

# Windenergie

## einige Aspekte

Seminar: 18.07.08

# Inhalt

- Historie der Windenergienutzung
- Aufbau von Windenergieanlagen
- Exkurs: Getriebe
- Klassifizierung von Anlagen
- Windverhältnisse – Turbulenzen – Betzsches Gesetz - Strömungen
- Ertragsberechnungen / Windparkplanung
- Statistiken: Deutschland/ Europa / weltweit
- Amortisation
- Ökonomie
- Anhang Erneuerbare Energien

# Windtestfeld der Fa. Ventimotor (Weimar)



**1942**

Beginn der modernen Windenergienutzung.

Ulrich Hütter (Dozent an der Ingenieurschule Weimar) Dissertation: Beitrag zur Schaffung von Gestaltungsgrundlagen für die Windkraftwerke".

Theoretischer Basis für alle modernen "Freifahrenden Turbinen" mit 2 oder 3 Rotorblättern.

Blattelement-Impulstheorie, entwickelt aus der Luftfahrttechnik, immer noch gültig (Wahlfach an der Universität Stuttgart)

Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie1.html>



# Smith / Putnam



## 1942

Grandpa's Knob (Rutland) Vermont -  
330 km nördlich von New York

1250 kW-Windanlage

Konstrukteure: **Smith/Putnam**

D= 53.23 m, Nabhöhe: 32.6 m.

Rotorachse: D= 610 mm

Blatt: Stahl, 8Tonnen.

Schaden 1942 - Flugweite eines  
Blattes: 230 Meter.

Reparatur zwecklos.

1945 Versuche endgültig eingestellt.

# 1958 Hütter Turbine

W-34

100kW, D=34m

Geisslingen, schwäbische Alb

1969: GFK Blätter



Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie1.html>

# 1980 GROWIAN

3 MW – 100m Rotor – 100m Nabenhöhe

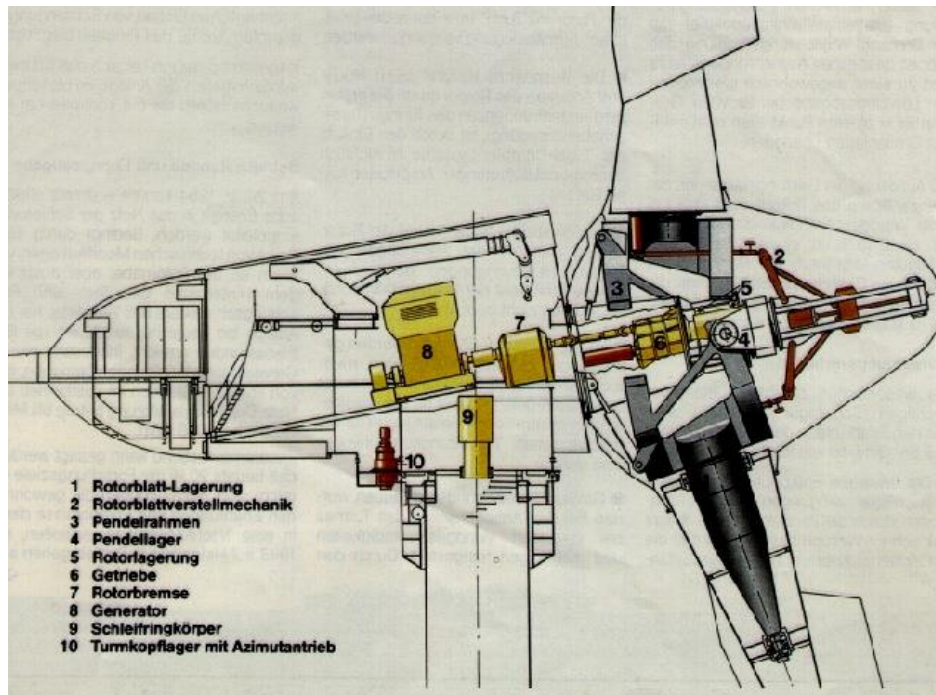
1983 Versuchsbetrieb

Kaiser-Wilhelm-Koog

1987 Abbau nach techn. Problemen

Prognose: 12GWh/a bei 9.3m/s

Kosten: 100.000.000 DM



Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie1.html>



# Growian II

**1990**

Die Probleme an der GROWIAN-Anlage führten zu einem kleineren Gerät, genannt GROWIAN II oder WKA-60.

Hersteller: M.A.N.

Eine Anlage wurde auf der Insel Helgoland errichtet.

1.2 MW - 60m Rotordurchmesser  
Nabenhöhe 50m

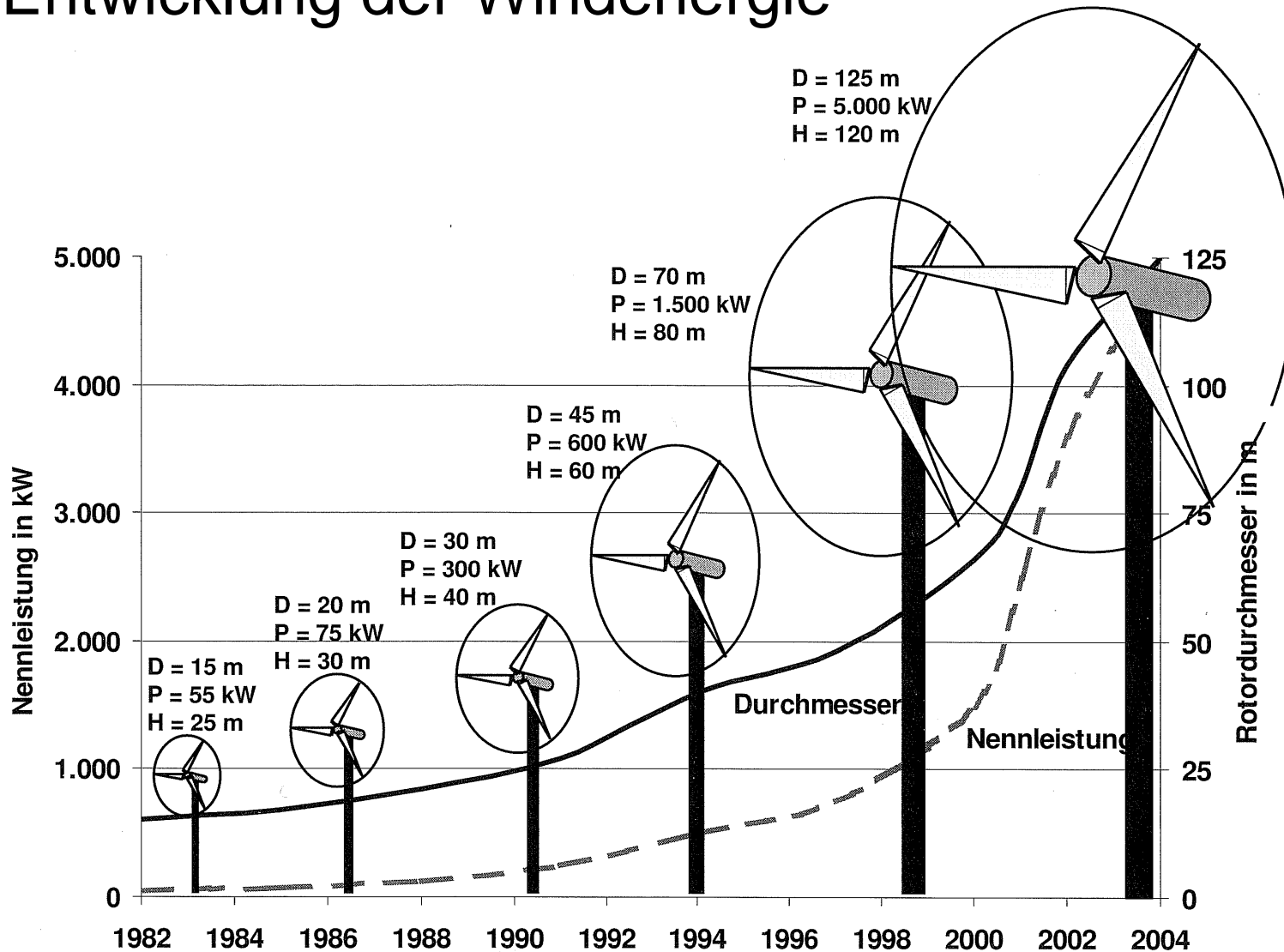
Von dieser Anlage wurden nur 4 Stück gebaut, nachdem es mit den CFK-Rotorblättern große Probleme mit Blitzschlag gab und die Versicherung den dritten Rotorblatt-Schaden nicht mehr bezahlte



WKA-60 Helgoland  
genannt auch GROWIAN II oder  
GROWIAN 60, 1,2MW, 60 m Ø,  
Nabenhöhe 50 m, Nenndrehzahl  
23 U/min, Schnelllaufzahl 7,5

Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie1.html>

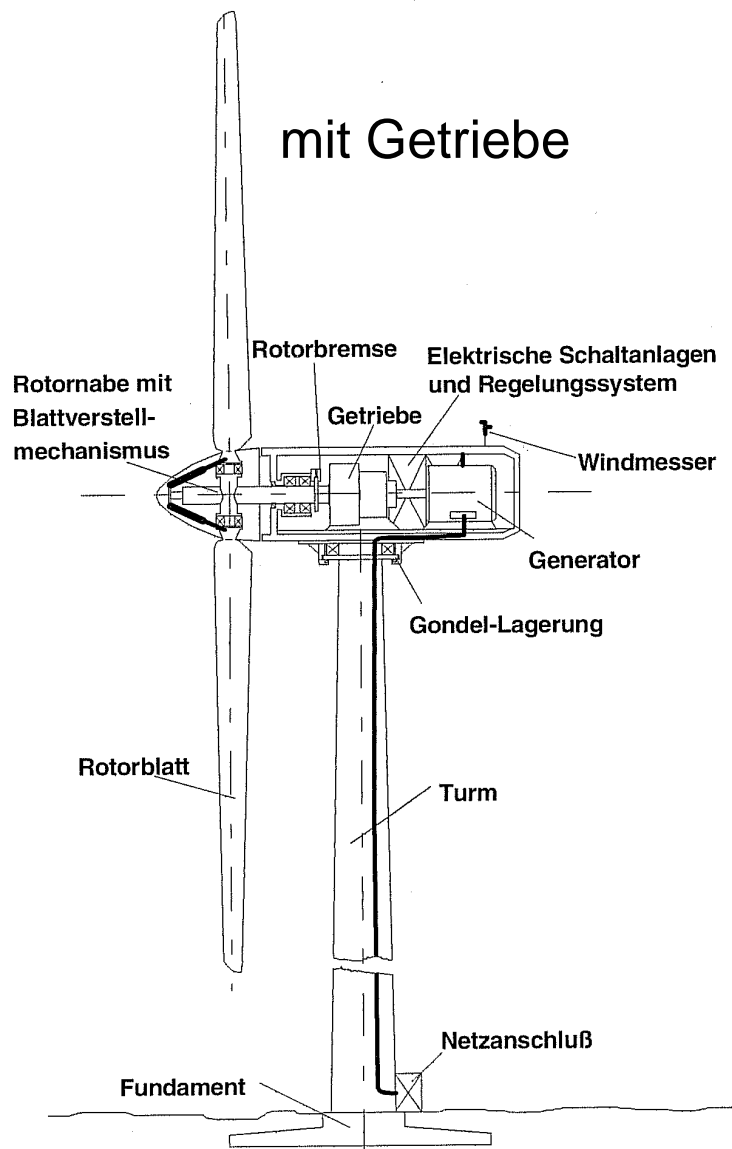
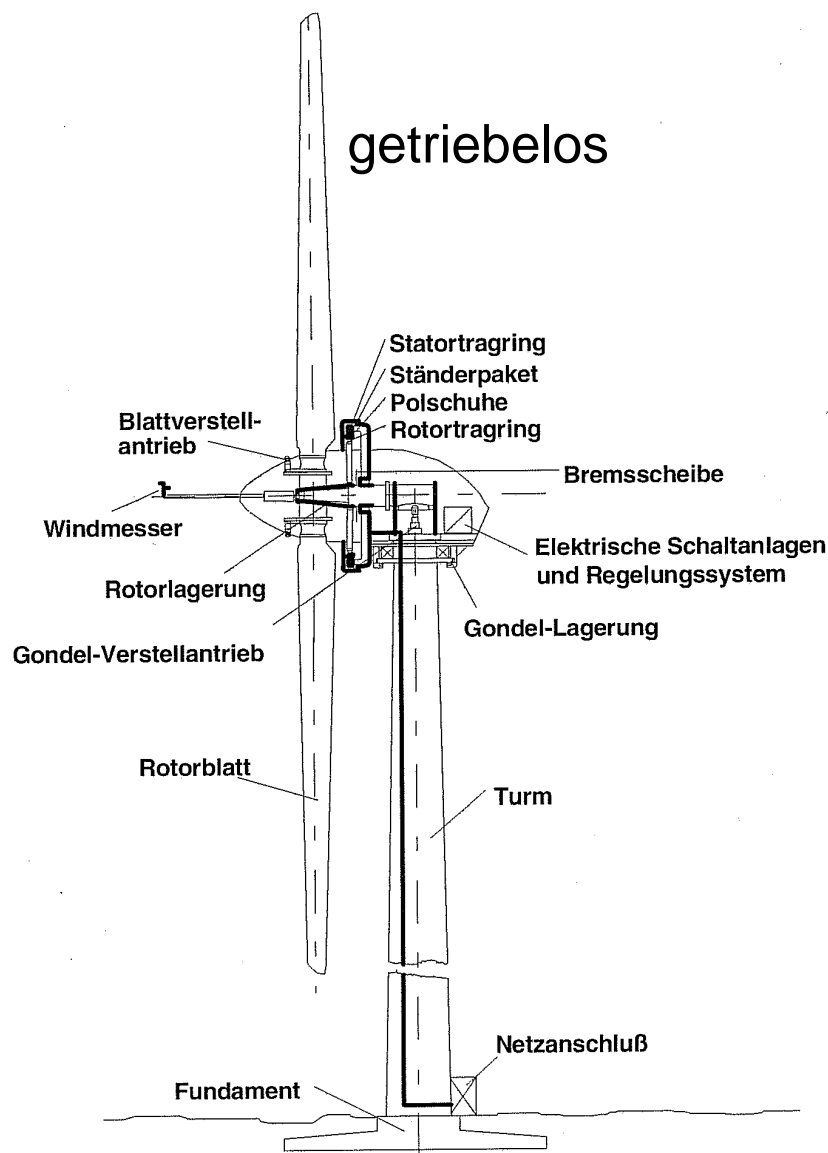
# Entwicklung der Windenergie



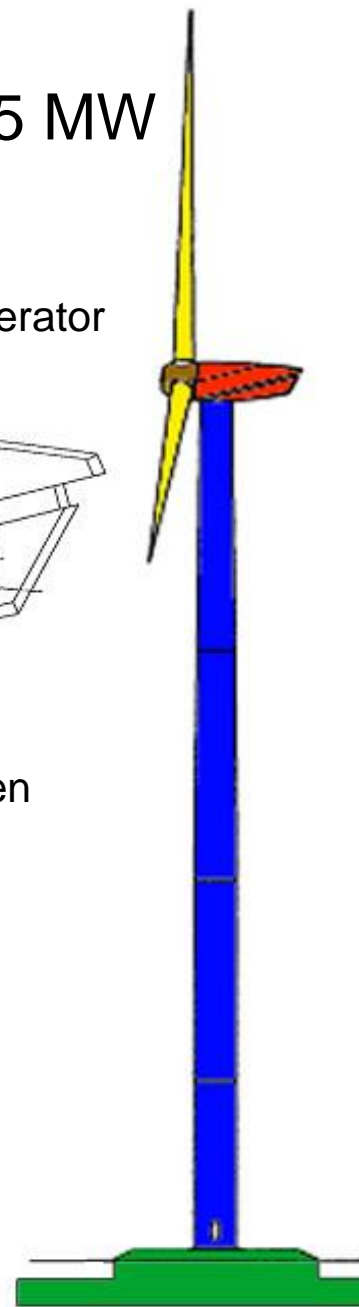
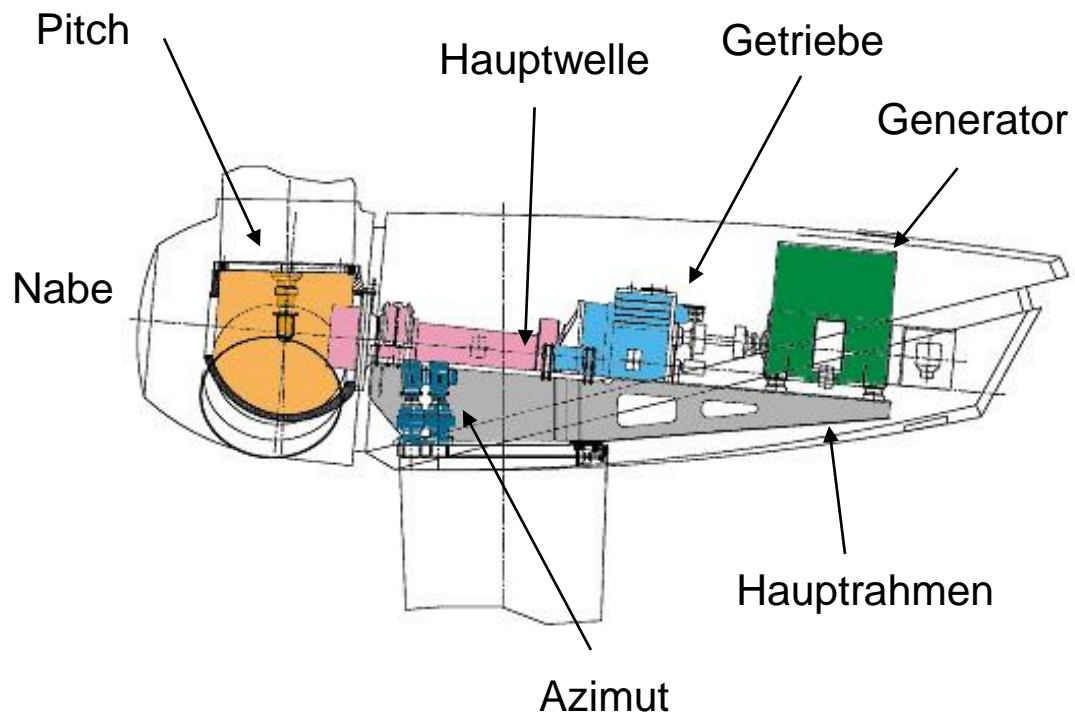
Größe und Leistung von in Serie gebauten Windkraftanlagen



# Prinzipieller Aufbau moderner Windenergieanlagen *Fuhrlander*



# Aufbau Windenergieanlage 1.5 MW



# Aufbau Windenergieanlage 2.5 MW

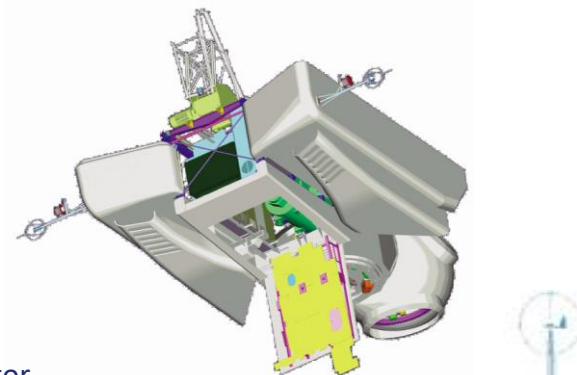
**FL 2500**

**Output:** 2500 kW

**Tubular Tower:** 65 / 85 / 100

**Lattice Tower:** 117 / 141 / 160 m

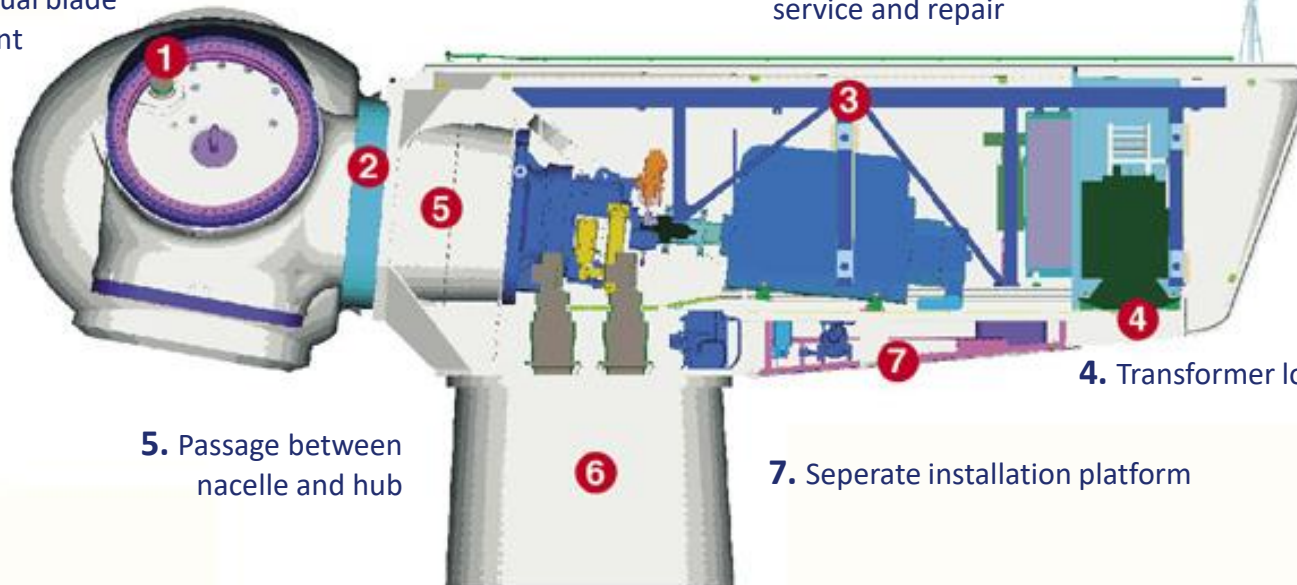
**Rotor:** 80 / 90 / 100 m



**1.** Individual blade adjustment

**2.** Large roller bearing transfers rotor loads to the machine support

**3.** Integrated crane system for easier service and repair



**8.** Fire extinguishing system

**4.** Transformer located in the nacelle

**5.** Passage between nacelle and hub

**7.** Separate installation platform

**6.** Tubular tower / lattice tower

# Einige technische Daten 2.5 MW – 90m Rotor

Drehzahlbereich	10.4 bis 18.1 min <sup>-1</sup>
Neigungswinkel	5°
Max. pitch	12°/s
Gesamtmasse Rotor / Einzelblatt	ca. 52 t / 10.2 to
Getriebe – (2 Planeten / 1 Stirn)	21.5 to / 430 l Öl
Generator (asynchron, 6 pol.)	690V, 750-1300/min, 10t
Umrichter (IGBT 1700V)	Netz:640A,masch.1280A
Transformator	690V → 20kV / 34kV
Turm R85 / R100 / G141 / G160	200t / 290t / 295t / 350t
Fundament 15m / 0.5m-3m	60to Stahl / 400m <sup>3</sup> Beton

# Aufstieg ins Maschinenhaus

Per Leiter oder im Aufzug



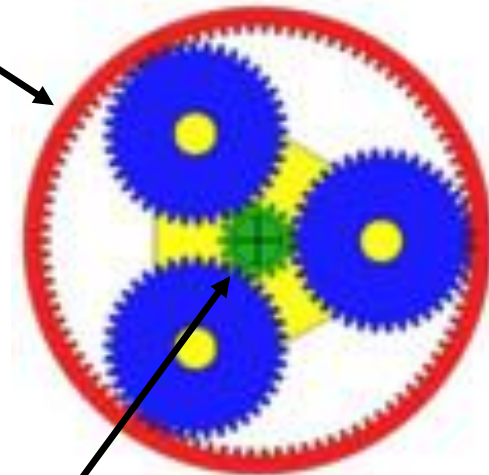
## Exkurs: Getriebearten / Getriebeaufbau

### a) Stirnradstufe



Max. 1:5  
 Mehrstufig möglich  
 bis 500kW

### b) Planetenstufe



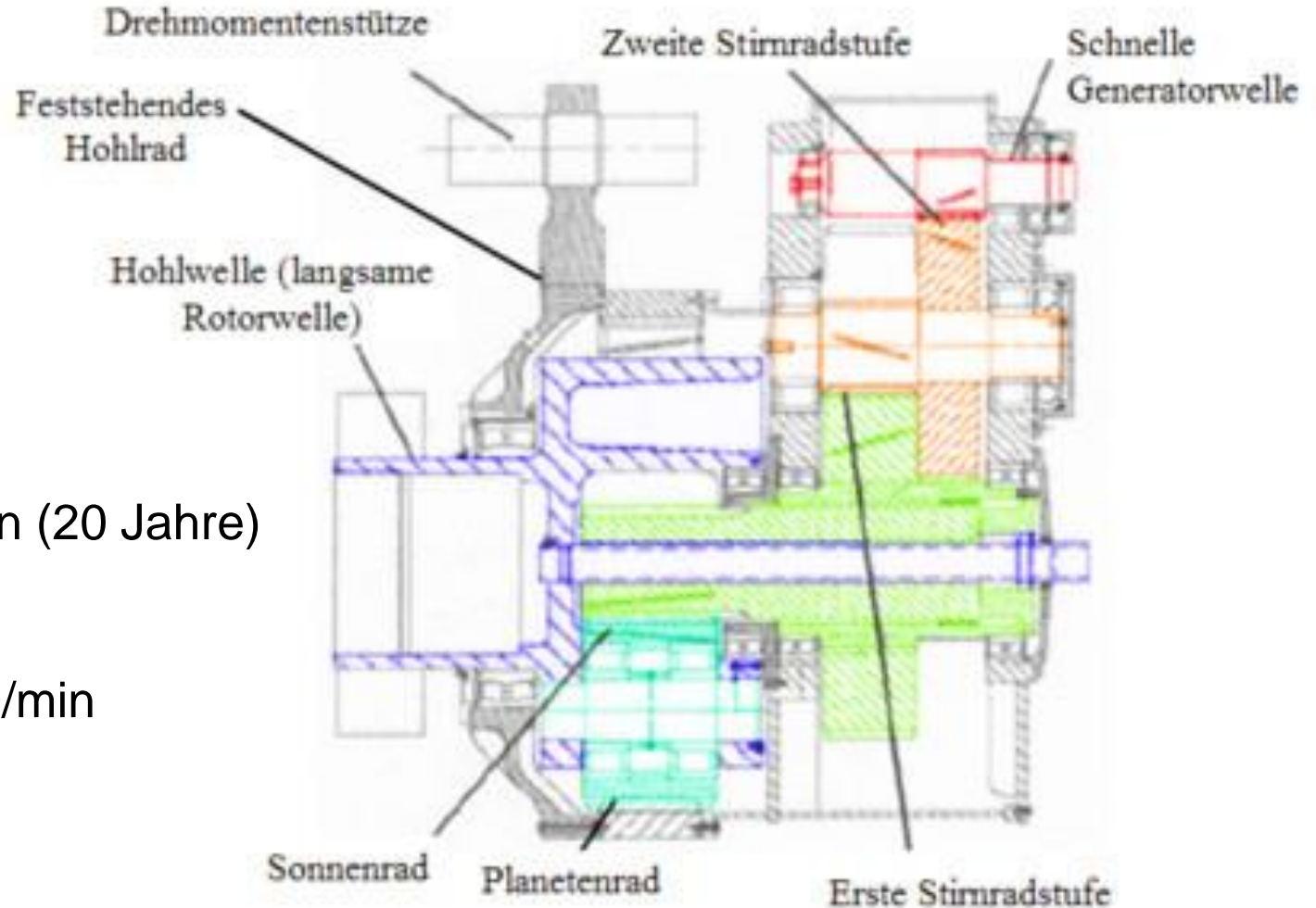
Hohlrad (rot)  
 Planetenräder (blau)  
 Sonne (grün)  
 Wirkungsgrad >99% pro  
 Stufe  
 Leiser  
 Kleinere Abmessungen

Langsame  
 Rotorwelle

schnelle  
 Generator  
 welle

# Dreistufiges Getriebe

1 Planeten + 2 Stirnradstufen



Auslegung:

160.000 Stunden (20 Jahre)

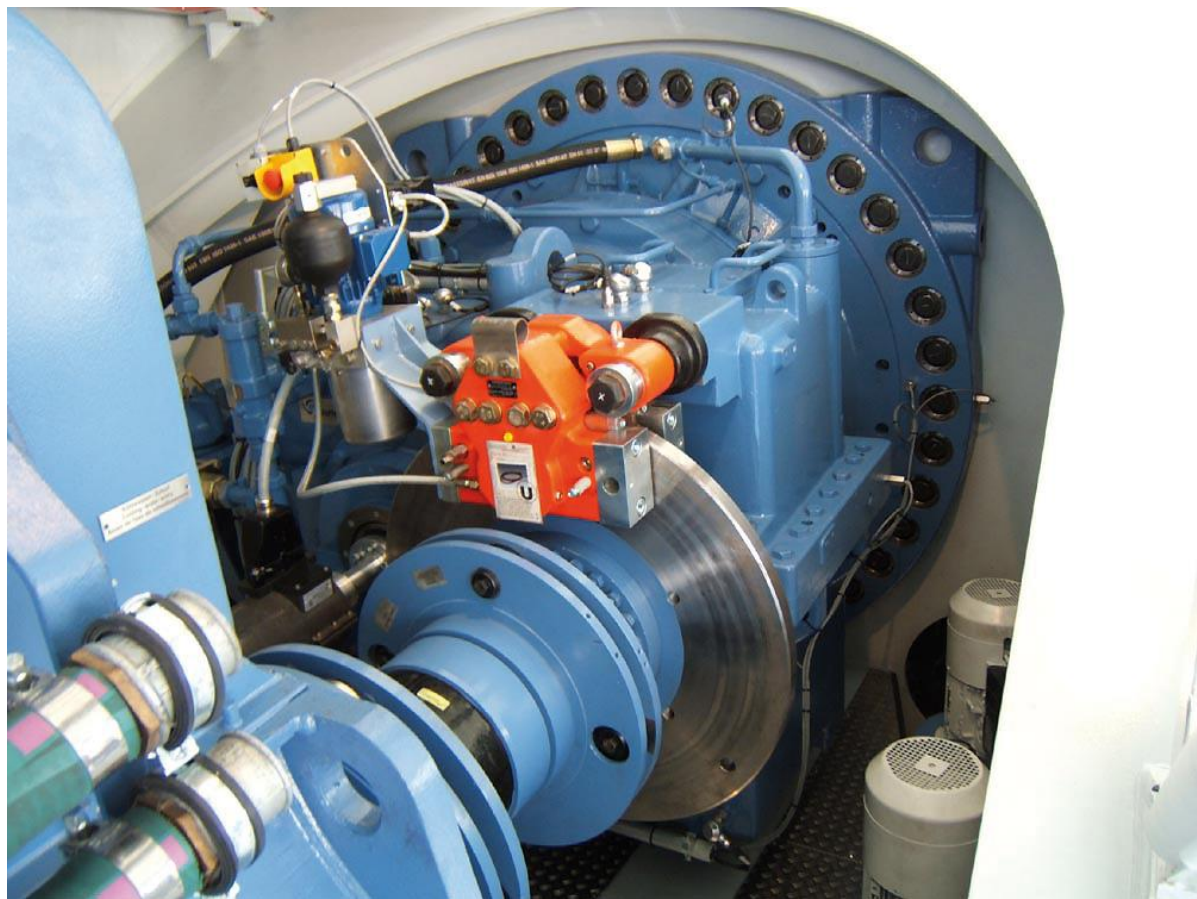
$n_{\text{Rotor}} = 15/\text{min}$

$n_{\text{Generator}} = 1500/\text{min}$

Masse: 22t

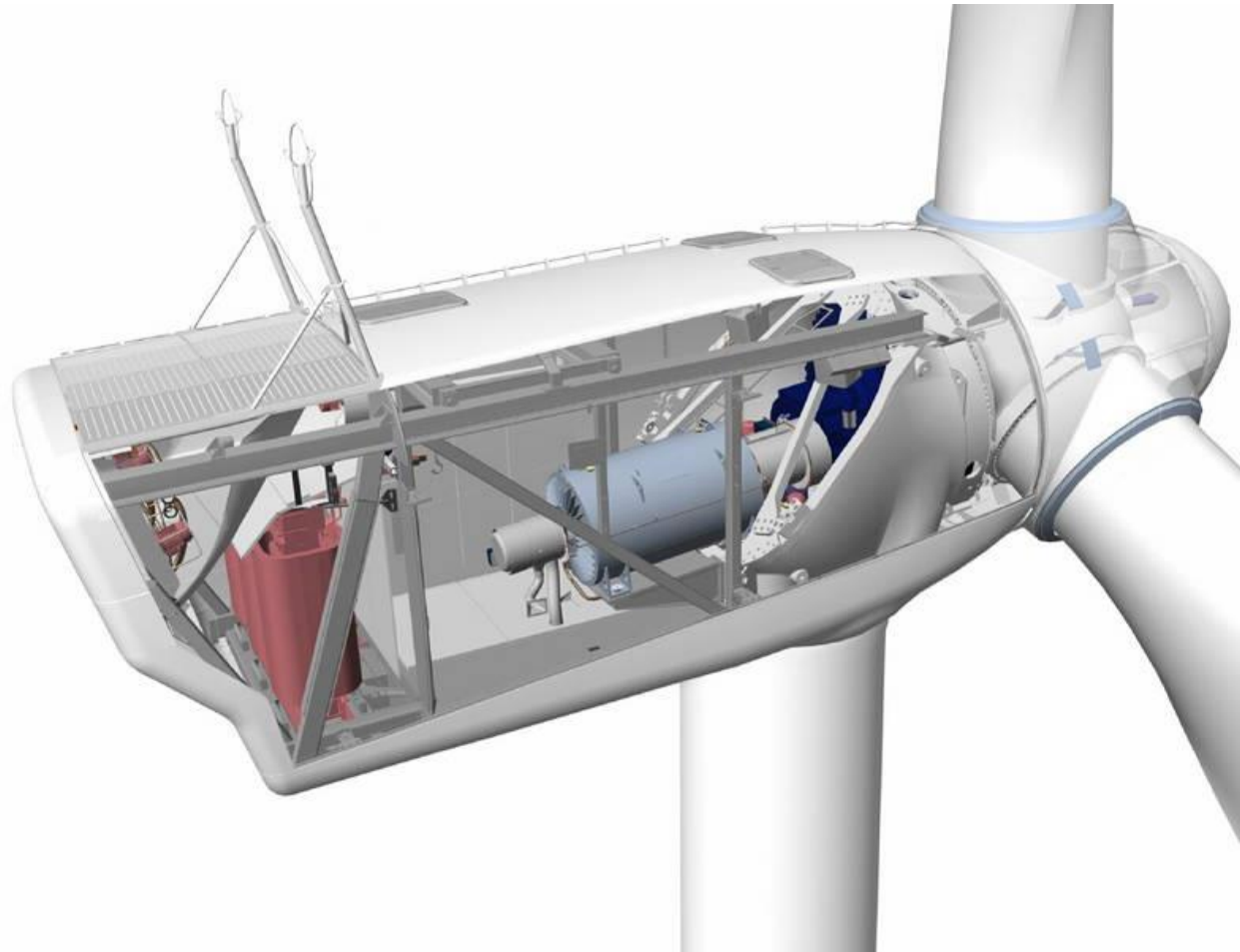
Öl: 430 l

# Getriebe – 2.5 MW





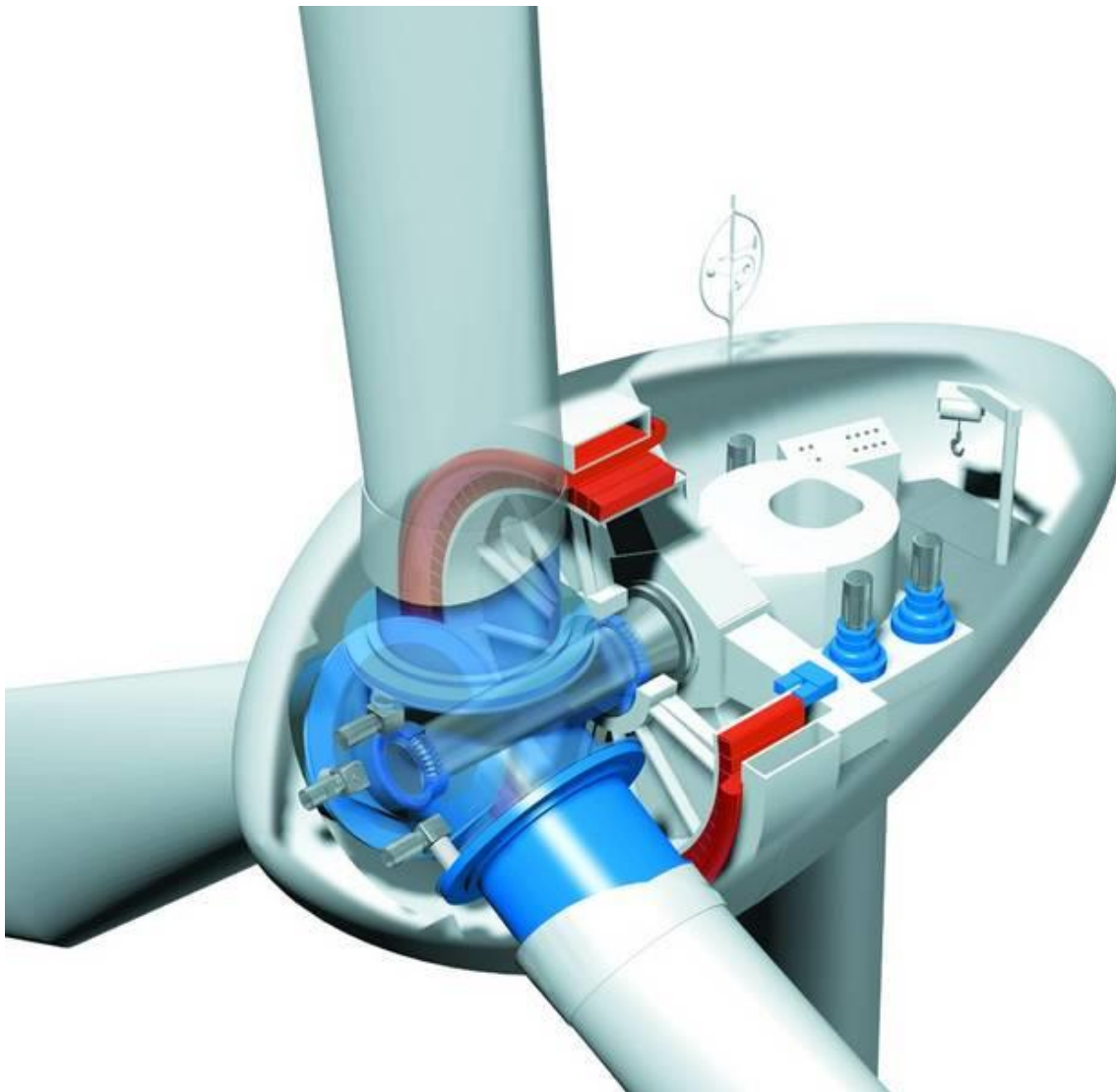
# Standard-Aufbau – Multi-MW Anlage



Typische  
Vertreter:

- Vestas
- Gamesa
- GE
- Suzlon  
(Repower)
- Nordex
- Fuhrländer

## Getriebeloser Aufbau

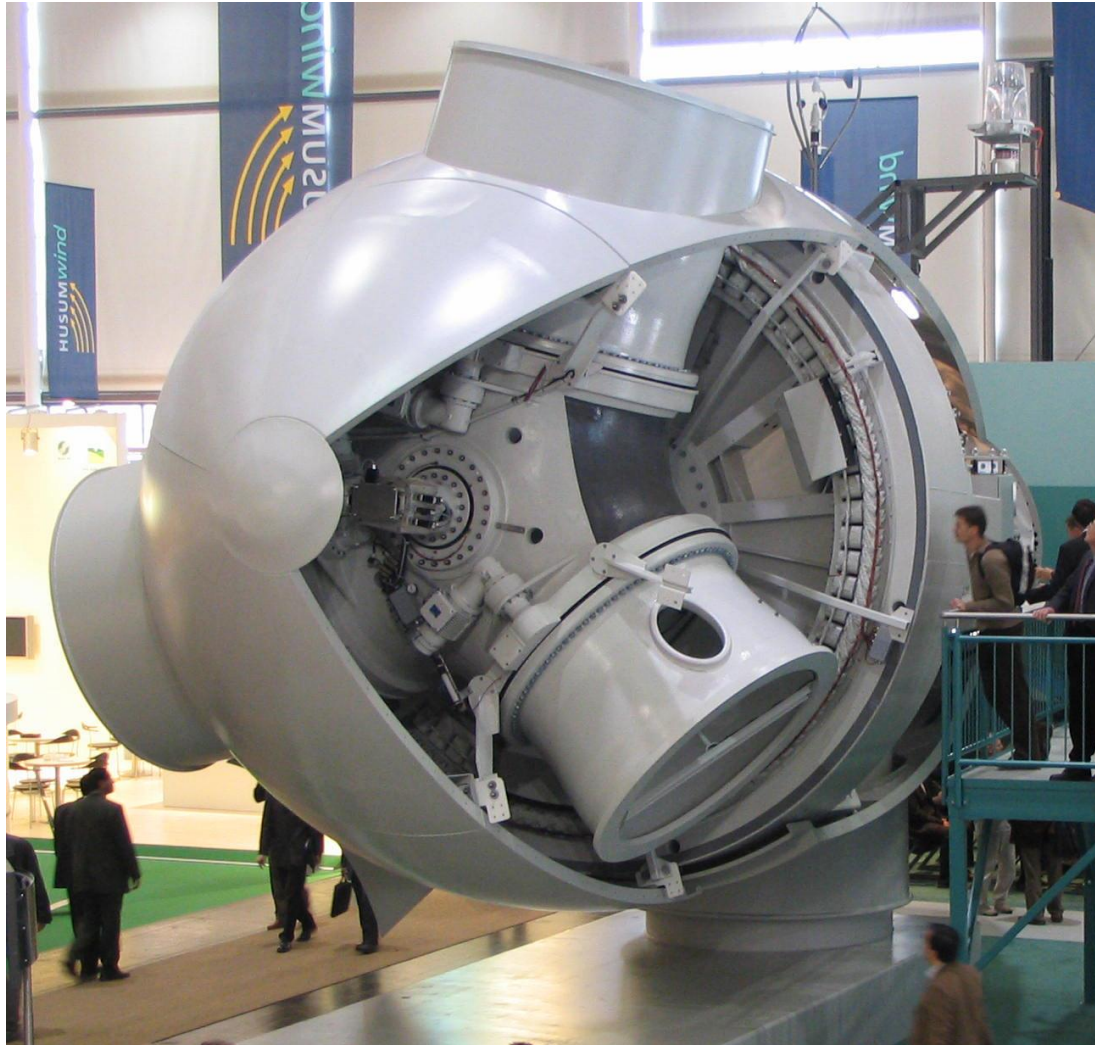


Typische  
Vertreter:

**Enercon**  
(Synchronmaschine)

**Vensys**  
(Goldwind)  
(Permanentmagnete)

# Enercon E82 (2MW)



Quelle: Enercon

# Mögliche Klassifizierung

## Auftriebsprinzip horizontale Achse

- Schnellläufer
  - Einblattrotor
  - Zweiblattrotor
  - Dreiblattrotor
- Langsamläufer
  - historische Windmühle
  - amerikanische Windmühle
  - gegenläufiger Doppelrotor
- Mehrfachrotor
- Flettner
- Segelrotor
- Schleppturbine

## Auftriebsprinzip vertikale Achse

- Schnellläufer
  - Darrieus
  - H-Rotor
  - Giromill
- Langsamläufer
  - Savoniusläufer mit Auftriebsprinzip

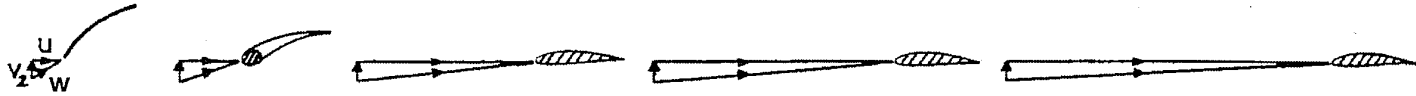
## Konzentrierende Maschinen

- Einfachmantelturbine
- quasi-Mantel
- Tornadotyp
- Windturbine mit Diffusor
- Delta-Konzentrator
- Berwian

## Widerstands- prinzip

- Savonius
- Schalenkreuz
- umklappende Flächen
- hälftig abgeschirmt

# Mögliche Klassifizierung II



Wind triangles at the blade tip: blade tip speed  $u = 2\pi R$ , windspeed at the rotor plane  $v_2 = 2/3 v_1$ , resulting air stream  $w$ ; cf chapter 5)

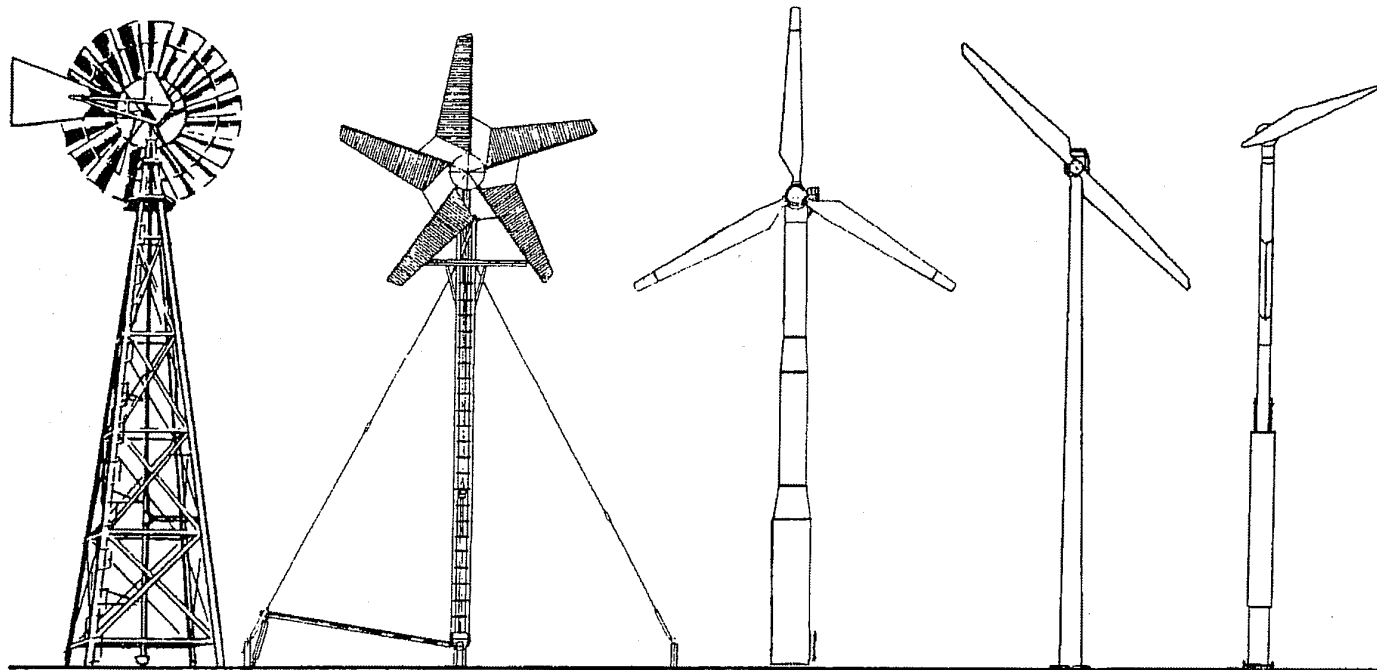
$$\lambda_{\text{Design}} = 1$$

$$\lambda_{\text{Design}} = 2$$

$$\lambda_{\text{Design}} = 6$$

$$\lambda_{\text{Design}} = 8$$

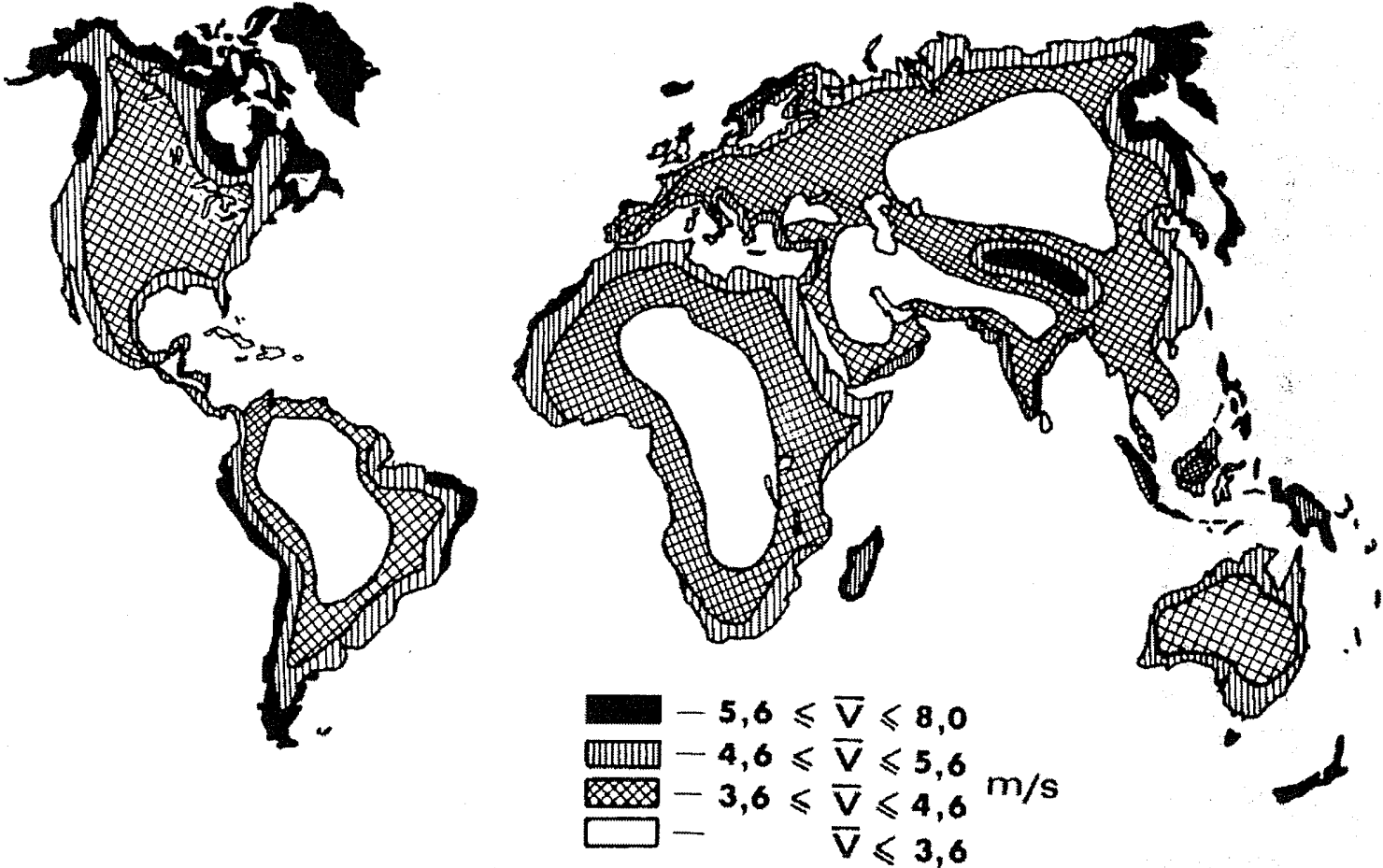
$$\lambda_{\text{Design}} = 11$$



*Design differences in wind turbines with different tip speed ratio (western mill, IPAT sail wind turbine, NORDTANK 150XLR, VENTIS 20-100, FLAIR 8)*

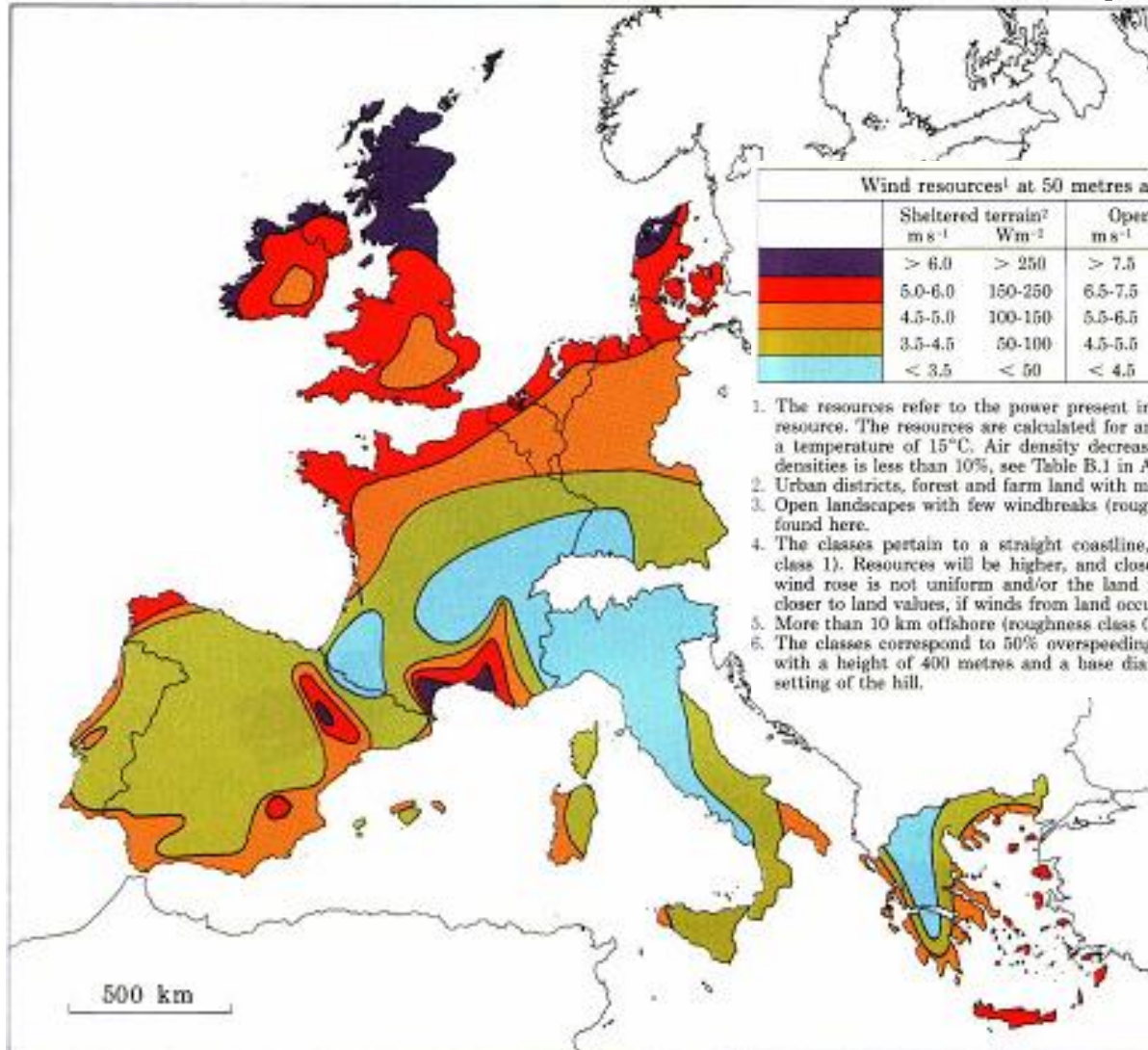
Quelle: Gasch –  
Windpower plants

# Mittlere Windgeschwindigkeit in 30m Höhe – global



Quelle: Gasch –  
 Windpower plants

# Mittlere Windgeschwindigkeit in 50m Höhe – Europa

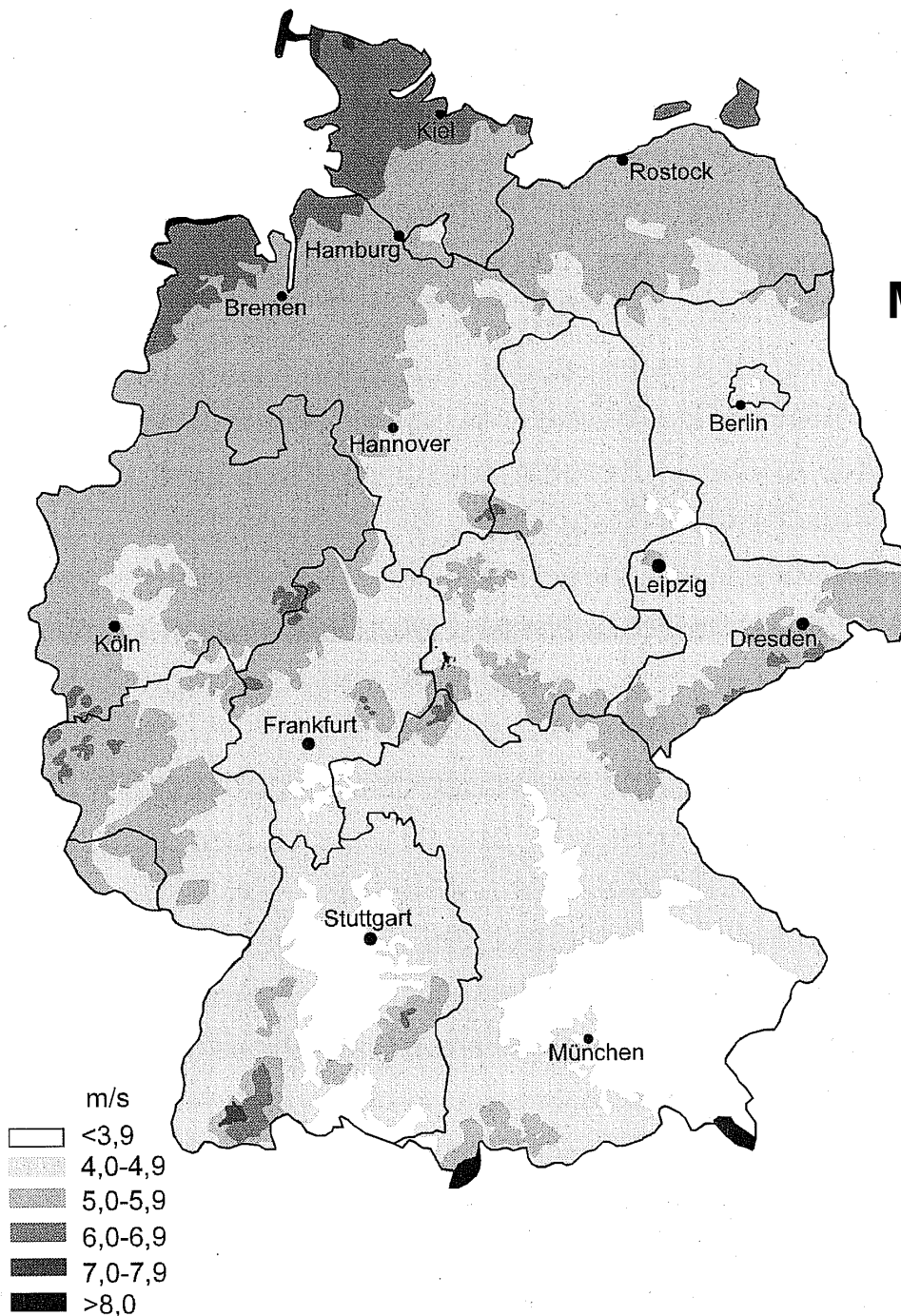


Wind resources <sup>1</sup> at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain <sup>2</sup>		Open plain <sup>3</sup>		At a sea coast <sup>4</sup>		Open sea <sup>6</sup>		Hills and ridges <sup>5</sup>	
$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$
> 6.0	> 250	> 7.5	> 300	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

1. The resources refer to the power present in the wind. A wind turbine can utilize between 20 and 30% of the available resource. The resources are calculated for an air density of  $1.23 \text{ kg m}^{-3}$ , corresponding to standard sea level pressure and a temperature of  $15^\circ\text{C}$ . Air density decreases with height but up to 1000 m a.s.l. the resulting reduction of the power densities is less than 10%, see Table B.1 in Appendix B.
2. Urban districts, forest and farm land with many windbreaks (roughness class 3).
3. Open landscapes with few windbreaks (roughness class 1). In general, the most favourable inland sites on level land are found here.
4. The classes pertain to a straight coastline, a uniform wind rose and a land surface with few windbreaks (roughness class 1). Resources will be higher, and closer to open sea values, if winds from the sea occur more frequently, i.e. the wind rose is not uniform and/or the land protrudes into the sea. Conversely, resources will generally be smaller, and closer to land values, if winds from land occur more frequently.
5. More than 10 km offshore (roughness class 0).
6. The classes correspond to 50% overspeeding and were calculated for a site on the summit of a single axisymmetric hill with a height of 400 metres and a base diameter of 4 km. The overspeeding depends on the height, length and specific setting of the hill.

Quelle: WASP-Catalogue

## Mittlere Windgeschwindigkeit in 50m Höhe – Deutschland



Quelle: Gasch –  
 Windpower plants

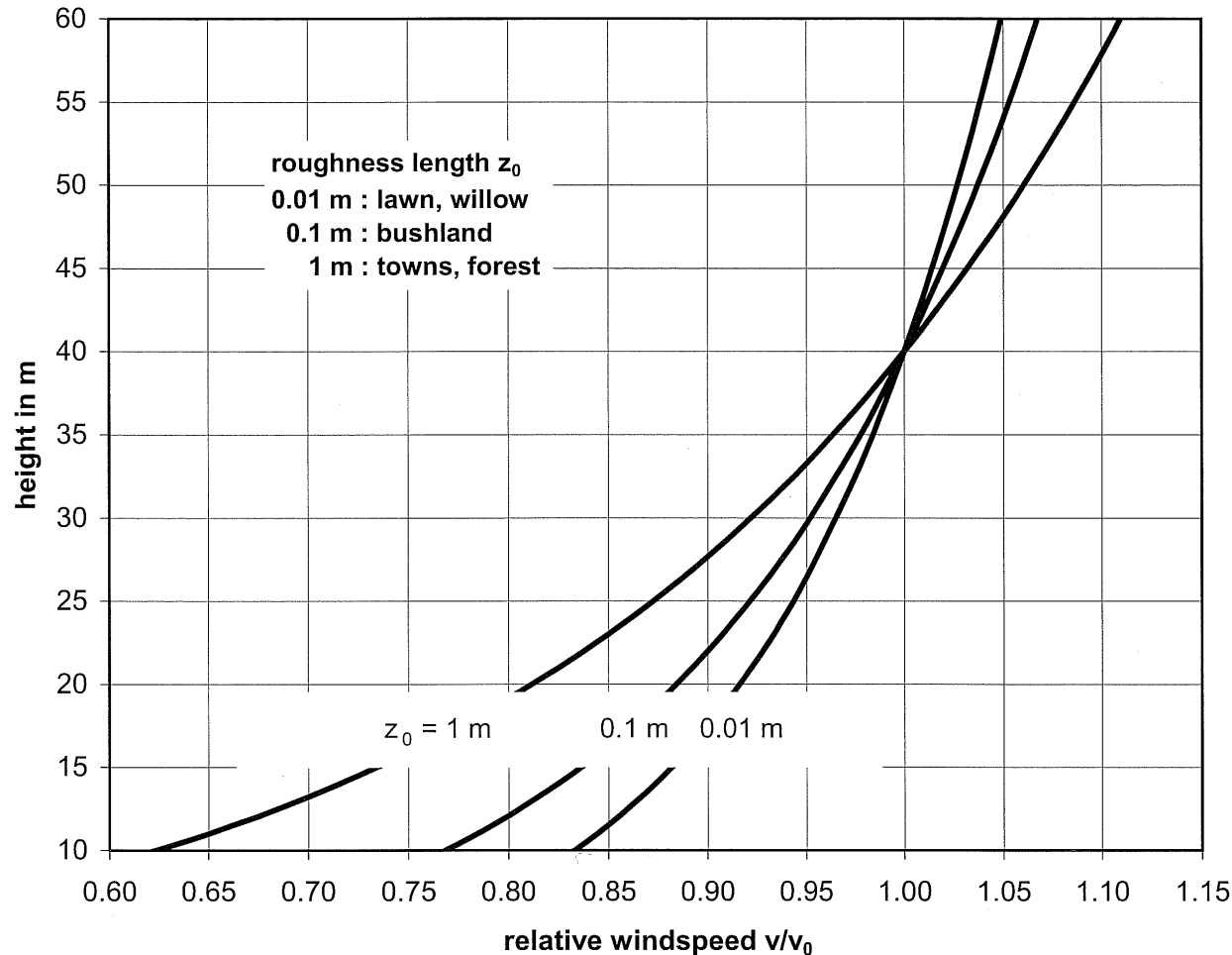
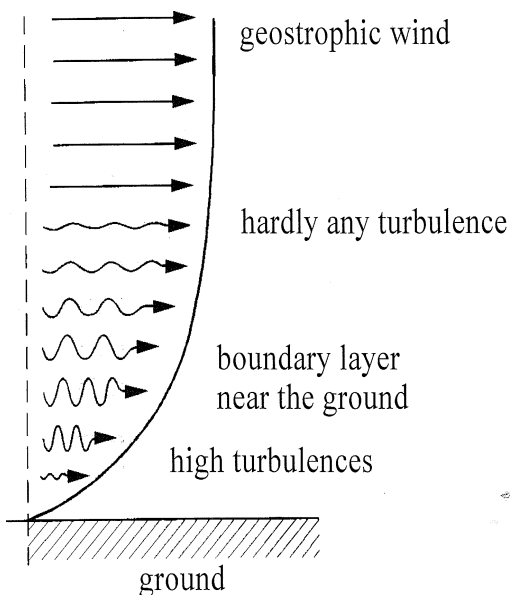


# Windprofil

$$\frac{v(z_1)}{v(z_2)} = \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^\alpha$$

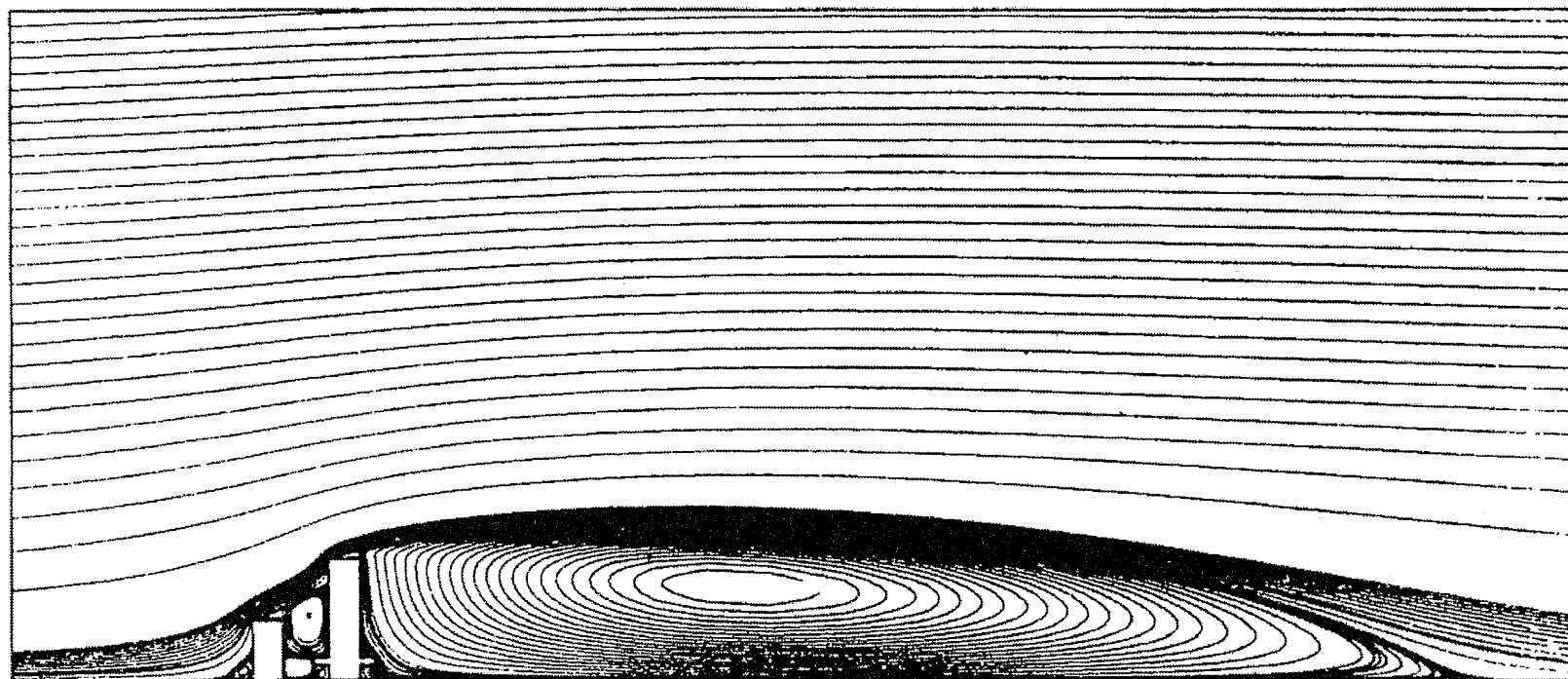
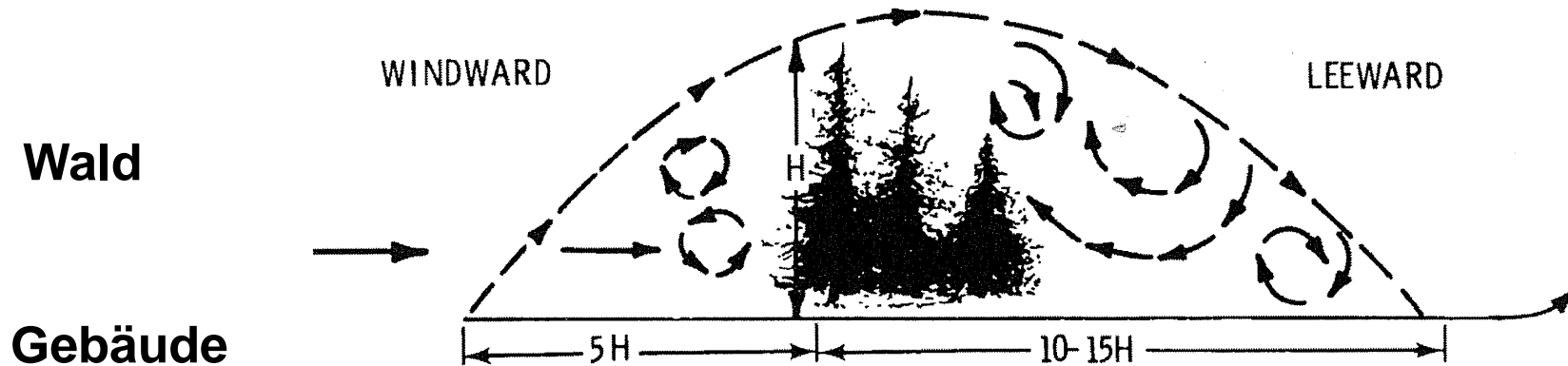
Höhenprofil –

Hellmannkoeffizient  $\alpha$   
 $z$ : Höhe über Grund





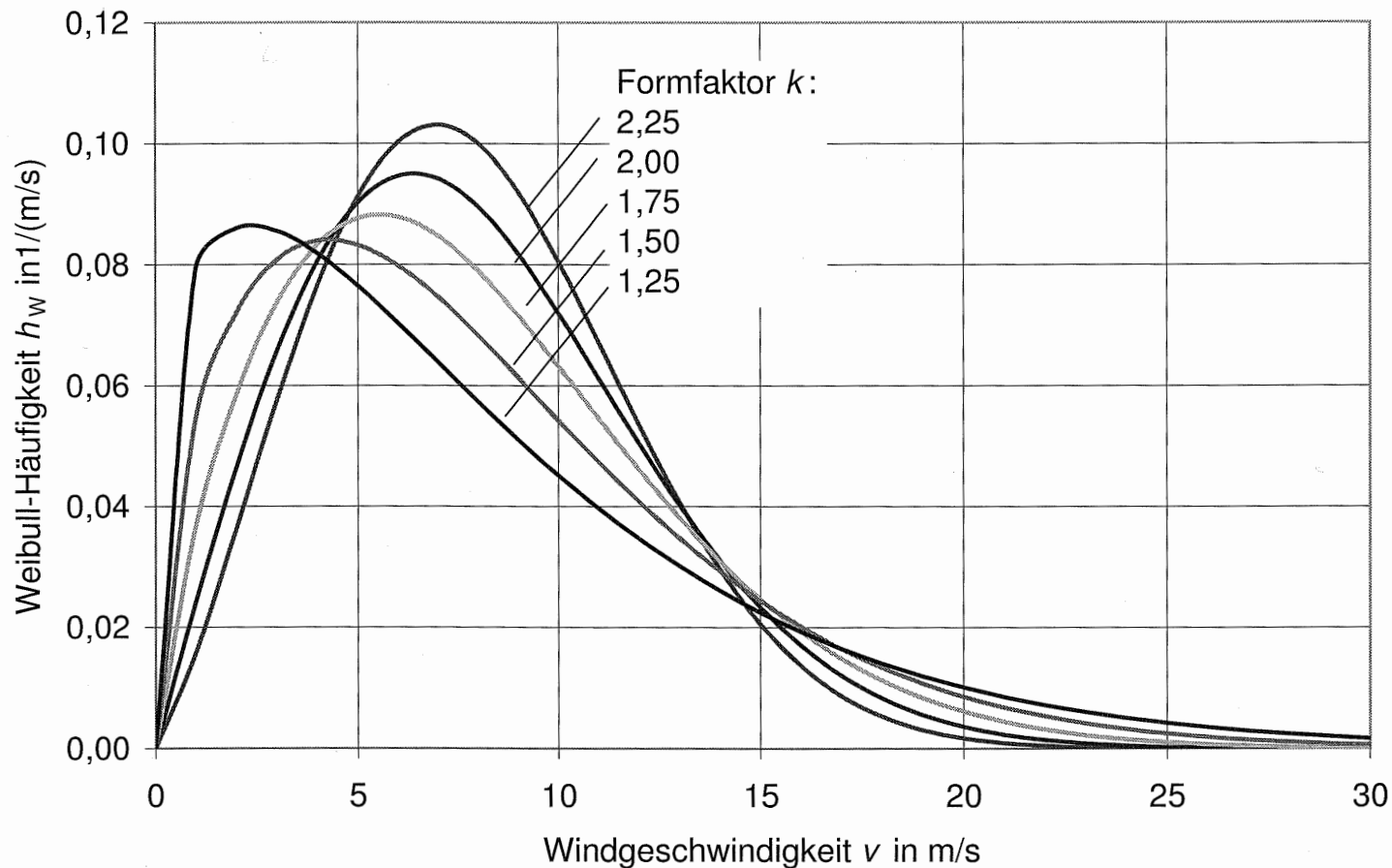
# Turbulenzen



Stream lines at obstacle  $Re=100000$   $\alpha=0.4$

Quelle: Gasch –  
Windpower plants

# Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit



## Weibullverteilung

$$h_W(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right)$$

$k > 2 \rightarrow$  stetigere Winde

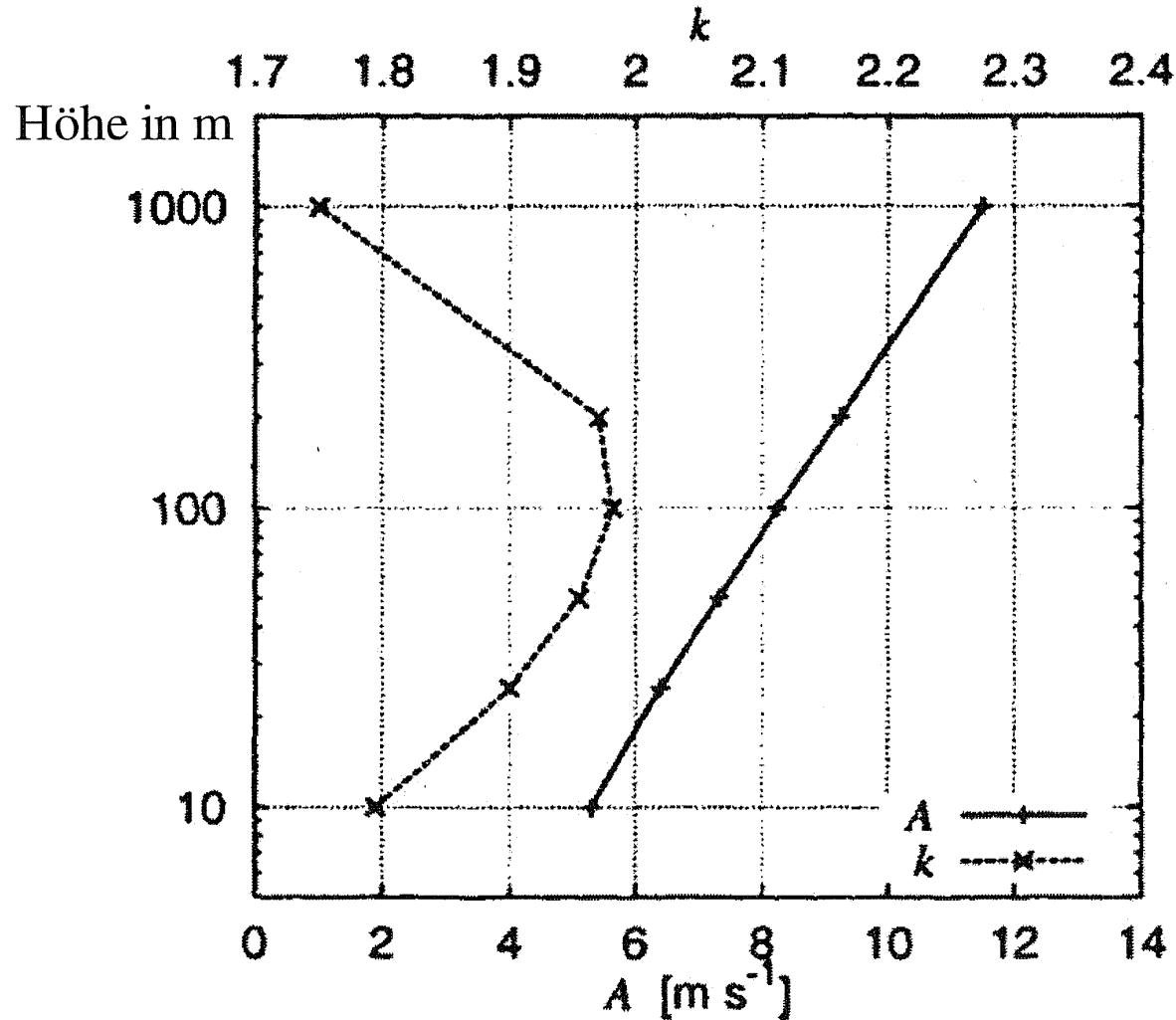
$k < 2 \rightarrow$  fluktuierende Winde

$k = 2 \rightarrow$  Rayleigh

Quelle: Gasch

# Höhenabhängigkeit der A und k- Parameter

Quelle: Gasch

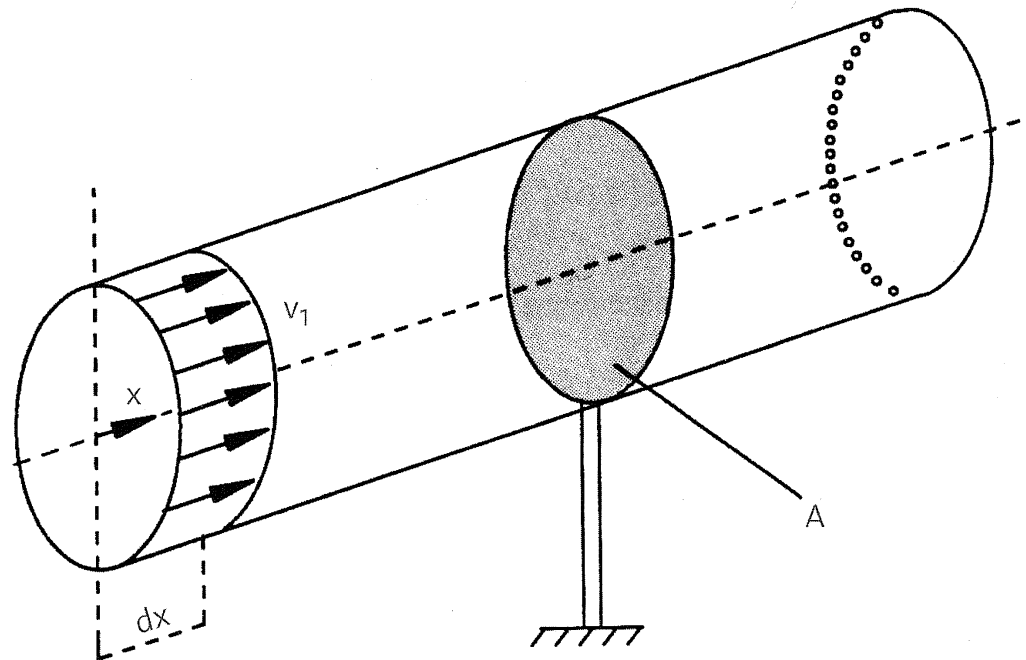


## Betz'sches Gesetz (1926)

Quelle: Gasch

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

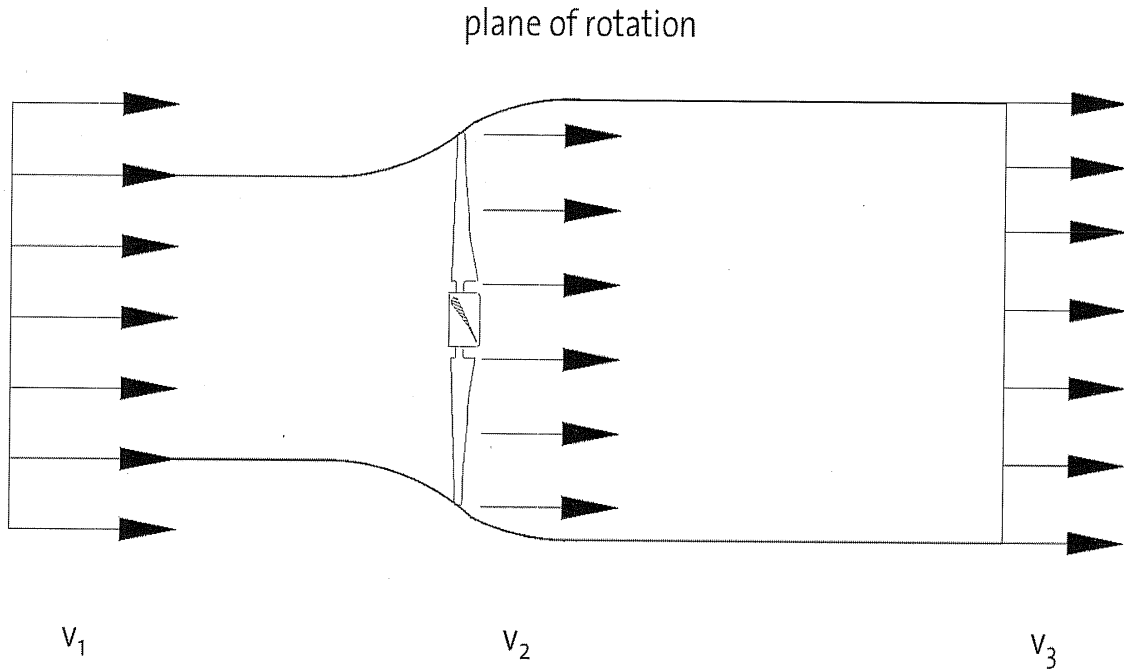
$$m = A \rho dx$$



$$P = \dot{E} = \frac{1}{2} A \rho \frac{dx}{dt} v^2 = \frac{1}{2} A \rho v^3$$

$$P \propto v^3$$

# Betz'sches Gesetz - II



*Divergence of streamlines resulting from a speed reduction of the air flowing through the rotor of a wind turbine.*

$$E_{Ent} = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_3^2)$$

$$\dot{E}_{Ent} = \frac{1}{2} \dot{m}(v_1^2 - v_3^2)$$

Annahme: Froude-Rankinesches Theorem

$$v_2 = (v_1 + v_3) / 2$$

Quelle: Gasch

$$\dot{E}_{Ent} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{v_3}{v_1} \right) \left( 1 - \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right) \right]$$

Windleistung

Leistungsbeiwert  $c_p$

$$c_{P, Betz} = f \left( \frac{v_3}{v_1} \right)$$

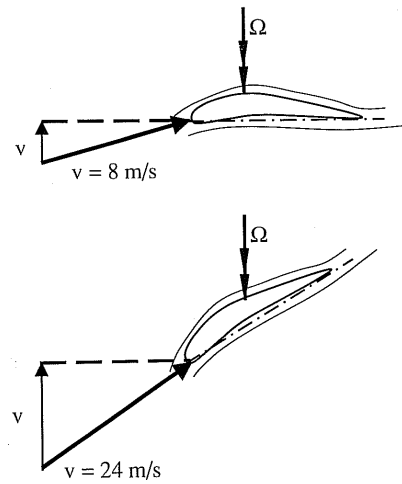
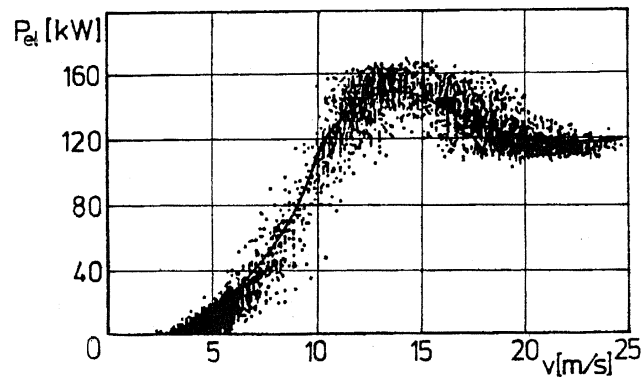
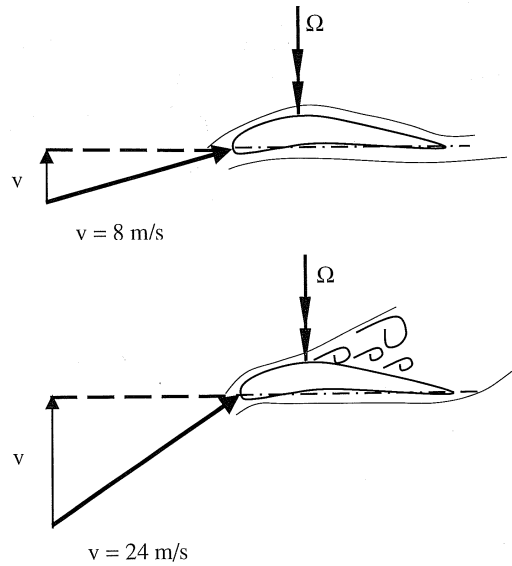
Maximum: Klammerausdruck ableiten und nullsetzen

$$c_{P, Betz, \max} = \frac{16}{27} = 0.59$$

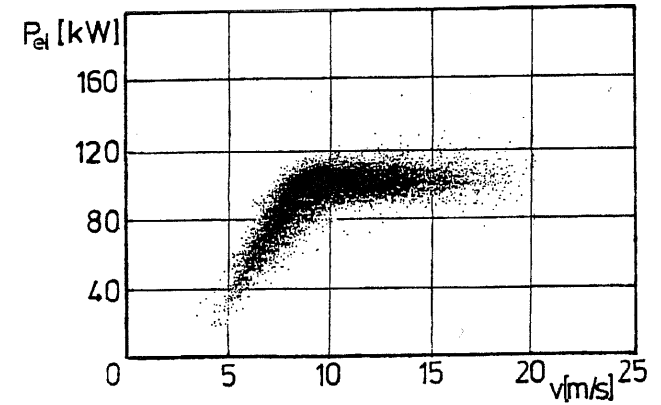
**Ergebnis: ca. 60% der Leistung im Wind ist theoretisch entnehmbar –  
Praktisch erreicht:  $c_p = 0.5$**

# Stall- und Pitch

## Stalleffekt



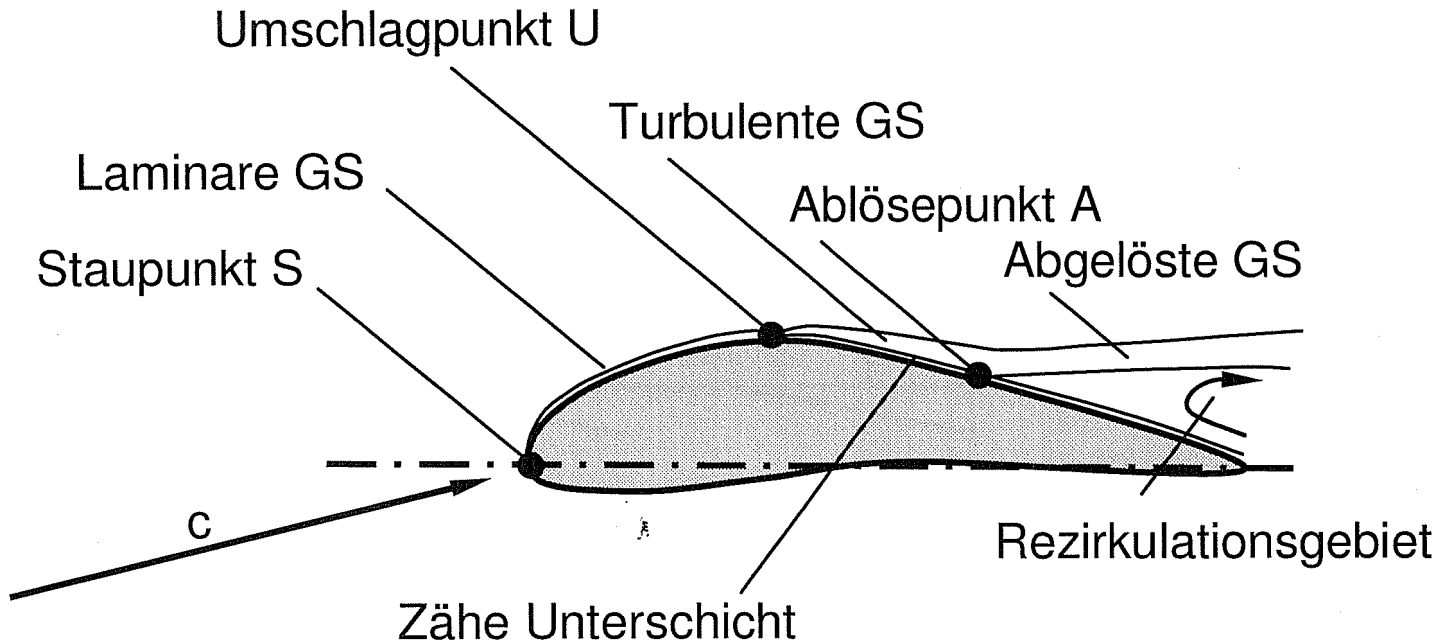
## Pitch



Quelle: Gasch



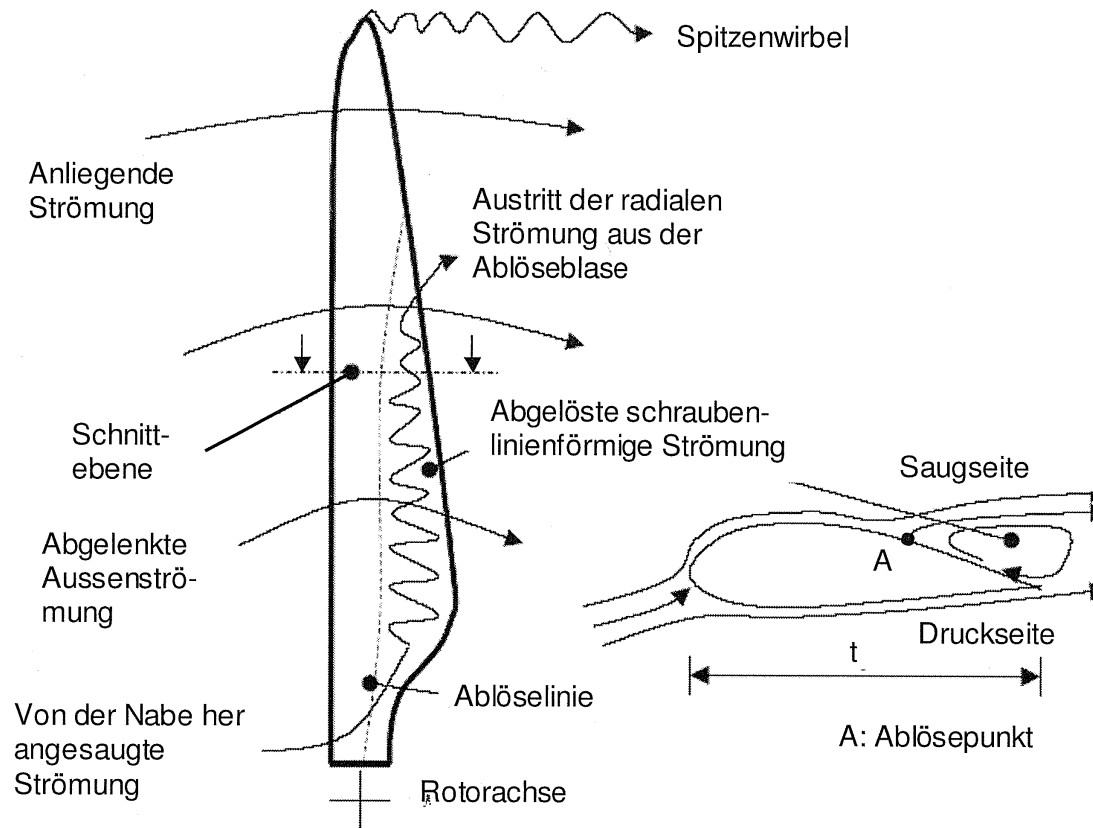
# Grenzschicht und Ablösung



Schema der Entwicklung der Grenzschicht (GS) und Ablösung an einem Flügelprofil

Quelle: Gasch

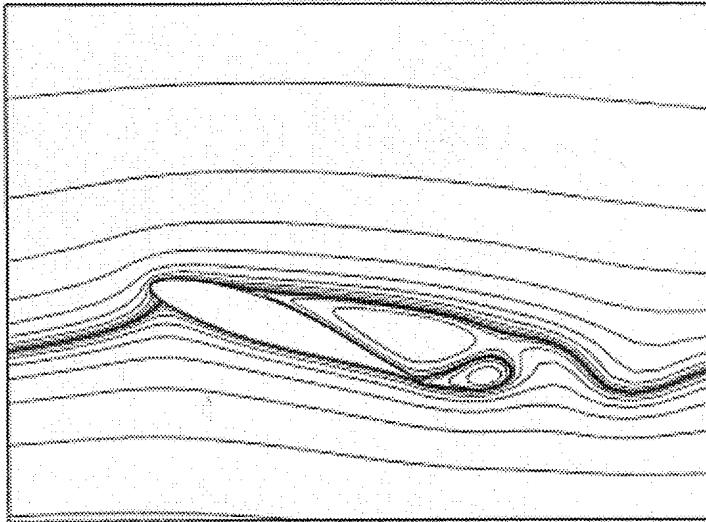
# Strömung im Ablösegebiet



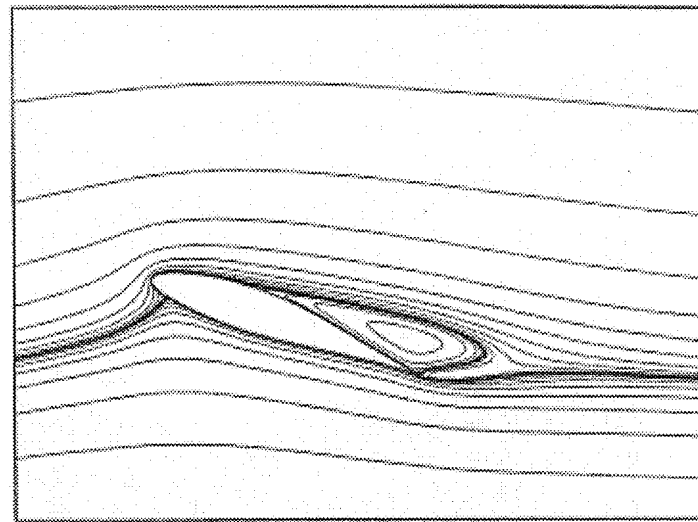
Schema der Strömung im Ablösegebiet auf der Saugseite eines Flügels bei höherer Windgeschwindigkeit,

Quelle: Gasch

# Umströmung - Berechnungen



a) 2D-Berechnung

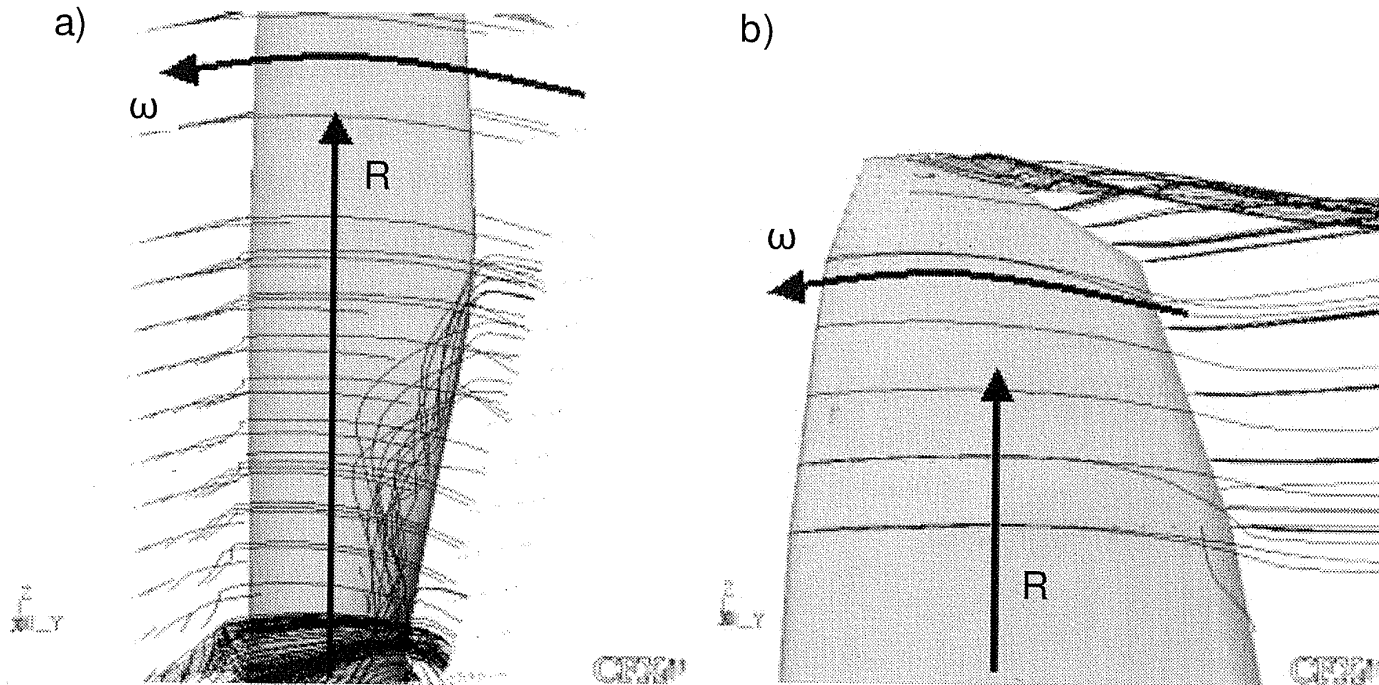


b) Quasi-3D-Berechnung

Stromlinien a) aus 2D-CFD-Berechnung der Umströmung eines NACA 63<sub>2</sub>-415 Tragflügels mit 20° Anstellwinkel,  $Re = 1,5 \cdot 10^6$ , b) Reduktion des Ablösegebiets durch Radialkrafteinfluss der Rotation in Quasi-3D-Berechnung

Quelle: Gasch

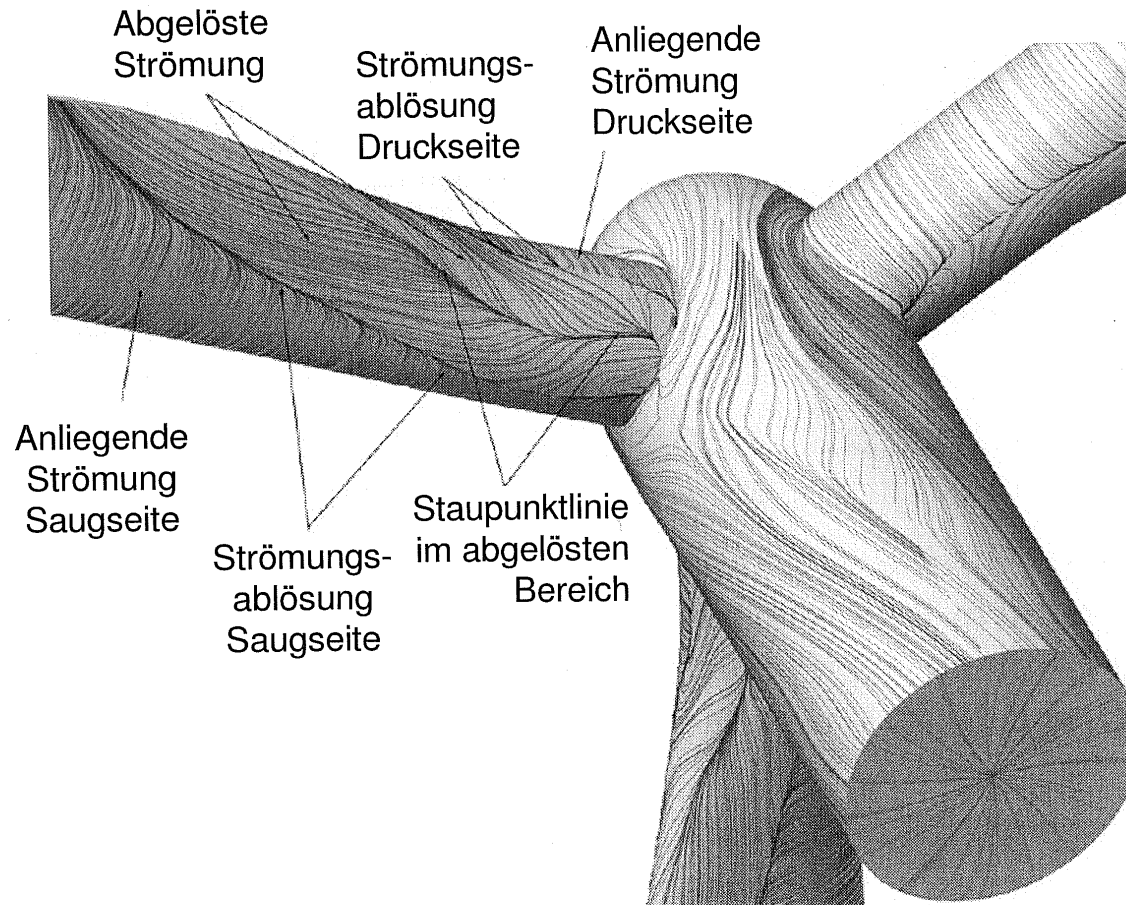
# Stromlinien- Blattwurzel und Blattspitze



Stromlinien (a) an der Flügelwurzel und (b) an der Flügelspitze eines 60 m-Rotors

Quelle: Gasch

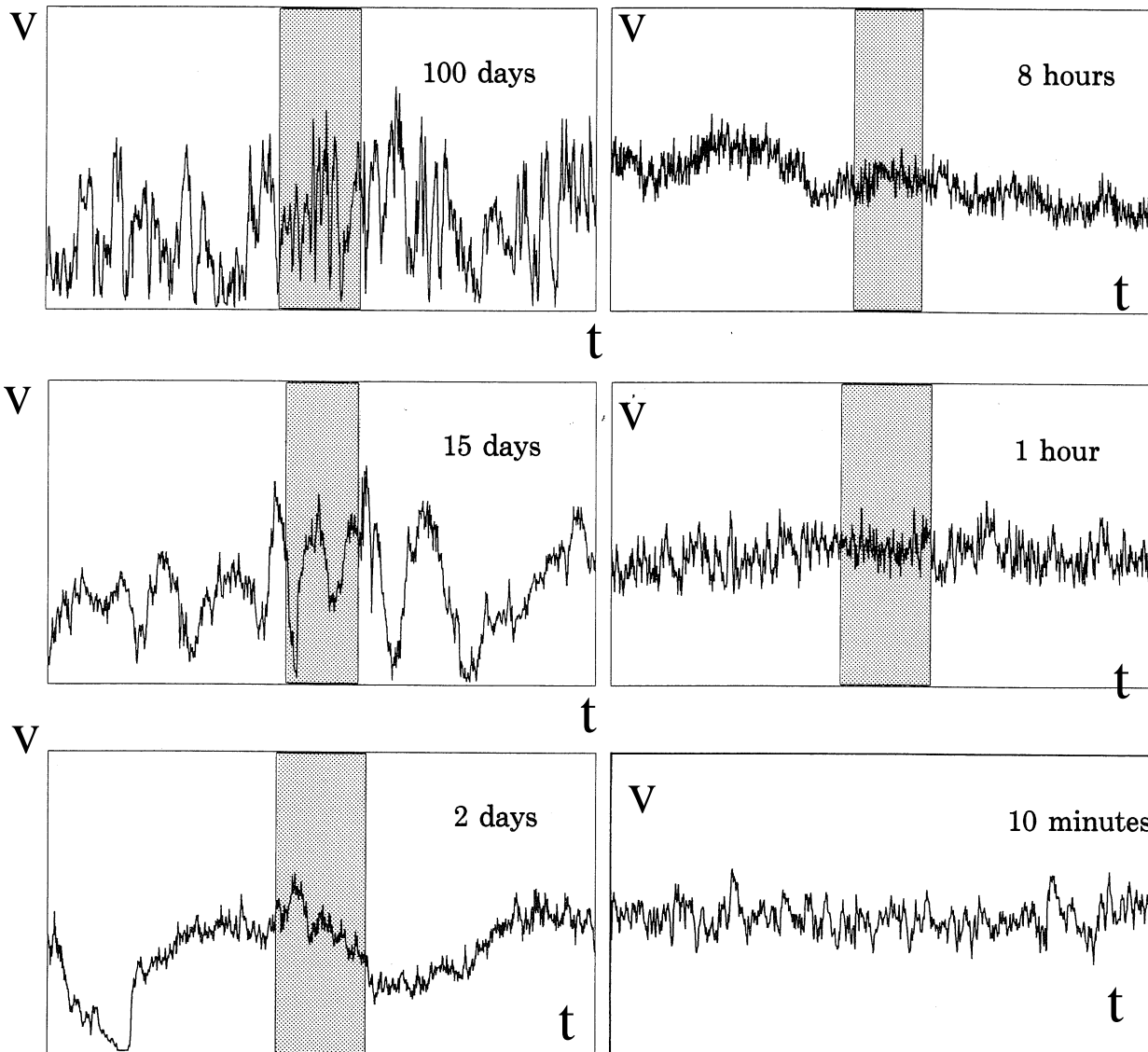
# Wandnahe Stromlinien



Wandnahe Stromlinien auf Rotor und Gondel einer Windkraftanlage aus CFD-Simulation für Windgeschwindigkeit  $v_1 = 10,8$  m/s und  $\lambda = 7$ ,

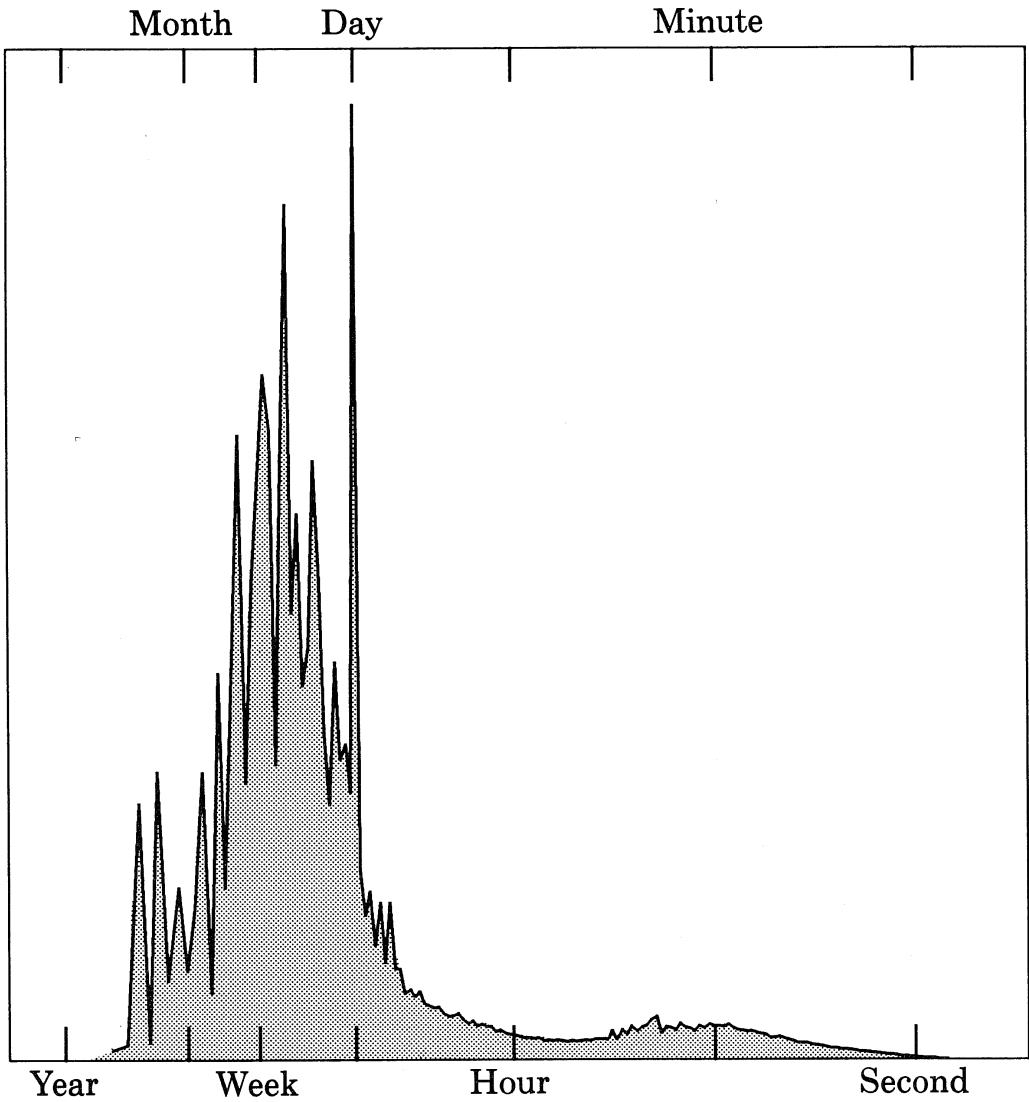
Quelle: Gasch

# Typische Fluktuation der Windgeschwindigkeit



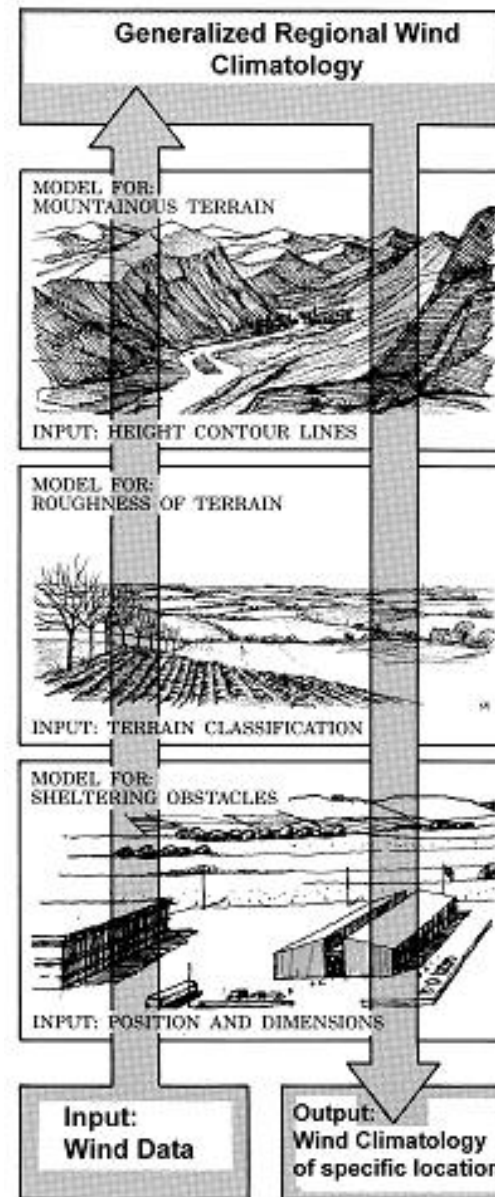
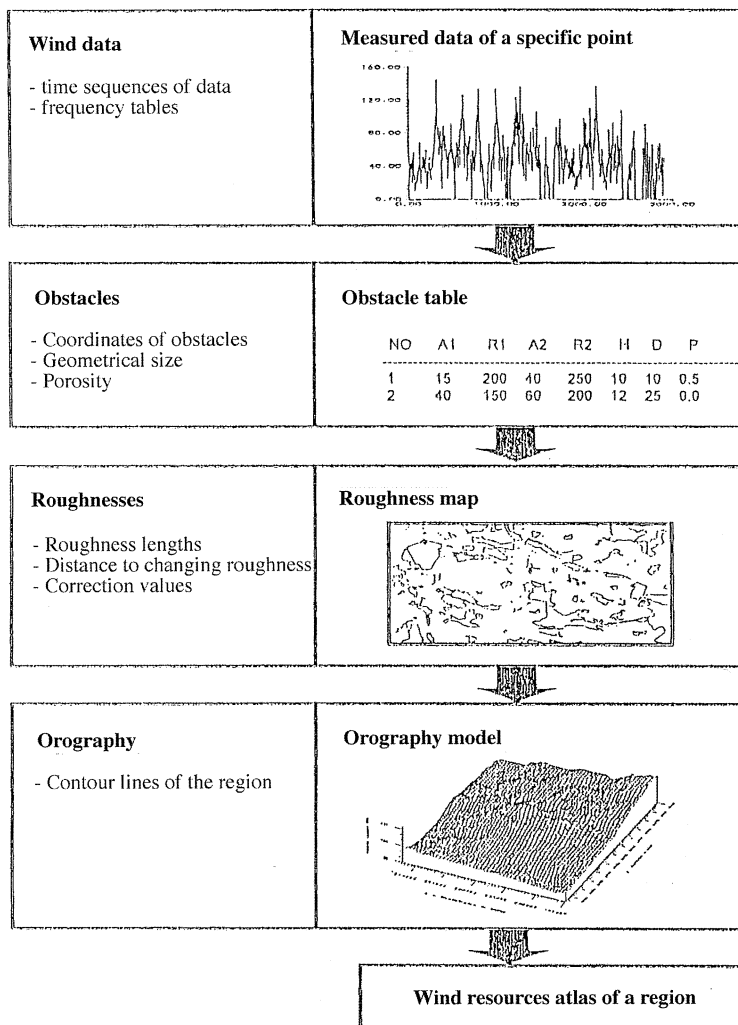
Quelle: Gasch

# Leistungsspektrum Wind



Quelle: Gasch

# Vorhersage von Erträgen – Struktur



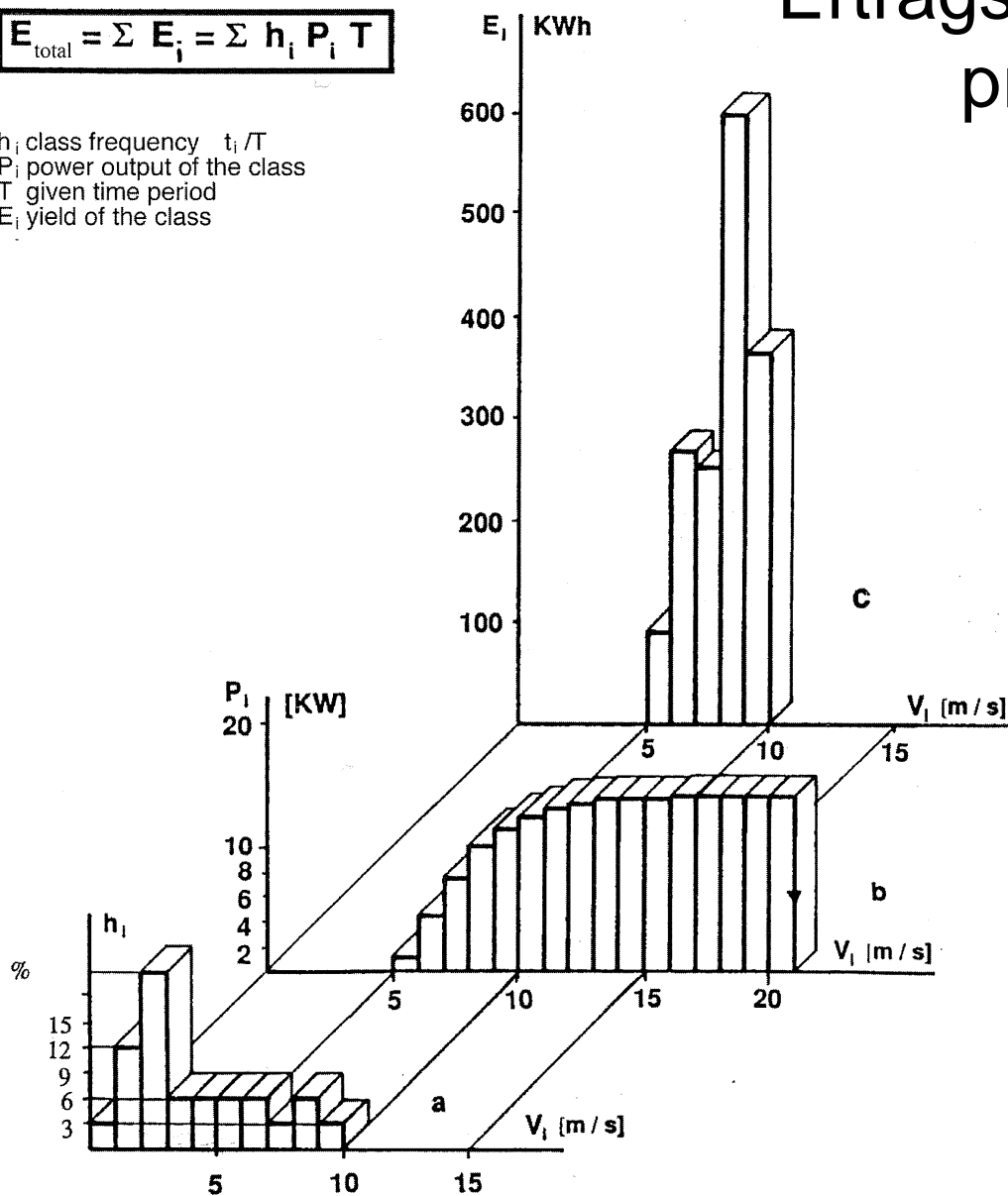




# Ertragsberechnung - prinzipiell

$$E_{\text{total}} = \sum E_i = \sum h_i P_i T$$

$h_i$  class frequency  $t_i/T$   
 $P_i$  power output of the class  
 $T$  given time period  
 $E_i$  yield of the class



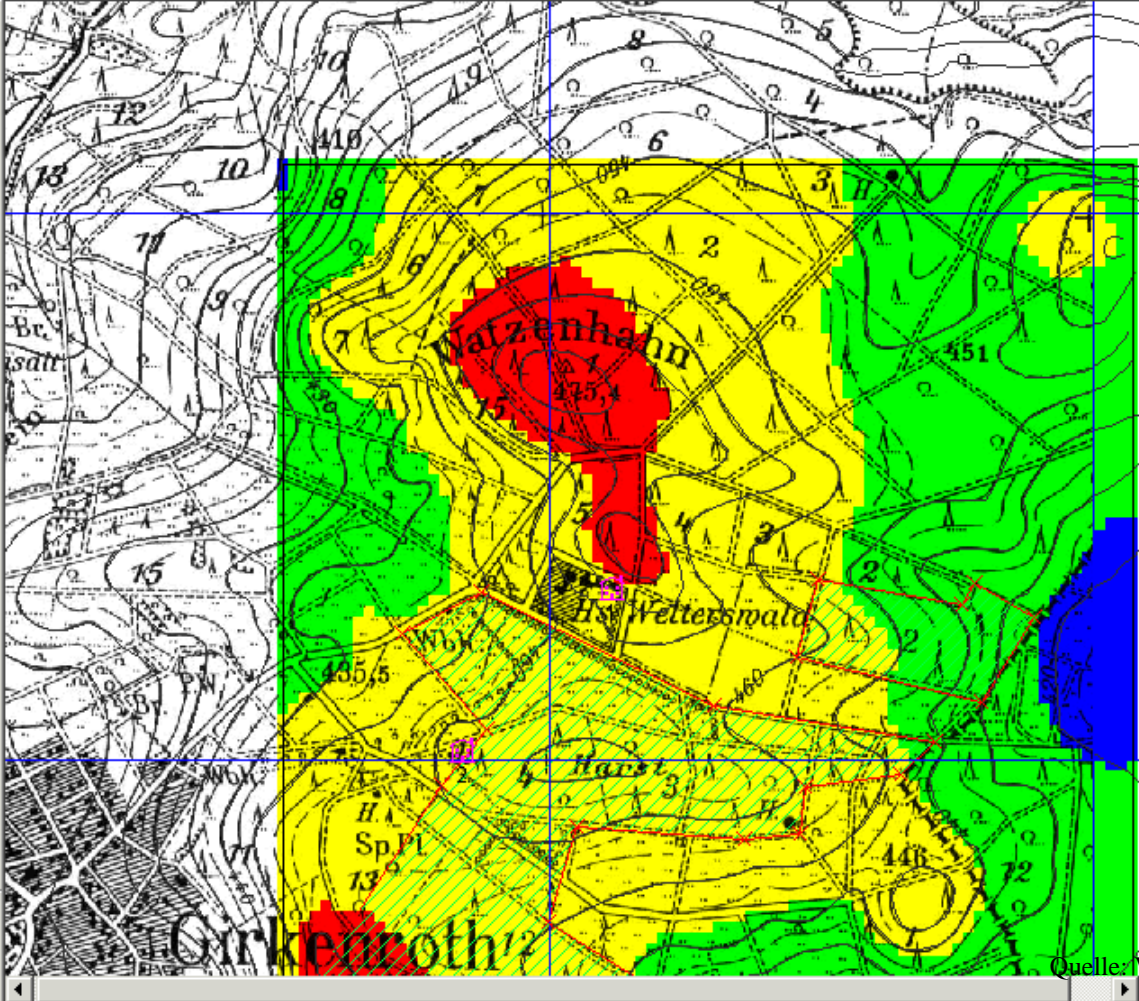
Quelle: Gasch

# Windparkplanung per Software

WindFarmer - [WF1 Map]

Datei Modi Einfügen Ansicht Fenster Hilfe

Anemometer  
 Anlagen  
 Fotomarkierungen  
 Grenzen  
 Hintergrund  
 Höhenlinien  
 IDs  
 Kamerapos.  
 Radaranlagen  
 Raster-Marker  
 Rasterlinien  
 Schall  
 Schattenflicker  
 Schattenrezeptoren  
 Sperrbereiche  
 Text  
 Überlast  
 Umgrenzungspkt.  
 Verkabelung  
 Windenergie  
 Windgeschw.  
 Wohnhäuser  
 WRGs  
 Zuwegungen  
 ZVI



Projektname  
 Anzahl der Anlagen 0  
 Mauszeiger  
 3427753 5600131  
 Unten links  
 3427000 5598605  
 Iterationen 0  
 Alle Standorte  
 Netto 0 MWh  
 Ausgewähltes Projekt  
 Netto 0 MWh  
 Kapazitätsfaktor 0.00 %  
 Anlagenmodus...

ID	Ener...	Nac...	T

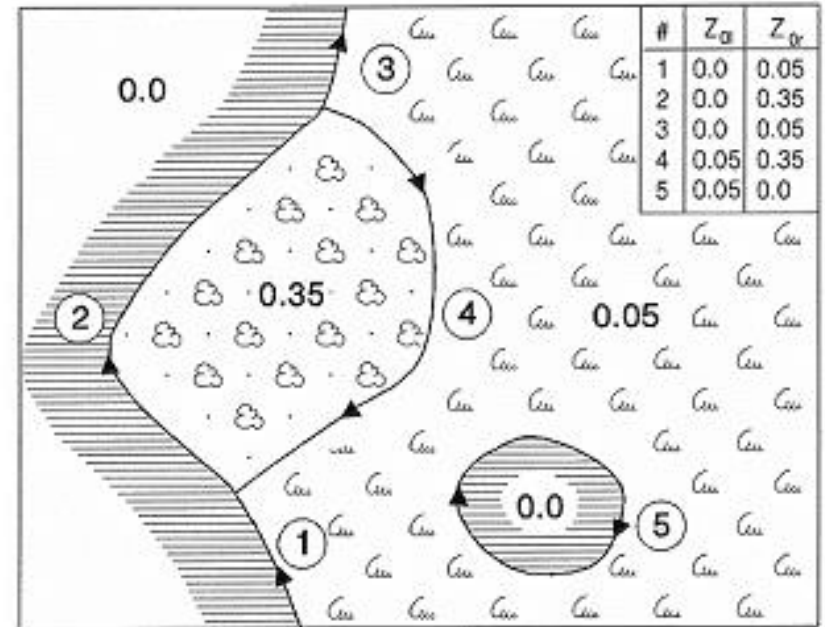
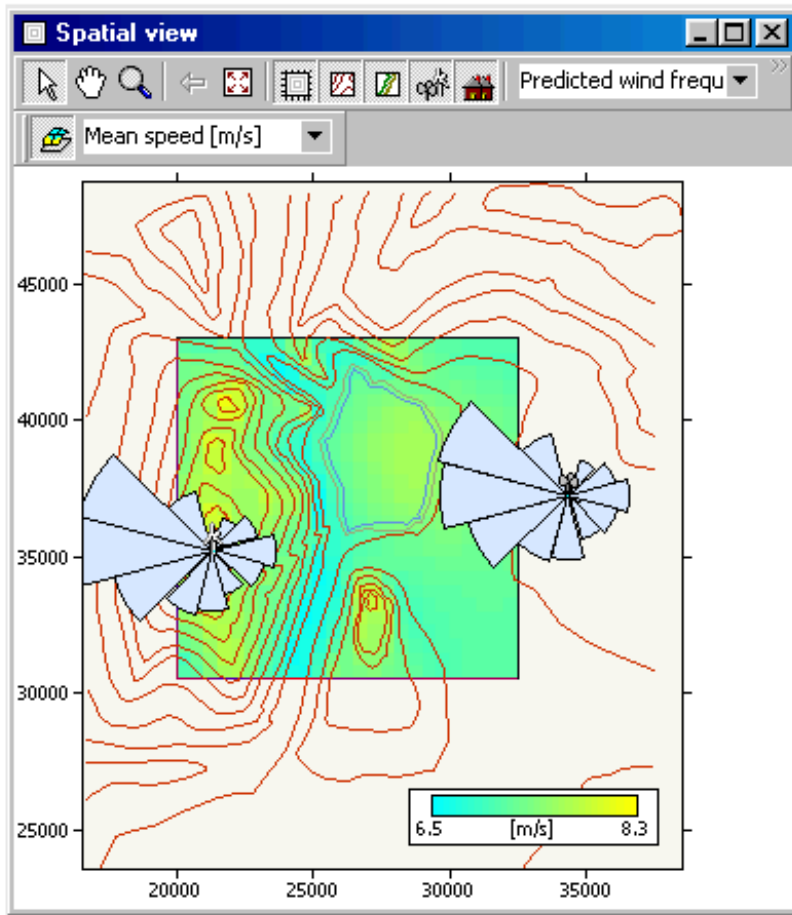
Quelle: WASP- Program – GH Windfarmer

Wenn Sie Hilfe benötigen, drücken Sie F1

NUM

# Windparkplanung - Eingangsgrößen

## Topographie – Windverhältnisse - Rauigkeiten



Leistungskurven  
 (Maschinenauswahl)

Quelle: WASP- Program – GH Windfarmer

# Windparkplanung - Randbedingungen

Abstandsregelungen zu Straßen / Versorgungsleitungen

Schallrelevante Immissionspunkte

Schattenrelevante Immissionspunkte

Prinzipiell Beschränkungen:

Gesamthöhe / Nabenhöhe

Einspeiseleistung

Weitere ökonomische Bedingungen:

Bodeneigenschaften - Fundamentauswahl,

Entfernung zum Netzeinspeisepunkt,

Eignung der Zuwegung und des Standorts für Schwertransporte, Kräne

# Windparkplanung - Optimierung

**WindFarmer - WF1**

Datei Modi Einfügen Ansicht Fenster Hilfe

↑ ↓ ↻ 🔍 🗨️ 📏 📐 📊 📈 📉 📊 📈 📉 🔍 🖱️ 🗨️ 📏 📐 📊 📈 📉

- Anemometer
- Anlagen
- Fotomarkierungen
- Grenzen
- Hintergrund
- Höhenlinien
- IDs
- Kamerapos.
- Radaranlagen
- Raster-Marker
- Rasterlinien
- Schall
- Schattenflicker
- Schattenrezeptoren
- Sperrbereiche
- Text
- Überlast
- Umgrenzungspkt.
- Verkabelung
- Windenergie
- Windgeschw.
- Wohnhäuser
- WRGs
- Zuwegungen
- ZVI

**WF1 Map**

**WF1 Diagramm : Status**

**Optimierungsstatus**

**Energie (MWh)**

**Zeit (Iterationen)**

(null)

Anzahl der Anlagen 3

Mauszeiger

Unten links

Iterationen 88

Alle Standorte  
 Netto 16522 MWh

Ausgewähltes Projekt  
 Netto 16522 MWh  
 Kapazitätsfaktor 41.88 %

Arbeitsmodus...

ID	Ener...	Nac...	T
1	556...	0.0 %	F
2	582...	0.0 %	F
3	547...	0.0 %	F

Wenn Sie Hilfe benötigen, drücken Sie F1

Quelle: WASP- Program – GH Windfarmer

NUM

# Beitrag der Windenergie an der Energieversorgung

Eine 2.5MW Anlage erzeugt pro Jahr etwa 7 Mio kWh CO<sub>2</sub>-freien Strom  
 Äquivalent: ca. 2000 Haushalte (Deutschland).

Ersetzt in 25 Betriebsjahren 140.000 to Braunkohle

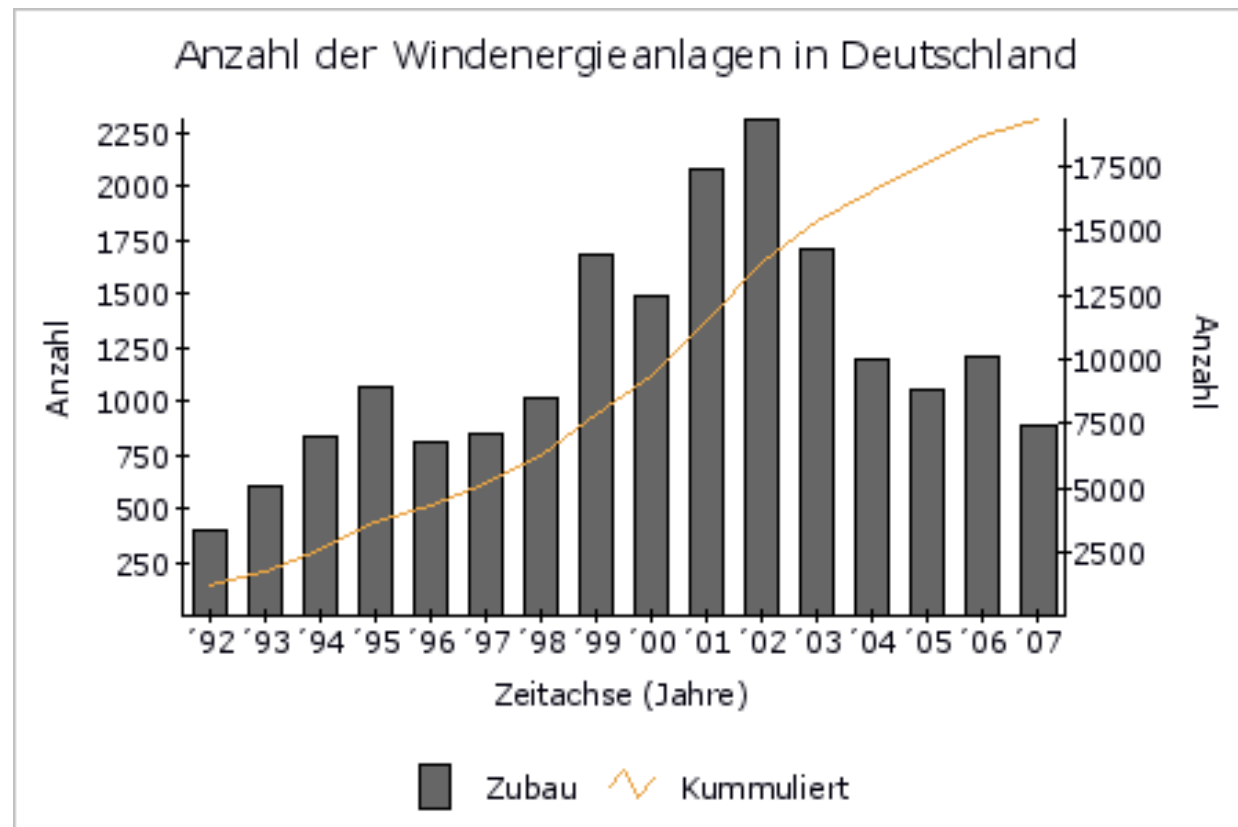
**19.460 Windenergieanlagen**

**– Installierte Leistung 22.247 Megawatt**

**– 39.5 Mrd. kWh produzierte el. Energie (entspr. 7.2%).**

**Stand: 31.12.2007**

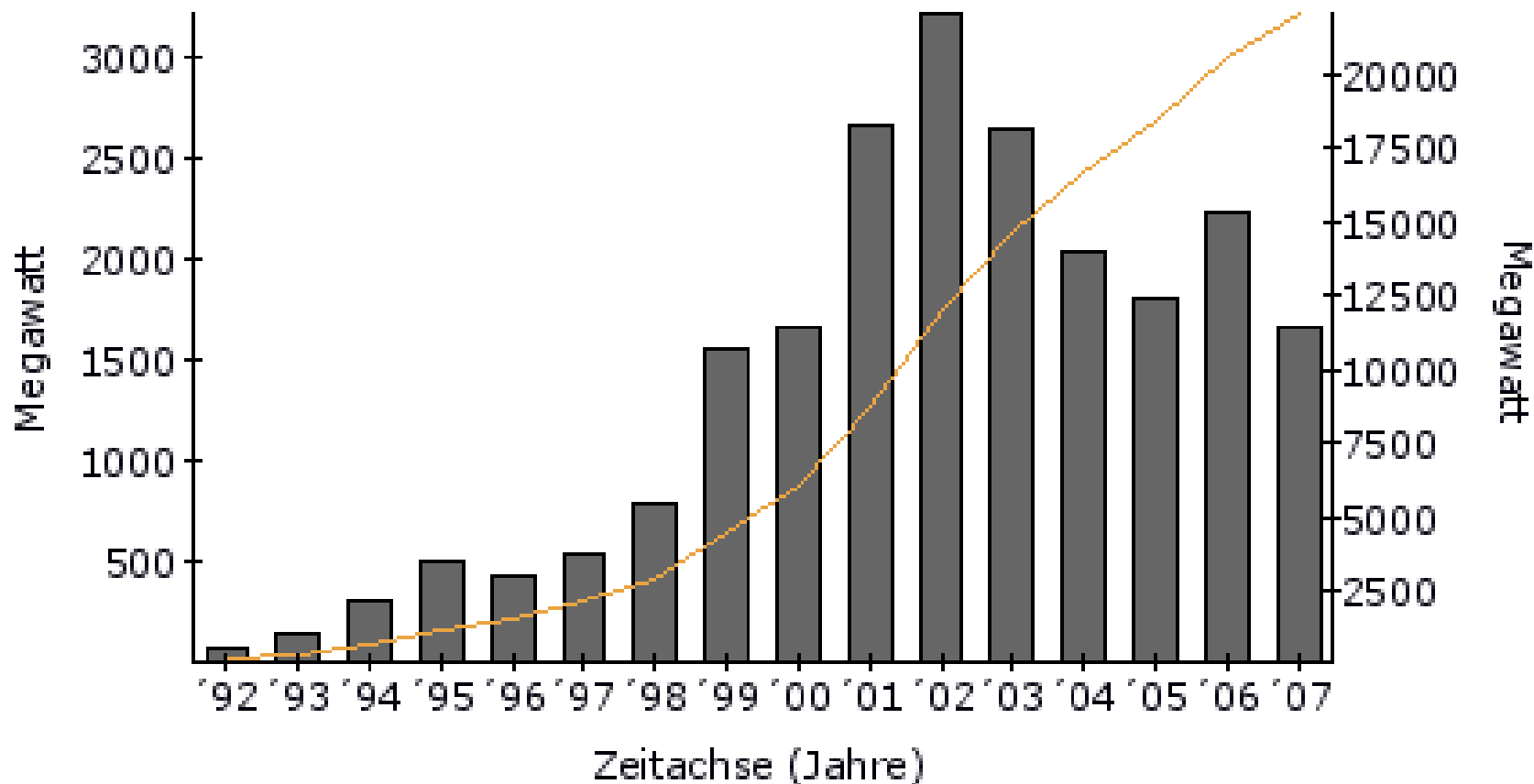
Quelle: Erhebung des Deutschen Windenergie Institutes (DEWI) im Auftrag des Bundesverbandes WindEnergie und des VDMA



Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE



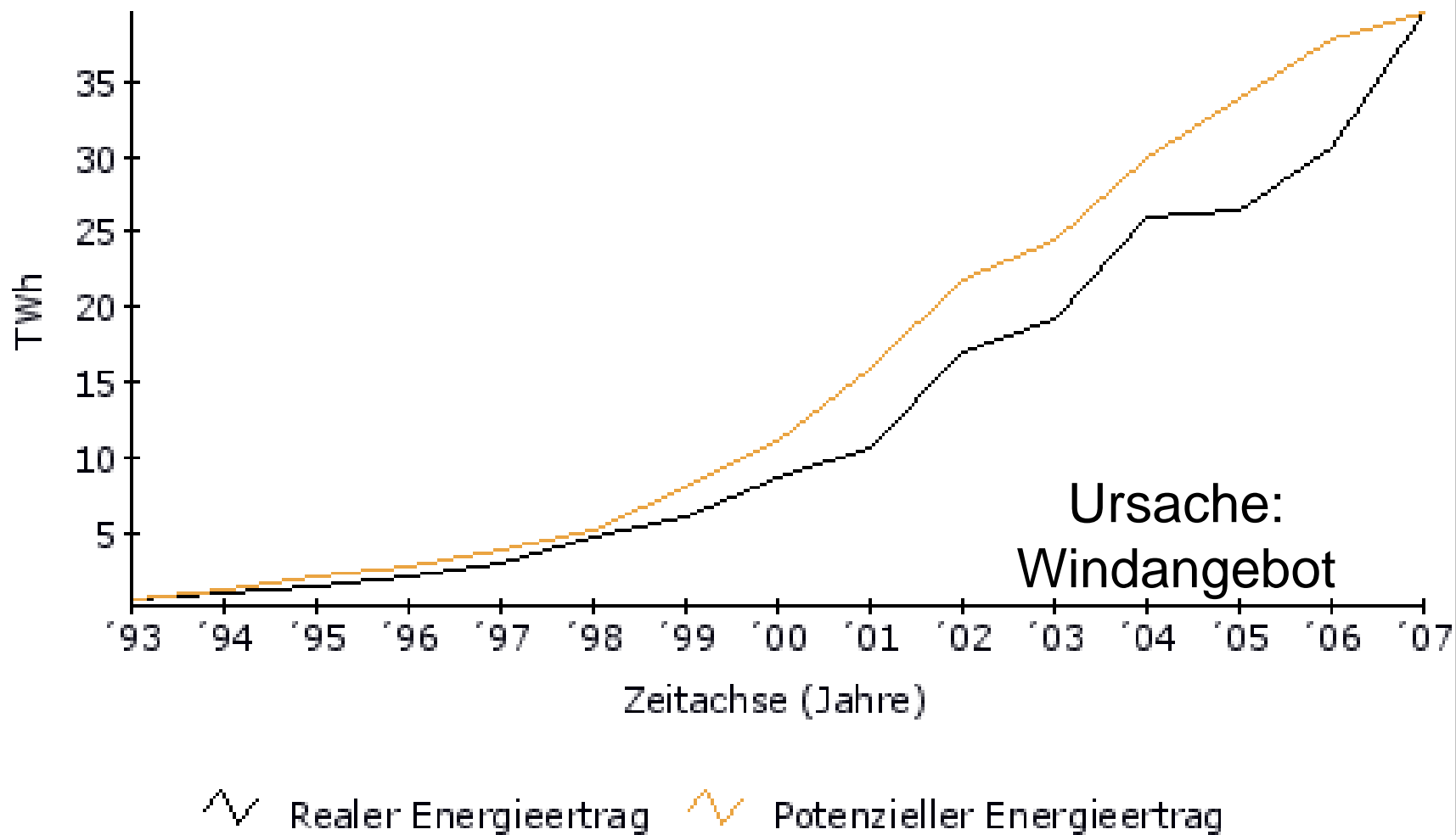
# Installierte Windenergieleistung in Deutschland



Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE

 Zubau  Kummuliert

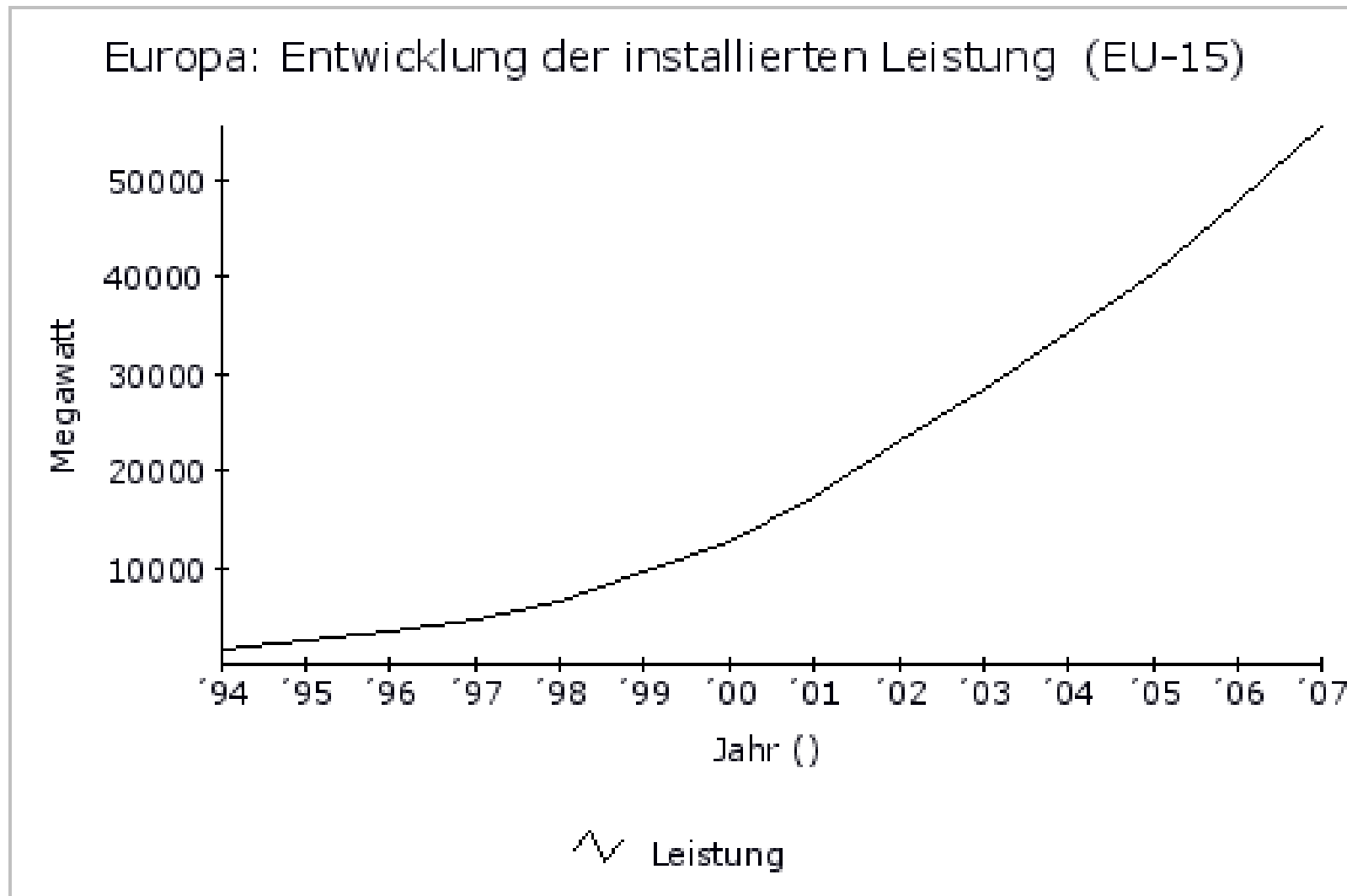
# Entwicklung der Windstromeinspeisung



Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE

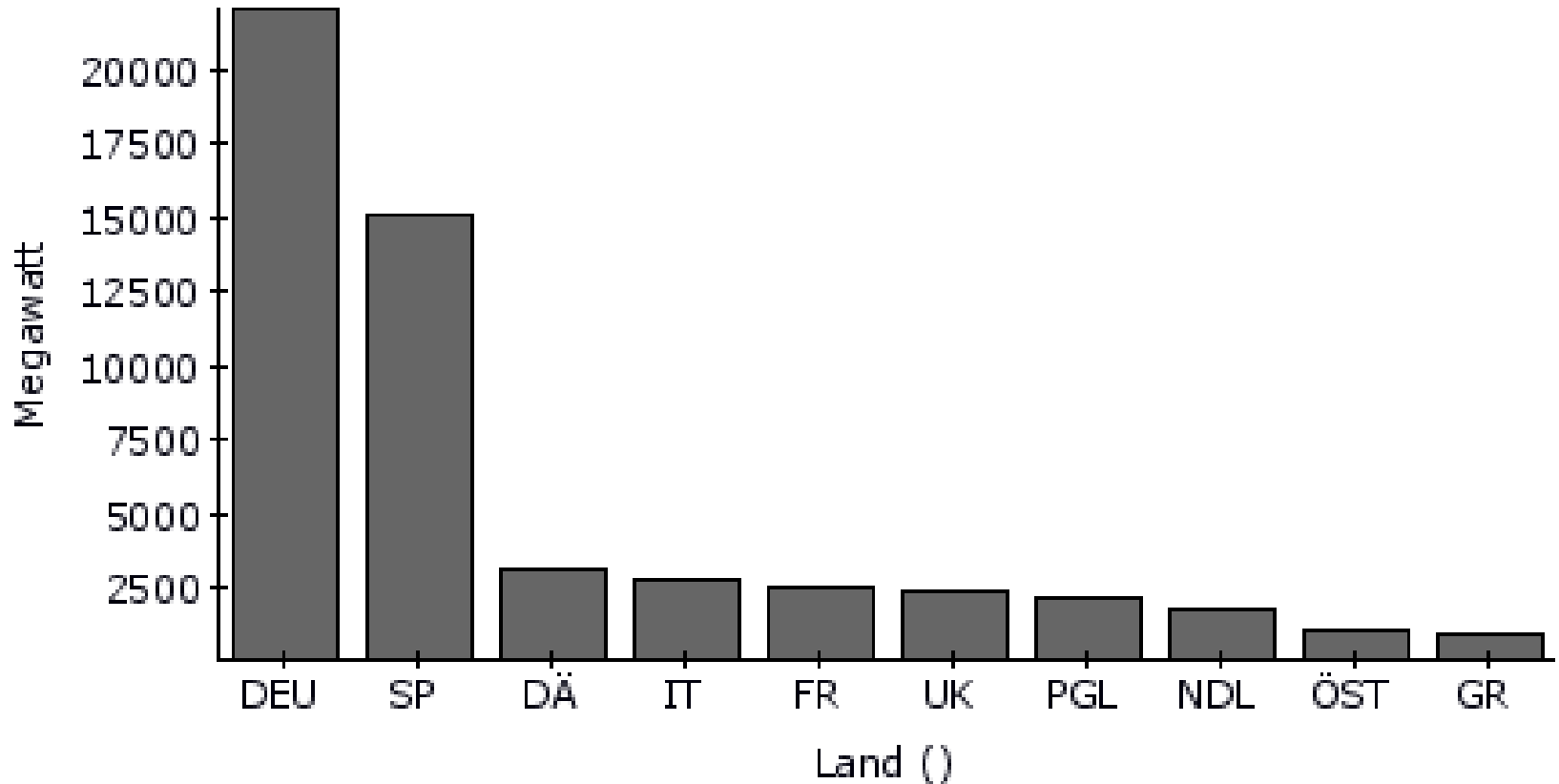


# Installierte Leistung – Europa 94-07



# Installierte Leistung – Europa 2007

Europa Top 10 Länder: Installierte Leistung 2007

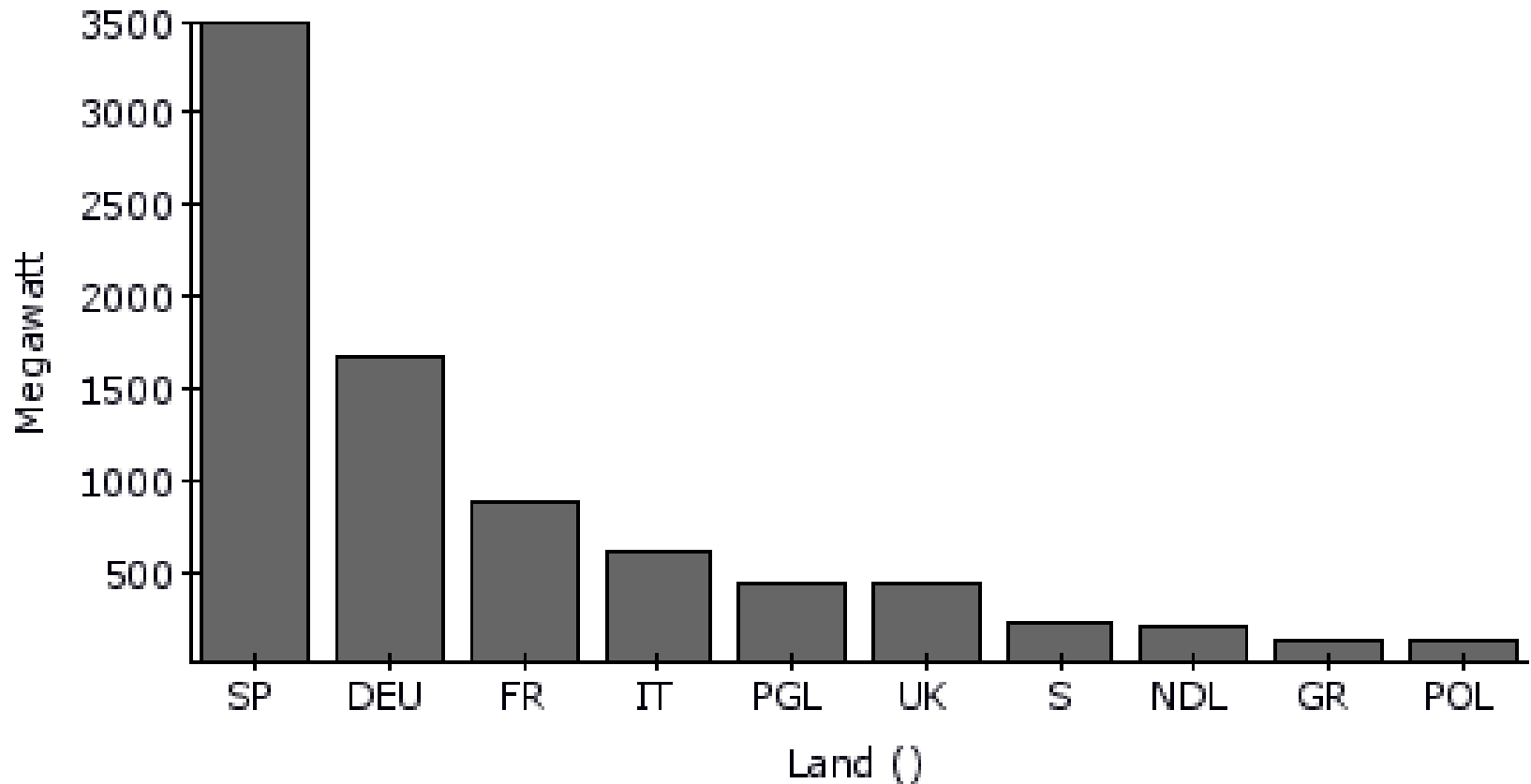


■ Leistung

Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE

# Neubau – Europa 2007

Europa Top 10 Länder: Neubau in Megawatt 2007

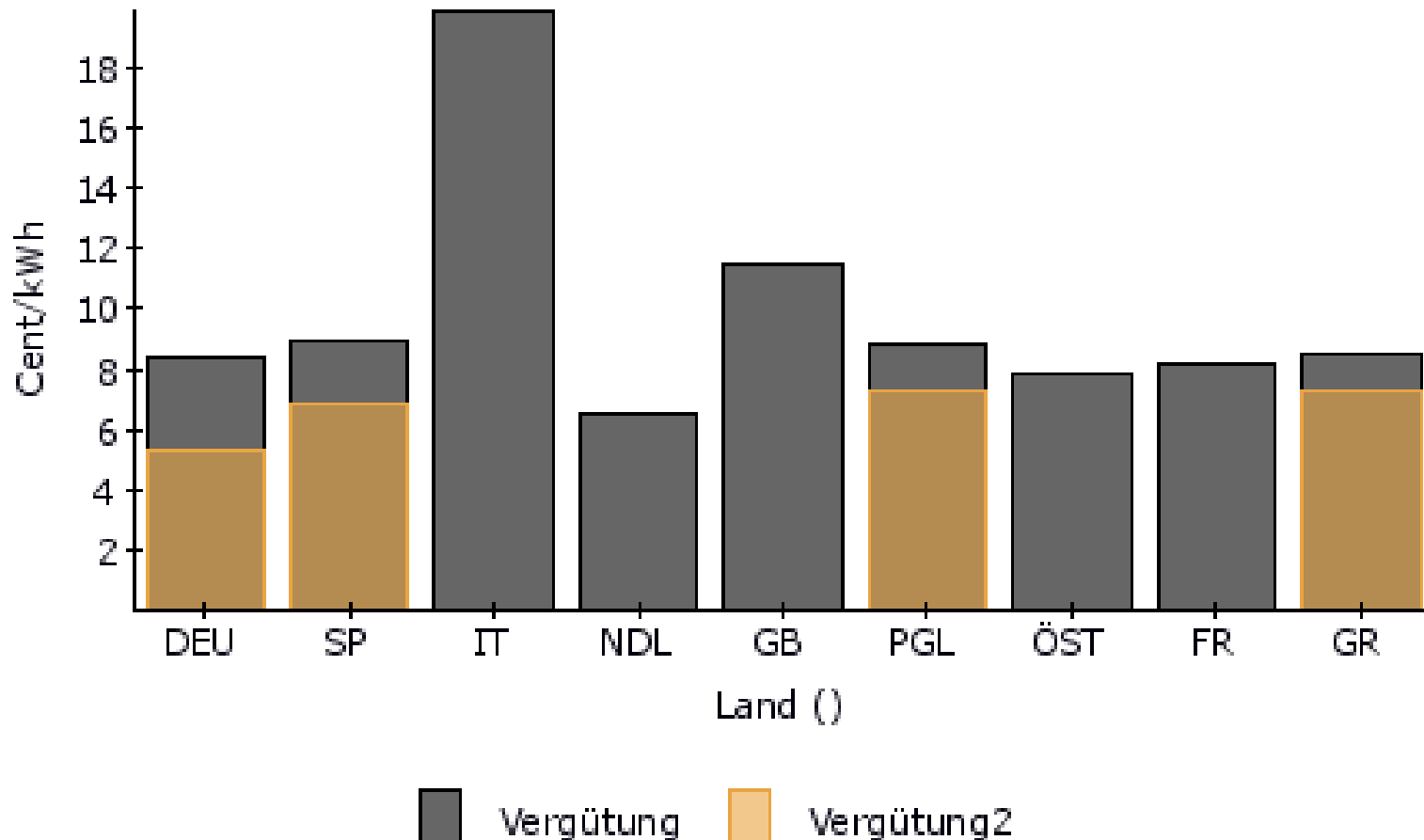


■ Leistung

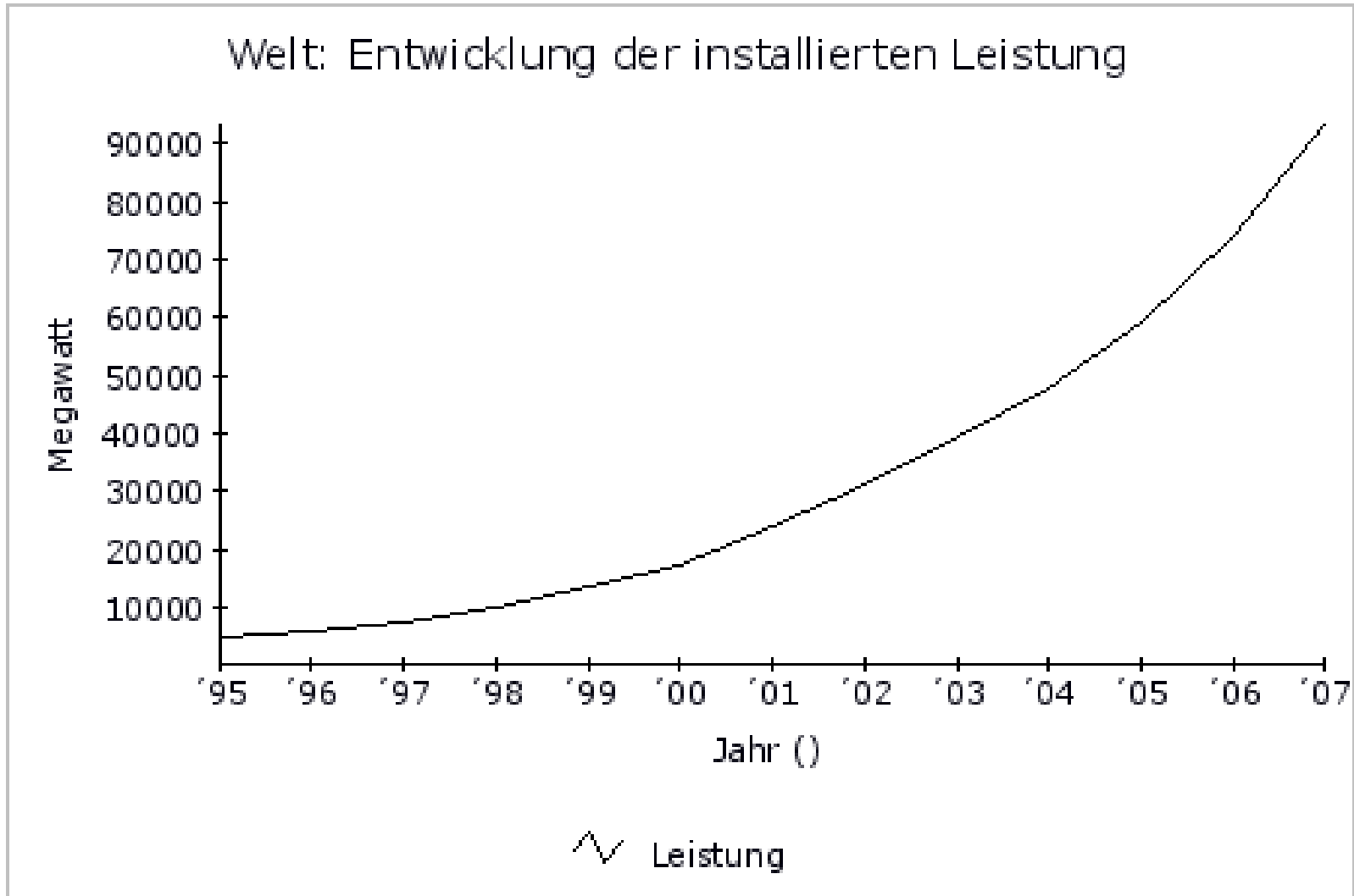
Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE

# Einspeisevergütung Europa 2006

Windvergütung onshore 2006 im Vergleich



# Installierte Leistung – weltweit



Quelle: Bundesverband Windenergie - BWE

# Energetische Amortisation

Berechnung der Ökobilanz für eine Windenergieanlage

**Datengrundlage: Enercon E-66 / 1,8 MW**

## Anlagendaten

Leistung	1,80 MW
Vollbenutzungsstunden	2.200 h/a
Jahresstromproduktion	3.960 MWh/a
Nabenhöhe:	98 m
Turm:	Beton

## Materialaufwand Windenergieanlage

Stahl	200 to
Kupfer	8 to
Kunststoff (GFK)	12 to
Beton	2200 to
Transport	200 km



Quelle: [www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Energiebilanzen/Datenblatt\\_EnergAmortisation\\_WEA.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Energiebilanzen/Datenblatt_EnergAmortisation_WEA.pdf)

## Erzeugte Emissionen

bei der Herstellung einer Windenergieanlage

Stoffdaten	Strom <sup>1)</sup>	Material <sup>2)</sup> :	Stahl	Kupfer	Kunststoff	Beton	Transport <sup>3)</sup>
Quelle: GEMIS							
CO <sub>2</sub> -Emissionen	619,6 kg/MWh	kg/to	1.856	3.717	5.785	171	kg/1.000 to · 124,9
SO <sub>2</sub> -Emissionen	0,662 kg/MWh	kg/to	3,137	12,137	7,205	0,362	kg/1.000 to · 0,198
NO <sub>x</sub> -Emissionen	0,563 kg/MWh	kg/to	3,984	16,393	12,087	0,060	kg/1.000 to · 1,118
Primärenergieaufwand	2,893 MWh/MWh	MWh/to	7,78	13,74	22,14	0,28	MWh/1.000 0,465

Emissionen Herstellung		Stahl	Kupfer	Kunststoff	Beton	Transport	Summe
CO <sub>2</sub> -Emissionen	to	371	30	69	375	60	906
SO <sub>2</sub> -Emissionen	to	0,627	0,097	0,086	0,796	0,096	1,702
NO <sub>x</sub> -Emissionen	to	0,797	0,131	0,145	0,133	0,541	1,747
Primärenergieaufwand	MWh	1.556,24	109,94	265,74	605,45	225,14	2.762,50

## Vermiedene Emissionen

im Kraftwerkspark durch Stromerzeugung Windenergieanlage

		1 Jahr	20 Jahre	"Amortisation"
CO <sub>2</sub> -Emissionen	to	2.454	49.073	<b>4,4 Monate</b>
SO <sub>2</sub> -Emissionen	to	2,62	52,4	<b>7,8 Monate</b>
NO <sub>x</sub> -Emissionen	to	2,23	44,6	<b>9,4 Monate</b>
Primärenergieaufwand	MWh	11.456	229.114	<b>2,9 Monate</b>

Angaben anderer  
Hersteller:

Vestas: V90 (3MW) – 105m  
onshore: 6.6 Monate,  
offshore: 6.8 Monate

[http://www.vestas.com/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=Files%2fFiler%2fEN%2fSustainability%2fLCA%2fLCAV90\\_juni\\_2006.pdf](http://www.vestas.com/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=Files%2fFiler%2fEN%2fSustainability%2fLCA%2fLCAV90_juni_2006.pdf)

1) Emissionen pro MWh Stromerzeugung im deutschen Kraftwerkspark 2002 (Kraftwerksmix: Steinkohle, Braunkohle, Kernkraft, Öl, Gas, Wasser, andere)

2) Emissionen pro Tonne Materialherstellung

3) Emissionen pro LKW-Transportleistung von 1.000 Tonnen-Kilometer (1 Tonne über 1.000 km transportiert)

# Arbeitsmarkt



Turm-Fertigung

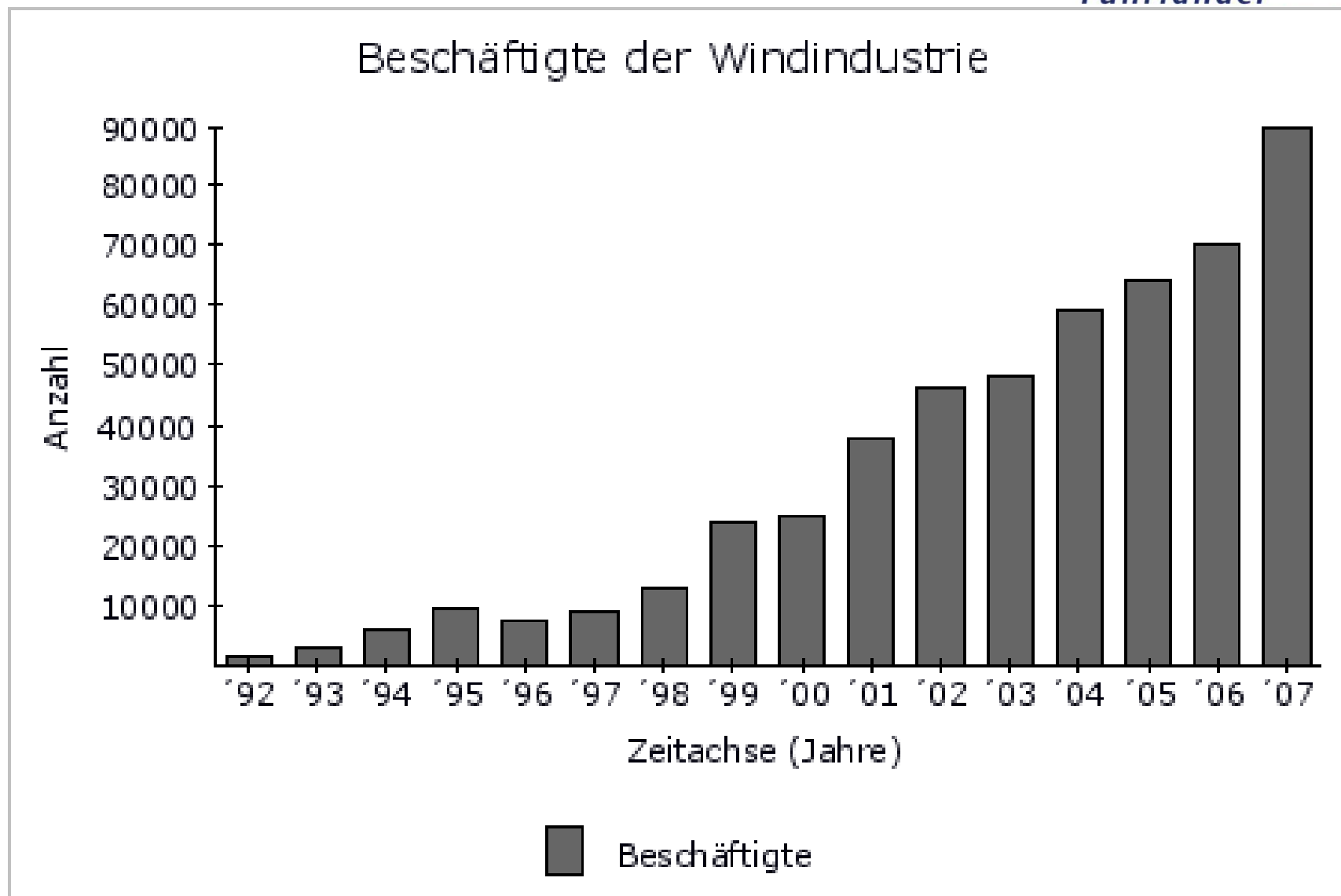


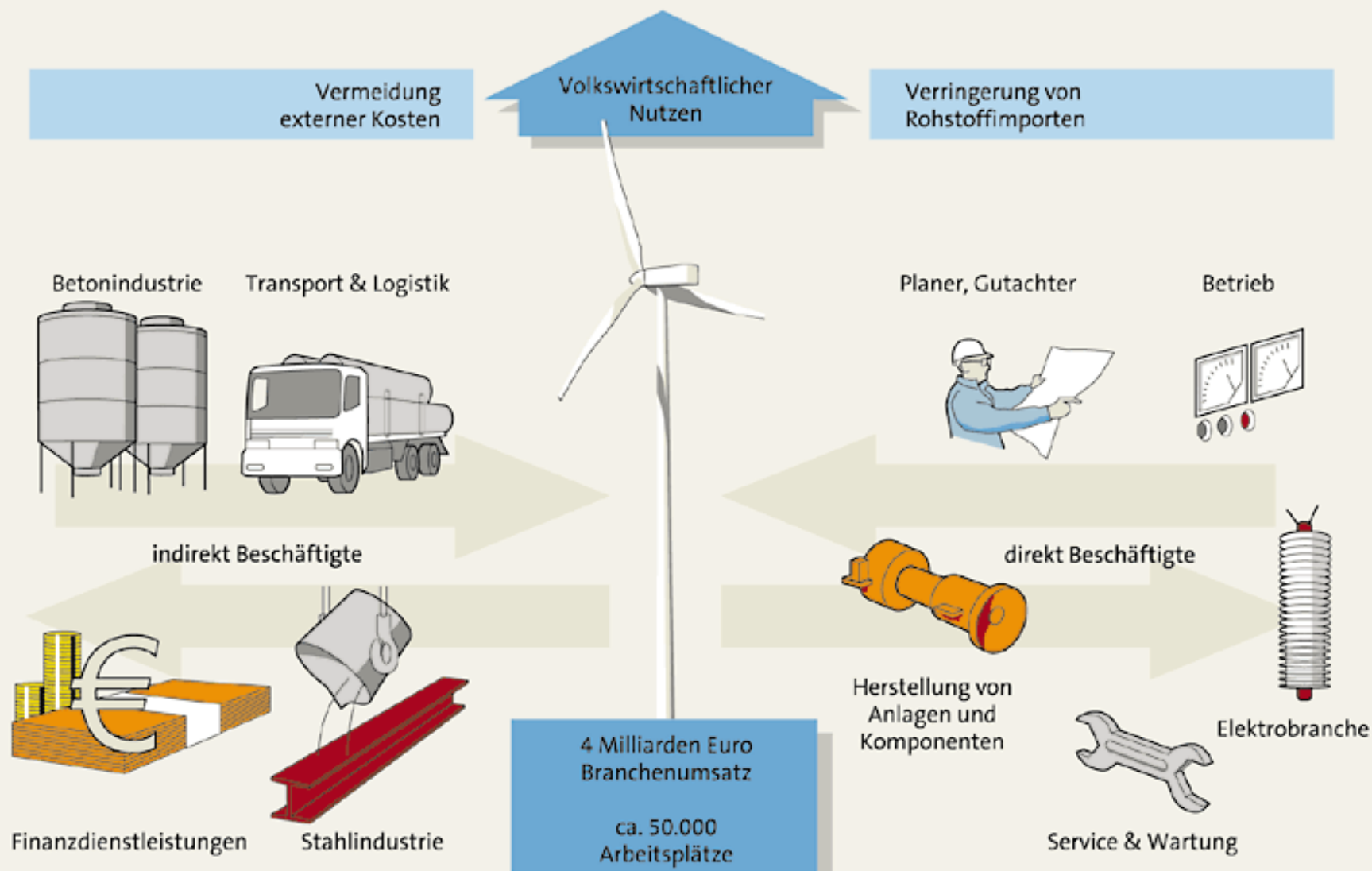
Rotorblatt-  
Produktion

Maschinenhaus-Montage



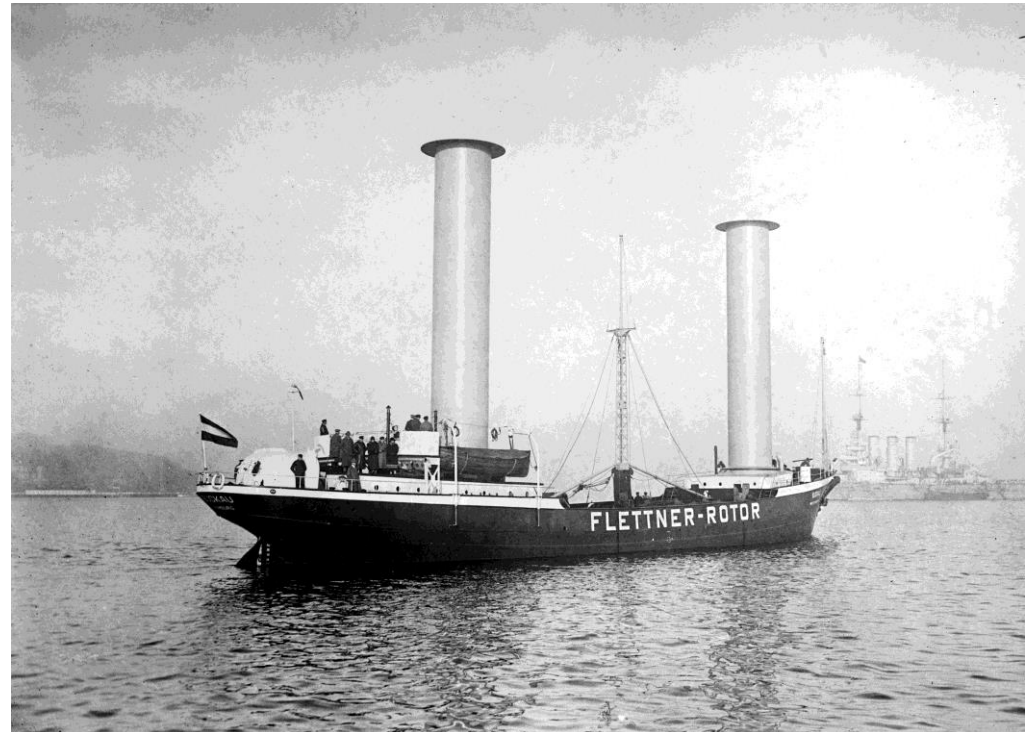
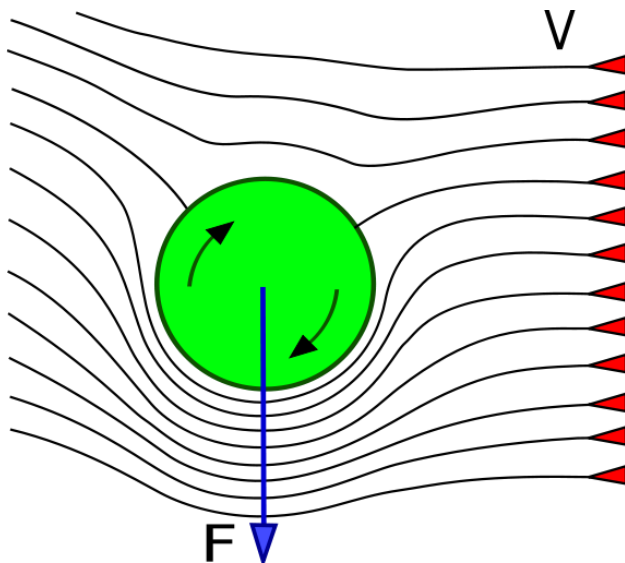






# Interessantes Nebenfeld - Windenergie

## Magnus-Effekt



Buckau (später Baden-Baden): Probefahrt 1924 –

Atlantiküberquerung New York 9.5.1926

Barbara (2077BRT), 3 Rotoren

Nach 1930 haben sich Dieselantriebe durchgesetzt



# Eckdaten Anteil Erneuerbare Energien

**Tabelle 1: Eckdaten erneuerbare Energien in Deutschland 2006/2007<sup>1</sup>**

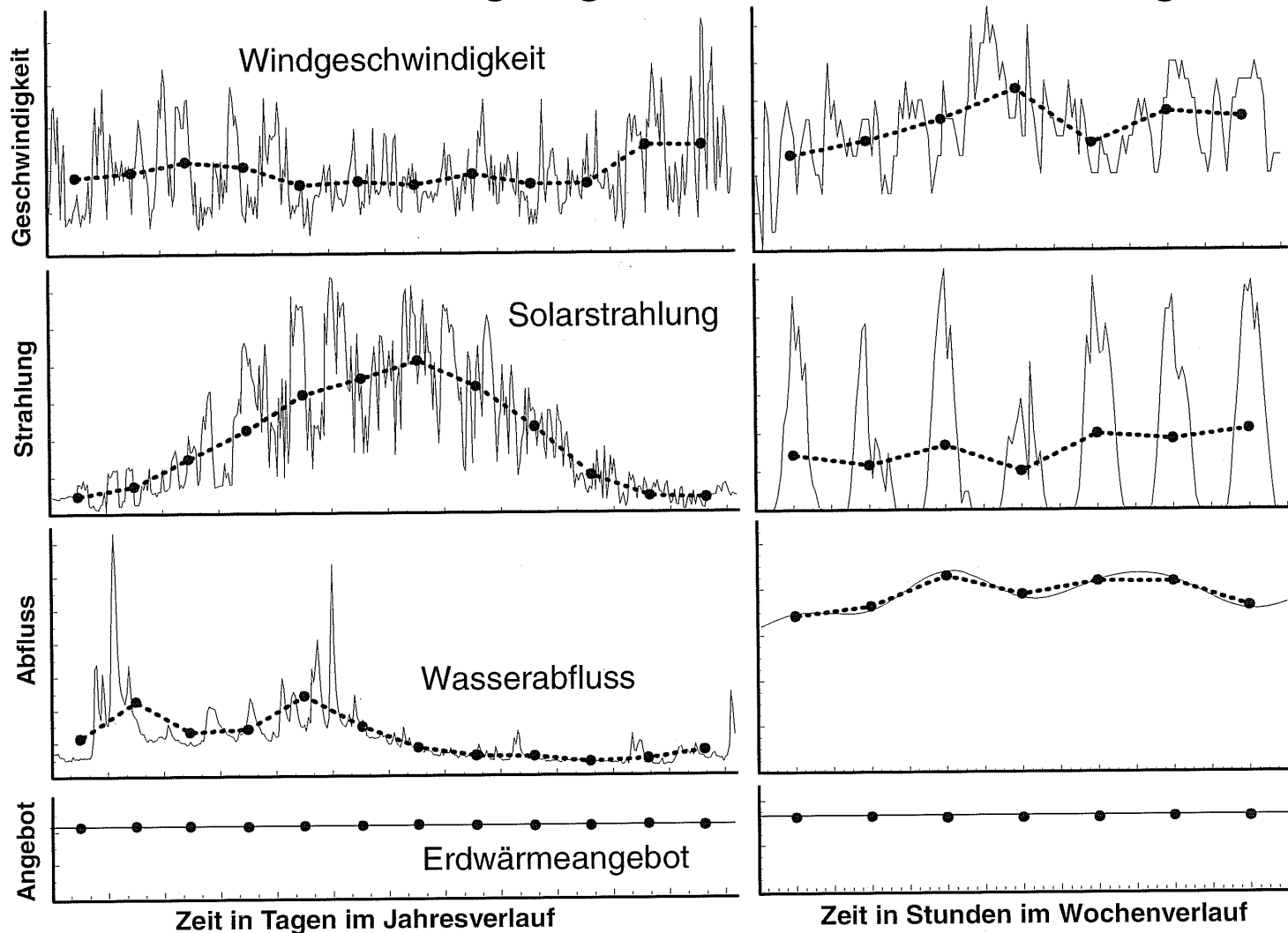
	2006	2007	Veränderungen
Anteile EE <sup>2</sup> am gesamten Endenergieverbrauch <sup>3</sup>	7,5 %	<b>8,5 %</b>	+ 13,3 %
Anteil EE-Strom am gesamten Bruttostromverbrauch	11,7 %	<b>14,2 %</b>	+ 21,4 %
Anteil EE-Wärme am gesamten Endenergieverbrauch für Wärme <sup>4</sup>	5,8 %	<b>6,6 %</b>	+ 13,8 %
Anteil EE am Kraftstoffverbrauch <sup>5</sup>	6,3 %	<b>6,9 %</b>	+ 9,5 %
Anteil EE am gesamten Primärenergieverbrauch	5,5 %	<b>6,7 %</b>	+ 21,8 %
Durch EE vermiedene Emissionen <sup>6</sup>	rd. 98 Mio. t	<b>rd. 114 Mio. t</b>	+ 16,3 %
- dav. durch das EEG	rd. 44 Mio. t	<b>rd. 57 Mio. t</b>	+ 29,5 %
Gesamtumsatz aus EE	ca. 22,4 Mrd. €	<b>ca. 24,6 Mrd. €</b>	+ 9,8 %
davon:			
- Umsatz aus Errichtung von Anlagen	ca. 11,1 Mrd. €	<b>ca. 10,7 Mrd. €</b>	- 3,6 %
- Umsatz aus dem Betrieb von Anlagen	ca. 11,3 Mrd. €	<b>ca. 14,0 Mrd. €</b>	+ 23,9 %
Beschäftigte im EE-Bereich	rd. 236.000	<b>rd. 249.000</b>	+ rd. 5,5 %

**EE-Kosten pro Kunde(1700kWh/a): 1.45 €/Monat**

Quelle: BMU KI III 1 – Daten EE 2007

Stand: 12. März 2008

# Jahres und Wochengänge – Erneuerbare Energien



Quelle: Kaltschmitt,  
Erneuerbare Energien

Beispielhafte Jahressgänge aus Monats- und Tagesmitteln sowie Wochengänge aus Tages- und Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit, der Solarstrahlung, des Wasserabflusses und des Erdwärmeangebots



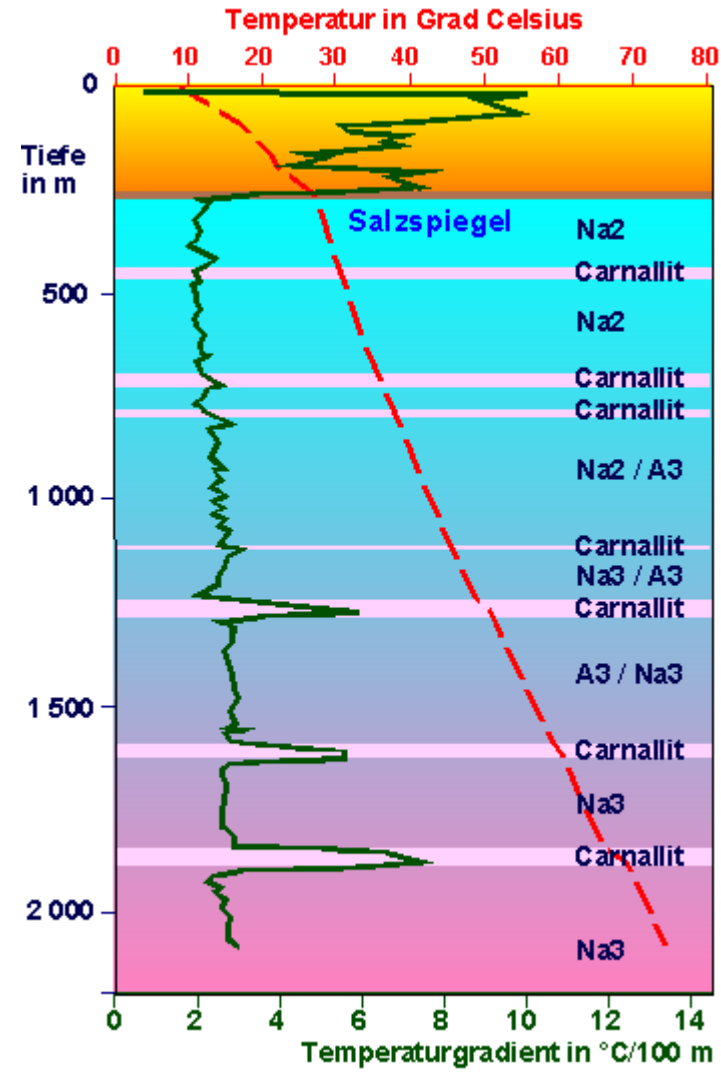
Fuhrländer

AKTIENGESELLSCHAFT

# Geothermie

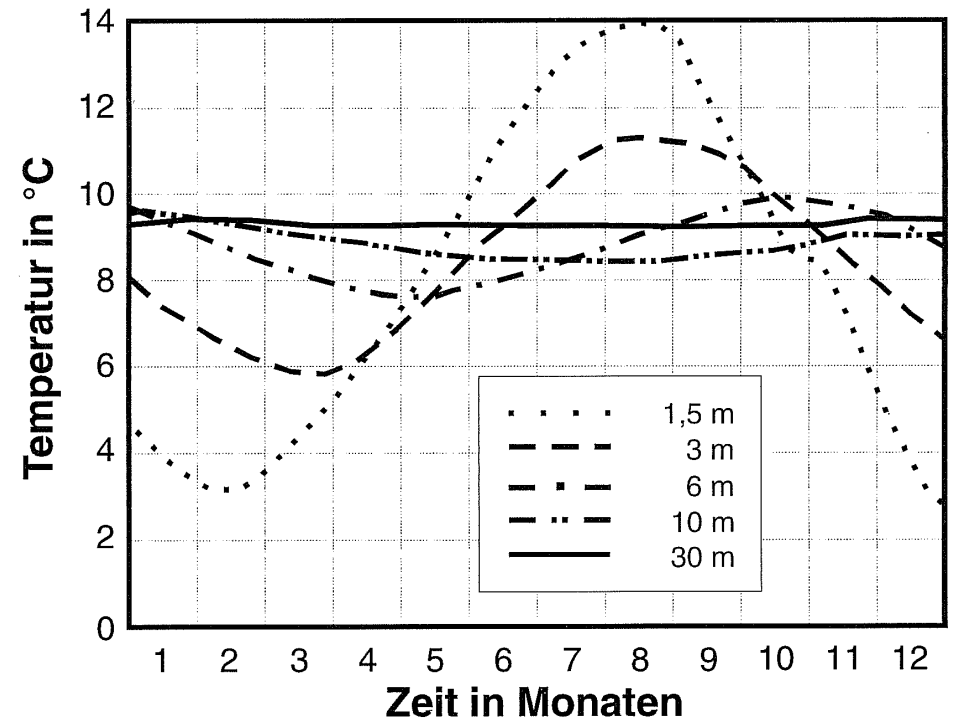
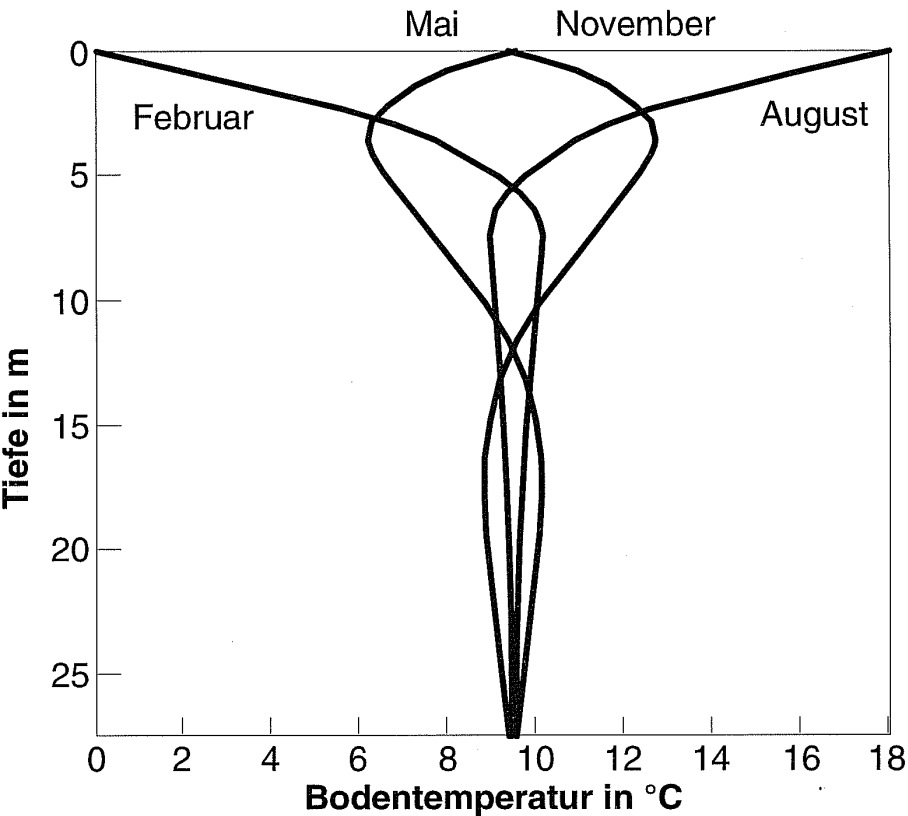


Quelle:  
<http://www.itas.fzk.de/deu/tadn/tadn013/saua01a.htm>



<http://www.geophysik.uni-kiel.de/~sabine/DieErde/Werkzeuge/Geophysik/M3-Thermie/4Waermefluss/Waermefluss.htm>

# Jahresgang im oberflächennahen Erdboden



Brehm, D.R. u.a.: Ergebnisse von  
 Temperaturmessungen... Z.ang.Geowiss.  
 15, 1989, S.61-72