

# Technisch-wissenschaftliche Aspekte zur Optimierung des Netzbetriebes

---

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

Universität Duisburg-Essen  
Fachgebiet Elektrische Anlagen und Netze



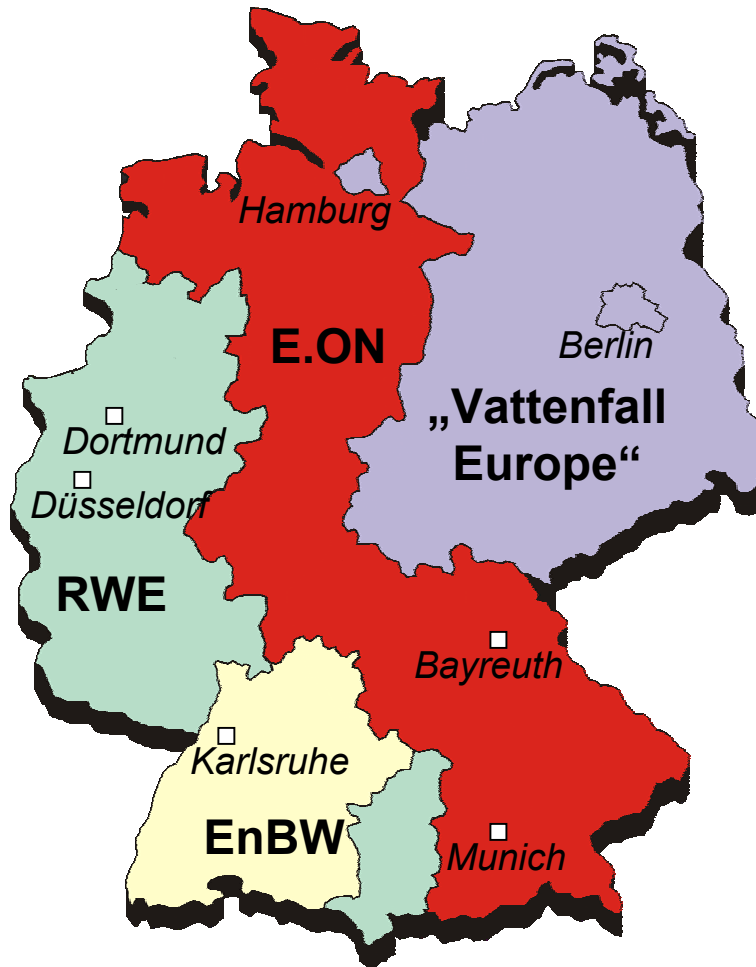
# Inhalt

---

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



# Installierte Windleistung in Deutschland



**Mai 2003**

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| <b>E.ON Netz:</b> | <b>5823 MW</b> |
| <b>VET:</b>       | <b>4761 MW</b> |
| <b>RWE Net:</b>   | <b>2271 MW</b> |
| <b>EnBW:</b>      | <b>200 MW</b>  |

**ISSET, 29. September 2004**

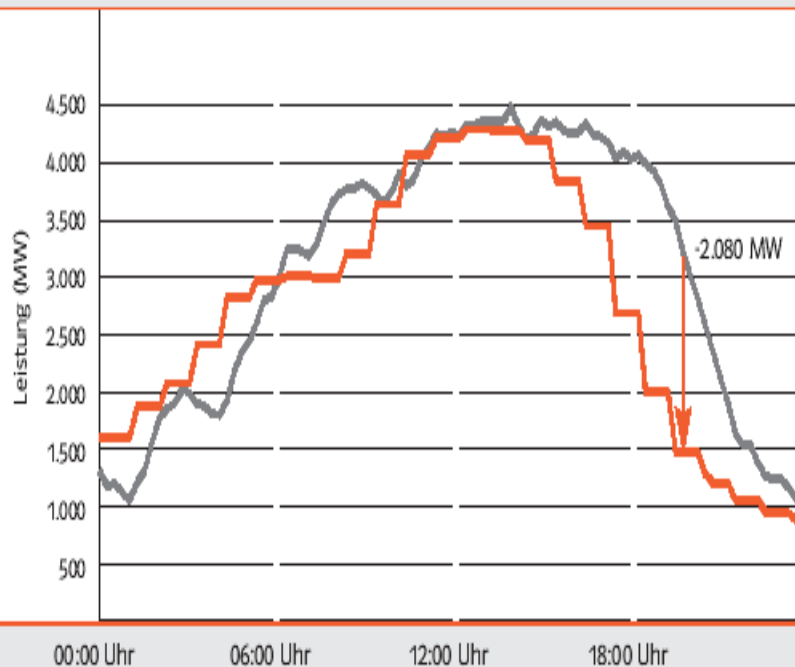
**15400 MW installierte WEA-Leistung  
15725 Anlagen**



# Prognosefehler

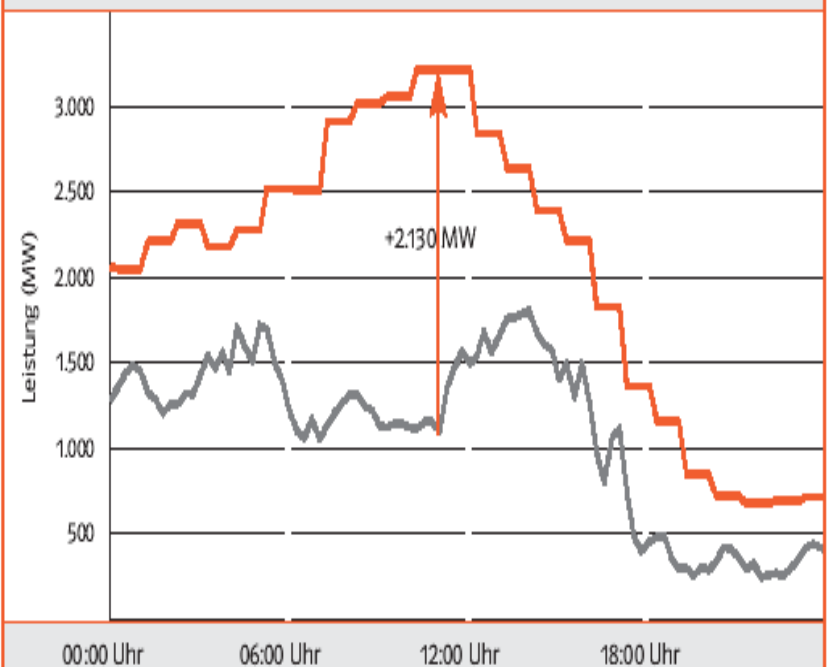
## 11. Wind bläst länger als prognostiziert

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)



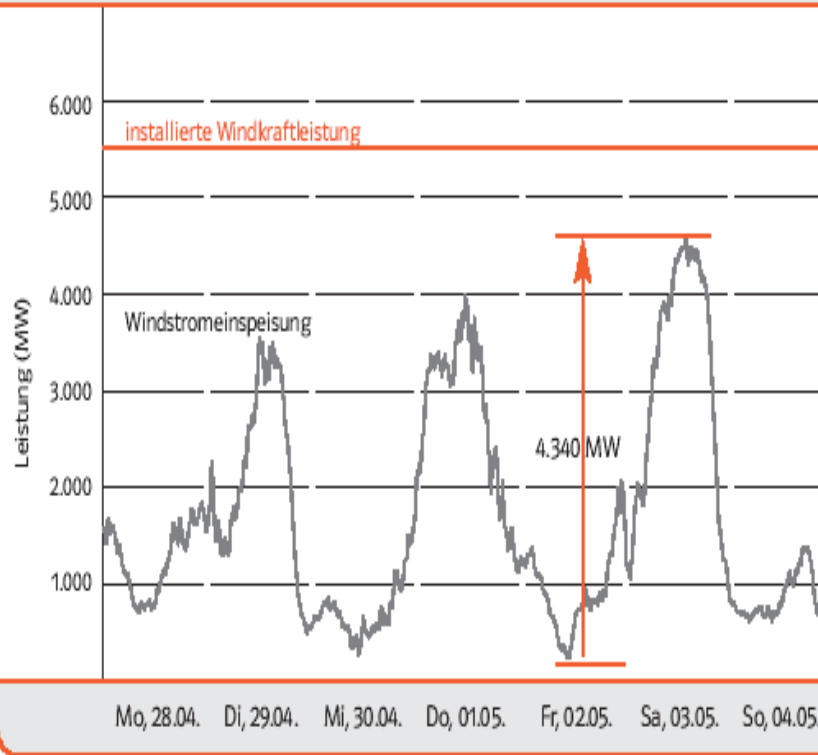
Quelle: E.on Netz GmbH



# Veränderungen

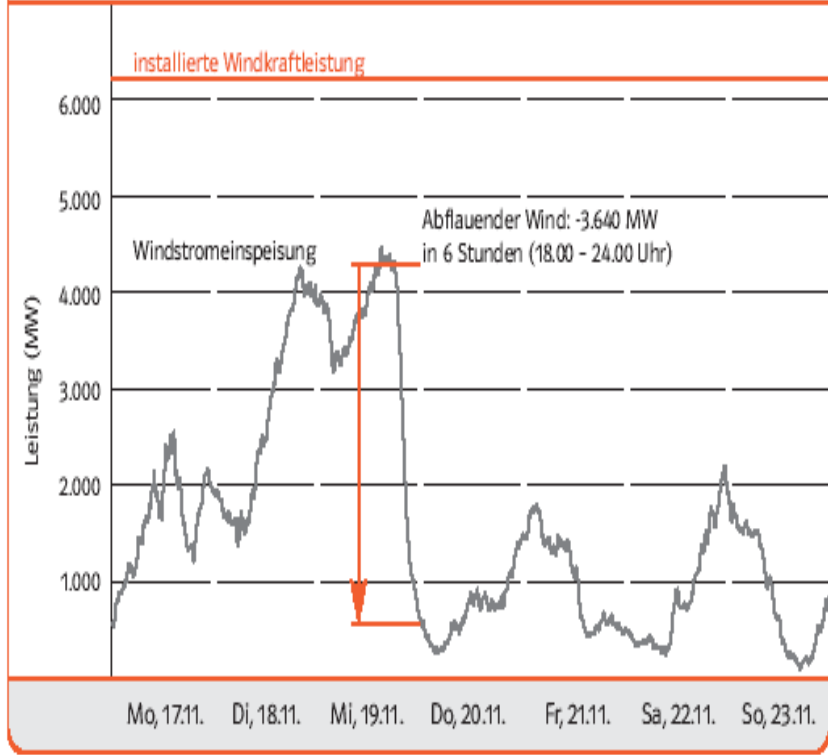
## 4. Starke Schwankungen

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 <sup>1)</sup>
- 50-60% der installierten Windkraftleistung müssen als Reserveleistung für den Ausgleich der ungenauen Windprognose bereitstehen <sup>1)</sup>
- Temporäre Überlastung von Leitungen
- Einschränkungen im nationalen und internationalen Stromaustausch

<sup>1)</sup> Angaben nach E.on Netz GmbH



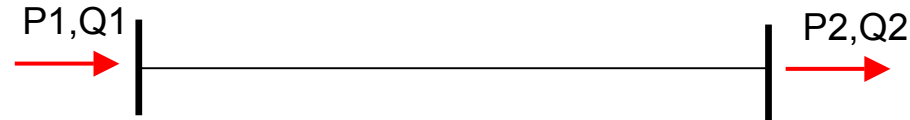
# Lösungsansätze

---

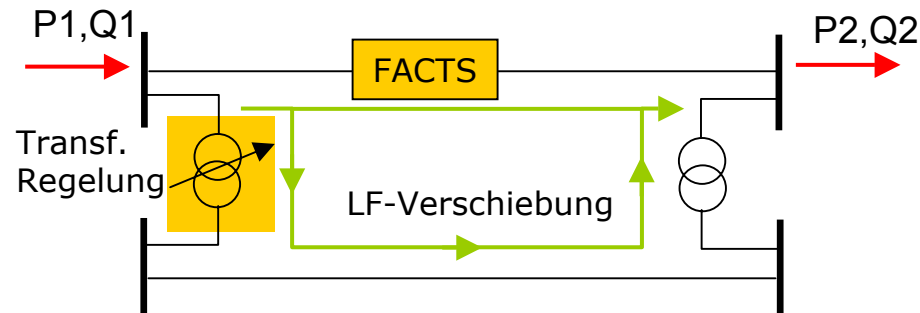
- **Gemeinsame Reservehaltung**  
*Koordinierungsbedarf, Belastung der Kuppelleitungen*
- **Zwischenspeicherung der Windenergie**  
*Kosten, keine überzeugenden neuen Technologien, Standortproblem*
- **Bau neuer Leitungen**  
*Genehmigungsproblem, Kosten*
- **Erhöhung der Übertragungskapazität existierender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



# Vermeidung von Netzeingpässen



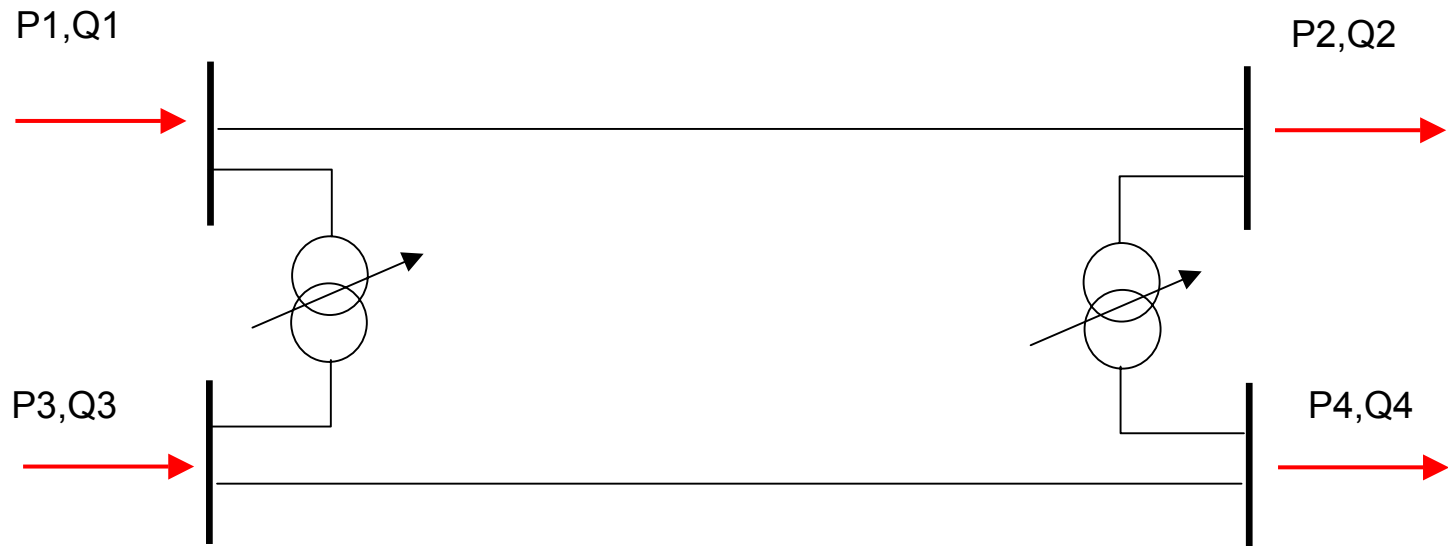
- höhere Spannung
  - keine Blindleistungsübertragung
- übliche Praxis – kaum noch Reserven*



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



# UQ-Optimierung

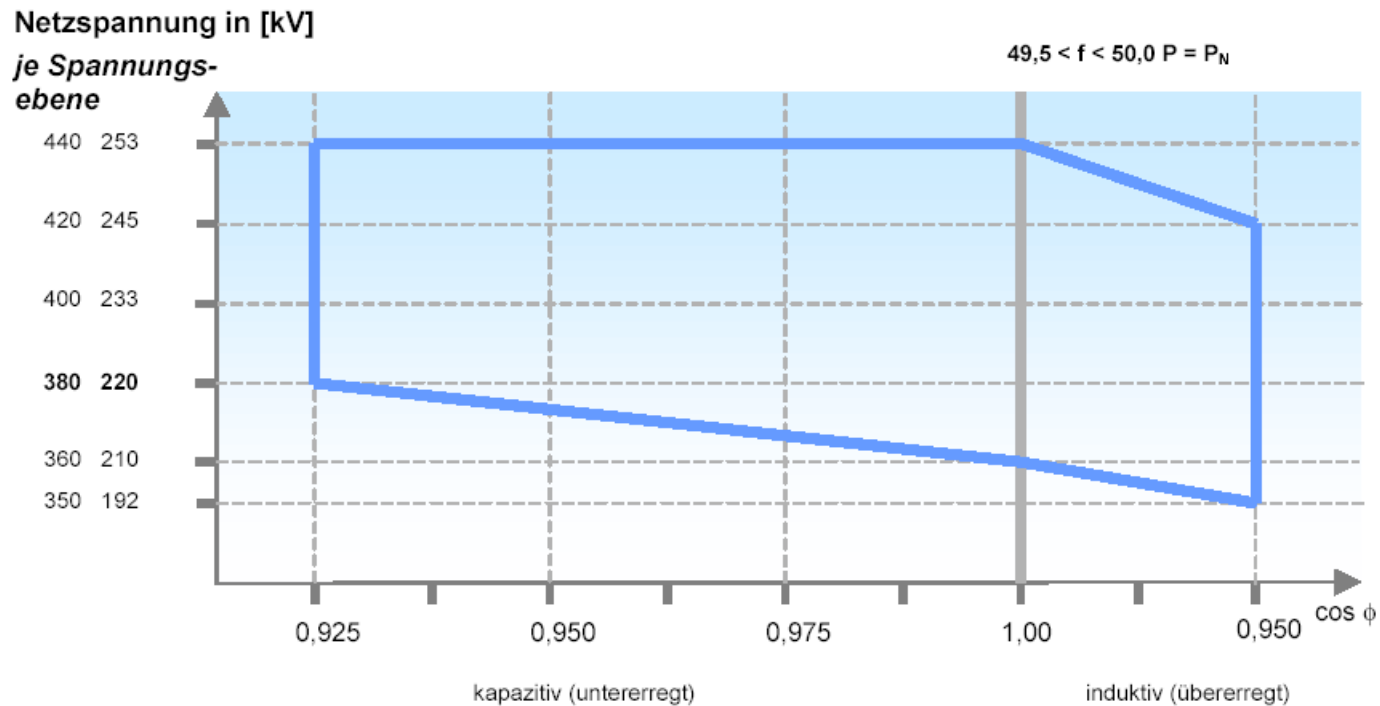


- **Optimierungsziel:** Minimierung der Netzverluste bei Einhaltung der Strombelastbarkeitsgrenzen, Spannungsgrenzen, Tr.-Stufenstellergrenzen, Grenzen für die Blindleistungseinspeisung
- **Stellgrößen:** Blindleistungseinspeisungen (Q1-Q4), Tr.-Stufen

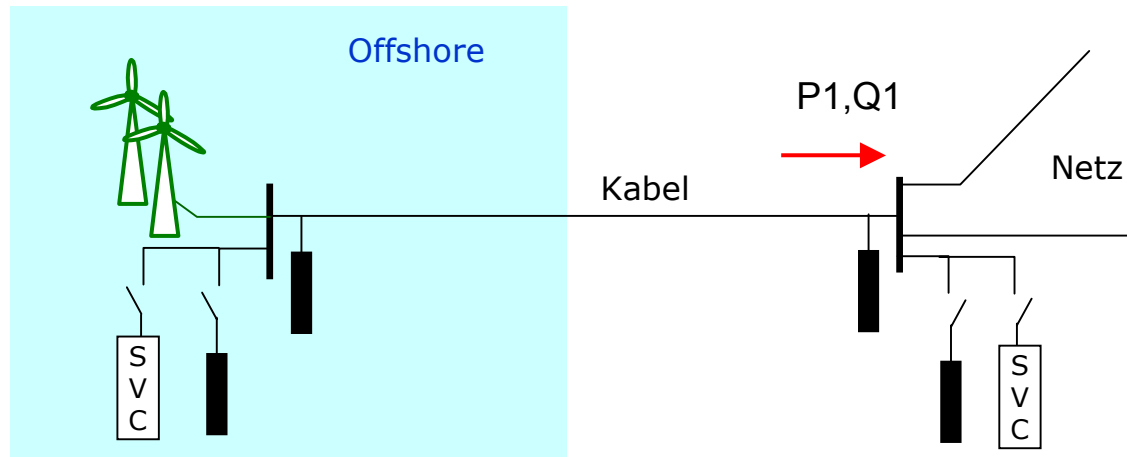
# Konsequenzen für Windparks

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

## Beispiel VET-Forderung



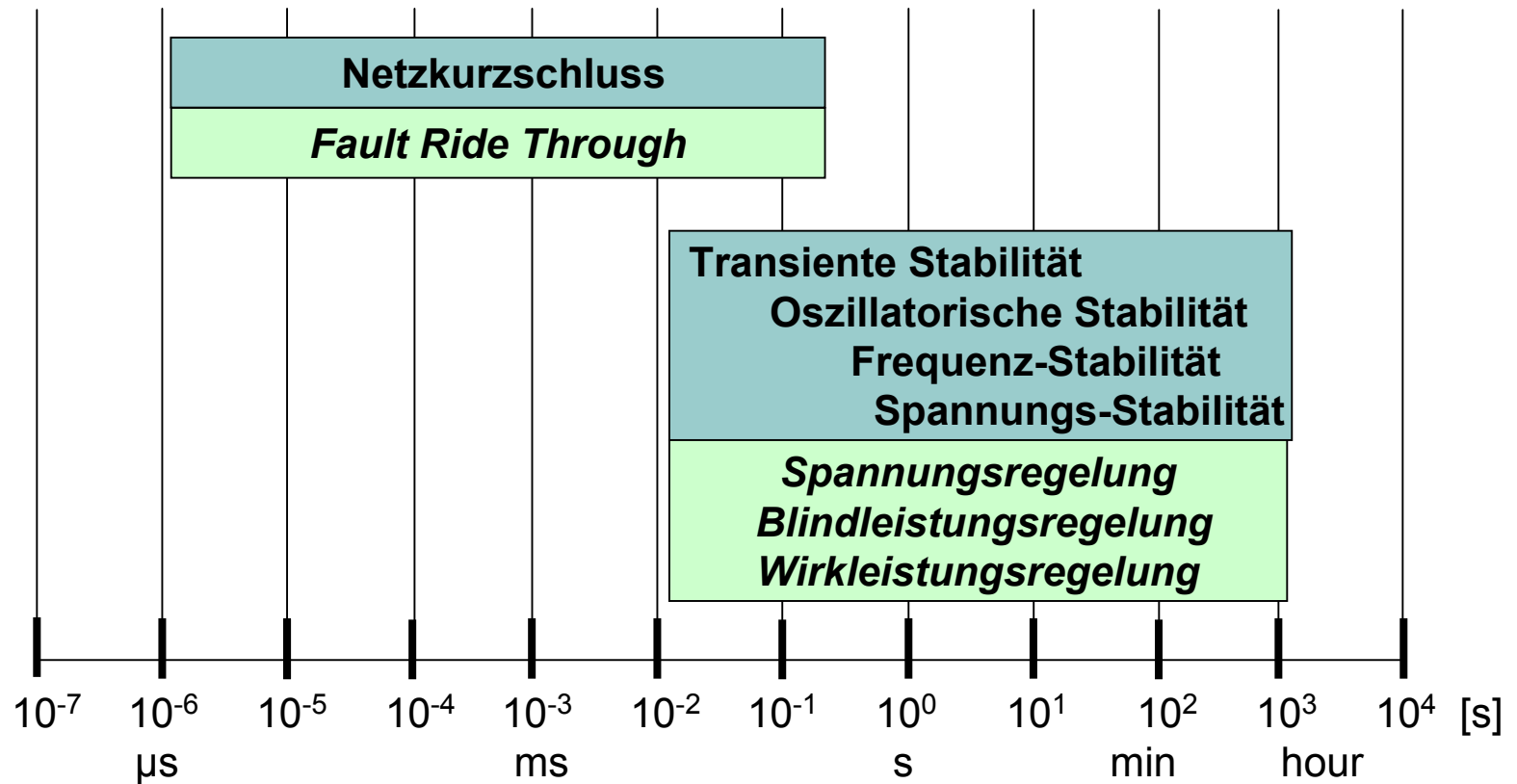
# Bereitstellung der Blindleistung



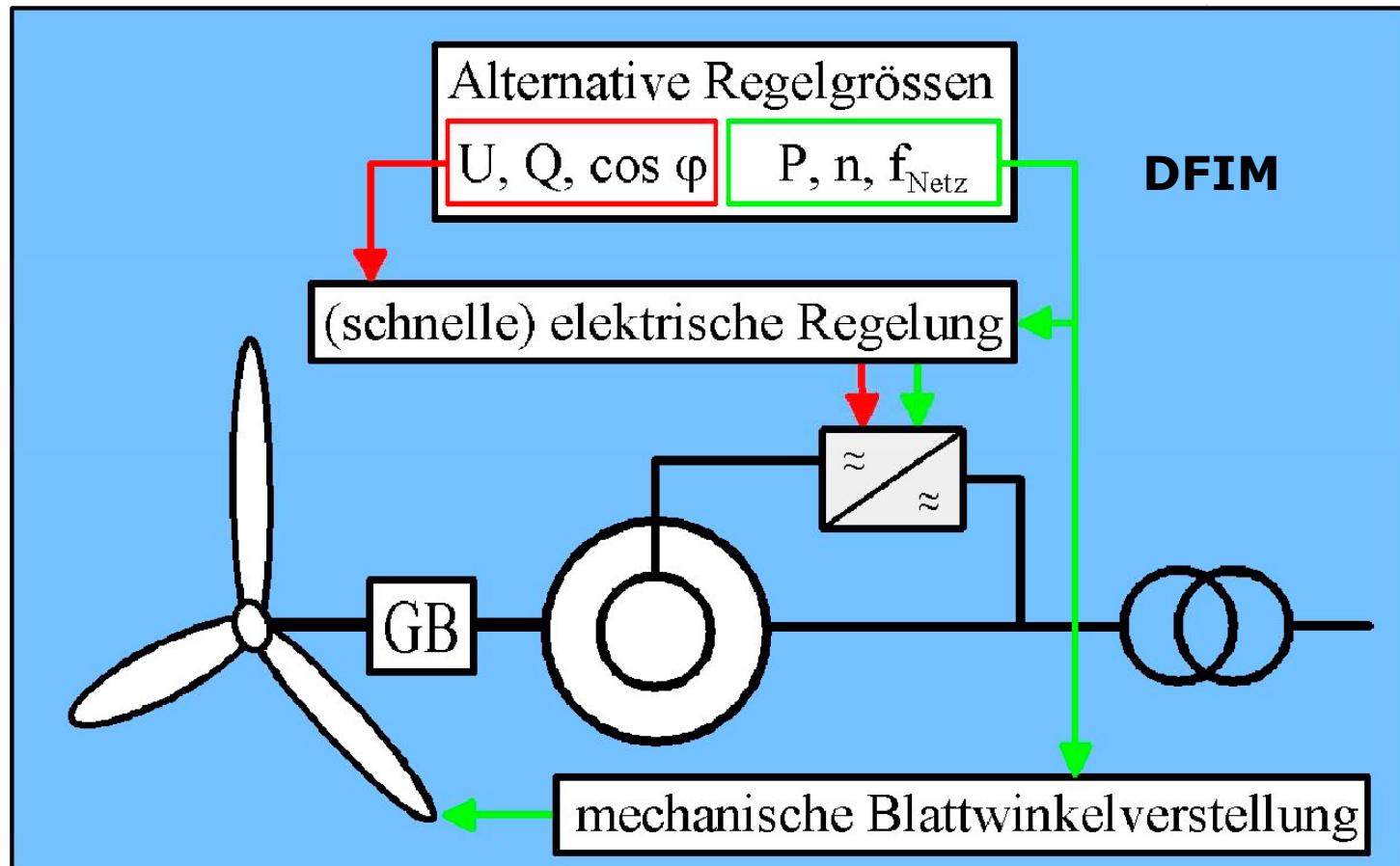
## Möglichkeiten:

- 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*

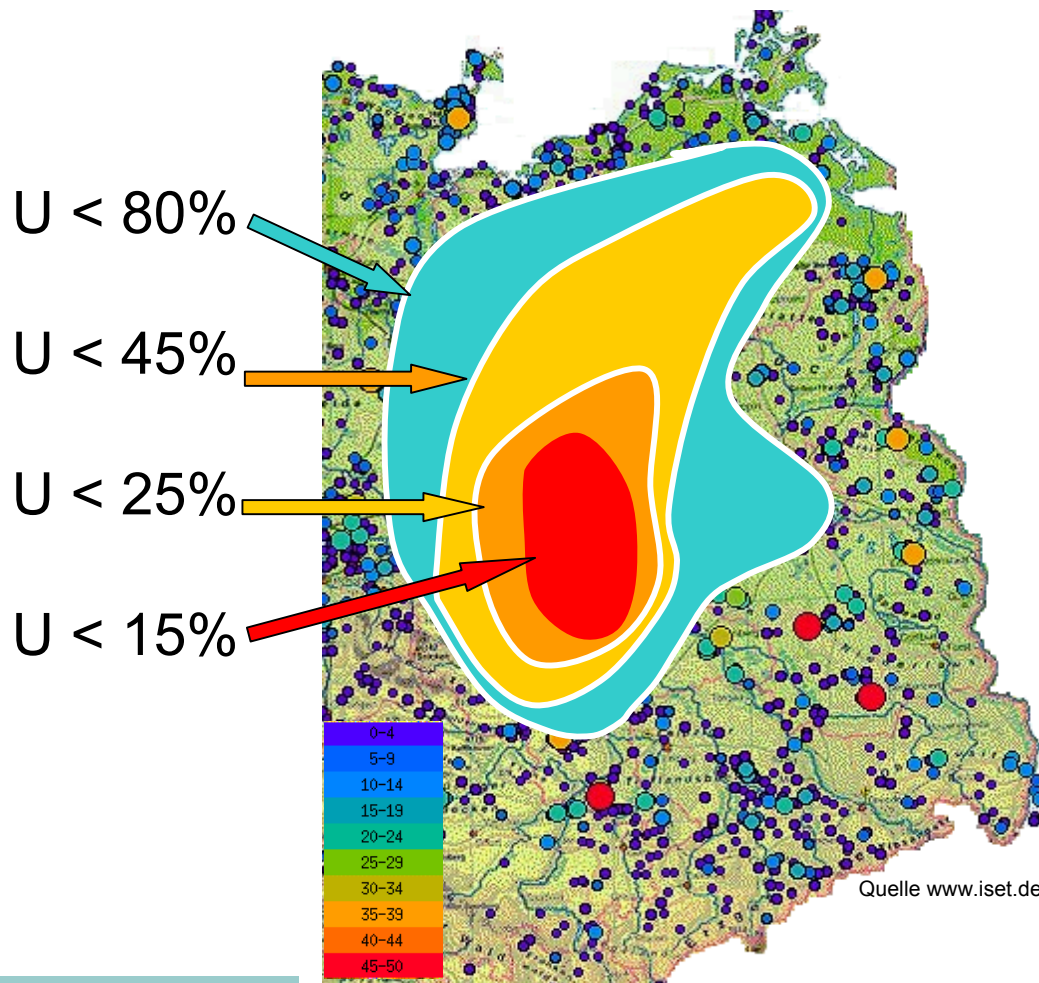
# Problemkreise Netzdynamik



# 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

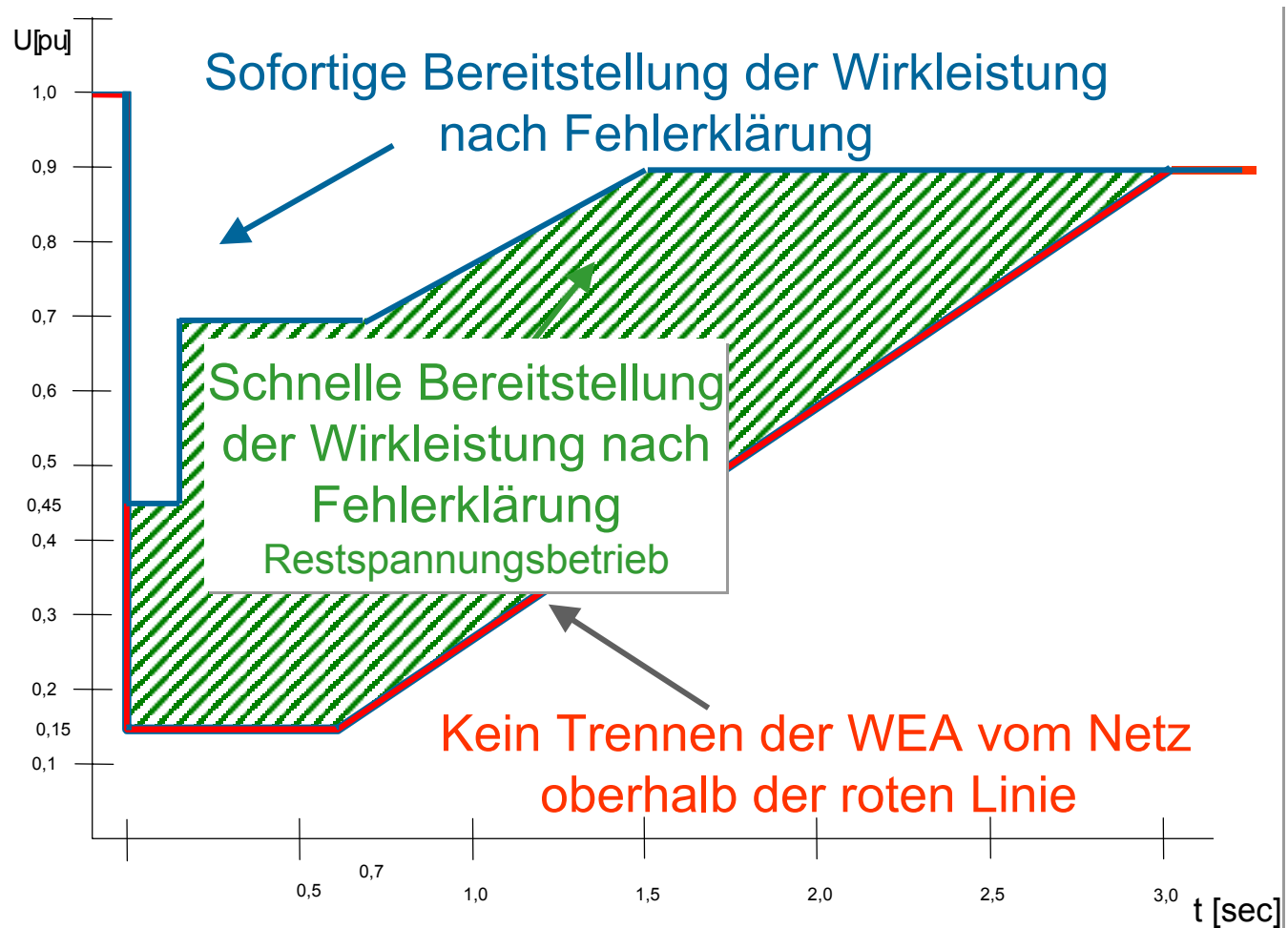
$U < 80\%$  → unverzügliche Trennung vom Netz

## Zukünftig

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

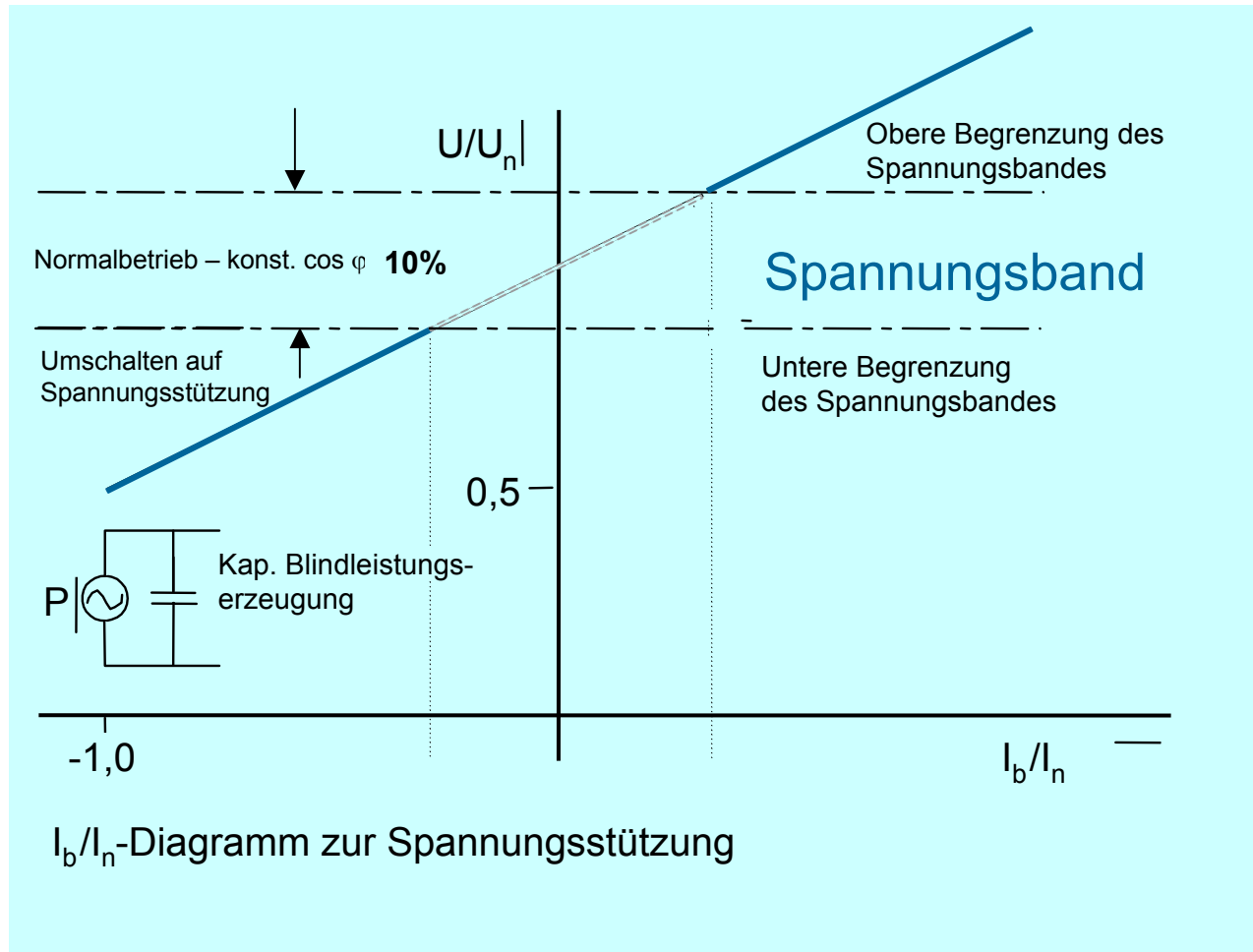


# Riding Through Fault Capability

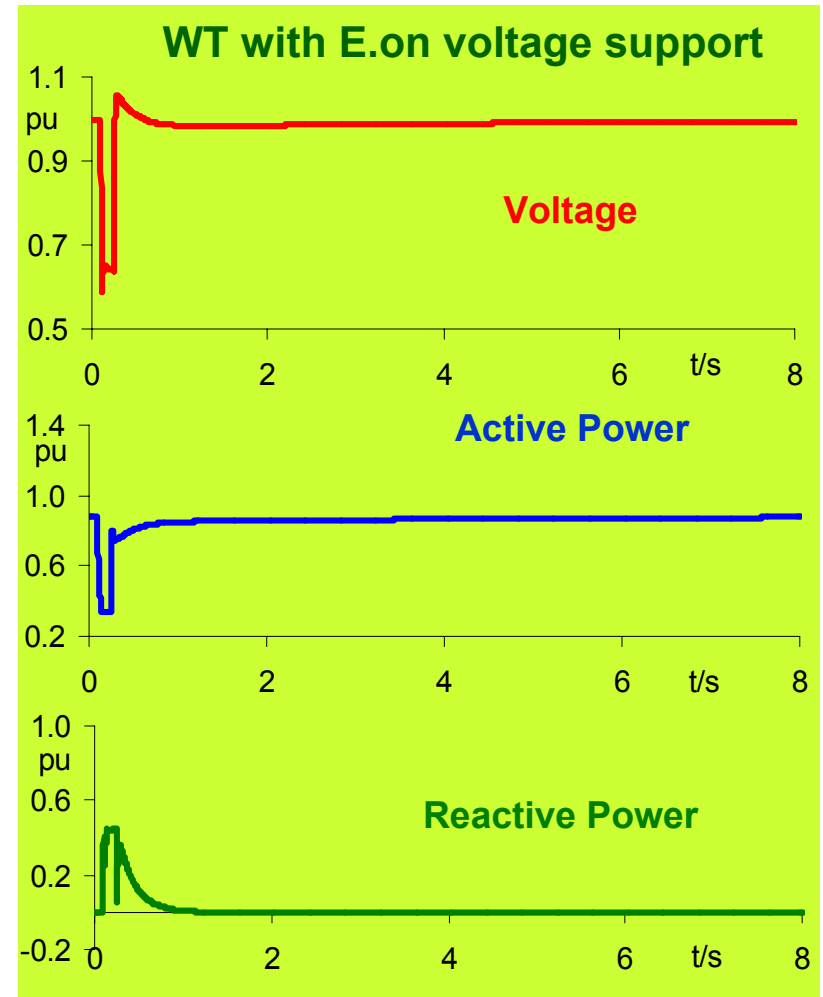




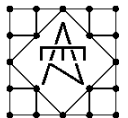
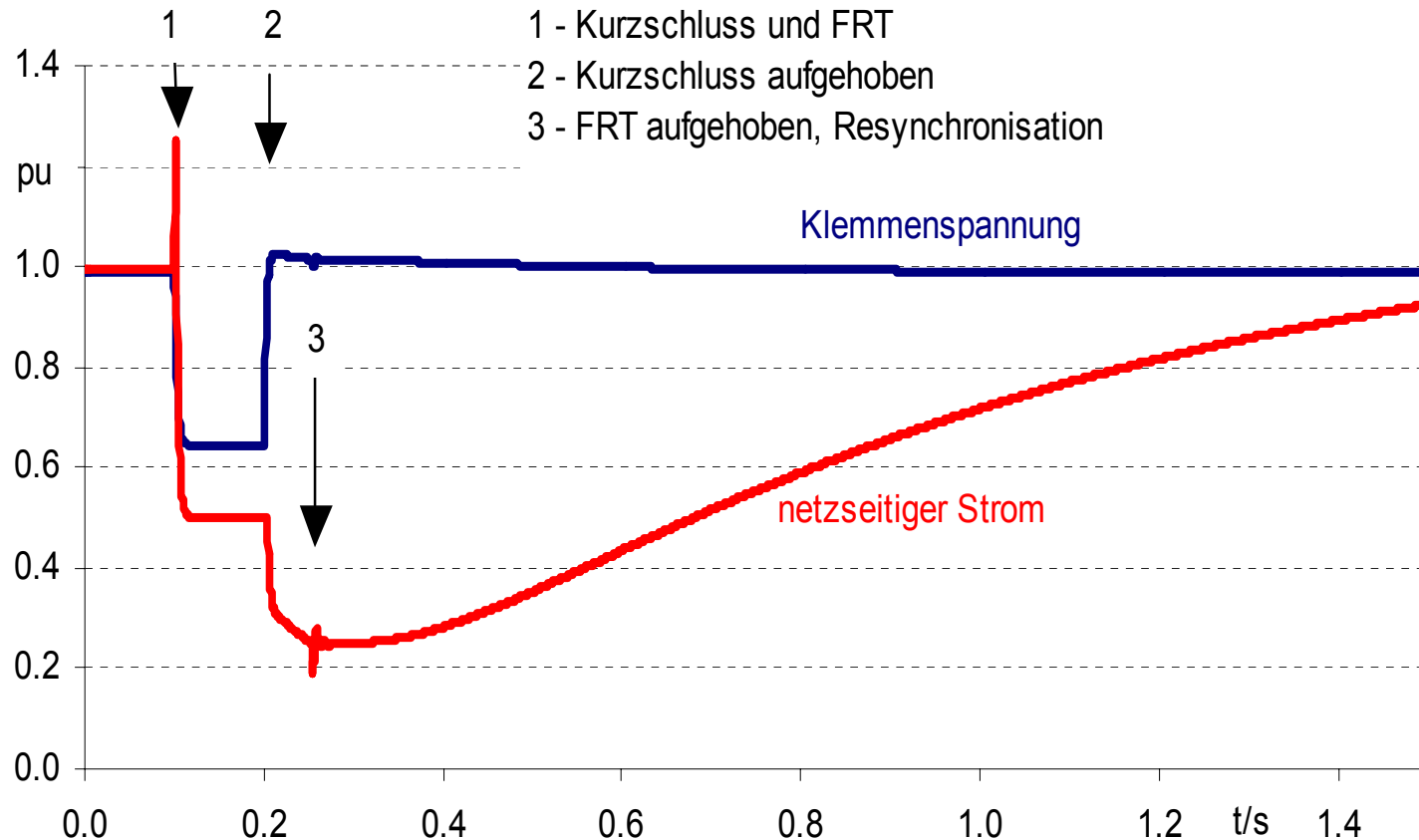
# Back-Up Voltage Operation



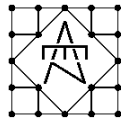
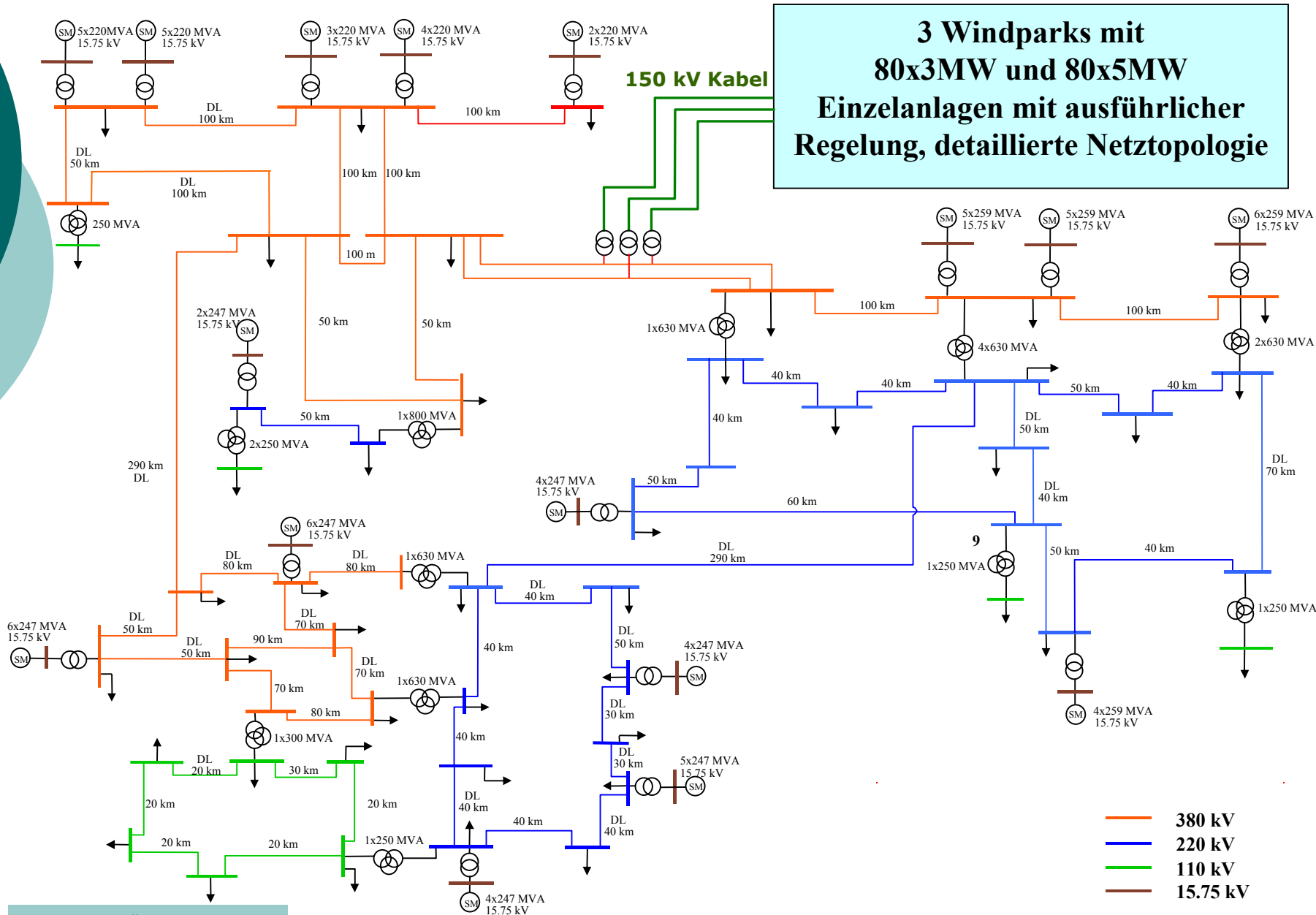
# Vergleich Synchrongenerator-WEA



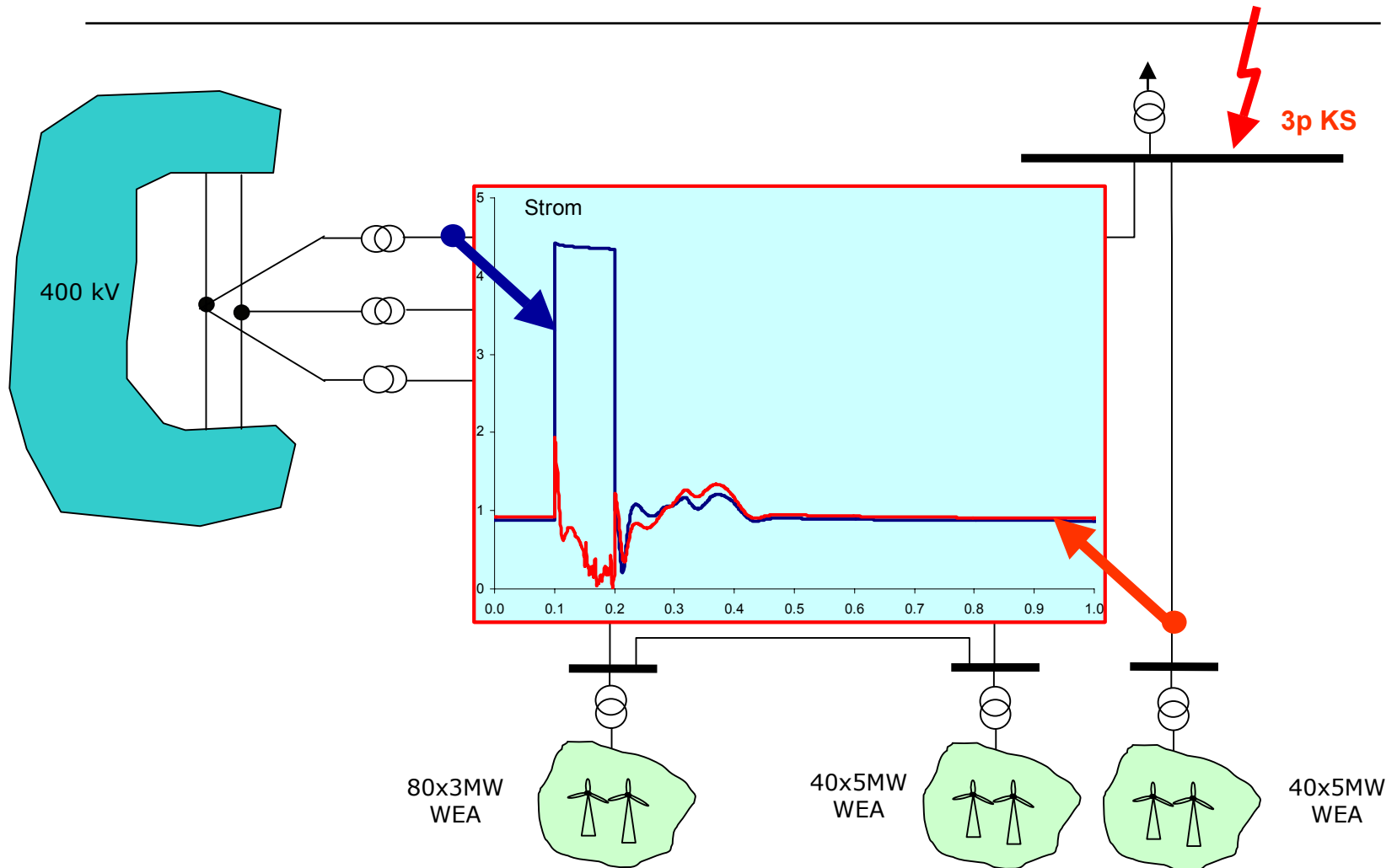
# Problem Kurzschlussfassung



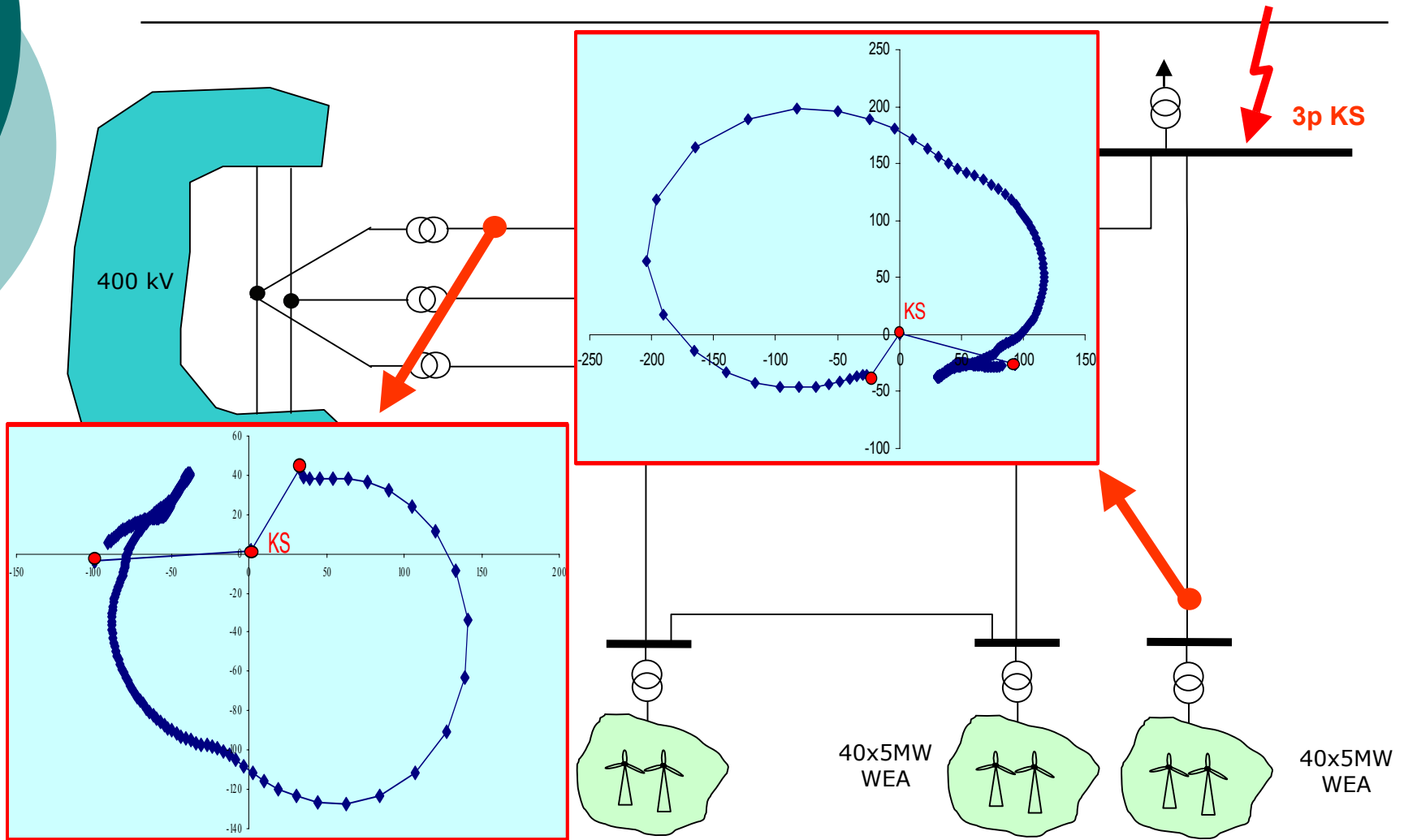
# 3 Windparks mit 80x3MW und 80x5MW Einzelanlagen mit ausführlicher Regelung, detaillierte Netztopologie



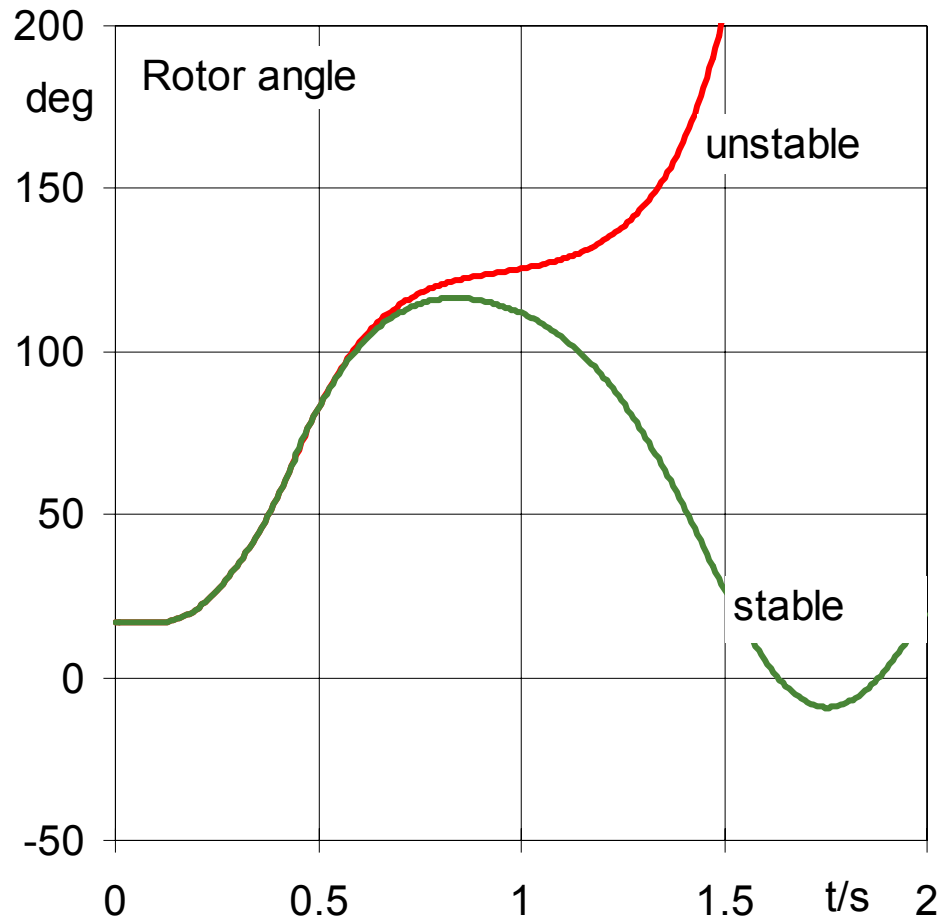
# Fehlererfassung



# Fehlererfassung



# Problem Transiente Stabilität

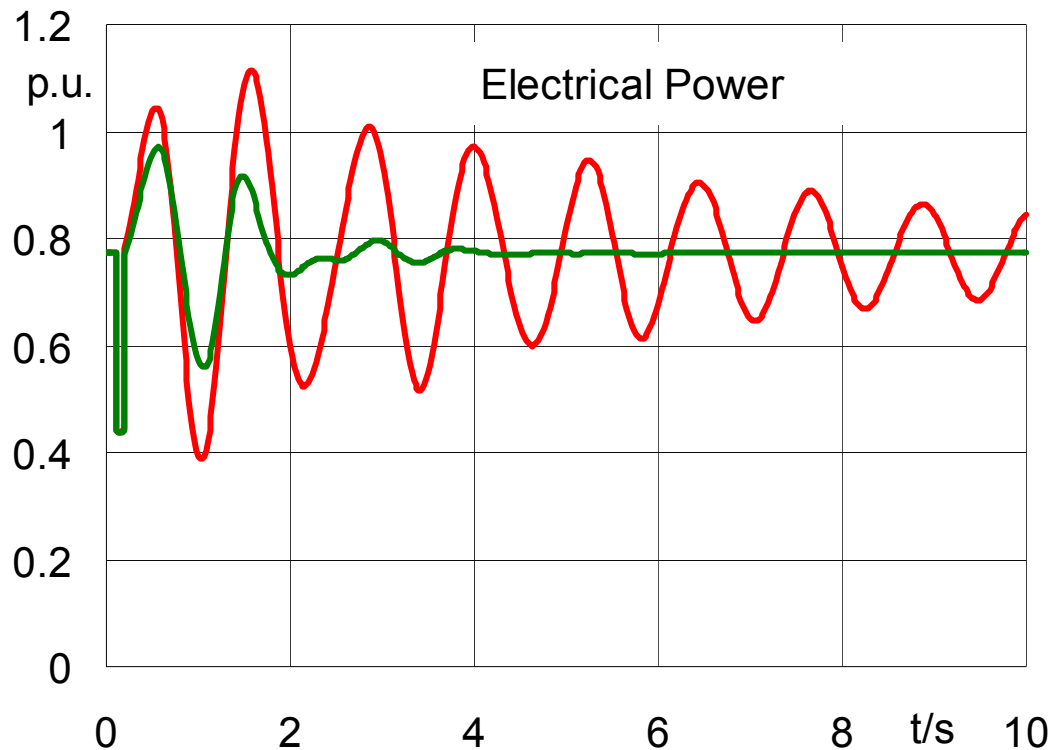


**Einfluss der zunehmenden WEA-Einspeisung auf kritische Abschaltzeit von konventionellen Synchrongeneratoren**

?



# Problem Oszillatorische Stabilität



**Einfluss der zunehmenden WEA-Einspeisung auf**

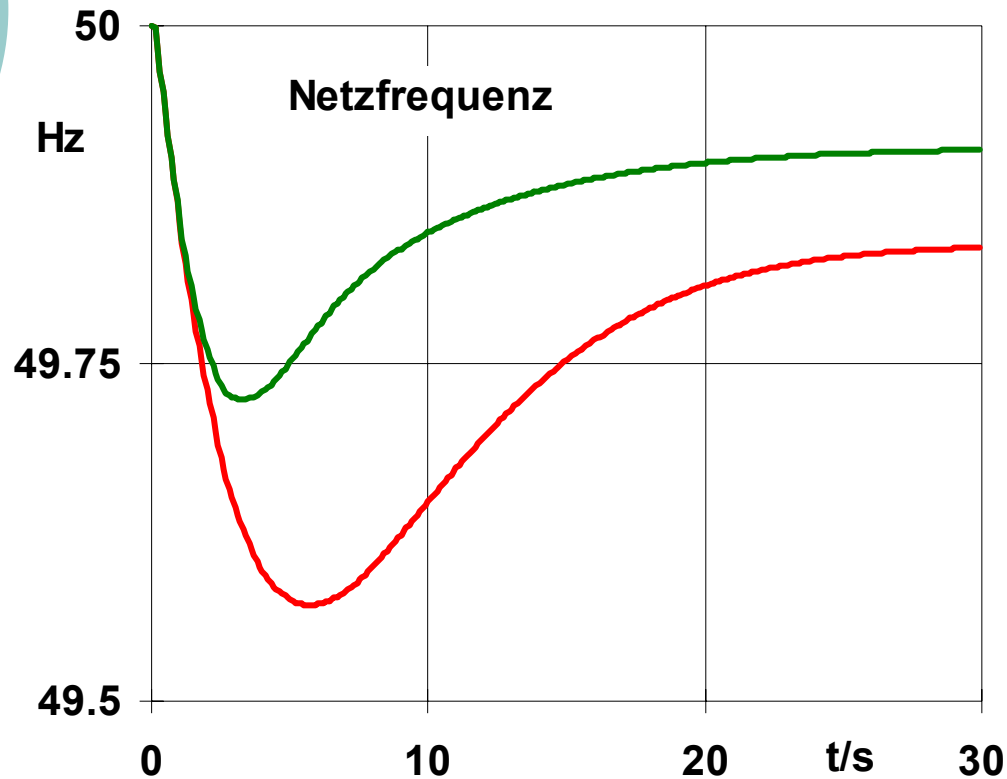
- Frequenz
- Dämpfung

?





# Problem Frequenzstabilität



**Einfluss der zunehmenden WEA-Einspeisung auf**

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

?



# Effekte durch WEA

---

Bisher

**Synchronmaschinen**

Zukünftig

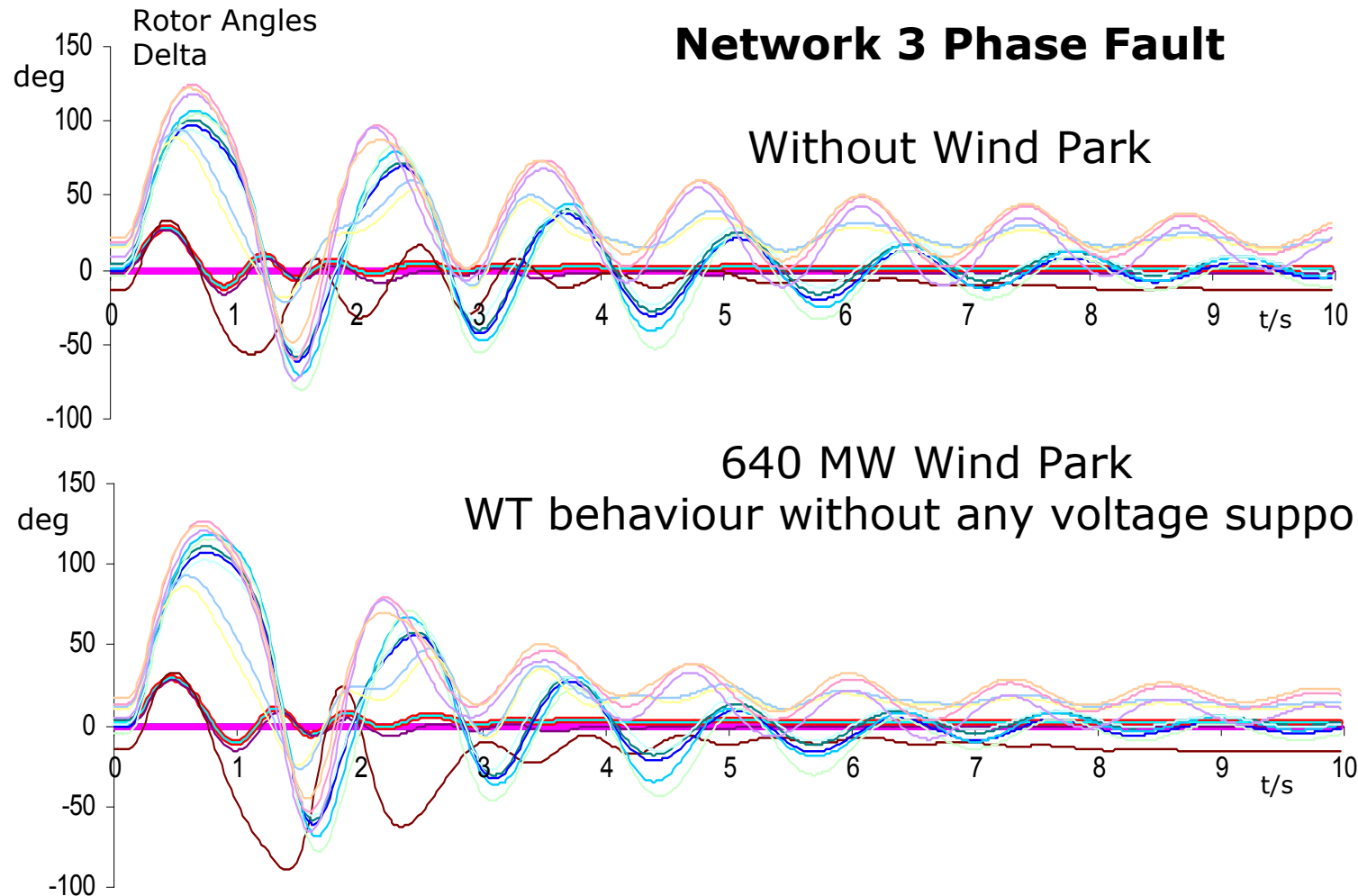
**Synchronmaschinen**

**WEA**

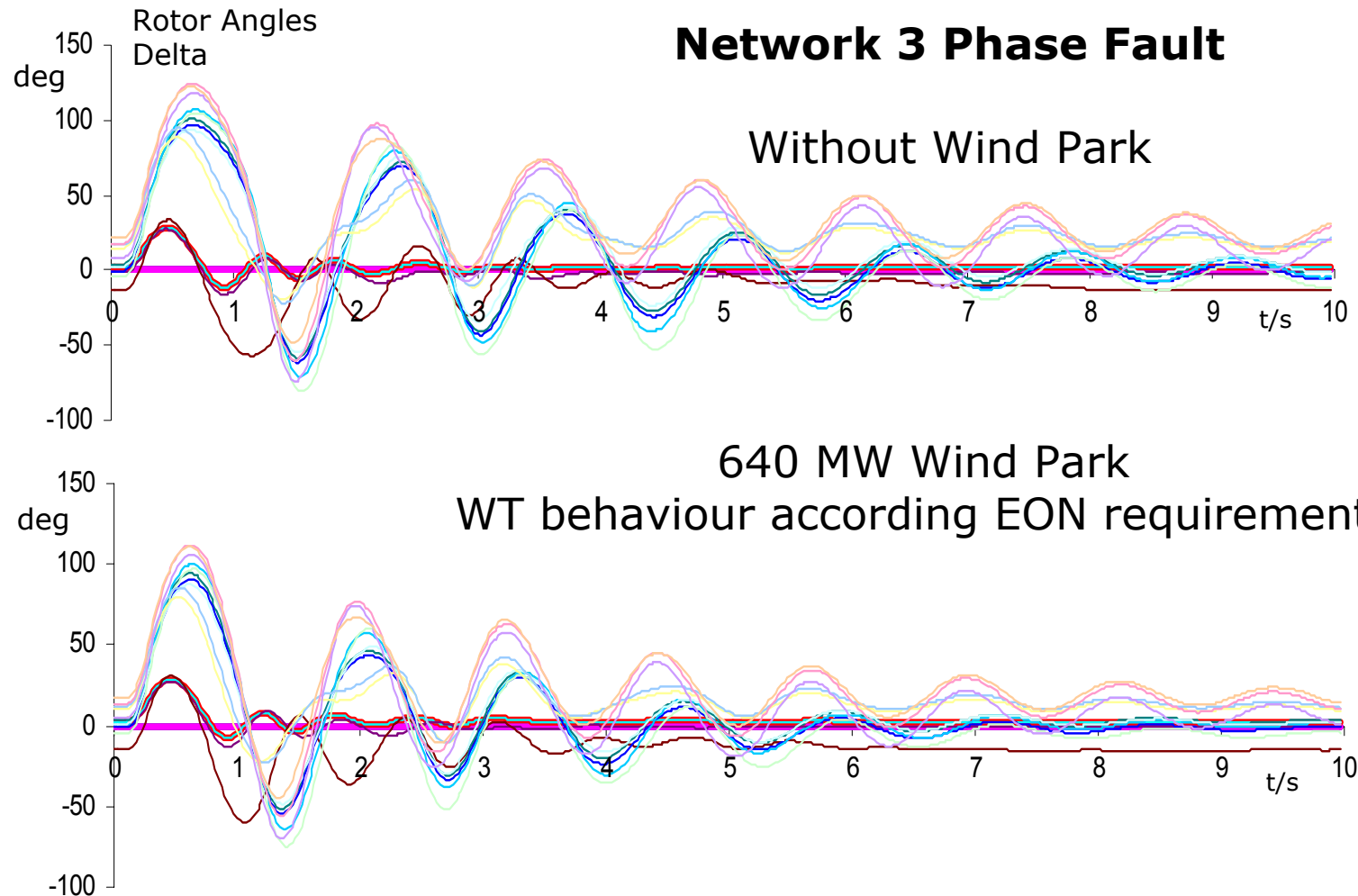
- Synchronmaschinen und WEA haben unterschiedliche dynamische Charakteristiken
- Anteil von Synchronmaschinen nimmt ab  
=> WEA müssen gewisse Aufgaben übernehmen



# Vergleich des Systemverhaltens (1)

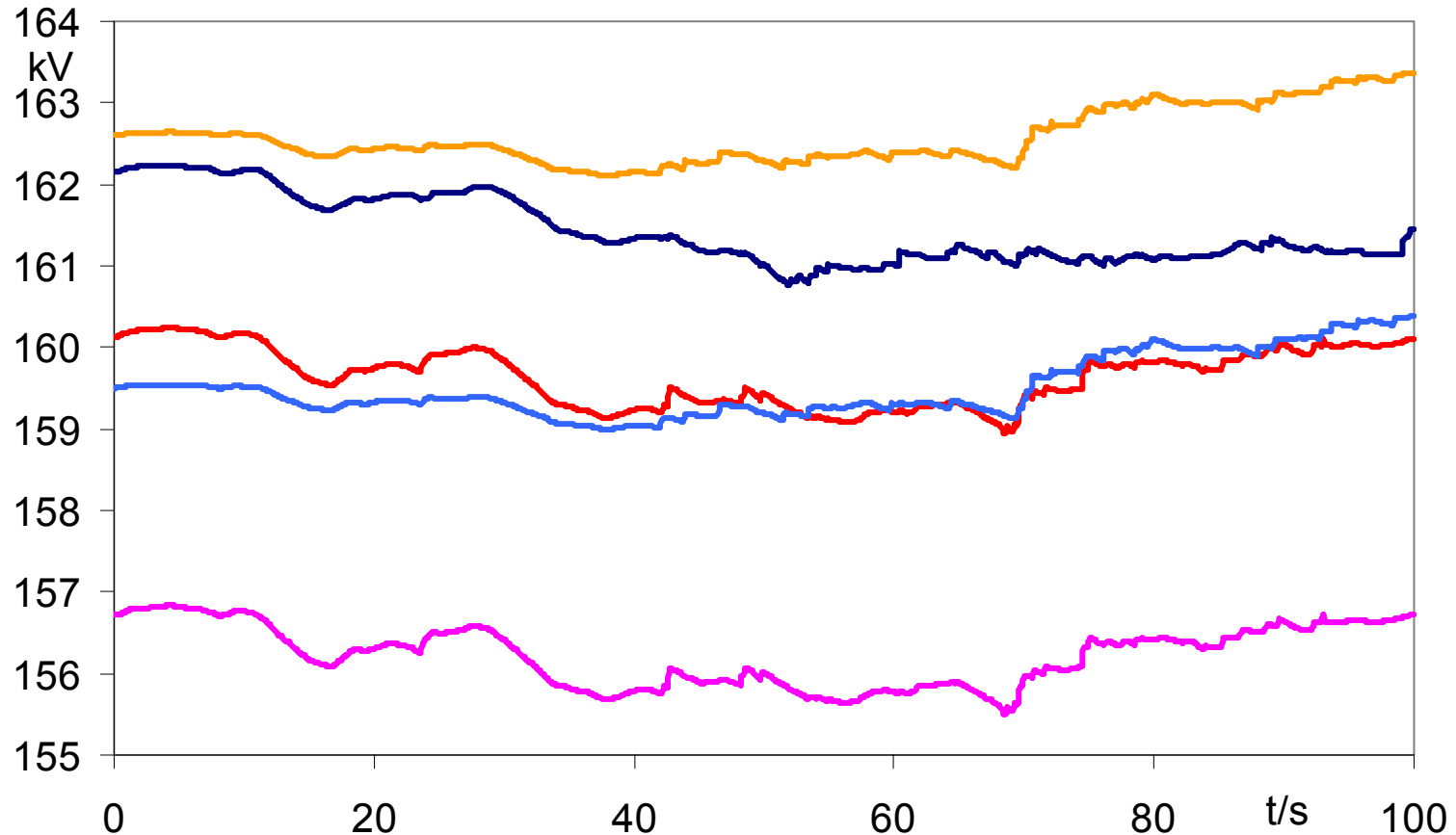


# Vergleich des Systemverhaltens (2)



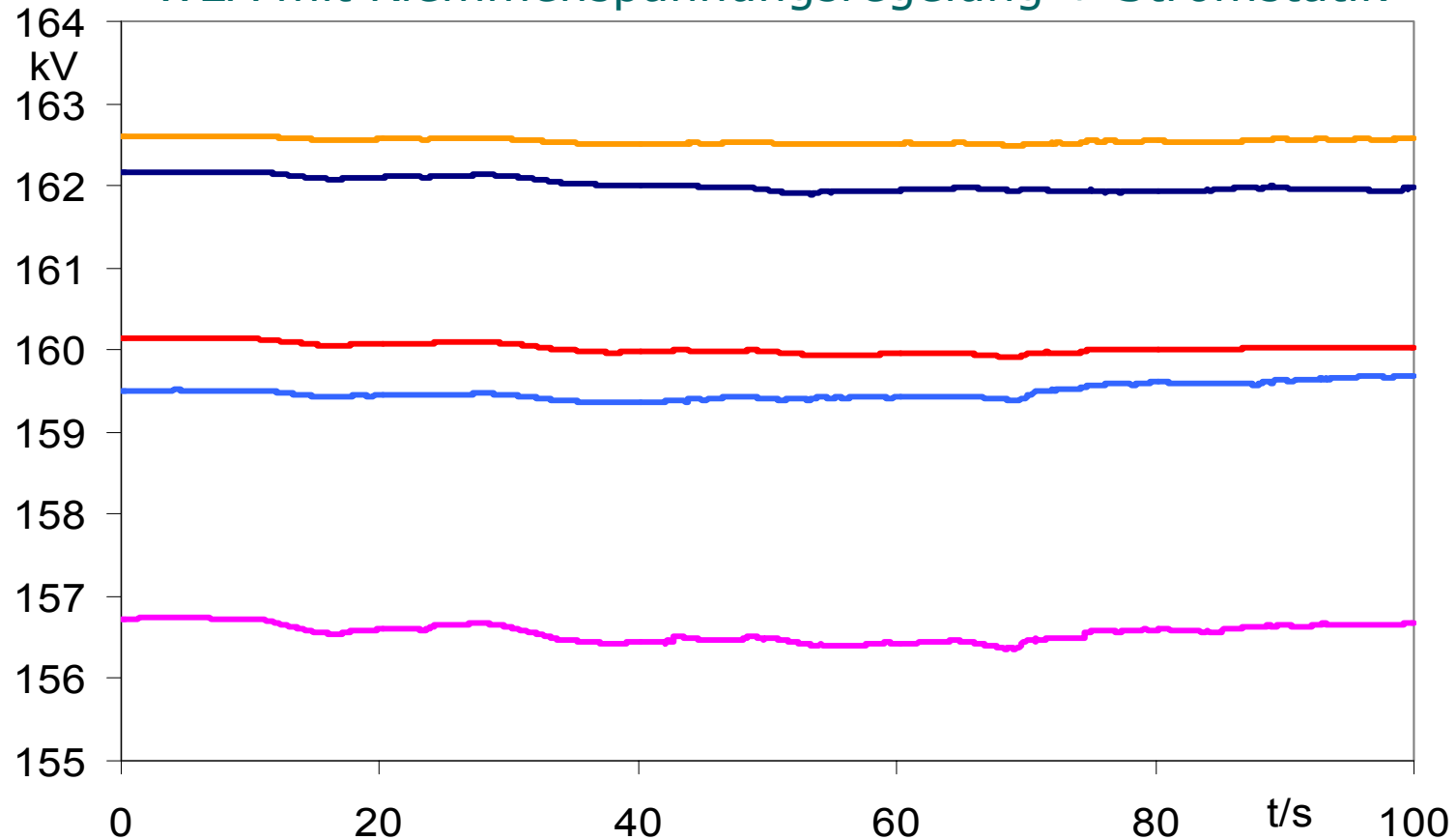
# Fluktuierende Windeinspeisung

Spannungen im 150-kV-Netz  
WEA speisen konstante Blindleistung



# Fluktuierende Windeinspeisung

Spannungen im 150-kV-Netz  
WEA mit Klemmenspannungsregelung + Stromstatik



# 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



Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!

