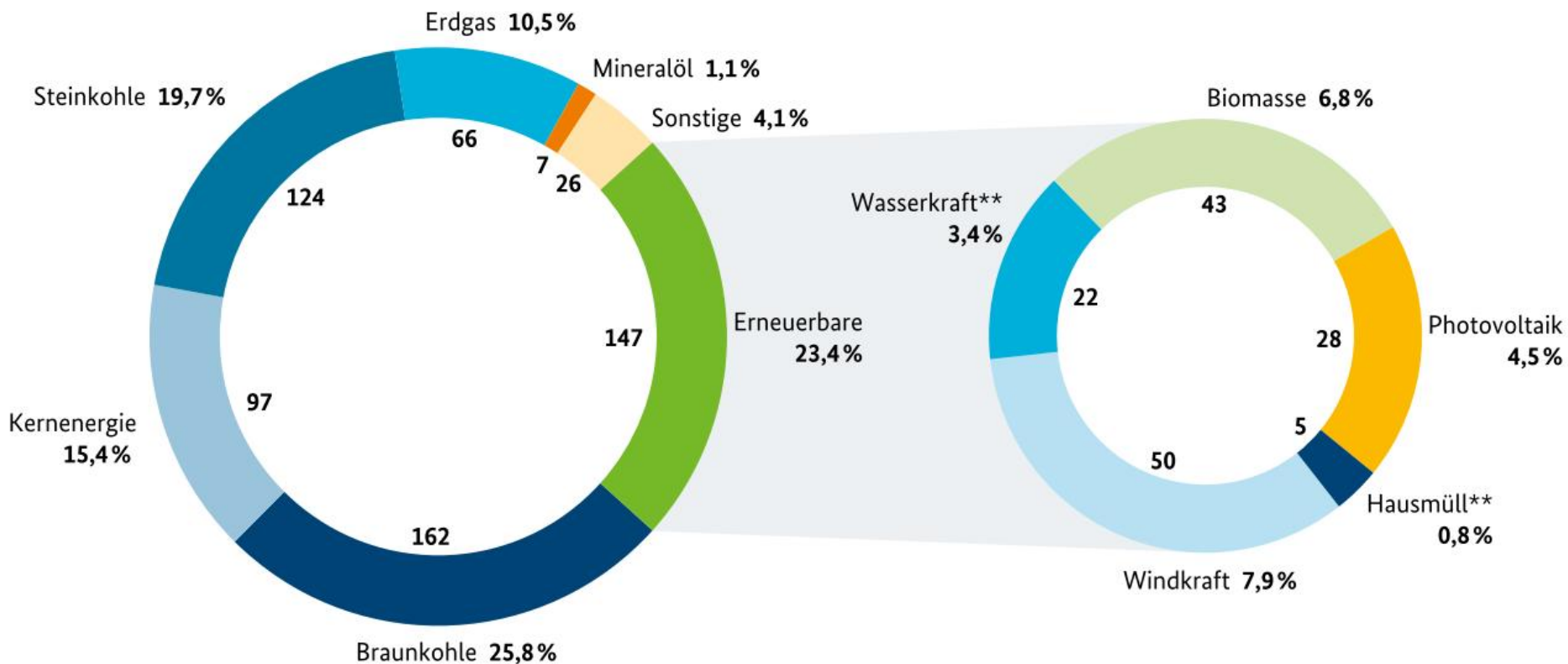


Siemens Corporate Technology | März 2014 | A. Kuhnert

Langsamdrehende HTS-Maschinen für die regenerative Energieerzeugung

Energieerzeugung in Deutschland 2013

Schaubild 7: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2013 (insgesamt 629 TWh*)

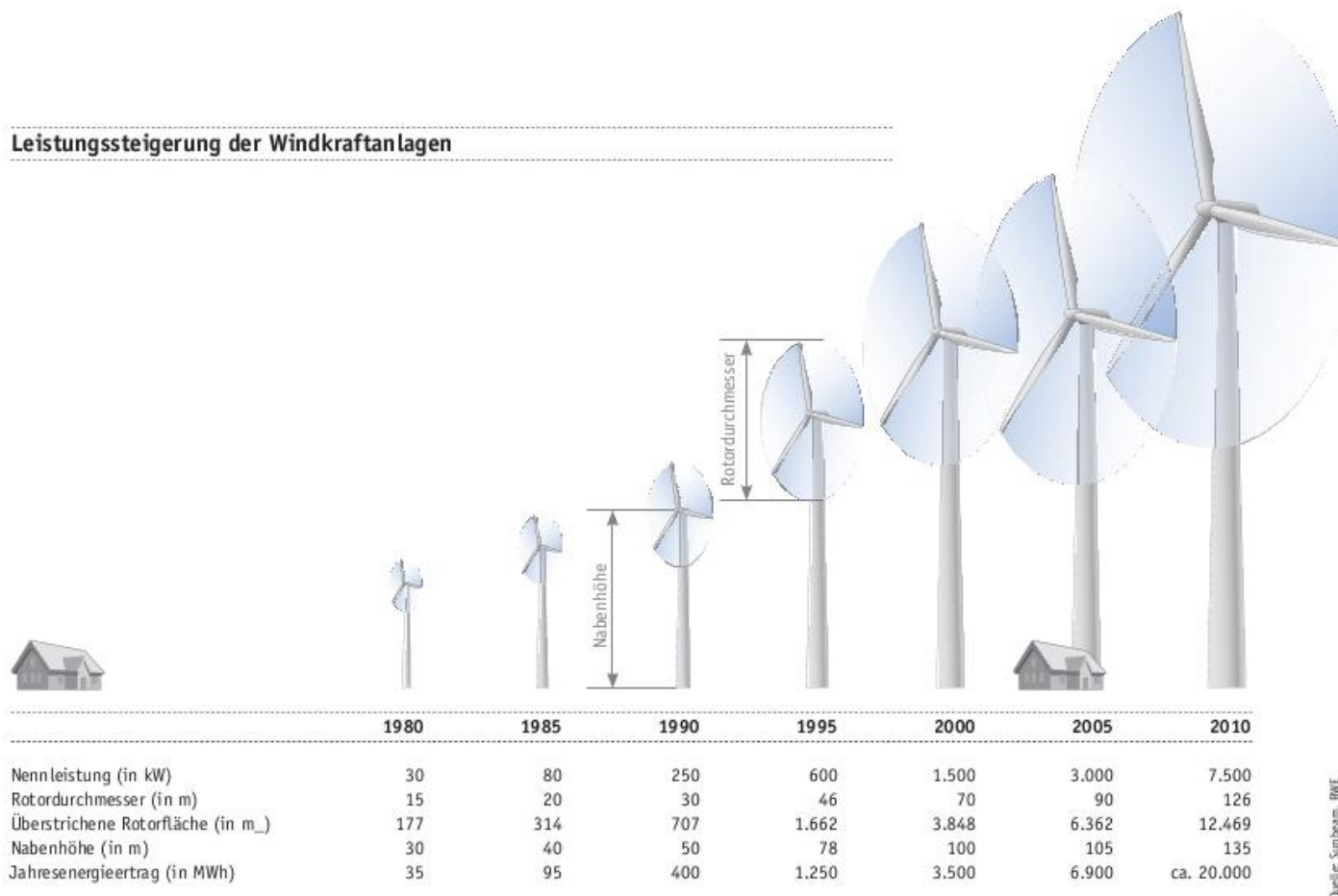


* vorläufig ** regenerativer Anteil

Quelle: Jahreswirtschaftsbericht 2014 (BMWi)

Windkraftanlagen: Entwicklung der Leistung

Leistungssteigerung der Windkraftanlagen



Quelle: Bundesverband WindEnergie

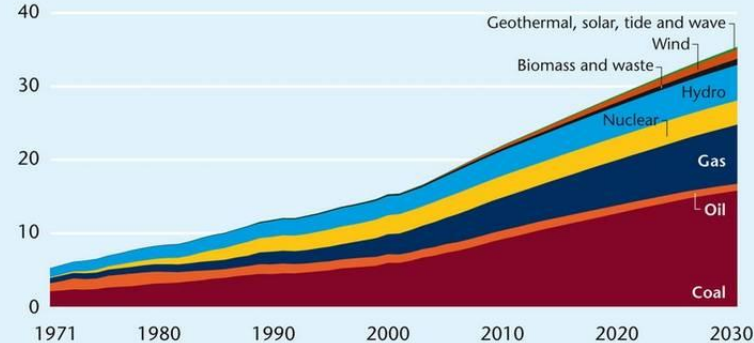
Entwicklung zu immer **höheren Leistungen**

→ die Anlagen werden immer **größer**

Wasserkraft: Überblick weltweit

Renewable energy sources are expected to meet only a small part of total energy demand to 2030

Global production of electricity by energy source, 1971-2030
(thousands of terawatt hours)



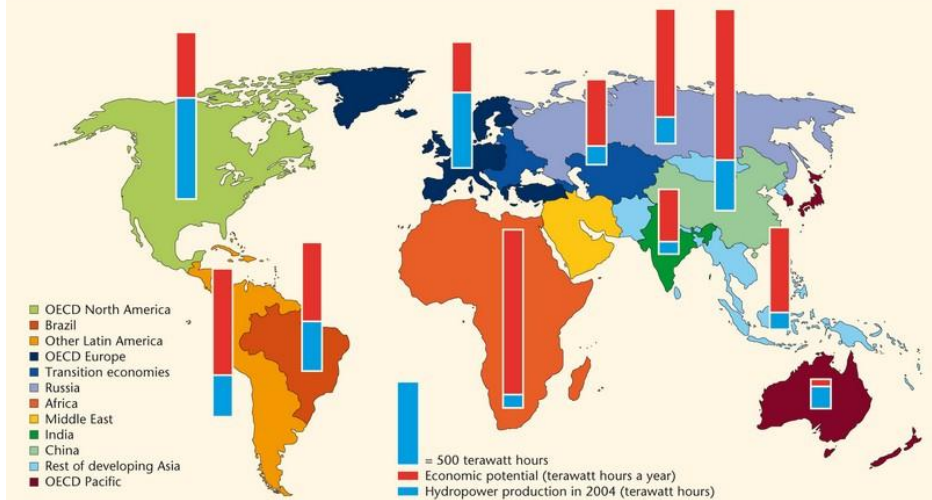
World Water Assessment Programme. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. Figure 7.11, page 119.

Based on data from: IEA. 2008. *World Energy Outlook 2008*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency.

Quelle: www.unesco.org

- ca. 20% der weltweiten Energieerzeugung stammen aus Wasserkraft
- weltweit ist ein großes bislang ungenutztes Potential vorhanden

World potential and current hydropower production, 2004



World Water Assessment Programme. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. Map 7.6, page 119.

Based on data from: IEA (International Energy Agency). 2006. *World Energy Outlook 2006*. Paris

Windgeneratoren: Eigenschaften und Anforderungen



- die optimale **Drehzahl** hängt von der Windgeschwindigkeit ab und ist in Grenzen **einstellbar**
- typischerweise Betrieb **mit Umrichter**
- eine **kompakte Bauweise** ist vorteilhaft um den Transport- und Bauaufwand zu minimieren
- der **Wirkungsgrad** soll möglichst hoch sein
- eine **hohe Zuverlässigkeit** der Anlage ist gefordert um Wartungsaufwand zu minimieren
- der Bedarf an **seltenen Erden** soll minimiert werden

Wasserkraftgeneratoren: Eigenschaften und Anforderungen



- typischerweise Betrieb **ohne Umrichter** → **Dreh- und Polzahl** müssen zur **Netzfrequenz** passen
- eine **kompakte Bauweise** der Generatoren ist vorteilhaft
- der **Wirkungsgrad** soll möglichst hoch sein
- konventionelle Maschinen beinhalten große Mengen an **Kupfer**

Historie: Entwicklung von rotierenden HTS-Synchronmaschinen bei Siemens

1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 ...



Modellmotor

- 400 kW
- 400 V
- 50 Hz
- 1500 U/min
- **Technologie-Demonstrator**



Generator

- 4000 kVA
- 6600 V
- 60 Hz
- 3600 U/min
- **hohe Drehzahl**



Motor

- 4000 kW
- 3300 V
- 8 Hz
- 120 U/min
- **hohes Drehmoment**



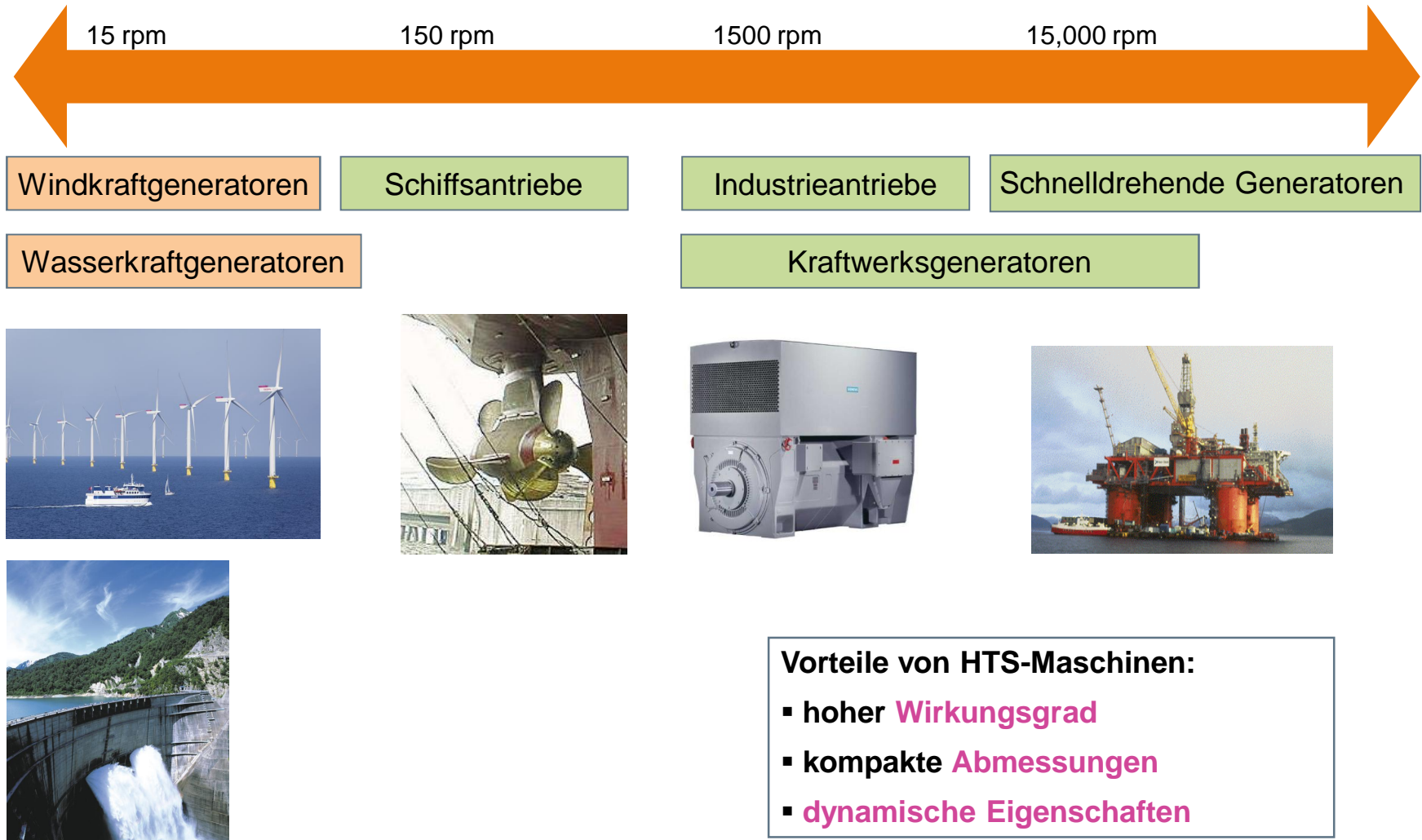
Generator

- HTS II
- Langzeittest
- am Netz (Siemens)
- Dauerbelastung
- **Langzeiterfahrung**

alle Entwicklungsprojekte wurden anteilig durch BMBF/BMWi gefördert

+ Experimentierplattform für neue Komponenten

HTS-Maschinen: potentielle Anwendungsgebiete



Vom HTS-Bandleiter zur Maschine



Draufsicht



Schliff



Rennbahnspule



Spulenstapel



HTS-Leiter

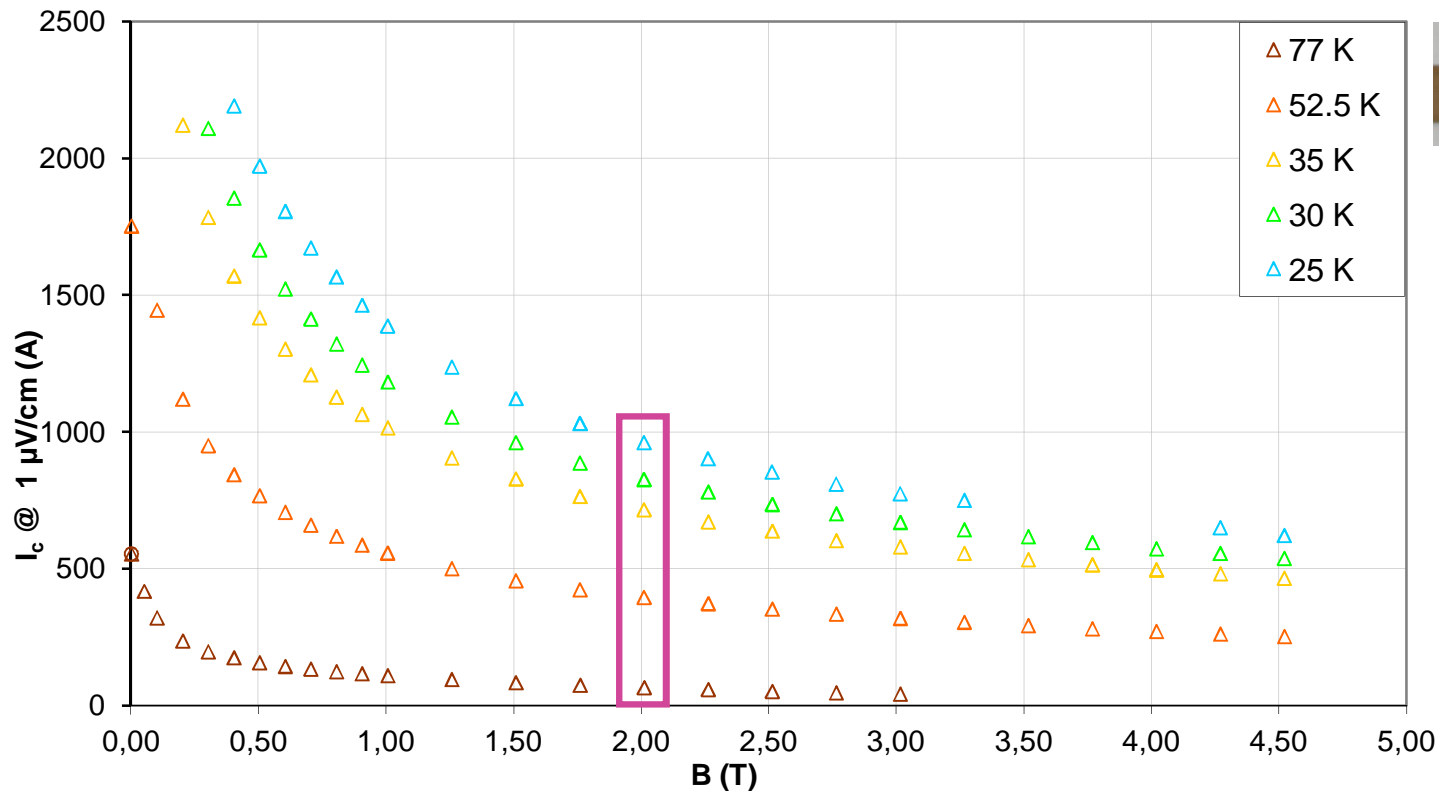


Spulen



Rotor einer HTS-Maschine

HTS-Bandleiter: aktuelle Performance



- typischer, kommerziell erhältlicher 2G-HTS-Bandleiter
- **hohe Stromtragfähigkeit**, auch im Magnetfeld
- **keine Verluste** bei DC-Betrieb
- **stetige Verbesserung** der Performance durch die Leiterhersteller

Gleichgewicht:
Kosten HTS ↔ **Kosten Kühlung**

HTS-Spulen



- das Spulendesign ist eng mit dem Maschinendesign verknüpft
- je nach Spulengröße z.T. große **HTS-Einheitslängen** erforderlich, bei **hochpoligen Maschinen** sind die einzelnen Spulen schmal
→ **keine hohen Anforderungen** bezüglich Einheitslänge
- neben der **elektrischen Auslegung** sind **mechanische Anforderungen** zu beachten
- die Spulen müssen **kalt gehalten** werden und befinden sich daher in einem **Vakuumgefäß**

HTS-Maschinen: Vorteile

HTS-Generatoren allgemein

- kompakte **Baugröße**
- sehr hoher **Wirkungsgrad**
- **geringe Erregungsleistung** im Normalbetrieb ausreichend ($R=0$)



Langsamdrehende HTS-Generatoren

- hohe Polzahl → zahlreiche schmale Spulen → nur **kleine HTS-Einheitslängen** erforderlich
Wickeltechnik bekannt und beherrscht
- **geringe Fliehkräfte**
→ mechanische Anforderungen deutlich geringer als bei schnelldrehenden Maschinen



Windkraft

- Generatoren **ohne Getriebe**
→ geringerer Wartungsaufwand, insbes. bei Offshoreanlagen großer Vorteil
- **Reduzierung des Bedarfs an seltenen Erden**

Wasserkraft

- **Reduzierung des Kupferbedarfs**

Fazit und Ausblick

Fazit

- die **geringe Baugröße** reduziert den Aufwand bei Transport und Bau der Anlage
- der **hohe Wirkungsgrad** ist von Vorteil
- **Verringerung** des Bedarfs an **seltenen Erden** (Windkraft) und **Kupfer** (Wasserkraft) durch den Einsatz von HTS möglich

Ausblick

- bei einer **Entwicklung zu größeren Leistungen** bei Windkraftanlagen wird in Zukunft der Einsatz von HTS nötig sein um den **Transport- und Bauaufwand** zu begrenzen
- HTS-Leiter werden stetig verbessert → in Zukunft **höhere Betriebstemperaturen** möglich?