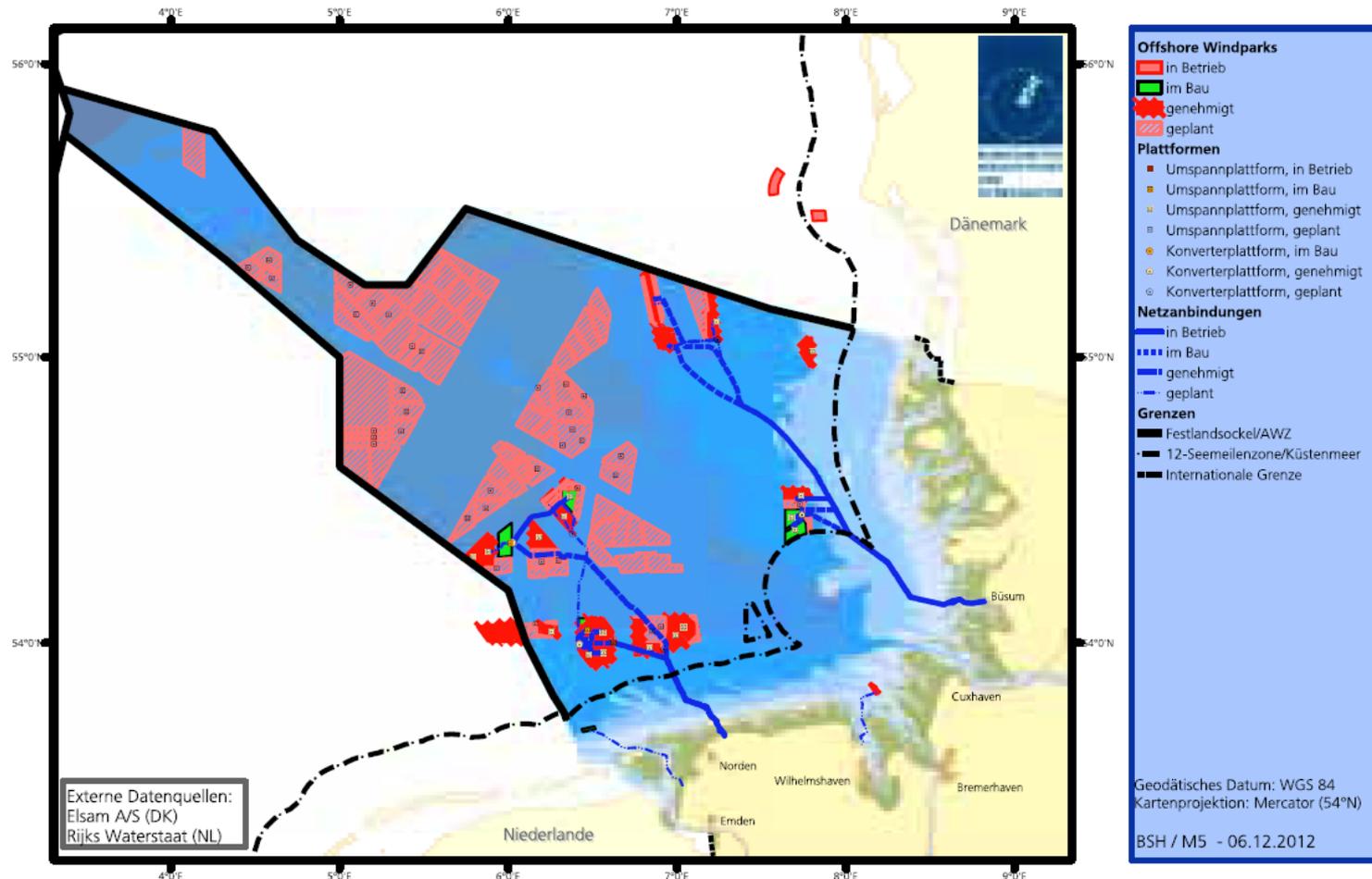


2012: 31 GW  
46 TWh

Nutzbare Flächen bei 2% Limit:

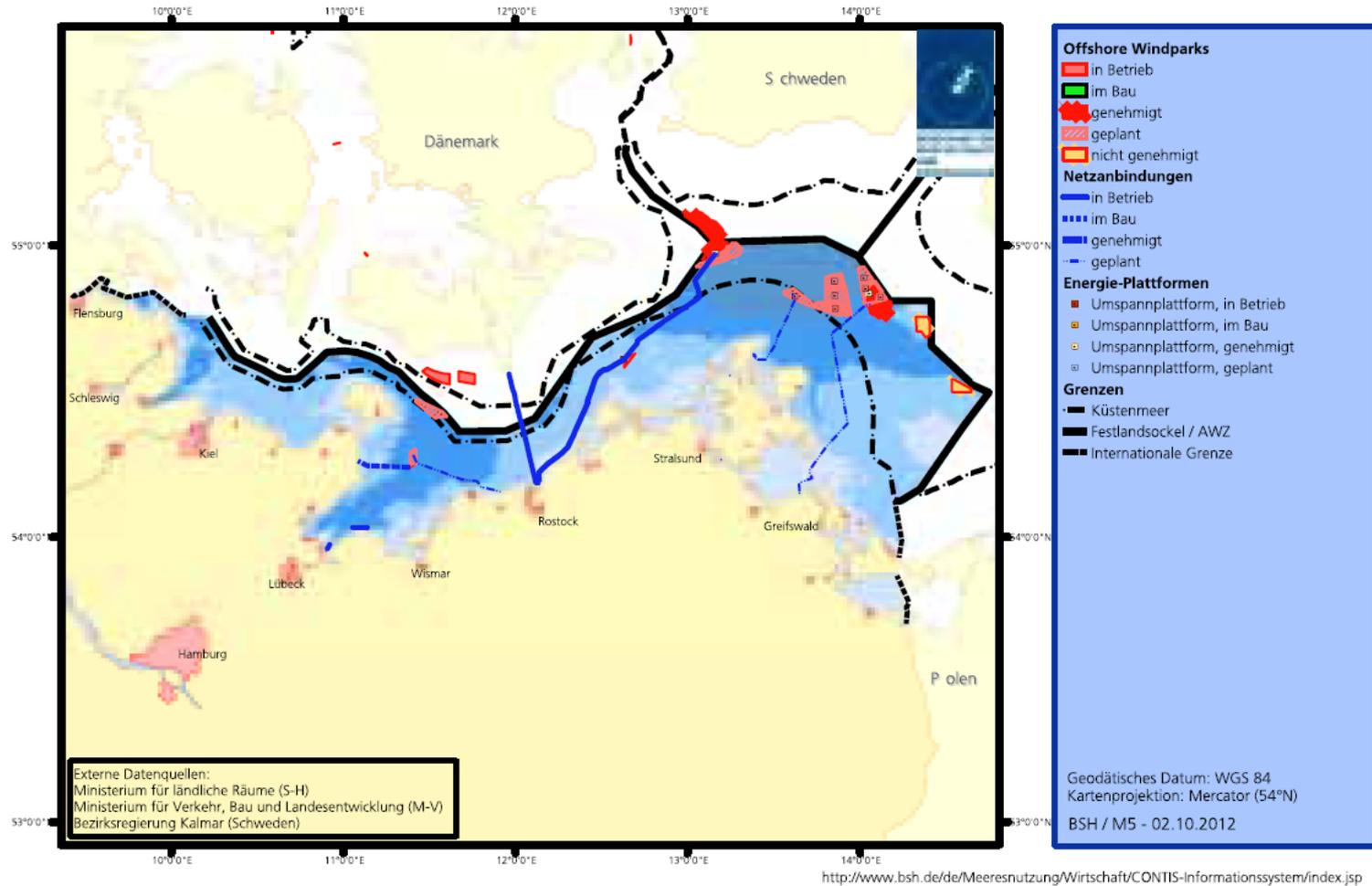
189 GW  
390 TWh

# Potential Offshore



<http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/index.jsp>

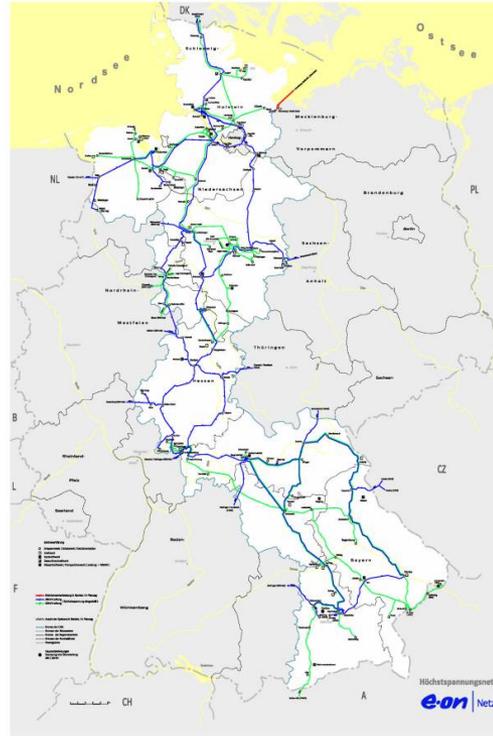
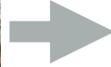
# Potential Offshore



# Inhalt

- Energiewende
- Stand und Potential der Windenergienutzung
  - Ausbaustand
  - Technologieentwicklung
  - Potential
- Transformation des Energieversorgungssystems
  - Herausforderungen
  - Windleistungsprognosen
  - Steuerung der Windleistung
  - Netzausbau

# Herausforderungen der Netzintegration



Steuerbar

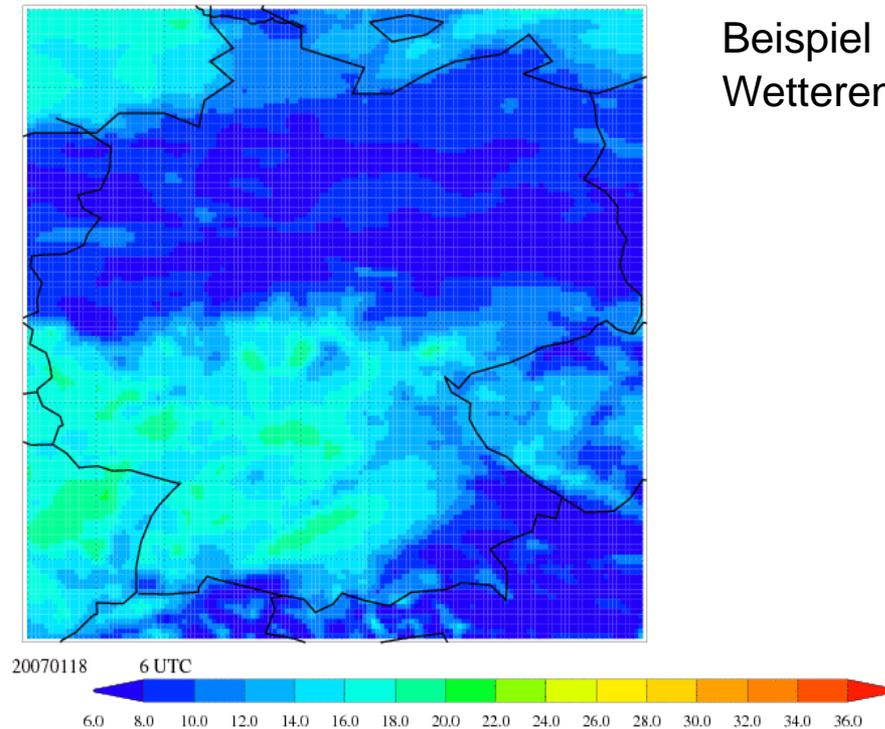
Flexible Standortwahl

Wetterabhängig

Ressourcenabhängige Standortwahl

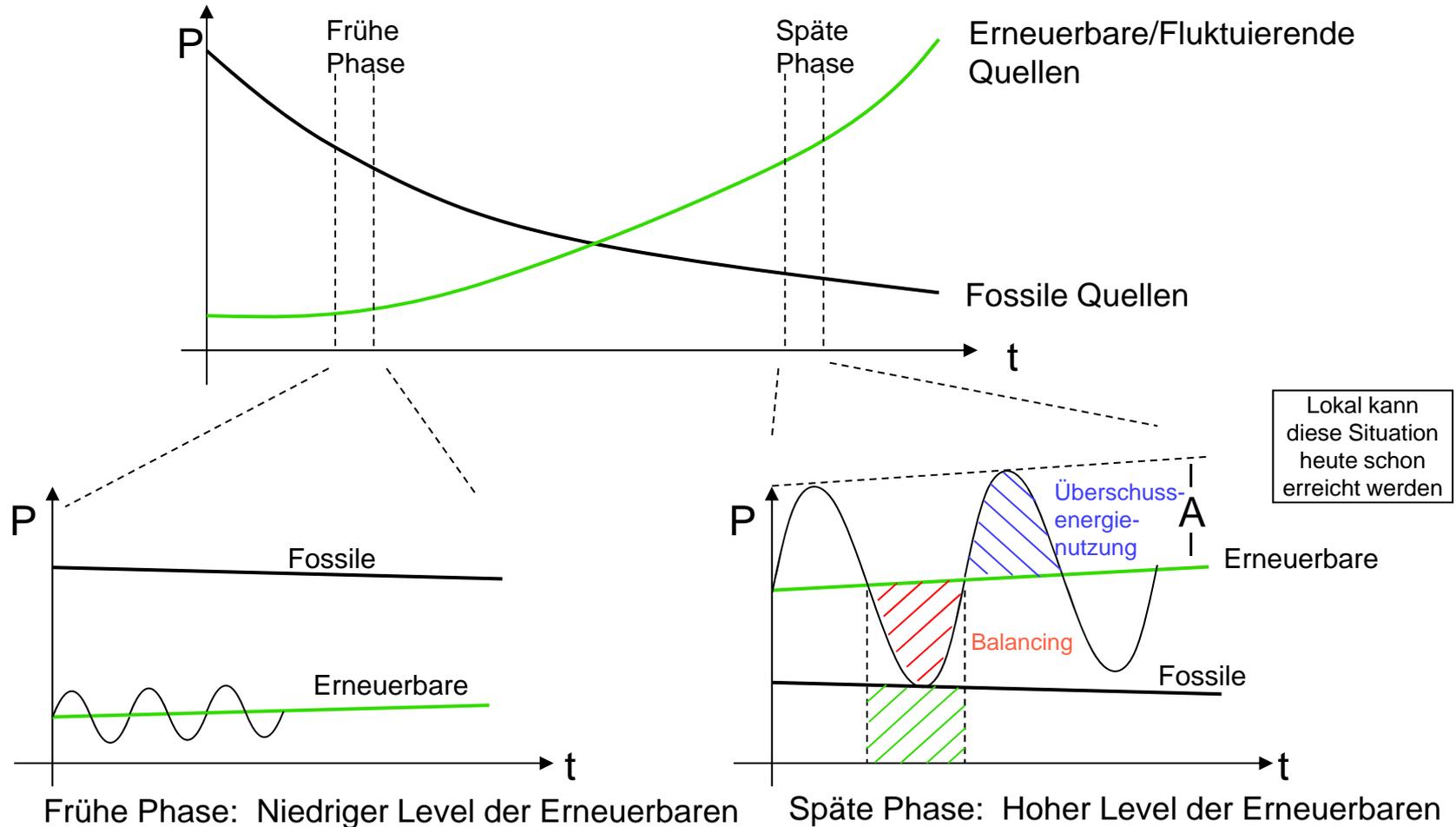
# Herausforderungen der Netzintegration

Windleistung ist nicht an den Verbrauch angepasst  
Zeitlicher und räumlicher Mismatch



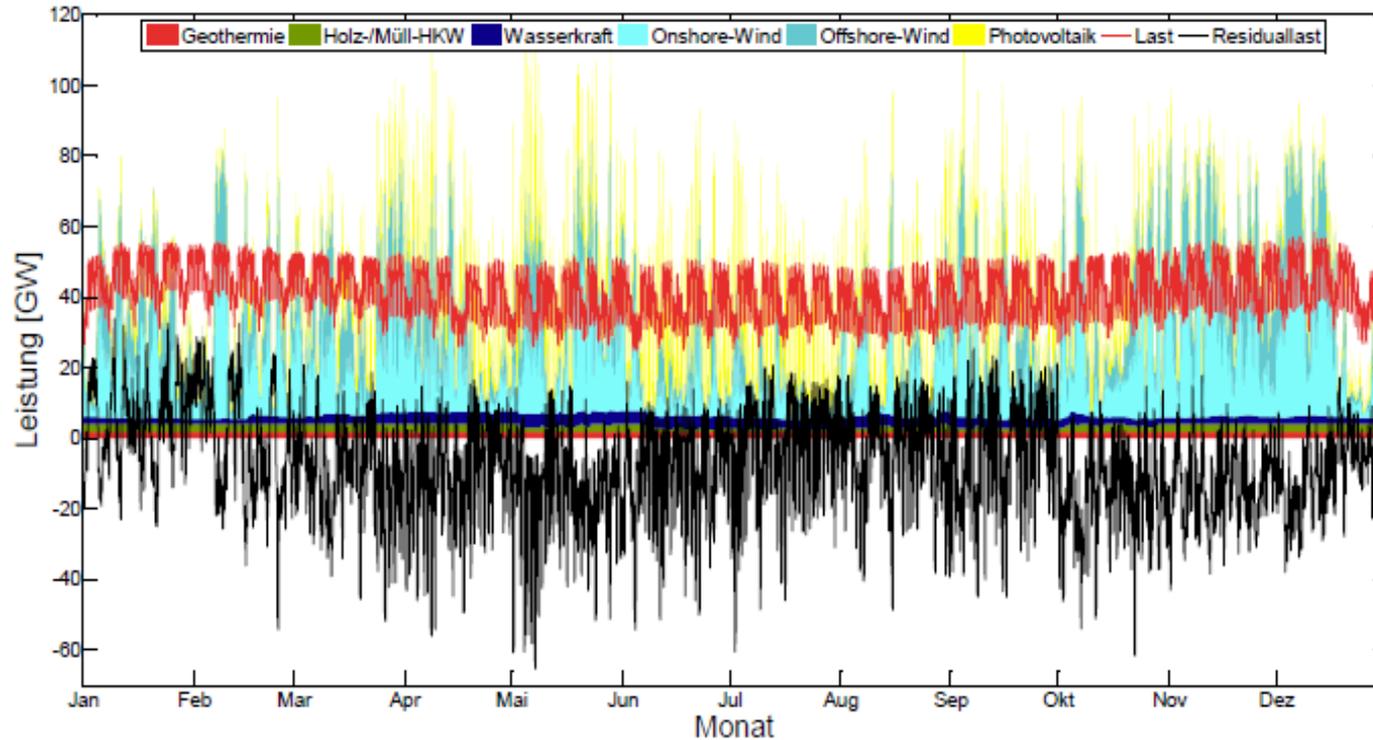
Beispiel  
Wetterentwicklung (24 h)

# Phasen der Energiewende



Überschüsse und Defizite bestimmen die Energieversorgung

# Netzintegration: Einspeisung 2050



Fluktuationen bei der Stromeinspeisung bestimmen die Energieversorgung

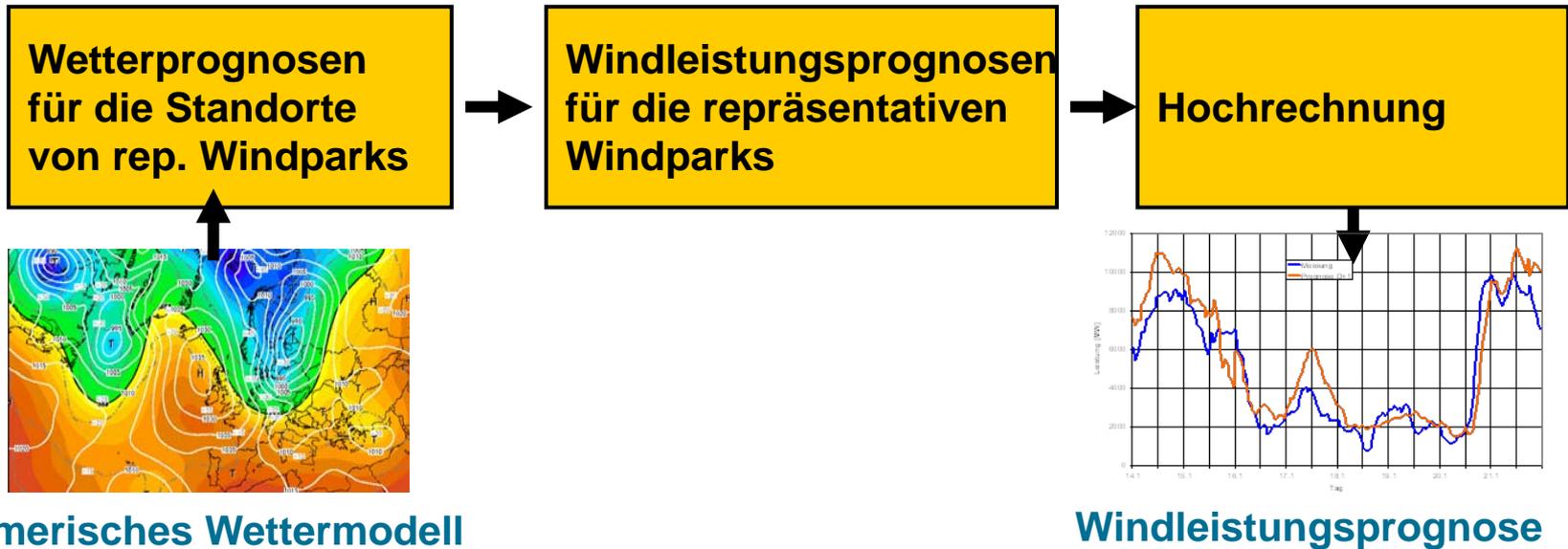
# Herausforderungen der Netzintegration



- Mehr wetterabhängige Erzeugung
- Weniger steuerbare Kraftwerke
- Zeitweise 100% EE-Strom

- Prognosen unabdingbar
- Bessere Prognosen
- Prognose von SDL

# Windleistungsprognose Folgetag



# Windleistungsprognose Kurzfrist

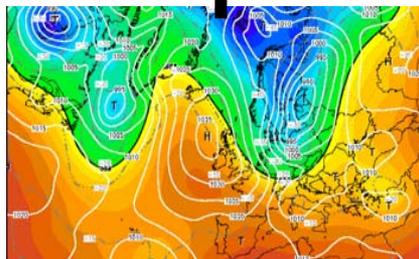
Leistungsmessungen  
repräsentativer Windparks



Windmessungen

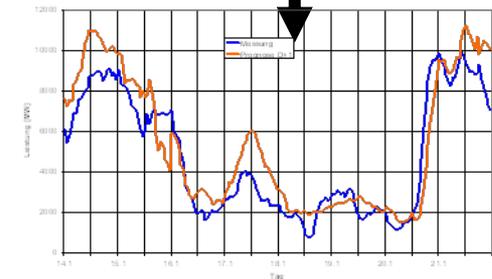


Wetterprognosen  
für die Standorte  
von rep. Windparks



Windleistungsprognosen  
für die repräsentativen  
Windparks

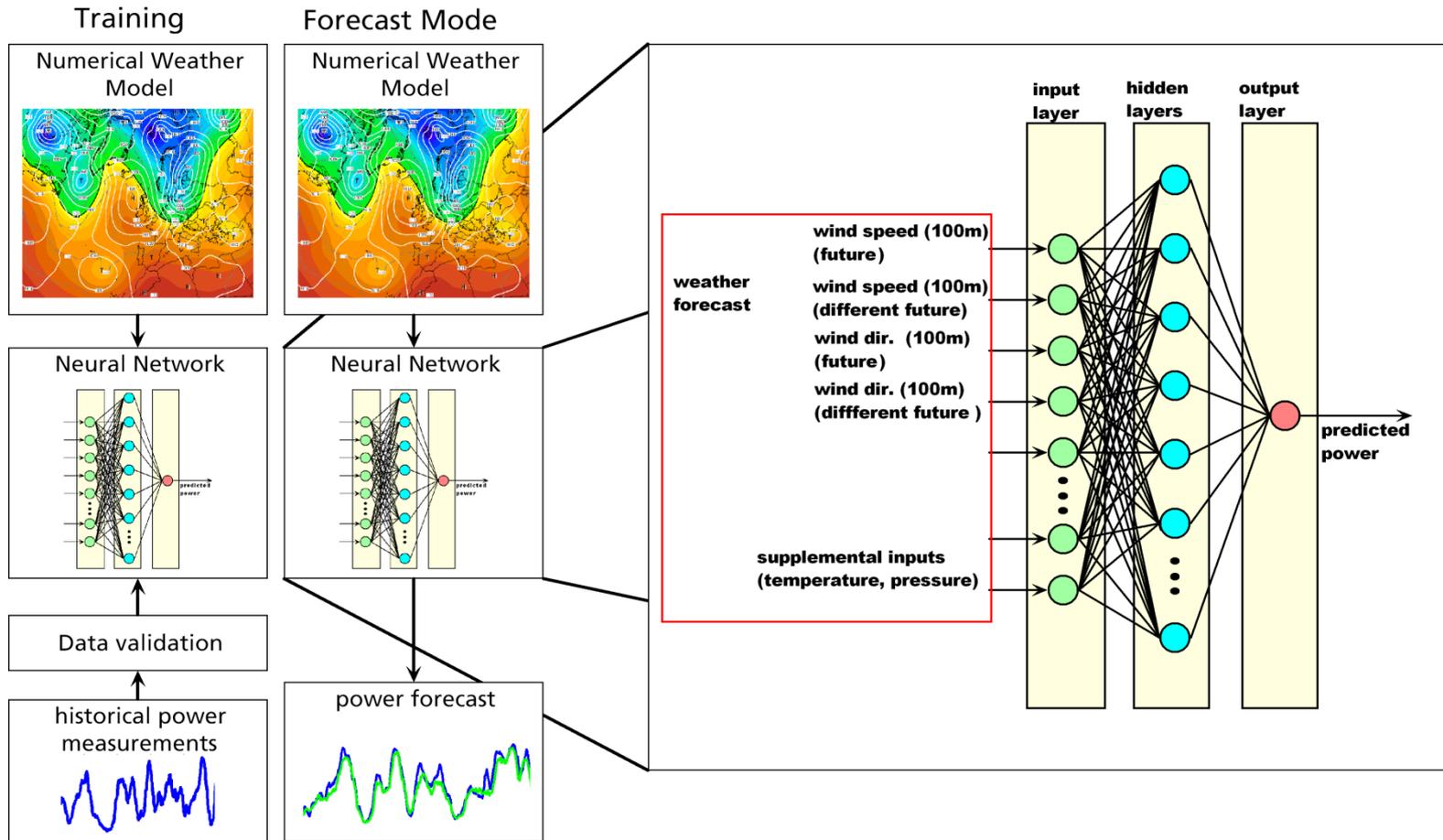
Hochrechnung



Numerisches Wettermodell

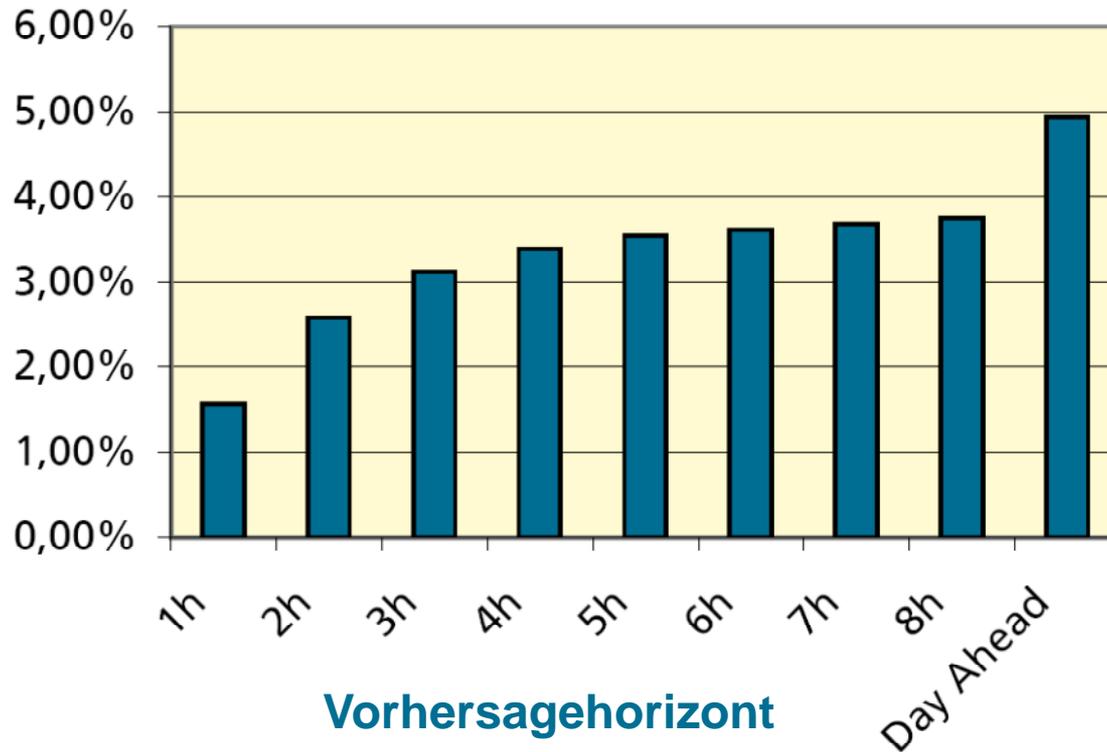
Windleistungsprognose

# Windparkprognose mit Neuronalen Netzen

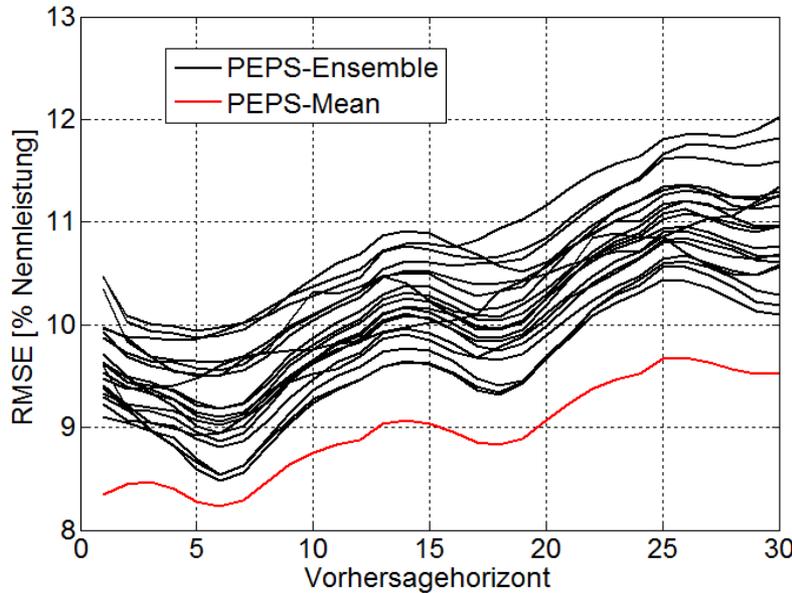
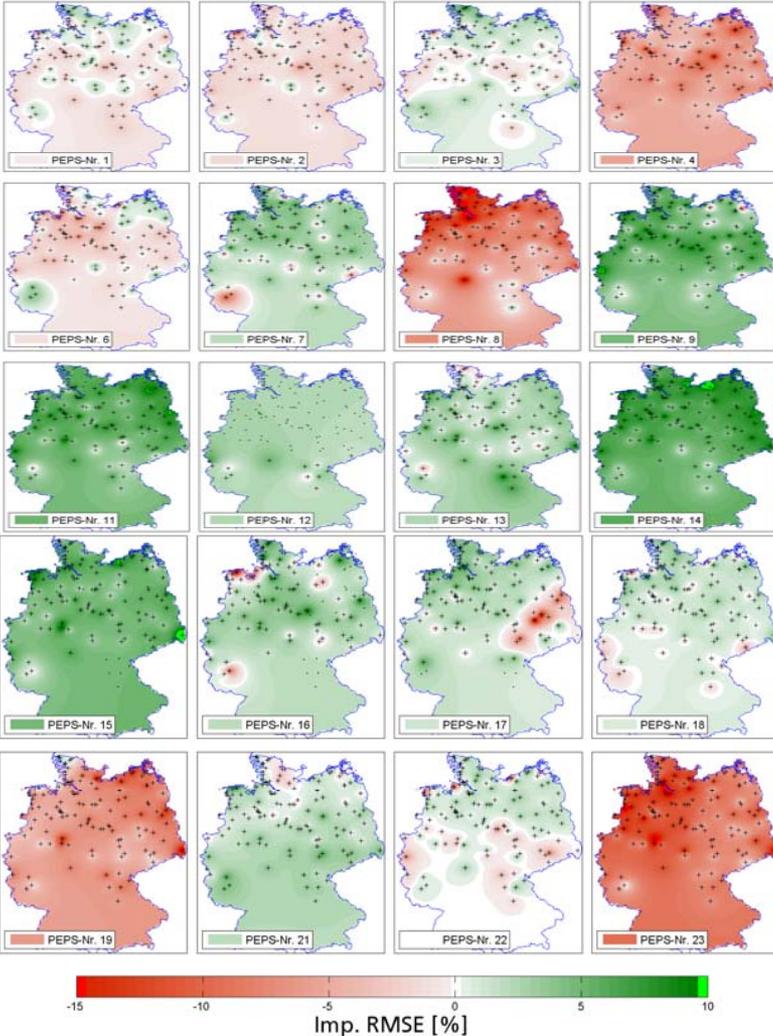


# Prognosefehler Windleistung

RMSE in % der installierten Leistung für ganz Deutschland



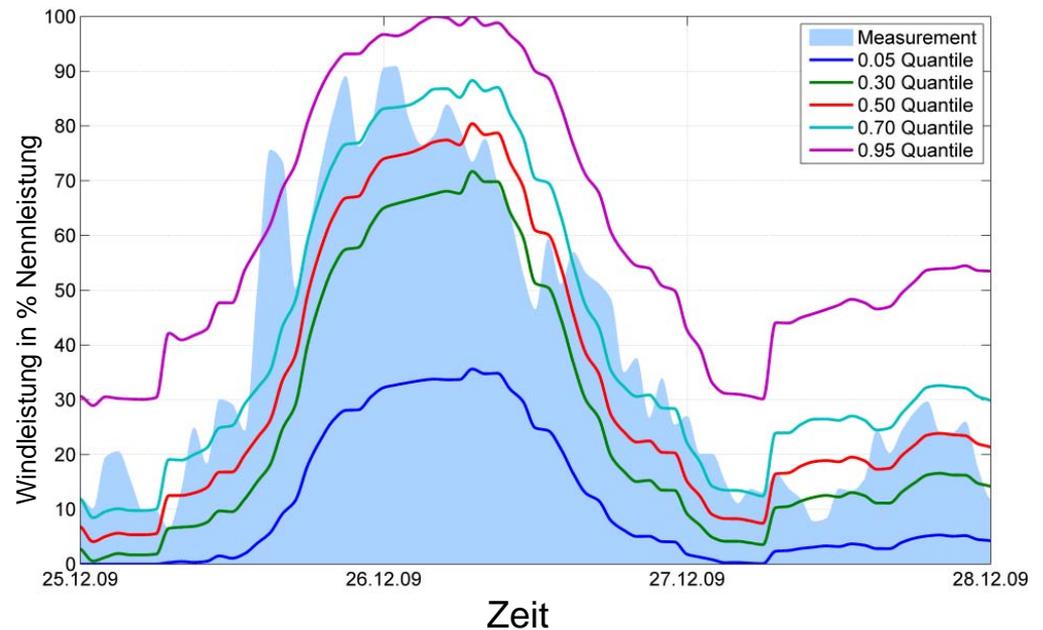
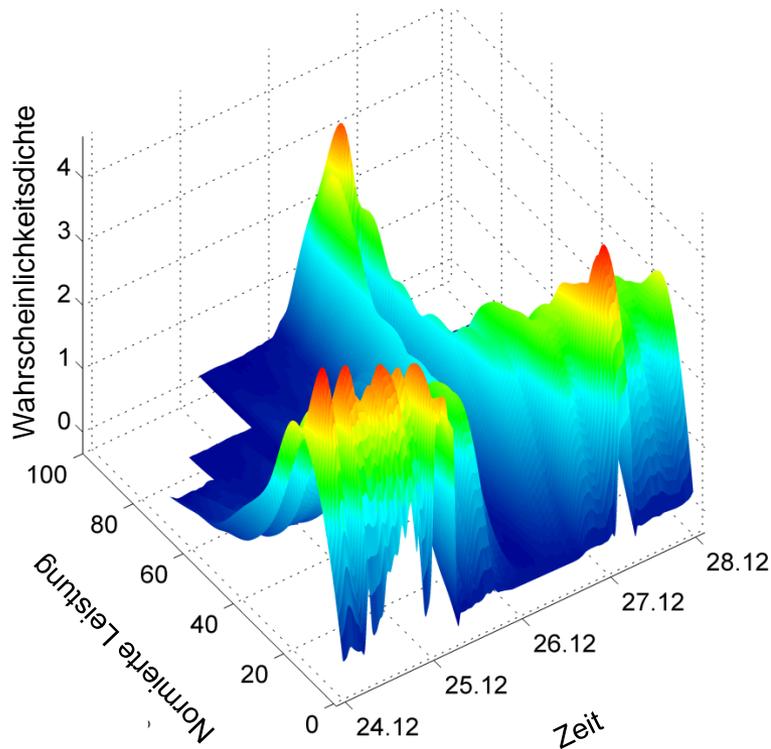
# Analyse und Kombination verschiedener Wettervorhersagen



Wettermodelle für Deutschland, Europa und global

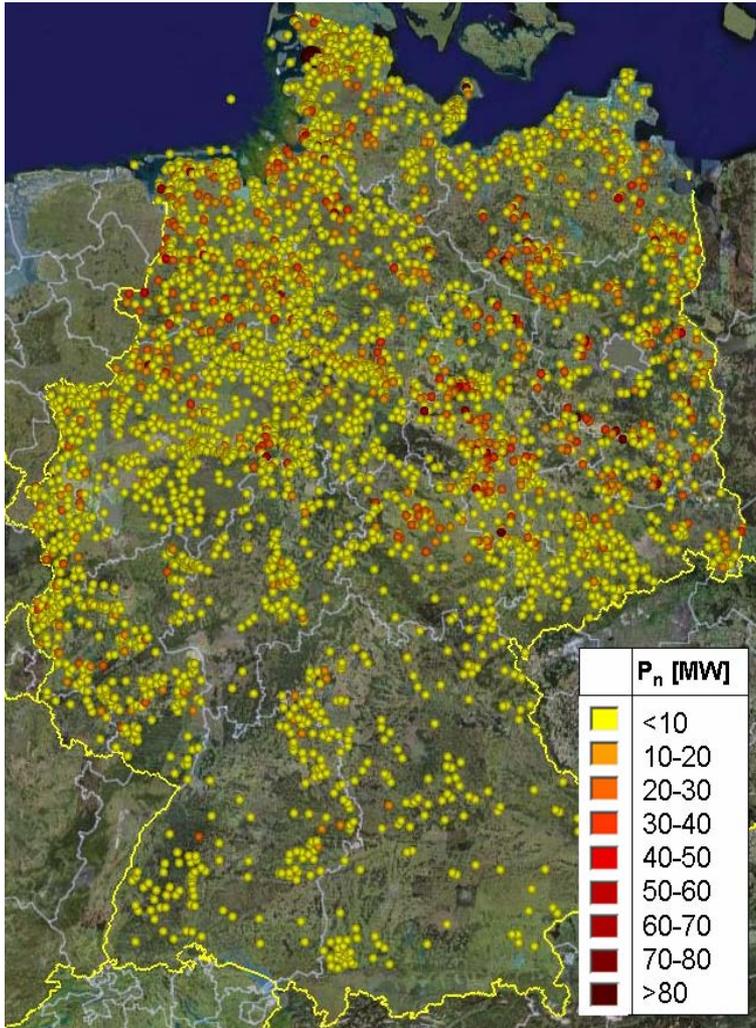
# Probabilistische Prognosen

Keine Punktprognose sondern Wahrscheinlichkeitsverteilungsprognose für jeden Zeitpunkt



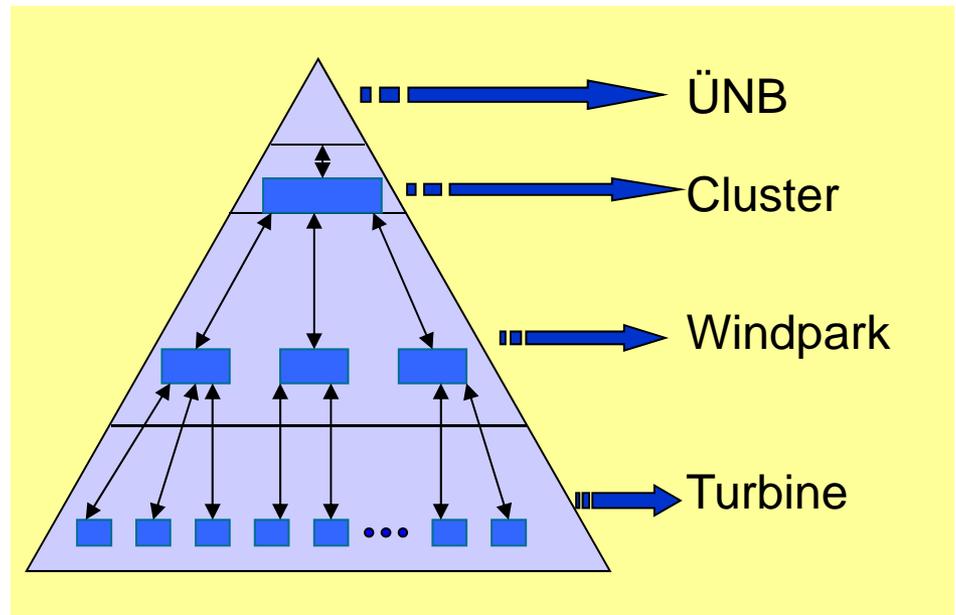
[Quelle: Dissertation A.Baier Fraunhofer IWES]

# Steuerung der Windleistung



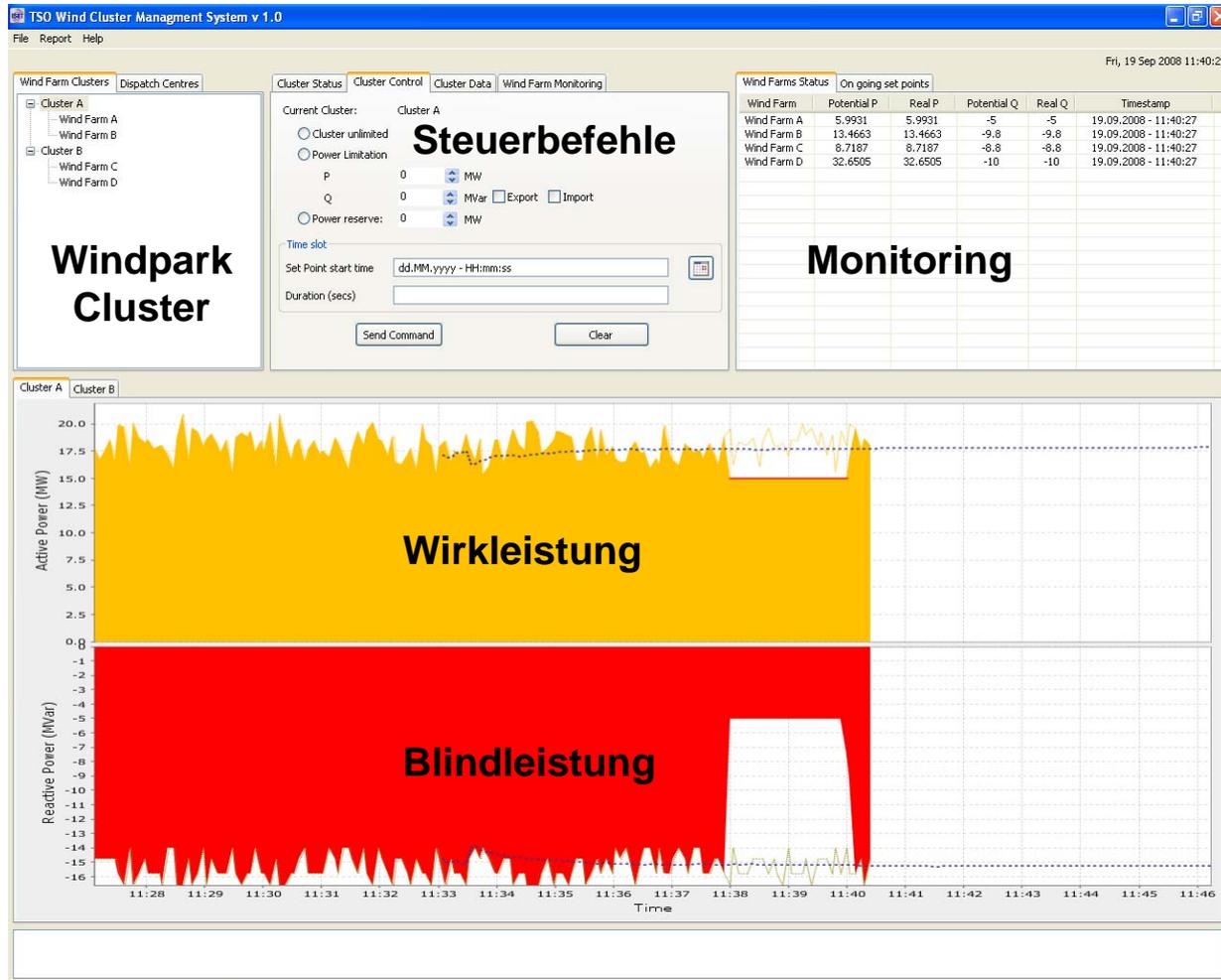
Hierarchisches Kontrollsystem

Kleinste Einheit: Windeinspeisung in einen Netzknoten = **Cluster**



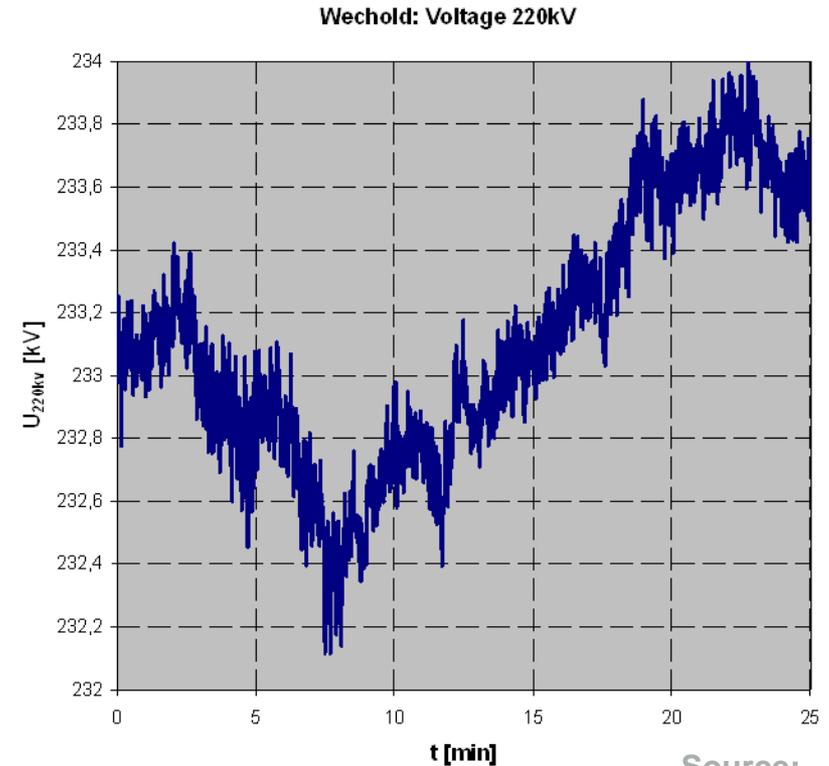
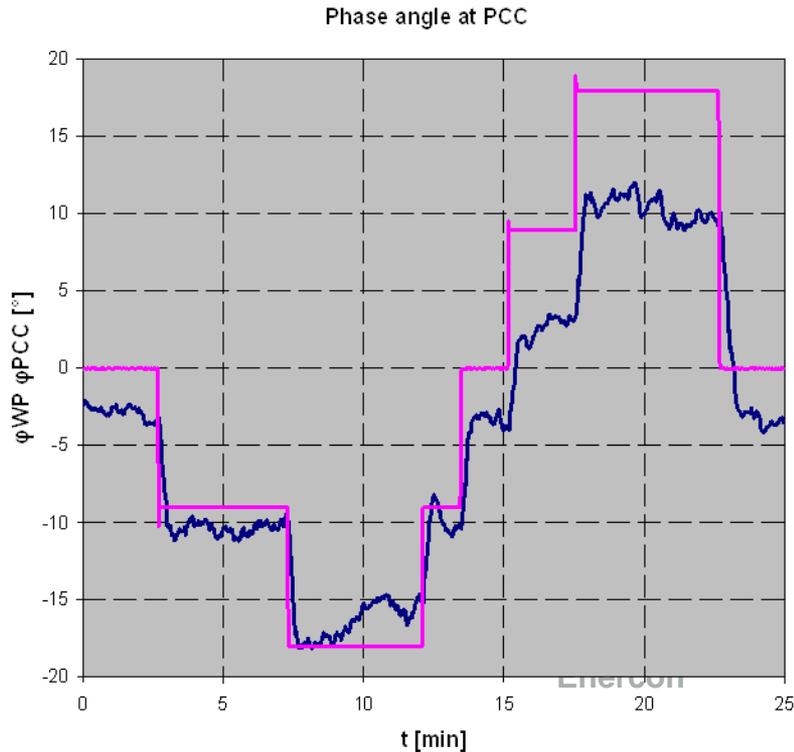


# Windpark Cluster Steuerung



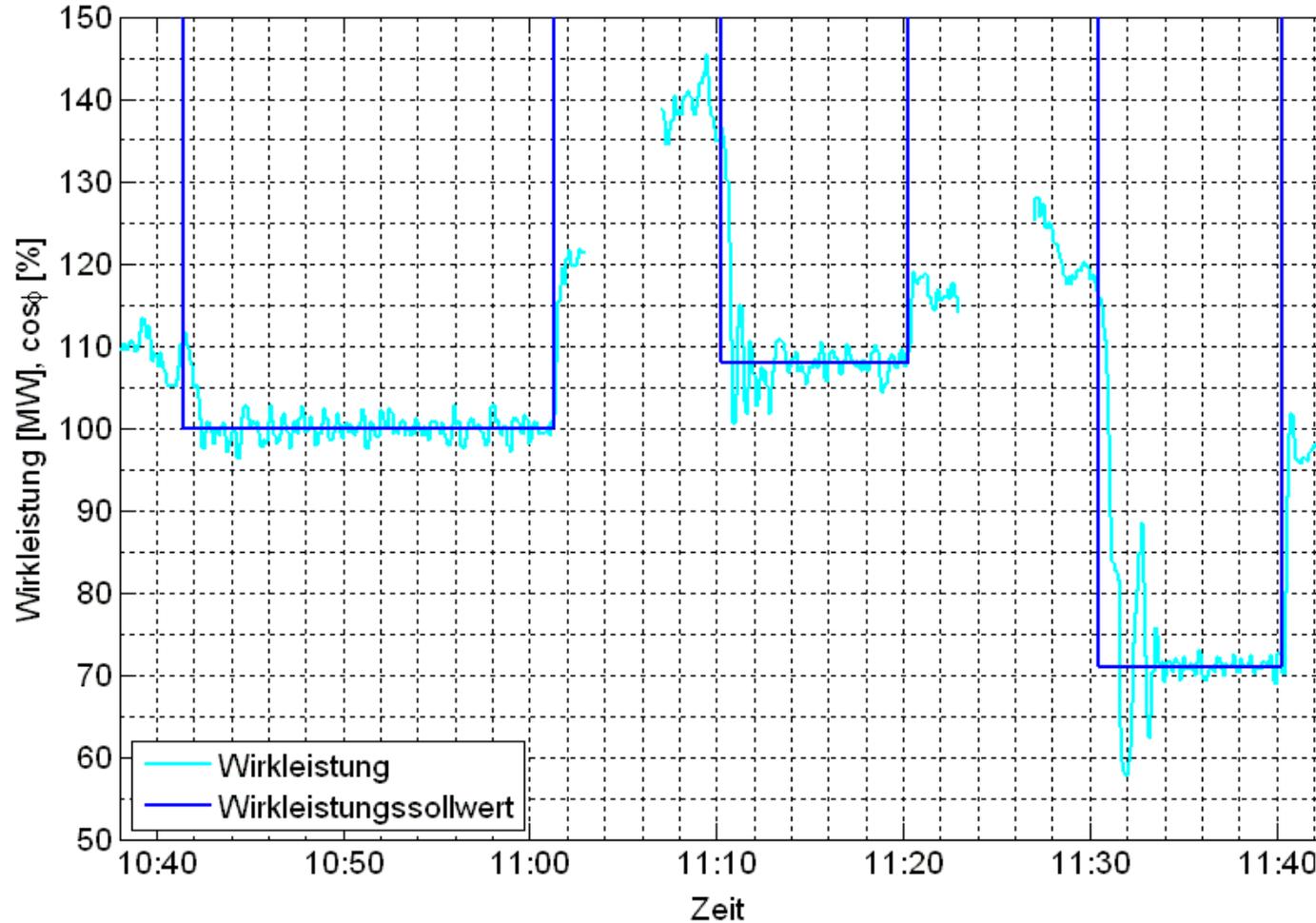
# Beispiel Wechold: Spannungssteuerung

Steuerung von  $\cos \varphi$  am Windpark...

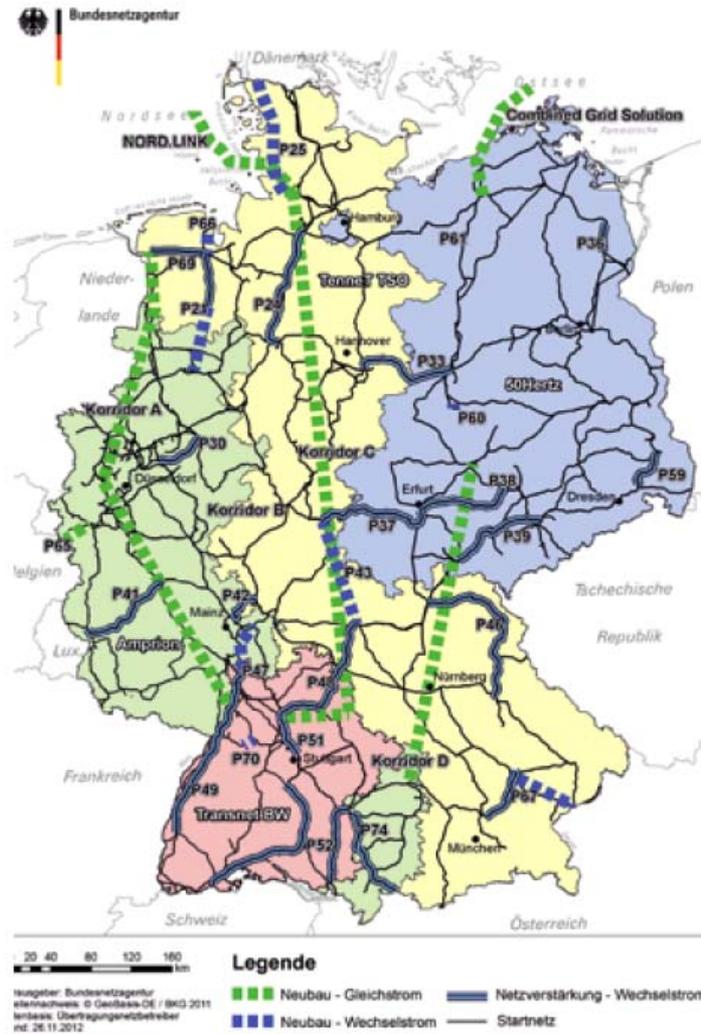


...führt zu Spannungsänderung von 1,2 kV am UW Wechold (220 kV)

# Beispiel Bertikov: Wirkleistungssteuerung



# Netzausbau Onshore

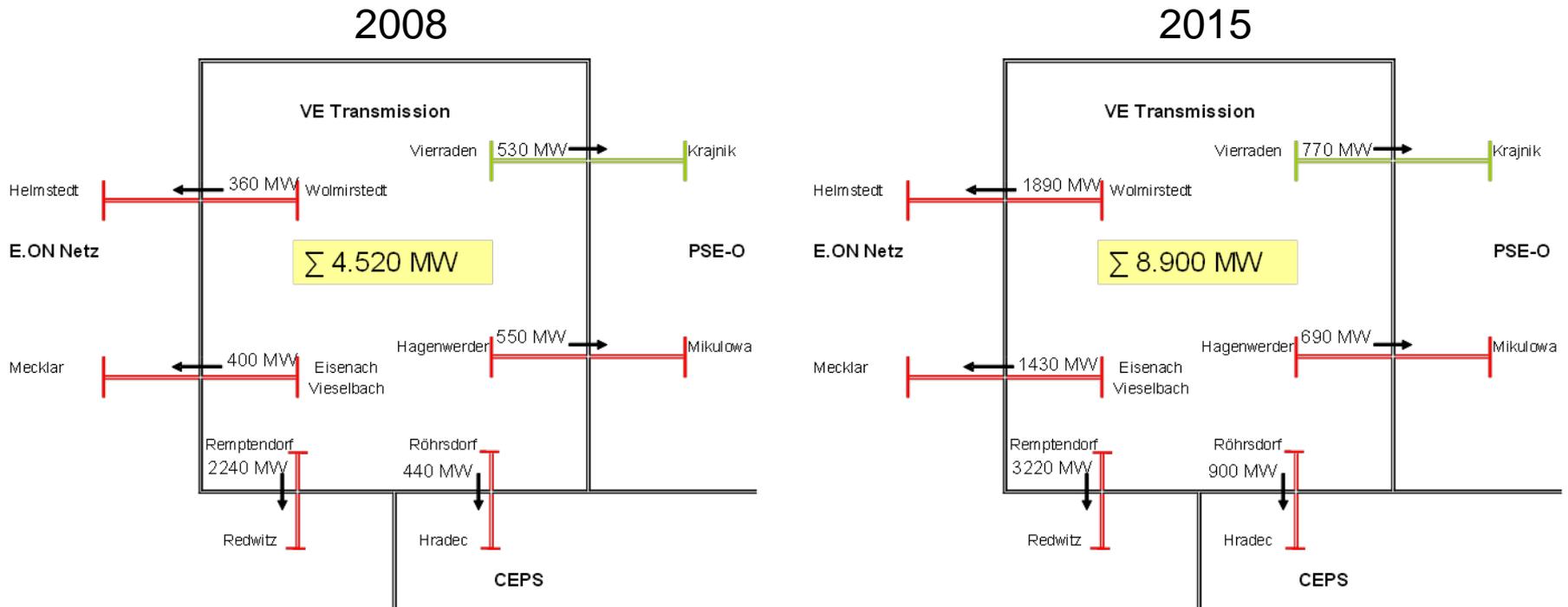


# Onshore Netzplanung

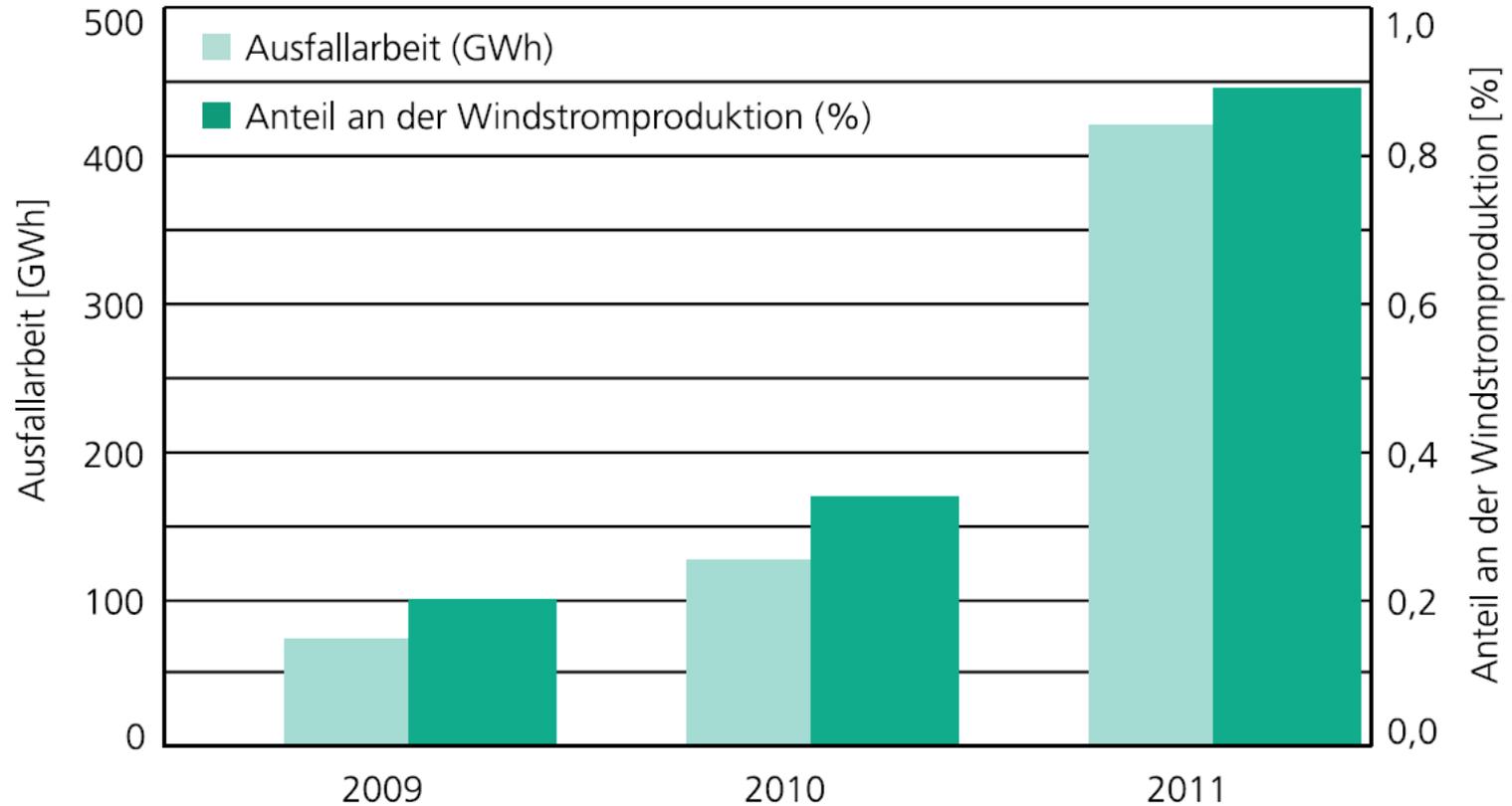
Leistungsflüsse zwischen ÜNB

Erzeugung von simulierten Einspeisezeitreihen für alle Onshore-Cluster und Offshore-Windparks für 2008 und 2015 (dena-Szenario)

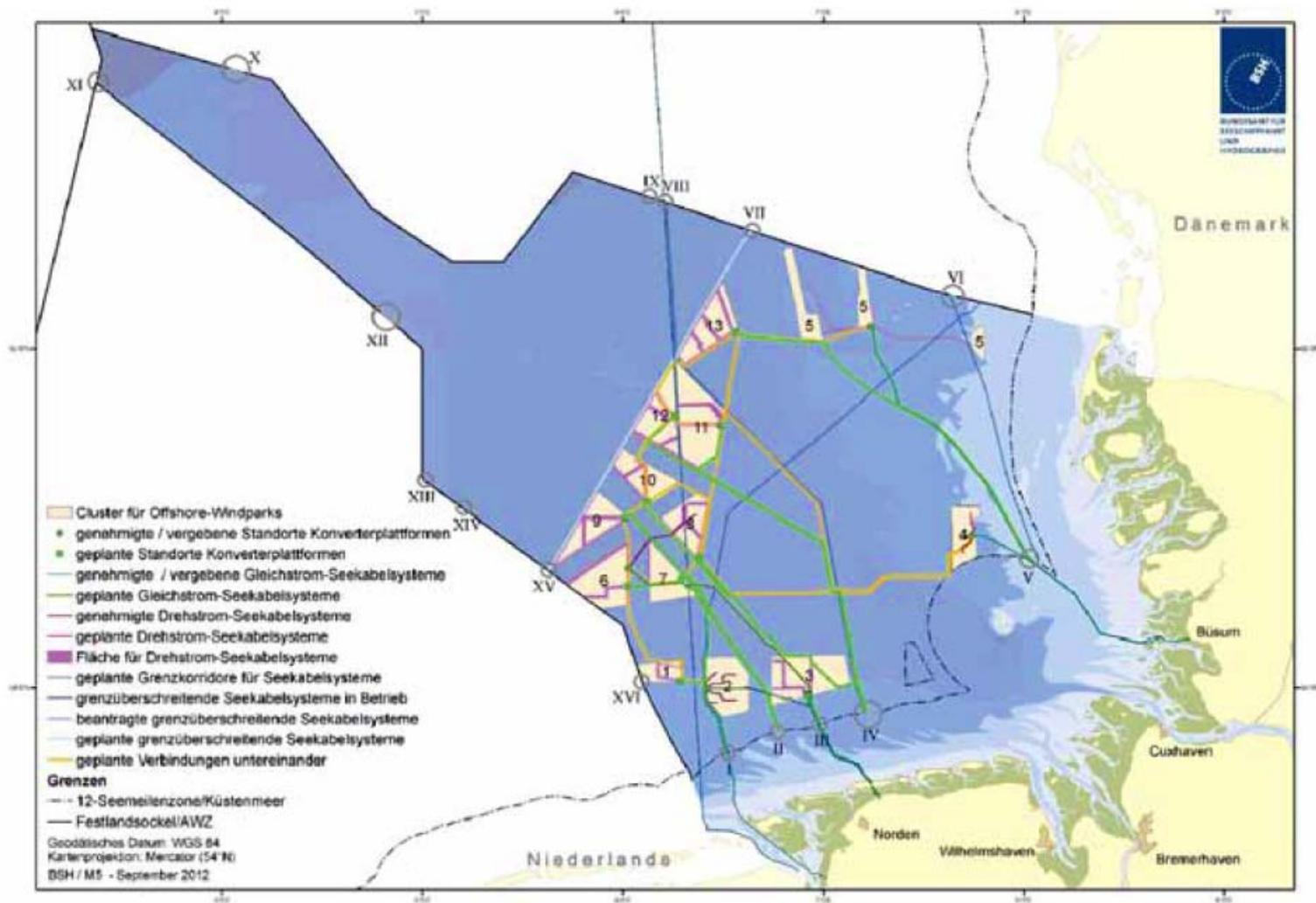
Lastflussberechnung im Übertragungsnetz der Vattenfall Europe Transmission



# Abregelung wegen Netzengpässen



# Offshore Netzplanung



# Fazit

- Windenergie bleibt das Arbeitspferd der Energiewende (2050: 40%)
- Das Potential dafür ist mehr als vorhanden
- Die technologische Entwicklung ermöglicht neue Standorte (Binnenland, Offshore)
- Eine Transformation des Energieversorgungssystems ist nötig
- Die Systemintegration erfordert ein Umdenken in der Energiesystemtechnik
- Die Netzintegration erfordert einen Ausbau des Stromnetzes

# Vielen Dank für ihr Interesse!

Bernhard Lange  
blange@iset.uni-kassel.de