A man with grey hair, wearing a dark jacket over a light blue shirt and a blue tie, is looking out towards a wind farm on the ocean. The background shows several wind turbines under a blue sky with white clouds. The image is framed by a dark blue background with white concentric circular lines.

Speedy_HTS – Weltrekord für Leistungsdichte von Windkraftgeneratoren

Dr. Roland Zeichfußl, Dr. Andreas Jöckel,
Dr. Robin Köster, Prof. Dr. Andreas Binder,
Dr. Marion Kläser, Matthias Eisele, Prof. Dr.
Tabea Arndt



Speedy_HTS

Weltrekord für Leistungsdichte von Windkraftgeneratoren



Verbundpartner

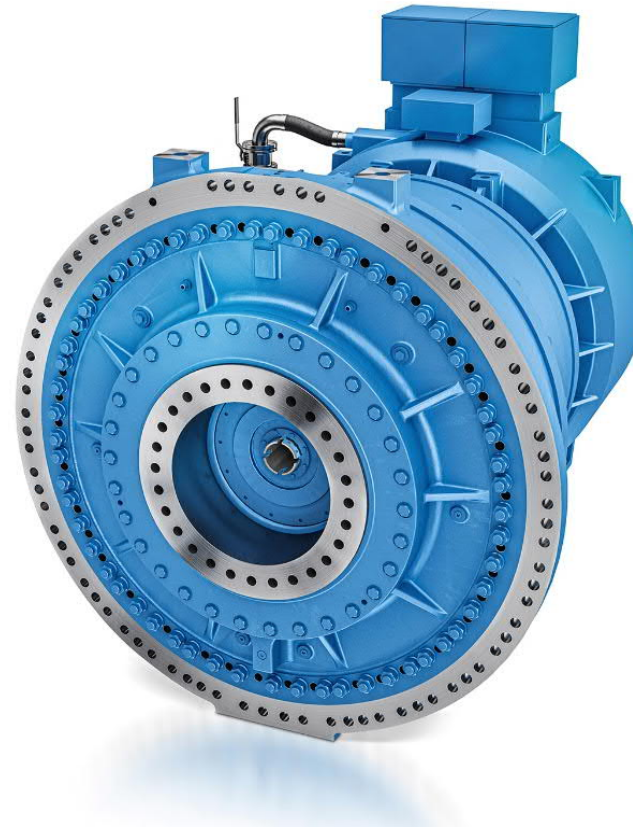
Flender GmbH, Bocholt

Nordex SE, Hamburg

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Institut für Technische Physik (ITEP) und
Elektrotechnisches Institut (ETI)

Krämer Energietechnik GmbH & Co. KG,
Kassel

TU Darmstadt, Institut für Elektrische
Energiewandlung, Darmstadt (EW)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger Jülich

(FKZ 03EE3094A)

Speedy_HTS

Marktwachstum bei Windturbinen



Motivation

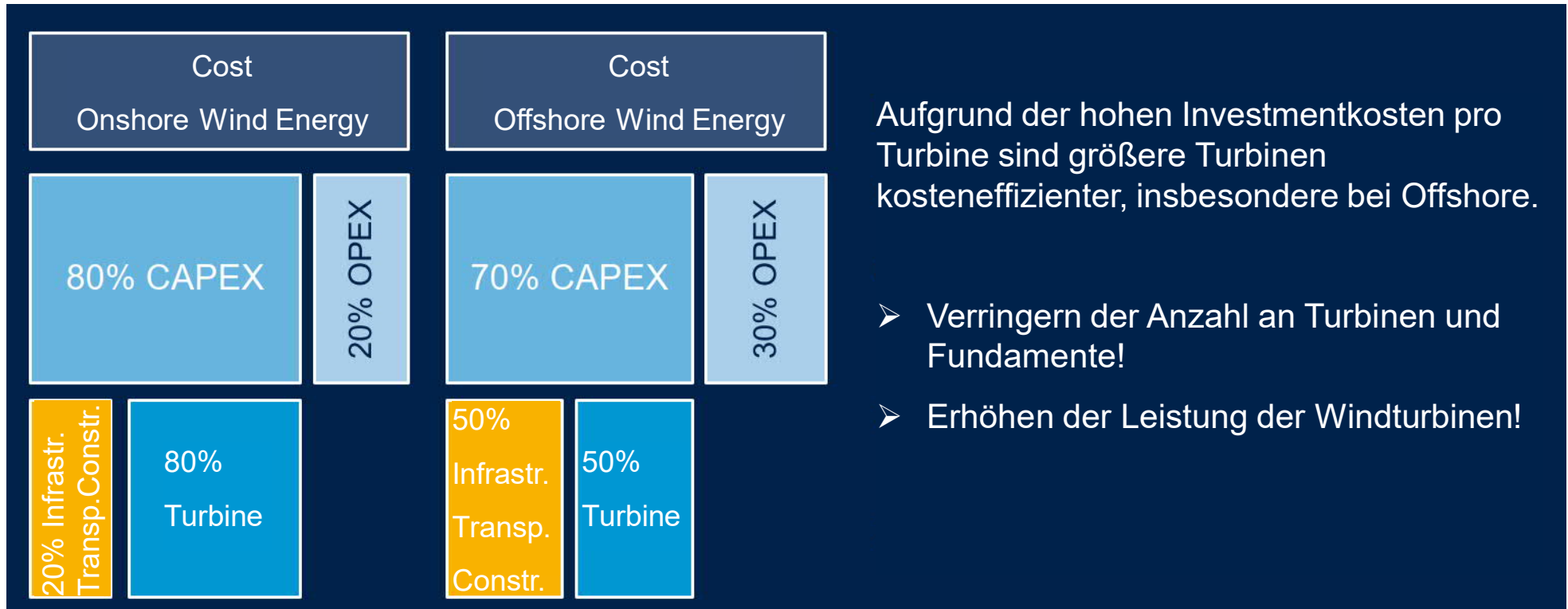
Bis 2027 wird eine Verdopplung der jährlich weltweit installierten Windkraftleistung erwartet.

Offshore Wind wird dabei überproportional wachsen.

Siehe auch GWEC 2023

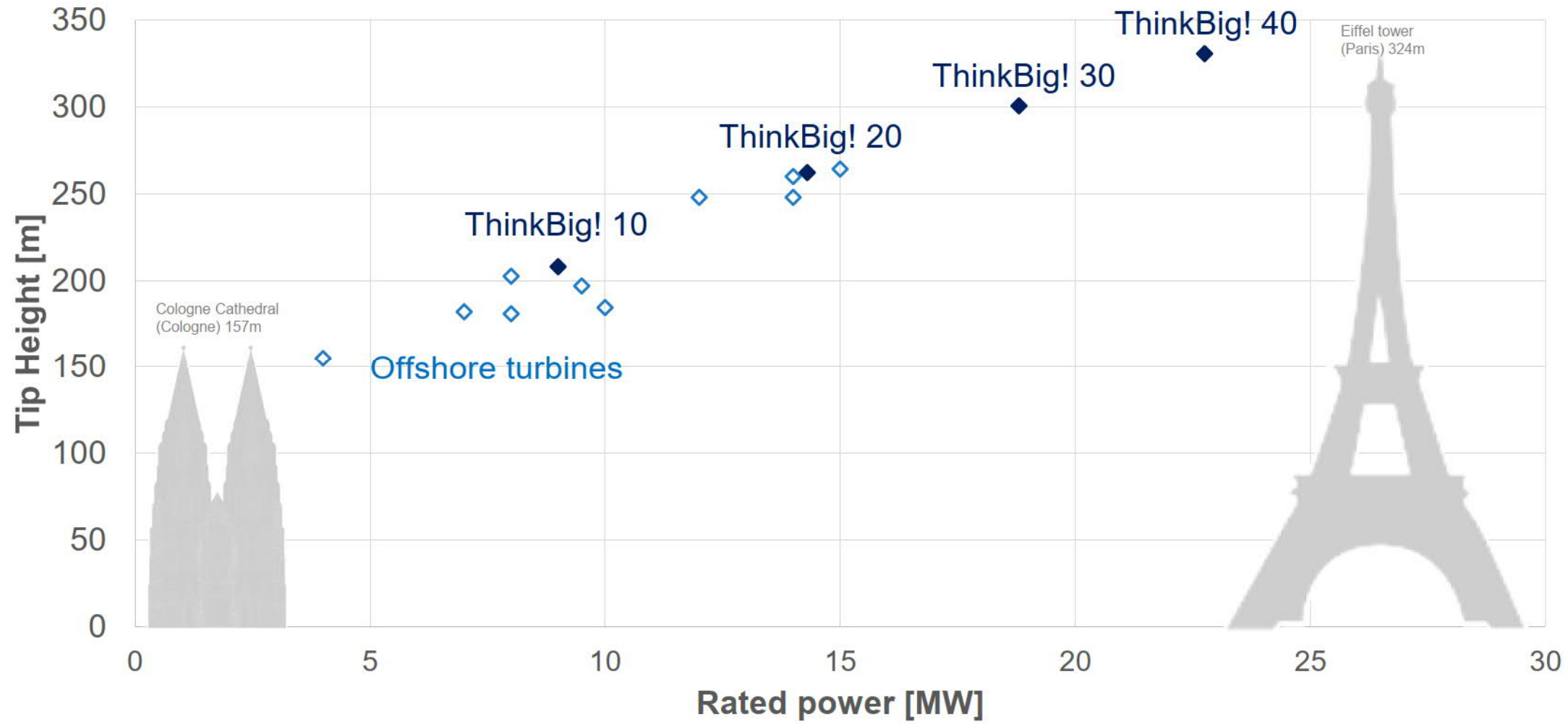
Speedy_HTS

Energiegestehungskosten (LCoE)



Speedy_HTS

Wachsende Turbinengröße



Speedy_HTS

Überproportional steigendes Drehmoment



Leistung steigt quadratisch mit Rotordurchmesser.

ABER: Drehmoment steigt kubisch mit Rotordurchmesser!

- Anforderungen an die Drehmoment- und Leistungsdichte des Antriebsstranges steigen!



Speedy_HTS

Arten von Antriebssträngen

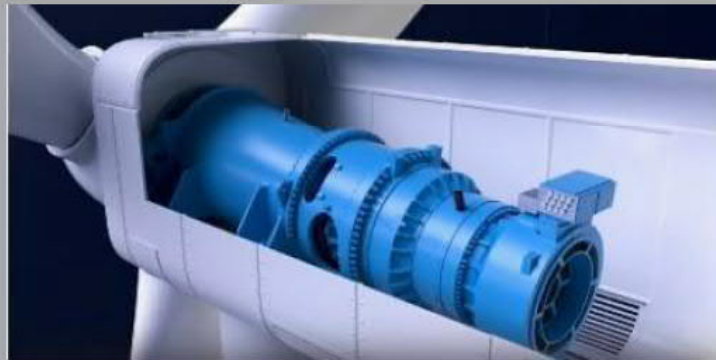
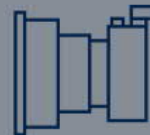


Fully geared high speed drive train



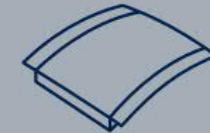
1. Proven standard solution of single components since decades
2. Different generator types available
3. Power, torque density and innovation potential limited

Medium speed drive train



1. Most compact drive train in the market due to functional integration
2. Oil-cooling for high power density
3. Open-air and water cooling optional

Direct drive generators (Stator segments)



1. No.1 in Offshore Turbines regarding reliability and scalability
2. Torque density pushed to the limits
3. High material requirement and invest

Speedy_HTS

Marktentwicklung

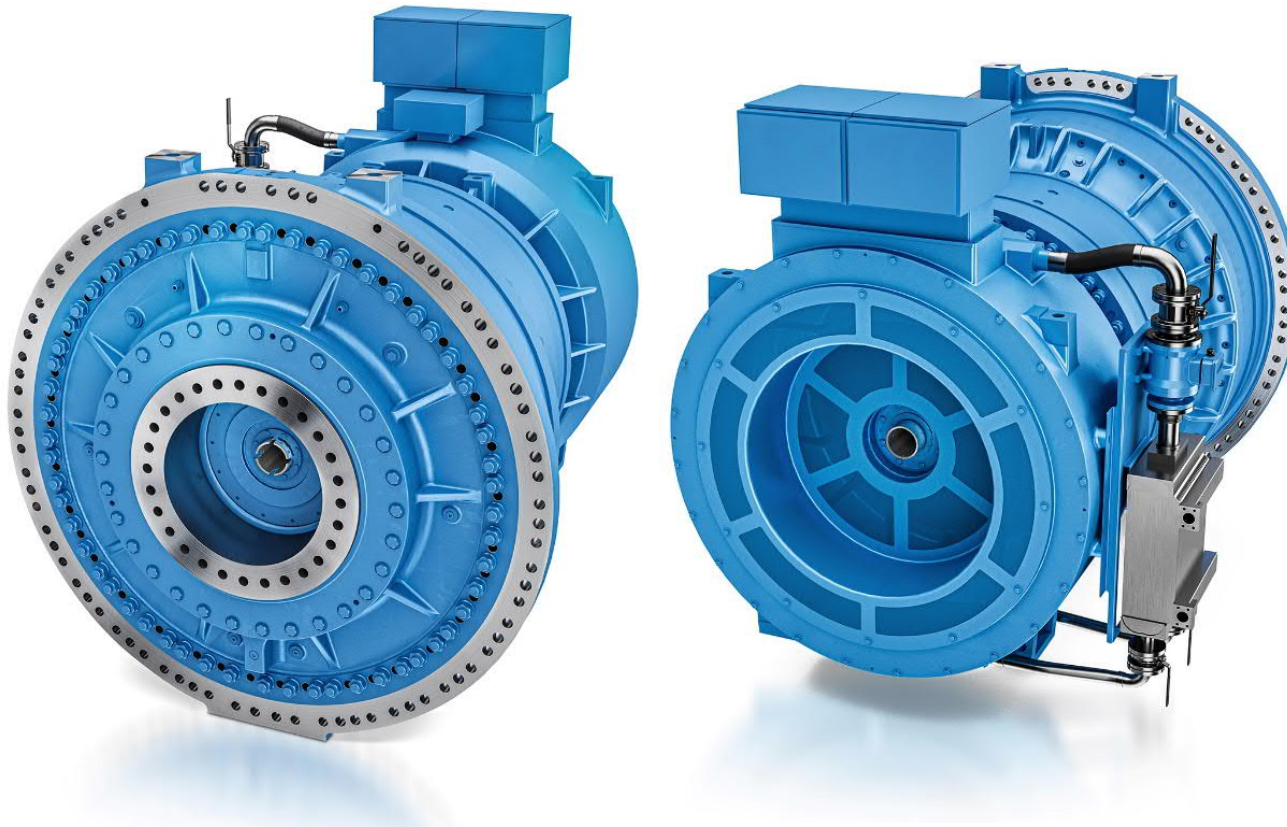


Marktentwicklung der Antriebsstrangarten

Der Trend geht Onshore zu schnelllaufenden und mittelschnelllaufenden Konzepten (Midspeed).

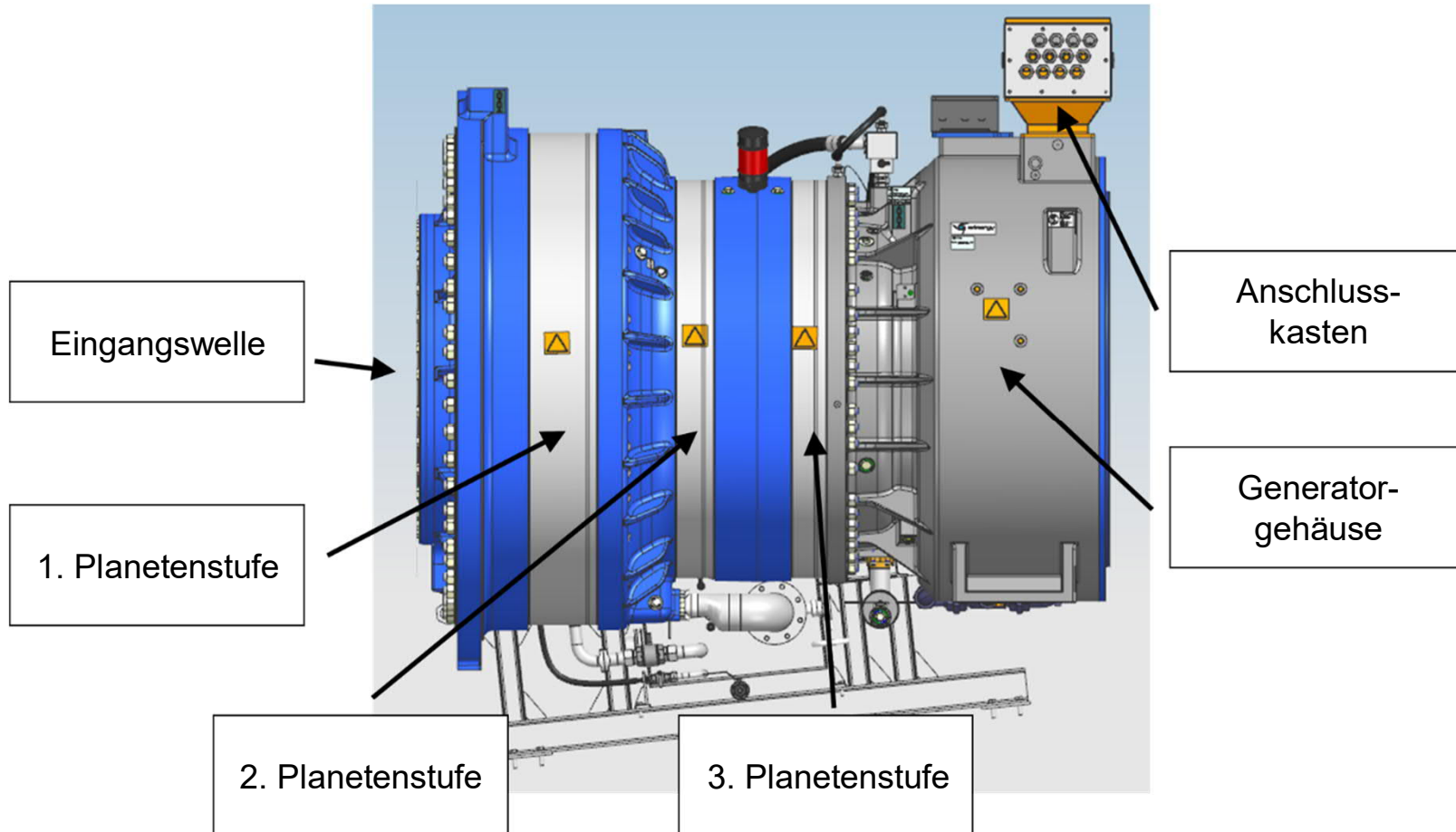
Offshore ist eine hohe Zuverlässigkeit wichtig. Daher wird der Markt zukünftig gleichermaßen von Direct-Drive und mittelschnelllaufenden Konzepten dominiert.

Speedy_HTS Winergys HybridDrive



- mehrstufiges Planetengetriebe mit permanentmagneterregten Generator
- ölgekühlte Statorwicklung
- höhere Leistungsdichten im Vergleich zu anderen Antriebssträngen
- höhere Zuverlässigkeit
- wartungsarm

Speedy_HTS Winergys HybridDrive (6 MW Ausführung)



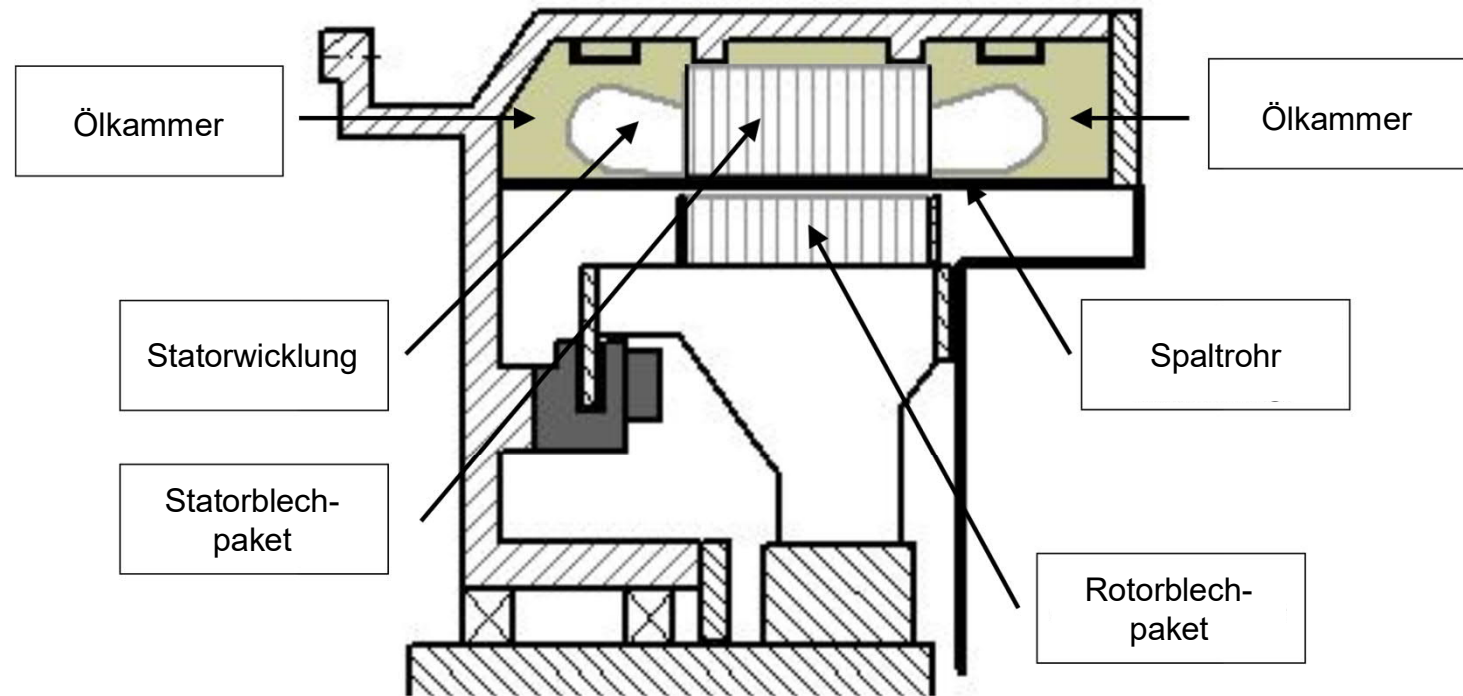
Seitenansicht eines 6 MW HybridDrive mit 3-stufigem Getriebe und ölgekühltem Generator

Speedy_HTS Winergys Ölkühlung



Ölkühlung des Stators

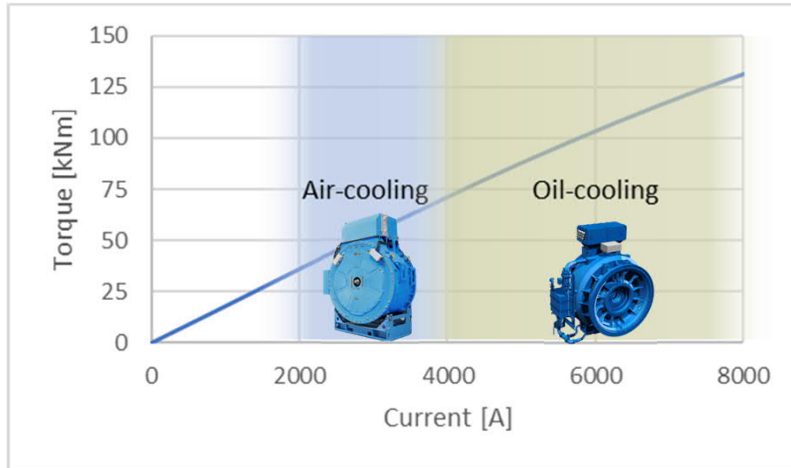
- Die Technik ist für kleinere Wasserpumpen und einige spezielle Hochleistungs-Elektromotoren bekannt
- Externer Öl-Wasser-Kühler
- Robuste und effiziente Ölpumpe



Schnittdarstellung des ölgekühlten Generator mit konventionellem Rotor

Speedy_HTS

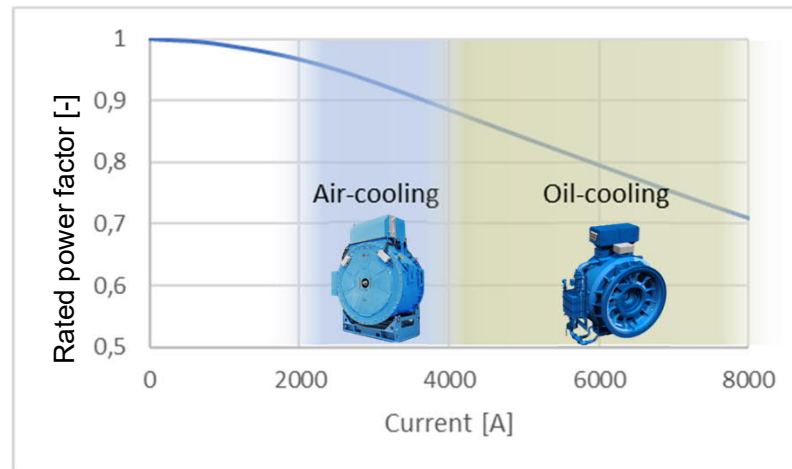
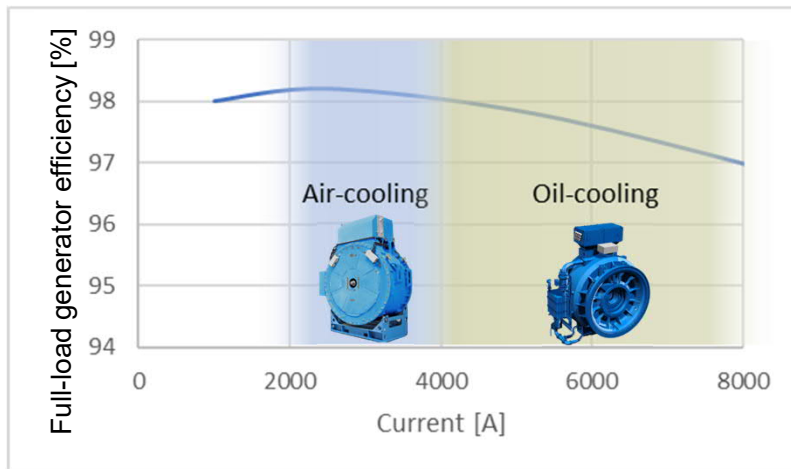
Ölkühlung und deren Limits



Die Ölkühlung ermöglicht eine Leistungs- und Drehmomentdichte, die weit über die konventionell gekühlter Generatoren hinausgeht

Nachteile

- Der Wirkungsgrad bei Volllast nimmt ab
- Der Nennleistungsfaktor nimmt mit zunehmender Leistungsdichte ab



Leistungsdaten desselben Aktivteils bei Verwendung unterschiedlicher Kühlarten

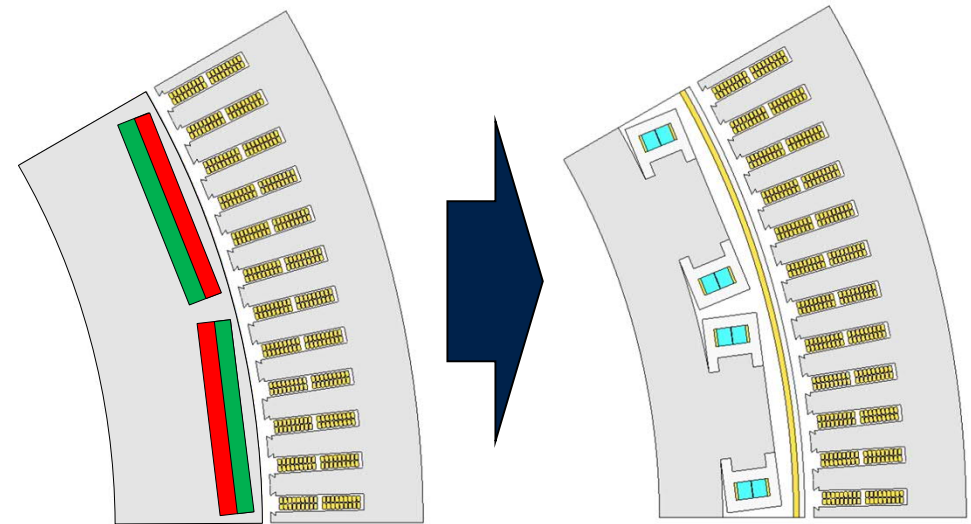
Speedy_HTS

HTS-Rotor in Kombination mit ölgekühlten Hochstromstator



Einsatz eines HTS-Rotors

- höhere Luftspaltflussdichte
 - größerer Strombelag im Stator
 - geringer Magnetisierungsbedarf durch kompakten Hochstromstator
- enorme Erweiterung des Leistungsbereichs
- geringster Materialbedarf und weitestgehender Verzicht auf seltene Erden
- HTS ermöglichen Verstellbarkeit der Erregung sowie den Betrieb mit Leistungsfaktor 1



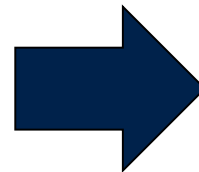
Blechschnitt des konventionellen permanentmagneterregten Generators und des Generators mit HTS-Rotor

Speedy_HTS

Erwartete Leistungsdaten



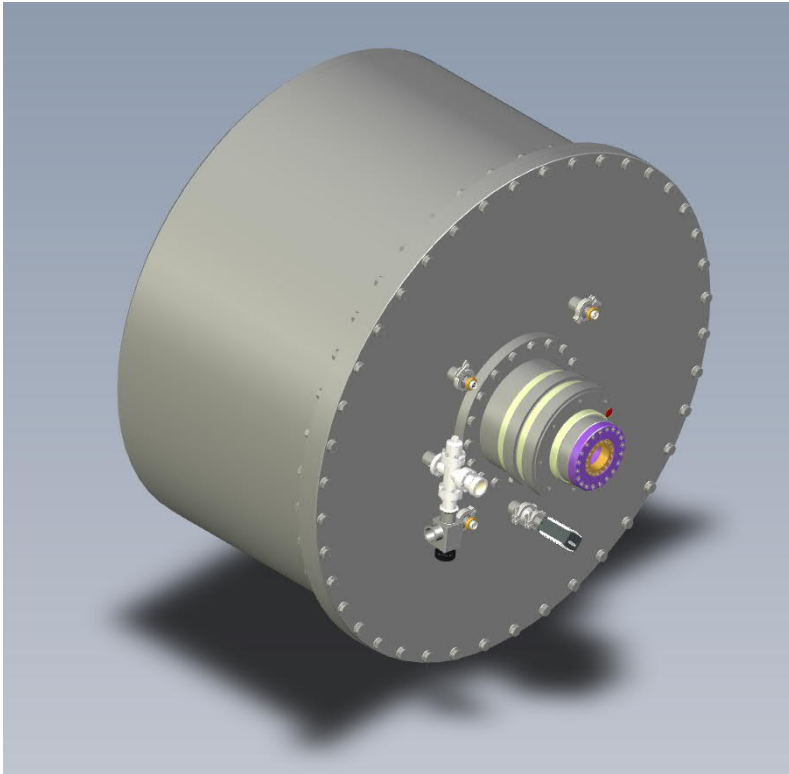
Winergys HybridDrive permanenterregt / ölgekühlt	
Nennleistung	6 MW
Nenndrehzahl	600 rpm
Generatorgewicht	9600 kg (inkl. Getriebeflansch)
Wirkungsgrad	97 %
Leistungsfaktor	0,80
Drehmomentdichte	9,95 Nm/kg
Leistungsdichte	0,62 kW/kg



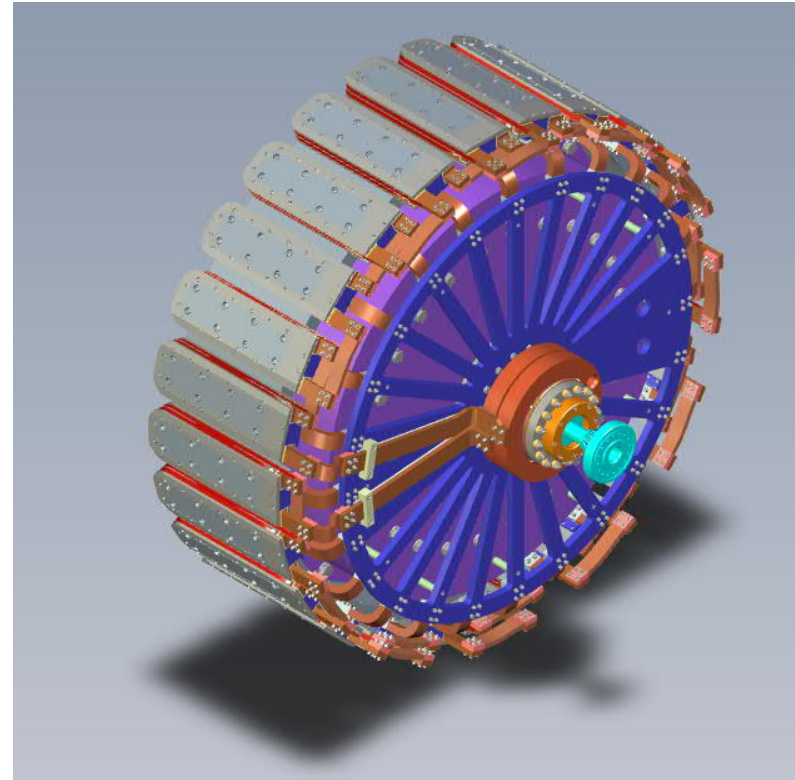
Winergys HybridDrive Speedy_HTS *	
Nennleistung	13 MW
Nenndrehzahl	600 rpm
Generatorgewicht	9600 kg (inkl. Getriebeflansch)
Wirkungsgrad	97 %
Leistungsfaktor	1,0
Drehmomentdichte	21,5 Nm/kg
Leistungsdichte	1,35 kW/kg

* berechnet auf Basis der bisher vorhandenen Daten

Speedy_HTS Rotorkonzept



Entwurf des Rotor-Kryostat



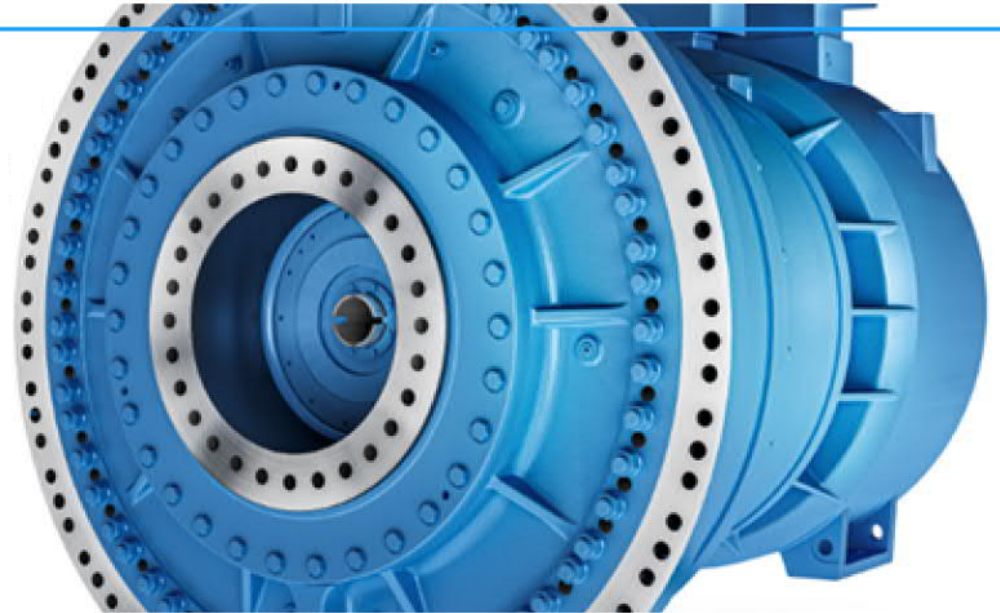
Entwurf des HTS-Rotors mit Spulen, Kaltbus und elektrischem Anschluss

Speedy_HTS

Weltrekord für Leistungsdichte von Windkraftgeneratoren



- Kombination aus Ölkühlung und HTS-Rotor
- Kompakte Bauform für einfache Transportierbarkeit und geringe Turmkopfmasse
- Skalierbar für Windturbinen von 10 bis über 25 MW
- Minimale Größe des Umrichters durch Leistungsfaktor 1
- > 95% weniger Kupfer und > 99% weniger seltene Erden gegenüber DirectDrive



Leistungsdichten über 1,35 kW/kg
Generatorgewicht



Dr. Roland Zeichfüßl

Engineering and R&D Wind Generators
Head of System, Testing and R&D Projects

Flender GmbH
FLE WG EN 3
Hans-Loher-Str. 32
94099 Ruhstorf a.d. Rott, Germany

Mobile: +49 152 21727102
mailto:roland.zeichfuessl@flender.com
www.winergy-group.com