



Overlaynetz in HGÜ oder 16.7 Hertz Alternativen zum klassischen 380-kV- Freileitungsbau?

Prof. I. Erlich

Universität Duisburg-Essen

Prof. H. Brakleemann

Universität Duisburg-Essen

Dr. -Ing. H. Wrede

E.ON Engineering GmbH

Gelsenkirchen



16.7-Hz-Übertragung, eine Alternative zu DC

Prof. I. Erlich

Universität Duisburg-Essen



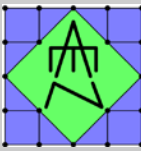
Prof. H. Braklemann

Universität Duisburg-Essen

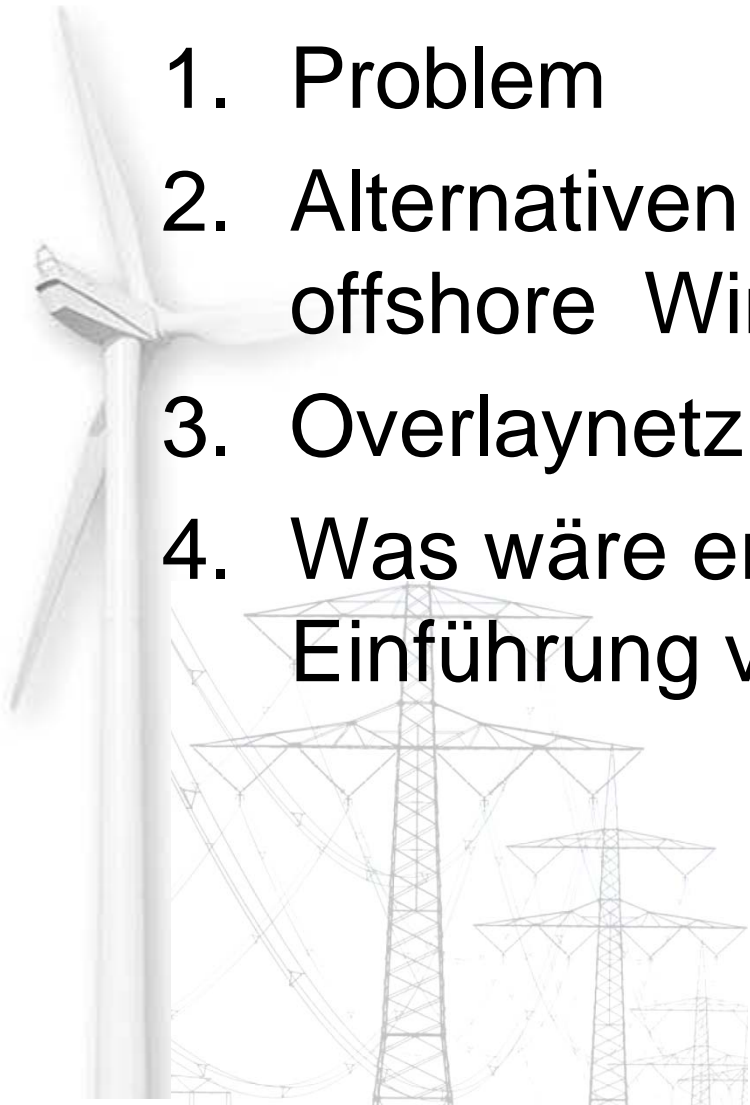
Dr. -Ing. H. Wrede

E.ON Engineering GmbH

Gelsenkirchen



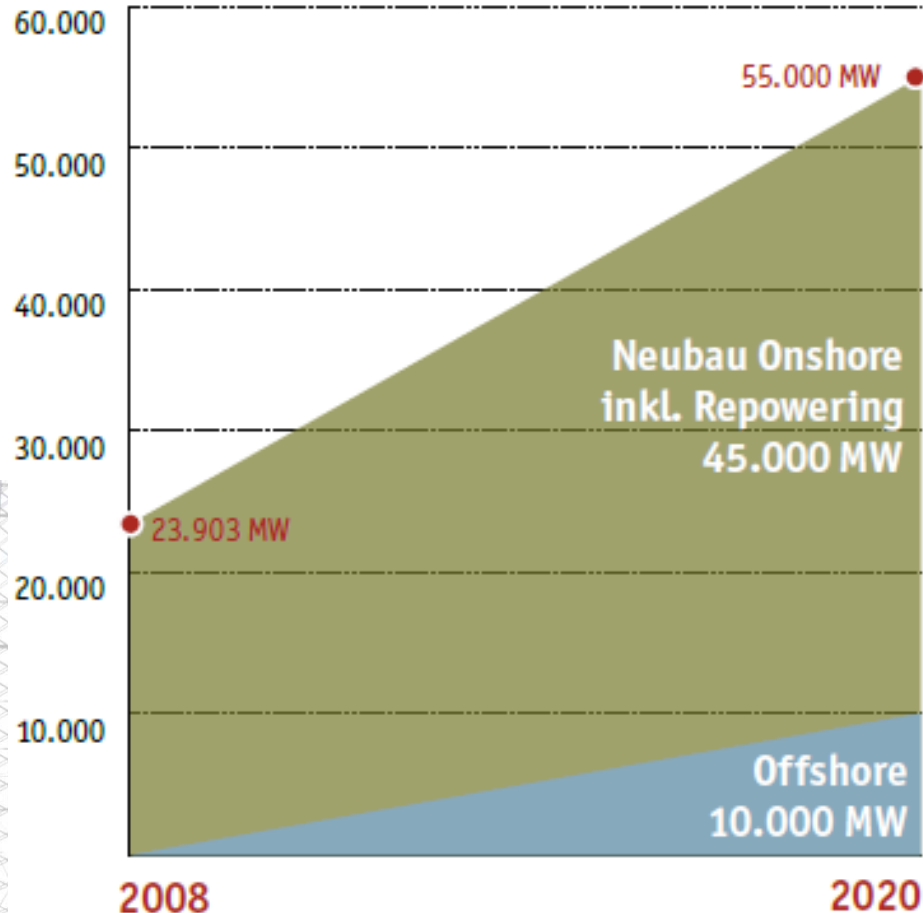
1. Problem
2. Alternativen zur Einbindung von offshore Windparks
3. Overlaynetz
4. Was wäre erforderlich für die Einführung von 16,7 Hz?



Ziele der Bundesregierung

Entwicklung der Windenergie bis 2020

Megawatt (MW)



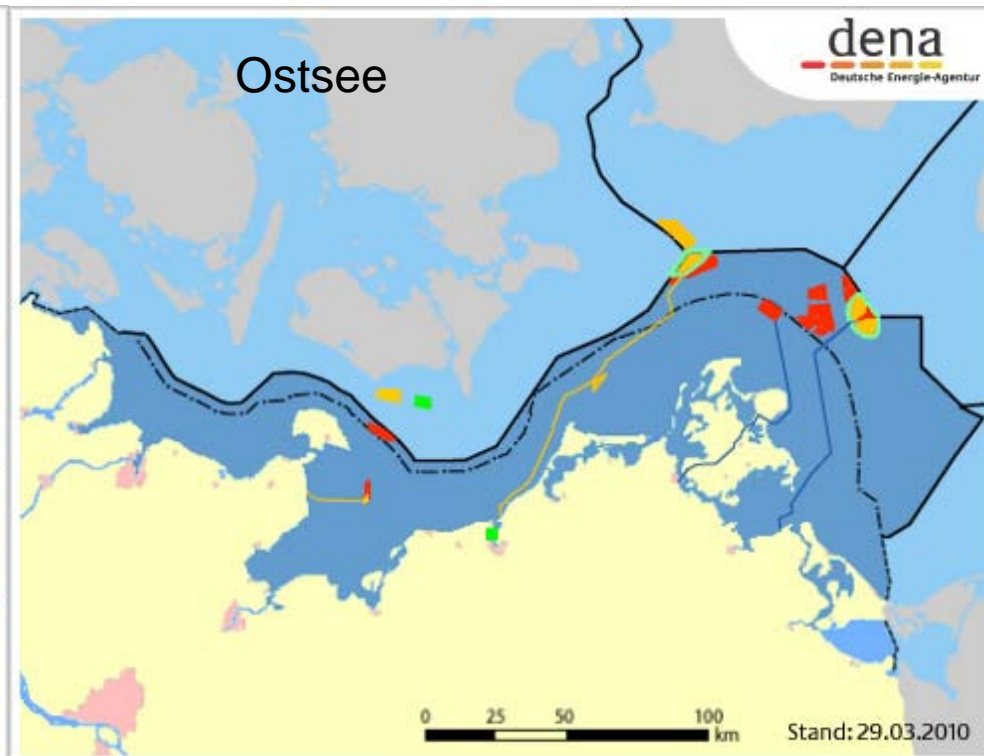
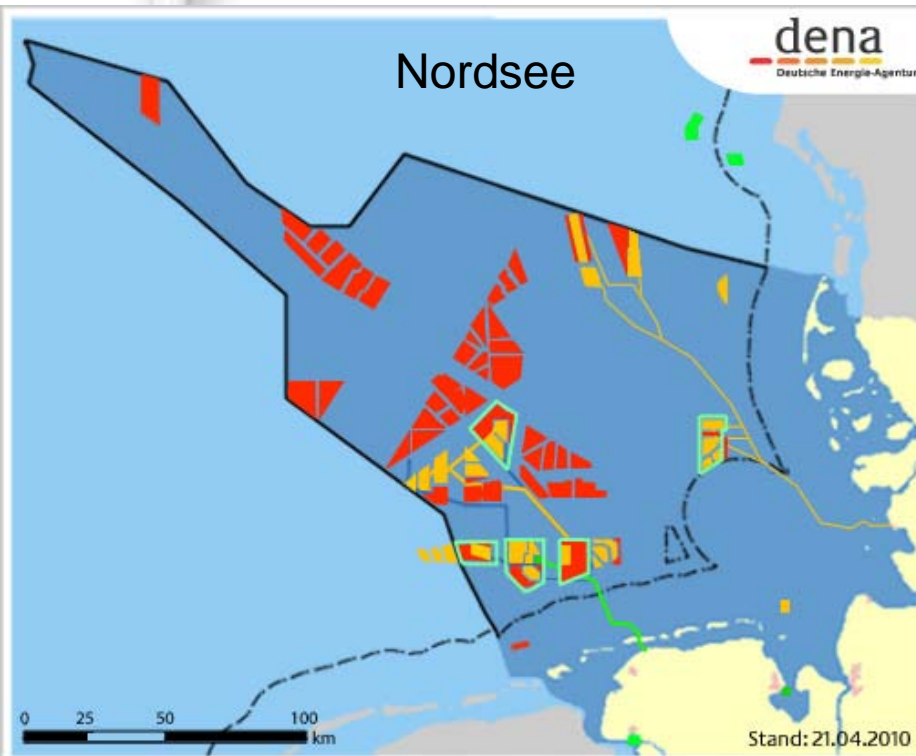
2008

2020

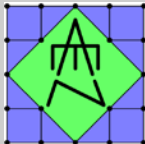
Entwicklung Offshore

Bis zum Jahre 2030 sollen bis zu 25.000 Megawatt Leistung in den Offshore-Windparks der deutschen Nord- und Ostsee installiert sein.

Für die Leistungsabführung brauchte man ca. 7 neue 400-kV-Doppelleitungen.

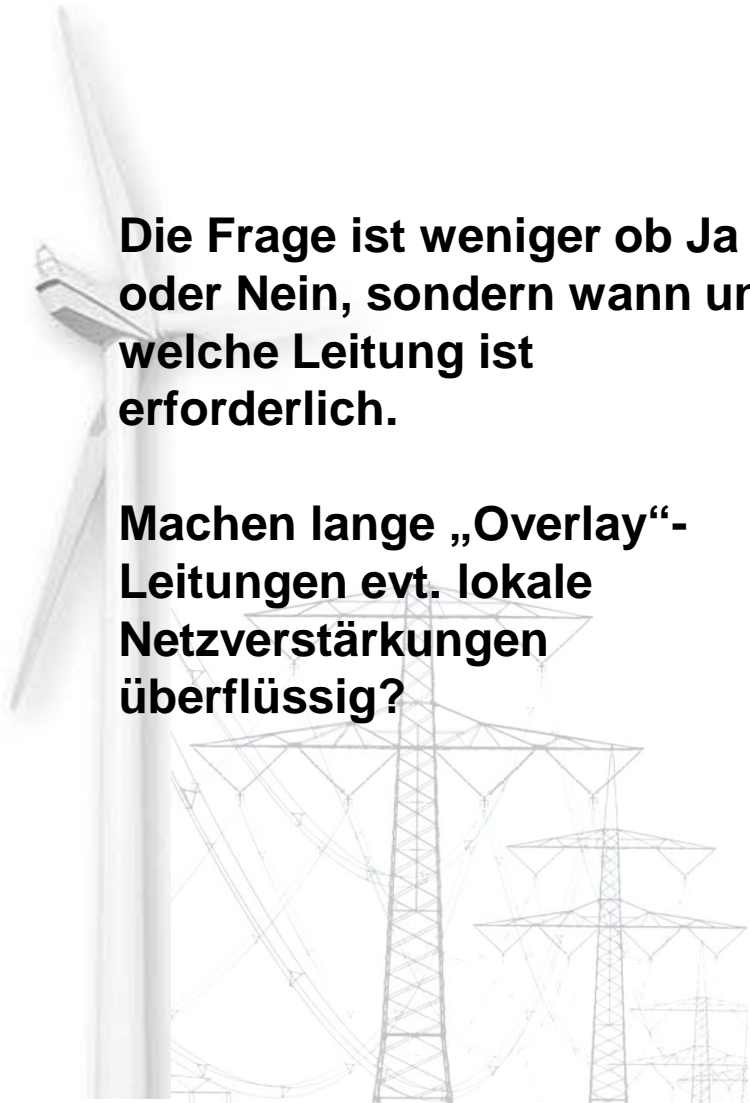


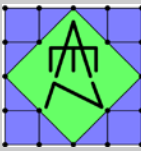
Brauchen wir neue Leitungen?



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

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





400-kV-VPE-Kabel, zwei Stromkreise



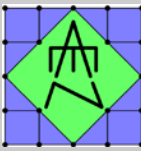
400-kV-Freileitung



Einige Aspekte:

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

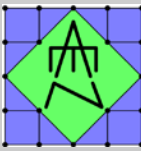
Freileitung wäre technisch und wirtschaftlich günstiger. Aber, reine Freileitung unrealistisch in der Zukunft
➔ Kabel muss für die gewählte Technologie vorhanden sein!



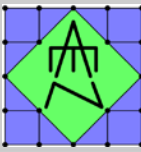
- Reaktanz der Übertragung geringer, $X = 2\pi \cdot f \cdot L$
geringerer Spannungsfall
- Geringere Ladeströme $I_c = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$
→ überbrückbare Entfernung ca. 3fach
- VPE-Kabel für AC bis 500 kV verfügbar

Warum 16,7 Hz?

- Erprobte Technik bis 110 kV verfügbar
- Direktabspannung für die Bahn mit einfachem Transformator wäre möglich



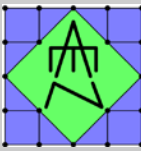
- WEA mit Vollumrichter auf der Netzseite anstatt 50 Hz könnten problemlos 16,7 Hz erzeugen – Generatorfrequenz bleibt unverändert
 - ➔ Anpassung der WEA mit geringem Aufwand möglich (Drossel, Filter)
- 16,7 Hz ↔ 50 Hz Umrichter für die Kopplung von beiden Netzen
 - ➔ Technologie der Bahnnumrichter dreiphasig nutzen (98% Wirkungsgrad)



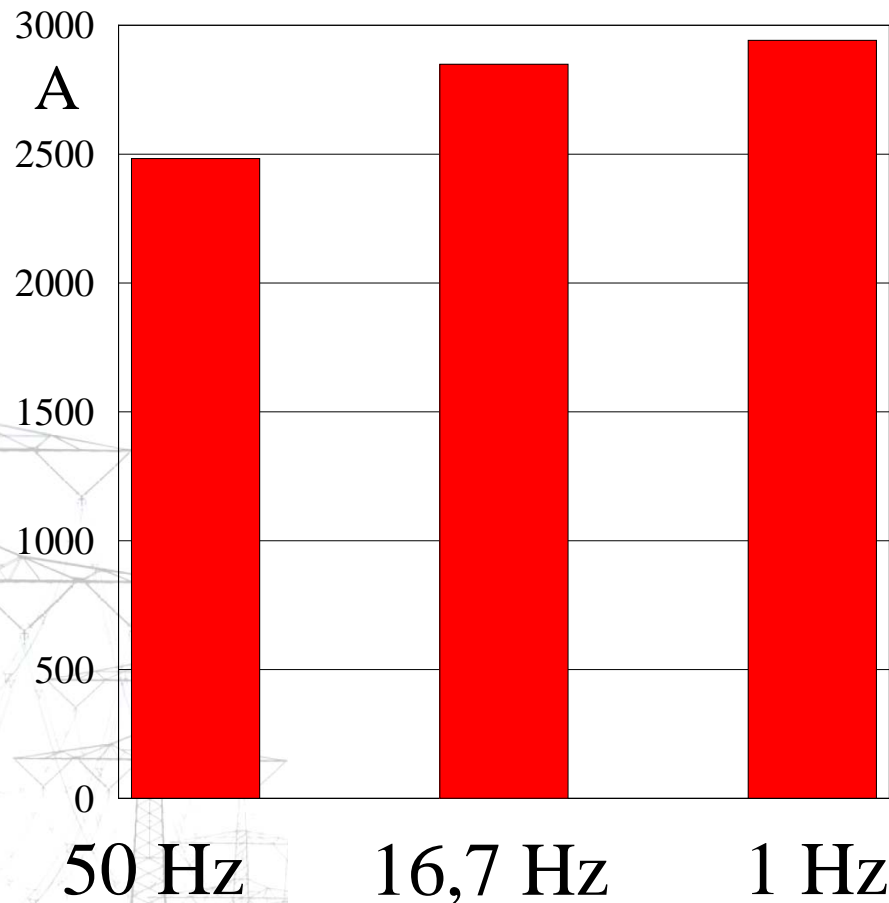
- bis zu 300 km Entfernung wäre kein Umrichter auf der Offshoreplattform erforderlich
- Bewährte AC Technologie (Leistungsschalter, Kabel, etc. könnte eingesetzt werden)

Kein Nachteil?

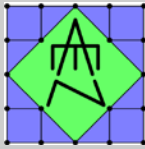
- Transformatoren ca. 2-3 größer und schwerer
- Überbrückbare Entfernung etwas geringer als bei DC



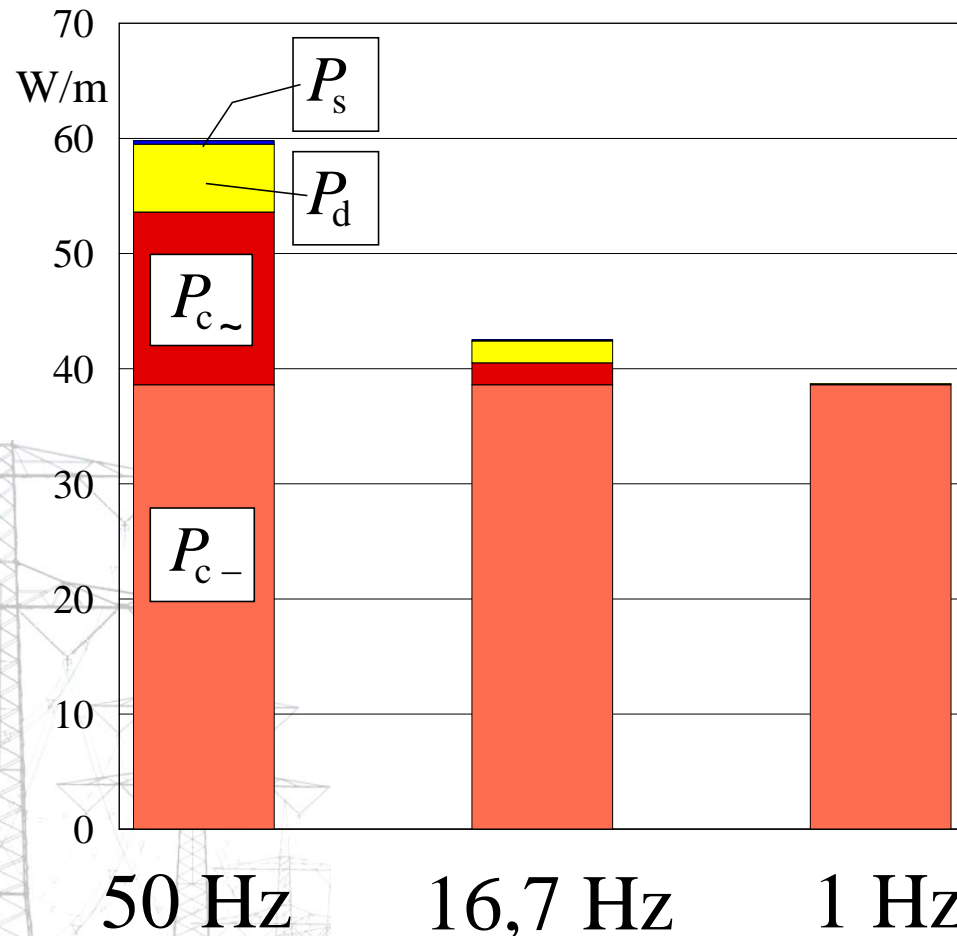
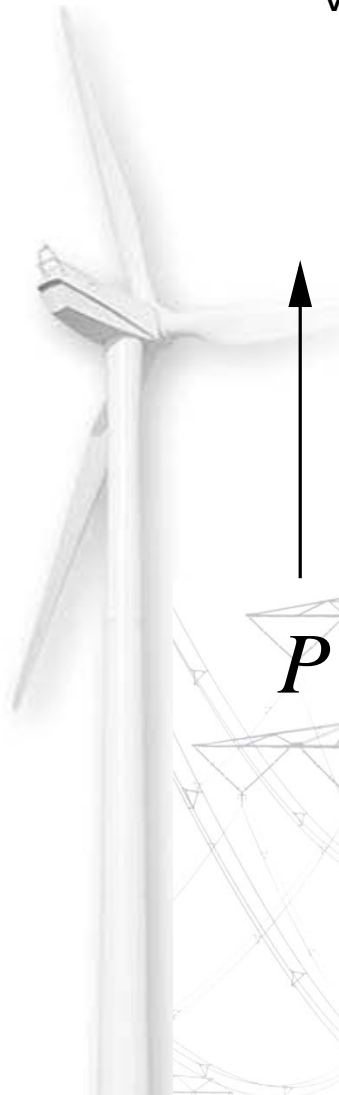
Strombelastbarkeit eines 500-kV-VPE-Kabelsystems als Funktion der Betriebsfrequenz



Vorteile niedrigerer Frequenz

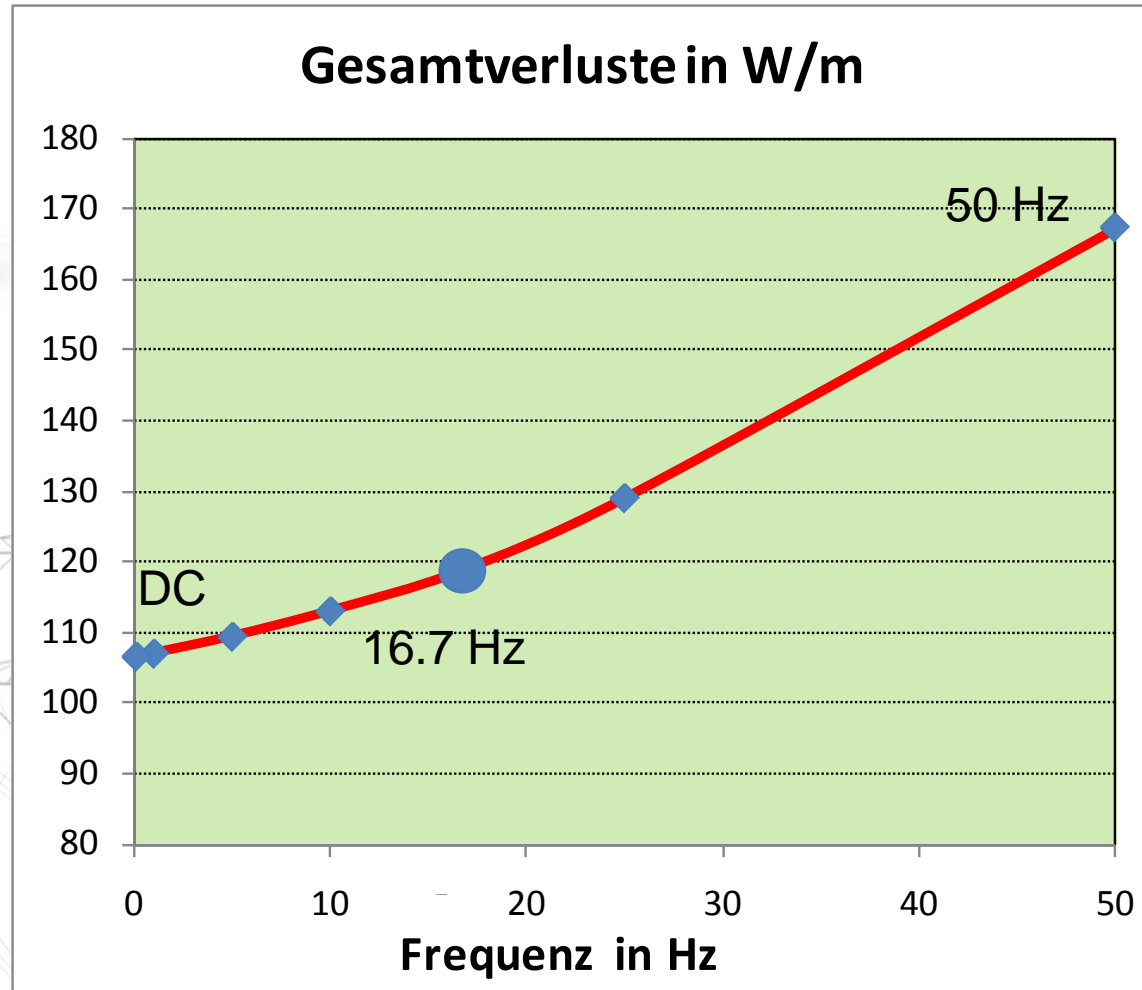


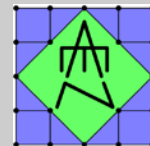
Verluste je Kabelader als Funktion der Betriebsfrequenz
für den maximalen 50-Hz-Strom von 2483 A



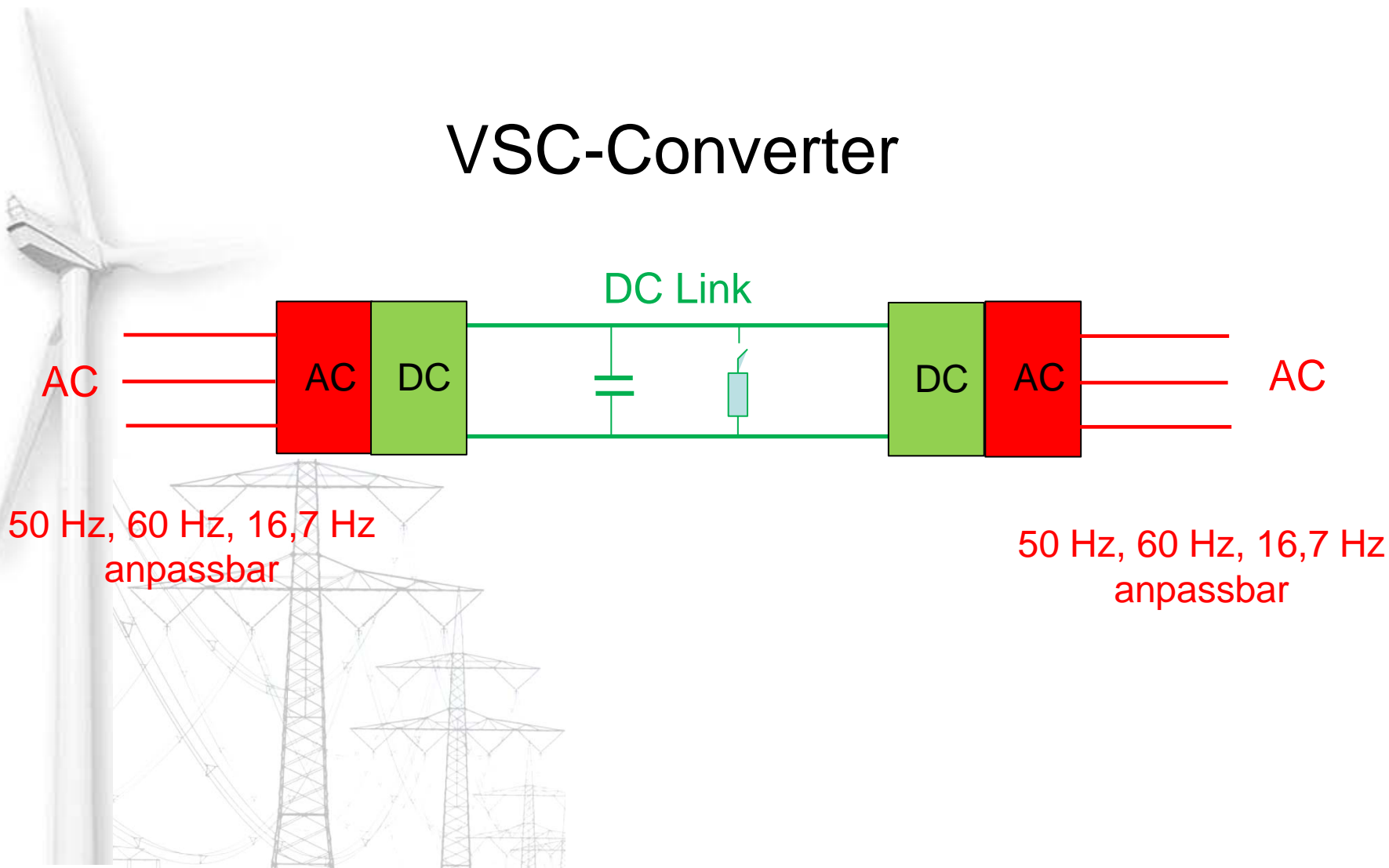


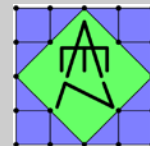
Verluste je Kabelsystem für den maximalen 50-Hz-Strom 2384 A/2065 MVA als Funktion der Betriebsfrequenz; 500 kV/3200 mm² Cu; 1 System; m = 0,90





VSC-Converter





Offshore

Onshore

WEA mit 50 Hz
Ausgangsfrequenz

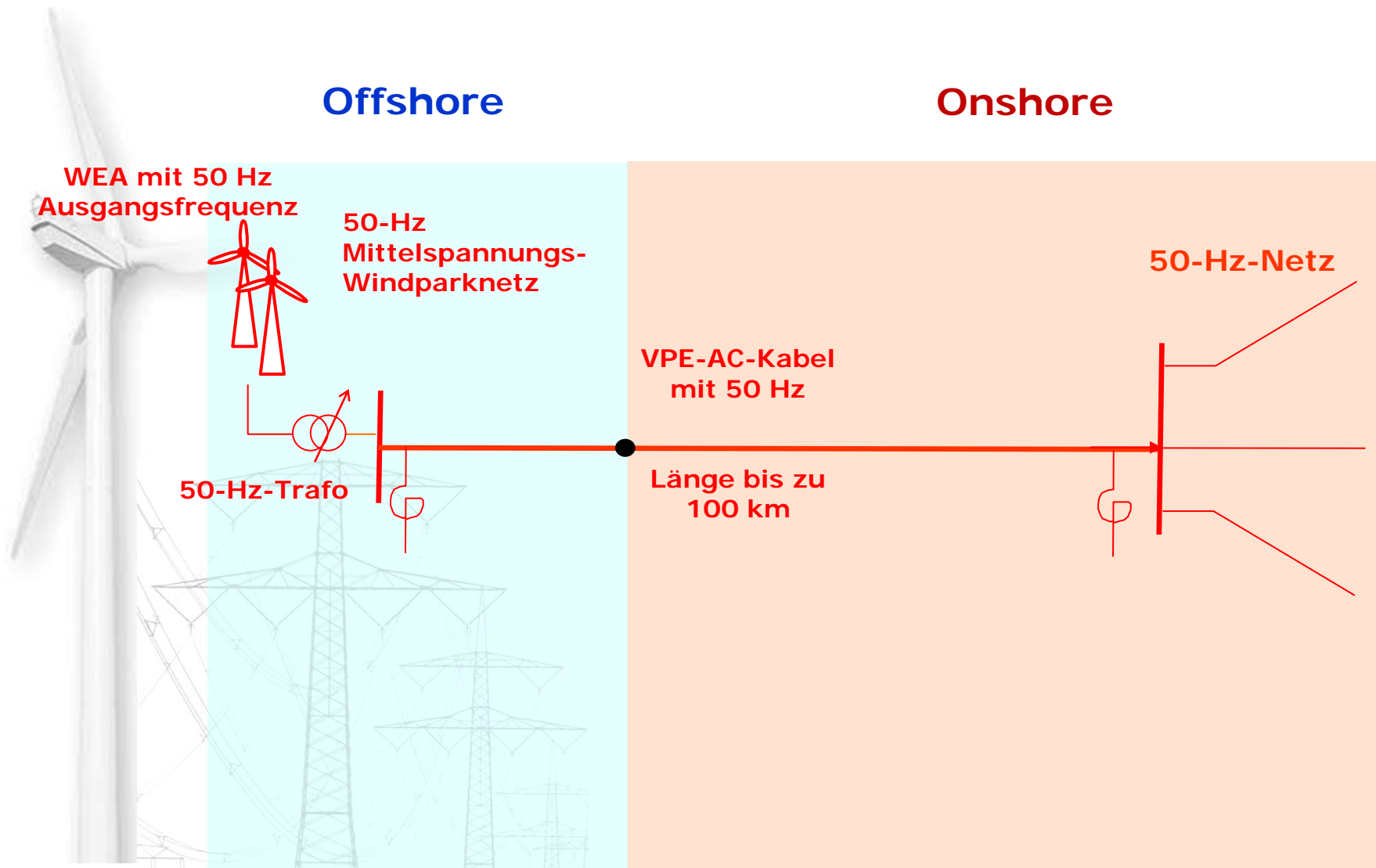
50-Hz
Mittelspannungs-
Windparknetz

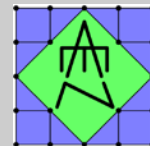
50-Hz-Trafo

VPE-AC-Kabel
mit 50 Hz

Länge bis zu
100 km

50-Hz-Netz

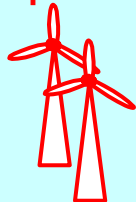




Offshore

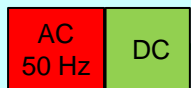
Onshore

WEA mit 50 Hz
Ausgangsfrequenz



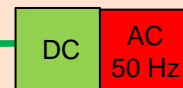
50-Hz-Trafo

50-Hz (16,7 Hz, 60 Hz)
Mittelspannungs-
Windparknetz



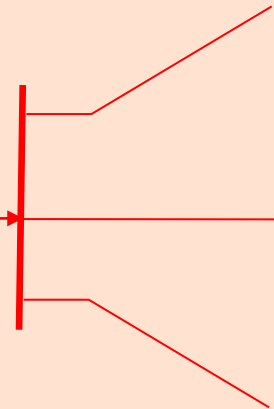
½ Umrichter auf
See, ca. 1,5%
Verluste

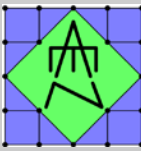
VPE-DC-Kabel
Mehrere Hundert km



½ Umrichter auf
Land, ca. 1,5%
Verluste

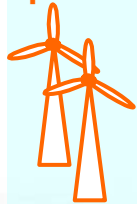
50-Hz-Netz
(16,7 Hz, 60 Hz)





Offshore

WEA mit 16,7 Hz
Ausgangsfrequenz



16,7-Hz-
Trafos

16,7-Hz
Mittelspannungs-
Windparknetz;
geringere Verluste

VPE-AC-Kabel
mit 16,7 Hz

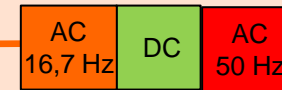
Länge bis zu
300 km

Trafo gegenüber 50 Hz:
- 2-3faches Gewicht
aber kein Umrichter auf der
Plattform!

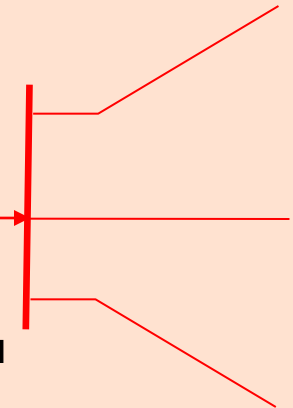
Kabel gegenüber 50 Hz:
- 30% geringerer Widerstand
- 1/3 Reaktanz
- 1/3 kap. Ladeleistung

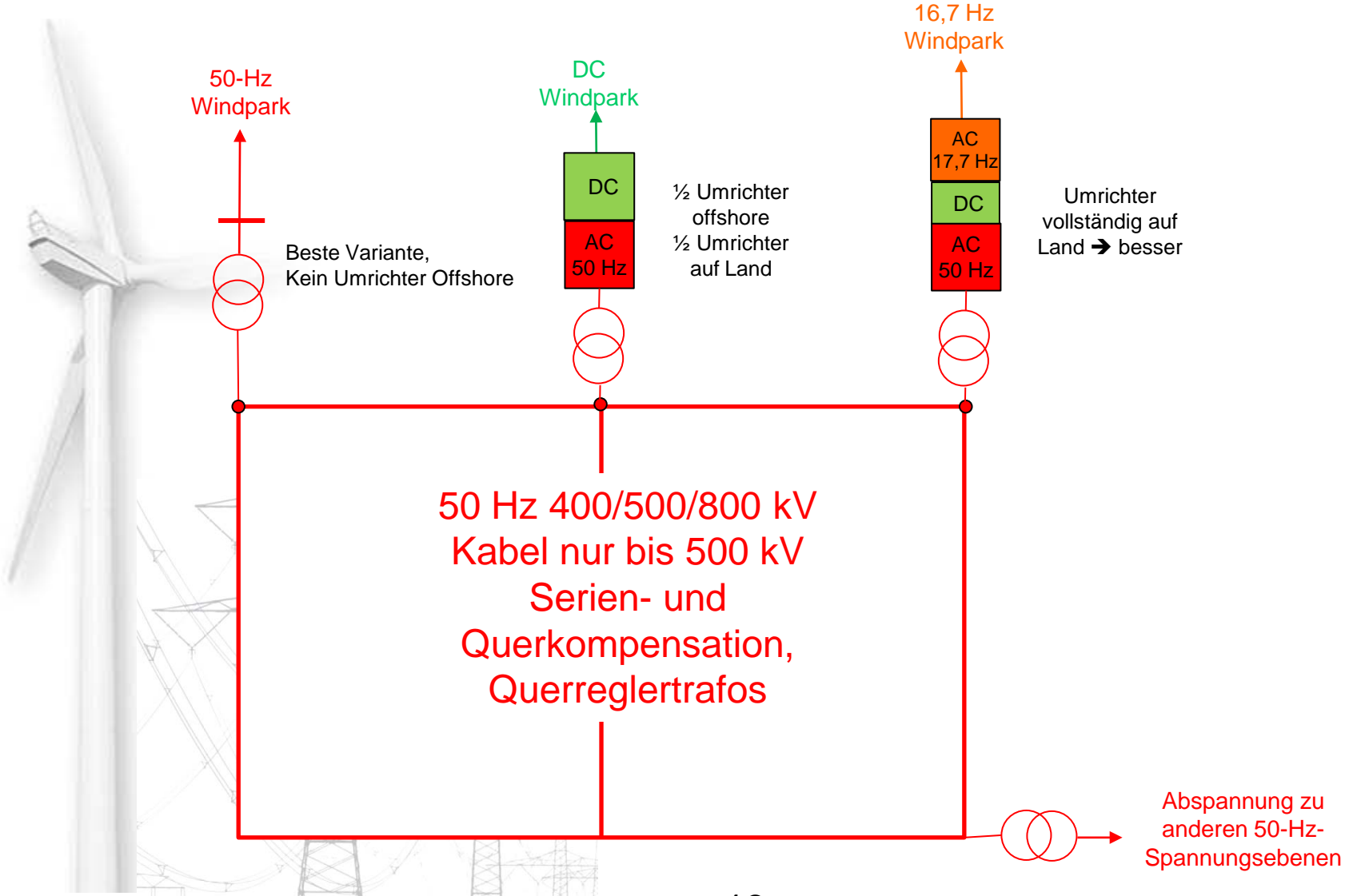
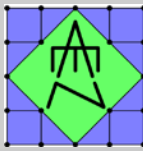
Onshore

50-Hz-Netz

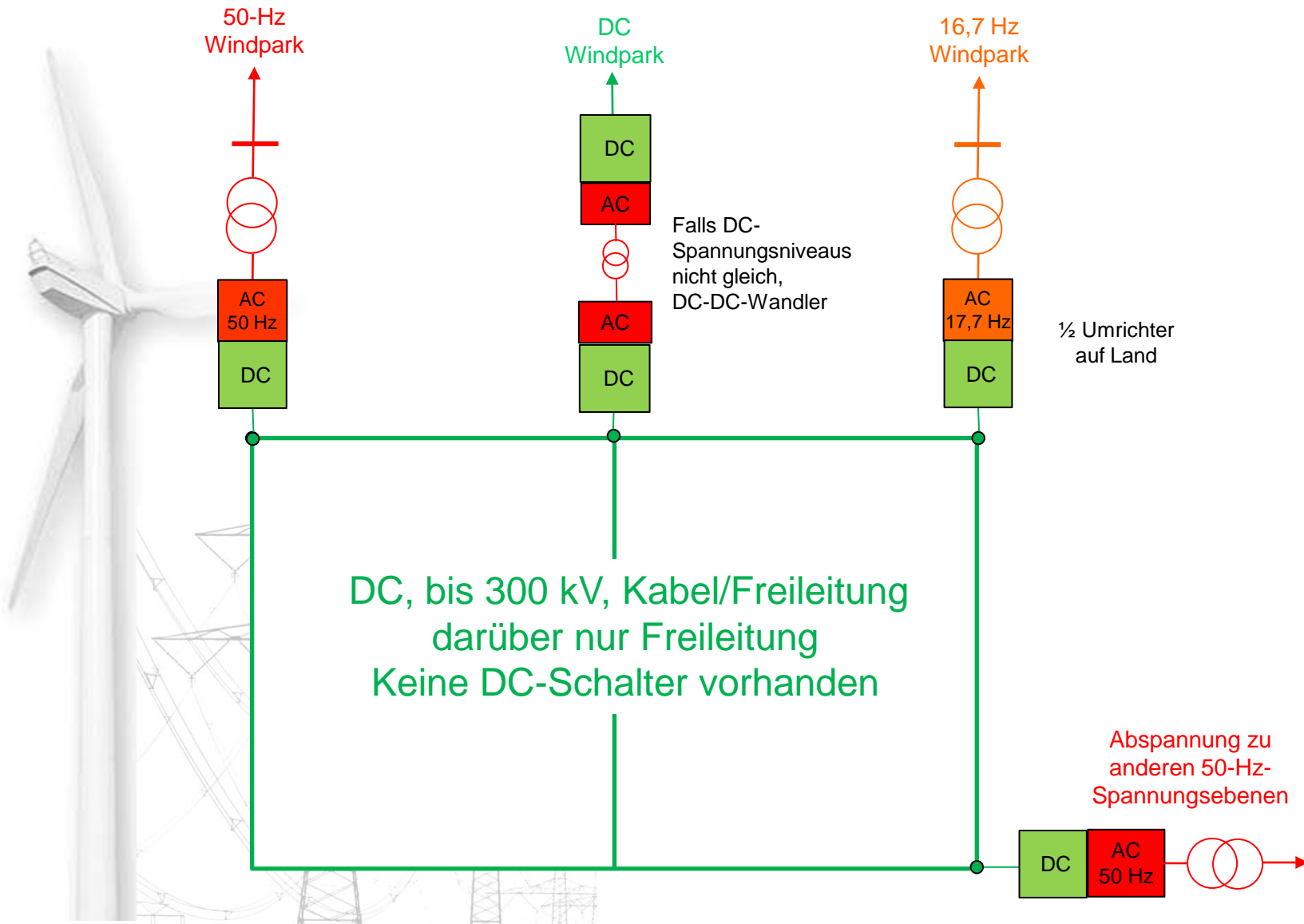


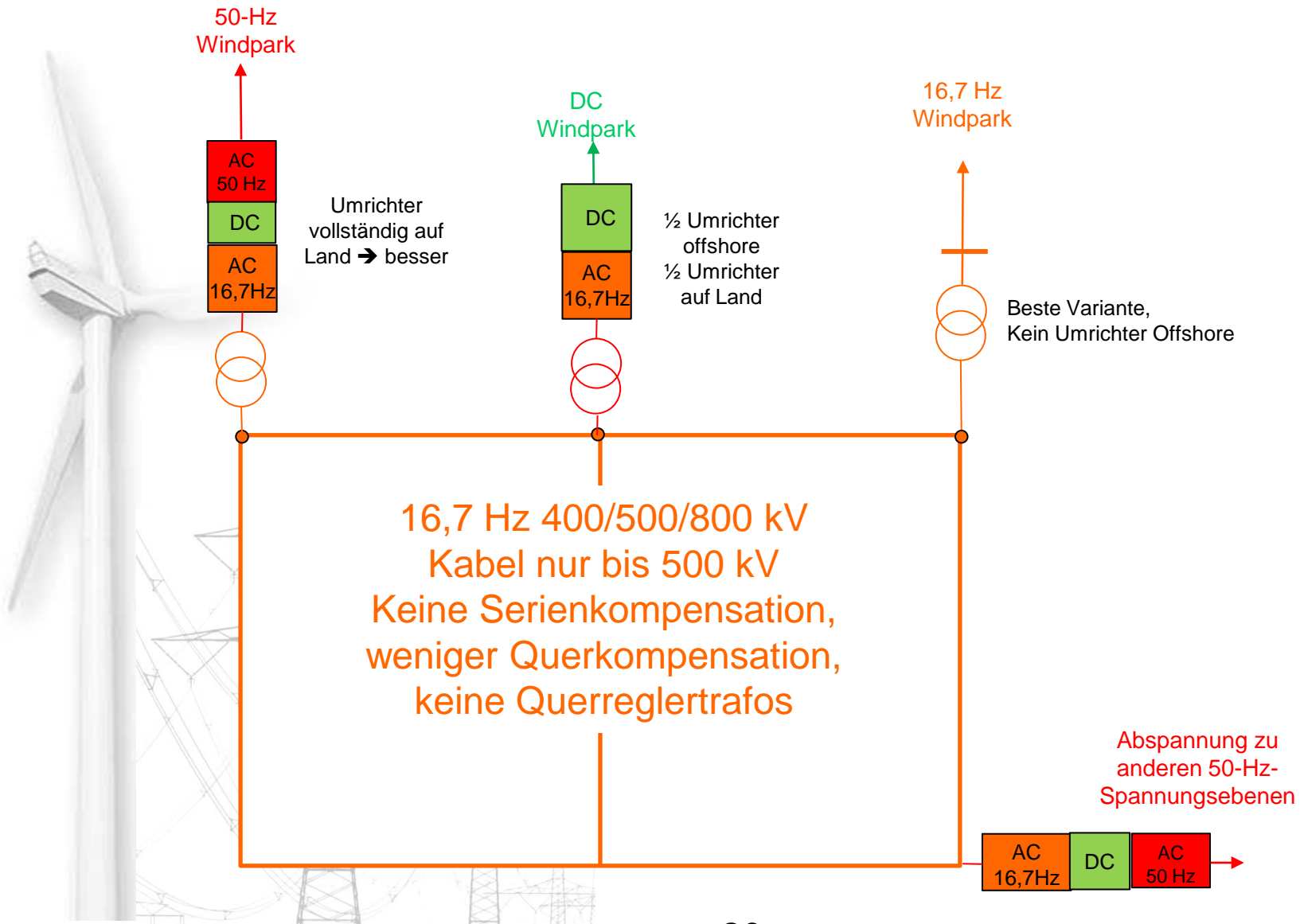
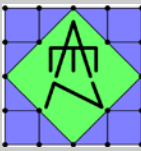
Umrichter auf Land
ca. 2% Verluste

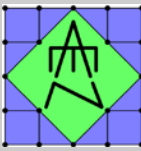


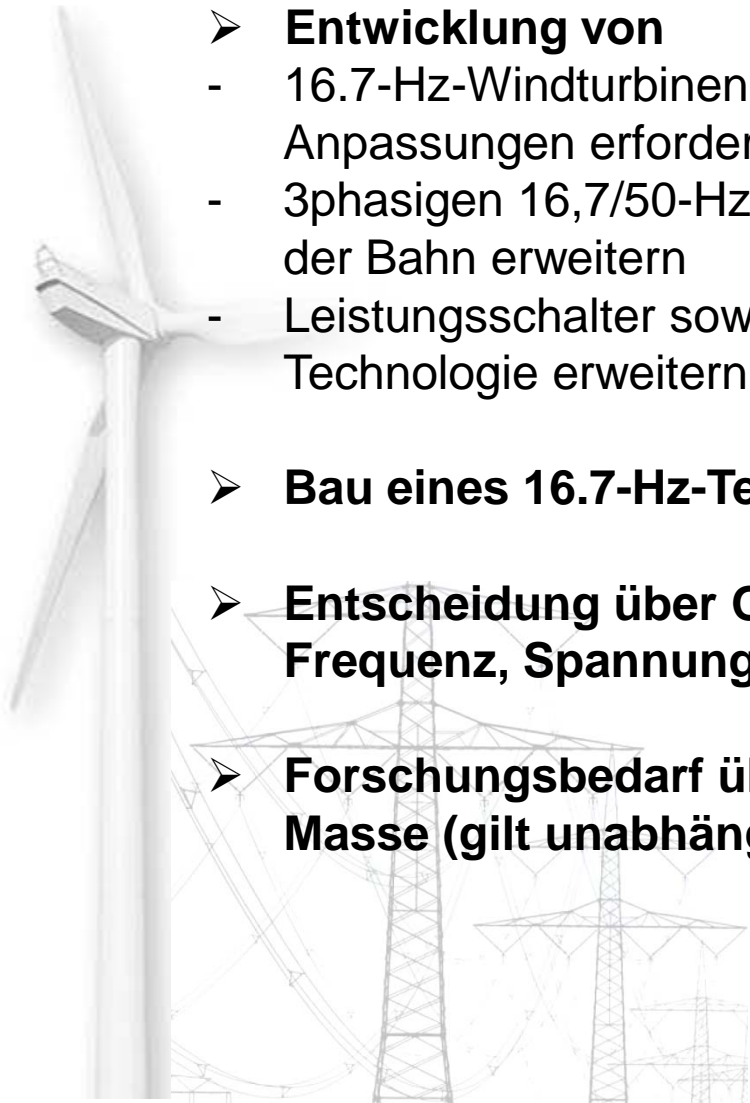


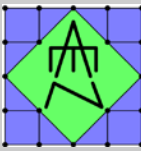
Overlaynetz mit Offshoreeinbindung







- 
- **Entwicklung von**
 - 16.7-Hz-Windturbinen – beim Vollumrichter-WEA nur geringe Anpassungen erforderlich
 - 3phasigen 16,7/50-Hz-Umrichtern – vorhandene Technologie von der Bahn erweitern
 - Leistungsschalter sowie Schaltanlagen für 16.7 Hz - vorhandene Technologie erweitern
 - **Bau eines 16.7-Hz-Testwindparks**
 - **Entscheidung über Overlaynetz, erforderlich? Welche Frequenz, Spannung?**
 - **Forschungsbedarf über Betrieb eines Netzes ohne rotierende Masse (gilt unabhängig von der Frequenz!)**

A photograph of a high-voltage power line tower and its associated power lines against a cloudy sky. The tower is a lattice structure with multiple horizontal cross-arms. The power lines are visible as thin lines stretching across the frame. The sky is overcast with grey clouds.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!