

Technisch-wissenschaftliche Aspekte zur Optimierung des Netzbetriebes

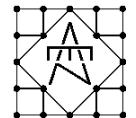
Prof. Dr.-Ing. habil. I. Erlich

Universität Duisburg-Essen
Fachgebiet Elektrische Anlagen und Netze



Inhalt

- Wirkleistungsmanagement
- Blindleistungsmanagement
- Netzdynamik, WEA-Regelung
- Schlussfolgerungen



Installierte Windleistung in Deutschland

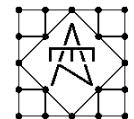


Mai 2003

E.ON Netz:	5823 MW
VET:	4761 MW
RWE Net:	2271 MW
EnBW:	200 MW

ISET, 29. September 2004

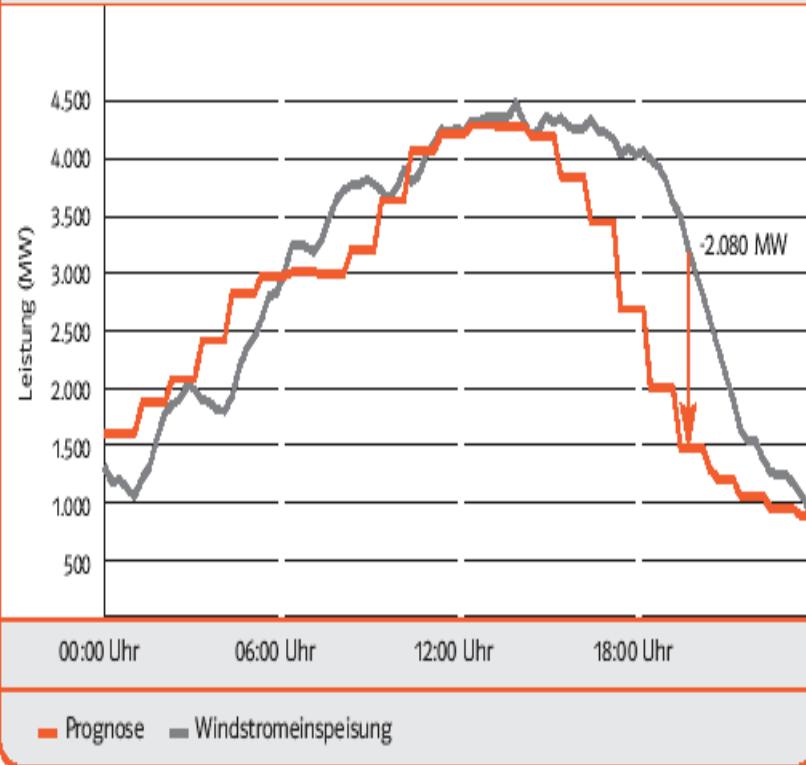
15400 MW installierte WEA-Leistung
15725 Anlagen



Prognosefehler

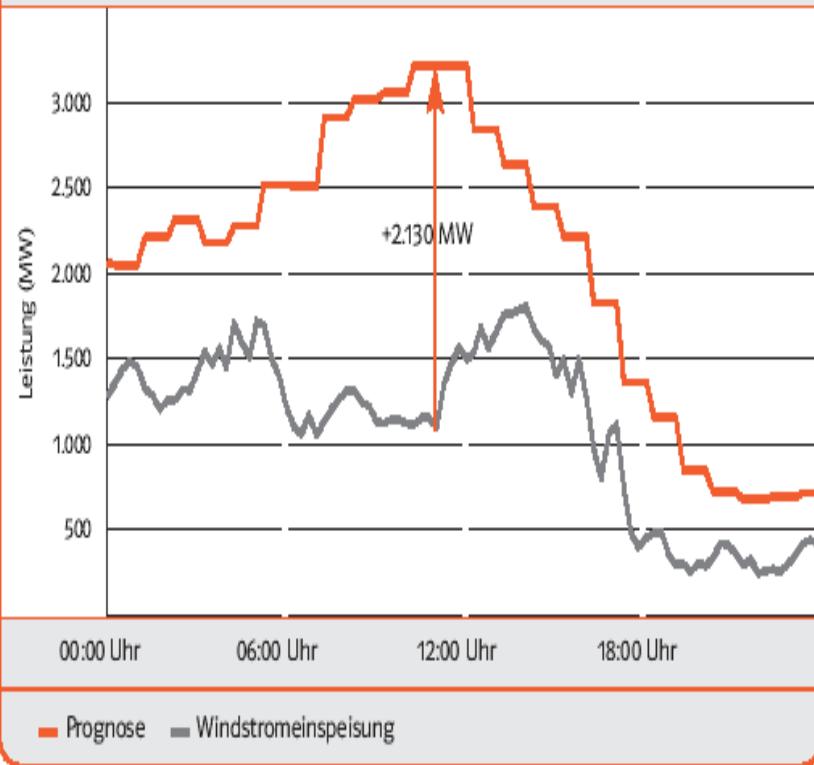
11. Wind bläst länger als prognostiziert

Bedarf an negativer Reserveleistung (Beispiel: E.ON-Regelzone 03.05.2003)

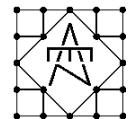


10. Wind bleibt aus

Bedarf an positiver Reserveleistung (Beispiel: E.ON-Regelzone 01.07.2003)



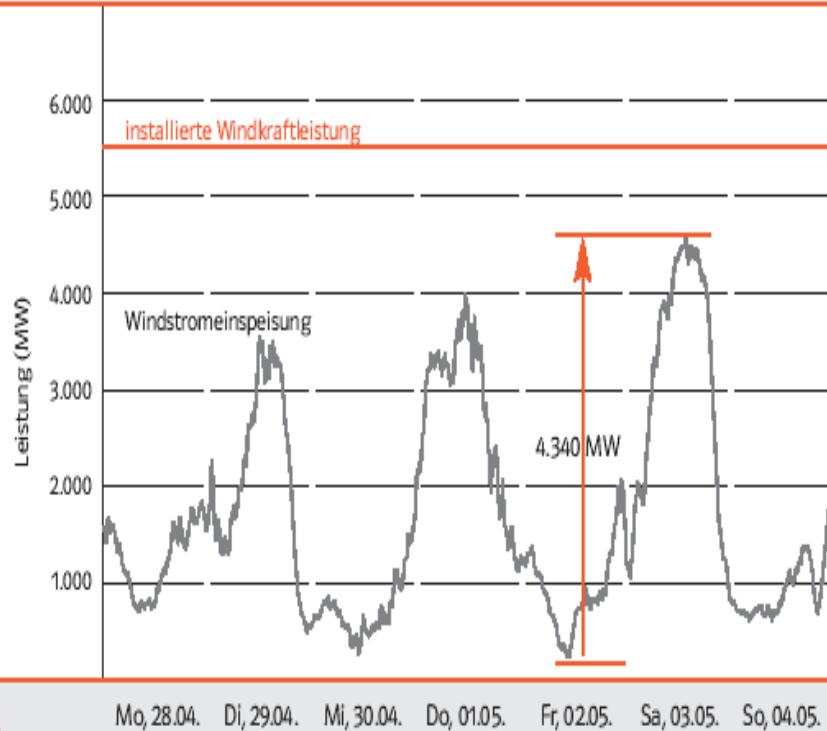
Quelle: E.on Netz GmbH



Veränderungen

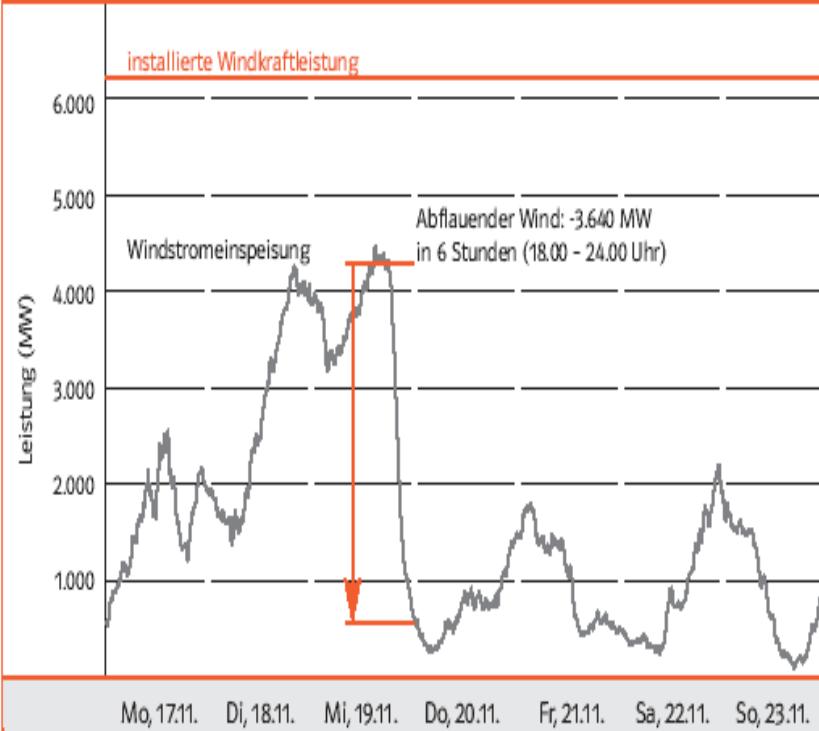
4. Starke Schwankungen

der Windstromeinspeisung (E.ON-Regelzone: 28.04. bis 04.05.2003)

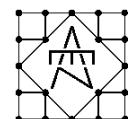


5. Kurzfristiger Rückgang

der Windstromeinspeisung möglich (E.ON-Regelzone: 17. bis 23.11.2003)



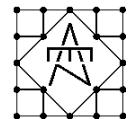
Quelle: E.on Netz GmbH



Konsequenzen

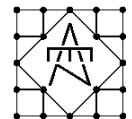
- Mehr als 80% der installierten Windkraftleistung müssen in sog. „Schattenkraftwerken“ bereitgehalten werden, um den Strombedarf auch bei geringer Windeinspeisung decken zu können ¹⁾
- 50-60% der installierten Windkraftleistung müssen als Reserveleistung für den Ausgleich der ungenauen Windprognose bereitstehen ¹⁾
- Temporäre Überlastung von Leitungen
- Einschränkungen im nationalen und internationalen Stromaustausch

¹⁾ Angaben nach E.on Netz GmbH

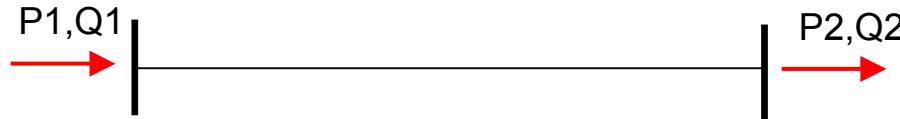


Lösungsansätze

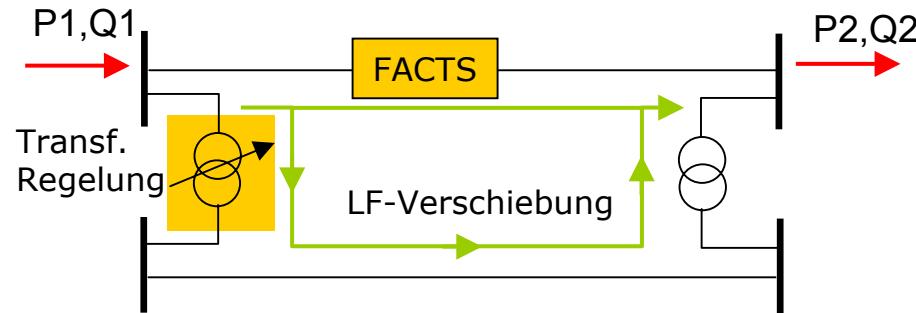
- **Gemeinsame Reservehaltung**
Koordinierungsbedarf, Belastung der Kuppelleitungen
- **Zwischenspeicherung der Windenergie**
Kosten, keine überzeugenden neuen Technologien, Standortproblem
- **Bau neuer Leitungen**
Genehmigungsproblem, Kosten
- **Erhöhung der Übertragungskapazität existierender Leitungen durch Monitoring**
Kosten, evtl. Verschlechterung der Netzsicherheit, Effekt von Umweltbedingungen abhängig
- **Zeitweilige Einspeisebeschränkungen für Windkraft**
Verlust von Windenergie, Transparenz



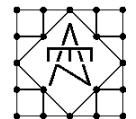
Vermeidung von Netzengpässen



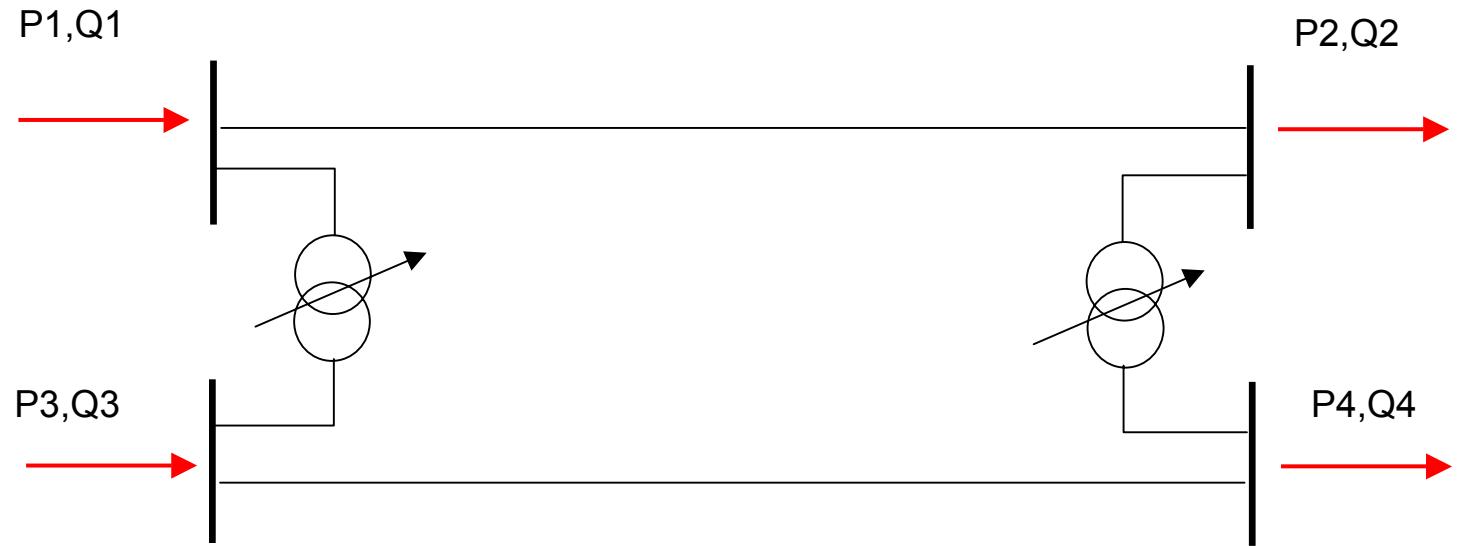
- höhere Spannung
 - keine Blindleistungsübertragung
- übliche Praxis – kaum noch Reserven*



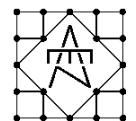
- Verschiebung des Lastflusses auf vorhandene Parallelzweige
- Transformatorregelung - übliche Praxis*
Vorteil von FACTS: sehr schnell – bisher nicht im Einsatz



UQ-Optimierung



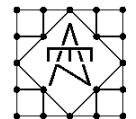
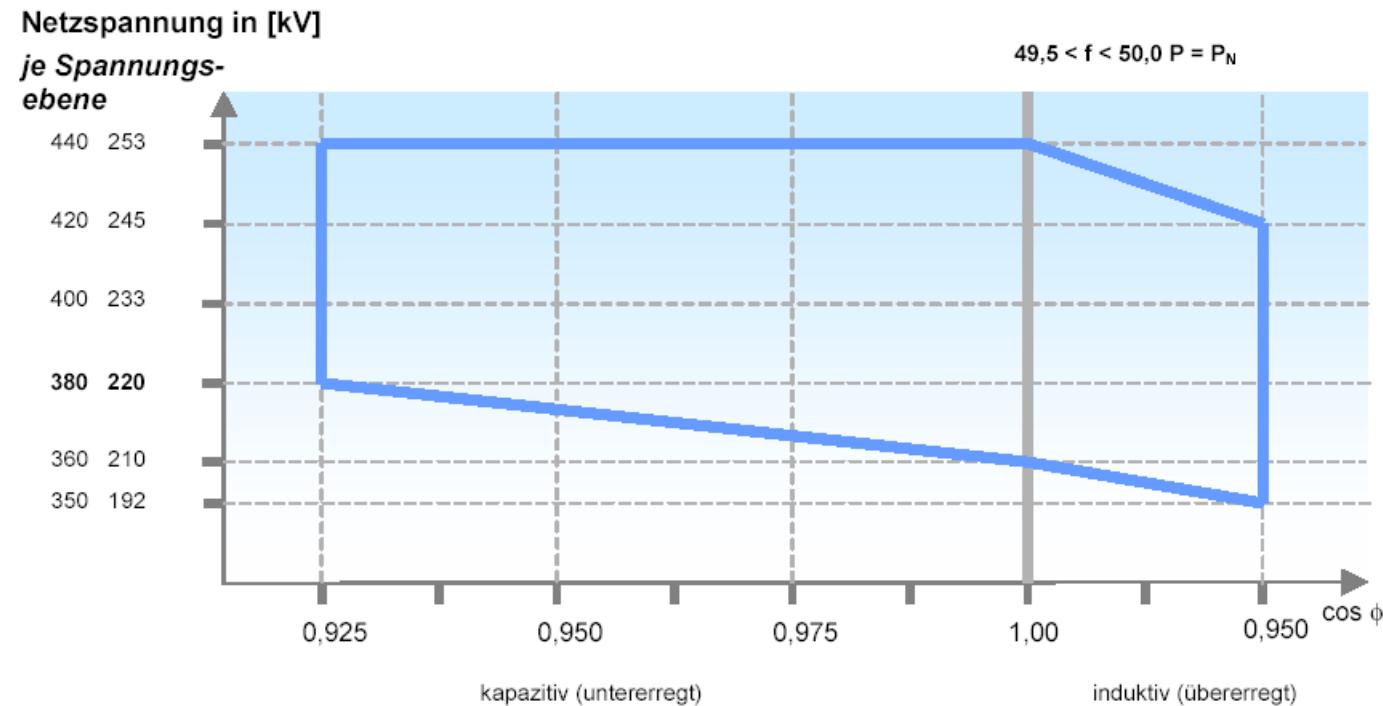
- **Optimierungsziel:** Minimierung der Netzverluste bei Einhaltung der Strombelastbarkeitsgrenzen, Spannungsgrenzen, Tr.-Stufenstellergrenzen, Grenzen für die Blindleistungseinspeisung
- **Stellgrößen:** Blindleistungseinspeisungen (Q_1 - Q_4), Tr.-Stufen



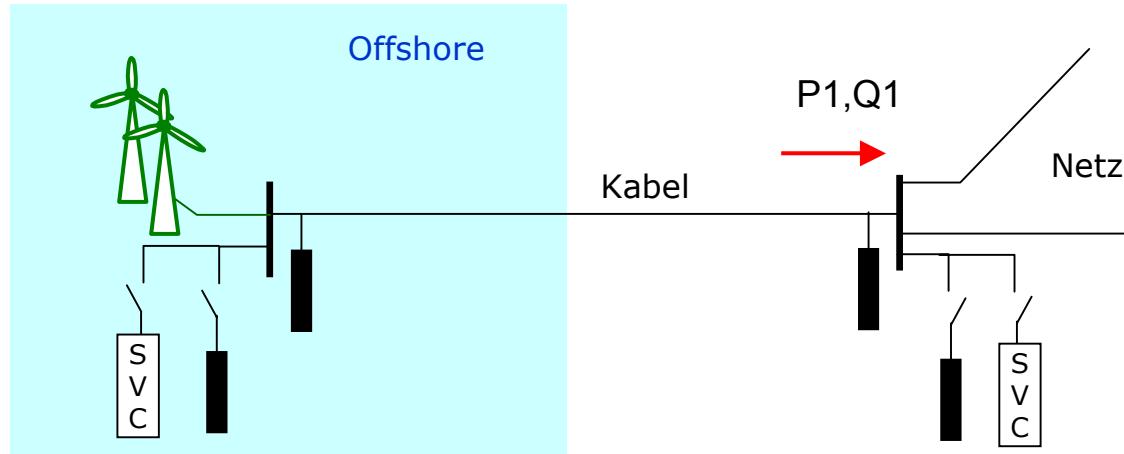
Konsequenzen für Windparks

Windparks müssen in der Lage sein, die eingespeiste Blindleistung in gewissen Grenzen kontinuierlich zu ändern

Beispiel VET-Forderung

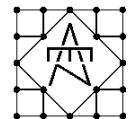


Bereitstellung der Blindleistung

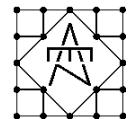
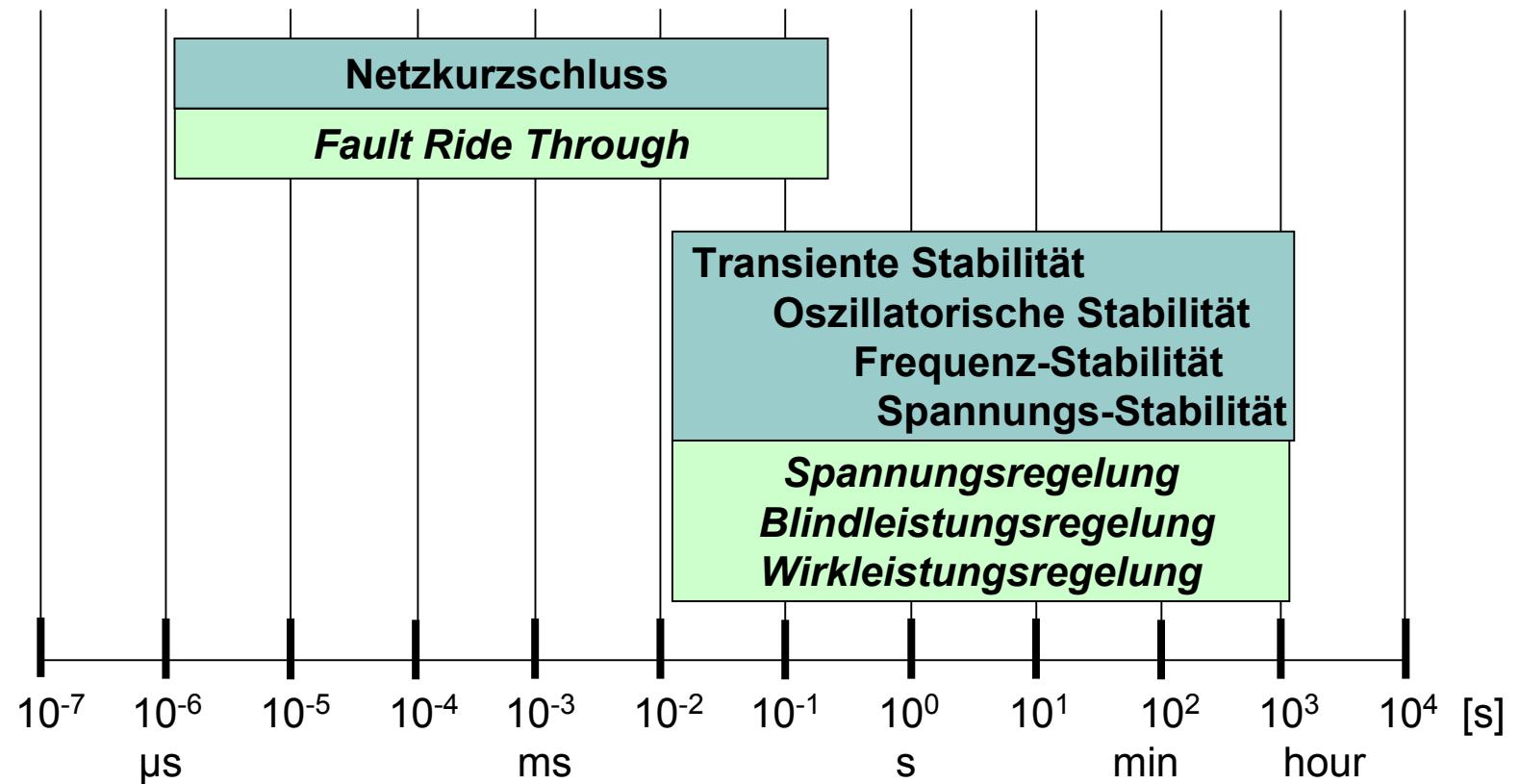


Möglichkeiten:

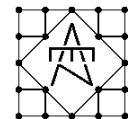
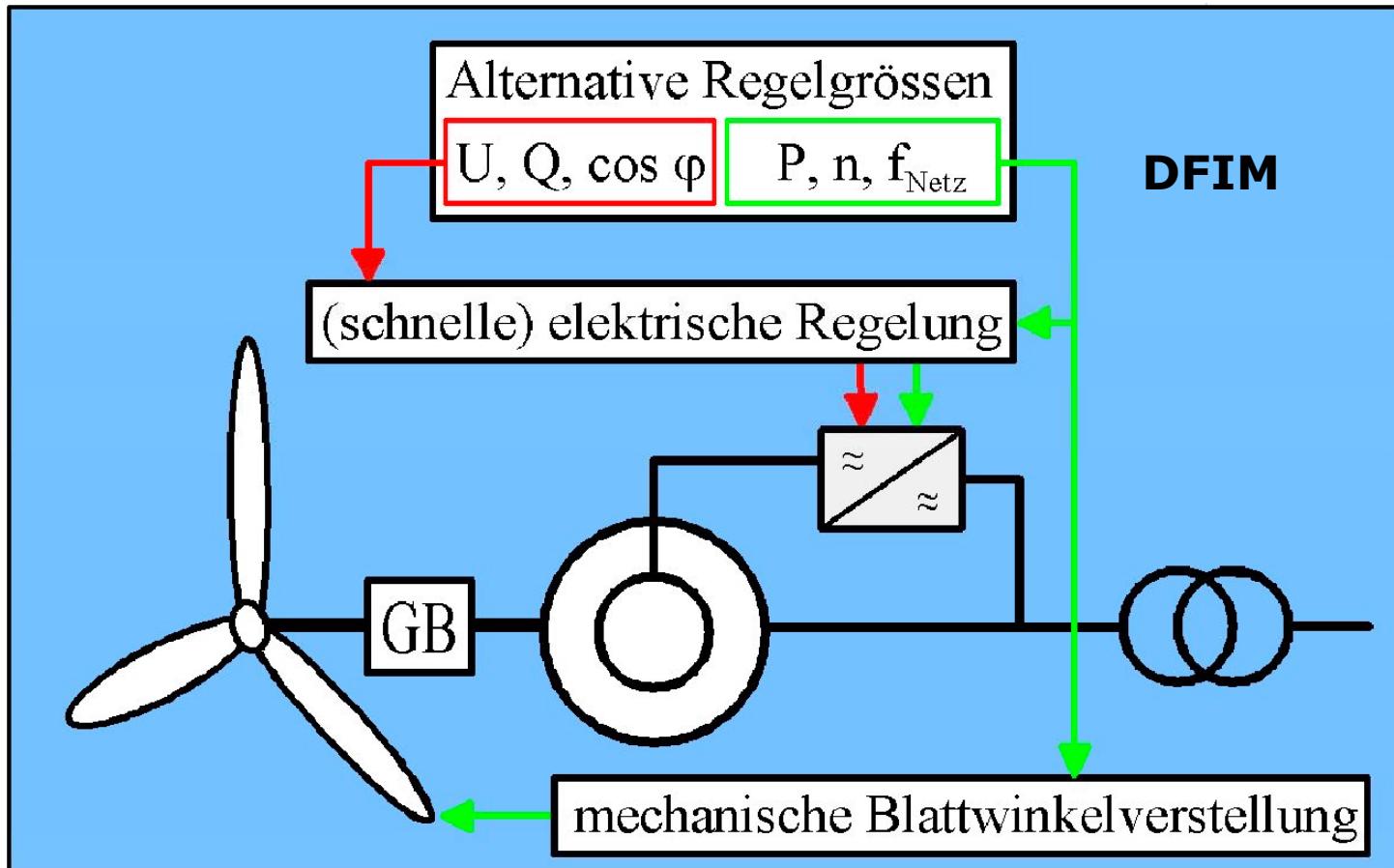
- Schaltbare Drossel
preiswert, Blindleistungssprünge beim Schalten
- SVC (TCR)
teuer, empfindliche Technik
- Variable Blindleistungsbereitstellung durch WEA
technisch möglich, Blindleistungstransport von WEA zum Netz verursacht Verluste und Spannungsfall



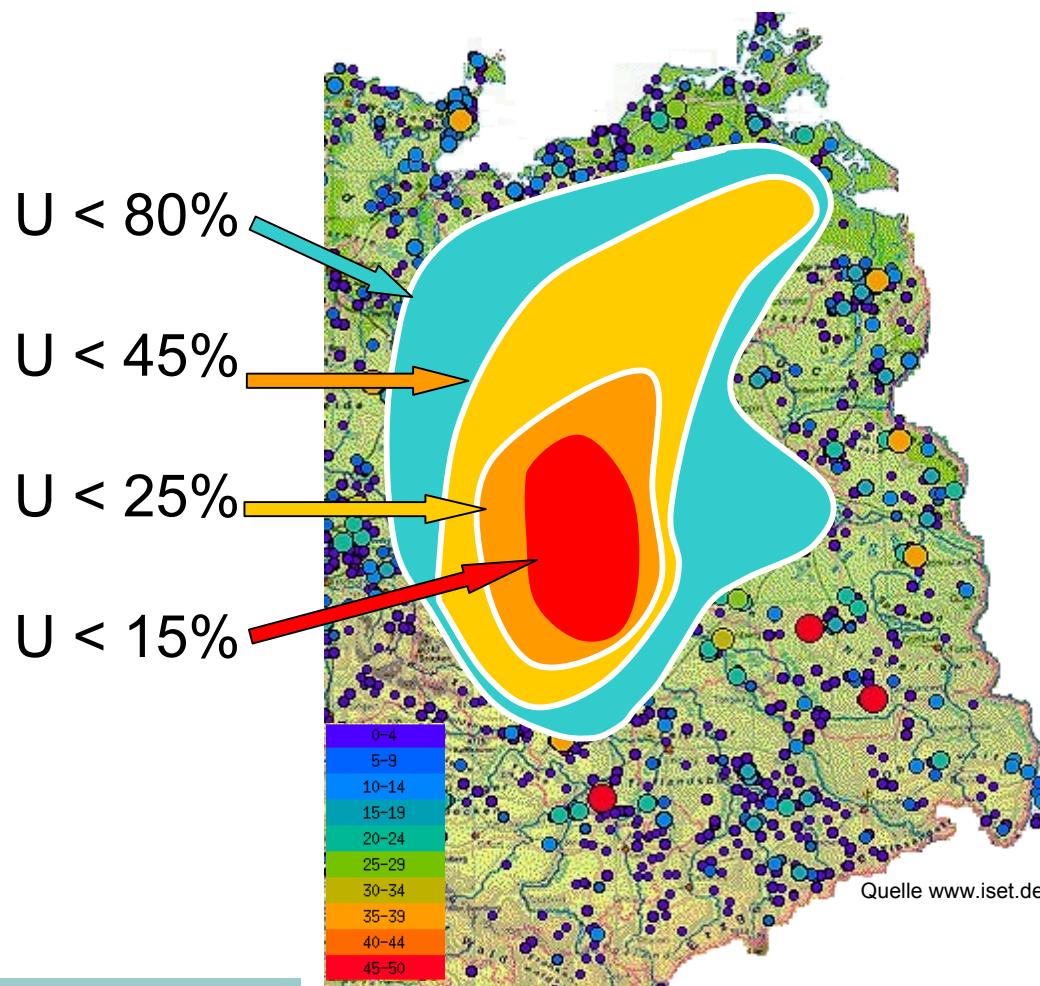
Problemkreise Netzdynamik



Regelung von WEA



Spannungsprofil bei Kurzschluss



betroffen

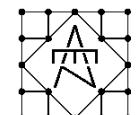
2800 MW* (60%)

2100 MW* (45%)

1400 MW* (30%)

1100 MW* (25%)

* installierte Leistung



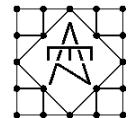
Verhalten der WEA bei Kurzschluss

Bisher

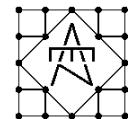
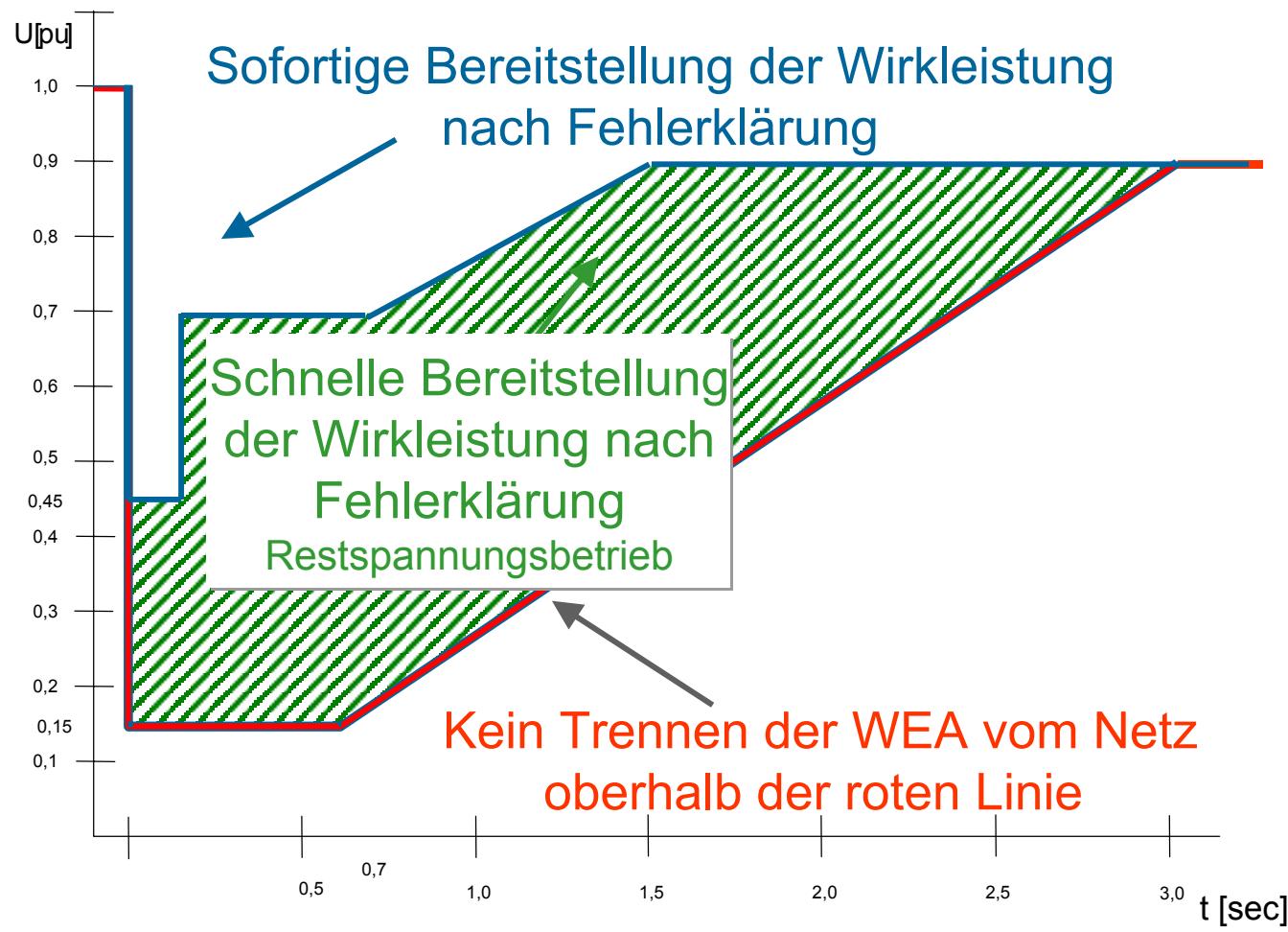
$U < 80\%$ → unverzügliche Trennung vom Netz

Zukünftig

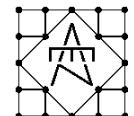
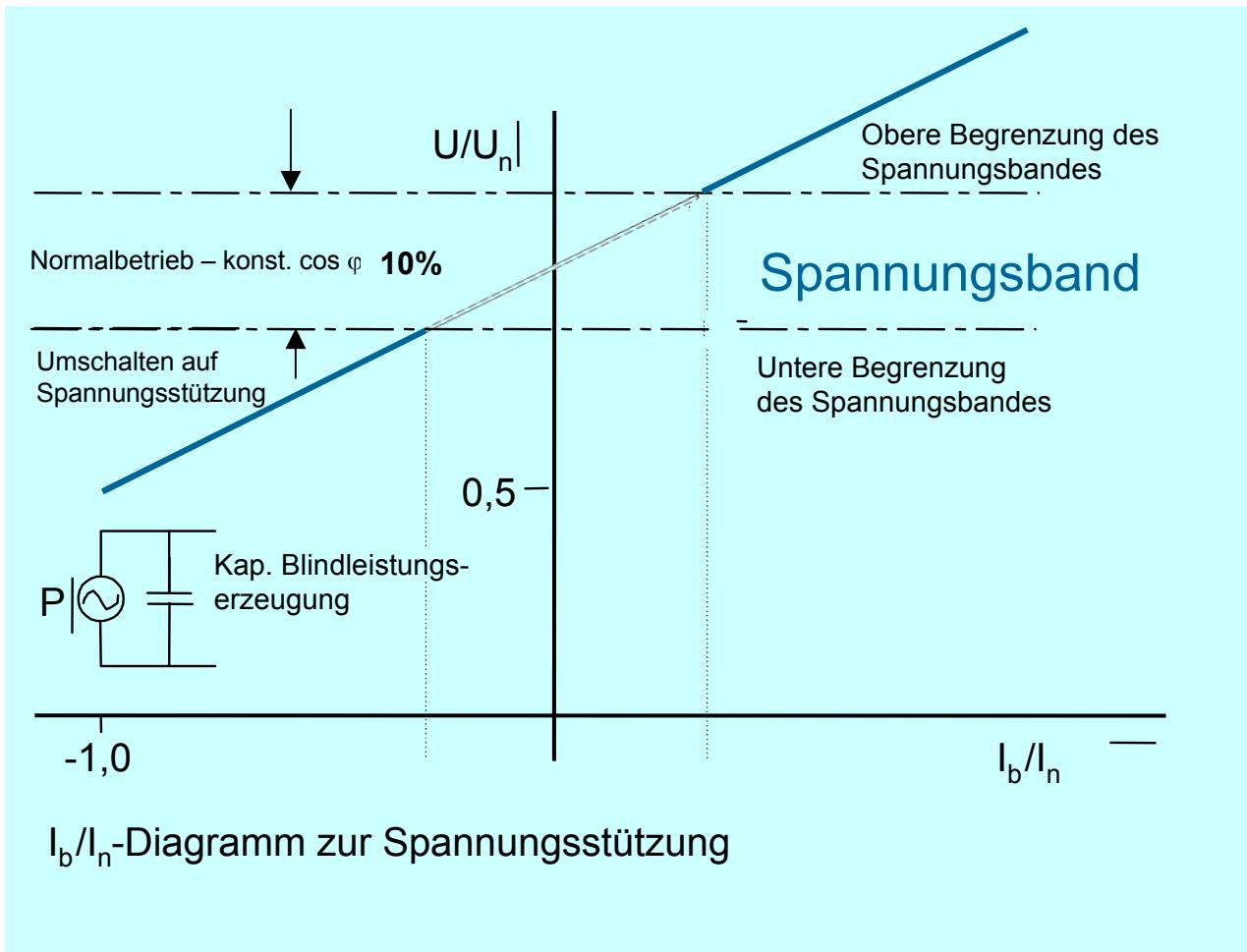
- Verbleib am Netz
- Forcierte Lieferung von Blindleistung während und nach dem Kurzschluss
- Schnelle Rückkehr zur vollen Wirkleistungseinspeisung



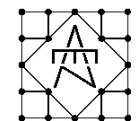
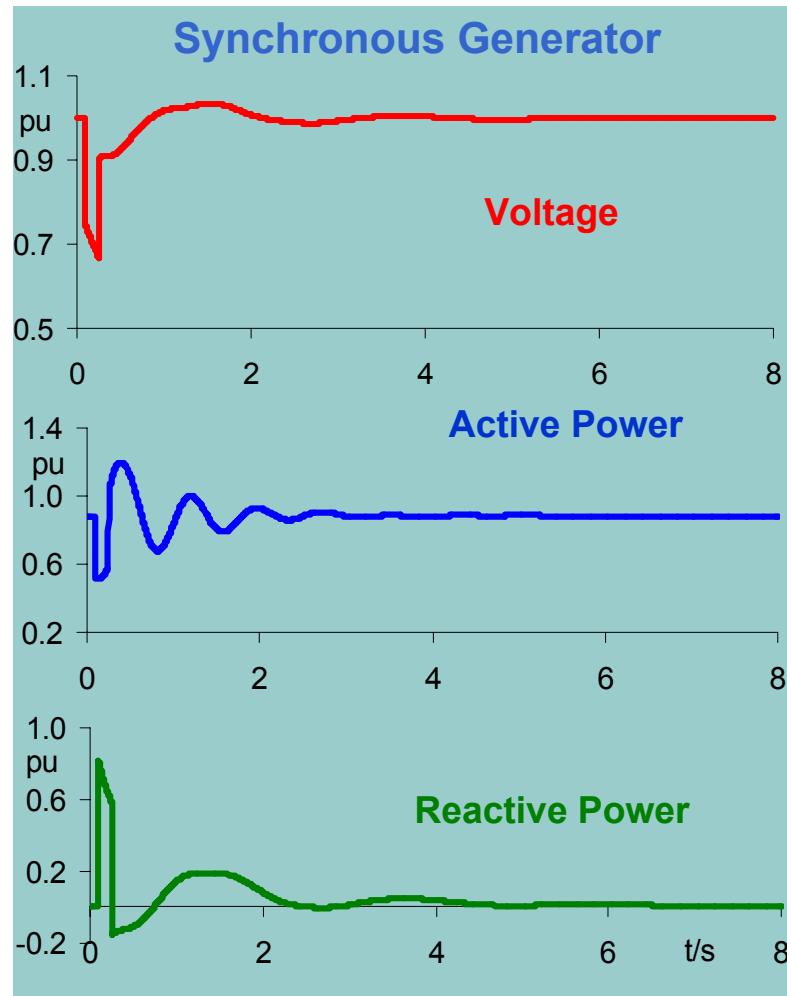
Riding Through Fault Capability



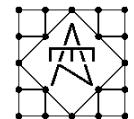
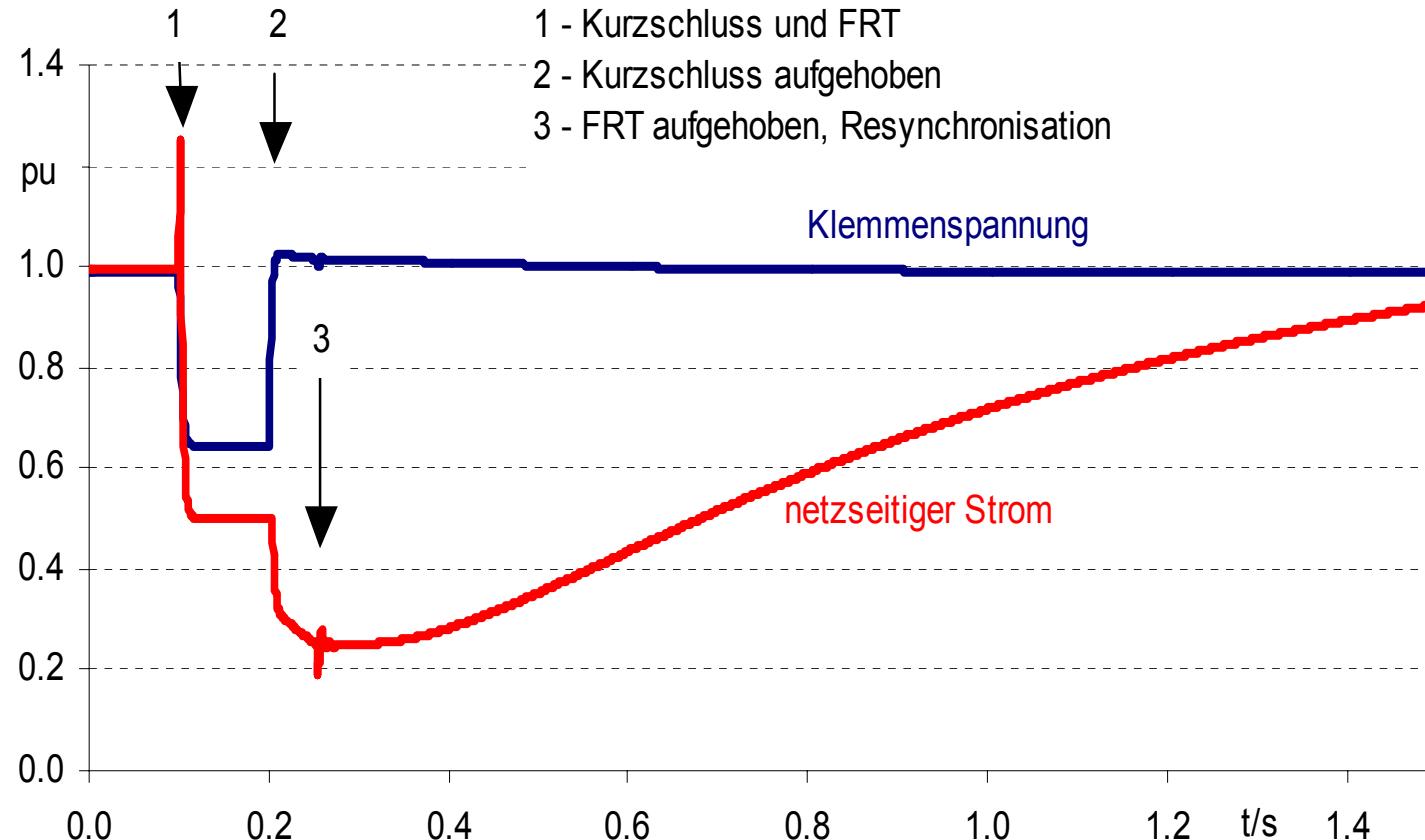
Back-Up Voltage Operation



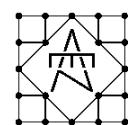
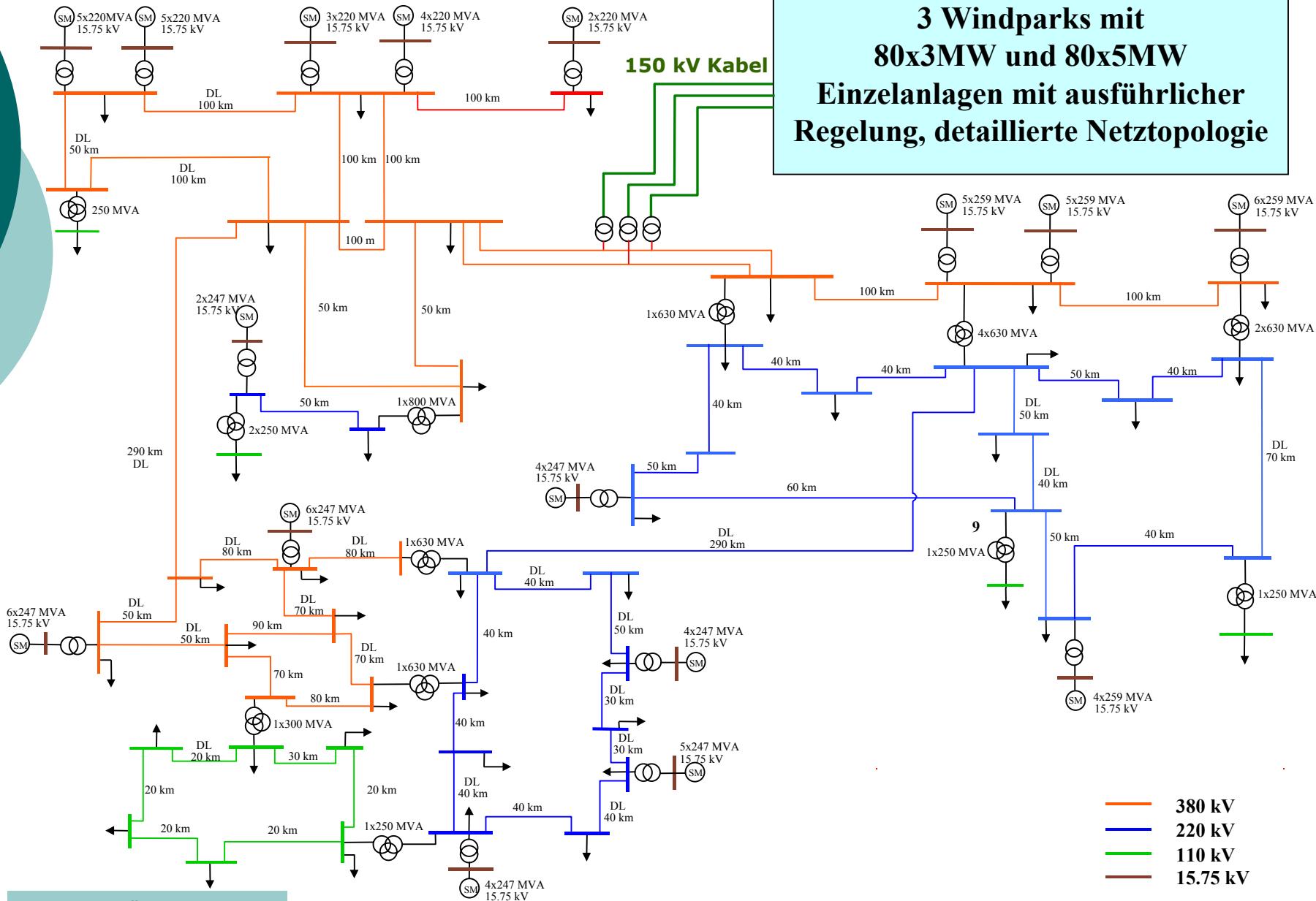
Vergleich Synchrongenerator-WEA



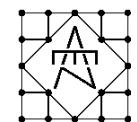
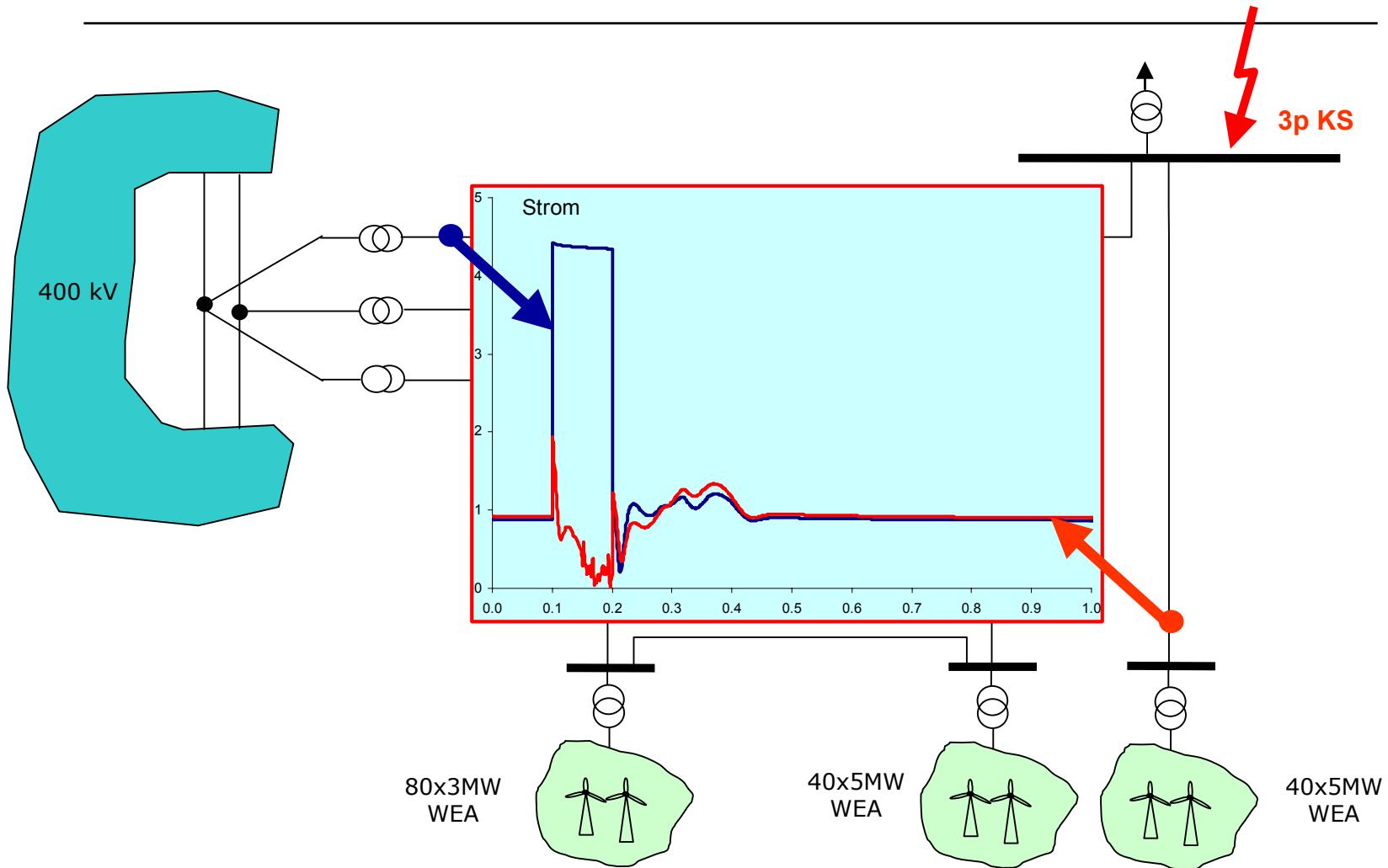
Problem Kurzschlusserfassung



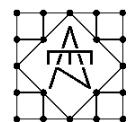
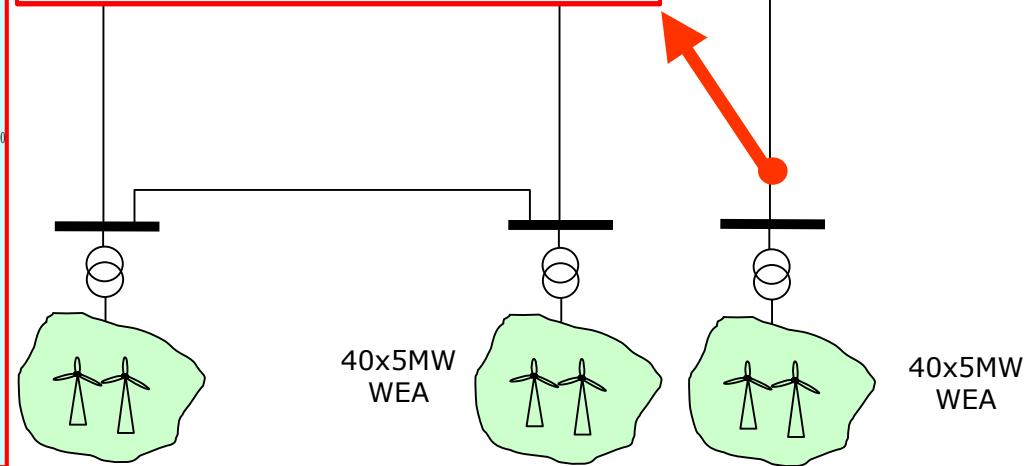
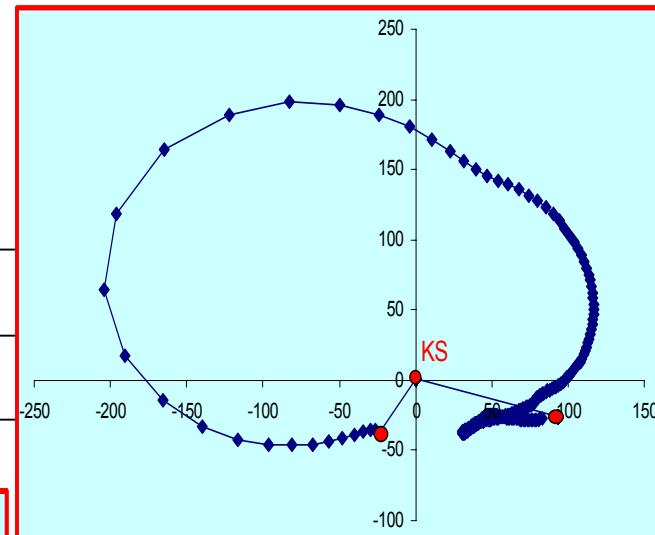
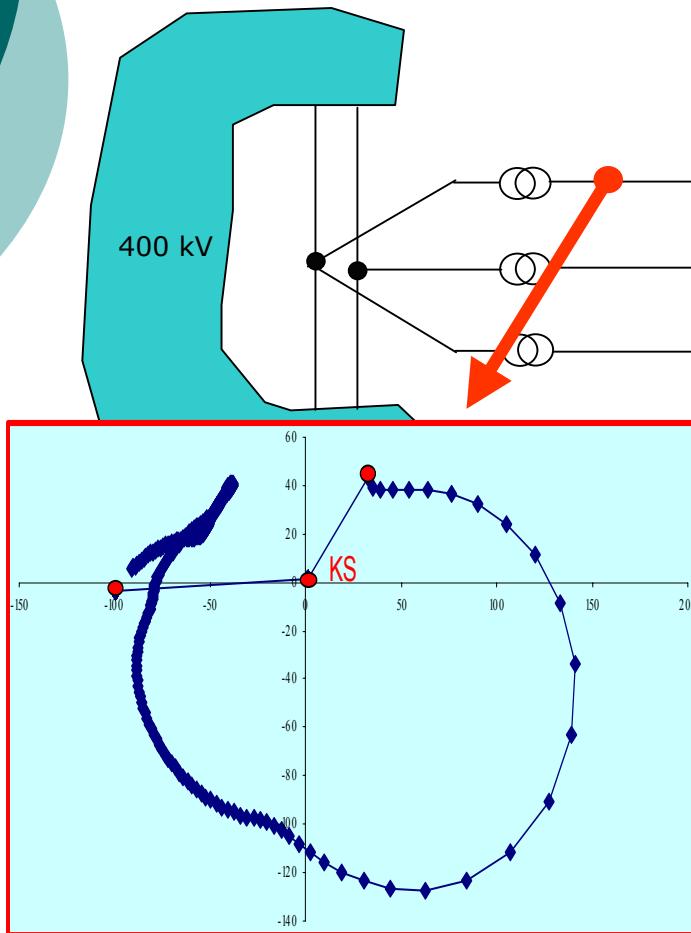
**3 Windparks mit
80x3MW und 80x5MW
Einzelanlagen mit ausführlicher
Regelung, detaillierte Netztopologie**



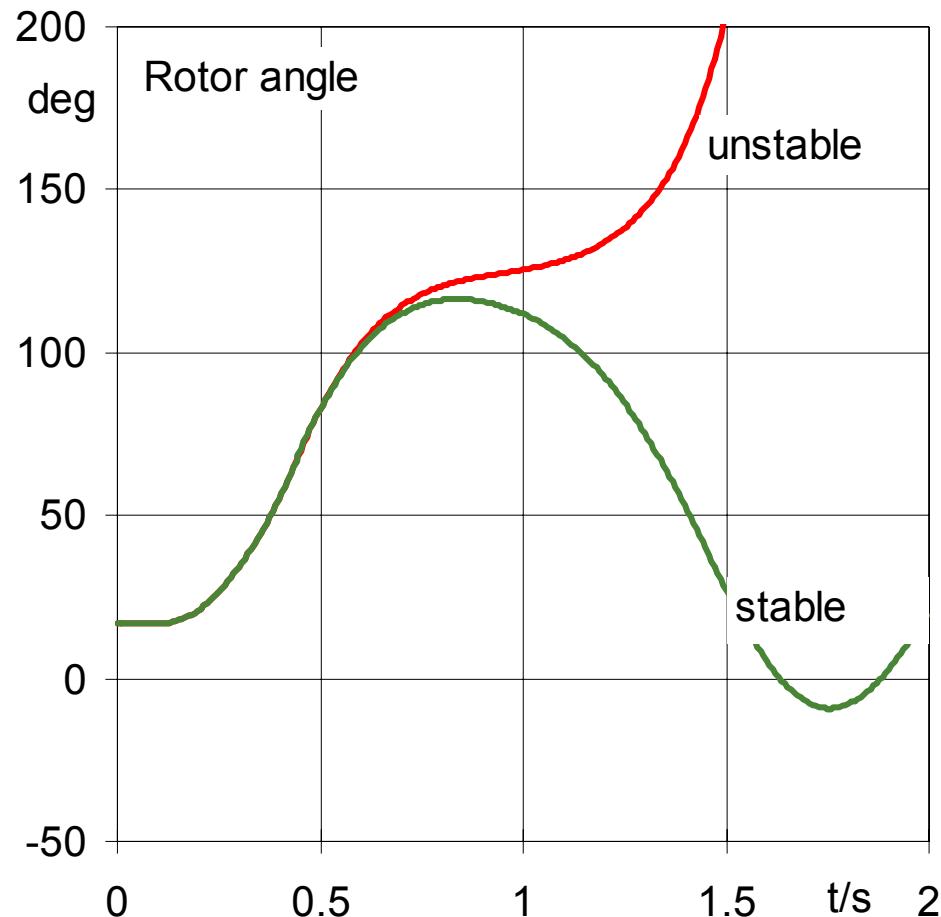
Fehlererfassung



Fehlererfassung

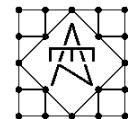


Problem Transiente Stabilität

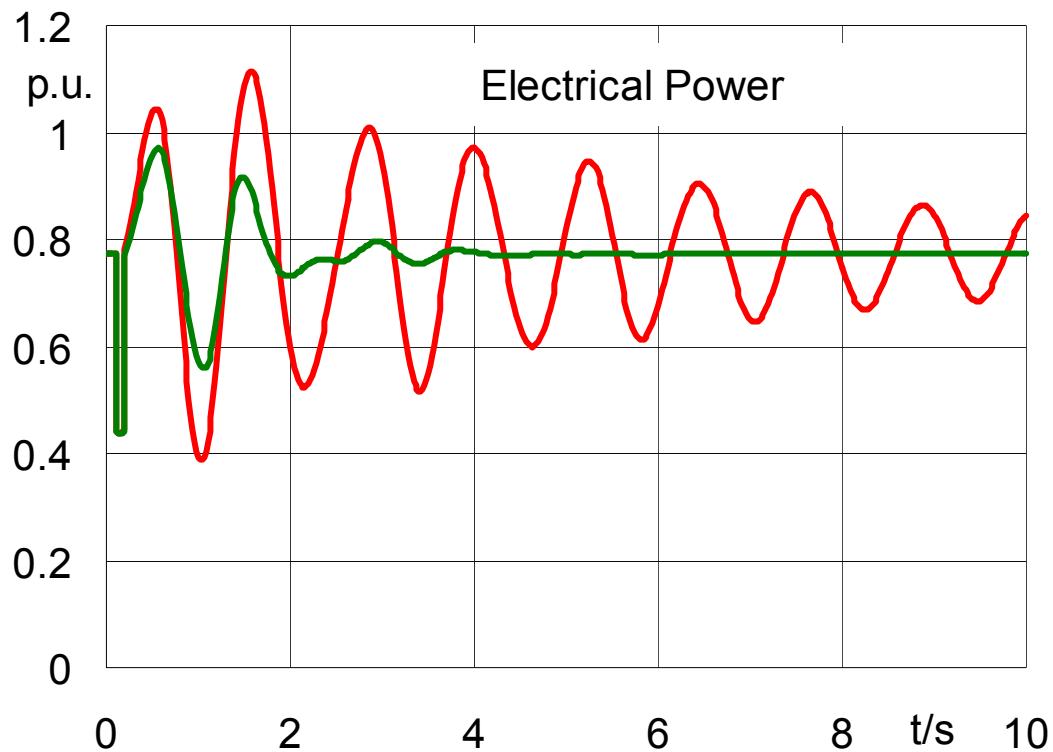


**Einfluss der
zunehmenden
WEA-Einspeisung auf
kritische Abschaltzeit
von konventionellen
Synchrongeneratoren**

?



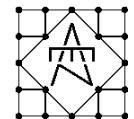
Problem Oszillierende Stabilität



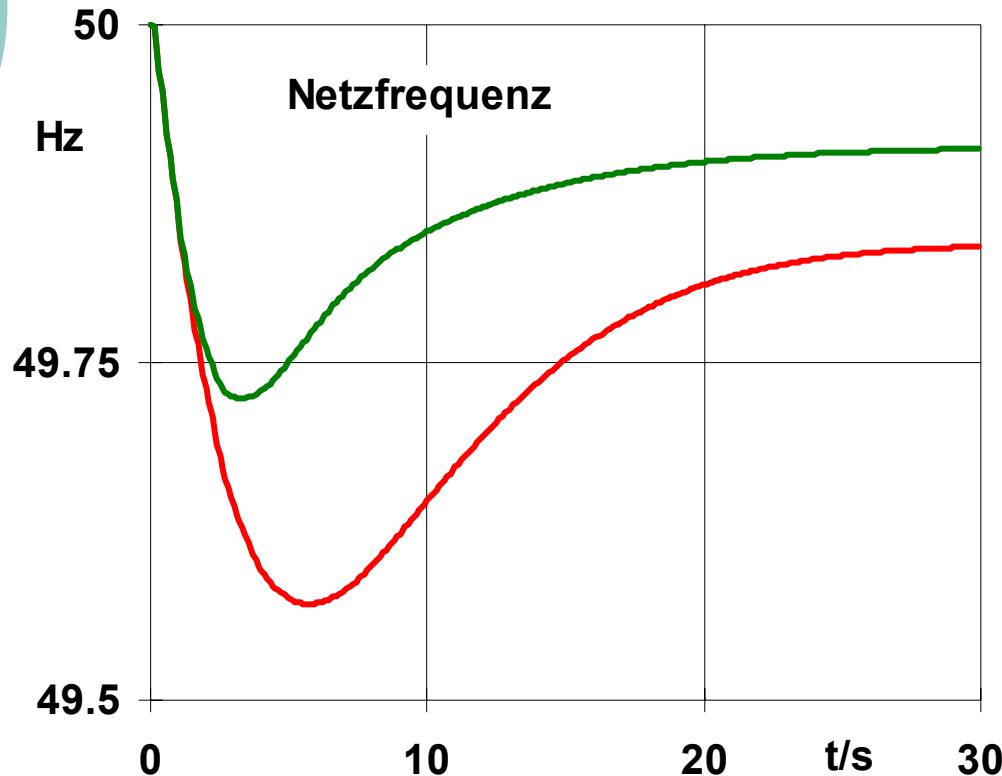
Einfluss der zunehmenden WEA-Einspeisung auf

- Frequenz
- Dämpfung

?



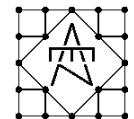
Problem Frequenzstabilität



**Einfluss der
zunehmenden
WEA-Einspeisung
auf**

- f_{\min}
- t_{\min}

?



Effekte durch WEA

Bisher

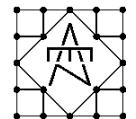
Synchronmaschinen

Zukünftig

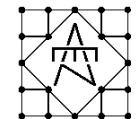
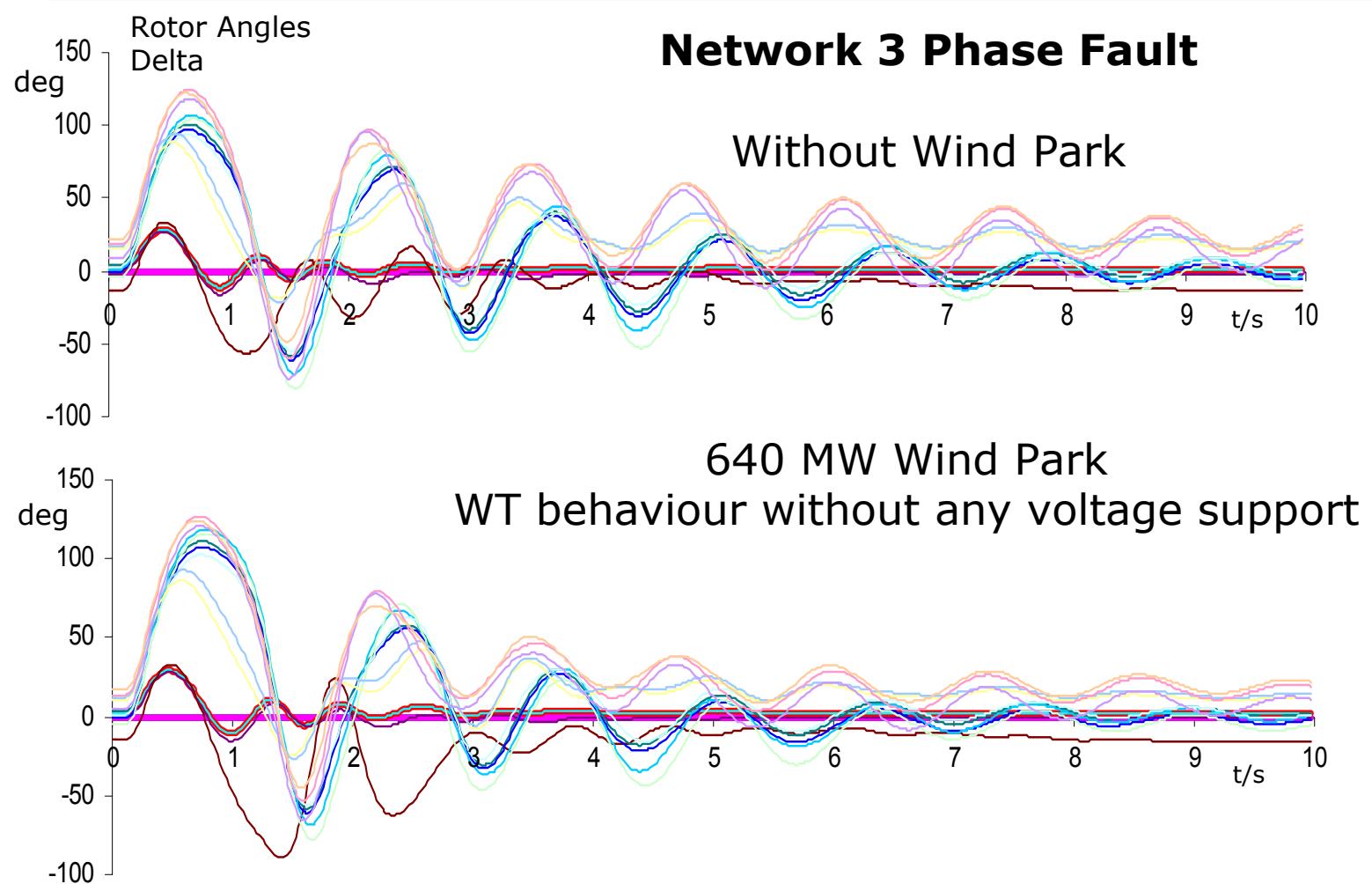
Synchronmaschinen

WEA

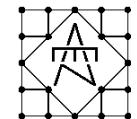
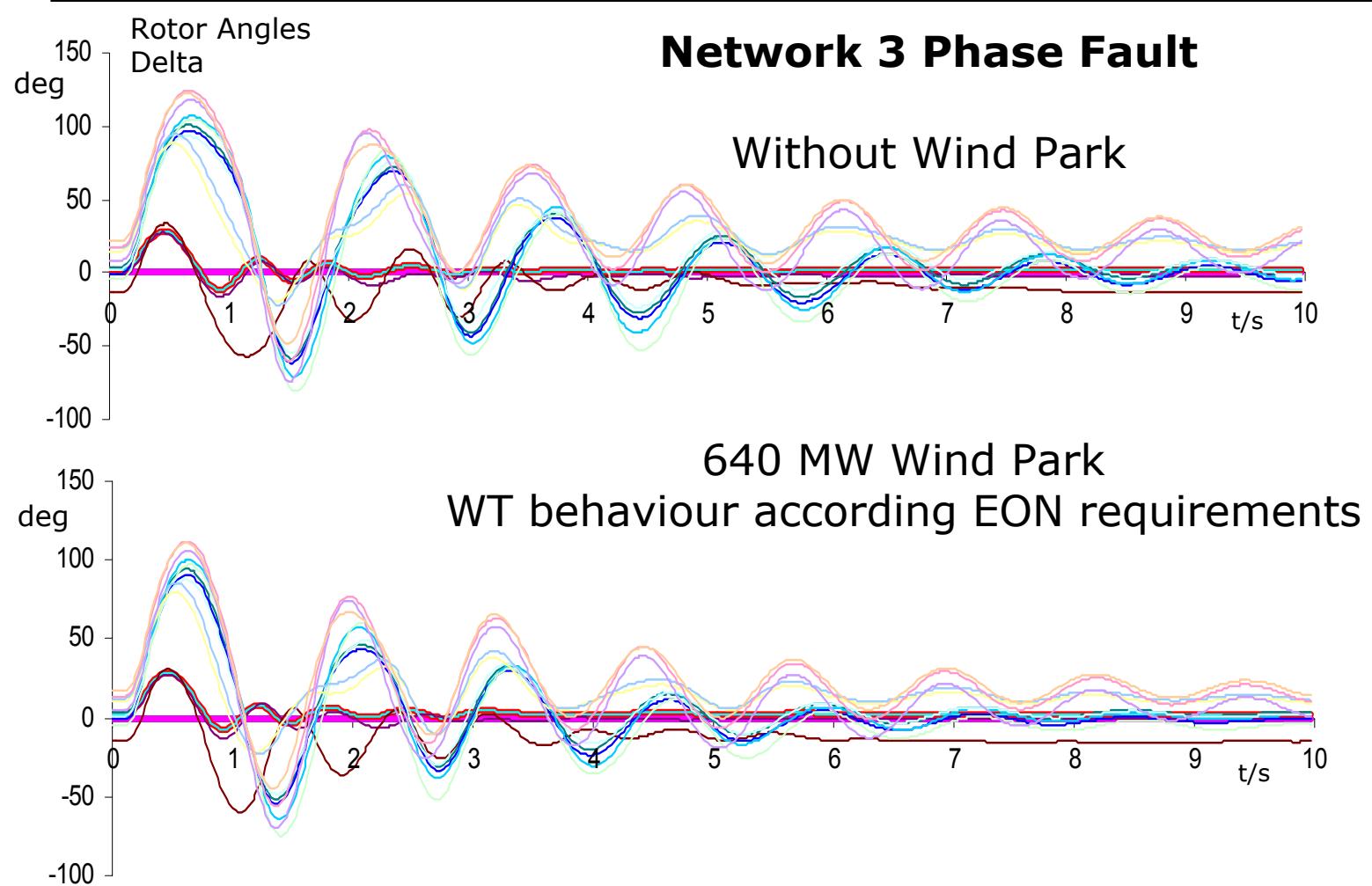
- Synchronmaschinen und WEA haben unterschiedliche dynamische Charakteristiken
- Anteil von Synchronmaschinen nimmt ab
=> WEA müssen gewisse Aufgaben übernehmen



Vergleich des Systemverhaltens (1)

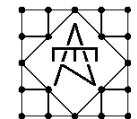
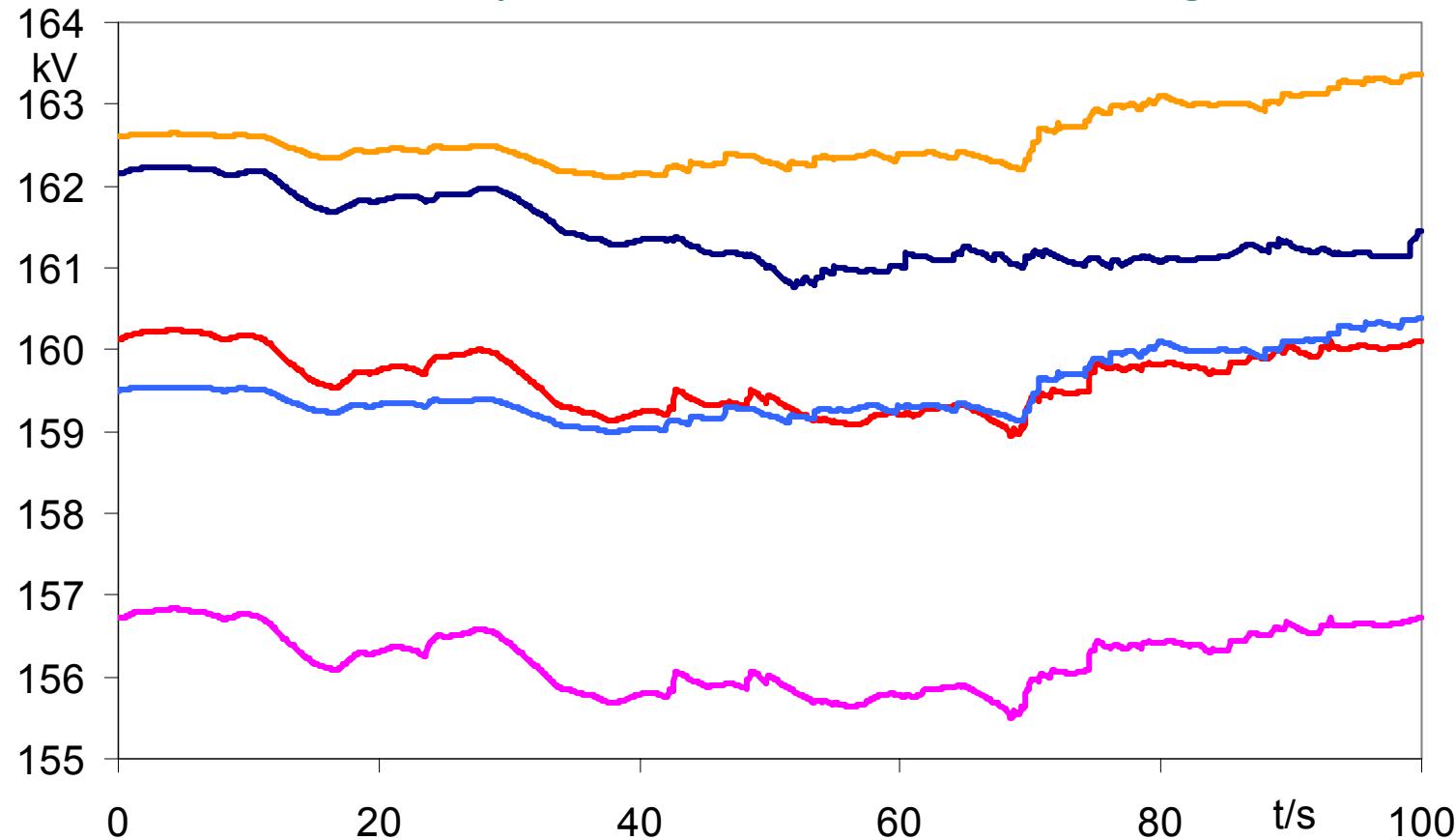


Vergleich des Systemverhaltens (2)

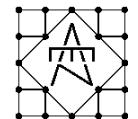
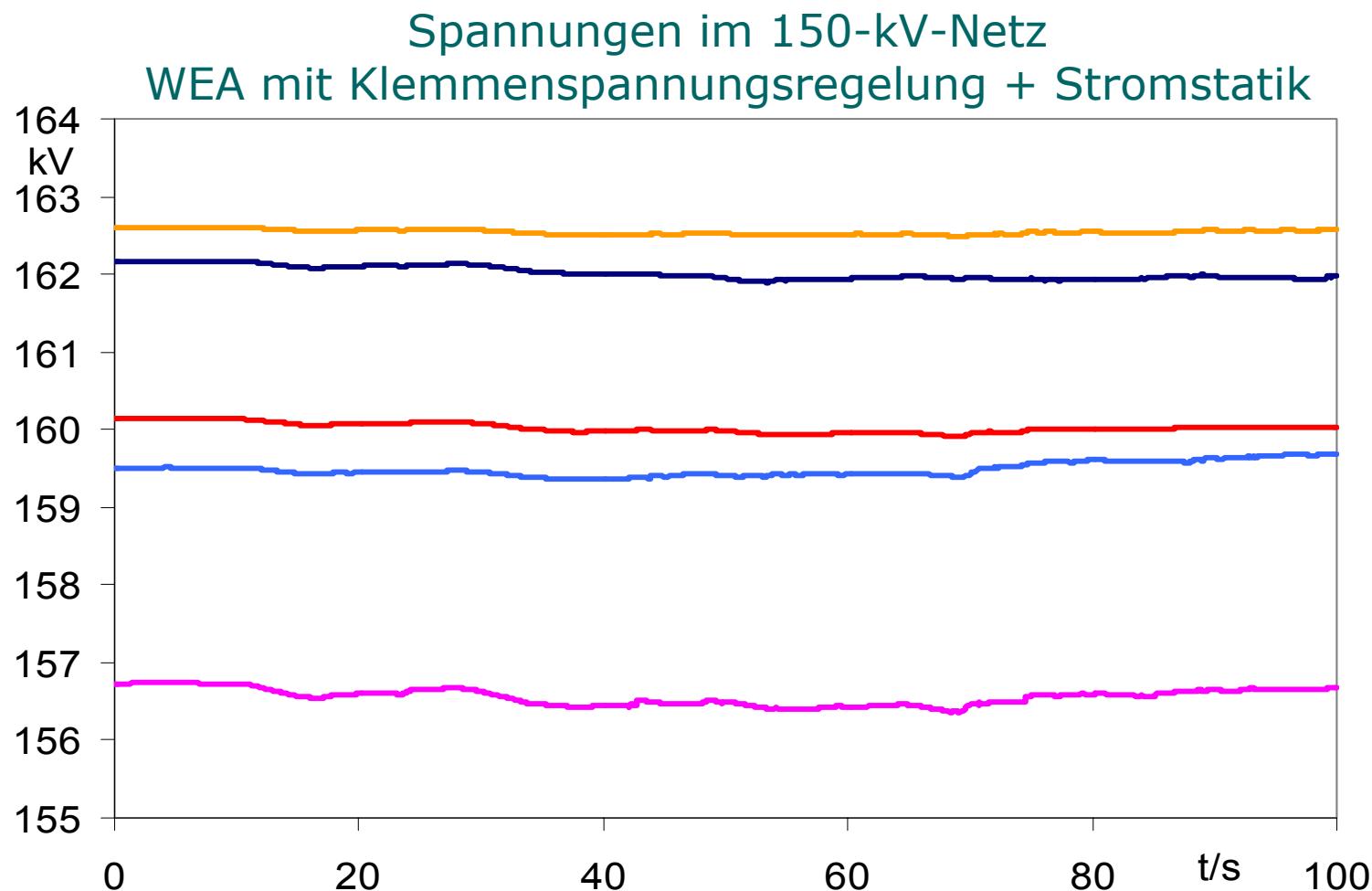


Fluktuierende Windeinspeisung

Spannungen im 150-kV-Netz
WEA speisen konstante Blindleistung



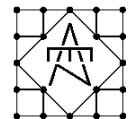
Fluktuierende Windeinspeisung



Schlussfolgerungen

Für einen erweiterten Einsatz von WEA sind erforderlich:

- Reduktion von Unsicherheiten bei der WEA-Einspeiseleistung und der erforderlichen Reservehaltung
- Schaffung netzseitiger Voraussetzungen für einen erhöhten Leistungsfluss
- Einbindung von WEA in das Blindleistungsmanagement des Netzes
- Begrenzung der WEA-Ausfallleistung durch technische Maßnahmen
- Netzkonformes dynamisches Verhalten von WEA



A photograph of a large offshore wind farm. In the foreground, a single wind turbine is visible, its white tower and three blades pointing upwards and to the right. Behind it, a long, straight line of numerous other wind turbines stretches into the distance towards the horizon. The water is a deep, clear blue, and the sky above is a lighter shade of blue with a few very faint, wispy clouds.

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!