

# Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem der Zukunft



Prof. István Erlich

Universität Duisburg-Essen

Essen, 30. November 2011

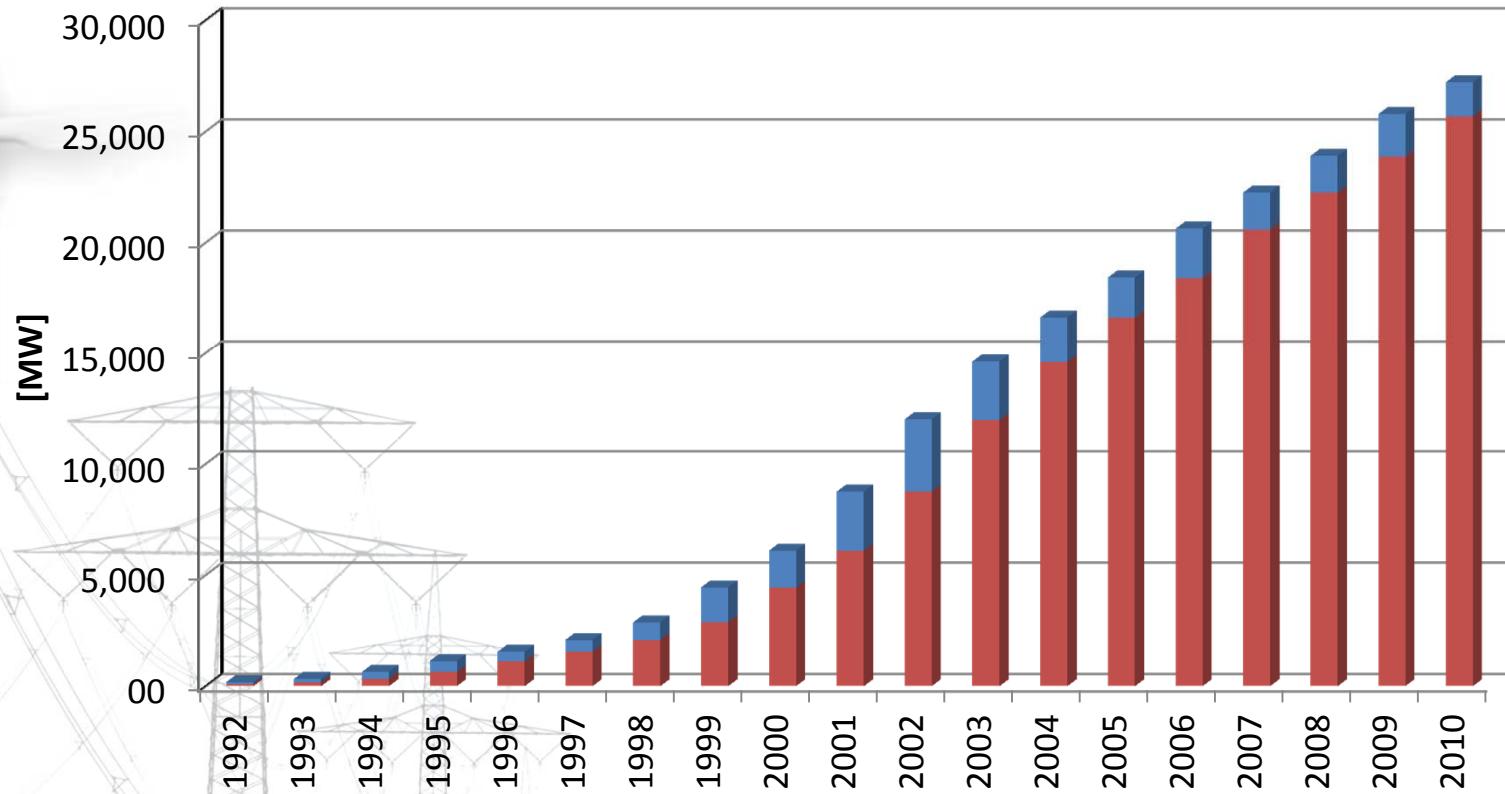
# Herausforderungen



- Beträchtlicher Anteil von erneuerbaren Quellen
- Volatile Einspeisung → Reservehaltung, Speicherung
- Technische Eigenschaften der neuen „erneuerbaren Kraftwerke“ unterscheiden sich von denen der herkömmlichen Kraftwerke
- Extensiver Stromhandel
- Große Distanzen zwischen Erzeuger- und Lastschwerpunkten
- Transportbedarf erfordert zusätzliche Leitungen
- Leitungsbau nur eingeschränkt möglich

## Deutschland

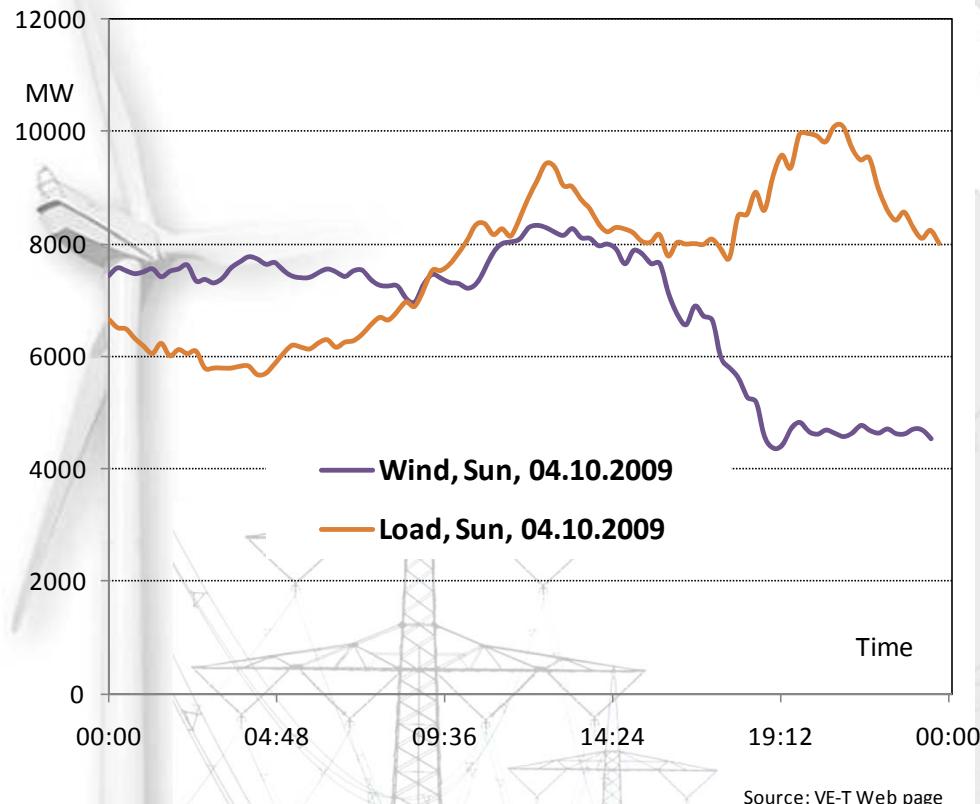
■ Installed capacity - start of the year      ■ Addition during the year



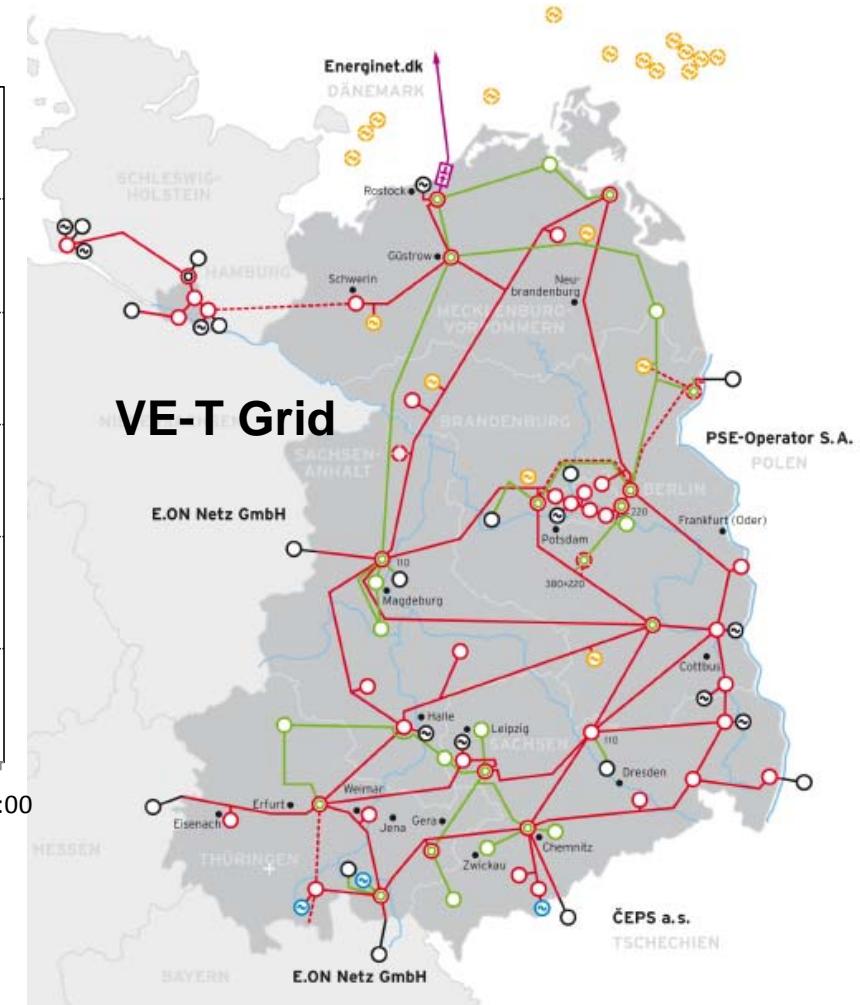
# Herausforderungen



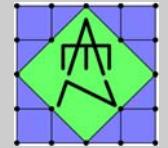
Load and Wind Power in VE-T Area



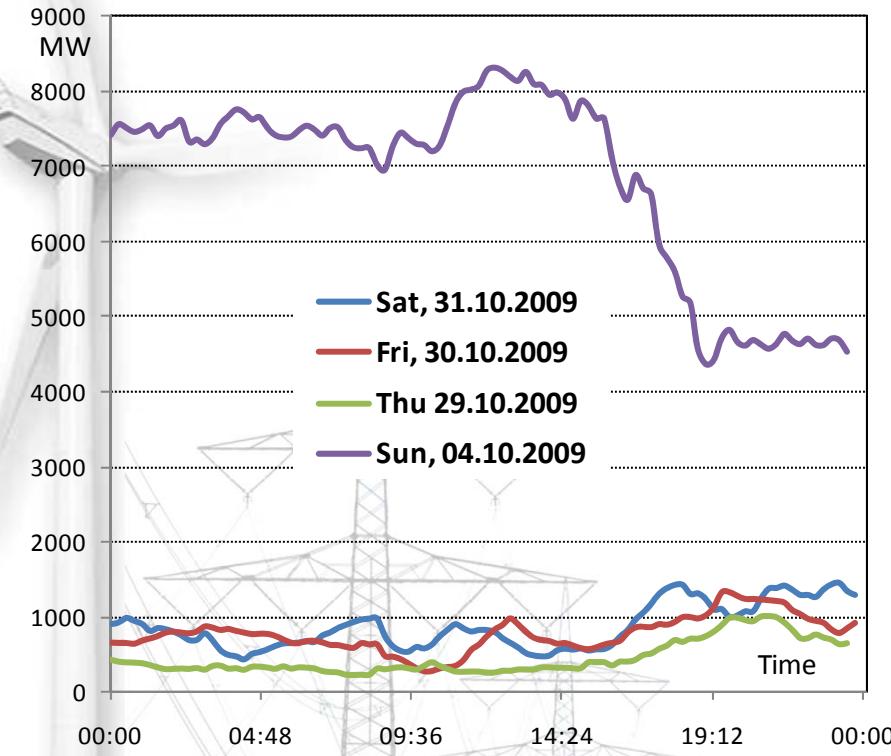
Installed Wind Power: ca. 10,500 MW  
Share of Wind Energy: ca. 20%



# Herausforderungen

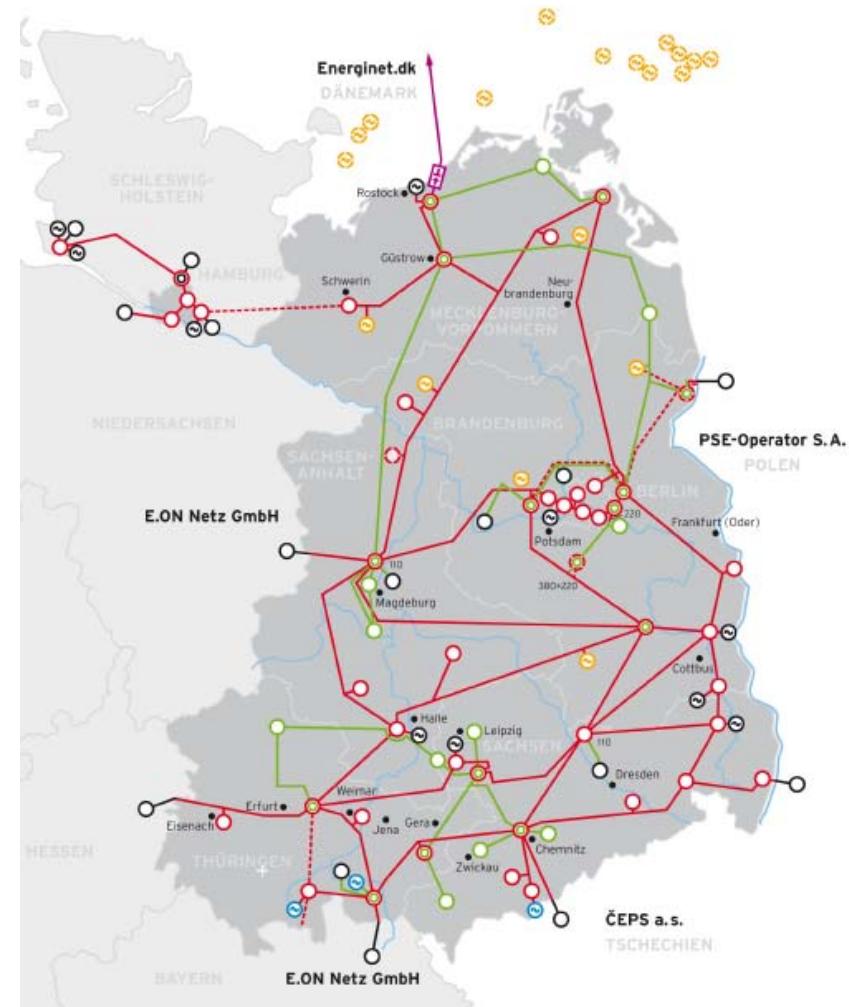


Wind Power in VE-T Area

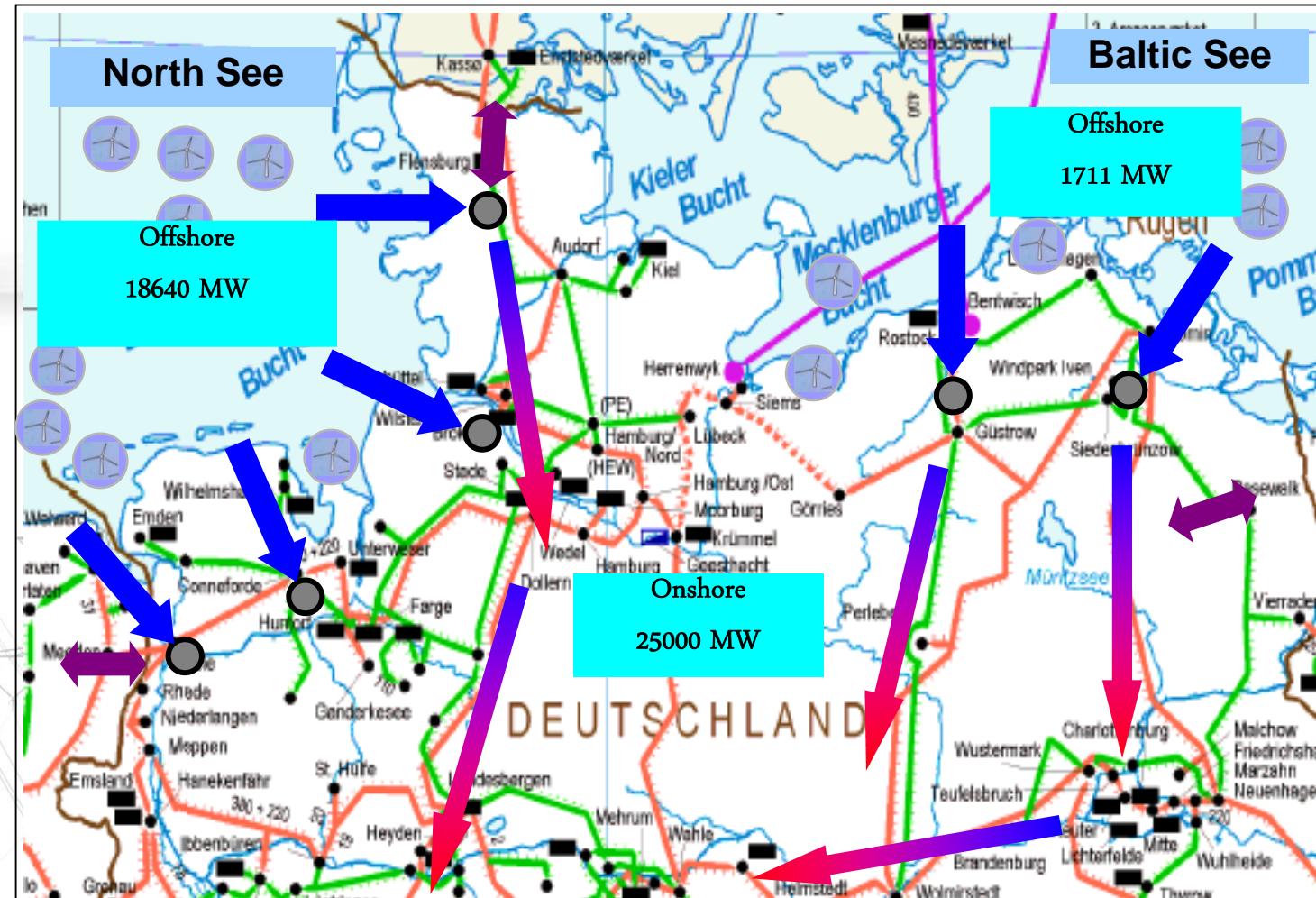


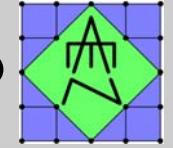
Installed Wind Power: ca. 10,500 MW  
Share of Wind Energy: ca. 20%

Source: VE-T Web page



# Brauchen wir neue Leitungen?

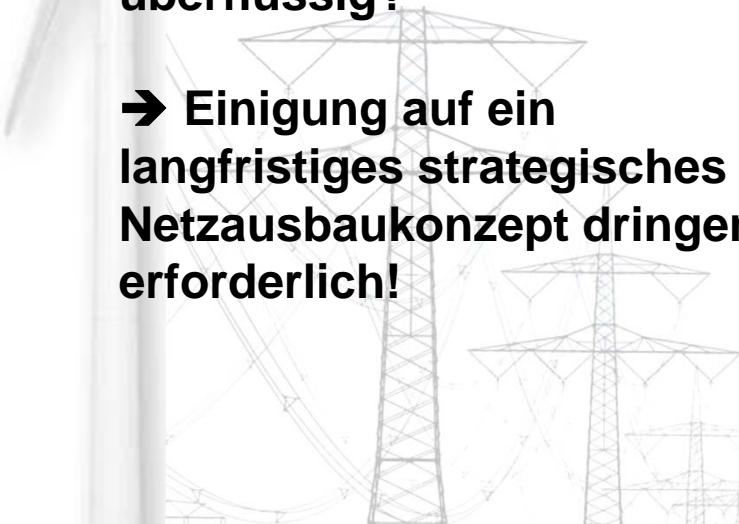




Die Frage ist weniger ob Ja oder Nein, sondern wann und welche Leitung ist erforderlich.

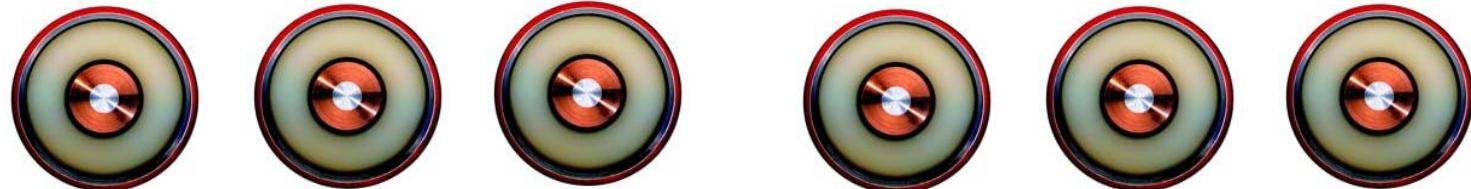
Machen lange „Overlay“-Leitungen evtl. lokale Netzverstärkungen überflüssig?

→ Einigung auf ein langfristiges strategisches Netzausbaukonzept dringend erforderlich!





400-kV-VPE-Kabel, zwei Stromkreise



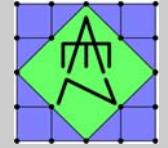
400-kV-Freileitung



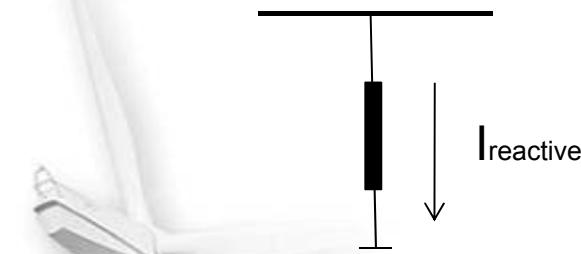
## Einige Aspekte:

- Kosten
- Genehmigungsprozedur
- Umwelteinfluss
- Elektromagnetische Felder
- Verfügbare Technologien
- Netzsicherheit
- Lebensdauer

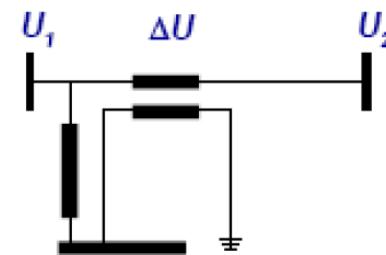
Freileitung wäre technisch und wirtschaftlich günstiger.



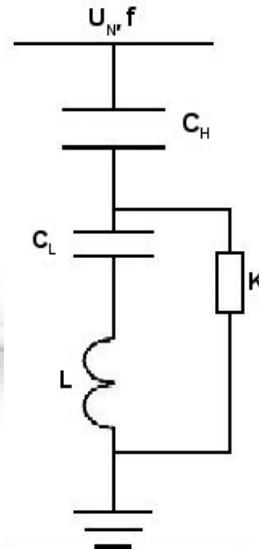
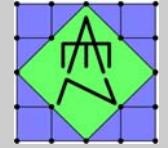
## Ladeleistungs-Kompensationsspule



## Phasenschieber-Transformator



# Zusätzliche Komponenten



**Kondensatorbank 400 kV**

Erhöhter Bedarf an kapazitiver Blindleistung

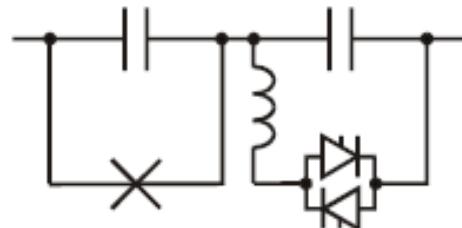


Quelle: SIEMENS AG, MSCDN Willington; GB; 225 Mvar 400 kV



## Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC)

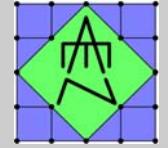
Zusätzlicher Nutzen der Thyristor-Regelung:



- Dynamische Leistungsaufteilung bei parallelen Zweigen
- Verbessertes dynamisches Verhalten, Dämpfung von Leistungspendelungen, dynamische Spannungsstabilität
- Vermeidung subsynchroner Resonanzen

**ABB**

	380-kV-Doppel-system	380-kV-Vierfachsystem	500-kV-Doppelsystem
<b>Masthöhe</b>	ca. 50 m	ca. 60 m	ca. 63 m
<b>max. Traversen- breite</b>	ca. 30 m	ca. 43 m	ca. 45 m

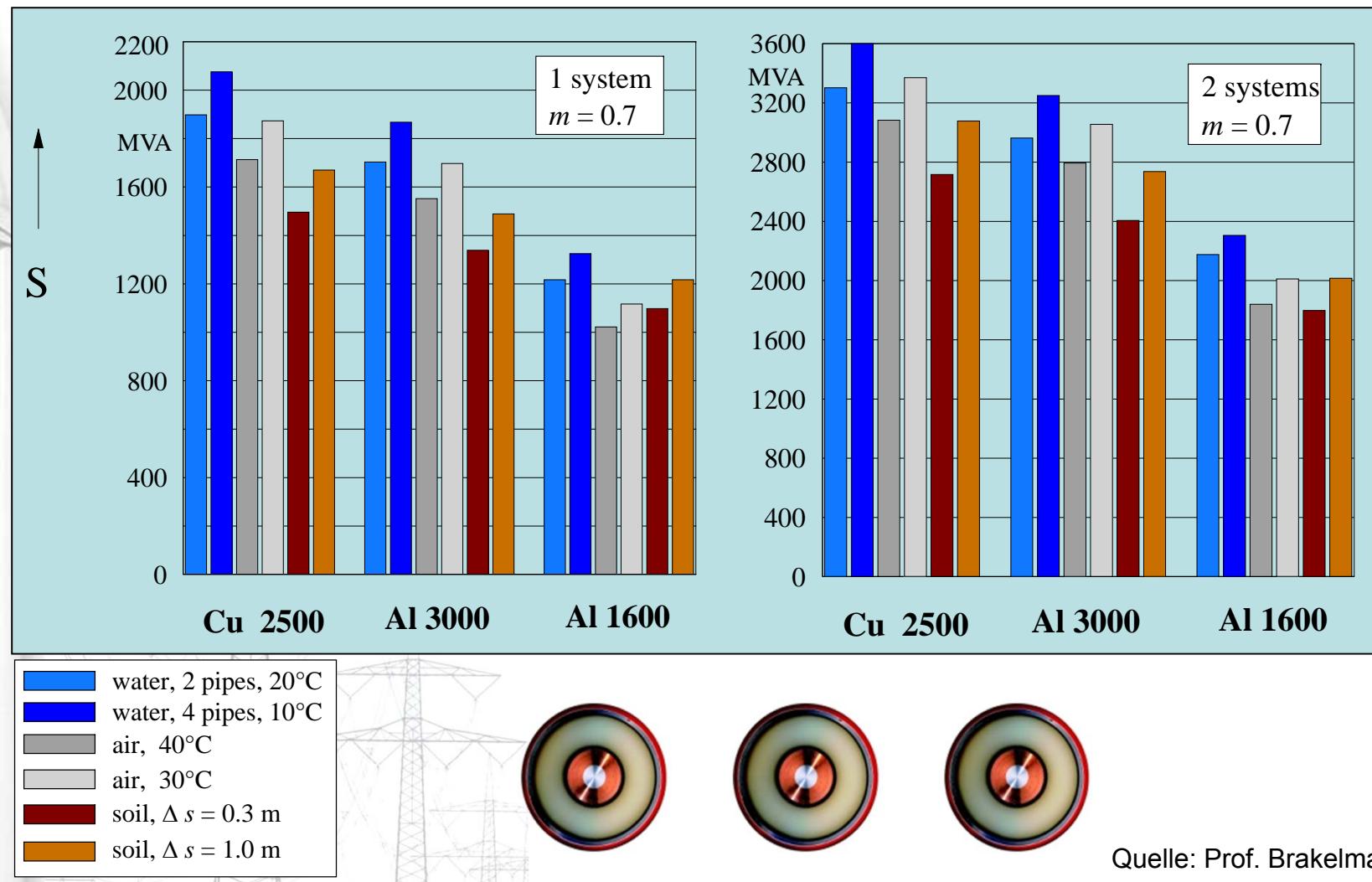


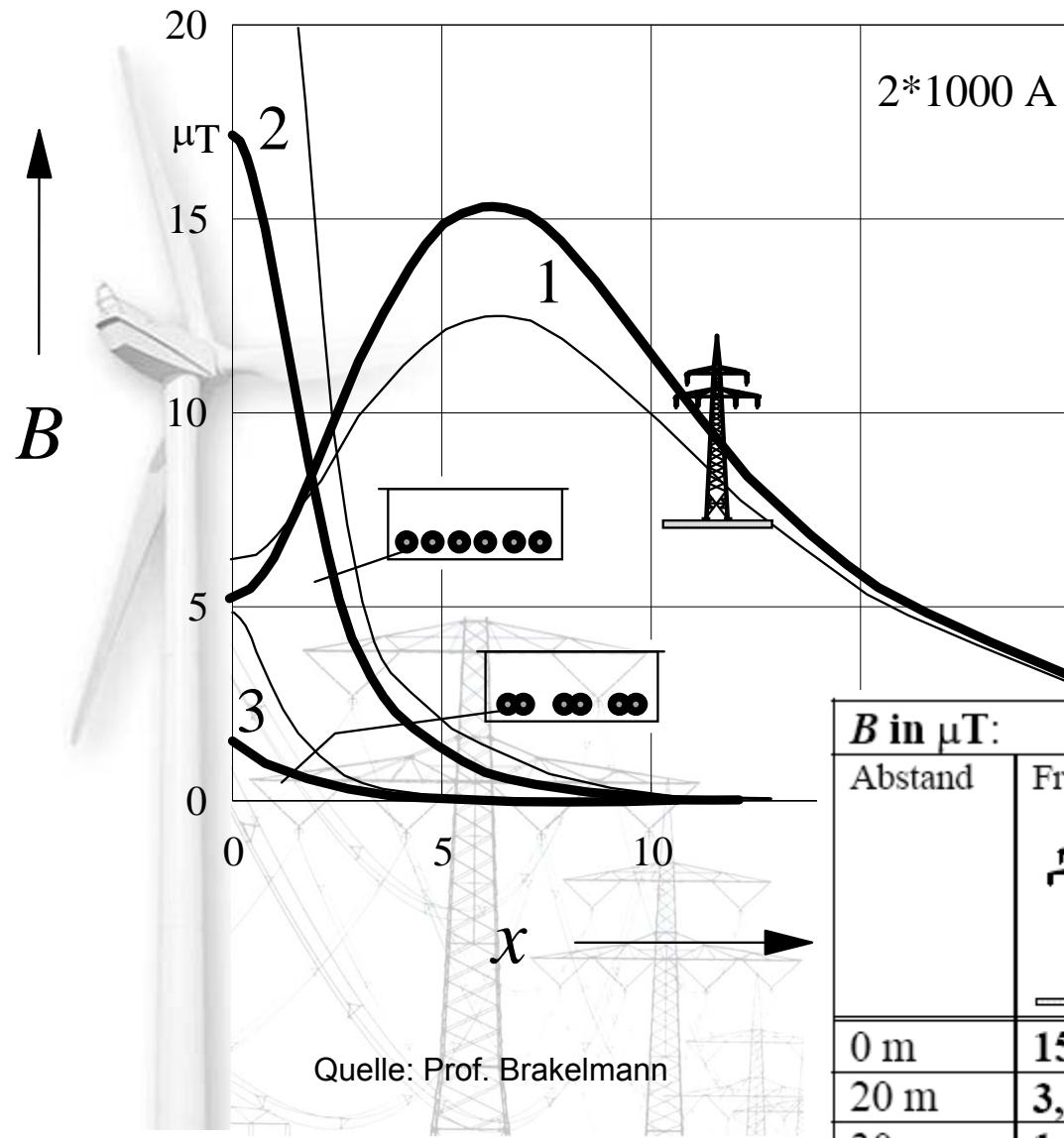
## Charakteristische Parameter

Mastbild		Donaumast/Doppelsystem	Donaumast/Doppelsystem
Spannung	kV	<b>380</b>	<b>500</b>
Masthöhe ca.	m	51	63
Traversenbreite ca.	m	40	45
Schutzstreifenbreite ca.	m	70	75
Anz. Teilleiter		4	4
Bündel-Abstand ca.	m	6,5	8,0
Teilleiterquerschnitt	mm <sup>2</sup>	<b>4*264/34</b>	<b>4*680/85</b>
Bündel-Durchmesser	mm	360	410
therm. Grenzleistung	MVA	<b>2*1790 (2*2720A)</b>	<b>2*3028 (2*4601A)</b>
Grenzleistung bei 1 A/mm <sup>2</sup>	MVA	2*698 (2*1061A)	2*1790 (2*2720A)
Widerst.belag $R'$ <sub>35°C</sub>	mΩ/km	<b>2*28,2</b>	<b>2*11,0</b>
Reaktanzbelag $X'_1$	mΩ/km	<b>2*260,0</b>	<b>2*250,0</b>
Verlustbelag bei Höchstlast	W/m	2*625,9	2*698,6
Verlustbelag bei 1 A/mm <sup>2</sup>	W/m	2*95,2	2*244,1



## Belastbarkeit

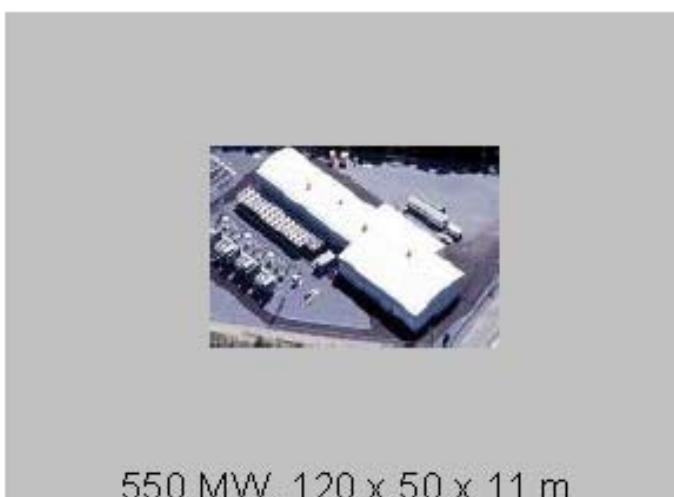




Vergleich Kabel - Freileitung



600 MW, 200 x 120 x 22 m



550 MW, 120 x 50 x 11 m

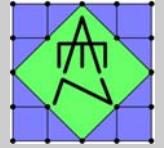
## **HVDC Classic 300 – 6.400 MW**

- Thyristor-Technology
- Overhead Lines and Oel Cables
- Reactive Power in steps

## **HVDC Light® 50 – 1.100 MW**

- IGBT-Technology
- Overhead Lines and VPE Cables
- Continues reactive power control
- Dynamic voltage control
- Black Start capability

**ABB**



## Alternativen:

- **400 kV, 50 Hz, AC:**

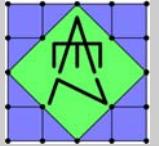
Wirtschaftlich bis 400-500 km, ggf. mit Serienkompensation; VPE Kabel vorhanden; voll integrierbar in das bestehende Netz

- **HVDC Classic:**

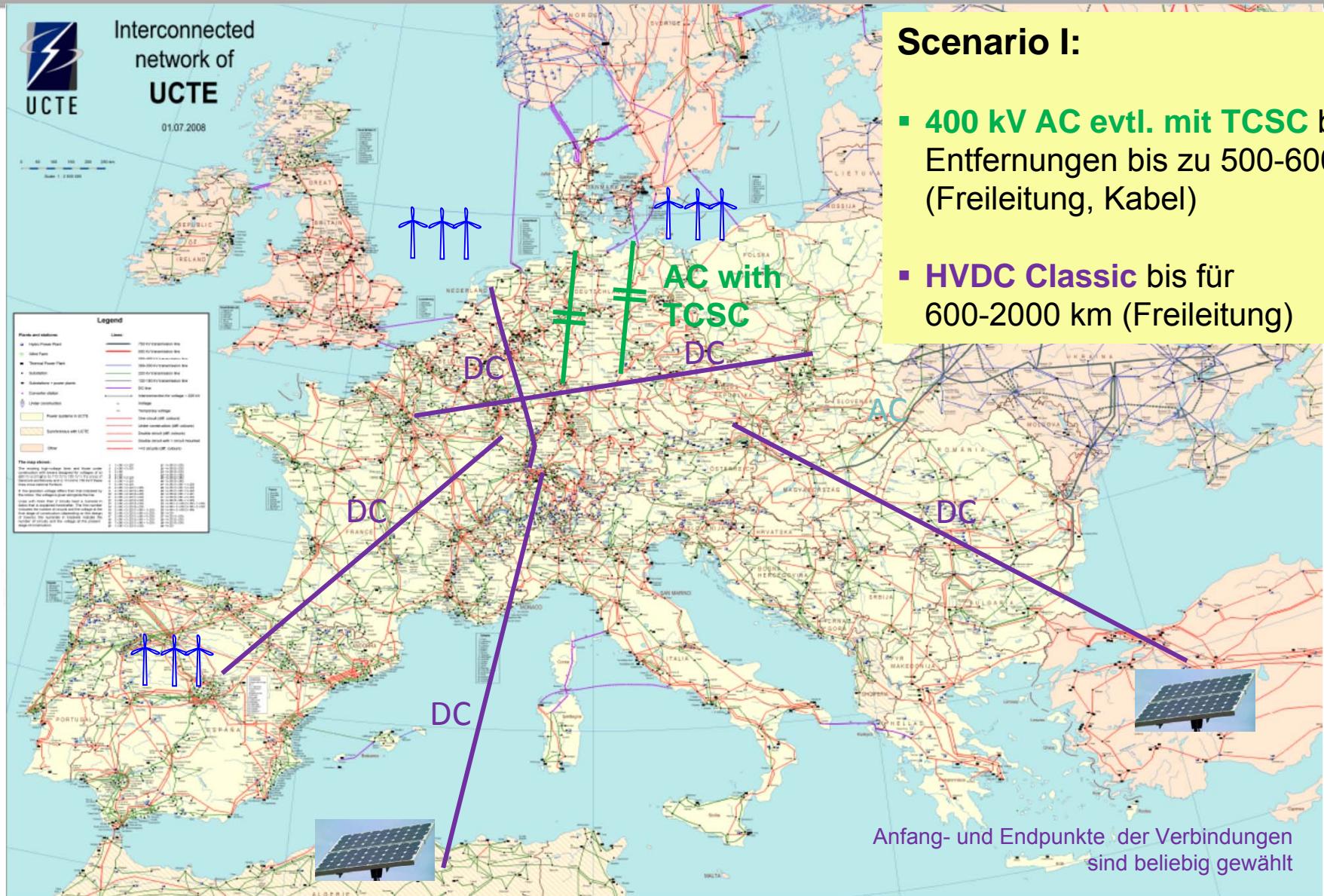
500-800 kV, Entfernungen 400-2000 km; nur Ölkabel vorhanden → kommt nur als Freileitung in Frage; nicht netzwerkfähig

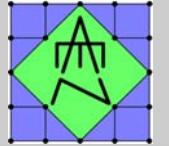
- **VSC-HVDC (HVDC Light, Plus):**

Nur bis 300 kV und 1100 MW; Entfernungen 400-1000 km; VPE-Kabel bis 300 kV; netzwerkfähig aber **kein Gleichstromschalter vorhanden**

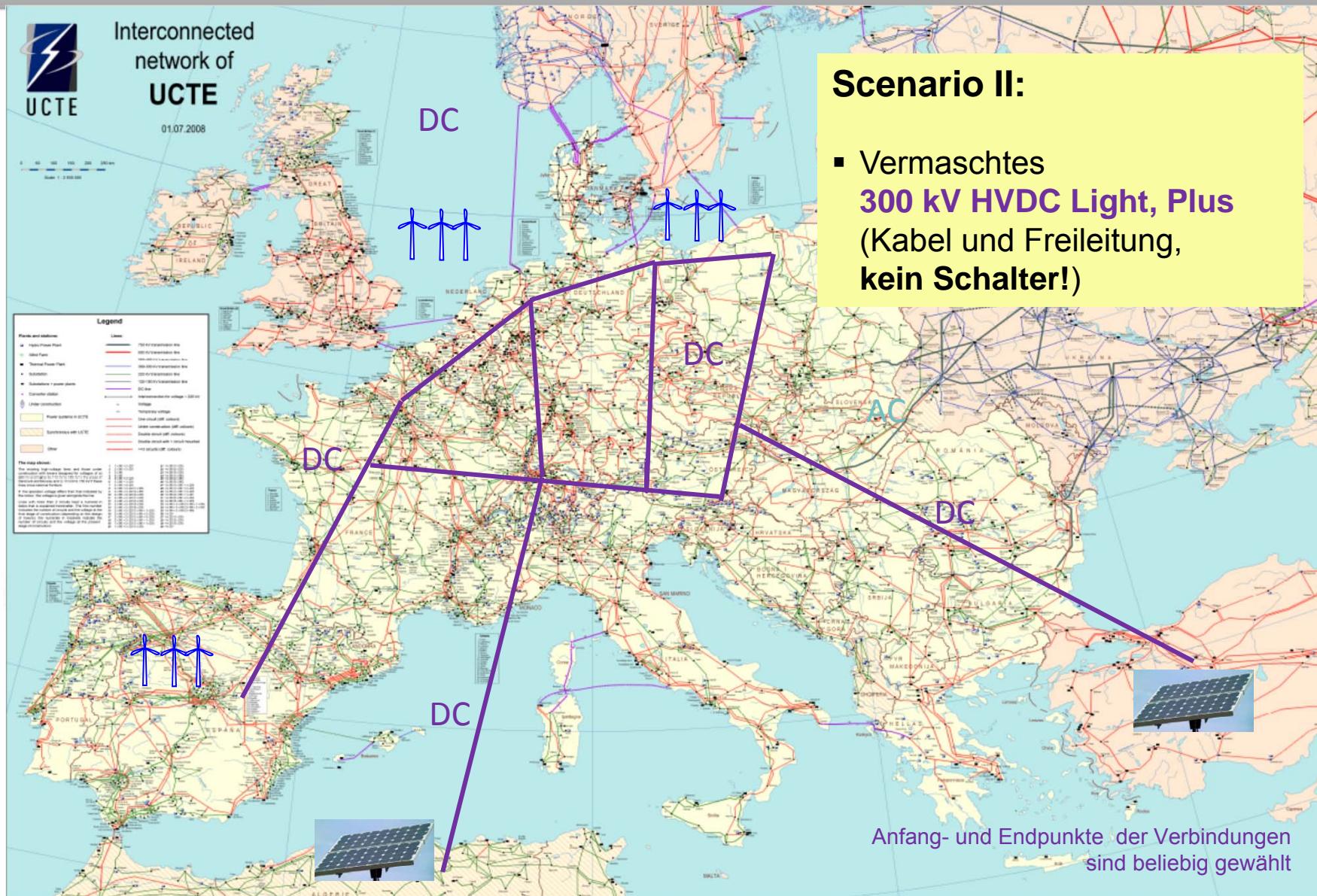


# Overlaynetz

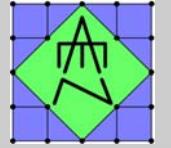




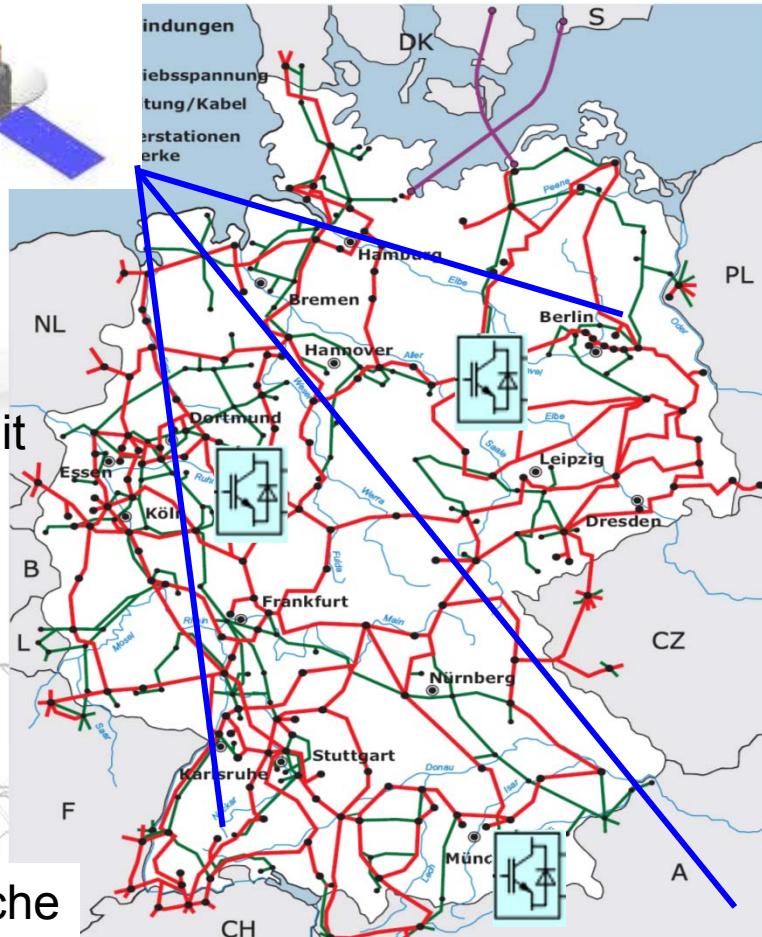
# Overlaynetz



# Intelligente Netze



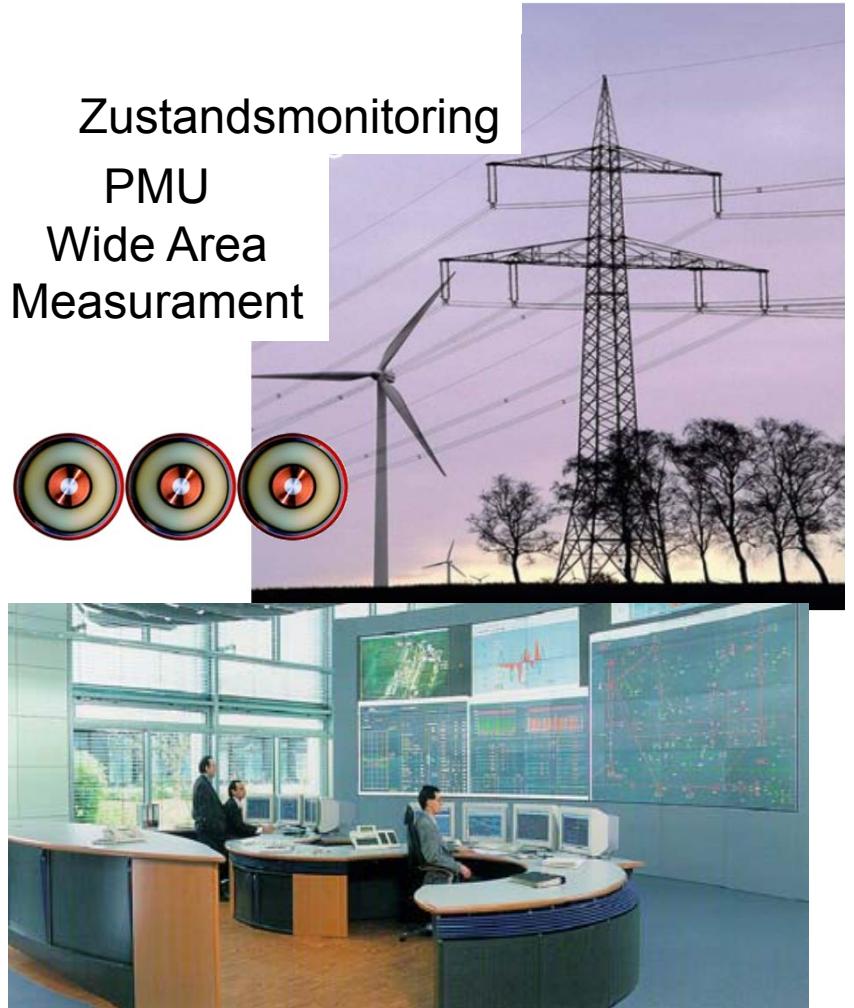
Dynamische  
Steuerung mit  
Leistungs-  
elektronik



Dynamische  
Netzauslastung

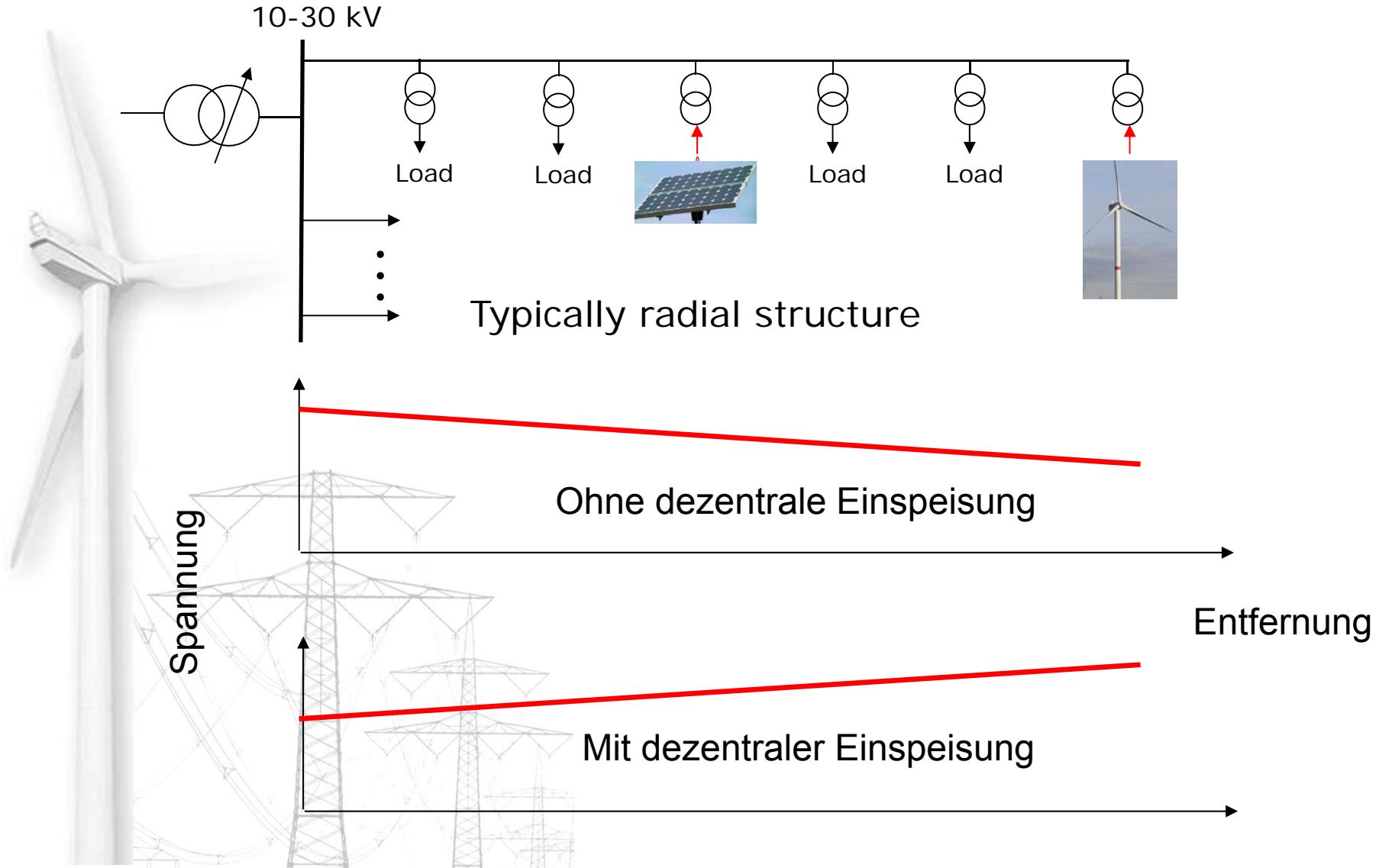
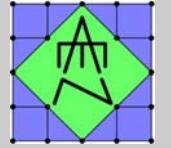
Wide Area Protection and  
Emergency control,  
Self-healing Grids

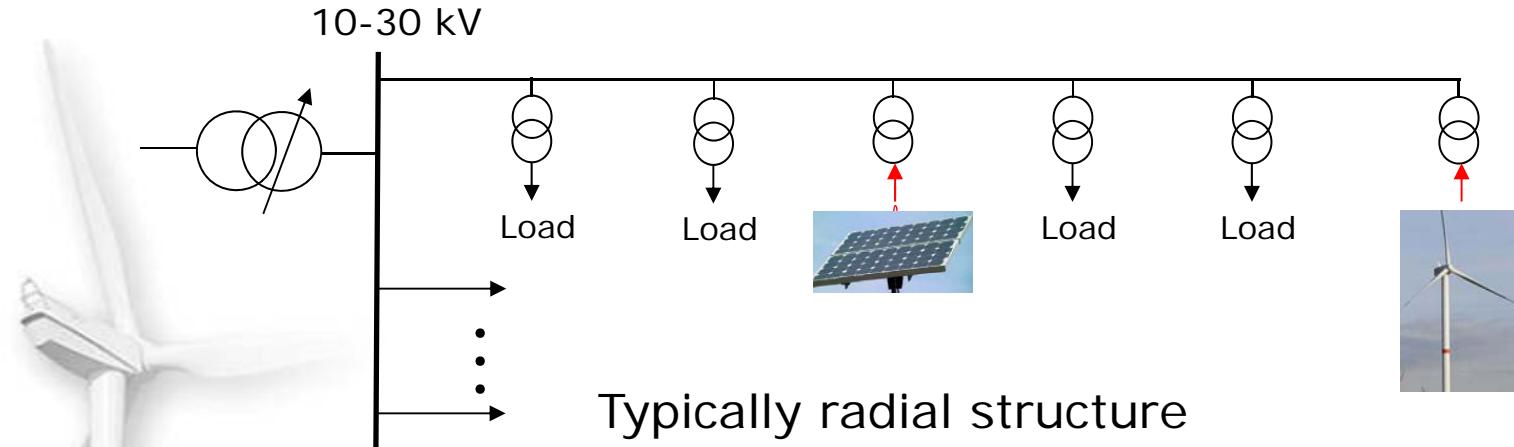
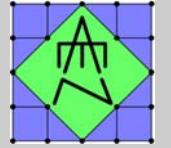
Zustandsmonitoring  
PMU  
Wide Area  
Measurament



Demand Side Management 20

# Verteilnetze





- Beträchtlicher Ausbaubedarf
- Änderung des Schutzkonzeptes (möglich Rückspeisung)
- Problem Netzinselung
- Spannungshaltung: koordinierte Spannungsregelung, evt. Stufensteller zu 0.4 kV



- Volatile Leistungsflüsse → Netzführung wird schwieriger
- Lange Leistungstransite, höher ausgelastete Leitungen → geringere Sicherheitsreserven
- Smart Grids → besserer Überblick und Emergency Control, dynamische Netzauslastung
- Leistungselektronik im Netz → schnelle Stellmöglichkeiten aber auch mehr Fehlerquellen

Aber: Mittel- und langfristig gibt es keine Alternative zur Nutzung erneuerbaren Energien!



A photograph of a wind farm. In the foreground, a single wind turbine with three blades is visible, angled towards the right. Behind it is a complex electrical substation with several large green metal cabinets, power lines, and insulators. The substation is situated in a green field under a clear blue sky. In the far distance, another wind turbine can be seen.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. I. Erlich

Universität Duisburg-Essen  
FG Elektrische Anlagen und Netze