

Windenergie: Status und (inter-)nationale Rolle in der zukünftigen Energieversorgung

Prof. Dr. Martin Kühn
Stiftungslehrstuhl Windenergie
Universität Stuttgart

[Abb. © EWEA / Winter]

Inhalt

- I. Windenergie in Stuttgart?
 - II. Status in Deutschland
 - III. Technologieentwicklung
 - IV. Umweltauswirkungen
 - V. Netzintegration
 - VI. Wirtschaftlichkeit und wirtschaftliche Bedeutung
- Fazit

I. Stuttgarter Windenergetradition (Beispiele)

- Prof. U. Hütter
Institutsdirektor 1959-1980
Pionier beim Bau von
Windenergieanlagen und
Faserverbundbauteilen
- Aerodynamik & Aeroakustik
- DLR-Institut f. Bauweisen &
Konstruktionsforschung
- **Stuttgarter Windenergie-
forschung grundlegend für
industrielle Entwicklung in
den 1990ern**



Stiftungslehrstuhl Windenergie (SWE)

- gestiftet im Januar 2004 durch Dipl.-Ing.
Karl Schlecht, Gründer und
Aufsichtsratsvorsitzender der
Putzmeister AG, Aichtal (Stuttgart)
- **erster deutscher Lehrstuhl für
Windenergie**
- derzeit 12 MitarbeiterInnen
- am Institut für Flugzeugbau in der
Tradition von Prof. Ulrich Hütter
- vielfältige Lehre & Kooperationen

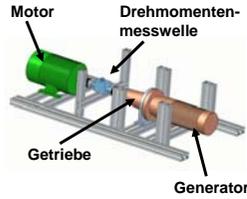


Dipl.-Ing. Karl Schlecht
Prof. Dr. Martin Kühn



Putzmeister Autobetonpumpe

Praxisbezug in der Windenergie-Lehre



Vermessung der Generator Kennlinie

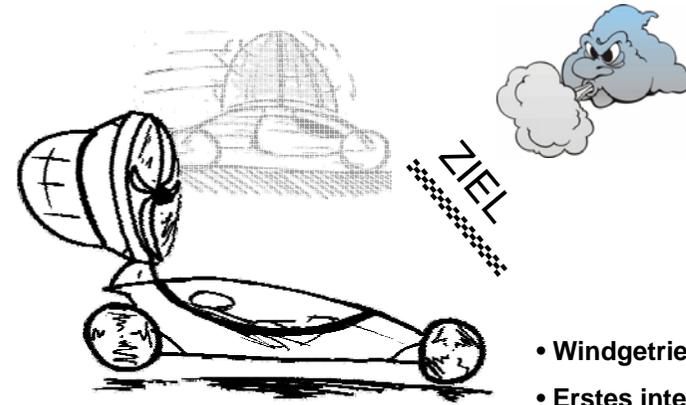


Vergleich von Rotoren im Windkanal



Belastungsmessungen am 5MW-Prototypen Multibrid M5000, Bremerhaven

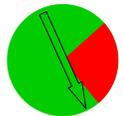
Studentisches Projekt: Das Ventomobil "InVentus"



- Windgetriebenes Fahrzeug
- Erstes internationales Wettrennen, Aug. 2008, Holland

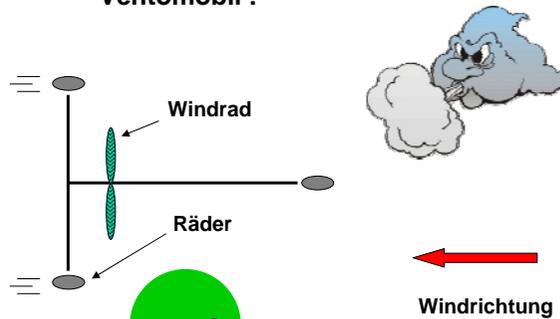
Was ist ein Ventomobil ?

Segelschiff :



Fahrtrichtung Segelschiff

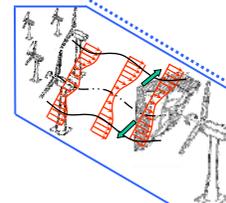
Ventomobil :



Fahrtrichtung Ventomobil

Forschung am Stiftungslehrstuhl Windenergie

Aero-elastisches Verhalten von Windenergieanlagen



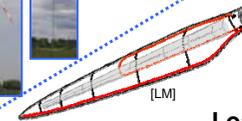
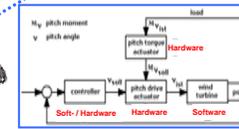
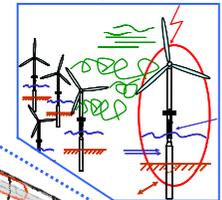
und deren Komponenten



Betriebsverhalten von Windenergieanlagen



Dynamik und Entwurf von Offshore-Windenergieanlagen

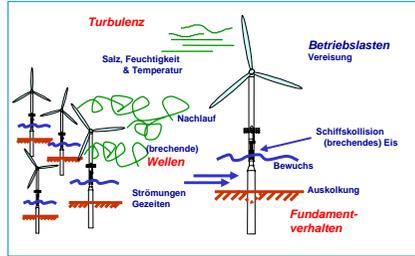


Load Monitoring und Regelung

Beispiele für aktuelle Forschungsprojekte

Dynamik von Offshore-Windenergieanlagen

- Integriertes EU-Projekt „UpWind“
- „Verifikation der Offshore-Windenergieanlagen“ im geplanten Offshore-Testfeld
- Vergleich von Simulationsprogrammen (Int. Energie Agentur)



Load Monitoring, Regelung & Betrieb

- Laser-optische Windfeldmessung (LIDAR)
- Load Monitoring und individuelle Pitchregelung



Vermessung des Prototypen Multibrid M5000, 5MW, Ø116m

II. Status der Windenergie in Deutschland (Stand 30.6.2007)

- 19.024 Windenergieanlagen mit 21.283 MW Leistung
- 7% des (Netto)Elektrizitätsverbrauchs bei durchschnittl. Windjahr (5,7% in 2006 erzeugt)
- ca. 74.000 Beschäftigte in der Branche
- 7,1 Mrd.€ Umsatz (Hersteller, Energie, etc.)
- Exportanteil der Industrie 82%



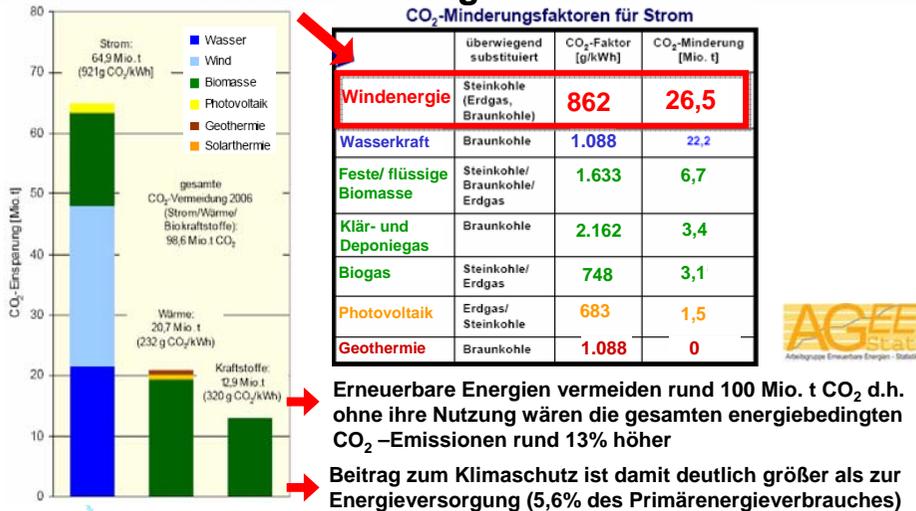
[REpower Systems AG, Foto: Jan Oelker]

[DEWI, BWE, 2007]



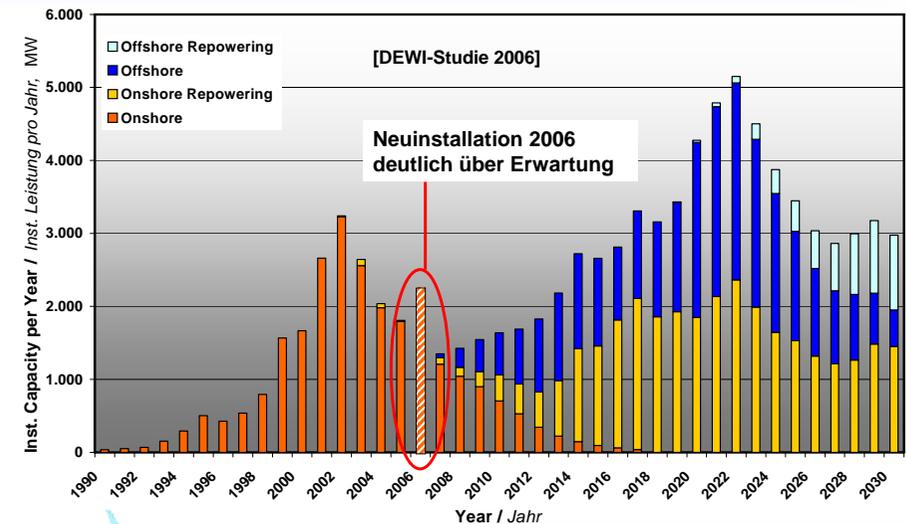
Universität Stuttgart

CO₂-Vermeidung durch die Nutzung Erneuerbarer Energien im Jahr 2006



Windenergie – ein Beitrag zum Klimaschutz

Entwicklung der jährlichen Neuinstallation in Deutschland



Universität Stuttgart

Anteil Erneuerbare Energien an der Strombereitstellung

Koalitionsvertrag

- 2010: 12,5 % Anteil
- 2020: 20 % Anteil

Zielvorgabe des Bundesumweltministeriums

Anteil der Windenergie

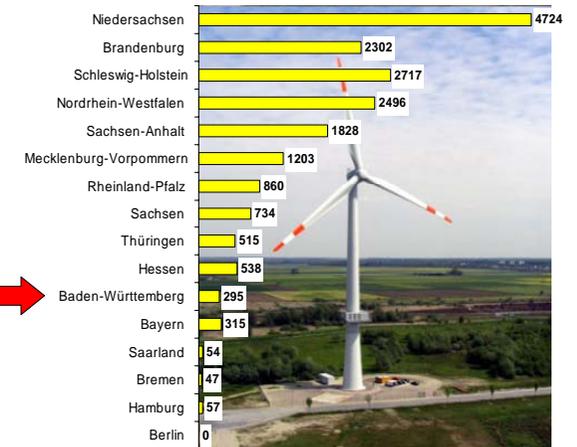
- 2030 25% (10% onshore, 15% offshore)

Leitstudie des Bundesumweltministeriums

- 2020 27 %
- 2030 45 %
- 2050 77 %

Stand der Windenergie in den Bundesländern (12/2006)

Windenergieanlagen Anzahl



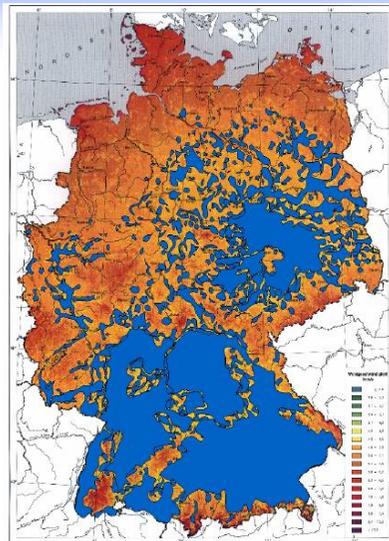
Baden-Württemberg:
295 Anlagen = 325 MW

Bayern:
315 Anlagen = 339 MW



[Quelle: DEWI]

Windpotenzial und Windenergieanlagen in Deutschland



[Abb. DWD]

Karte mit mittl. Windgeschwindigkeit
Gebiete ohne Einspeisevergütung sind blau gekennzeichnet



© 2006 Energie & mehr systems GmbH

Energieertrag einer durchschnittlichen Anlage

Durchschnittliche Größe neu errichteter Anlagen (2006): ca. 1,9 MW - 80 m Ø

⇒ Elektrizität für ca. 1000 Haushalte mit 4 Personen



[Abb. BWE]

Beispiel für Erträge von guten Standorten in BW

• Freiamt

- Typ Enercon E66/70
- Leistung 1.800 kW
- Energieerzeugung ca. 2,8 Mio kWh/a (~ Bedarf von ca. 950 Haushalten)
- Einsparung CO2 ca. 2.800 Tonnen/a

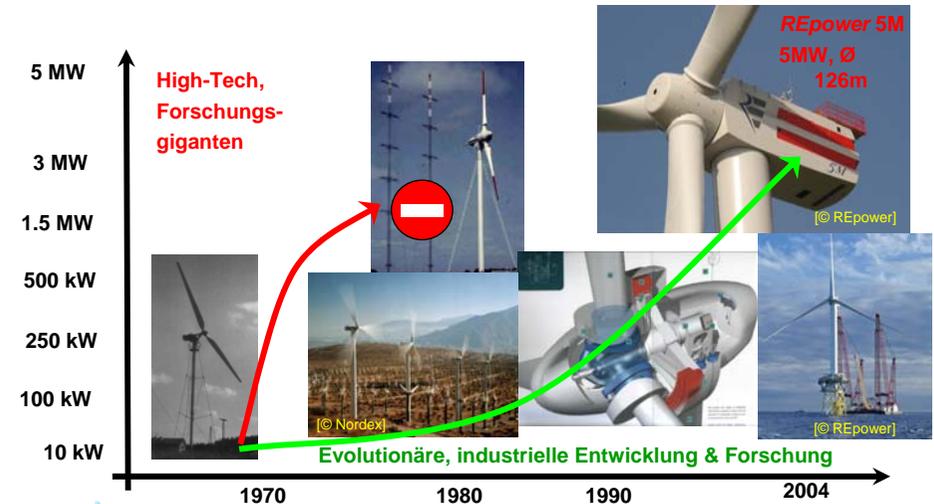


• Mahlberg

- Typ Nordex N80
- Leistung 2.500 kW
- Energieerzeugung ca. 2,7 Mio kWh/a (~ Bedarf von ca. 860 Haushalten)
- Einsparung CO2 ca. 2.700 Tonnen/a

[<http://t3.regiowind.de>]

III. Verschiedene Wege der Technologieentwicklung



Persönliches Erlebnis der Windenergieentwicklung

1990: Praktikum im Kreuzberger Ingenieurkollektiv Errichtung Südwind 1230 (Ø12m, 30kW)



13 Jahre

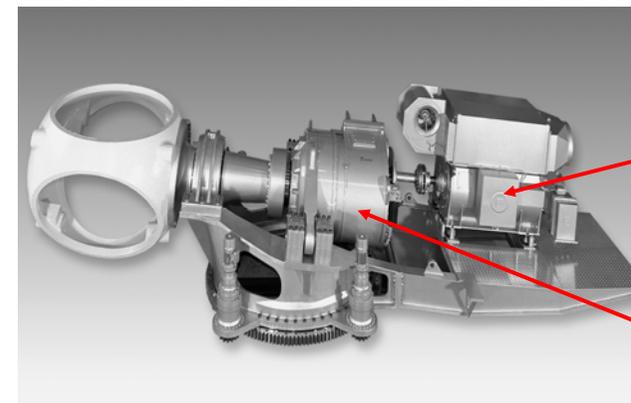


[Abb. GE-Wind Energy Produkt-CD]

2003: General Electric Errichtung GE 3.6s offshore (Ø104m, 3.600kW)



Aufbau einer **drehzahlvariablen** Windenergieanlage **mit** Getriebe



[Abb. DeWind aus Gasch-Buch]

=> Drehstrom **fester** Frequenz (50 Hz)

Frequenzrichter

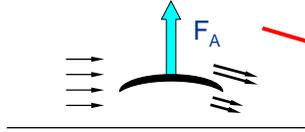
Generator => Drehstrom **variabler** Frequenz

„Schnelle“ Welle (ca. 1100 - 1800 U/min) => kleines Drehmoment **Getriebe**

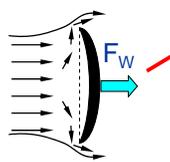
„Langsame“ Welle (ca. 11 - 20 U/min) => großes Drehmoment

Antrieb einer Windturbine durch: Auftrieb oder Widerstand

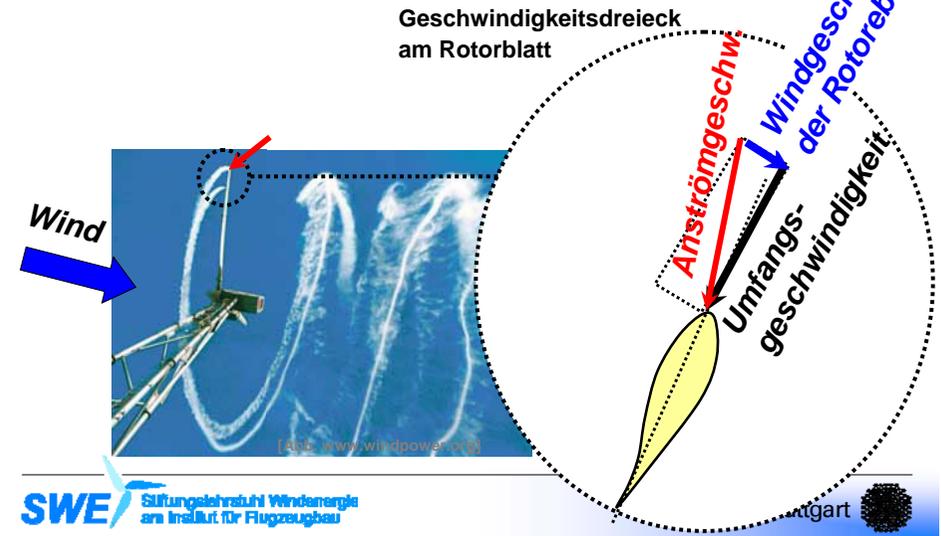
“Auftriebssprinzip”:



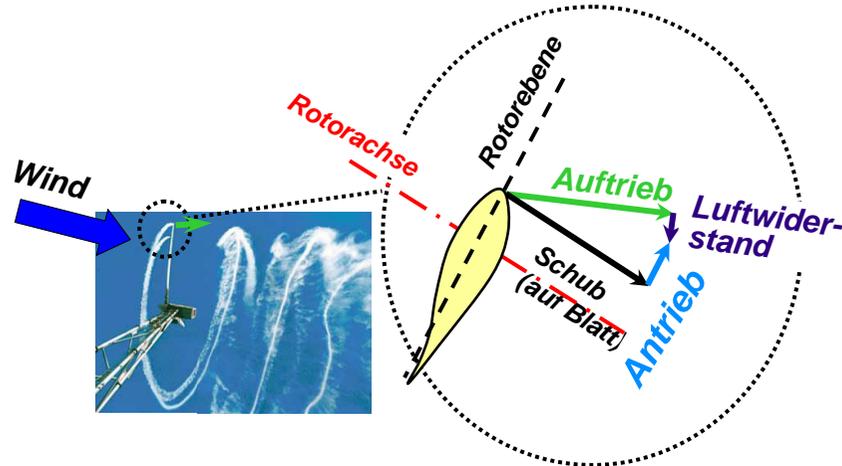
“Widerstandsprinzip”:



Windströmung am Rotorblatt



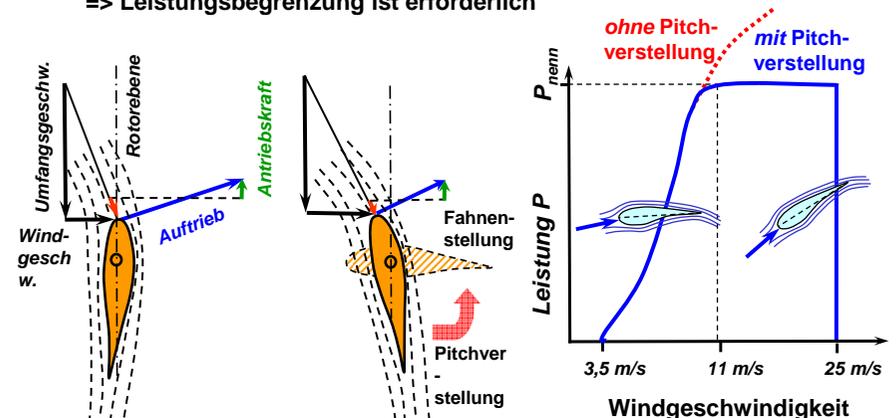
Kräfte am Rotorblatt



[Abb. www.windpower.org]

Leistungsbegrenzung durch Blattwinkelverstellung (engl. Pitch)

Leistung nimmt mit 3. Potenz der Windgeschwindigkeit zu
=> Leistungsbegrenzung ist erforderlich



unterhalb Nennwindgeschwindigkeit

oberhalb

Achtung: Böen lassen sich nur mit Pitch und Drehzahlvariabilität dynamisch ausregeln!

Offshore Windenergie-Technologie: Mehr als die Summe vieler Aspekte!

Logistik

Wartung

Netzintegration

Energietechnik

Wirtschaftlichkeit, Risiko

Tragstruktur

Windenergieanlage

[A2Seas, Eitam, Schreiber Umweltplanung, Uni Hannover, REpower]

Offshore Windenergie-Technologie in/aus Deutschland

Forschungsplattform Fino 1

Offshore-Testfeld Alpha-Vestus (Borkum)
geplant 2008:
6 x Multibrid M5000
6 x REpower 5M

REpower 5M
44m Wassertiefe, Schottland, Aug.

Nordex N90
Hafen Rostock, April 2006

[BMU, Nordex, REpower]

IV. Umweltauswirkungen von Energieträgern

Konventionelle Kraftwerke erzeugen **lokale und globale Umweltauswirkungen**
=> kein „St. Florian-Prinzip“ möglich!

Windenergieanlagen besitzen nur **lokale Umweltauswirkungen**
=> sorgfältige Standortplanung
=> „Not In My BackYard“



[Abb. BWE]

Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen

- Direkte Gefährdung
- Verkehrssicherheit
- Avifauna
- Landschafts- und Ortsbild
- Schall
- Schattenwurf

=> Was ist tatsächlich kritisch?
=> Wie umweltverträglich planen?



Schutz von Vögeln und Fledermäusen

Wirkung hängt stark von betroffenen Arten ab

- Kleinvögel absolut unkritisch

1. Kollisionen

sehr gering, ca. 1 – 2 Kollisionen pro WEA/Jahr

abhängig von Flughöhe, gewisse Probleme bei Greifvögeln (Rotmilan, Seeadler)

2. Scheuchwirkung

weniger bei ansässigen Vögeln

Wirkung auf mache Zugvögel, Fledermäuse



Visueller Einfluss auf das Landschaftsbild



Um 1900 ca. 30.000 Windmühlen in Norddeutschland

[DNR]



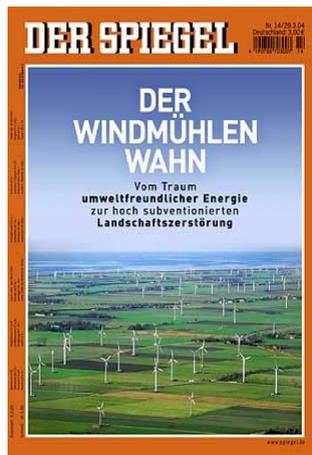
[DNR]



Ca. 20.000 Windenergieanlagen in DE Hier Schleswig-Holstein

Über 200.000 Strommasten in DE

Akzeptanz von Windenergie: Alles nur Ansichtssache?



„Luftnummer“ Spiegel 14/2004

- Akzeptanzproblem vor allem vor Ort „Not In My BackYard“



ARD Deutschlandtrend, Jan. 2006

„Umwelt- und naturverträgliche Nutzung der Windenergie an Land“ - Deutscher Naturschutzring (DNR)

„Es gibt keine schlechten Windräder, es gibt nur unpassende Standorte.“

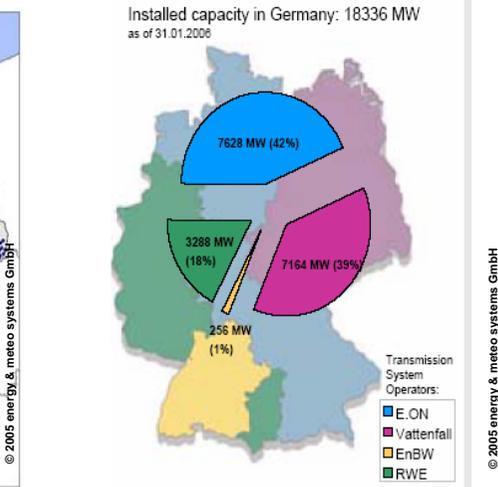
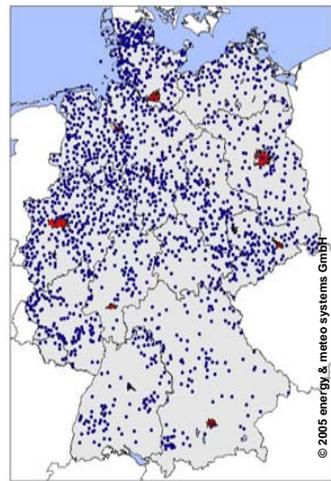
<http://www.wind-ist-kraft.de/>

Windkraft im Visier
Nur eine gute Standortwahl macht Windkraft umwelt- und naturverträglich
mehr>>>

Klimapolitik ohne Rückenwind
DNR kritisiert neuen Windenergie-Erlass in Nordrhein-Westfalen.
mehr>>>

DNR vertritt nahezu 100 Natur- und Umweltschutzverbände mit über 5 Mio. Einzelmitgliedern

V. Netzintegration Regionale Verteilung von Windenergie



Herausforderungen bei der Netzintegration von Windenergie

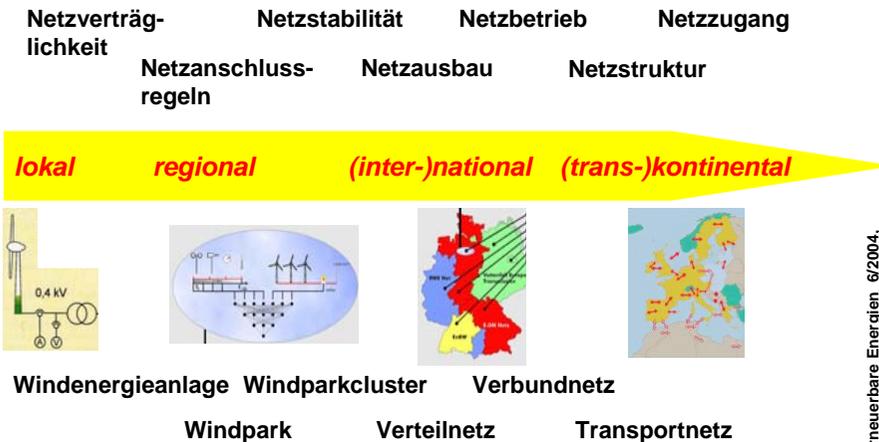


- Steuerbar
- Flexible Standortwahl

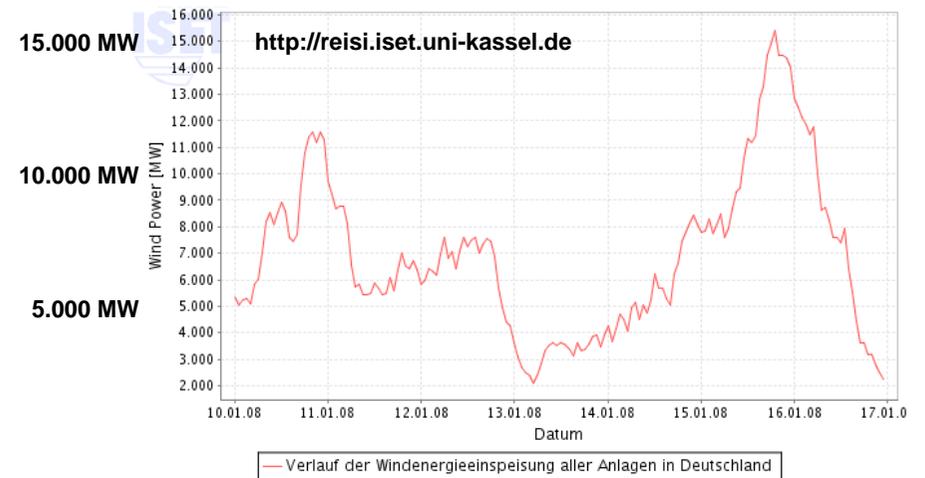
- Wetterabhängig
- Ressourcenabhängige Standortwahl

[Folie: ISET, Kassel]

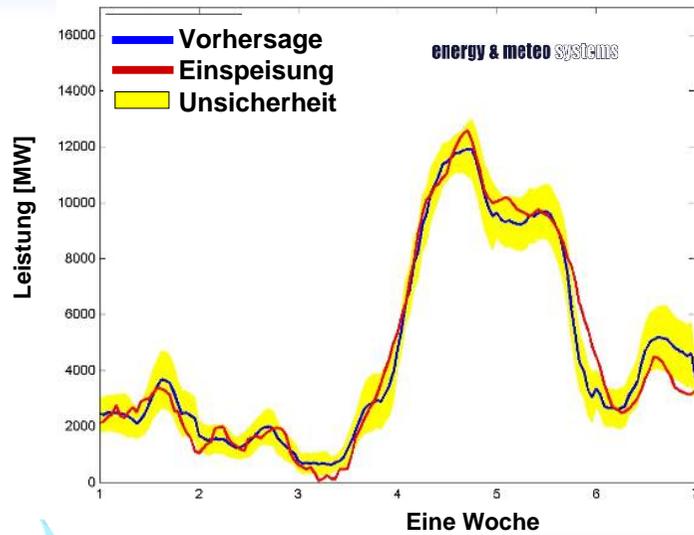
Netzintegration: Vielfältige Aspekte auf unterschiedlichen Skalen



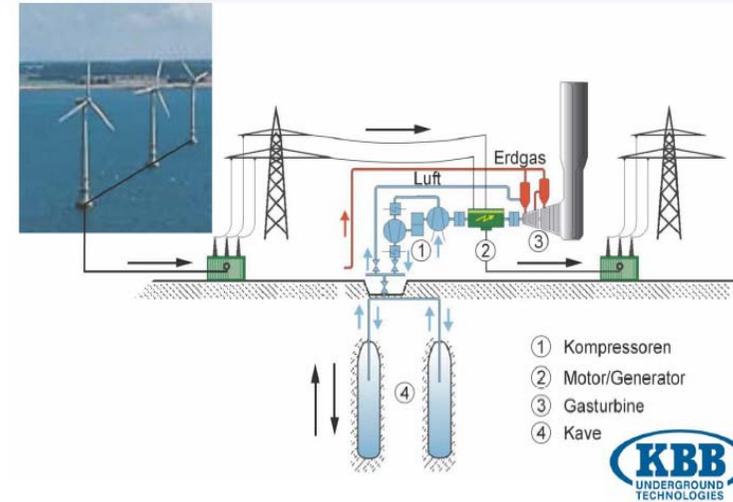
Windenergieleistung der aktuellen Woche



Beispiel für Windleistungsprognose



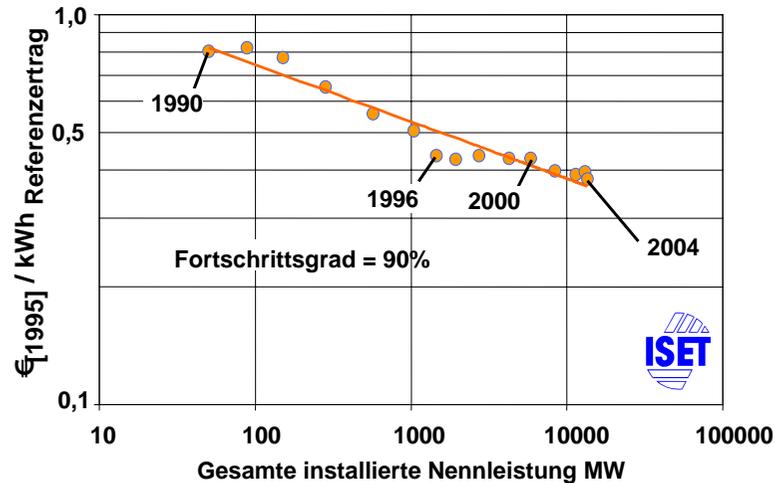
Druckluftspeicher-Gasturbinen-Kraftwerk



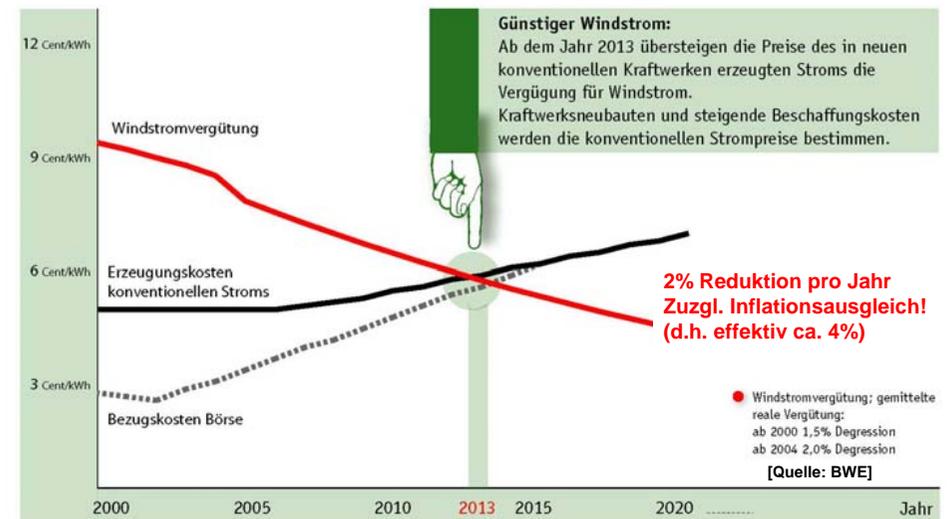
VI. Wirtschaftlichkeit und wirtschaftliche Bedeutung

Entwicklung der spezifischen Anlagenkosten

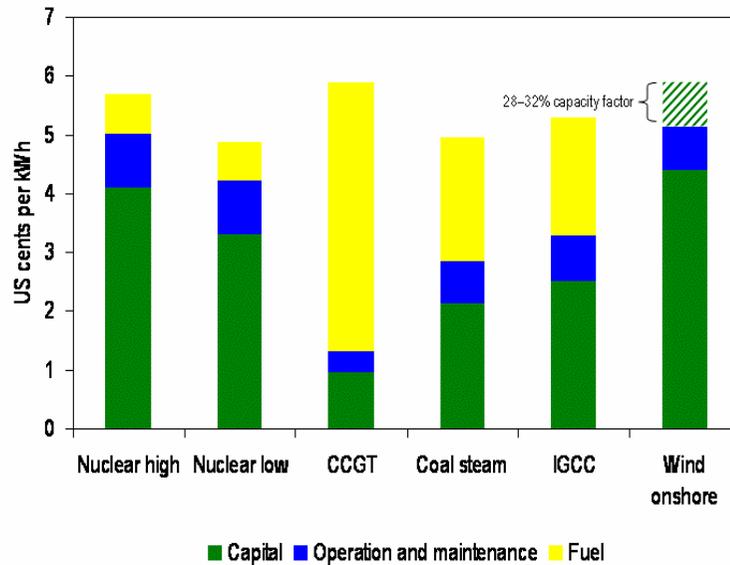
Spez. WEA-Preis ab Werk pro kWh Jahresenergieertrag (Referenzstandort)



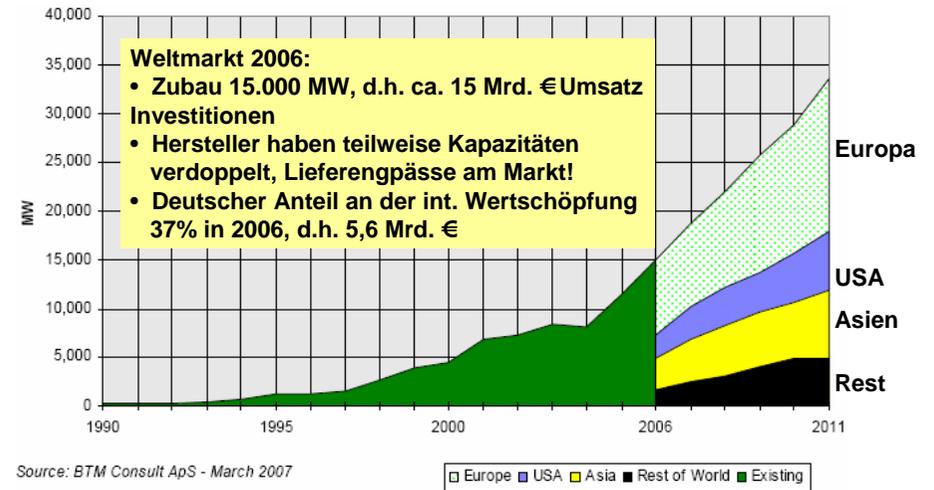
Kostenentwicklung der Windenergie [Bundesverband Windenergie]



Vergleich der Energiegestehungskosten nach IEA (2006)



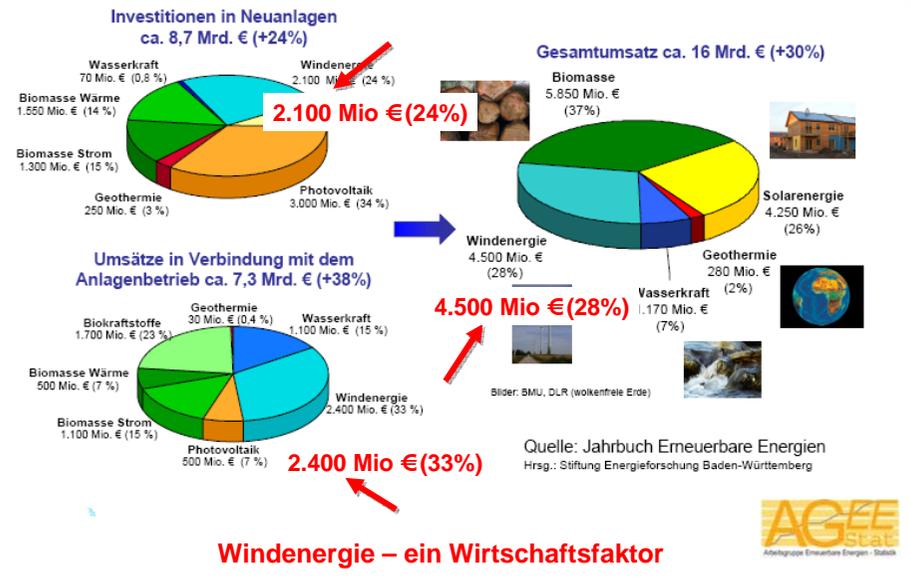
Internationale Marktentwicklung: Prognose der jährlichen Neuinstallation



Source: BTM Consult ApS - March 2007



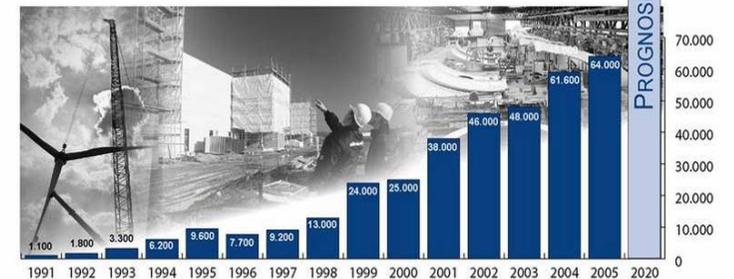
Umsatz mit Erneuerbaren Energien in Deutschland 2005



Prognose (BWE) Arbeitsplätze in der Windbranche

Erheblichen Anteil durch Exportsteigerungen und Offshore

Voraussetzung: gleichbleibend stabile Rahmenbedingungen



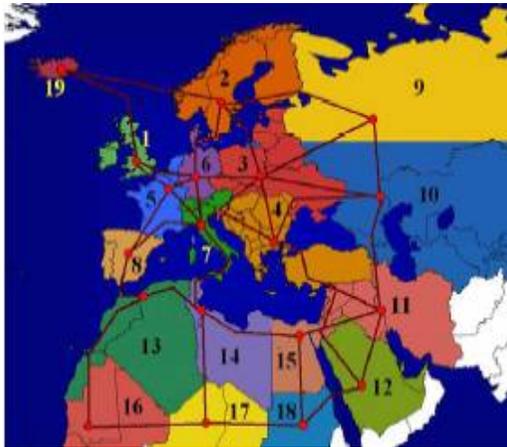
PROBLEM:

Die Studiengänge in Deutschland bieten zu wenig spezielles Windenergie-Know-how und Systemverständnis für die Entwicklung von Windenergie-Technologie!!!

[Quelle: BWE]



Vision einer transkontinentalen Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien [G. Czisch, ISET, 2005]



- Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien nicht unrealistisch, wenn:
- hohe Transportleistung (HGÜ)
 - Kombination verschiedener Energiequellen
 - Speicher: Wasserkraft, Biomasse
- => moderate Kosten 4,65 €/ct/kWh
=> langer politischer und wirtschaftlicher Transformationsprozess

[G. Czisch, ISET]

Fazit

Entwicklung der Windenergienutzung

- rasante internationale Entwicklung
- größere, wirtschaftlichere, netzstützende Anlagen

Herausforderungen

- technische Weiterentwicklung
- Systemverständnis im (internationalen) Energiesystem
- umweltverträgliche und wirtschaftlich sinnvolle Planung

Von alternativen Energien im 20. Jahrhundert zu konventionellen des 21. Jahrhunderts!



[Abb: BWE]

Vielen Dank !

Weitere Informationen:
www.uni-stuttgart.de/windenergie

Folien und Artikel zum Download unter Aktuelles ab Montag 21.1.