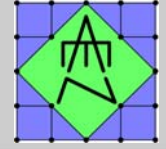


Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem der Zukunft

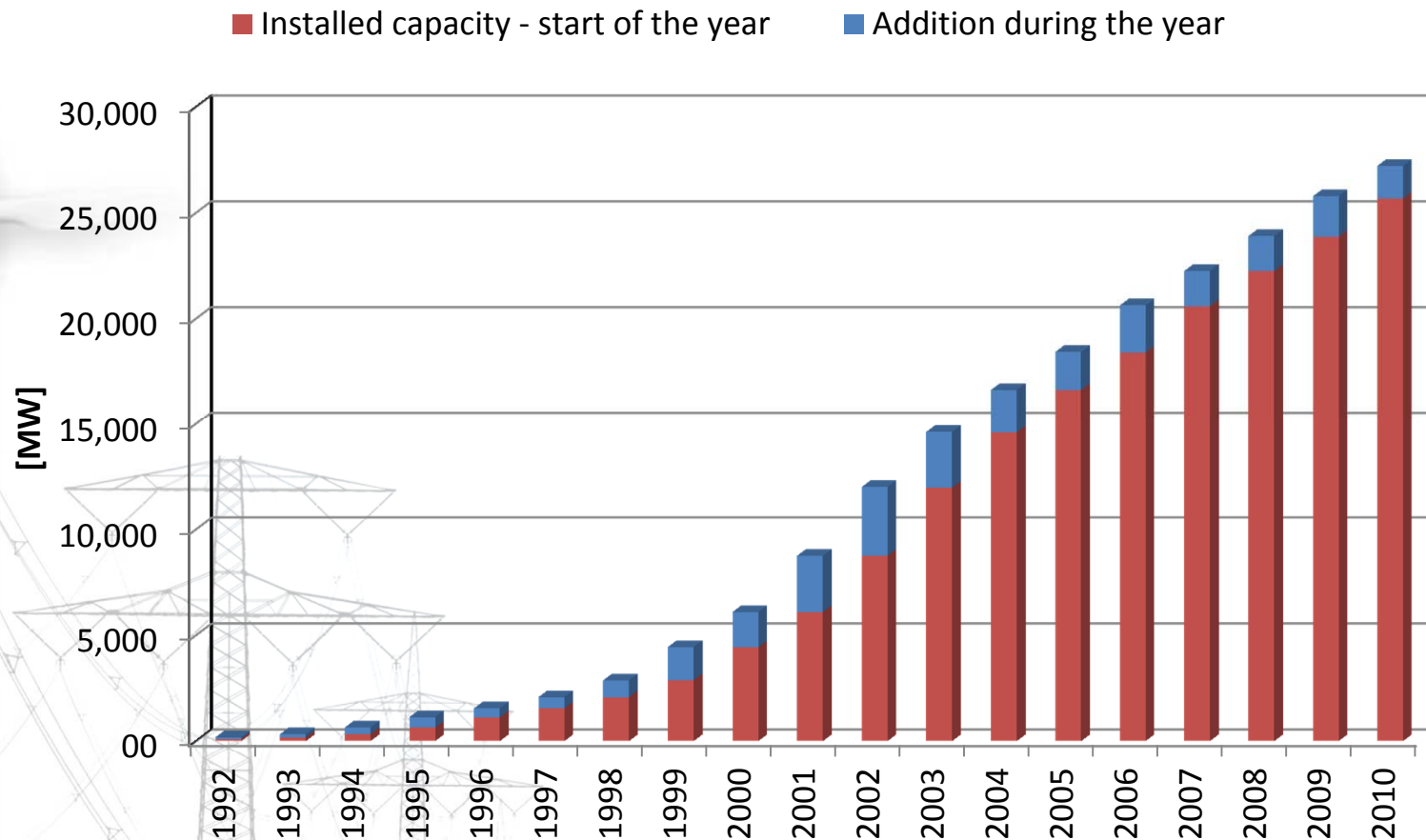
Prof. István Erlich
Universität Duisburg-Essen
Essen, 30. November 2011

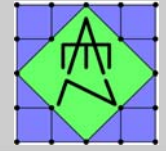


- Beträchtlicher Anteil von erneuerbaren Quellen
- Volatile Einspeisung → Reservehaltung, Speicherung
- Technische Eigenschaften der neuen „erneuerbaren Kraftwerke“ unterscheiden sich von denen der herkömmlichen Kraftwerke
- Extensiver Stromhandel
- Große Distanzen zwischen Erzeuger- und Lastschwerpunkten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

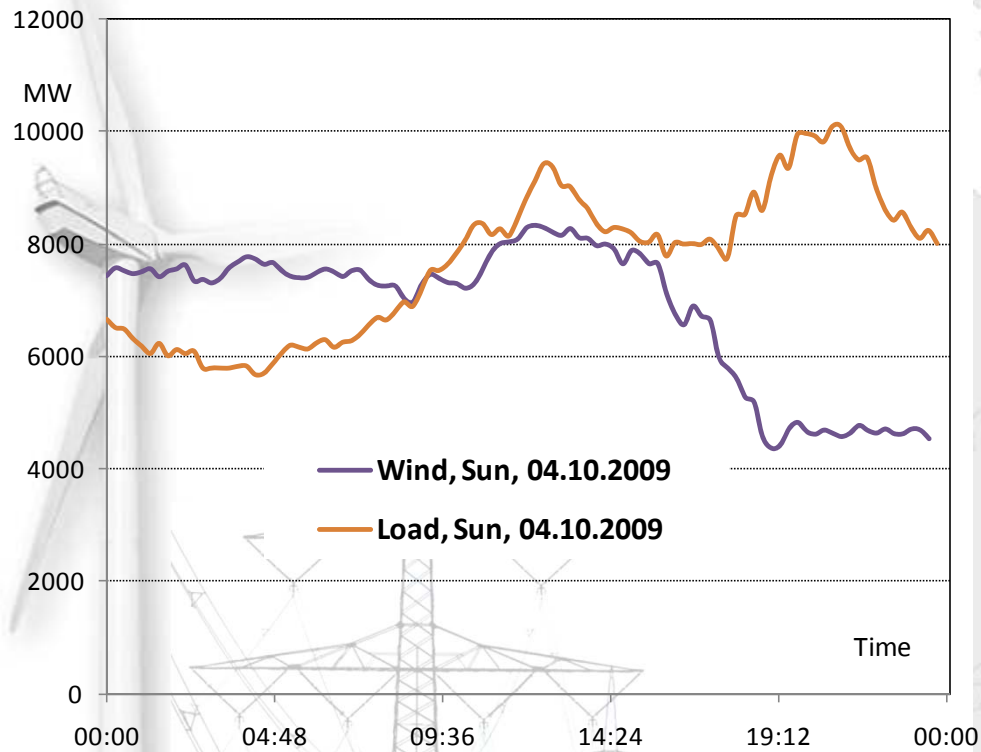


Deutschland



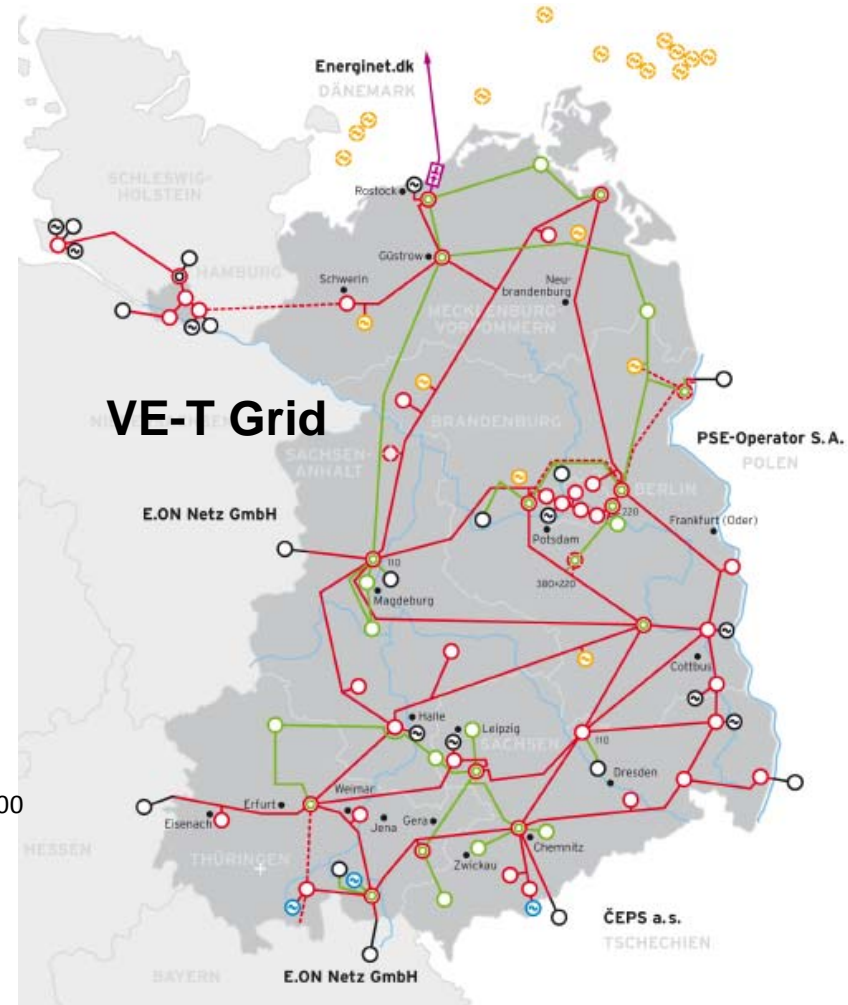


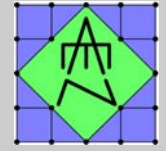
Load and Wind Power in VE-T Area



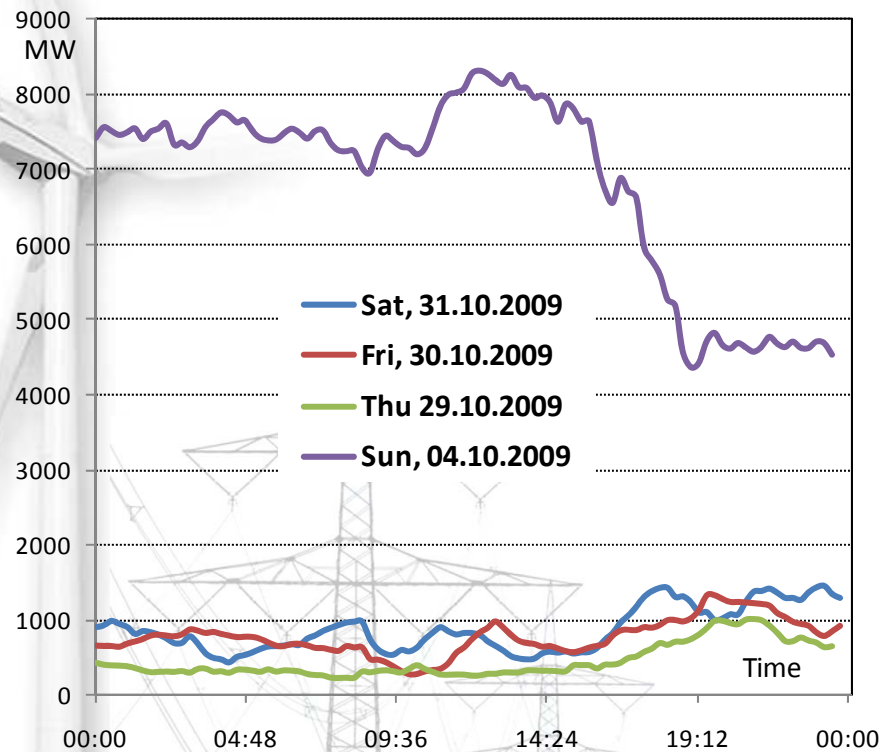
Source: VE-T Web page

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



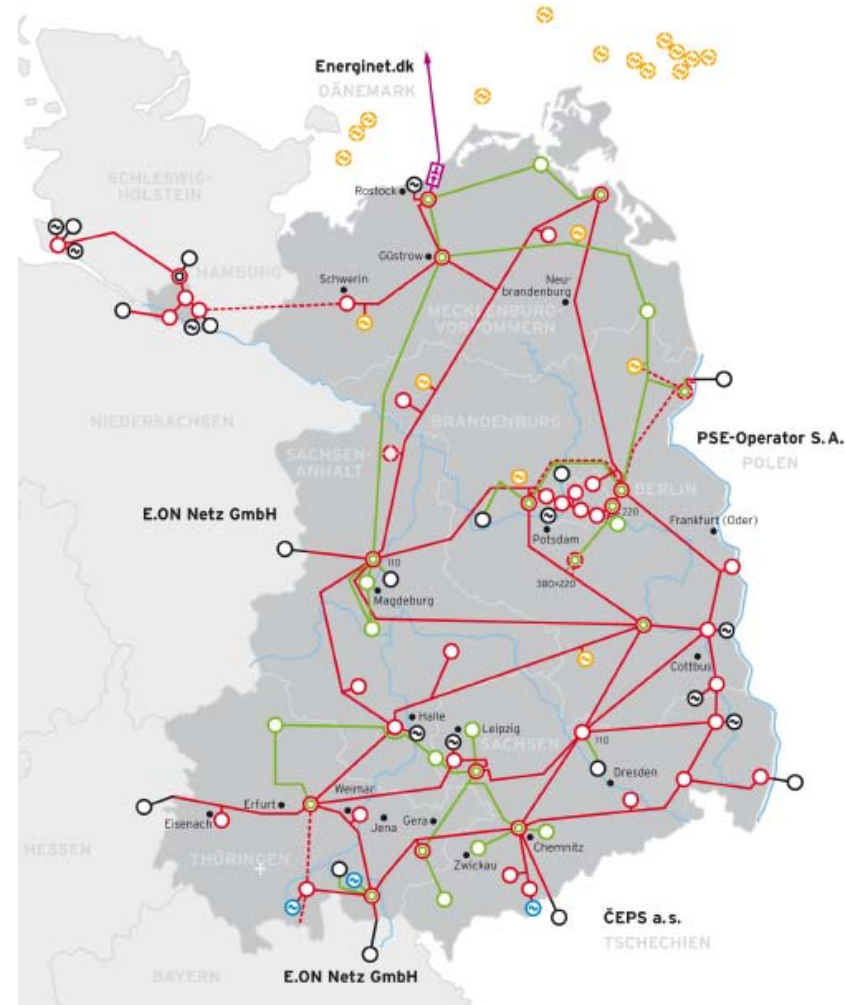


Wind Power in VE-T Area

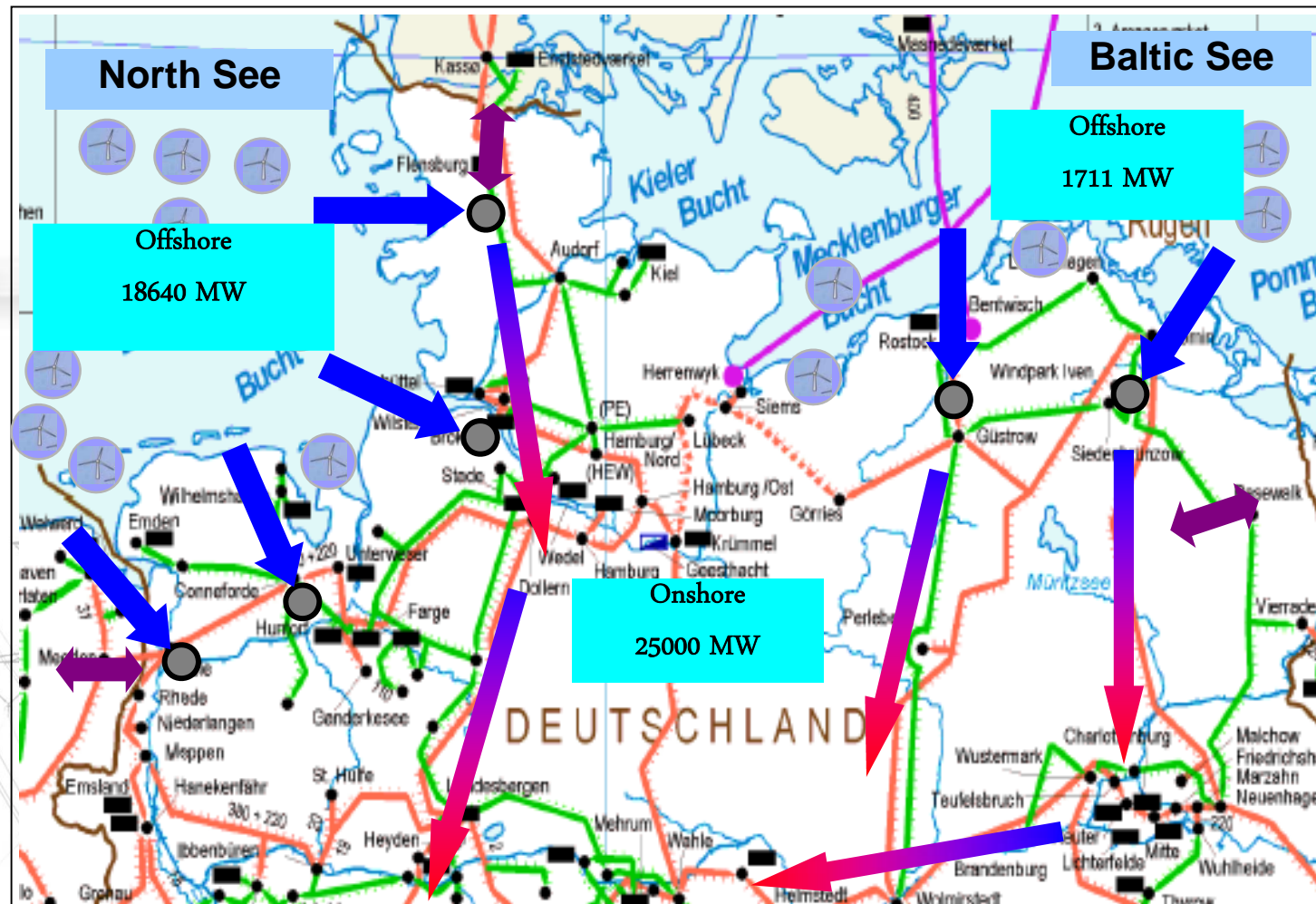
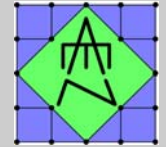


Installed Wind Power: ca. 10,500 MW
Share of Wind Energy: ca. 20%

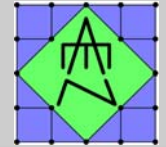
Source: VE-T Web page



Brauchen wir neue Leitungen?



Brauchen wir neue Leitungen?



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

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

→ Einigung auf ein langfristiges strategisches Netzausbaukonzept dringend erforderlich!



Kabel oder Freileitung?



400-kV-VPE-Kabel, zwei Stromkreise



400-kV-Freileitung



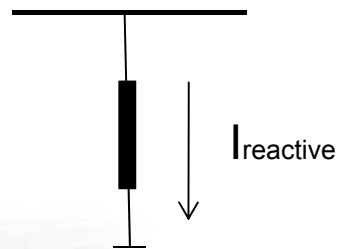
Einige Aspekte:

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

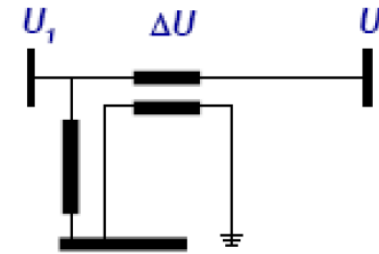
Freileitung wäre technisch und wirtschaftlich günstiger.



Ladeleistungs-Kompensationsspule



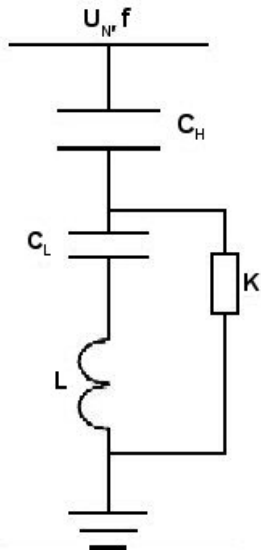
Phasenschieber-Transformator



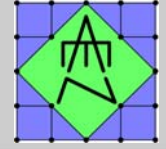


Kondensatorbank 400 kV

Erhöhter Bedarf an kapazitiver Blindleistung

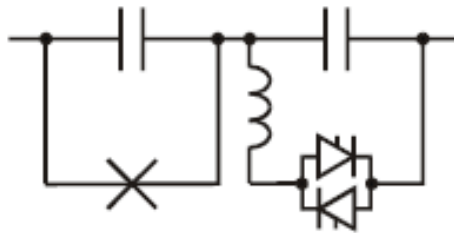


Quelle: SIEMENS AG, MSCDN Willington; GB; 225 Mvar 400 kV



Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC)

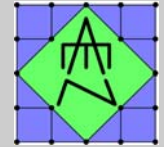
Zusätzlicher Nutzen der Thyristor-Regelung:



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

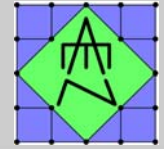
ABB

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

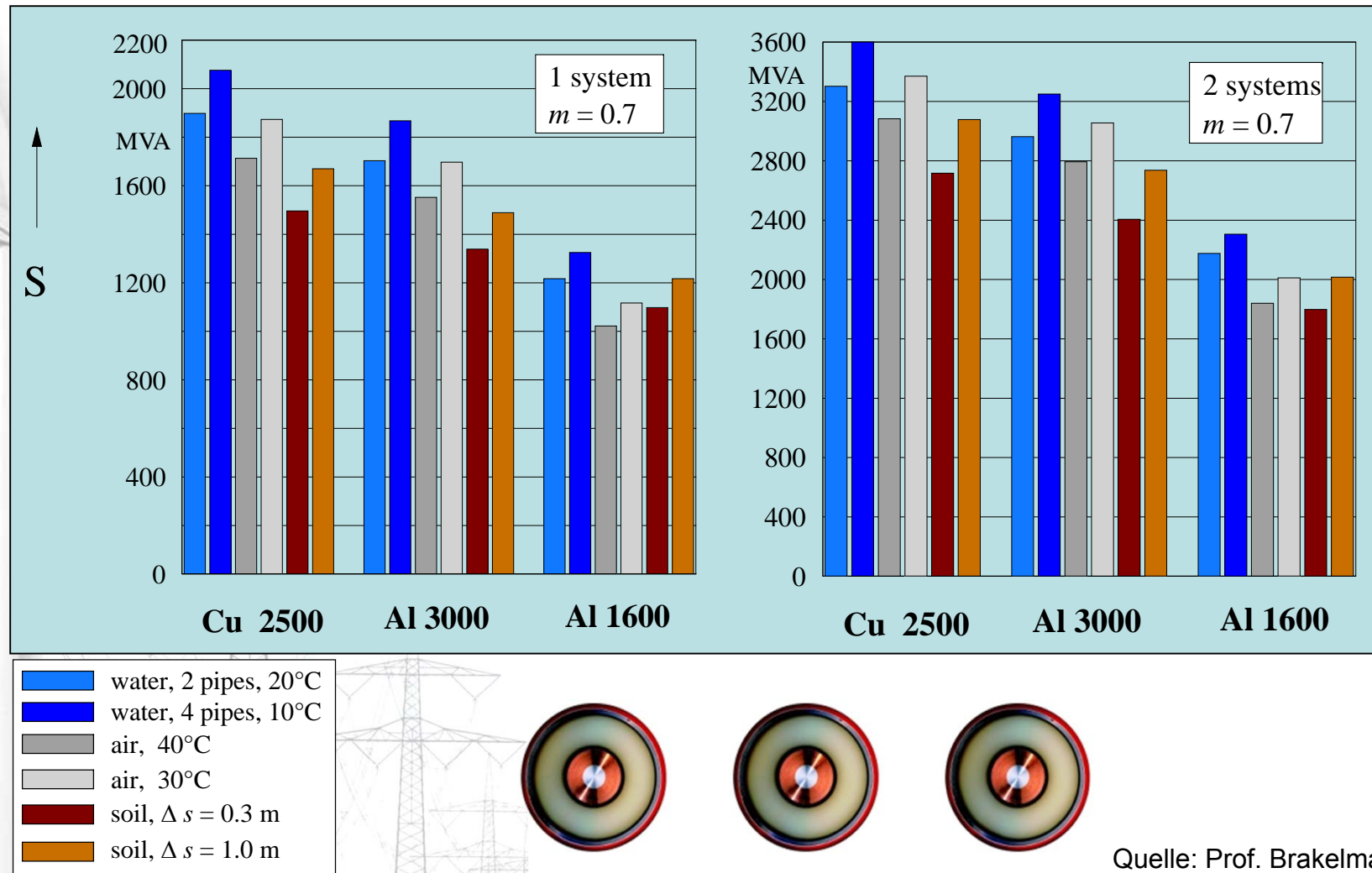


Charakteristische Parameter

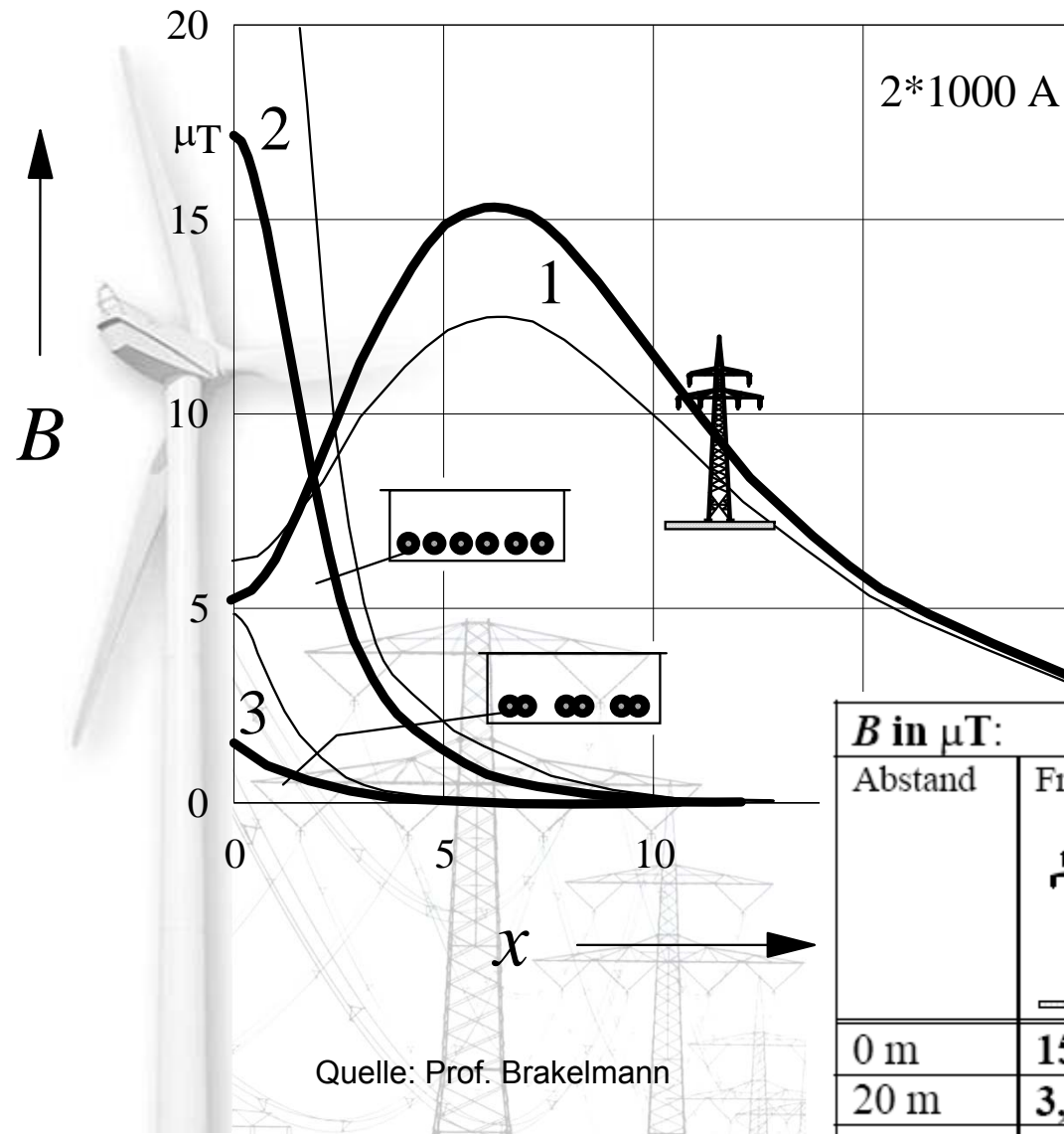
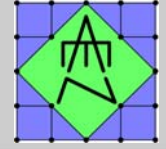
| Mastbild | | Donaumast/Doppelsystem | | Donaumast/Doppelsystem | |
|--|-----------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Spannung | kV | 380 | | 500 | |
| Masthöhe ca. | m | 51 | | 63 | |
| Traversenbreite ca. | m | 40 | | 45 | |
| Schutzstreifenbreite ca. | m | 70 | | 75 | |
| Anz. Teilleiter | | 4 | | 4 | |
| Bündel-Abstand ca. | m | 6,5 | | 8,0 | |
| Teilleiterquerschnitt | mm ² | 4*264/34 | 4*680/85 | 4*264/34 | 4*680/85 |
| Bündel-Durchmesser | mm | 360 | 410 | 380 | 410 |
| therm. Grenzleistung | MVA | 2*1790 (2*2720A) | 2*3028 (2*4601A) | 2*2355 (2*2720A) | 2*3984 (2*4601) |
| Grenzleistung bei 1 A/mm ² | MVA | 2*698 (2*1061A) | 2*1790 (2*2720A) | 2*918 (2*1061A) | 2*2356 (2*2720A) |
| Widerst.belag $R'_{35^{\circ}\text{C}}$ | mΩ/km | 2*28,2 | 2*11,0 | 2*28,2 | 2*11,0 |
| Reaktanzbelag X'_1 | mΩ/km | 2*260,0 | 2*250,0 | 2*270,0 | 2*260,0 |
| Verlustbelag bei Höchstlast | W/m | 2*625,9 | 2*698,6 | 2*625,9 | 2*698,6 |
| Verlustbelag bei 1 A/mm ² | W/m | 2*95,2 | 2*244,1 | 2*95,2 | 2*244,1 |




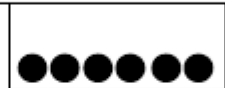

Belastbarkeit



Quelle: Prof. Brakelmann



Vergleich Kabel - Freileitung

| B in μT : 2000 A; 1,0 m/0,2 m | | | |
|--|--|--|--|
| Abstand | Freileitung  | Doppelsystem äquidistant  | bipolares Doppelsystem  |
| 0 m | 15,3 / 12,5 | 17,3 / 56 | 1,6 / 5,9 |
| 20 m | 3,1 | 0,4 | < 0,1 |
| 30 m | 1,2 | 0,2 | < 0,1 |



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:

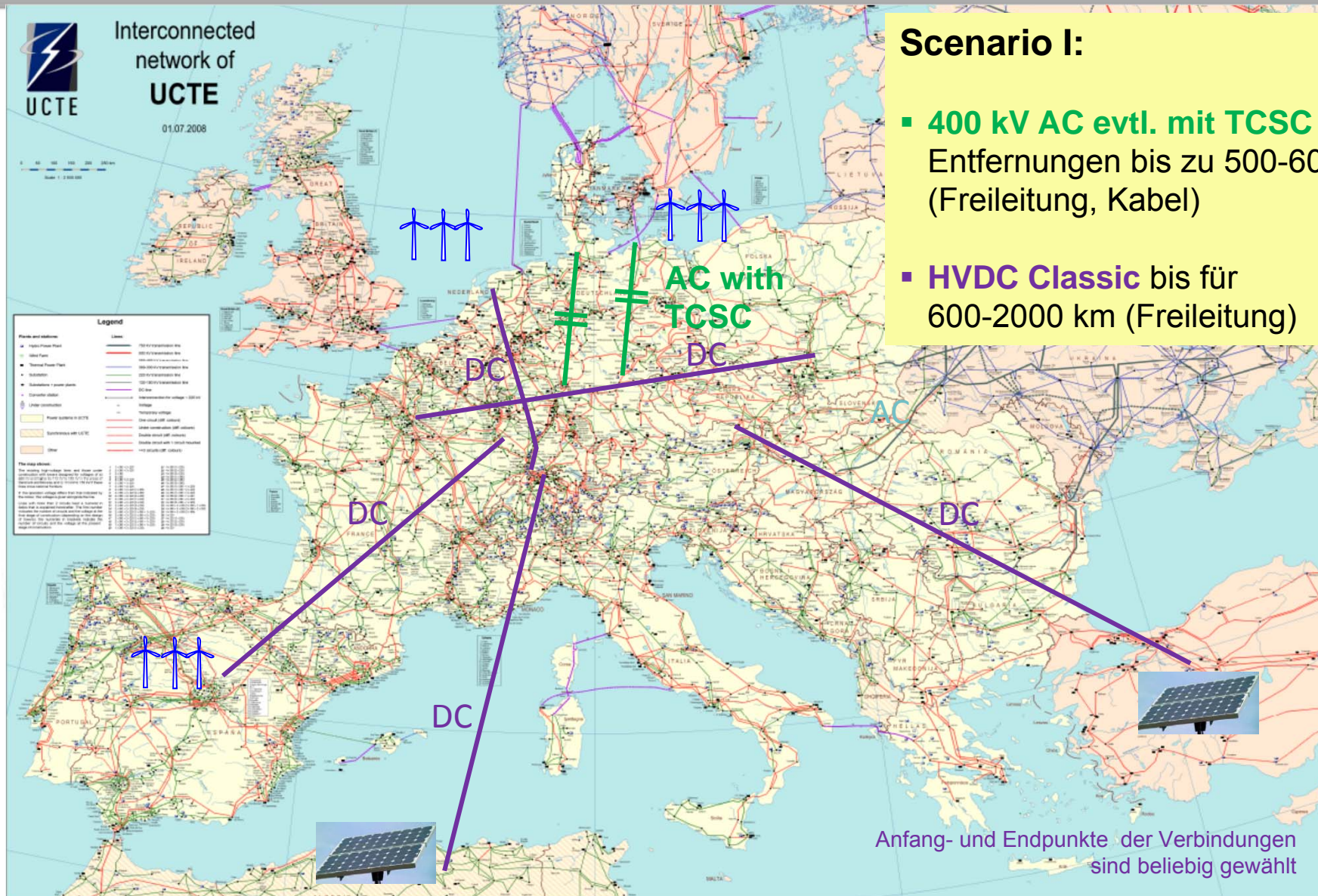
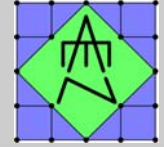
Wirtschaftlich bis 400-500 km, ggf. mit Serienkompensation; VPE Kabel vorhanden; voll integrierbar in das bestehende Netz

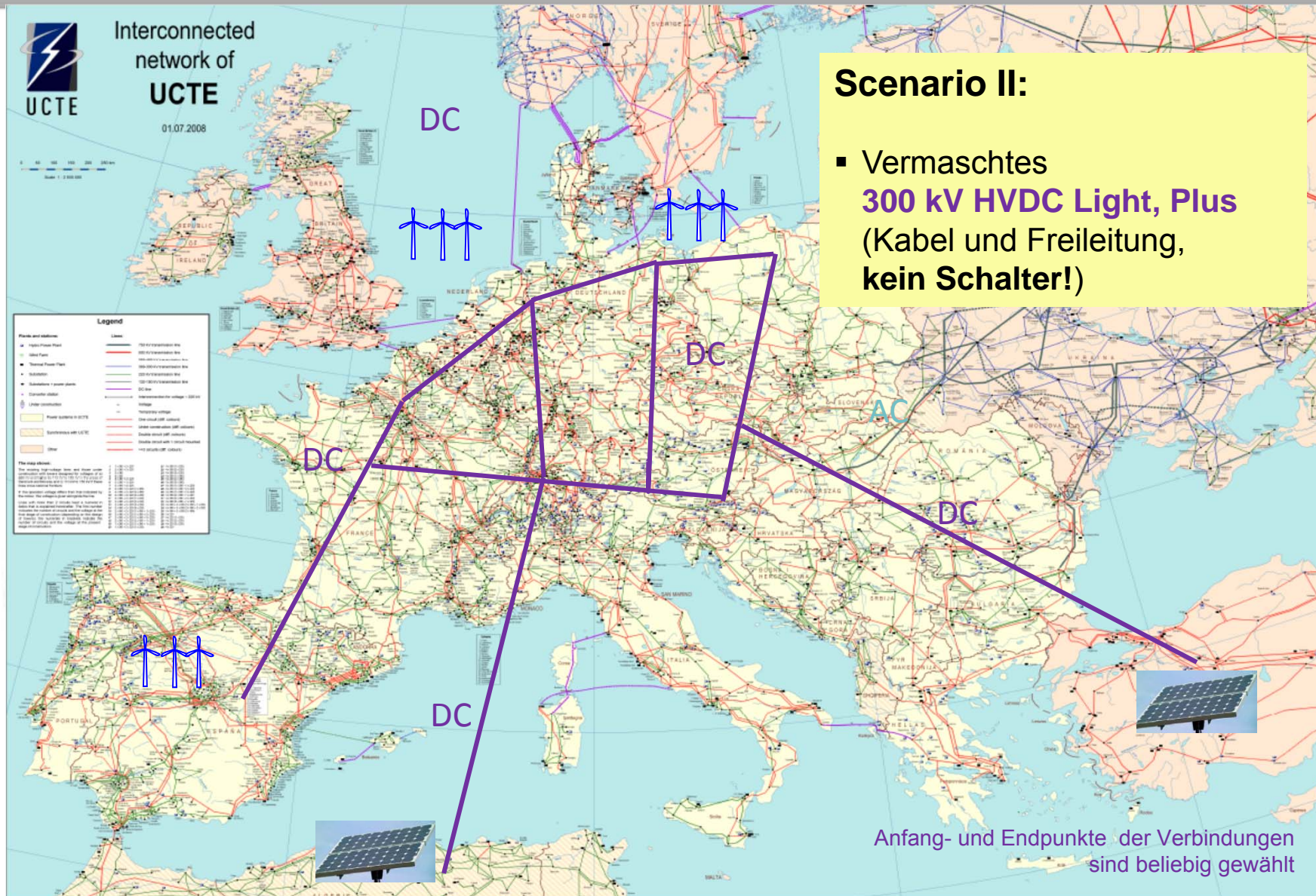
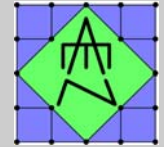
➤ HVDC Classic:

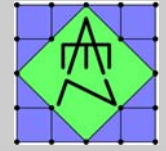
500-800 kV, Entfernungen 400-2000 km; nur Ölkabel vorhanden → **kommt nur als Freileitung in Frage**; nicht netzwerkfähig

➤ 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**

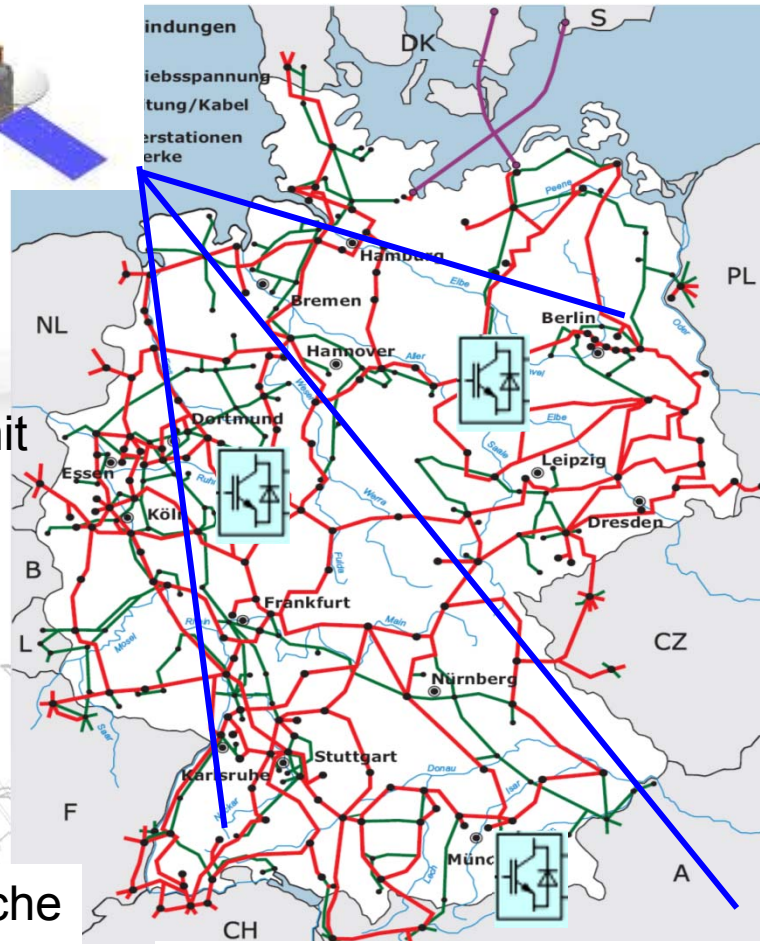






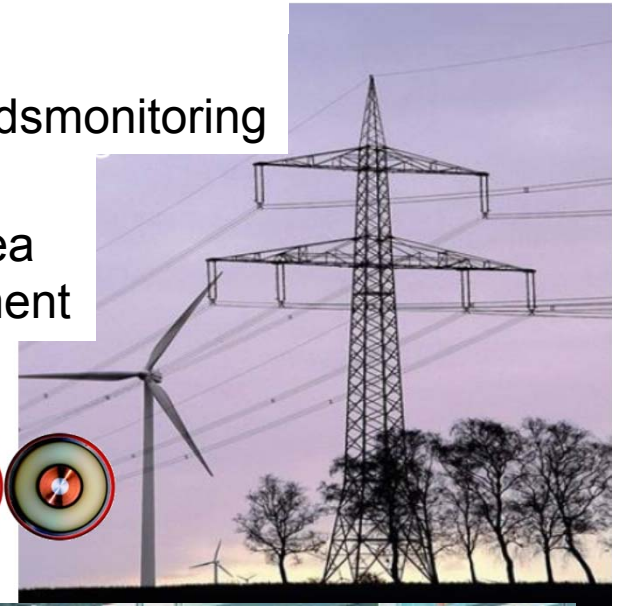
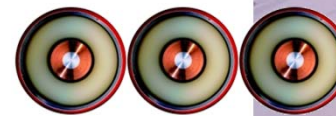
Dynamische
Steuerung mit
Leistungselektronik

Dynamische
Netzauslastung

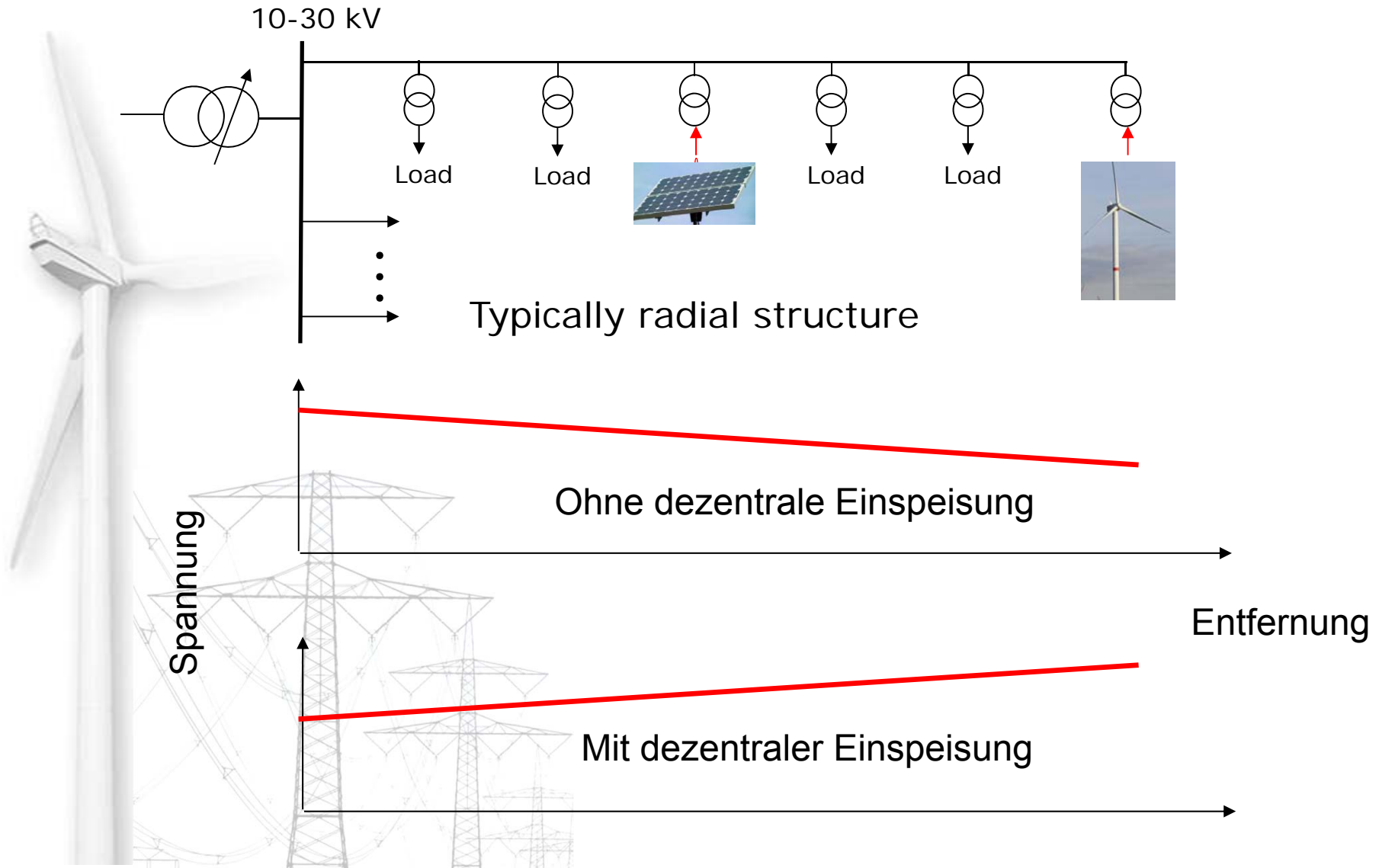


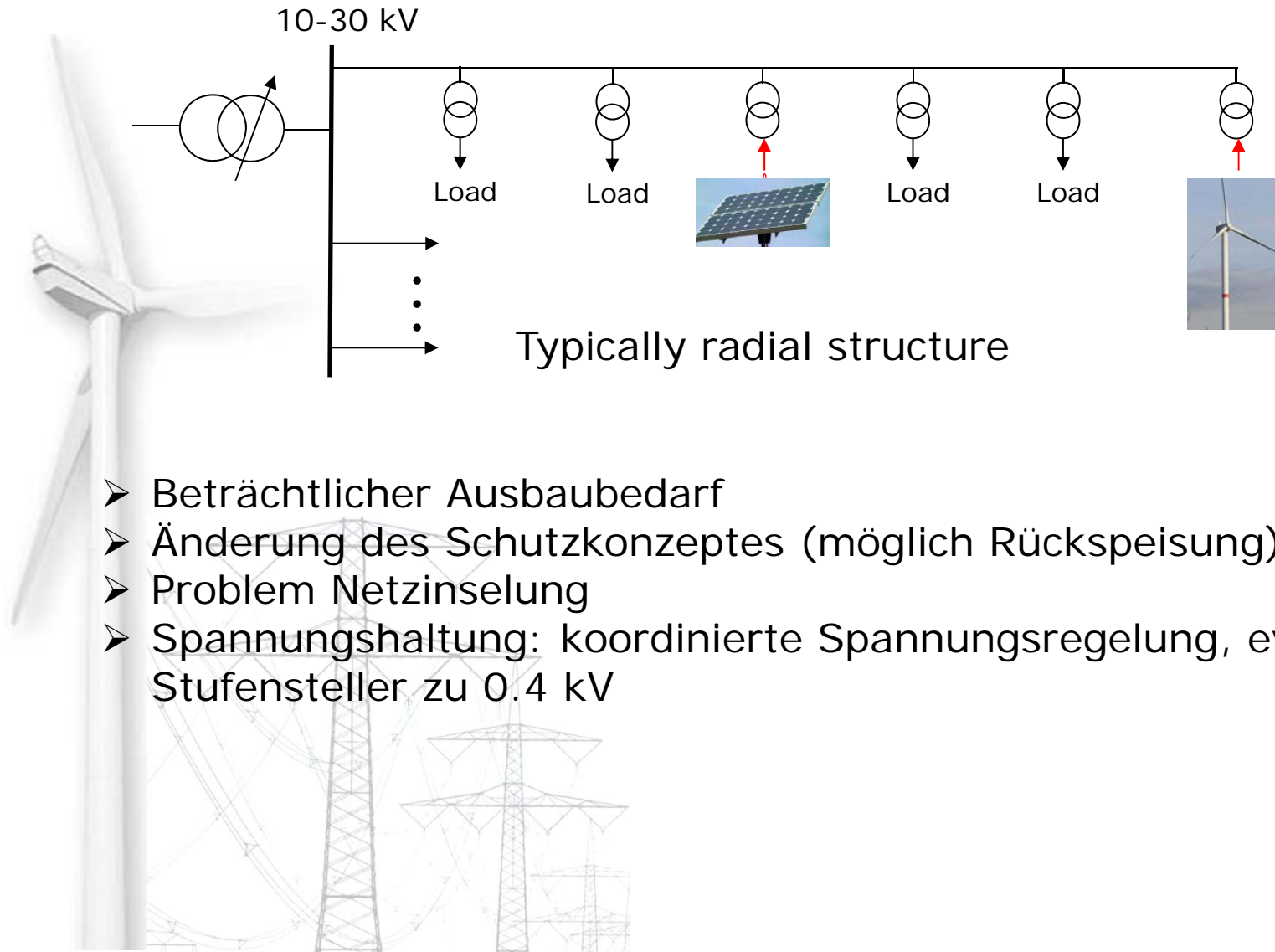
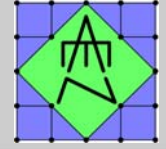
Wide Area Protection and
Emergency control,
Self-healing Grids

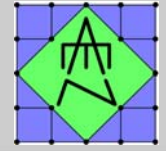
Zustandsmonitoring
PMU
Wide Area
Measurement



Demand Side Management







- 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 turbine and a substation in a green field under a blue sky. The wind turbine is white with three blades, and the substation is a complex of metal structures and electrical equipment. The text "Danke für Ihre Aufmerksamkeit!" is overlaid on the image.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. I. Erlich

Universität Duisburg-Essen
FG Elektrische Anlagen und Netze