

Seniorenstudium
Ludwig-Maximilians-Universität, München

Vortragszyklen
NATURWISSENSCHAFTEN

Thema:
Das Energieproblem

06.11.2006

Dipl.-Ing. Günter Beermann

Windenergie – Technik und Möglichkeiten

Günter Beermann

Diplom-Ingenieur

Inhaber der Firma

BEERMANN ENERGIESYSTEME Ingenieurbüro für regenerative Energieanwendung

Sollner Straße 10, 81479 München
Tel.: 089 / 791 36 53 FAX: 089 / 791 34 80

E-mail. info@beermann-energiesysteme.de
Internet: www.beermann-energiesysteme.de

Landesvorsitzender im:

BWE Bundesverband Windenergie e.V
Landesverband Bayern

Einige Beispiele von durchgeführten Baumaßnahmen

Fröttmaning bei München



Denkendorf



Luftkurort Wirsberg in Oberfranken



Schweitenkirchen - Hueb



Schweitenkirchen - Sünzhausen



Bidingen/Allgäu



Großnottersdorf (Markt Titting)



Seniorenstudium
Ludwig-Maximilians-Universität, München

Vortragszyklen
NATURWISSENSCHAFTEN

Thema:
Das Energieproblem

06.11.2006

Dipl.-Ing. Günter Beermann

Windenergie – Technik und Möglichkeiten

Gliederung des Vortrages

- Umwelt & Klima
- Physikalische Grundlagen
- Technik
- Entwicklung der Windenergie
- Möglichkeiten & Aussichten



Bundesverband
WindEnergie e.V.

Umwelt & Klima



www.wind-energie.de

Aktuelle Schlagzeilen

Süddeutsche Zeitung 31. Oktober / 1. November 2006

Enorme Schäden durch Erderwärmung

London/Berlin – Wenn ein massives Umsteuern in der internationalen Umweltpolitik ausbleibt, wird der Klimawandel weit größere wirtschaftliche Schäden verursachen als die beiden Weltkriege. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie unter Leitung des früheren Weltbank-Chefvolkswirts Nicholas Stern. Durch den Kli-

Staaten blasen wieder mehr Klimagase in die Luft

Emissionen nehmen vor allem im Straßen- und Flugverkehr zu / Vereinte Nationen: Beunruhigende Entwicklung
Von Marco Finetti

Der Ausstoß von Treibhausgasen nimmt trotz des Klimaschutzabkommens

wurden. Zwischen 2000 und 2004 ist der Ausstoß dagegen um 2,4 Prozent gestiegen, heißt es in dem Bericht, der erstmals offizielle Daten aus allen 41 Industrielän-

der veralteten Industrieanlagen bis zum Jahr 2000 um 39,3 Prozent gesunken. Im Zuge der beginnenden wirtschaftlichen Aufwärtsentwicklung sind sie seitdem ie-

wa Großbritannien, Frankreich oder Schweden.
Mit Blick auf die UN-Klimakonferenz in Nairobi vom 6. bis 14. November for-

Die Fieberkurve steigt unablässig

Das Treibhaus Erde heizt sich weiter auf, doch endlich wächst das Bewusstsein für die Gefahr

Von Wolfgang Roth

Der Befund ist deprimierend, wenn auch alles andere als überraschend: 15 Jahre nach dem großen Umweltgipfel in Rio und fast zwei Jahre nach dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls werden

Und die nachziehenden Schwellenländer, allen voran China und Indien, heizen die Erde unablässig weiter auf – weitgehend noch den Wirtschaftsmodellen folgend, die sich lange als der einzig gangbare Weg darstellten: Kommt mehr Wohlstand ins Land, kommt mehr Umwelt-

Bundesstaaten dem Präsidenten die Gefolgschaft und klinken sich faktisch, wenn auch nicht protokollarisch, in den Kyoto-Prozess ein. Und die Machthaber in China mussten erkennen, dass die Steigerung des Bruttosozialprodukts mit al-

Aktuelle Schlagzeilen

Süddeutsche Zeitung 2. November 2006

Süddeutsche Zeitung

Schonzeit für den Patienten Erde

Wer den Klimawandel für ein marginales oder beherrschbares Problem hält, sollte einen Blick auf die Geschichte des Planeten werfen: Kleine Unterschiede der globalen Temperatur haben stets massiv in die Lebensräume eingegriffen. Dabei waren Menschen, Tiere und Pflanzen noch nie mit derart raschen Umwälzungen konfrontiert wie zurzeit. Befeuert von menschengemachtem Kohlendioxid ist die Biosphäre extremem Stress ausgesetzt. Die Symptome des irdischen Fiebers sind längst erkennbar.

Von Patrick Illinger

Beginnt so die Katastrophe?

Im Sommer dieses Jahres verdichteten sich die Anzeichen, dass die Erde einen wichtigen klimatischen Wendepunkt überschritten hatte: Die arktische Eisplatte befindet sich wahrscheinlich im letzten Stadium der Auflösung, und die Folgen werden über die gesamte Erde zu spüren sein. Die Schlüsselfrage ist natürlich, ob wir überhaupt noch Zeit haben, um den Untergang abzuwenden. Dazu müssen wir erst einmal begreifen, was diese große Schmelze für das Leben auf der Erde bedeuten wird.

Von Tim Flannery

der Erde auswirken, indem
gefälle zwischen Nordpol
verändert, welches das We
halbkugel bestimmt. Und
arktische Ozean in ein gr
cken verwandelt, wird der
dische Eisschild, das letzte
zeit, erwärmt werden wie
Es gibt Anzeichen, dass Gr
ze bereits zu spüren bel
tünsten Schätzungen

Aktuelle Zeitungsmeldung

Süddeutsche Zeitung 31. Oktober / 1. November 2006



Staaten blasen wieder mehr Klimagase in die Luft

Emissionen nehmen vor allem im Straßen- und Flugverkehr zu / Vereinte Nationen: Beunruhigende Entwicklung

Von Marco Finetti
onn – Der Ausstoß von Treibhausgasen nimmt trotz des Klimaschutzabkom-

wurden. Zwischen 2000 und 2004 ist der Ausstoß dagegen um 2,4 Prozent gestiegen, heißt es in dem Bericht, der erstmals offizielle Daten aus allen 41 Industrielän-

der veralteten Industrieanlagen bis zum Jahr 2000 um 39,3 Prozent gesunken. Im Zuge der beginnenden wirtschaftlichen Aufwärtsentwicklung sind sie seitdem ie-

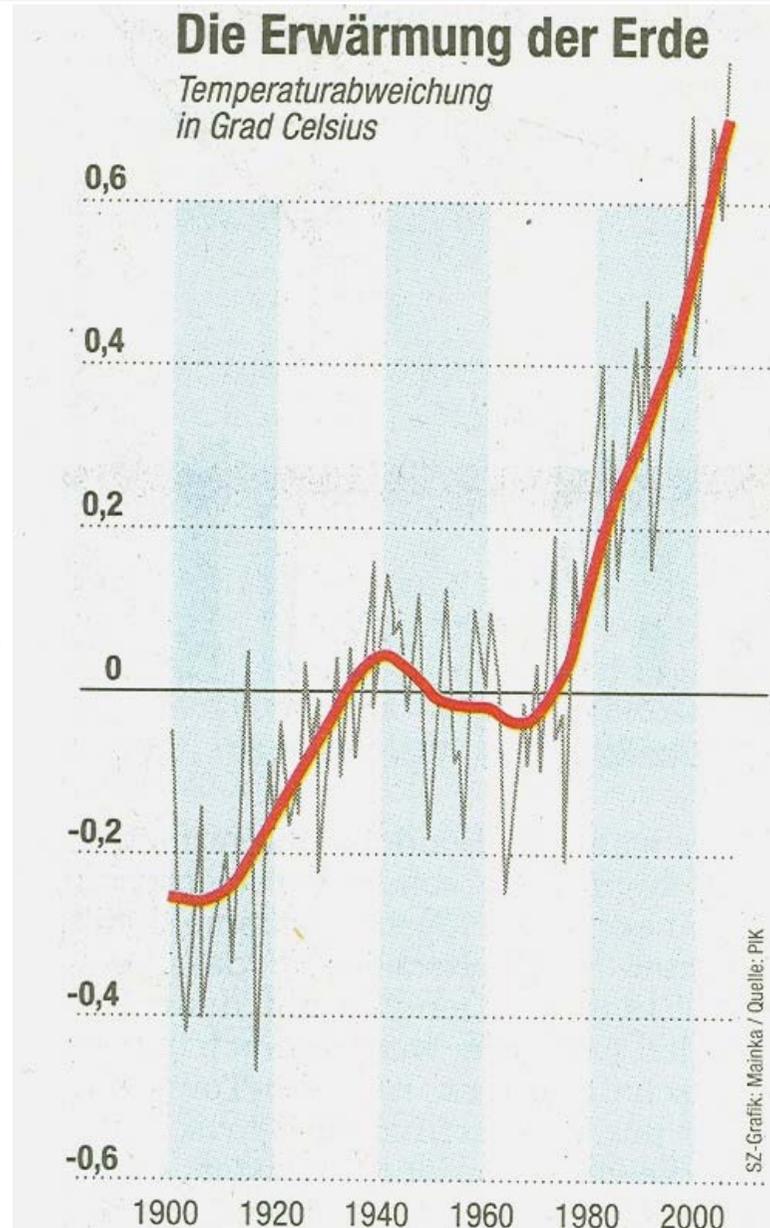
wa Großbritannien, Frankreich oder Schweden.

Mit Blick auf die UN-Klimakonferenz in Nairobi vom 6. bis 14. November for-

Grafik aus der SZ

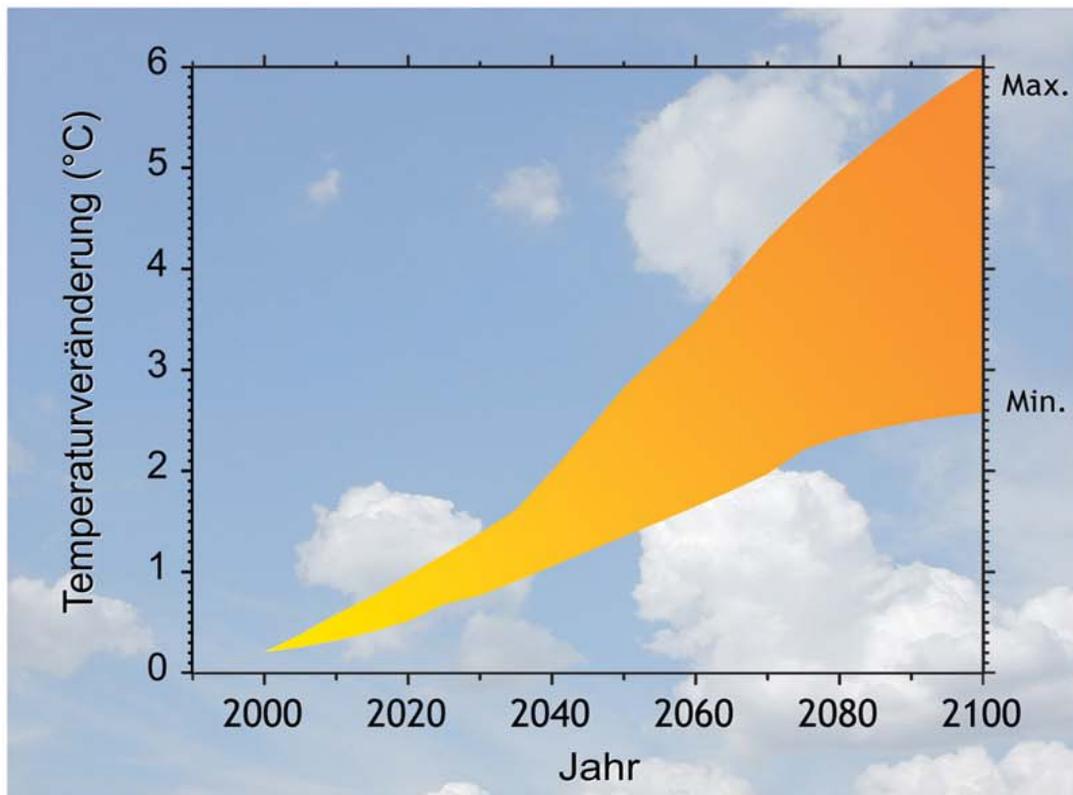
2. November 2006

Süddeutsche Zeitung



Folgen der Klimaveränderung – globale Entwicklung und regionale Gefährdung

PROGNOSTIZIERTE WELTKLIMAERWÄRMUNG - UND IHRE FOLGEN



Quelle: IPCC: Special Report on Emission Scenarios, 2001



Wasserreicher

- mehr Niederschlag
- Überschwemmungen
- höherer Meeresspiegel



STÜRMISCHER

- mehr Stürme
- stärkere Stürme



TROCKENER

- Wüstenbildung
- Dürren

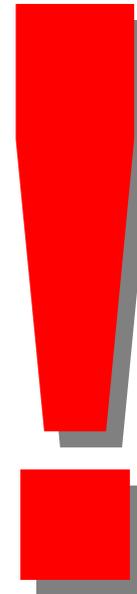
Die ökonomischen Kosten des Klimawandels



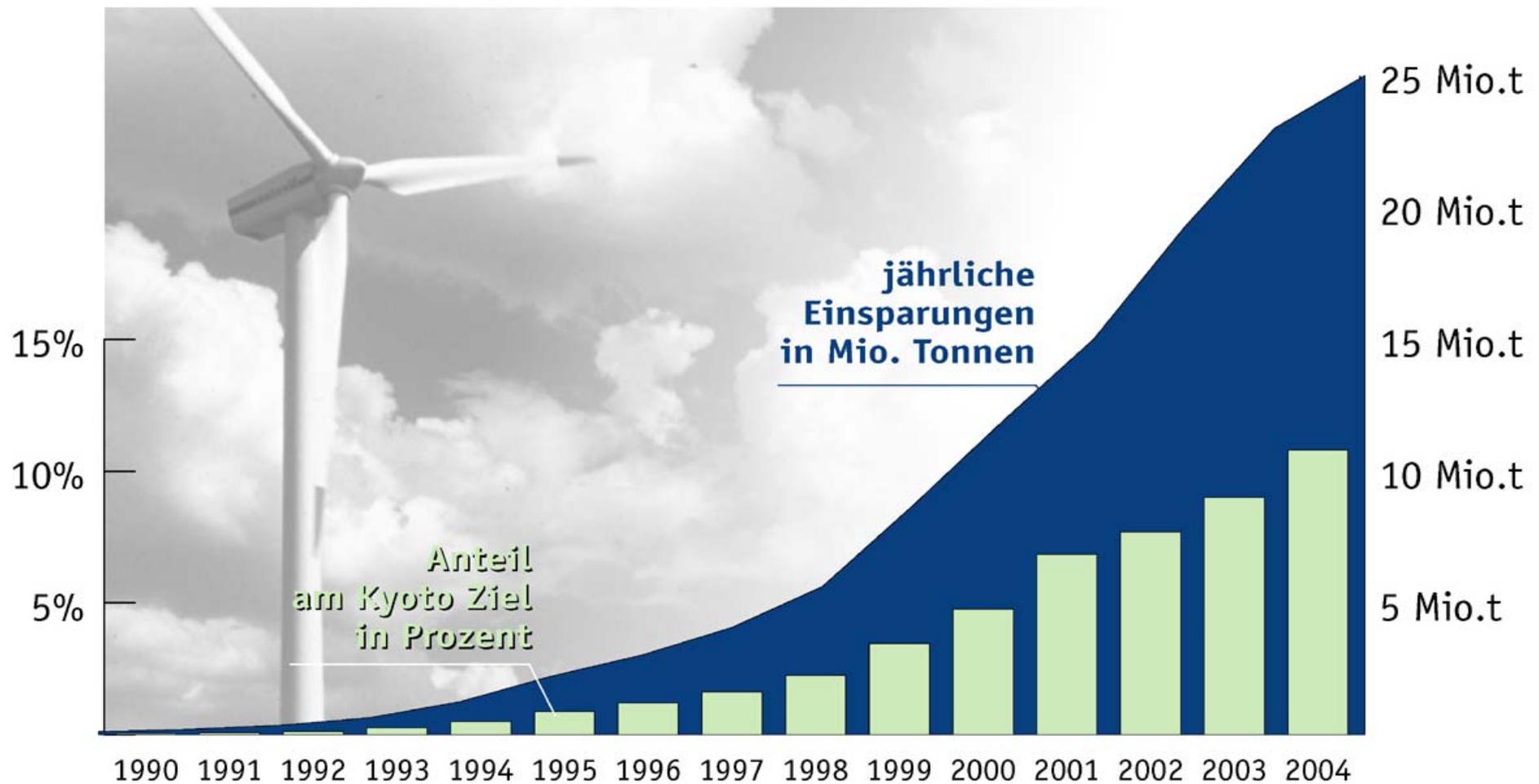
Perspektive 2050 - Die Kosten des Klimawandels:

- In 2003 beliefen sich die wirtschaftlichen Schäden weltweit auf ca. **70 Milliarden** Euro. Bis 2050 können sich diese auf **2.000 Milliarden** US\$ jährlich steigern.
- Bei Temperaturveränderung um global 1 Grad Celsius sind volkswirtschaftliche Schäden in Höhe von **214.000 Milliarden** US\$ bis 2050 möglich.
- In Deutschland werden im gleichen Zeitraum Schäden durch Naturkatastrophen in Höhe von **137 Milliarden US\$** erwartet.

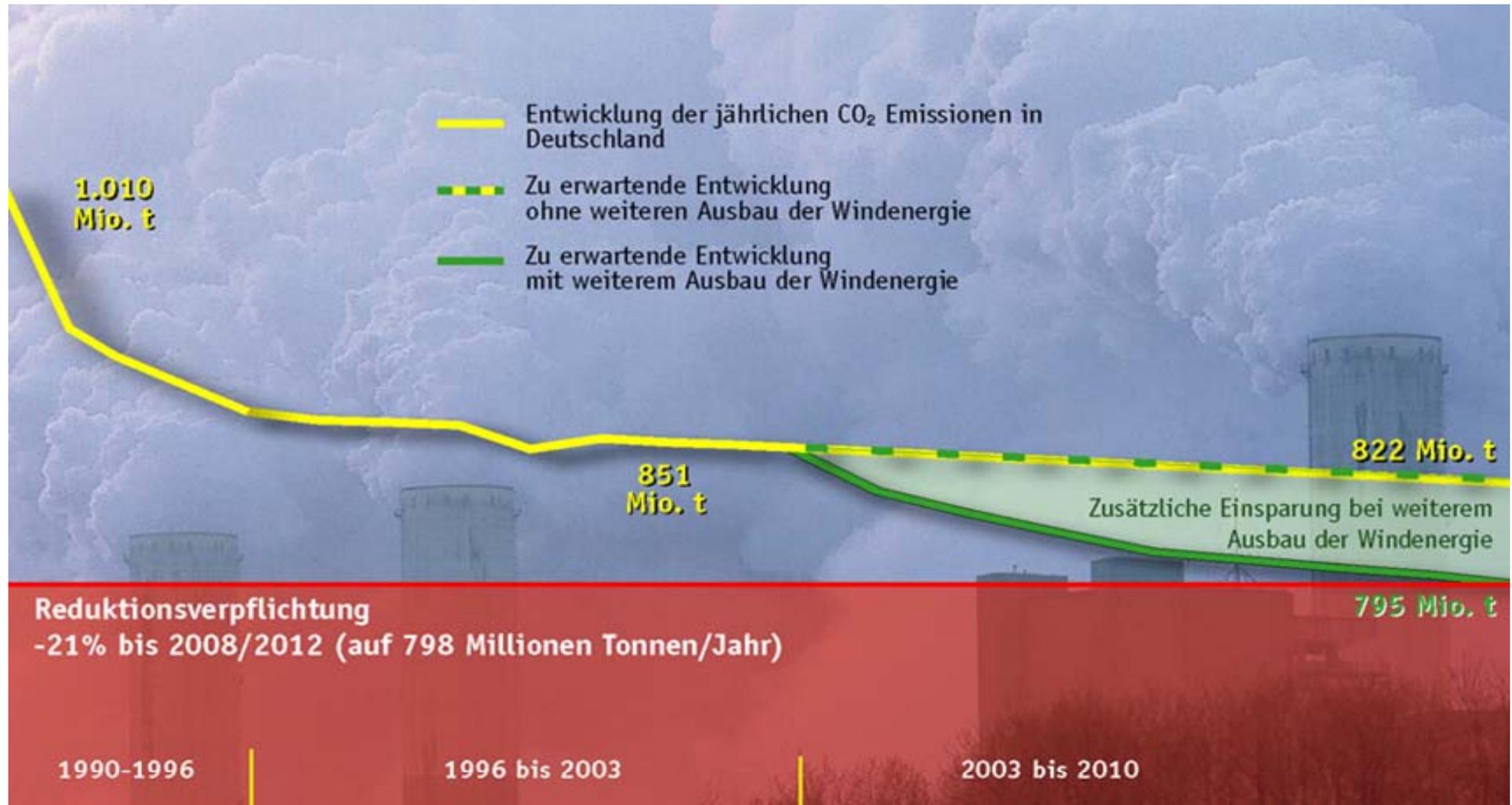
**Wollte man diese Entwicklung
aufhalten, müssten die weltweiten
jährlichen CO₂ Emissionen bis 2050
um 80% reduziert werden**

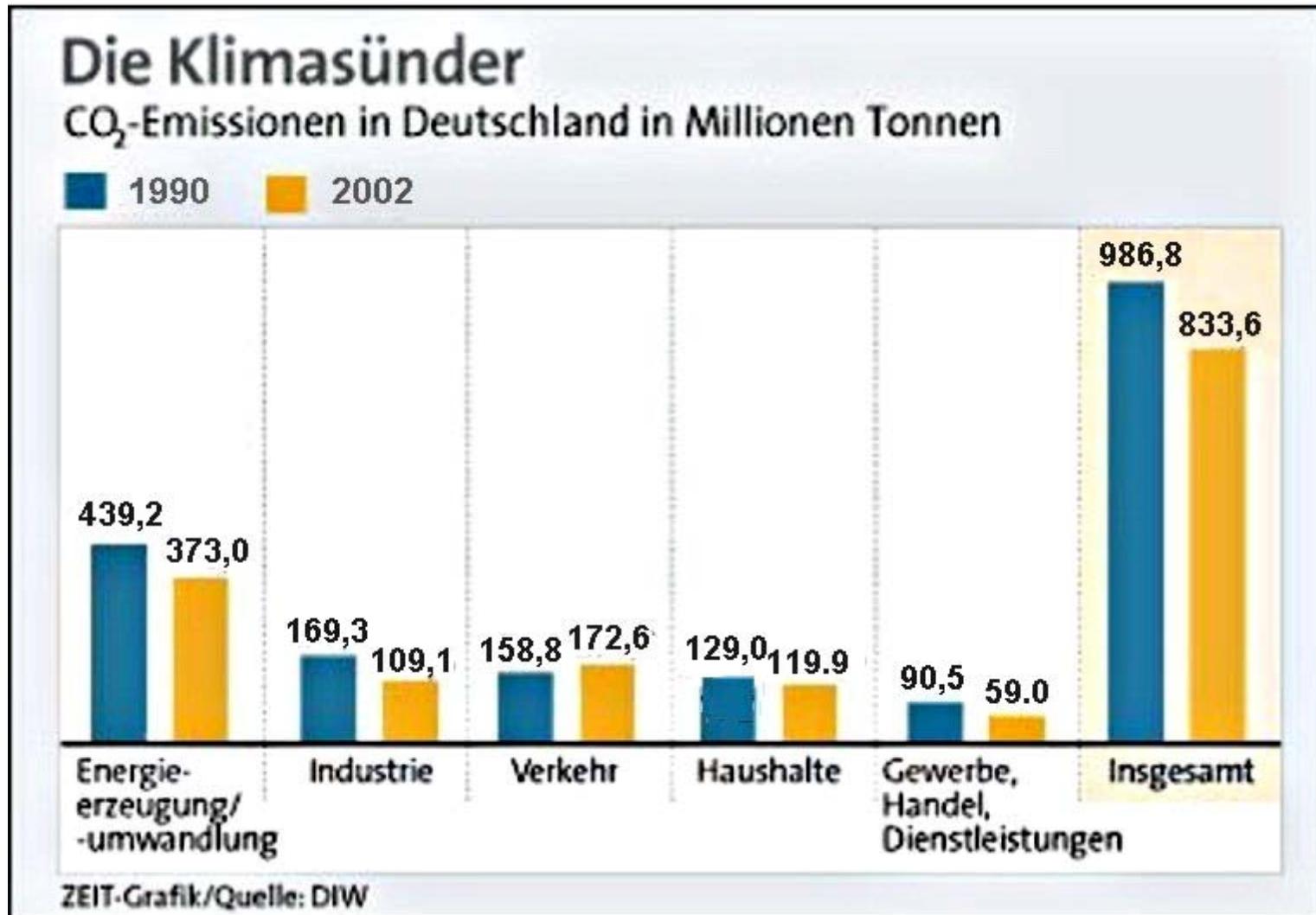


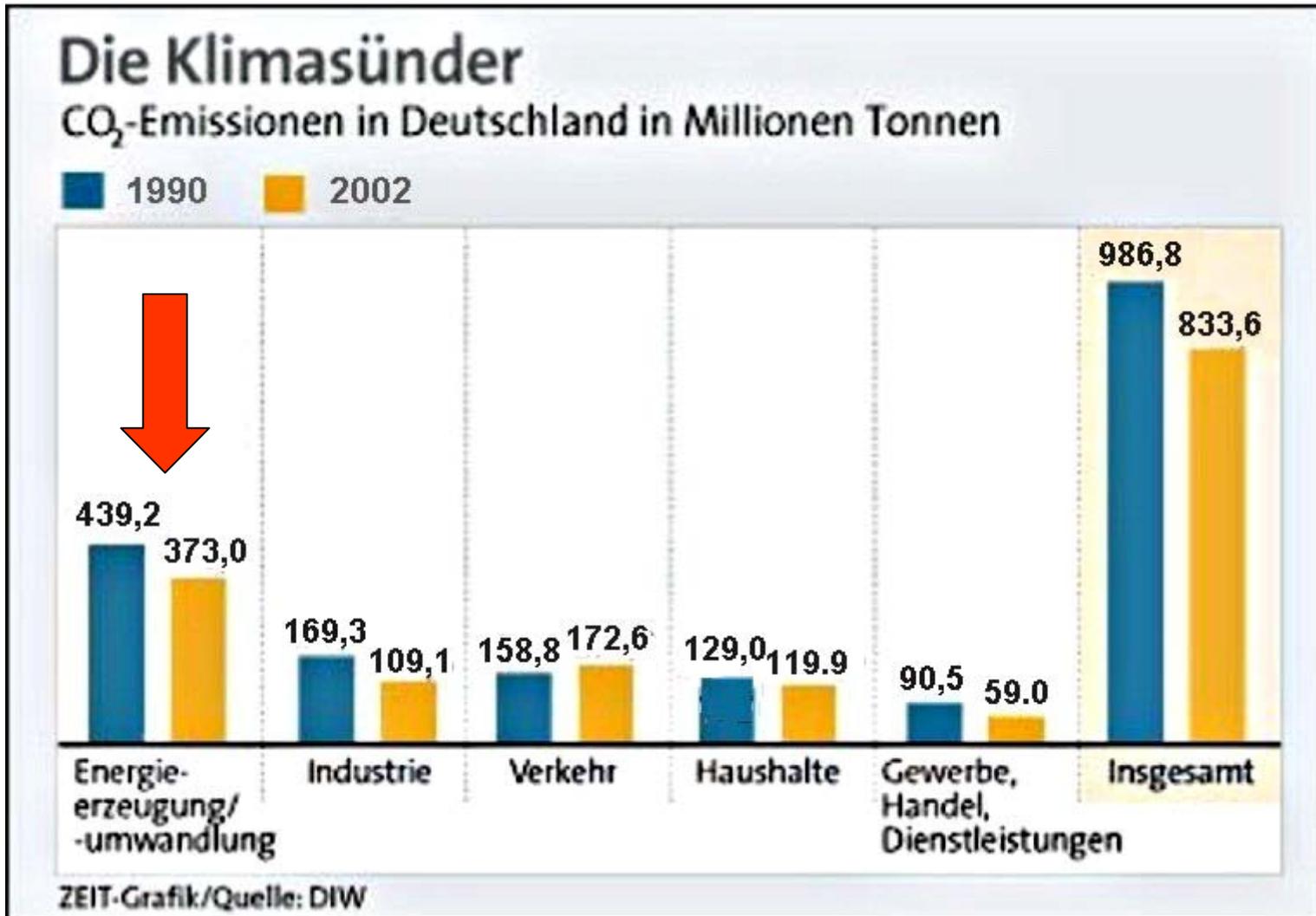
Entlastung der Umwelt – CO₂ Einsparung durch Windenergie in Deutschland



Ziel CO₂ Einsparung: Der Beitrag der Windenergie







Stromerzeugung heute

Energiemix für Strom 2005

Stromerzeugung heute

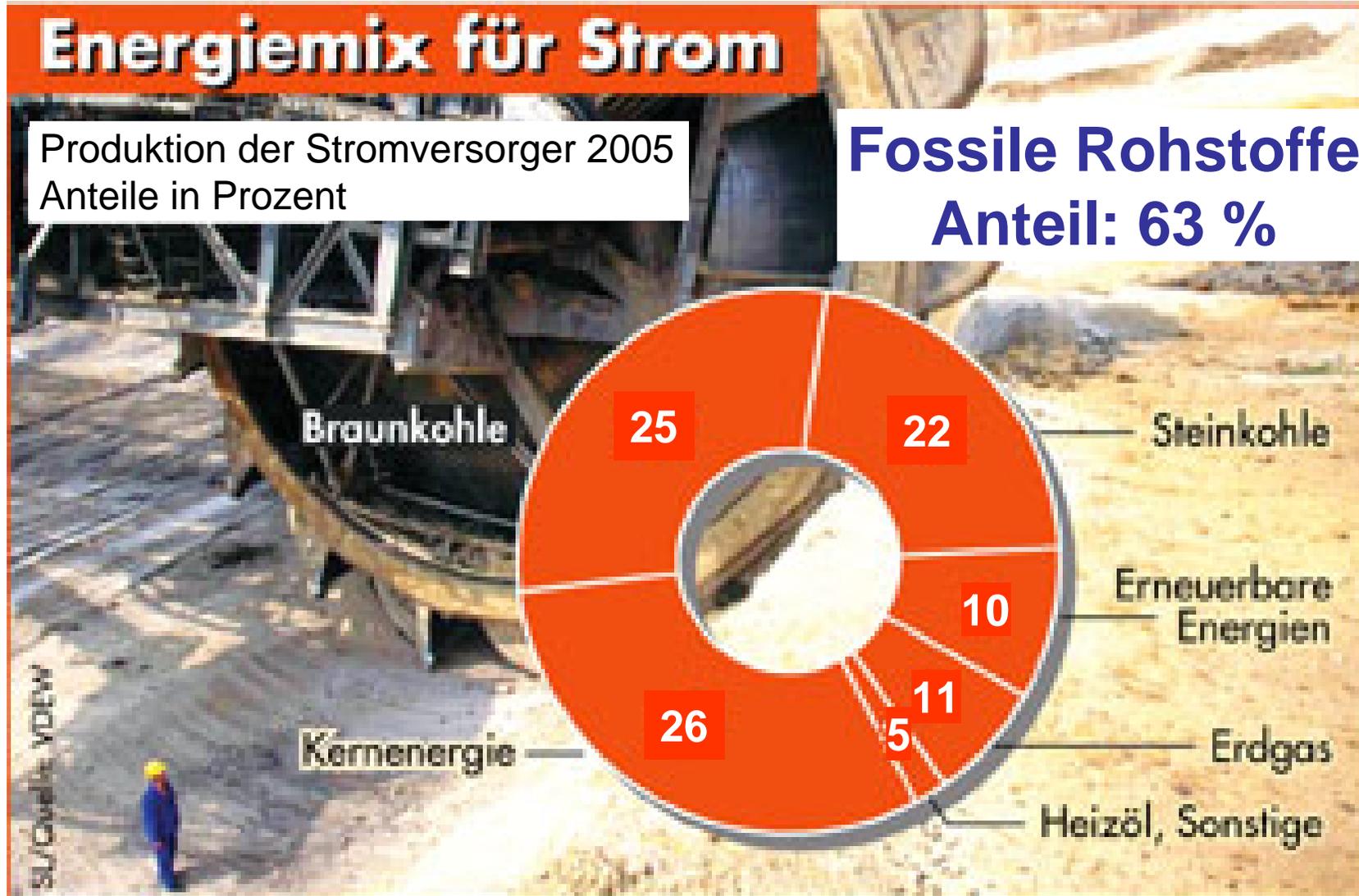


Stromerzeugung heute

Energiemix für Strom

Produktion der Stromversorger 2005
Anteile in Prozent

Fossile Rohstoffe
Anteil: 63 %



Quelle: VDEW

**Wir müssen unsere Energieerzeugung
schnellstens umstellen auf eine
CO₂ – neutrale Erzeugung.**

**Die Windenergie kann einen wesentlichen
Beitrag leisten!**

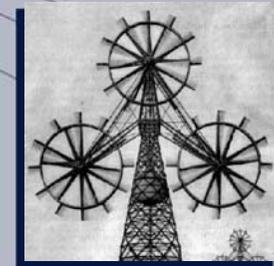
**Schon jetzt kommen ca. 6% des gesamten deutschen Stroms
aus der Windkraftherzeugung.**

Das Ausbaupotential liegt laut Umweltministerium bei 25%



Bundesverband
WindEnergie e.V.

Physikalische Grundlagen



www.wind-energie.de

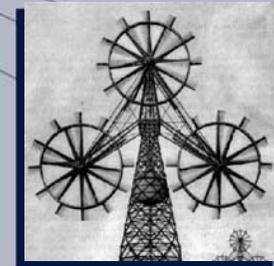


Bundesverband
WindEnergie e.V.

Physikalische Grundlagen

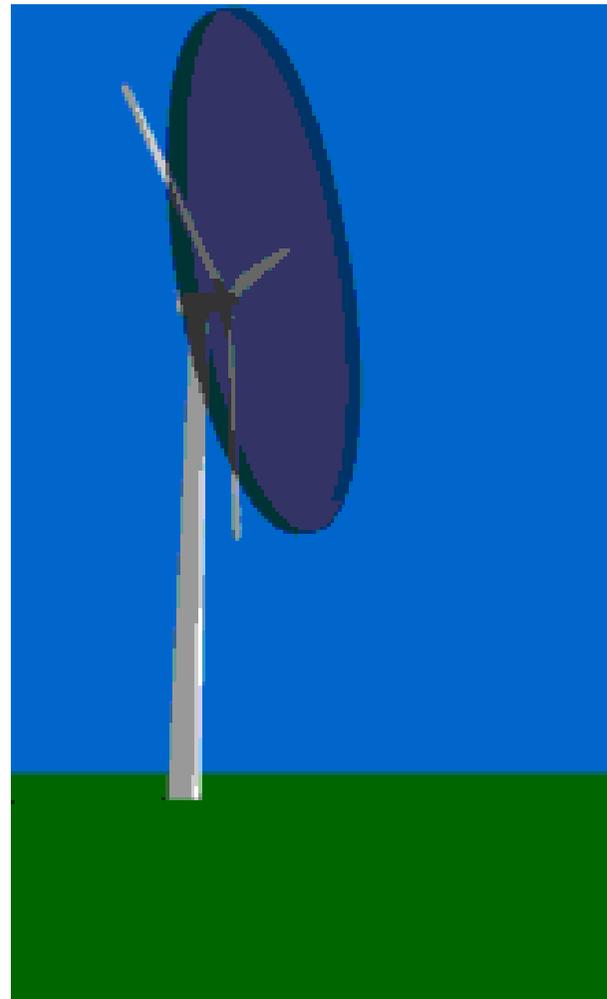
Wir beschränken uns hier auf:

- Das Prinzip der Windkraftnutzung
- Die Abhängigkeit der Leistung von der Windgeschwindigkeit
- Die nutzbare Energie im Wind



www.wind-energie.de

Das Prinzip der Windenergienutzung



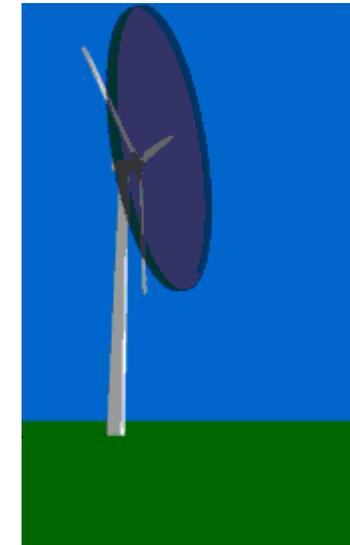
Die Energie im Wind: Luftdichte und Rotorfläche

Eine Windkraftanlage liefert ihre Leistung, indem sie die Kraft des Windes in ein Drehmoment (drehende Kraft) an den Rotorblättern umwandelt.

Die Energiemenge, die der Wind auf den Rotor überträgt, hängt von der **Luftdichte**, der **Rotorfläche** und der **Windgeschwindigkeit** ab.

Die Animation zeigt, wie sich eine 1 Meter dicke Luftscheibe durch die 3.400 m² große Rotorfläche einer typischen Windkraftanlage, wie sie auf dem Müllberg in Fröttmaning steht (1.500 kW), bewegt.

Mit einem Rotordurchmesser von 66 Meter wiegt jeder dieser Zylinder 4,2 Tonnen, das sind 3.400 m² mal 1,225 kg.



Die Abhängigkeit der Leistung von der Windgeschwindigkeit:

Die Windgeschwindigkeit geht in die Leistung einer Anlage und damit in den Ertrag mit der **dritten Potenz** ein.

Ein Standort mit doppelter Windgeschwindigkeit bringt also den achtfachen Ertrag.

Die kurz gefasste, allgem. verständliche mathematische Ableitung

Die kinetische Energie einer Luftmenge m , die sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, lässt sich ausdrücken als:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad [\text{Nm}]$$

Betrachtet man eine bestimmte Querschnittsfläche F , die von der Luft mit der Geschwindigkeit v durchströmt wird, so ist das in einer Zeiteinheit durchfließende Volumen, der so genannte Volumenstrom V :

$$V = v F \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

und der Massenstrom mit der Luftdichte ζ $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$$m = \zeta v F \quad [\text{kg}/\text{s}]$$

Aus dem Ansatz für die kinetische Energie der bewegten Luft und dem Massenstrom ergibt sich die durch den Querschnitt F hindurchfließende Energiemenge pro Zeit. Diese ist physikalisch mit der Leistung P identisch:

$$P = \frac{1}{2} \zeta v^3 F \quad [\text{W}]$$

Die nutzbare Energie im Wind:

Nachdem wir mit der vorhergehenden Ableitung festgestellt haben, wie viel Energie in dem Luftstrom enthalten ist, gilt es jetzt herauszufinden, wie viel mechanische Leistung sich durch einen Energiewandler dem Luftstrom entziehen lässt.

.

Das Betz'sche Gesetz

Albert Betz hat 1920 mit seiner Theorie der geschlossenen Stromröhre nachgewiesen, dass mit einer Windenergieanlage durch Verzögerung der strömenden Luftmasse maximal $16/27 = 59\%$ der Leistung des Windes genutzt werden kann.

Dieser optimale Leistungsbeiwert c_P wird erreicht, wenn die Windgeschwindigkeit durch den Rotor der Windenergieanlage auf ein Drittel ihres Wertes abgebremst wird.

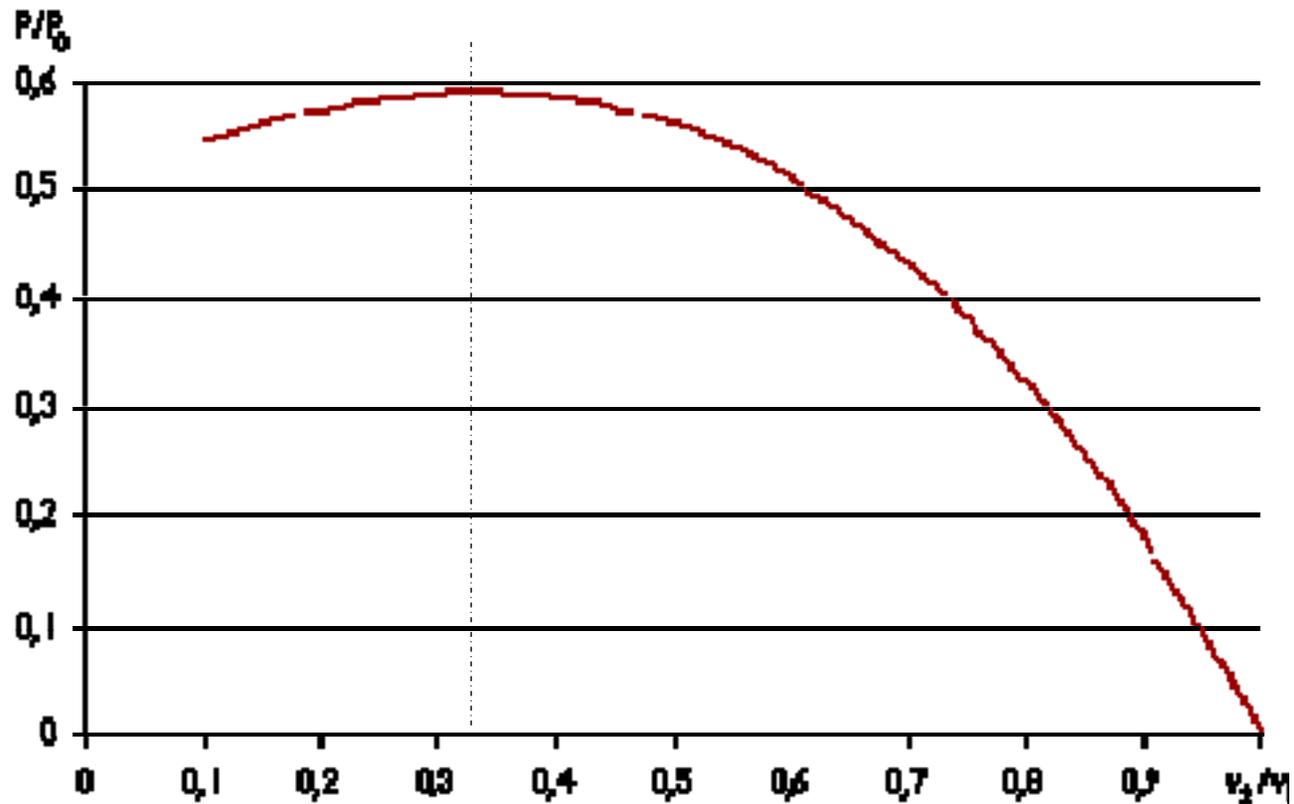
Das Betz'sche Gesetz

Albert Betz hat 1920 mit seiner Theorie der geschlossenen Stromröhre nachgewiesen, dass mit einer Windenergieanlage durch Verzögerung der strömenden Luftmasse maximal $16/27 = 59\%$ der Leistung des Windes genutzt werden kann.

Dieser optimale Leistungsbeiwert c_P wird erreicht, wenn die Windgeschwindigkeit durch den Rotor der Windenergieanlage auf ein Drittel ihres Wertes abgebremst wird.

Wir können den Leistungsbeiwert c_P oder anders ausgedrückt P/P_0 als eine Funktion von v_2/v_1 zeichnen:

Das Betz'sche Gesetz

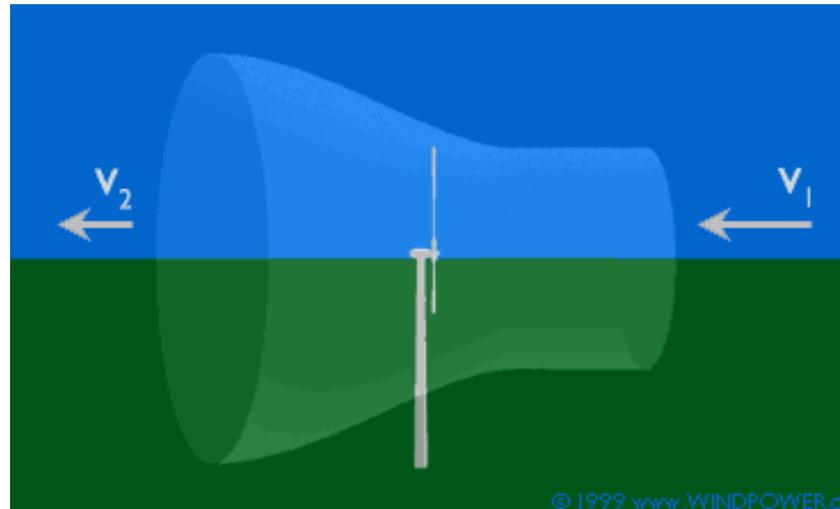


Von der obigen Grafik sehen wir, dass die Funktion für $v_2/v_1 = 1/3$ ihr Maximum erreicht, und dass dieses Maximum der dem Wind entziehbaren Leistung 0,59 oder $16/27$ der Gesamtleistung des Windes beträgt.

Das Betz'sche Gesetz

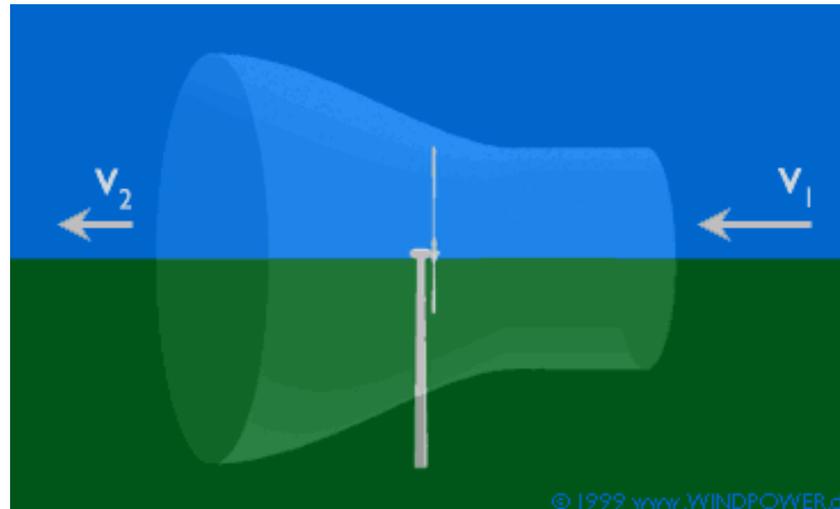
Noch einmal bildlich erläutert:

Wie man den Wind am besten bremst



Je mehr kinetische Energie dem Wind von einer Windkraftanlage entzogen wird, umso stärker wird der Wind abgebremst, wenn er wie auf unserem Bild die linke Seite der Anlage verlässt.

Wie man den Wind am besten bremst



Wenn wir versuchten, die gesamte Energie aus dem Wind zu gewinnen, dann hätte die Luft hinter dem Rotor die Geschwindigkeit null, d.h. sie würde die Windkraftanlage nicht verlassen. In diesem Fall könnten wir dem Wind überhaupt keine Energie entziehen, da auf der anderen Seite keine Luft mehr auf den Rotor einströmen könnte.

Das Betz'sche Gesetz

Wir kommen damit zu der Erkenntnis, dass

- aus einem bewegten Luftstrom maximal 59,3% der Energie entzogen werden kann.
- die Windgeschwindigkeit in der Durchströmebene des Wandlers zwei Drittel der ungestörten Windgeschwindigkeit beträgt und sich hinter dem Wandler auf ein Drittel verringert.

Das Betz'sche Gesetz

Wir kommen damit zu der Erkenntnis, dass

- aus einem bewegten Luftstrom maximal 59,3% der Energie entzogen werden kann.
- die Windgeschwindigkeit in der Durchströmebene des Wandlers zwei Drittel der ungestörten Windgeschwindigkeit beträgt und sich hinter dem Wandler auf ein Drittel verringert.

Heutige Windenergieanlagen erreichen Leistungsbeiwerte von 50 % und kommen der theoretisch maximalen Leistungsfähigkeit recht nahe.

Entsprechend den physikalischen Prinzipien
unterscheiden wir:

Die Arbeitsweise von Anlagen, nach dem:

Entsprechend den physikalischen Prinzipien unterscheiden wir:

Die Arbeitsweise von Anlagen, nach dem:

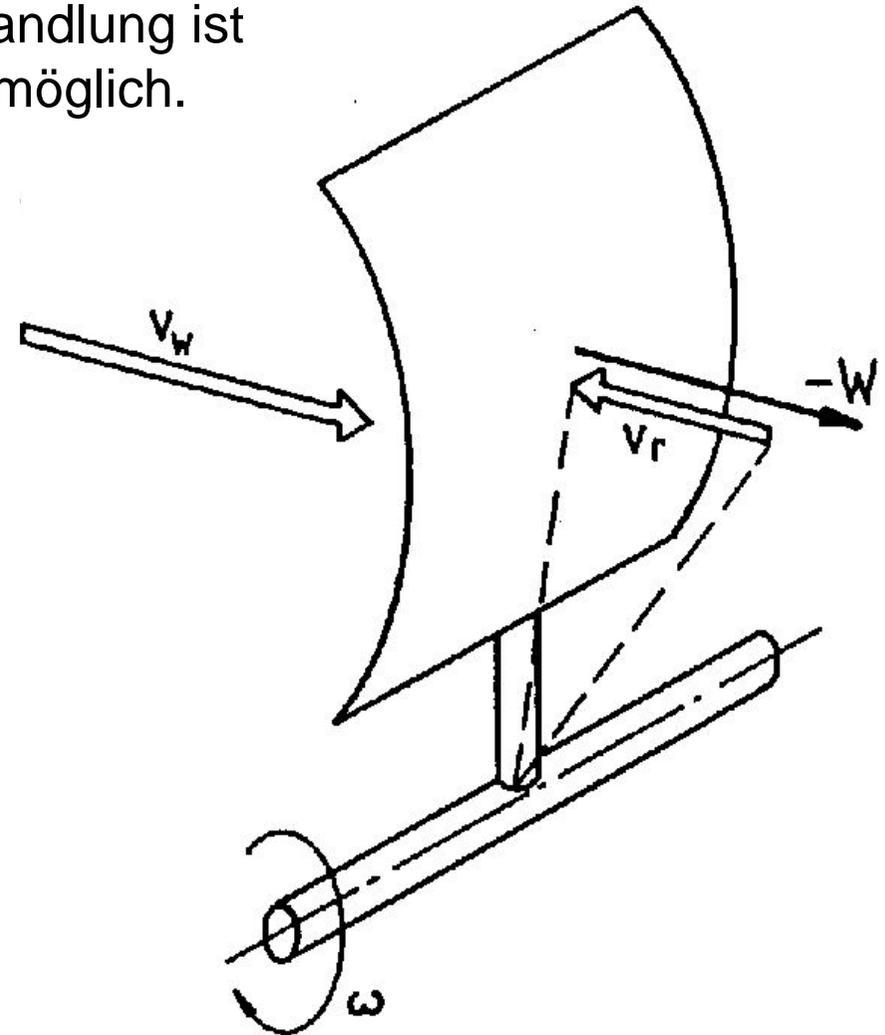
- Widerstandsprinzip
- Auftriebsprinzip

Das Widerstandsprinzip

Die einfachste Art der Windenergieumwandlung ist mit Hilfe von reiner Widerstandsflächen möglich.

Das Widerstandsprinzip

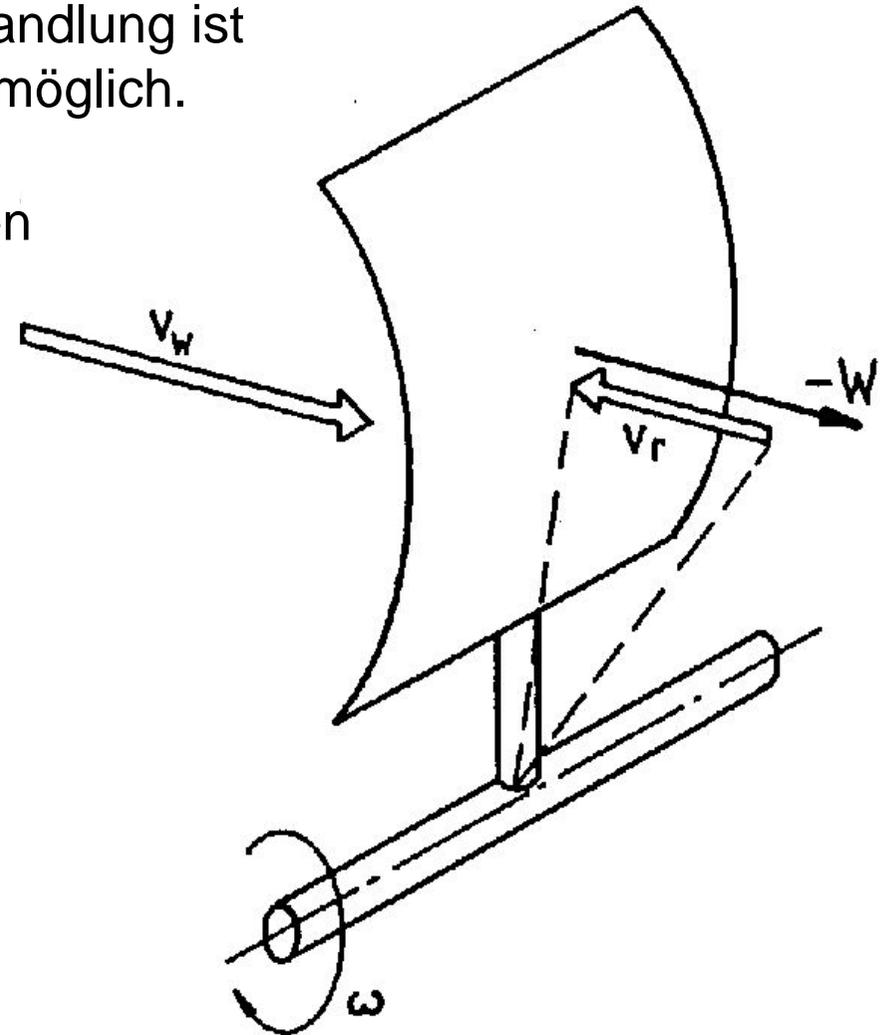
Die einfachste Art der Windenergieumwandlung ist mit Hilfe von reiner Widerstandsflächen möglich.



Das Widerstandsprinzip

Die einfachste Art der Windenergieumwandlung ist mit Hilfe von reiner Widerstandsflächen möglich.

Die Ausnutzung der im Wind enthaltenen Energie ist jedoch gering.



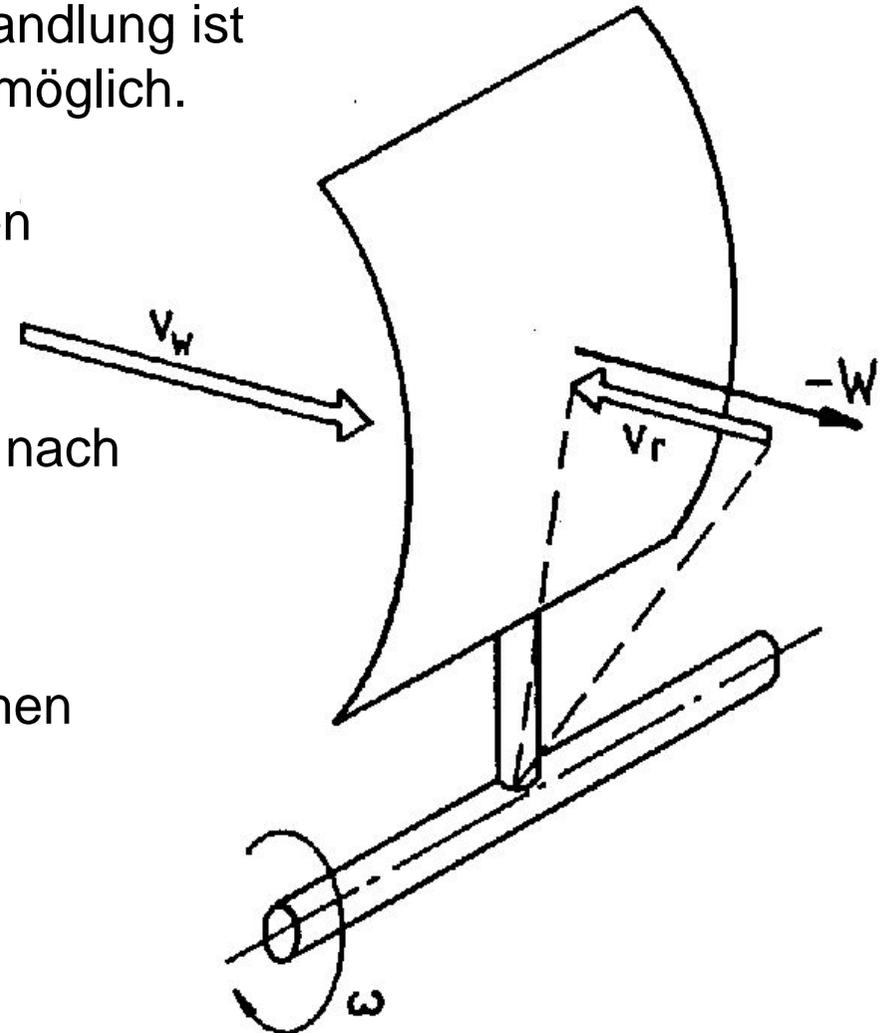
Das Widerstandsprinzip

Die einfachste Art der Windenergieumwandlung ist mit Hilfe von reiner Widerstandsflächen möglich.

Die Ausnutzung der im Wind enthaltenen Energie ist jedoch gering.

Der maximal mögliche Leistungsbeiwert nach der Betz'schen Impulstheorie ist $c_p \max \approx 0,2$

Es wird somit nur ein Drittel des Betz'schen Wertes von $c_p = 0,593$ erreicht.



Das Auftriebsprinzip

Bei allen modernen Anlagen erfolgt die Art der Windenergieumwandlung nach dem Auftriebsprinzip

Das Auftriebsprinzip

Bei allen modernen Anlagen erfolgt die Art der Windenergieumwandlung nach dem Auftriebsprinzip

Sehen wir uns den Querschnitt eines Flugzeugflügels an.

Das Auftriebsprinzip

Bei allen modernen Anlagen erfolgt die Art der Windenergieumwandlung nach dem Auftriebsprinzip

Sehen wir uns den Querschnitt eines Flugzeugflügels an.



© 1998 www.WINDPOWER.dk

Das Auftriebsprinzip

Bei allen modernen Anlagen erfolgt die Art der Windenergieumwandlung nach dem Auftriebsprinzip

Sehen wir uns den Querschnitt eines Flugzeugflügels an.



© 1998 www.WINDPOWER.dk

Während das Flugzeug vorwärts fliegt, bewegen sich die Luftmoleküle auf der Flügeloberseite schneller als die auf der Unterseite.

Das bedeutet, dass der Druck auf der Oberseite am geringsten ist. So entsteht der Auftrieb, eine Kraft, die das Flugzeug nach oben drückt und so das Fliegen ermöglicht.

Das Auftriebsprinzip

Bei allen modernen Anlagen erfolgt die Art der Windenergieumwandlung nach dem Auftriebsprinzip

Sehen wir uns den Querschnitt eines Flugzeugflügels an.



© 1998 www.WINDPOWER.dk

Während das Flugzeug vorwärts fliegt, bewegen sich die Luftmoleküle auf der Flügeloberseite schneller als die auf der Unterseite.

Das bedeutet, dass der Druck auf der Oberseite am geringsten ist. So entsteht der Auftrieb, eine Kraft, die das Flugzeug nach oben drückt und so das Fliegen ermöglicht.

Der Auftrieb wirkt senkrecht zur Richtung des Windes

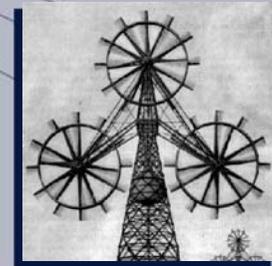
Damit sind wir bei den modernen Windkraftanlagen





Bundesverband
WindEnergie e.V.

Technik



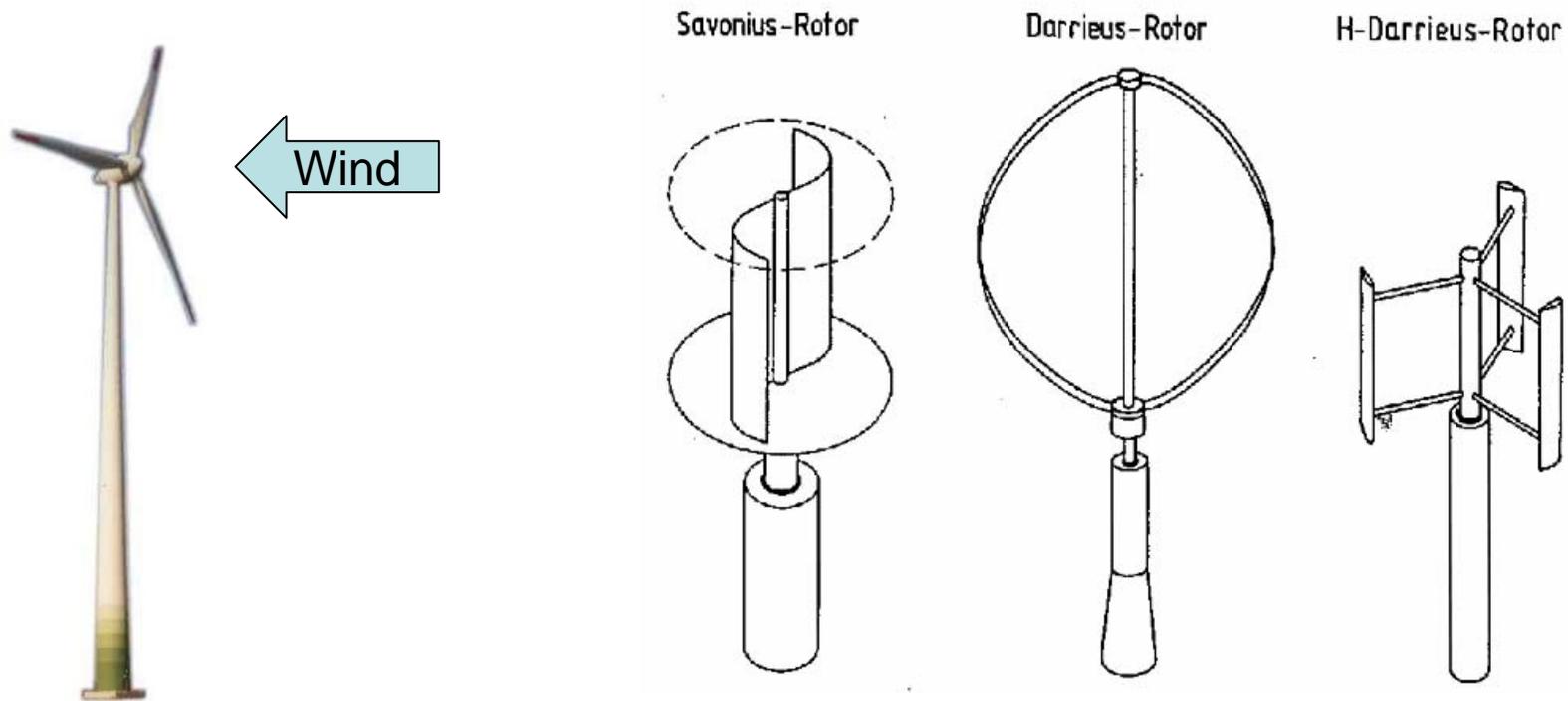
www.wind-energie.de

In ihrer Technik und Bauweise unterscheiden sich
Windenergieanlagen erheblich:

Werfen wir zunächst einen Blick auf
die unterschiedlichen **Bauformen**:

Bauformen von Windenergieanlagen

Augenscheinlich ist die Ausrichtung der Achse
(horizontal oder vertikal).



Durchgesetzt haben sich Luv-Läufer mit horizontaler Achse.

Bauformen von Windenergieanlagen

Schnelllaufzahl und Blattzahl
bestimmen das Antriebsverhalten und damit die
Nutzung der Windenergieanlage.

Durchgesetzt haben sich Anlagen mit drei Blättern.

Bauformen von Windenergieanlagen

Schnellaufzahl und Blattzahl
bestimmen das Antriebsverhalten und damit die
Nutzung der Windenergieanlage.

Durchgesetzt haben sich Anlagen mit drei Blättern.

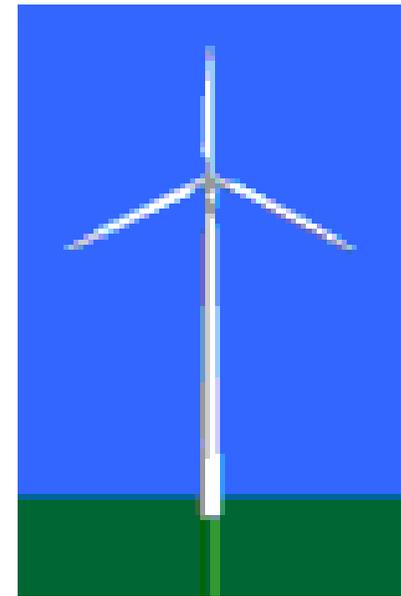
Hier die Unterschiede:

Das Konzept mit **drei** Rotorblättern

Die meisten modernen Windkraftanlagen haben drei Rotorblätter und sind Luvläufer.

Das Konzept mit **drei** Rotorblättern

Die meisten modernen Windkraftanlagen haben drei Rotorblätter und sind Luvläufer.



Das Konzept mit **drei** Rotorblättern

Die meisten modernen Windkraftanlagen haben drei Rotorblätter und sind Luvläufer.

Heute vermeiden Windkraftingenieure bei großen Anlagen Designs mit einer geraden Zahl von Rotorblättern. Der wichtigste Grund dafür ist die Stabilität der Anlage.

Ein Rotor mit einer ungeraden Zahl von Blättern (mindestens drei) kann bei der Berechnung der dynamischen Eigenschaften wie eine Scheibe behandelt werden.



Das Konzept mit **zwei** Rotorblättern

Konzepte mit zwei Rotorblättern bieten den Vorteil, dass man sich die Kosten für ein Blatt und natürlich auch dessen Gewicht erspart.

Das Konzept mit **zwei** Rotorblättern

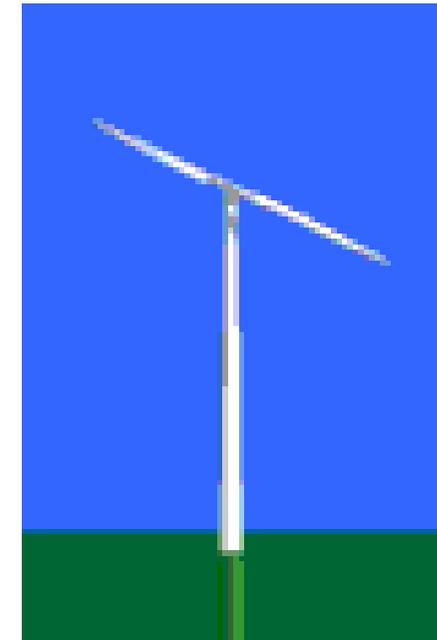
Konzepte mit zwei Rotorblättern bieten den Vorteil, dass man sich die Kosten für ein Blatt und natürlich auch dessen Gewicht erspart.



Das Konzept mit **zwei** Rotorblättern

Konzepte mit zwei Rotorblättern bieten den Vorteil, dass man sich die Kosten für ein Blatt und natürlich auch dessen Gewicht erspart.

Dennoch haben sie Probleme, in den Markt einzudringen; teilweise deshalb, weil sie für den gleichen Energieertrag eine höhere Drehzahl benötigen. Das ist ein Nachteil hinsichtlich der Schallentwicklung und dem visuellen Erscheinungsbild (fällt eher auf).



Das Konzept mit **zwei** Rotorblättern

Ein Rotor, welcher aus einer geraden Zahl von Blättern besteht, stellt ein Stabilitätsproblem für eine Anlage mit steifer Struktur dar.



Das Konzept mit **zwei** Rotorblättern

Ein Rotor, welcher aus einer geraden Zahl von Blättern besteht, stellt ein Stabilitätsproblem für eine Anlage mit steifer Struktur dar.

Der Grund: Im Augenblick, wo das oberste Blatt infolge der größten Windbelastung zurückgebogen wird, durchfährt das unterste Rotorblatt den Windschatten vor dem Turm.



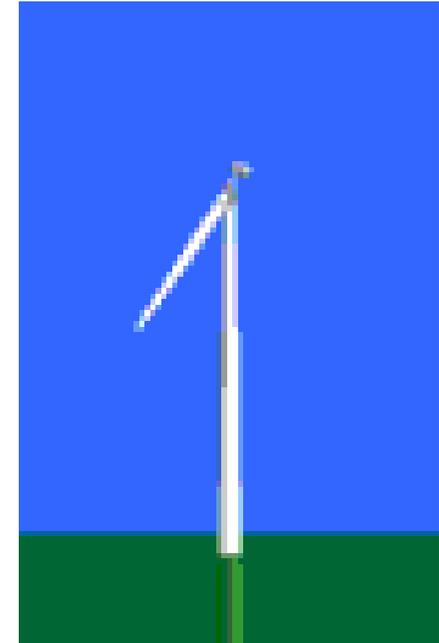
Das Konzept mit **einem** Rotorblatt

Jawohl, Anlagen mit nur einem Rotorblatt existieren, und sie ersparen uns die Kosten für ein weiteres Blatt!

Das Konzept mit **einem** Rotorblatt

Jawohl, Anlagen mit nur einem Rotorblatt existieren, und sie ersparen uns die Kosten für ein weiteres Blatt!

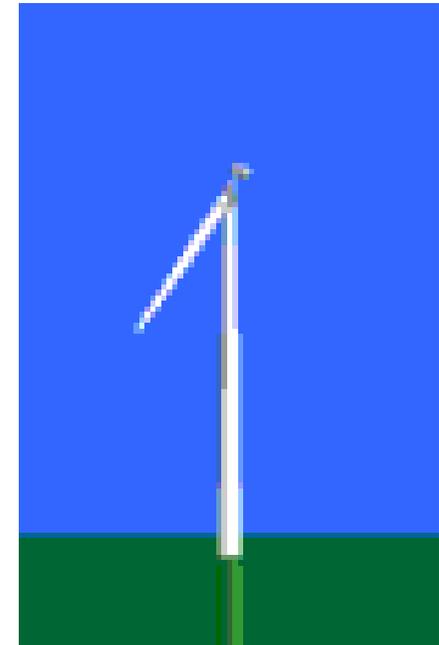
Einblättrige Windkraftanlagen sind nicht sehr weit verbreitet, weil die Probleme ihrer zweiblättrigen Kollegen für sie noch in verstärkter Form gelten.



Das Konzept mit **einem** Rotorblatt

Zusätzlich zu ihrer höheren Drehzahl, der Schallentwicklung und der gesteigerten Auffälligkeit benötigen sie noch ein Gegengewicht auf der anderen Seite der Nabe, um den Rotor zu balancieren.

Das macht natürlich den Vorteil des geringeren Gewichts im Vergleich zur Ausführung mit zwei Rotorblättern zunichte.

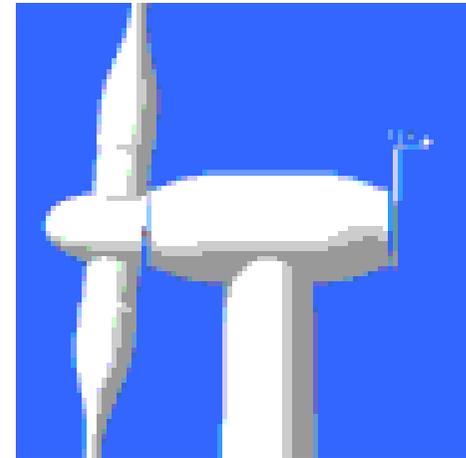


Das Konzept mit **einem** und **zwei** Rotorblättern

Anlagen mit einem oder zwei Rotorblättern erfordern eine kompliziertere Konstruktion mit einem schwenkbaren Rotor (Taumelrotor),

Das Konzept mit **einem** und **zwei** Rotorblättern

Anlagen mit einem oder zwei Rotorblättern erfordern eine kompliziertere Konstruktion mit einem schwenkbaren Rotor (Taumelrotor), wie das Bild zeigt.



Das Konzept mit **einem** und **zwei** Rotorblättern

Anlagen mit einem oder zwei Rotorblättern erfordern eine kompliziertere Konstruktion mit einem schwenkbaren Rotor (Taumelrotor), wie das Bild zeigt.

Der Rotor muss schwenkbar sein, um zu starke Stöße auf die Anlage zu verhindern, wenn der Rotor den Turm passiert. Deshalb ist der Rotor auf eine Welle montiert, die senkrecht auf die Hauptwelle (Antriebswelle) steht und mit dieser mitrotiert.

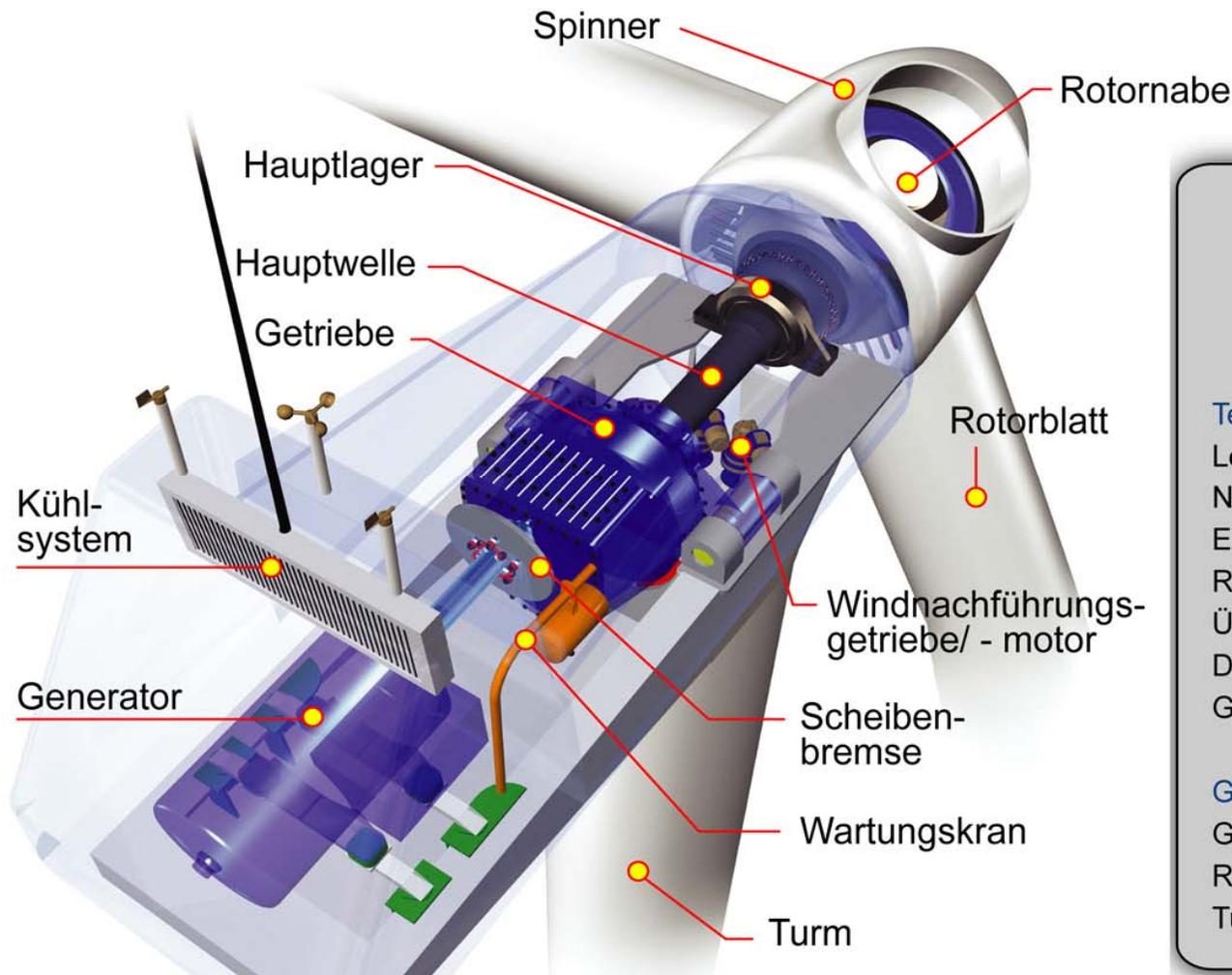


Damit wieder zurück zu den Bauformen von Windenergieanlagen

Bauformen von Windenergieanlagen

Es gibt Anlagen **mit** Getriebe
oder **ohne** Getriebe.

Aufbau einer Gondel - mit Getriebe und Asynchrongenerator



Modell NEG Micon 52/900 - technische Daten -

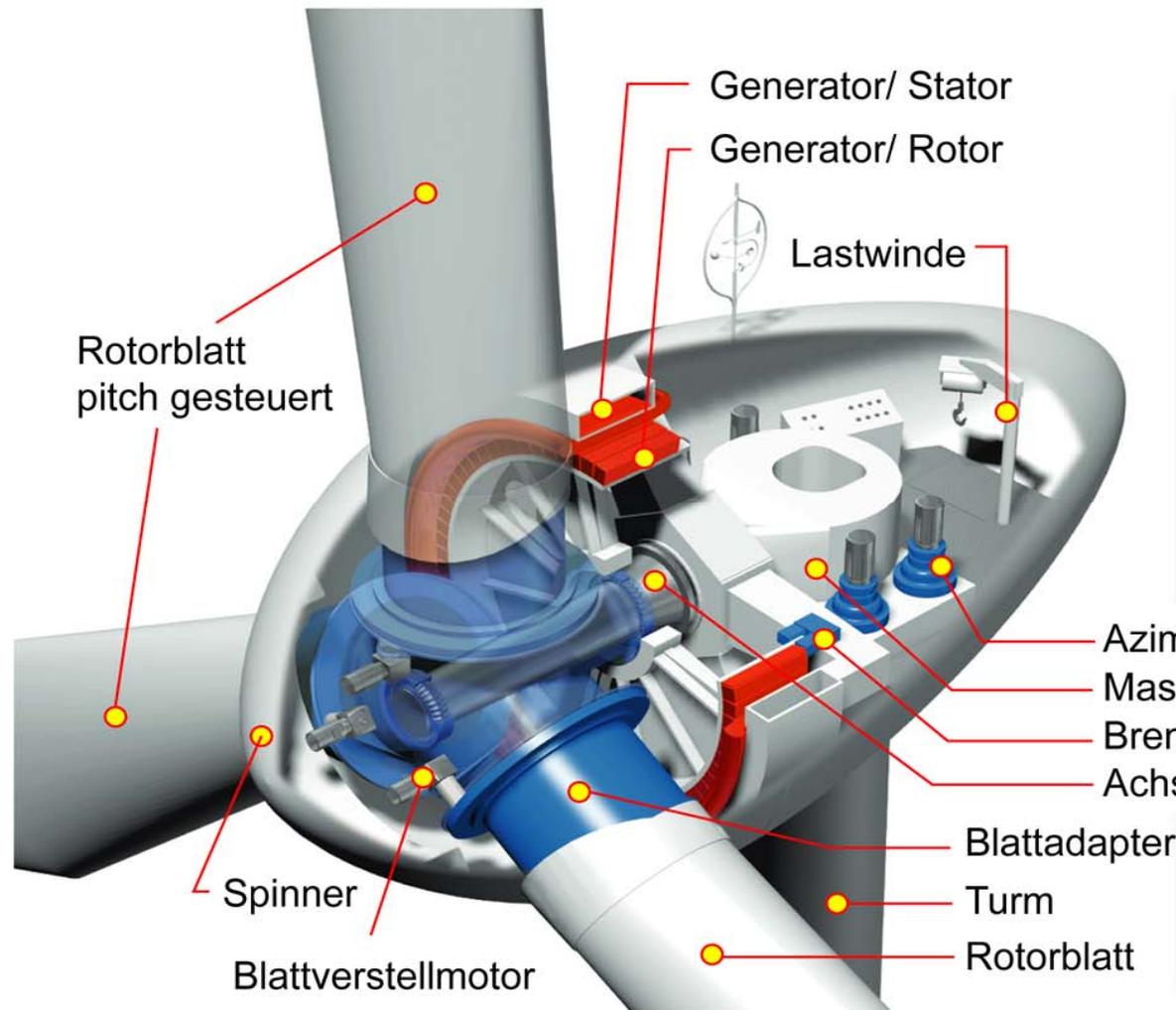
Technik

Leistung	: 900 kw
Nennwindgeschwindigkeit	: 16,0 m/s
Einschaltwindgeschw.	: 3,5 m/s
Rotordurchmesser	: 52,0 m
Überstrichene Fläche	: 2.140 m ²
Drehzahl	: 15-22 U/min
Generator	: asynchron

Gewicht

Gondel	: 26,5 t
Rotor (incl. Nabe)	: 16,5 t
Turm (74m, Stahlrohr)	: 97,0 t

Aufbau einer Gondel - getriebeles



Modell Enercon E-66 - technische Daten -

Technik

Leistung	: 1,8 MW
Nennwindgeschwindigkeit	: 12,0 m/s
Einschaltwindgeschw.	: 2,5 m/s
Rotordurchmesser	: 70,0 m
Überstrichene Fläche	: 3.848 m ²
Drehzahl	: 10-22 U/min

Generator	: synchron, Ringgenerator
Getriebe	: ohne

Gewicht

Gondel	: 68,8 t
Rotor (incl. Nabe)	: 31,7 t
Turm (98m, Beton)	: 861 t
Turm (86m, Stahlrohr)	: 219 t

Bauformen von Windenergieanlagen

Masten (abgespannte Bauwerke)
werden meist nur bei kleinen Windenergieanlagen
(bis 10kW) verwendet.

Bei den Türmen (freistehende Bauwerke)
werden Rohrtürme aus
Stahl oder Beton oder Gittertürme gebaut.

Durchgesetzt haben sich Stahl- und Betonrohtürme.

In ihrer Technik und Bauweise unterscheiden sich
Windenergieanlagen erheblich:

Kommen wir nun von den Bauformen zu den Konzepten.

Werfen wir einen Blick auf
die unterschiedlichen Konzepte:

Konzepte der Windkraftanlagen:

Zur Einspeisung von Strom in das elektrische Netz dominieren derzeit drei Konzepte den Markt:

- "Dänisches Konzept"
- Pitch-Konzept mit Synchrongenerator
- Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Konzepte der Windkraftanlagen:

Zur Einspeisung von Strom in das elektrische Netz dominieren derzeit drei Konzepte den Markt:

- "Dänisches Konzept"
- Pitch-Konzept mit Synchrongenerator
- Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Das Dänische Konzept:

Beim "Dänischen Konzept", das bis Mitte der neunziger Jahre den Markt völlig beherrschte, wird die Leistungsaufnahme bei sehr starkem Wind oder bei Böen auf "natürliche Weise" durch den Asynchrongenerator begrenzt.

Er fesselt die Drehzahl der Anlage an die Frequenz des elektrischen Netzes, so dass der Rotor auch bei sehr starkem Wind nicht schneller drehen kann. Dadurch reißt die Strömung an den Flügeln ab (stall) und die Leistungsaufnahme der Anlage wird so (ohne eine Blattwinkelverstellung) begrenzt.

Das Dänische Konzept:

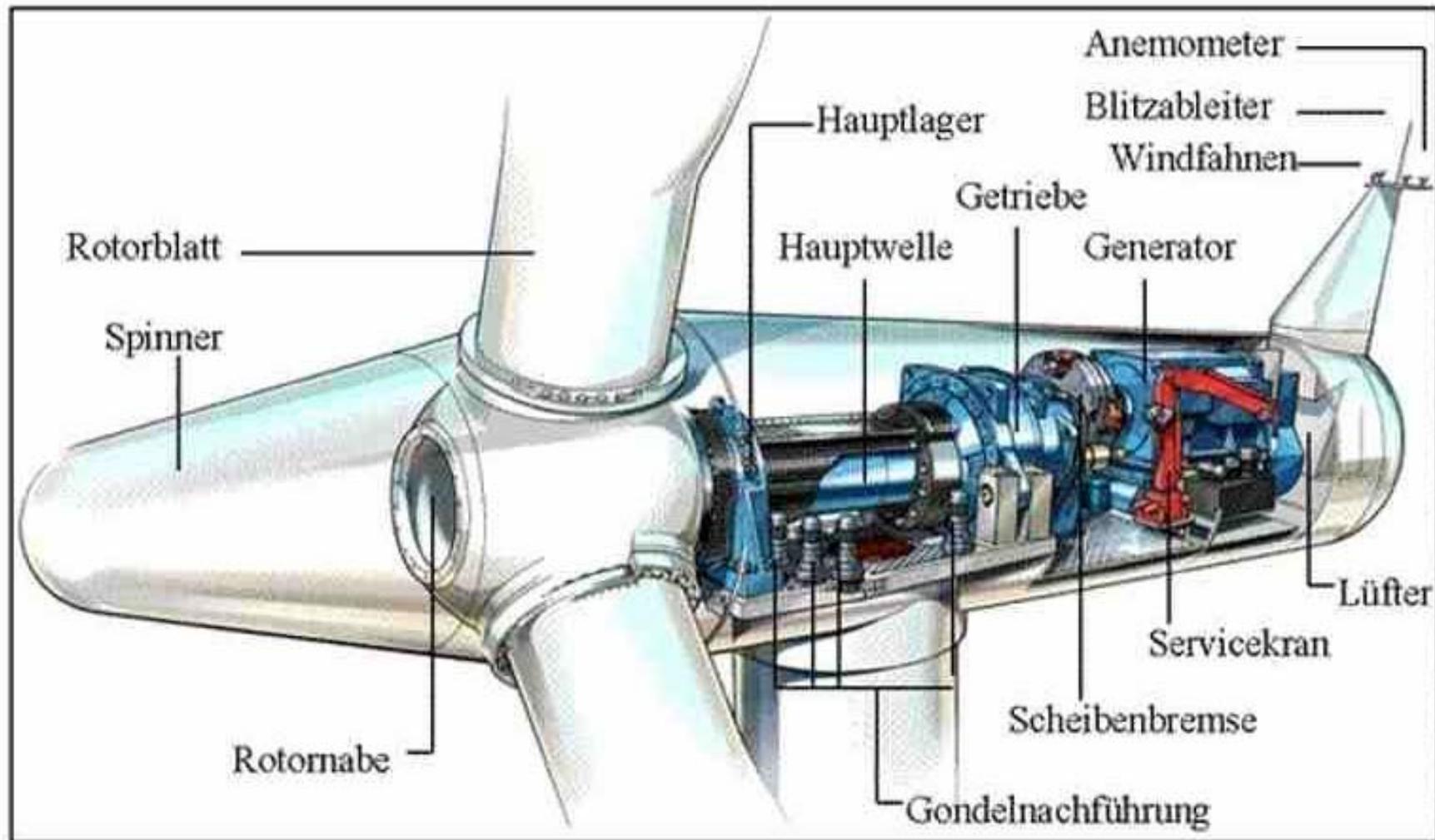
Beim "Dänischen Konzept", das bis Mitte der neunziger Jahre den Markt völlig beherrschte, wird die Leistungsaufnahme bei sehr starkem Wind oder bei Böen auf "natürliche Weise" durch den Asynchrongenerator begrenzt.

Er fesselt die Drehzahl der Anlage an die Frequenz des elektrischen Netzes, so dass der Rotor auch bei sehr starkem Wind nicht schneller drehen kann. Dadurch reißt die Strömung an den Flügeln ab (stall) und die Leistungsaufnahme der Anlage wird so (ohne eine Blattwinkelverstellung) begrenzt.

Ein einfaches robustes System!

Aufbau einer Gondel - mit Asynchrongenerator und Getriebe

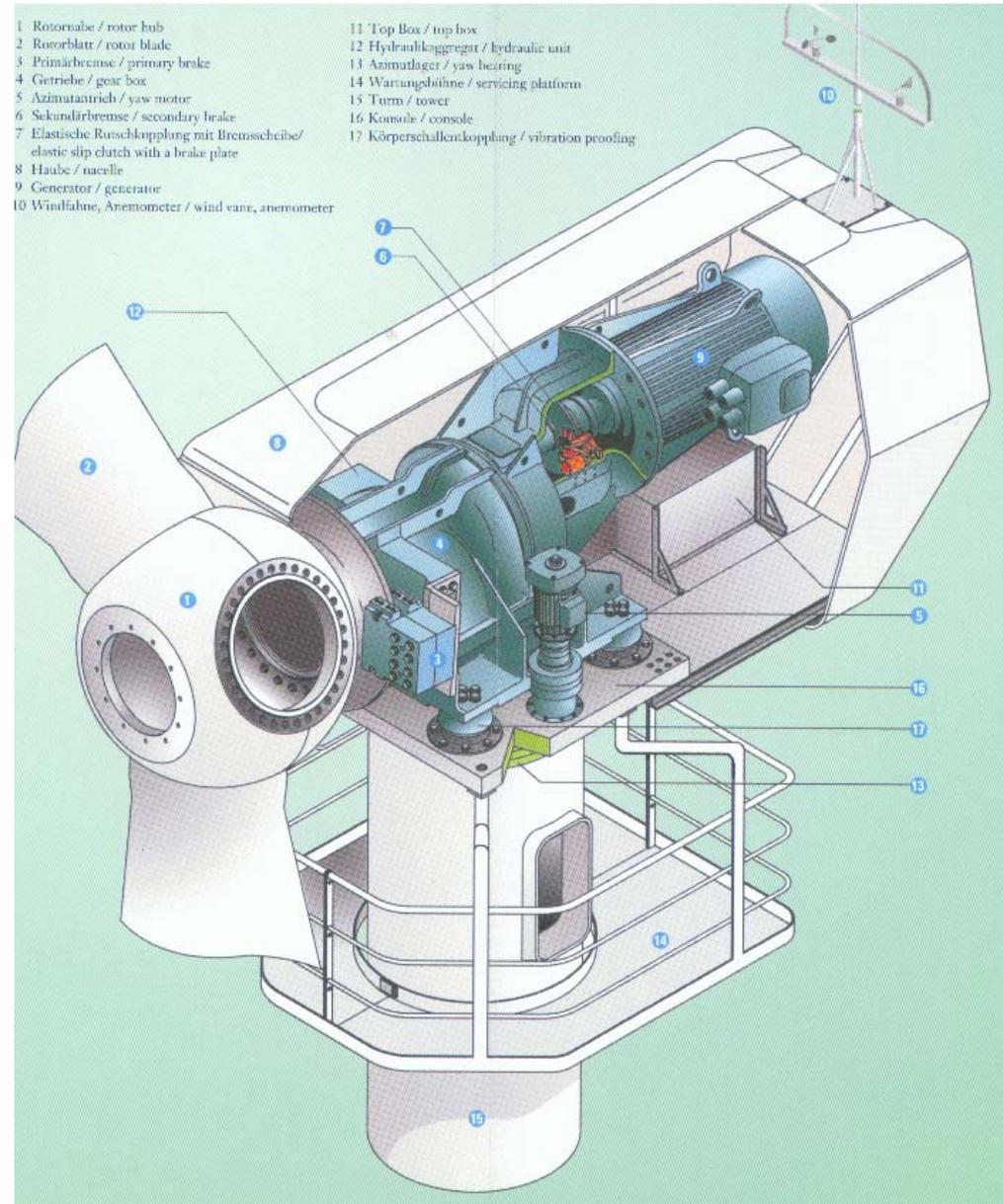
Fabrikat AN-Bonus heute: Siemens



Aufbau einer Gondel mit Asynchrongenerator und Getriebe

Fabrikat Tacke
heute: General Electric GE

Typ TW600 Leistung: 600 kW



Konzepte der Windkraftanlagen:

Zur Einspeisung von Strom in das elektrische Netz dominieren derzeit drei Konzepte den Markt:

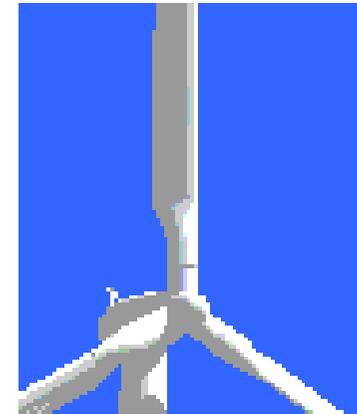
- "Dänisches Konzept"
- **Pitch-Konzept** mit Synchrongenerator
- **Pitch-Konzept** mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Das Pitch-Konzept:

Die ab 1990 bis 2000 zur Marktreife entwickelten "pitch-Konzepte" haben eine Blattwinkelverstellung, d. h. das Rotorblatt kann um seine Längsachse verdreht werden.

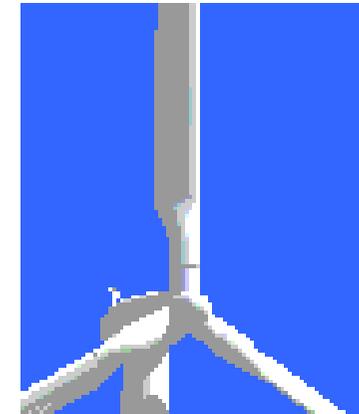
Das Pitch-Konzept:

Die ab 1990 bis 2000 zur Marktreife entwickelten "pitch-Konzepte" haben eine Blattwinkelverstellung, d. h. das Rotorblatt kann um seine Längsachse verdreht werden.



Das Pitch-Konzept:

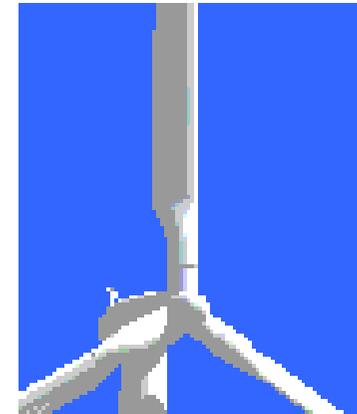
Die ab 1990 bis 2000 zur Marktreife entwickelten "pitch-Konzepte" haben eine Blattwinkelverstellung, d. h. das Rotorblatt kann um seine Längsachse verdreht werden.



Die Maschinen arbeiten von der Stärke der Windgeschwindigkeit geführt drehzahlvariabel. Durch die Blattwinkelverstellung wird erst im Starkwindbereich (ab 12 m/s) mit Erreichen der Nennlast die Leistungsaufnahme begrenzt.

Das Pitch-Konzept:

Die ab 1990 bis 2000 zur Marktreife entwickelten "pitch-Konzepte" haben eine Blattwinkelverstellung, d. h. das Rotorblatt kann um seine Längsachse verdreht werden.



Die Maschinen arbeiten von der Stärke der Windgeschwindigkeit geführt drehzahlvariabel. Durch die Blattwinkelverstellung wird erst im Starkwindbereich (ab 12 m/s) mit Erreichen der Nennlast die Leistungsaufnahme begrenzt.

Bei Normalwind fährt die Anlage mit festem, optimalen Blattwinkel zur besten Leistungsausbeute, aber eben mit veränderlicher Drehzahl, bis die Nennleistung erreicht wird. Von da an wird die Blattwinkelverstellung aktiv und hält die Leistungsabgabe konstant.

Konzepte der Windkraftanlagen:

Zur Einspeisung von Strom in das elektrische Netz dominieren derzeit drei Konzepte den Markt:

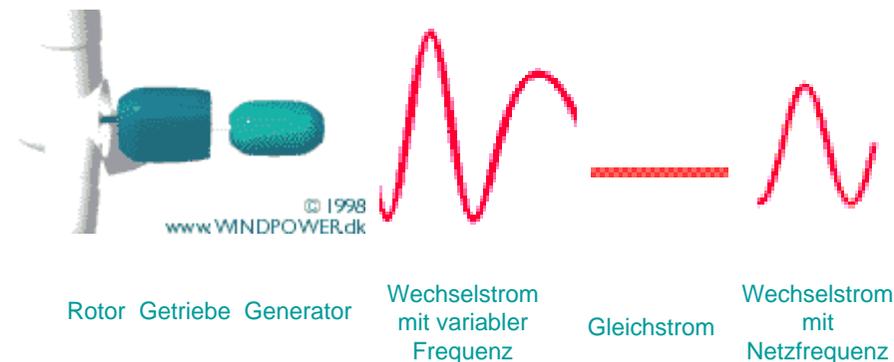
- "Dänisches Konzept"
- **Pitch-Konzept mit Synchrongenerator**
- Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Pitch-Konzept mit Synchrongenerator

Dieses Prinzip wird hauptsächlich bei getriebelosen Anlagen eingesetzt.

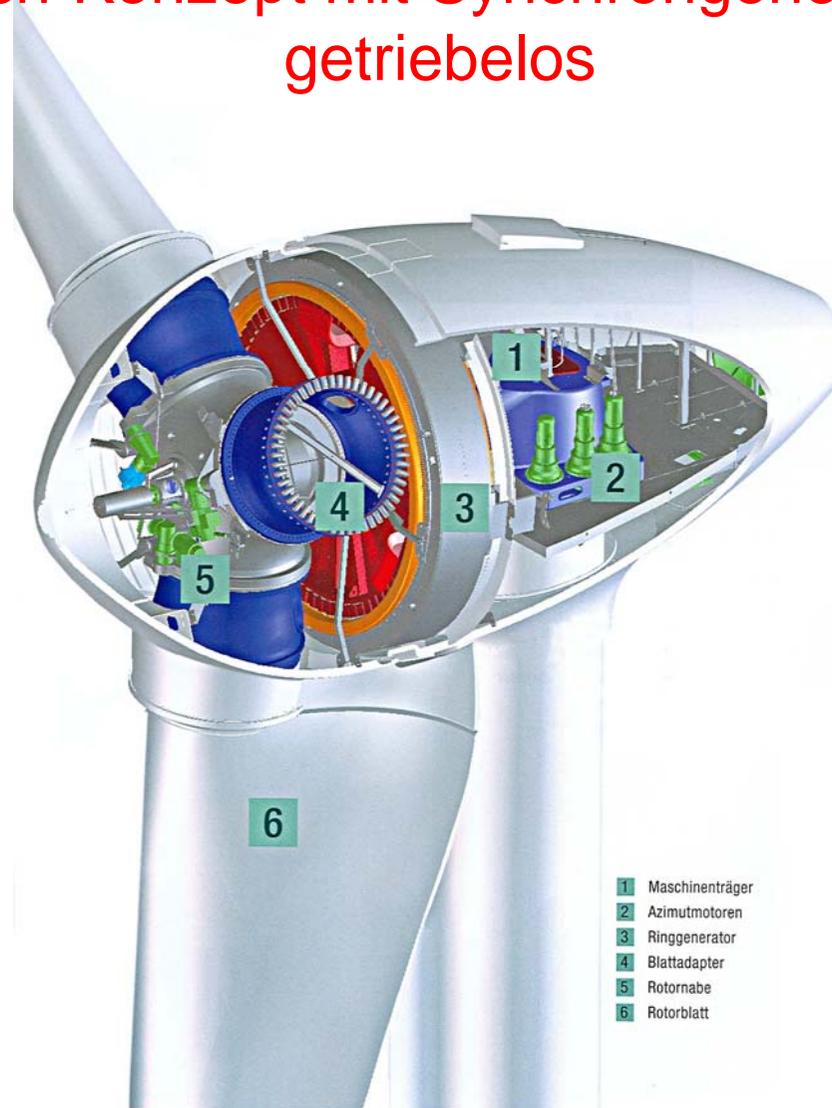
Der gesamte erzeugte Strom wird über einen Gleichstrom-Zwischenkreis geführt.

Durch die veränderliche Drehzahl ist auch die Frequenz am Generator variabel. Über einen Gleichrichter wird die Frequenz auf Null und anschließend in einem Wechselrichter auf die Netzfrequenz von 50 Hz gebracht.



Pitch-Konzept mit Synchrongenerator getriebeles

Enercon E70
2.000 kW



- 1 Maschinenträger
- 2 Azimutmotoren
- 3 Ringgenerator
- 4 Blattadapter
- 5 Rotornabe
- 6 Rotorblatt

Konzepte der Windkraftanlagen:

Zur Einspeisung von Strom in das elektrische Netz dominieren derzeit drei Konzepte den Markt:

- "Dänisches Konzept"
- Pitch-Konzept mit Synchrongenerator
- **Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator**

Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Beim Konzept mit einem doppelt gespeistem Asynchrongenerator ist dies nicht für die elektrische Gesamtleistung notwendig, sondern nur für den Anteil, der aus dem Läufer des Generators kommt. Das sind nur ca. 40% der Nennleistung und der Umrichter kann daher kleiner gebaut werden.

Die Drehzahl ist beschränkt variabel.
Eine Änderung der Rotordrehzahl von max. 60% bezogen auf die Nenndrehzahl ist möglich.

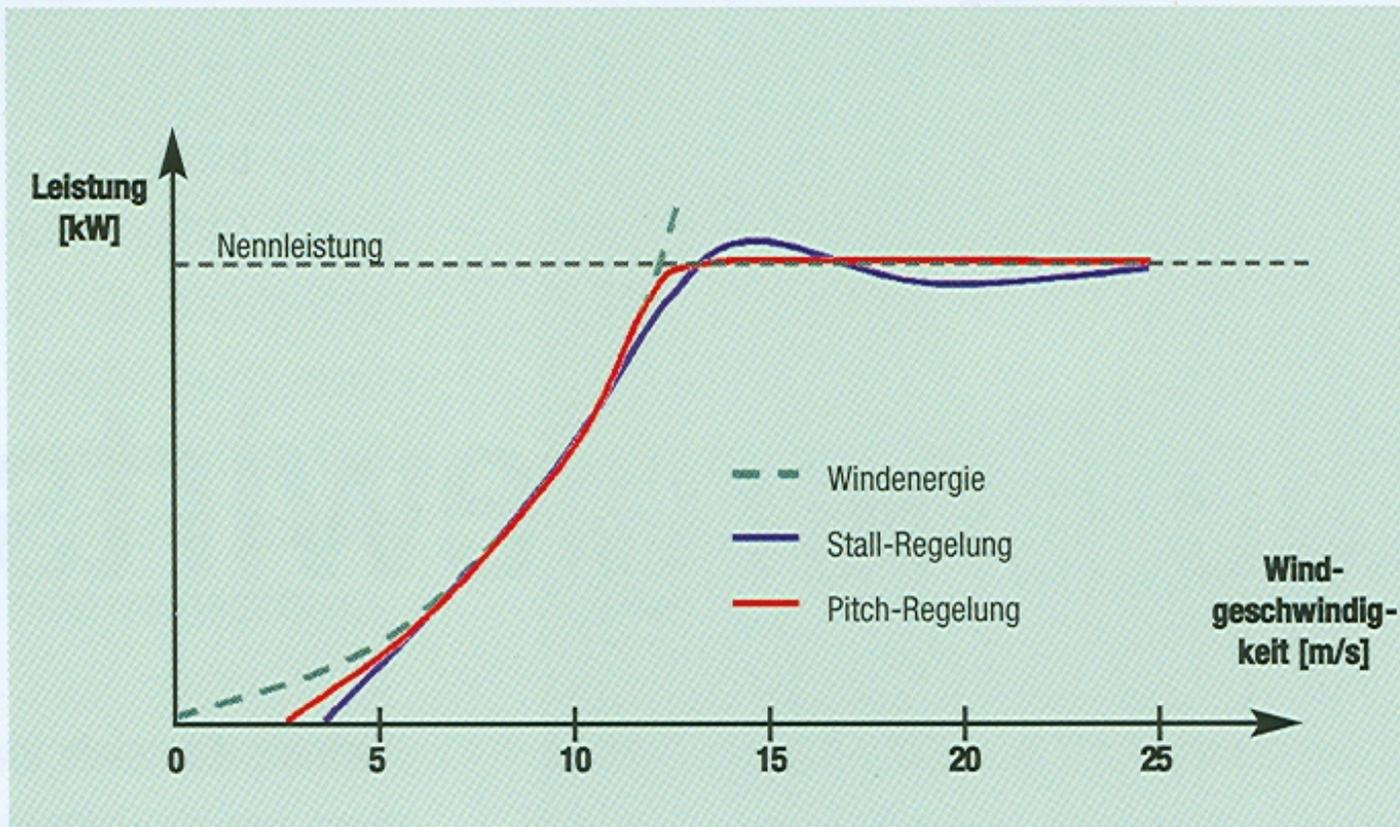
Pitch-Konzept mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator

Vestas V90
2.000 kW



- | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Pitch-Controller | 6 Getriebe | 11 Hochspannungs-
transformator | 16 Maschinenrahmen |
| 2 Pitch-Zylinder | 7 Mechanische Rotor-
Arretierung | 12 Rotorblatt | 17 Azimut-Antriebe |
| 3 Rotornabe | 8 Servicekran | 13 Rotorblattlager | 18 Kompositkupplung |
| 4 Hauptwelle | 9 VMP-Top-Controller
mit Umrichter | 14 Rotor-Arretierungssystem | 19 OptiSpeed [®] -Generator |
| 5 Ölkühler | 10 Ultraschall-Windsensoren | 15 Hydraulikaggregat | 20 Luftkühler für Generator |

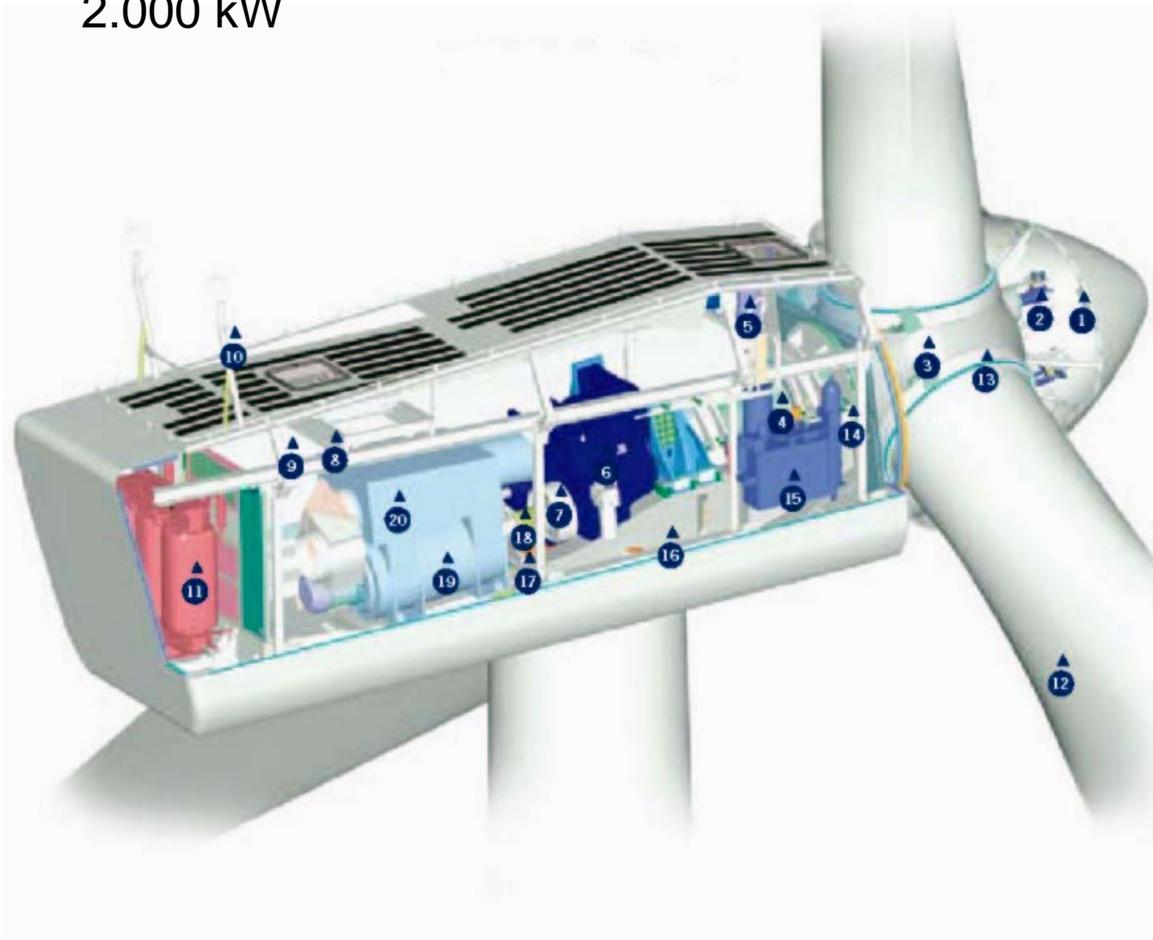
Kennlinien-Vergleich Stall - Pitch



Die Kennlinie einer stall-geregelten im Vergleich zu einer pitch-geregelten Windenergieanlage.

Anlagenvergleich

Vestas V90
2.000 kW



Enercon E70
2.000 kW





Bundesverband
WindEnergie e.V.

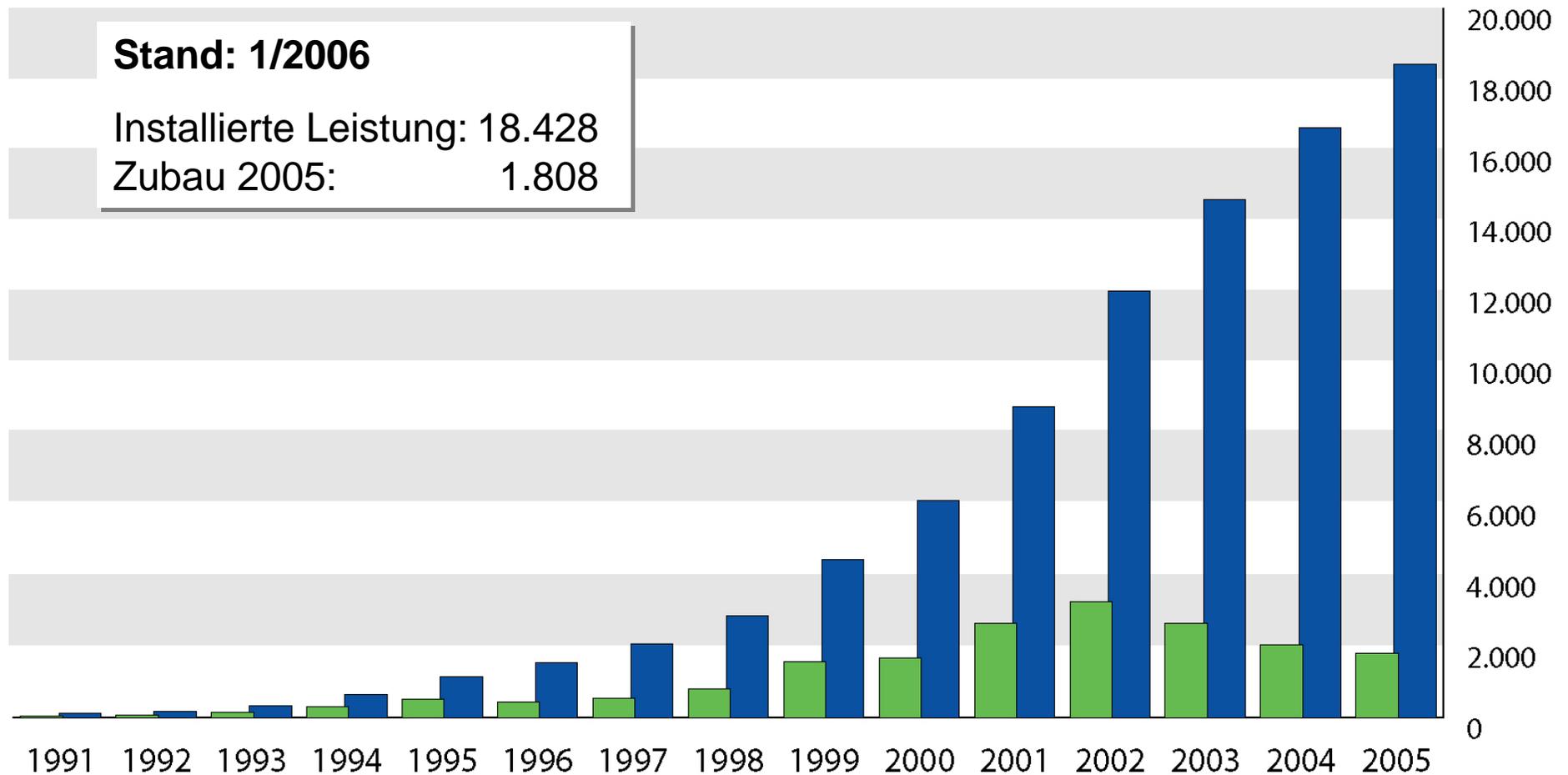
Entwicklung der Windenergie



www.wind-energie.de

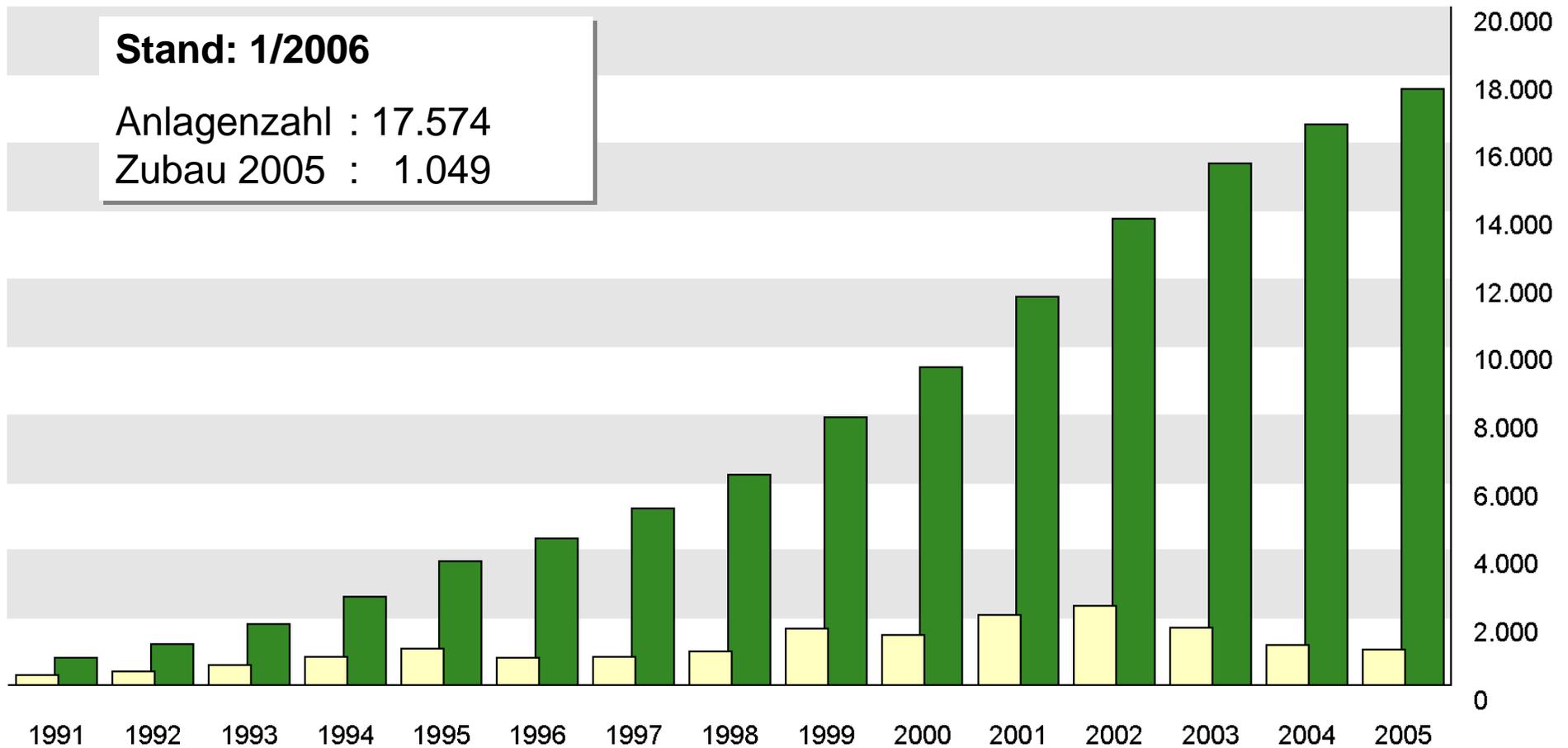
Zubau der installierten Leistung

- Gesamte installierte Leistung in Megawatt
- Neu installierte Leistung in Megawatt



Zunahme der Anlagenzahlen

-  Neu aufgebaute Anlagen
-  Gesamte Anlagenzahl



Die Entwicklung der Windkraft in Deutschland



**Ende des 19. Jahrhunderts
gab es in Norddeutschland
35.000 Windmühlen**

**In Europa zählte man zu der
Zeit über 200.000 Windmühlen**

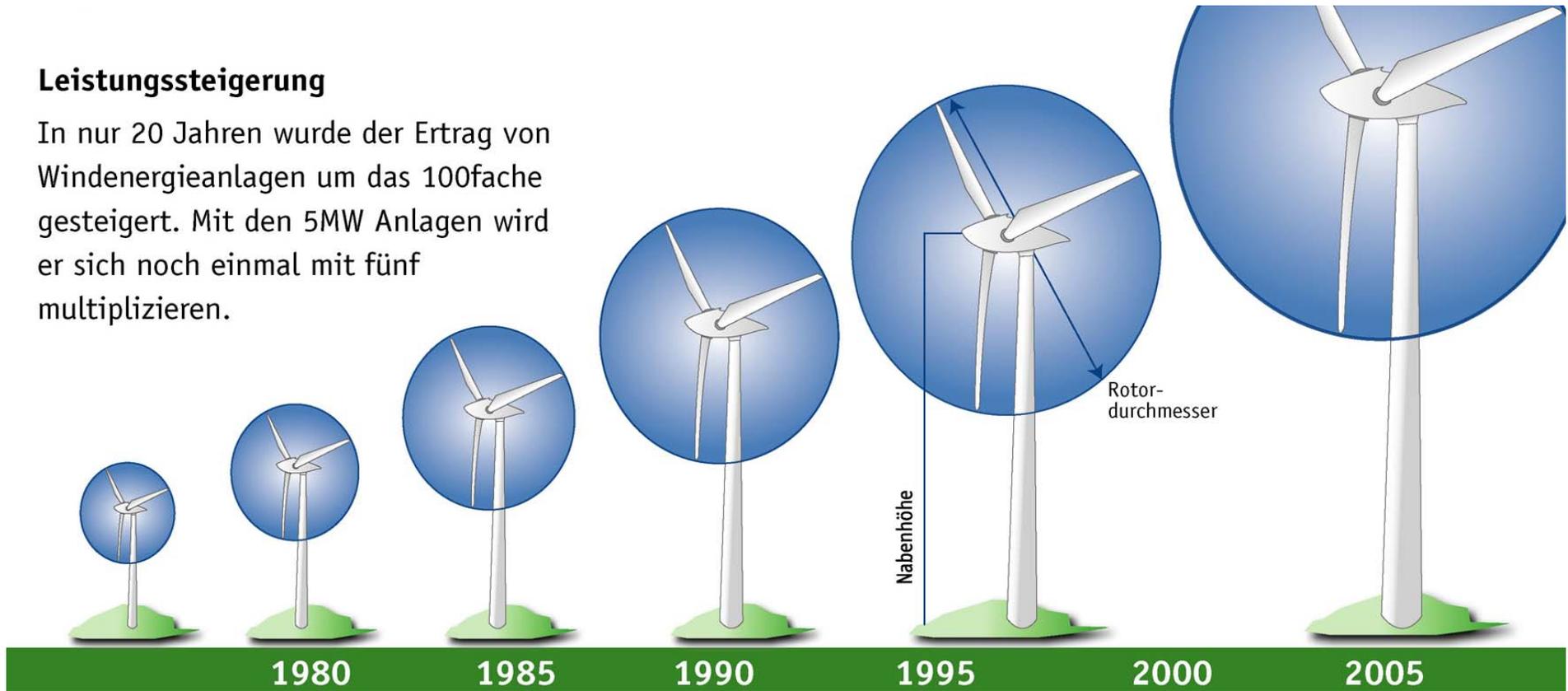
Zum Vergleich:

am 31. Dez. 2005 gab es
in Deutschland 17.574 moderne
Windräder,
davon in Bayern 271 und in
Baden-Württemberg 261

Die Technik - 500 Mal mehr Energieertrag seit 1980

Leistungssteigerung

In nur 20 Jahren wurde der Ertrag von Windenergieanlagen um das 100fache gesteigert. Mit den 5MW Anlagen wird er sich noch einmal mit fünf multiplizieren.



	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Nennleistung	: 30 kW	80 kW	250 kW	600 kW	1.500 kW	5.000 kW
Rotordurchmesser	: 15 m	20 m	30 m	46 m	70 m	115 m
Nabenhöhe	: 30 m	40 m	50 m	78 m	100 m	120 m
Jahresenergieertrag	: 35.000 kWh	95.000 kWh	400.000 kWh	1.250.000 kWh	3.500.000 kWh	ca. 17.000.000 kWh

Die Entwicklung der Windkraft in Deutschland



Growian:

Inbetriebnahme:
1983

Nennleistung:
3.000 kW

Rotordurchmesser:
100,4 m

Nabenhöhe:
100 m

Monopteros:



Inbetriebnahme:
1982

Nennleistung:
370 kW

Rotordurchmesser:
48,3 m

Nabenhöhe:
50 m

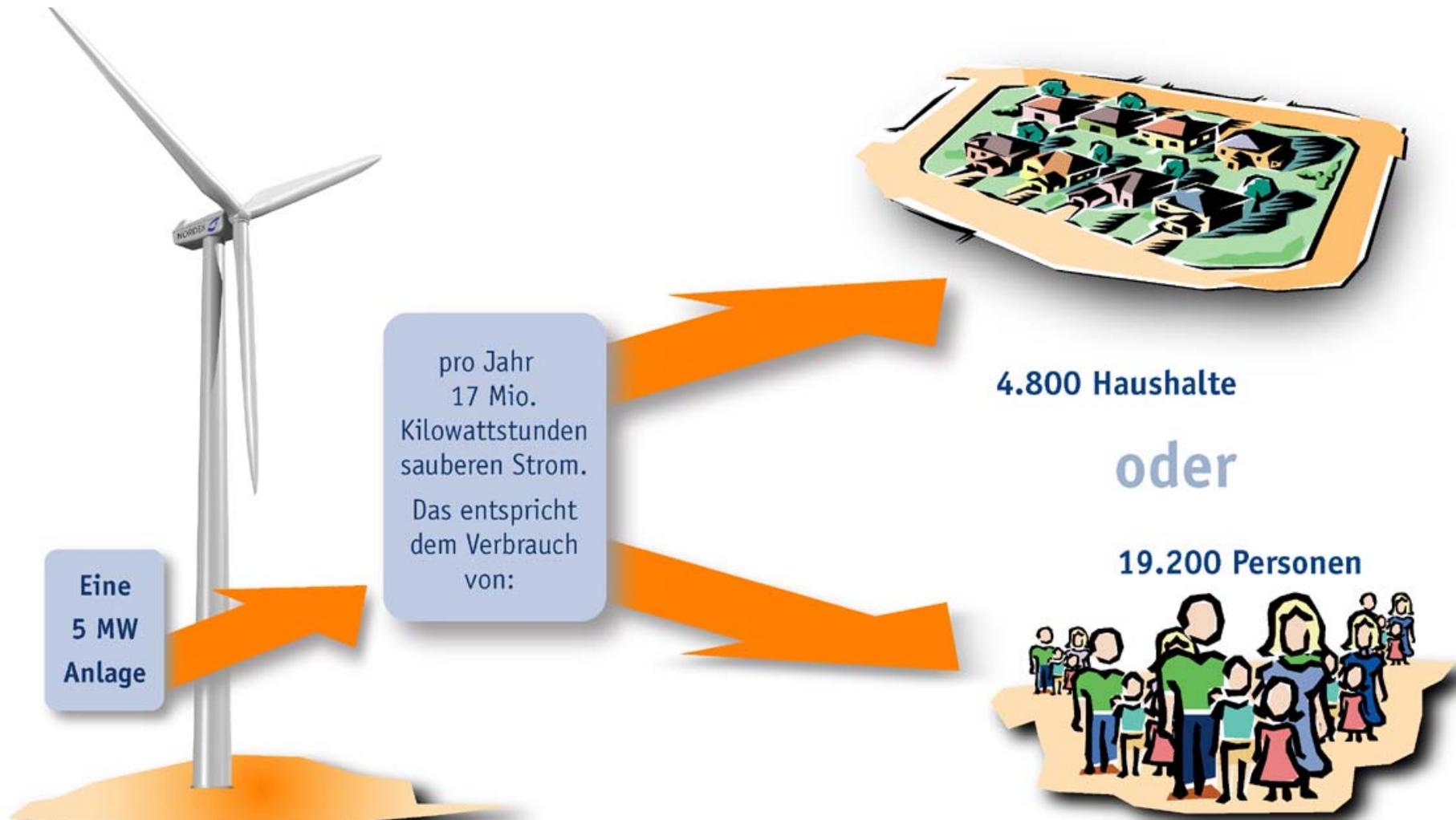


Die gegenwärtig größten Windenergieanlagen der Welt.

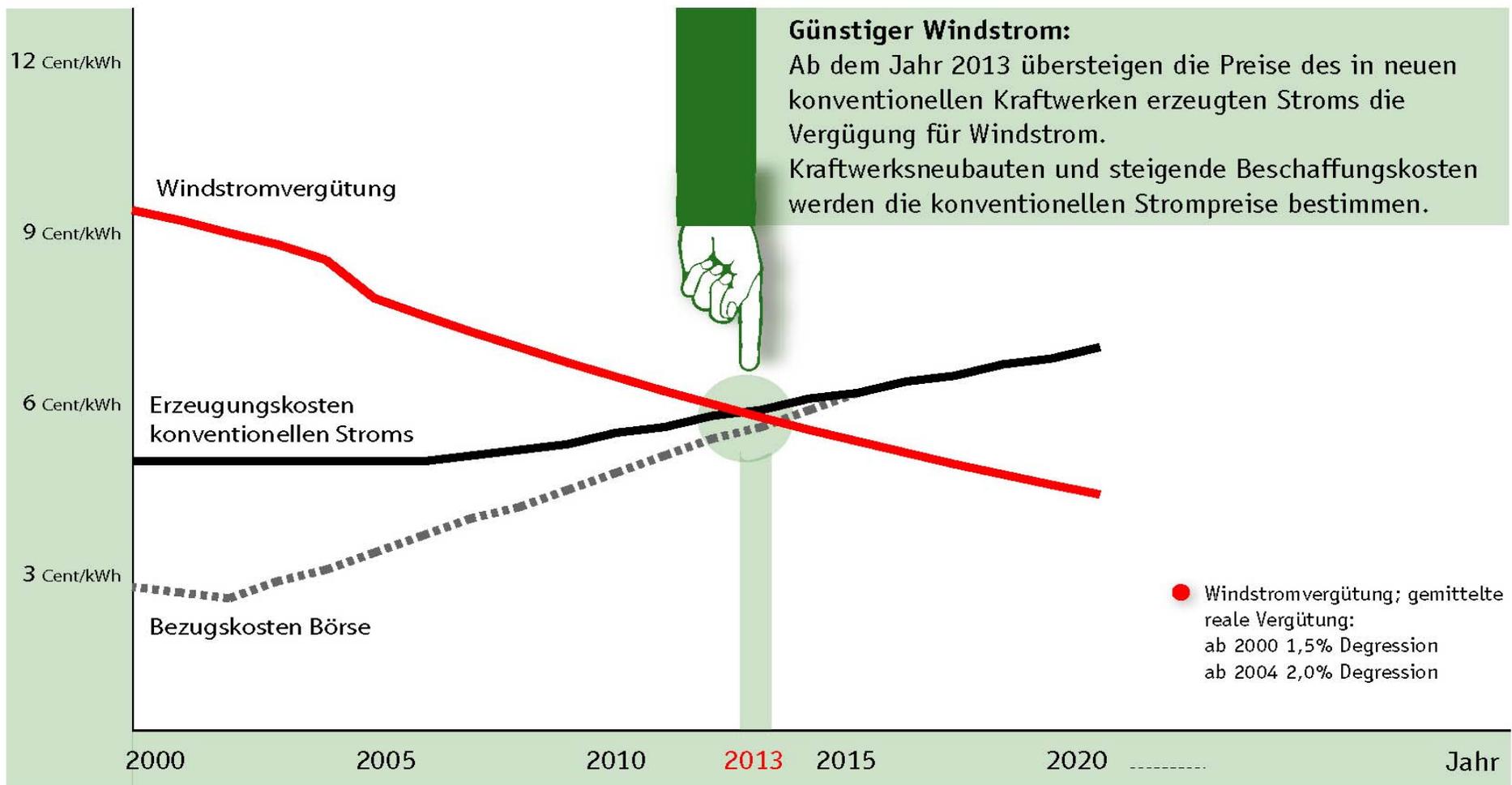


	Enercon E-112 E-114		Repower 5M	Multibrid M5000
Nennleistung	5 MW	6 MW	5 MW	5 MW
Nabenhöhe	123 Meter		120 Meter	102,6 Meter
Rotordurchmesser	112 Meter	114 Meter	126 Meter	116 Meter
Standorte	5 Anlagen (Emden, Wilhelmshaven, etc.)	1 Anlage	1 Anlagen (Brunsbüttel)	1 Anlagen (Bremerhaven)

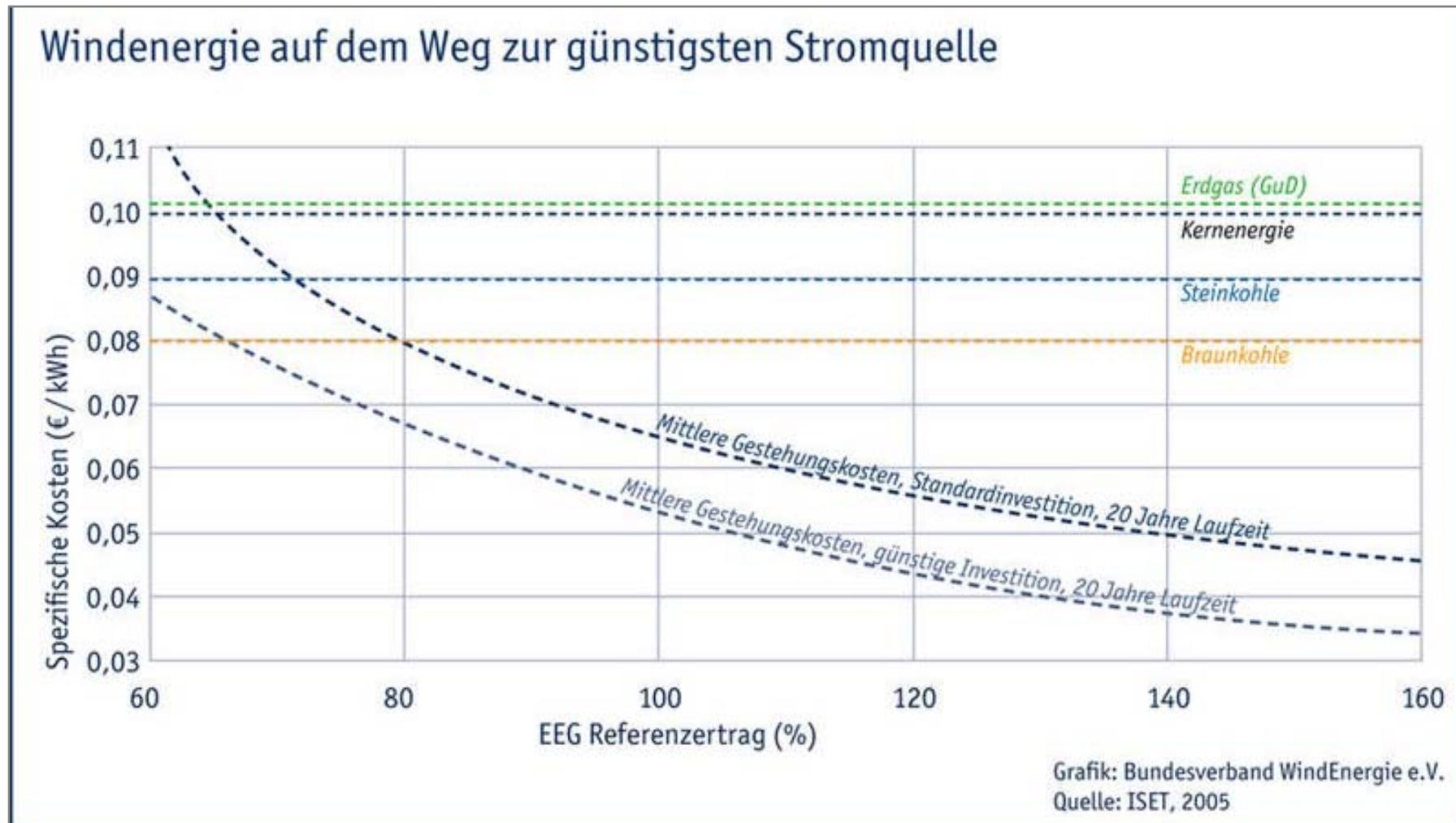
Leistung einer 5 MW-Anlage



Die Perspektive: günstige Strompreise durch Windenergie



Gestehungskosten im Vergleich auf der Basis eines neuen Kraftwerks Windenergie – konventionelle Energie





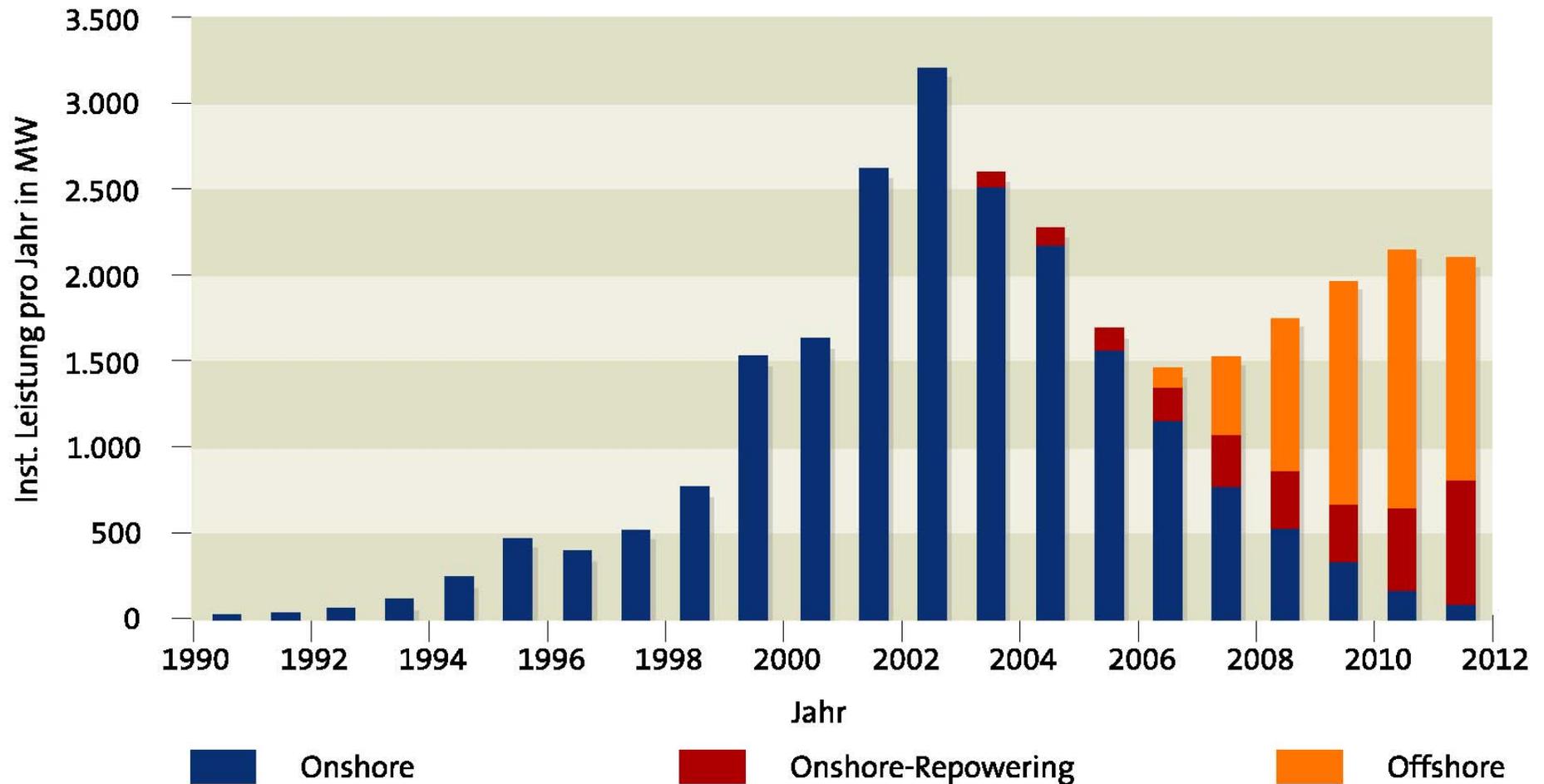
Bundesverband
WindEnergie e.V.

Möglichkeiten & Aussichten



www.wind-energie.de

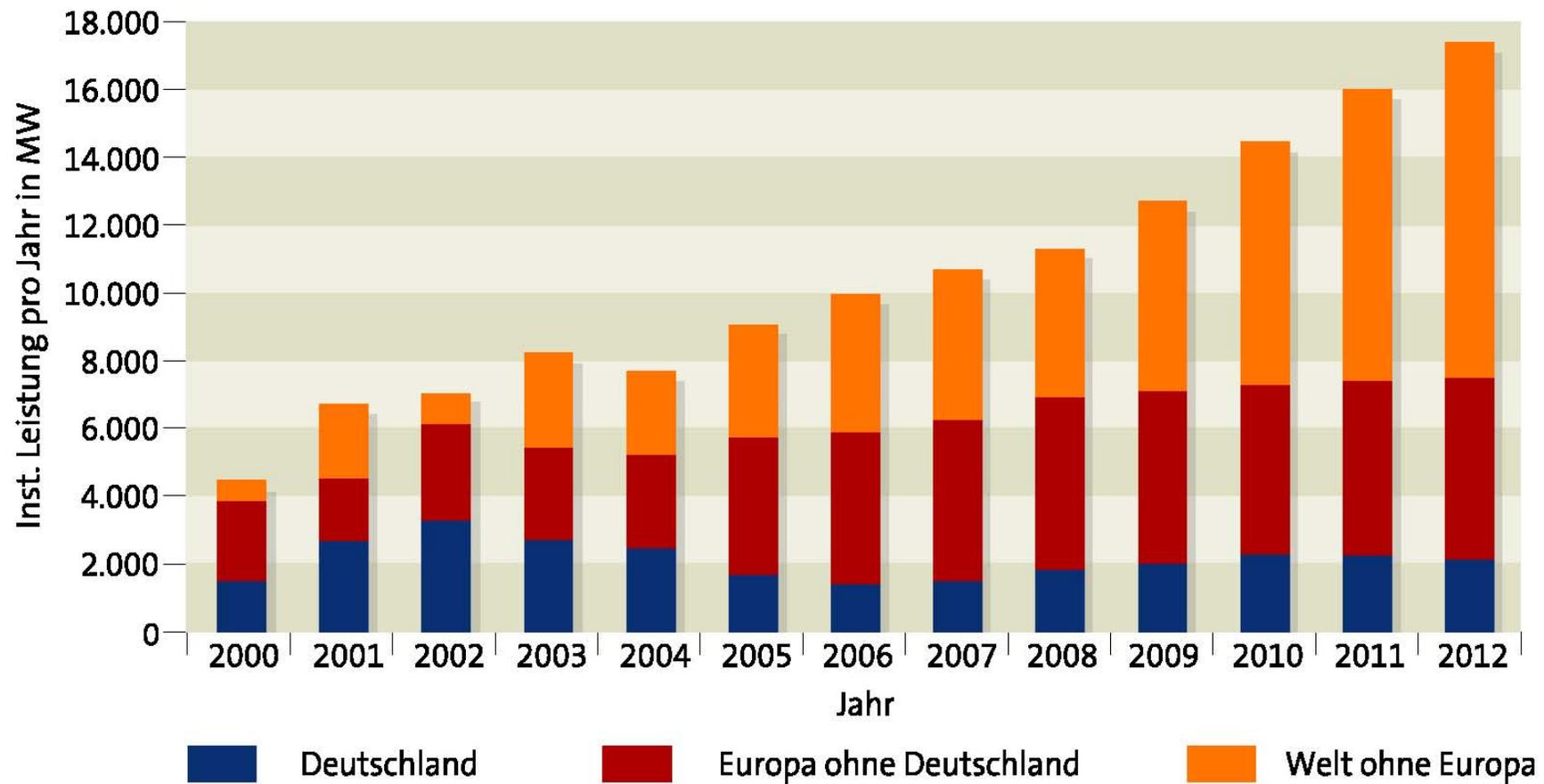
Marktentwicklung in Deutschland bis 2012



Quelle: www.deutsche-windindustrie.de

Grafik: Solarpraxis/Sunbeam

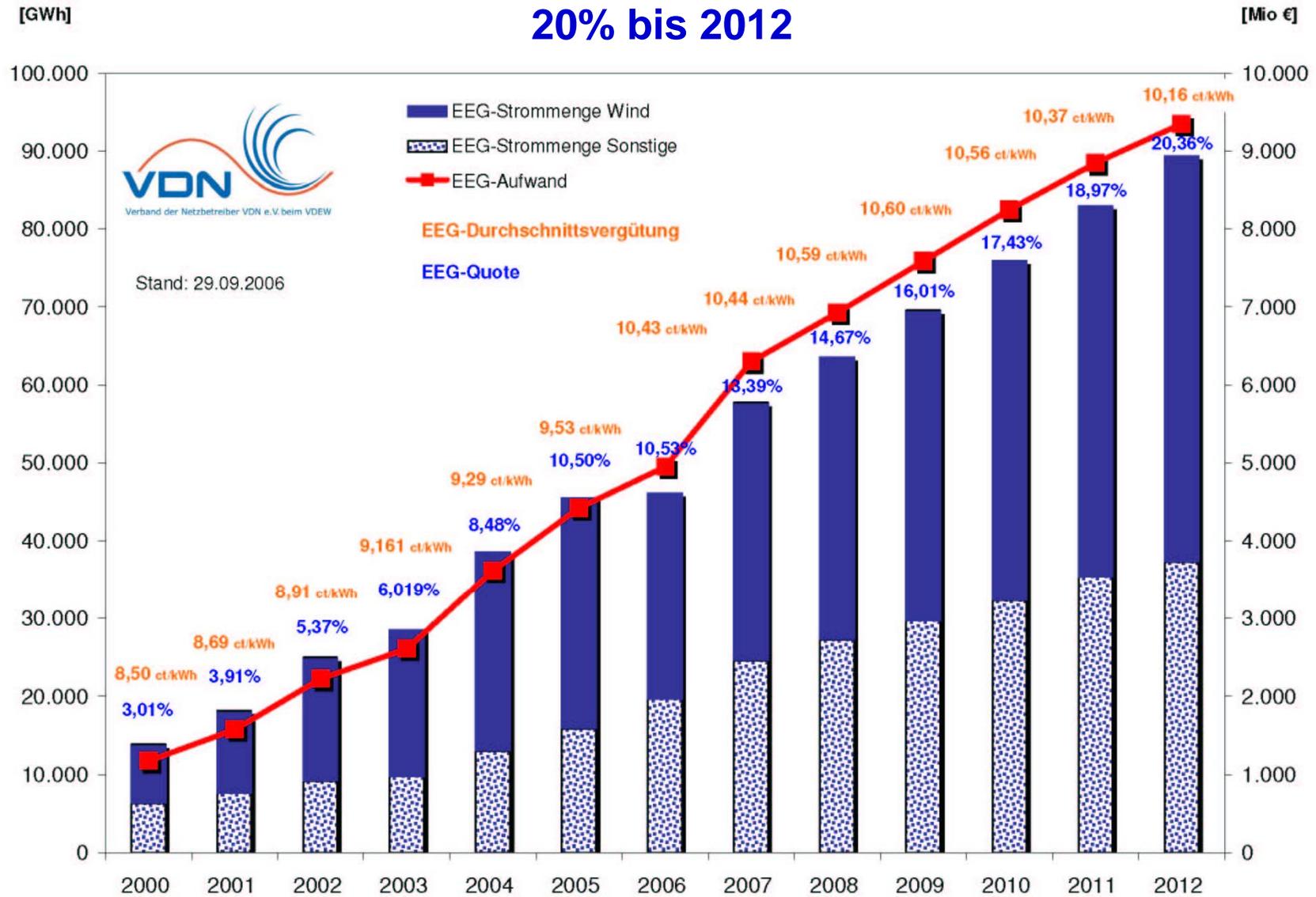
Weltweite Entwicklung der Windenergie bis 2012



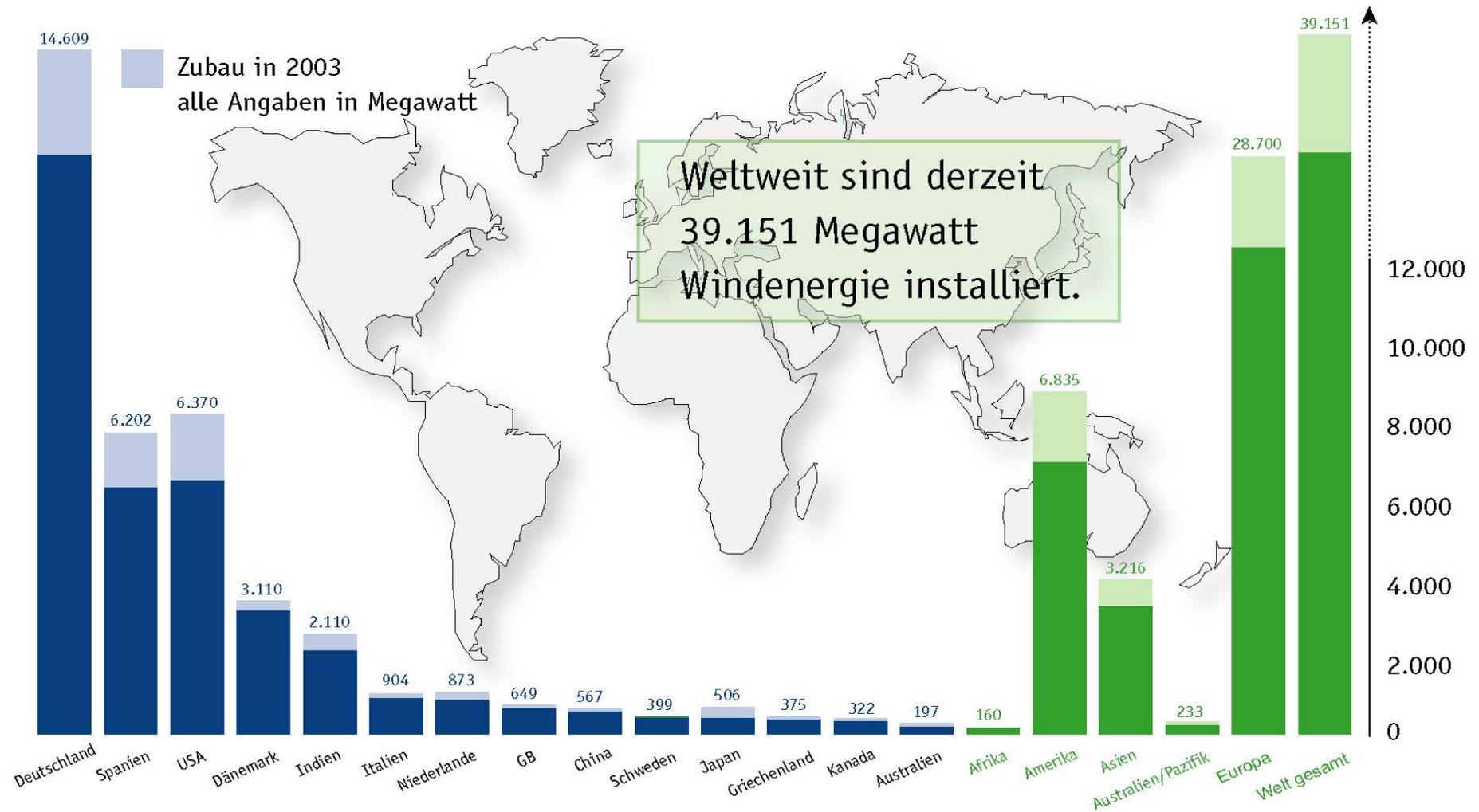
Quelle: www.deutsche-windindustrie.de

Grafik: Solarpraxis/Sunbeam

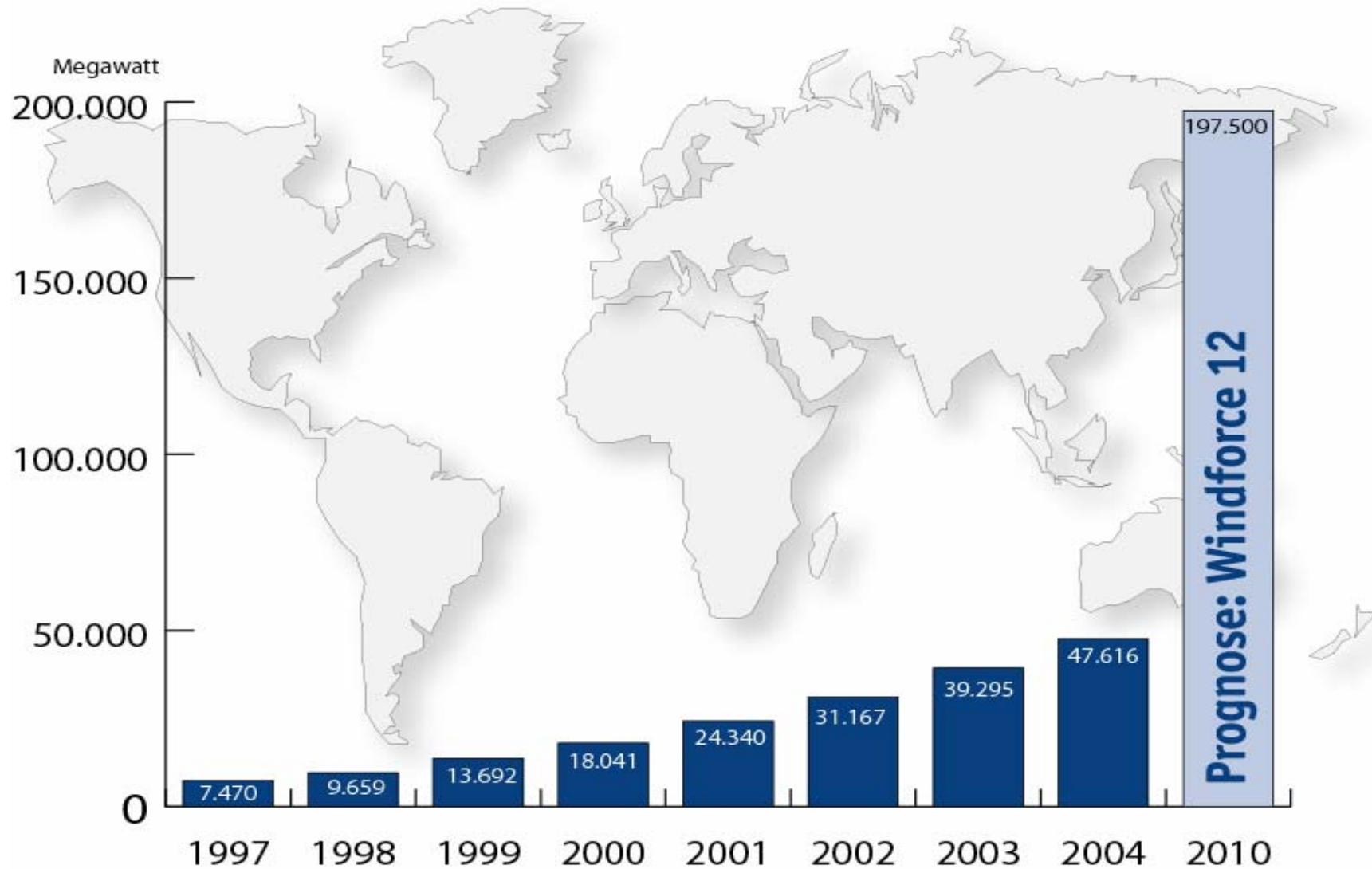
EEG-Mittelfristprognose des Verbandes der Netzbetreiber VDN 20% bis 2012



Weltweite Entwicklung



Weltweite Entwicklung der installierten Windleistung





Bundesverband
WindEnergie e.V.

Offshore



www.wind-energie.de

Offshore-Projekte in Deutschland - Nordsee

Nr	Projekt	Projektträger	Megawatt
9	H2-20	Geo	400 (4.000)
10	Jules Verne	Plambeck	13.500
11	Ventotec Nord 1	Arcadis (Dt. Bank, GHF, Vestas)	150 (600)
12	TGB Nord	Ep4 Offshore	1.005 (2.550)
13	Forseti	Prokon Nord	17.500
14	Deutsche Bucht	Rennert Offshore	400 (400)
15	Austergrund	Rennert Offshore	400 (400)
16	Bard Offshore 1	Bard Engineering	400 (1.600)
17	Hochsee Windpark HE dreiht	EOS Offshore	536
18	Globaltech 1	Nordsee Windpower	360 (1.440)
19	Hochsee Windpark Nordsee	EOS Offshore	536 (2.286)
20	Ventotec Nord 2	Arcadis (Dt. Bank, GHF, Vestas)	150 (600)
21	Nördlicher Grund	GEO, ABB, GREP	360 (2.195)
22	Dan Tysk	Geo	400 (1.500)
23	Uthland	Geo	400
24	Weißer Bank 2010	OSB Butendiek	2.700
25	Meerwind	Windland	265 (819)
26	Godewind	Plambeck	320 (896)
27	Nordergründe	Energiekontor	125 (270)
28	Offshore North Sea Windpower	Enova	203 (1.255)
29	Riffgat	Enova	400 (1.600)



Offshore-Projekte in Deutschland - Ostsee

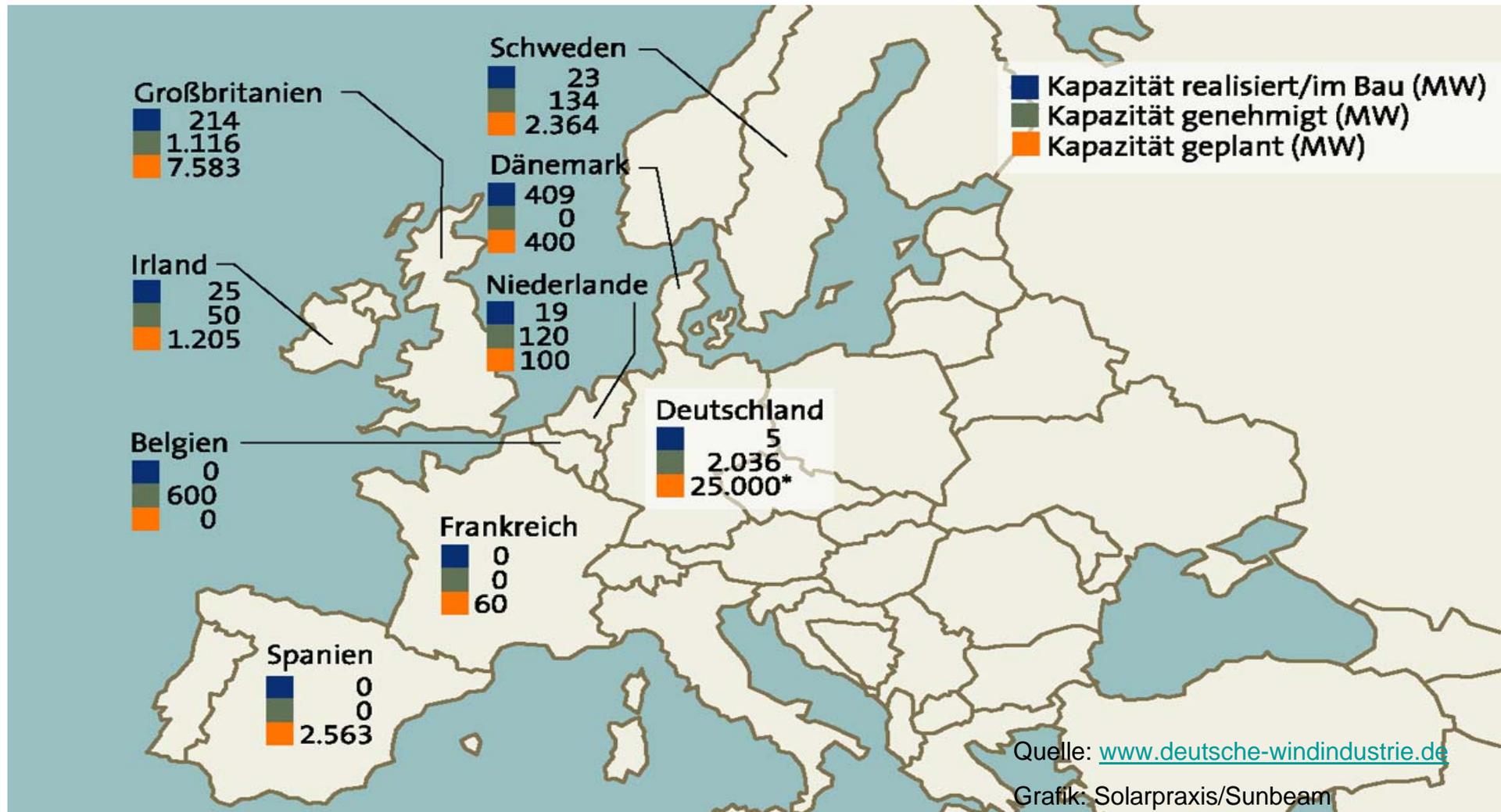
Nr	Projekt	Projekträger	Megawatt
1	Sky 2000	GEO, EON	10 (100)
2	Wismar	Arcadis (Dt. Bank, GHF, Vestas)	2
3	Breitling	Offshore Ostsee Wind AG	2,3
4	Baltic 1	Offshore Ostsee Wind AG	51
5	Arcona ,Becken Südost	AWE (EON, Brockmüller Energy consulting)	400 (1.005)
6	Ventotec Ost 2	Arcadis (Dt. Bank, GHF, Vestas)	150 (600)
7	Adlergrund	OWP	280 (720)
8	Pommersche Bucht	Winkra	350 (1.000)
9	Baltsee	Plambeck	75 (415)
10	Kriegers Flak	Offshore Ostsee Wind AG	140 (231)



Offshore-Projekte in Europa



Offshore Windparks in Europa



Offshore-Projekte in Europa

Land	Projekte gesamt		realisiert		genehmigt		geplant	
	Anzahl	Megawatt	Anzahl	Megawatt	Anzahl	Megawatt	Anzahl	Megawatt
Dänemark	9	809	7	409	--	--	2	400
Großbritannien	30	8.913	4	214	9	1.116	17	7.583
Schweden	14	2.521	3	23	2	134	9	2.364
Niederlande	4	239	2	19	1	120	1	100
Irland	8	1.280	1	25	1	50	6	1.205
Deutschland	41	70.682	1	4,5	10	2.036	37	68.642
Belgien	1	600	--	--	1	600	--	--
Spanien	6	2.563	--	--	--	--	6	2.563
Frankreich	2	60	--	--	--	--	2	60

Wirtschaftliche Auswirkungen des Offshore-Ausbaus in Norddeutschland



Wirtschaftliche Auswirkungen

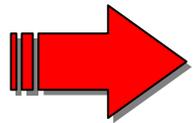
Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee

Zeitraum	Primär-impuls (in Mrd. Euro)	Produktions-effekt (in Mrd. Euro)	Wertschöp-fungseffekt (in Mrd. Euro)	Beschäftigungseffekt	
				Personenjahre	Arbeitsplätze
Bis 2005	0,53	1,36	0,66	10.633	2.133
2006-2010	1,72	4,47	2,15	31.067	6.213
2011-2015	2,04	5,28	2,54	33.333	6.667
2016-2020	3,78	9,79	4,69	55.772	11.154

(Studie von 2001: Dewi, Niedersächsische Energieagentur, Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung)

Wirtschaftliche Auswirkungen durch Offshore Windenergie

- **Ca. 21 Mrd. Euro** Produktion angestoßen durch Errichtung von Offshore-Windparks (2005-2020)
- **Ca. 26.000 neu Arbeitsplätze**
- **Weitere 2,5 Mrd. Euro** Produktionsleistung durch Betrieb der Windparks
- **Weitere 4.000 Arbeitsplätze** in Wartung und Betrieb



Daraus resultierender Wertschöpfungseffekt von 4,7 Mrd. Euro (2016-2020)

Wirtschaftliche Auswirkungen durch Offshore Windenergie

Nachfrageeffekte in den Wirtschaftszweigen

- Herstellung Metallerzeugnisse / Stahlbauleistungen / Maschinenbau
- Rotorherstellung
- Anlagenbau im Bereich Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Weitere Produktions-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in allen Teilen der Wirtschaft, v.a.

- Handel
- Unternehmensdienstleistung
- F&E

