



Geschichte der Windkraft Bauformen

KIT





- Seefahrt ?
- Mechanische Windkraftanlagen
- Stromerzeugende Windkraftanlagen
 - Frühe Versuchsanlagen
 - Der Ausbau der Windkraft
 - Moderne Anlagen
 - Offshore



EIFER

Wandbild 1.400 v.Chr. (ca. 5.000 v.Chr.)





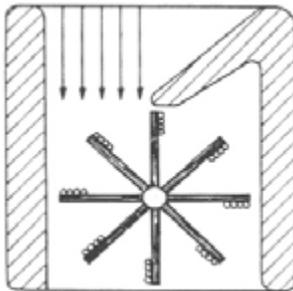
- Königs Hamurabi um 1750 v.Chr. in Babylon (Gesetzbuch – Hinweis)
- Erfinder Heron von Alexandria 100 n.Chr. (Orgel – Dokument)
- Nachweise ab 700 n. Chr.:
 - Persien (Getreidemühlen)
 - Tibet (Gebetsmühlen)
 - China (Wasserpumpen)



Persische Windmühlen (Afghanistan / Tibet)



- Ca. 700
- Widerstandsläufer
- Vorzugswindrichtung

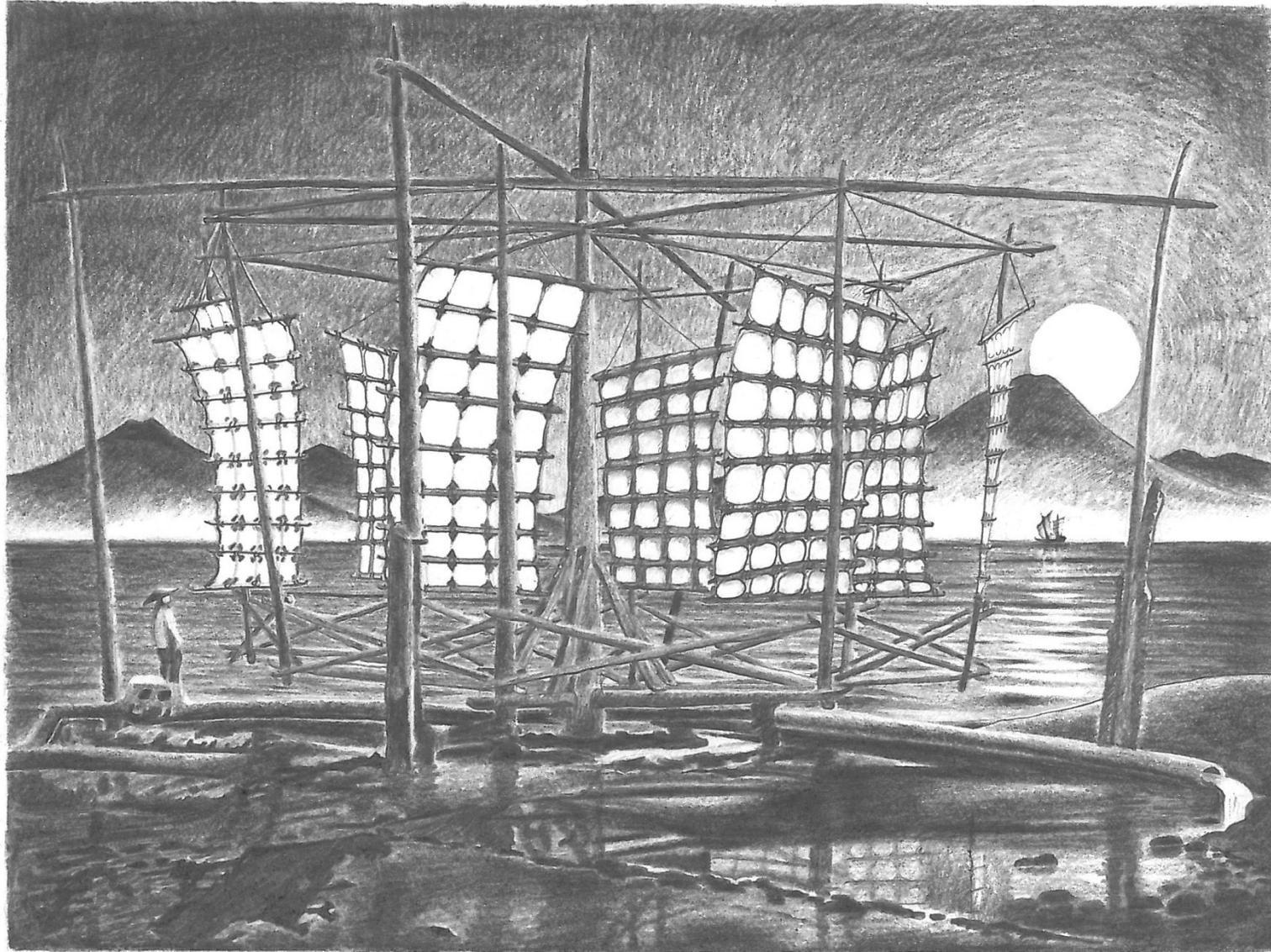


richtungsunabhängig



EIFER

Chinesische Windmühle





- Bekannt seit dem 12. Jahrhundert
- Horizontale Achse
- Historische Umstände :
 - Perfektionierung des Handwerks
 - Mangel an Arbeitskräften („Wohlstand“)
 - Christianisierung der nordischen Völker
- Einsatzfelder :
 - Mahlen, Dreschen, Pumpen, Schöpfen, Sägen, Hämmern, Klopfen, Walken



- Bockwindmühlen 12. Jh.
- Turmwindmühlen 14. Jh.
- Wippmühle 15. Jh.
- Holländermühle 16. Jh.
- Paltrokmühle 16. Jh.
- Westernmill 18. Jh.
- Ausbreitung:
 - Europa 19. Jh. ca. 200.000
 - Amerika 1930 ca. 600.000 (Westernmill)



EIFER

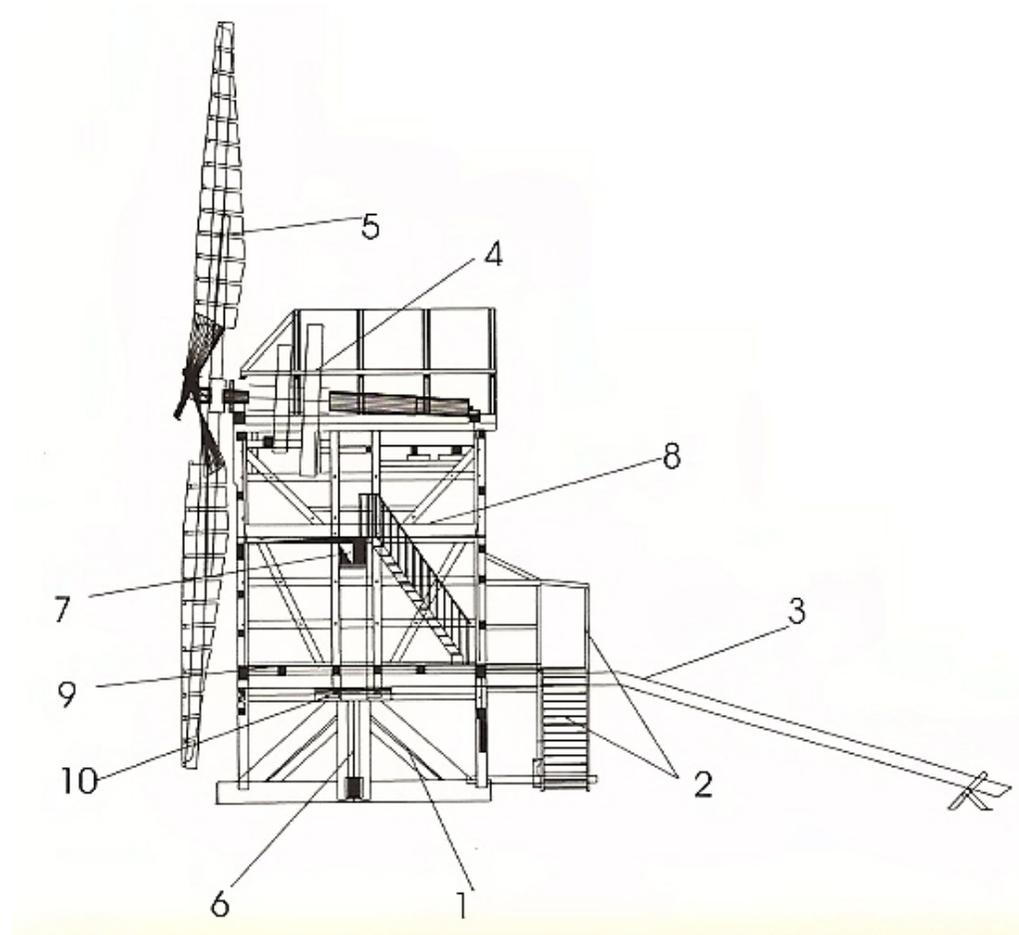
Bockwindmühle (12. bzw. 15. JH D)





EIFER

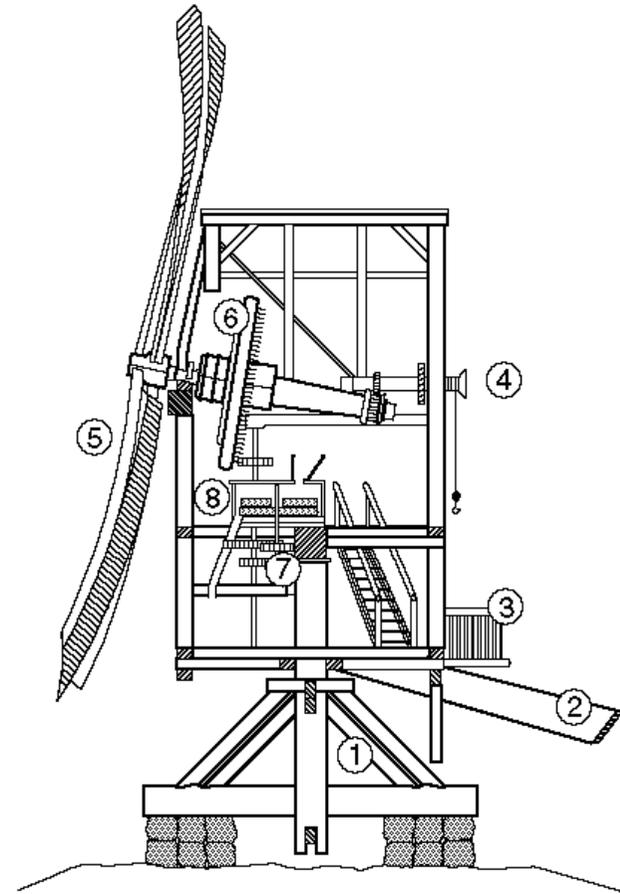
Bockwindmühle - Innenleben





EIFER

Deutsche Bockwindmühle 15 Jh.



- | | |
|---------------|--------------|
| 1 Bockgerüst | 5 Flügelbaum |
| 2 Hebelbalken | 6 Kammrad |
| 3 Treppe | 7 Getriebe |
| 4 Seilaufzug | 8 Mahlgang |



EIFER

Turmwindmühlen 14-15 Jh.





EIFER

Turmwindmühlen (Bretagne / England 1830)





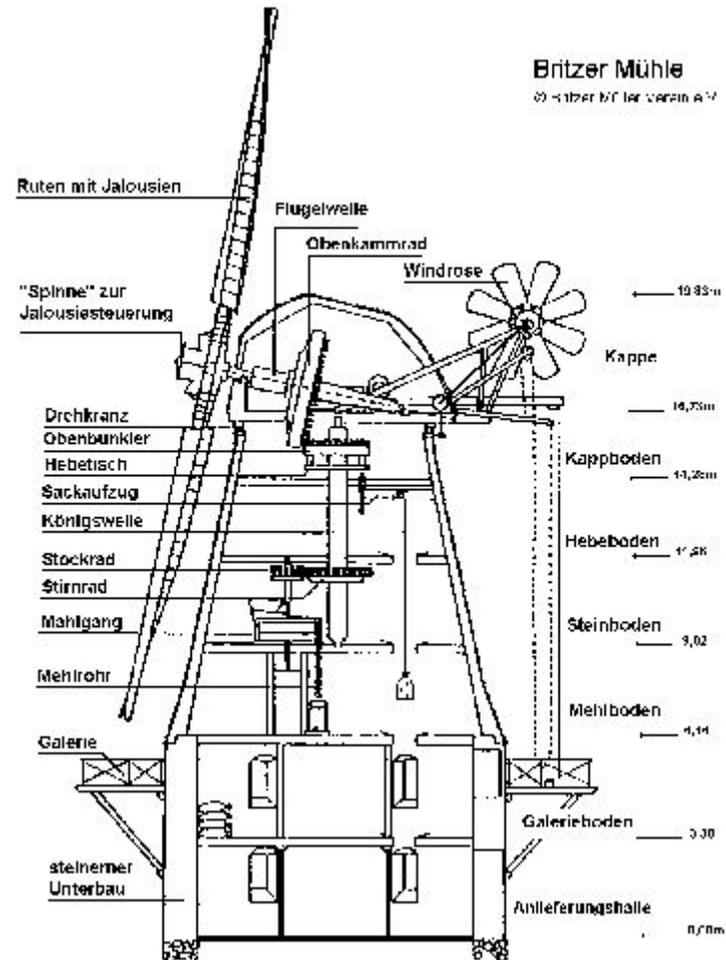
EIFER

Wippmühle, Kokermühle





Holländermühle 16. JH





EIFER

Holländer





EIFER

Paltrockmühle ab 16 Jh.





EIFER

Windmühlen in Westsibirien





EIFER

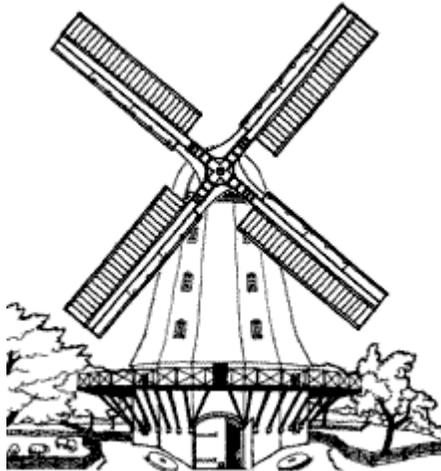
Scheunenmühle 1864 / Jalousienflügel



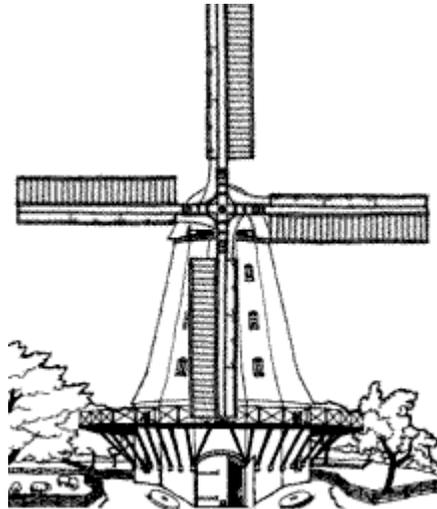


EIFER

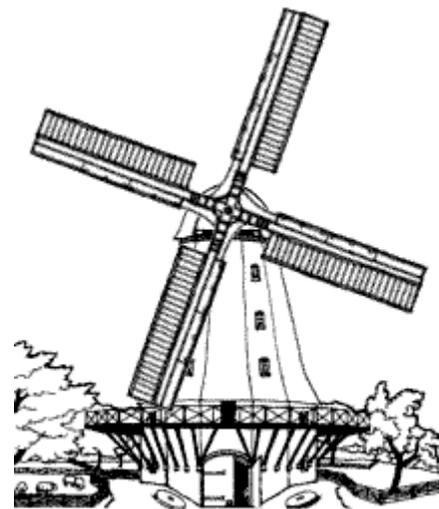
Flügelsprache



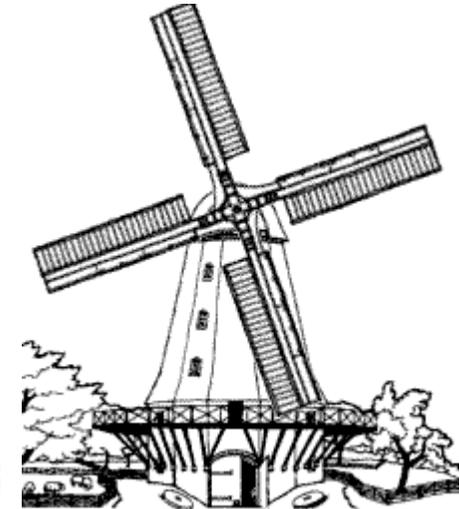
Feierabend



Pause



Freudenschere



Trauerschere



- Ø 20 – 25 m
- Nabe : 20 – 30 m
- Gewicht : 40 – 50 t
- $8 \text{ kW} < P < 12 \text{ kW}$
- Bis zu 1 t Mehl / Tag
- Auftriebsprinzip
- Wirkung auch mit schrägen Platten
- Maximaler Wirkungsgrad um die 28% (Smeaton 18 Jh.)



EIFER

Westernmill

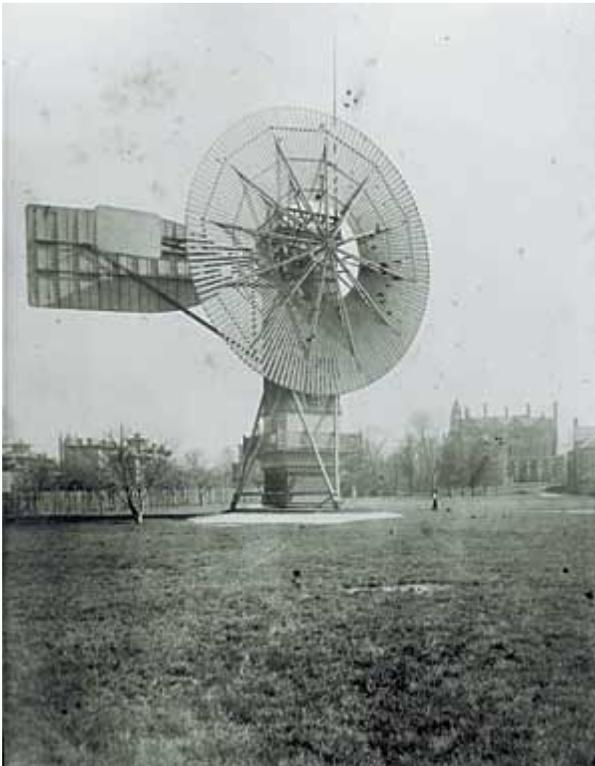


- Stahlblech
- Langsamläufer
- Massenproduktion
- Vollautomatisch
- Wasserpumpen

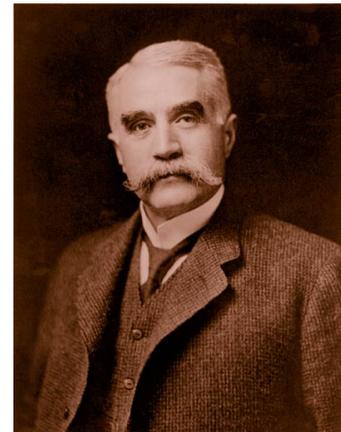




Charles F. Brush (1849-1929)



- 1888
- Ø 17m – 144 Blades
- 500 rpm / Getriebe
- 12 kW Gleichstrom
- 20 Jahre
- -> GE





EIFER

Poul la Cour (1846-1908)

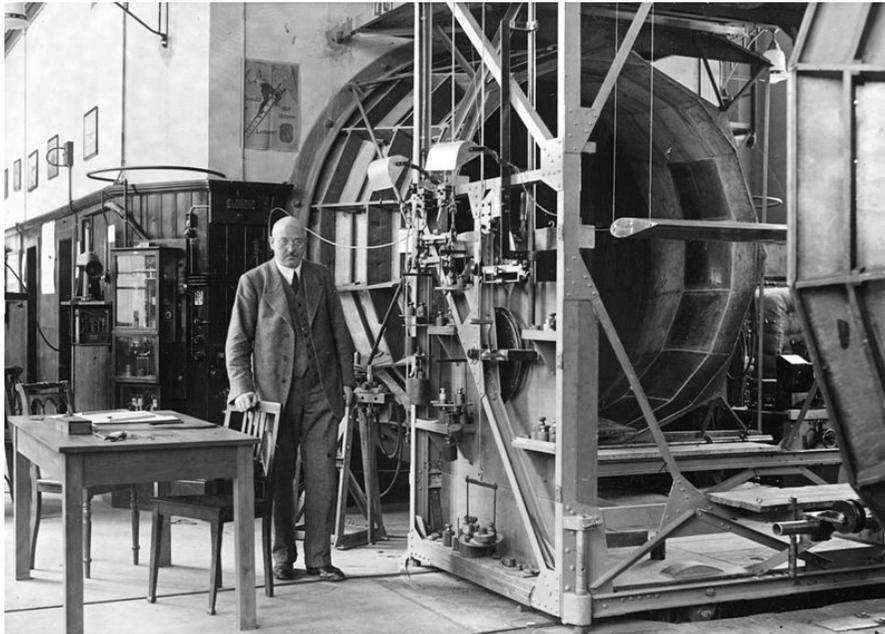


- 1891 Schule
- Elektrolyse – H₂ – Gaslicht !
- Theorie
- Windkanal
- 1918 Dänemark
 - 120 E-Werke mit Windkraftanlagen
 - 20-35 kW
 - 3 MW Gesamt
 - 3% des Bedarfs



EIFER

Albert Betz (1885 – 1968)



- Physiker
- Betzsches Gesetz
- 1920 Artikel
- 1925 Buch
 - Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen



EIFER

Johannes Juul (1887 – 1969) Gedser Anlage



- Schüler von Poul La Cour
- 1. Drehstromgenerator
- 1956
- 200 kW
- LUV-Läufer
- Elektrische Nachführung
- Stall-Regelung
- 11 Jahre Betrieb





EIFER

Georges Darrieus (1888 – 1979) 1931 Patent





EIFER

F.L. Smith 1940-1950 (Dänemark, 35 kW)





EIFER

Smith-Putnam (1941 USA)



1,25 MW



EIFER

Tvind (1956 Dänemark)



2 MW



EIFER

Ulrich W. Hüttner (1910 - 1990)



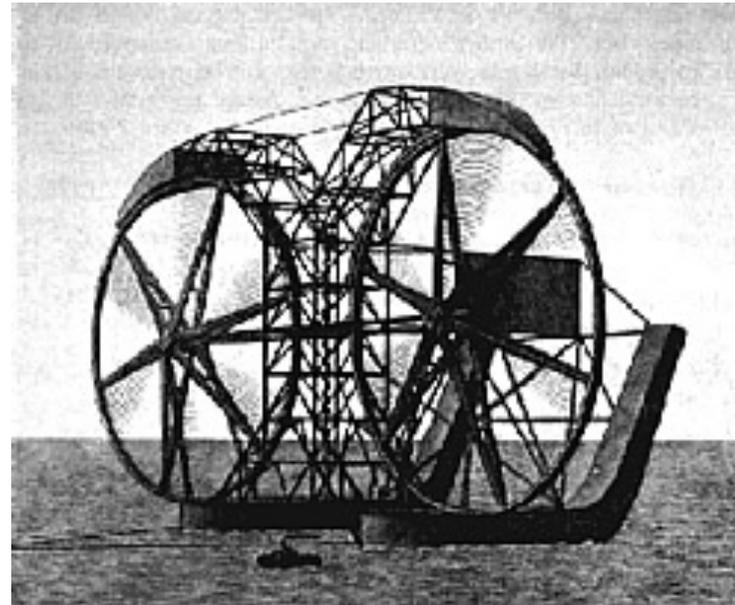
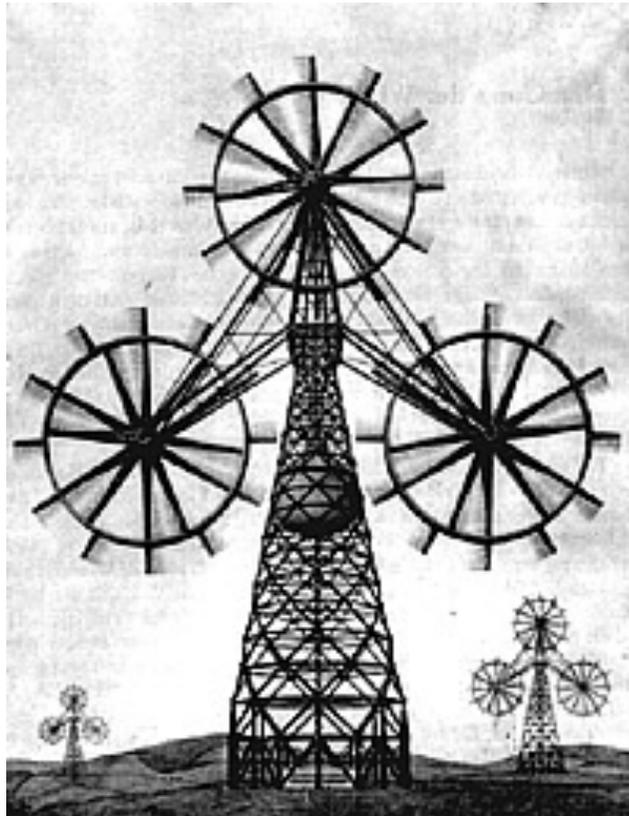
- 1957 100 kW (2 Blatt)
- 1958 10 kW Offshore
- 1967 Rotorblätter aus GFK





EIFER

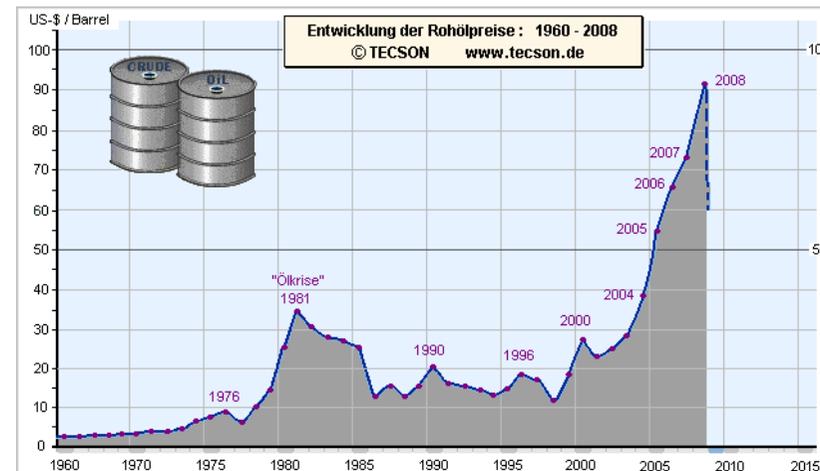
1930 – Hermann Honnef - Windkraftträume





EIFER

1973 + 1979 Ölkrise – AKW Nein Danke !!!





Dänisches Modell (Bsp. Bonus 30 kW)



- LUV Läufer
- 3 Rotorblätter
- Passiv Stall
- Asynchrongenerator
- 2 Generatoren
- Massenproduktion
- Netzkopplung
- Seit 1980



EIFER

Growian (Deutschland 1983 - 1987)



- Lee-Läufer
- 3 MW
- Pendelnabe
- Nabhöhe 100m
- Ø 100,4 m



EIFER

Californischer Windrausch 1980-1985 (55 kW)

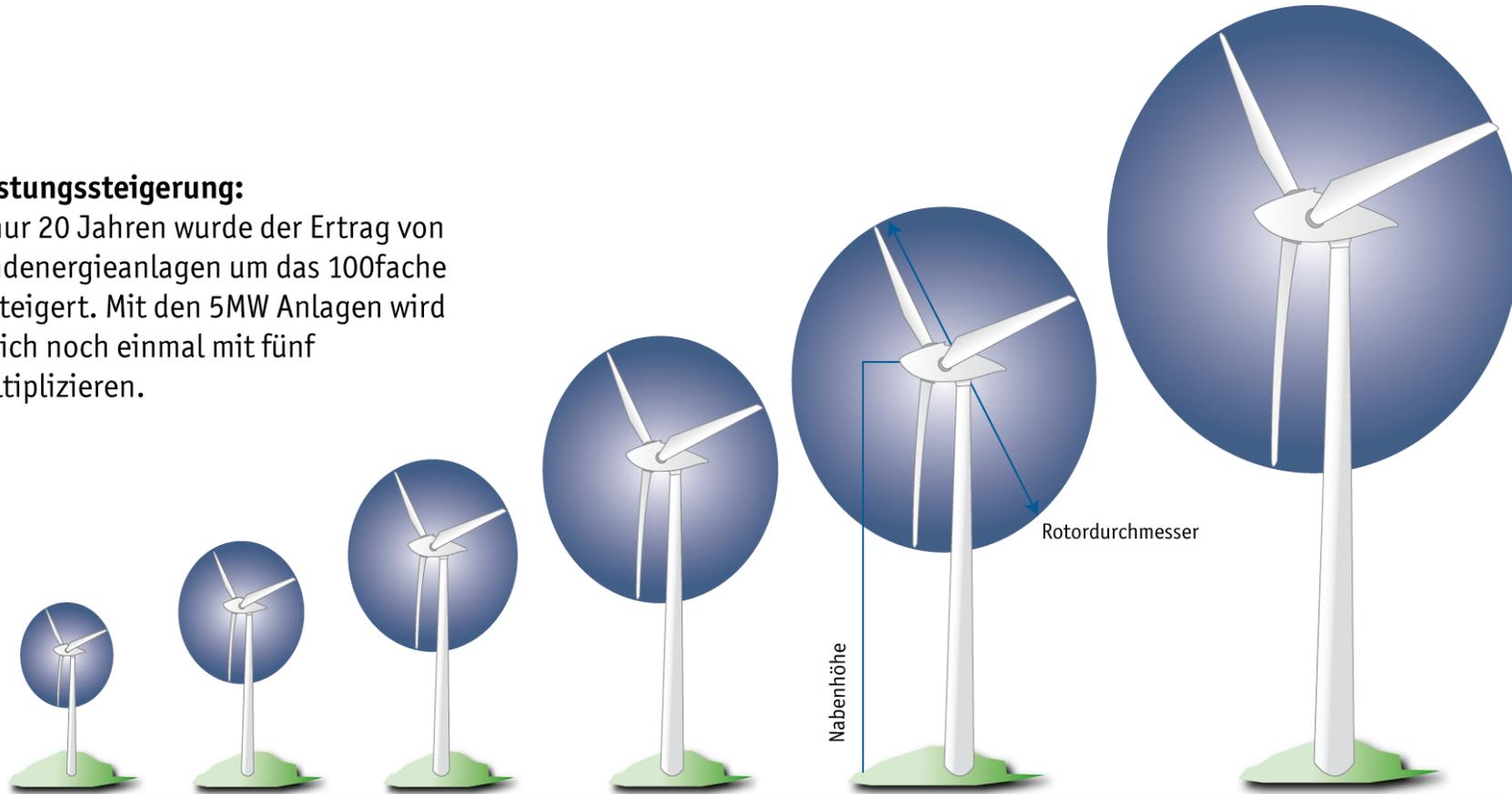




Größenentwicklung

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.

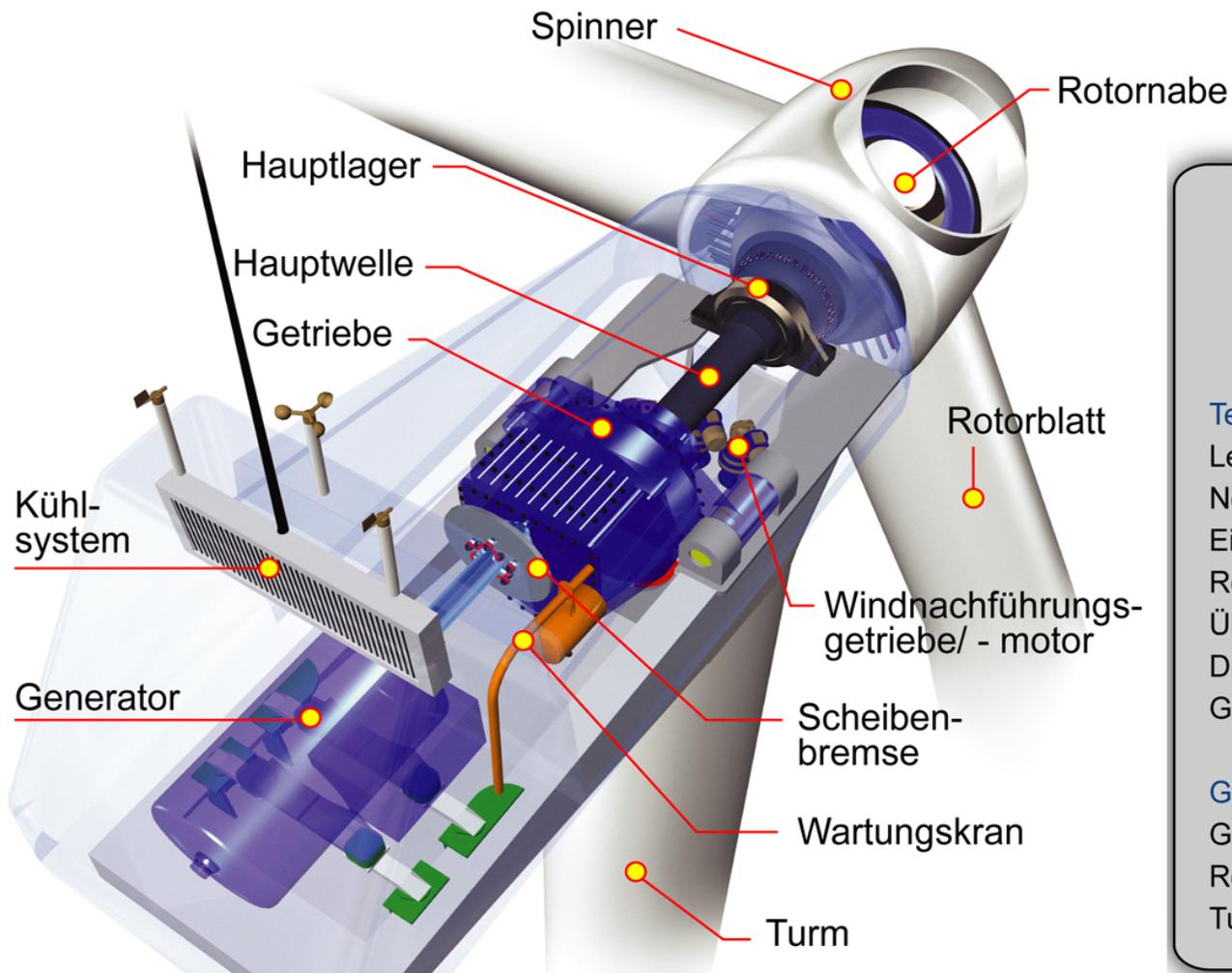


	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2008
Nennleistung	: 30 kW	80 kW	250 kW	600 kW	1.500 kW	3.000 kW	6.000 kW
Rotordurchmesser	: 15 m	20 m	30 m	46 m	70 m	90 m	126 m
Nabenhöhe	: 30 m	40 m	50 m	78 m	100 m	105 m	135 m
Jahresenergieertrag	: 35.000 kWh	95.000 kWh	400.000 kWh	1.250.000 kWh	3.500.000 kWh	6.900.000 kWh	ca. 20.000.000 kWh



EIFER

Gondel mit Getriebe



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

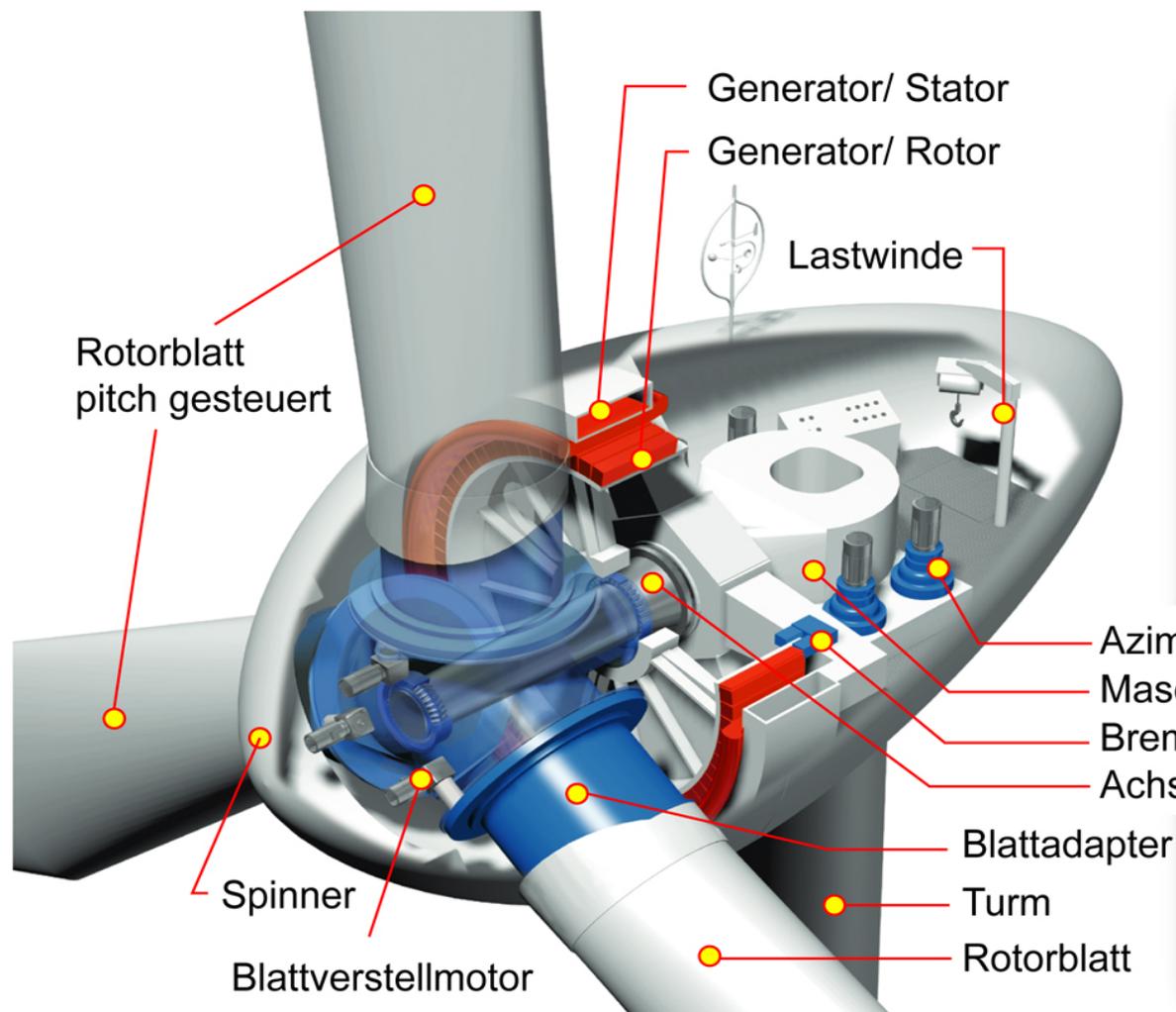
Gewicht

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



EIFER

Gondel getriebelos



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



Multimegawatt



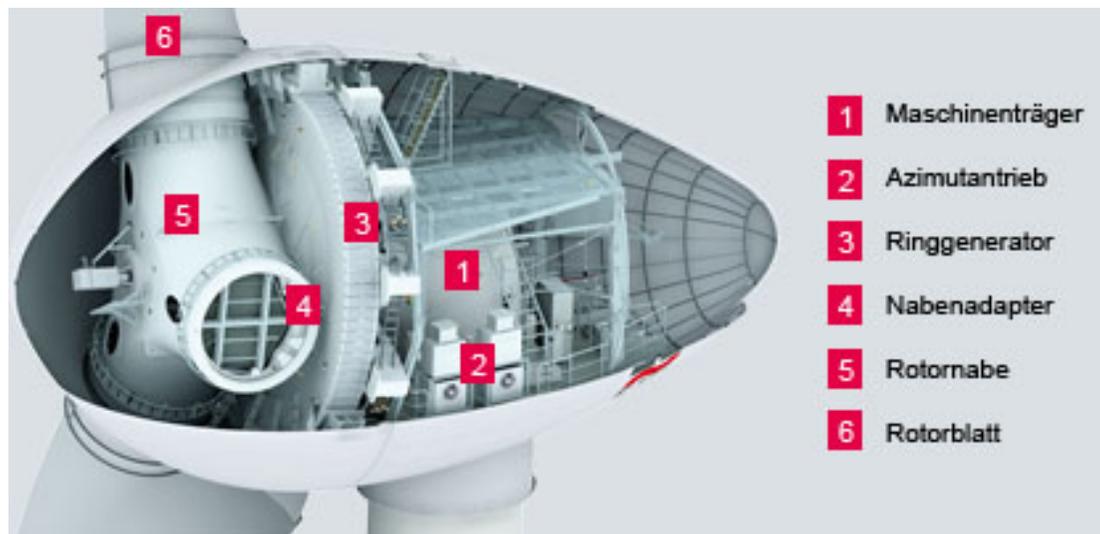
Typ	Enercon E-126	Repower 5M	Multibrid M5000	Bard VM
Leistung	6 MW	5 MW	5 MW	5 MW
Rotor durchmesser	126 m	126 m	126 m	122 m
Nabenhöhe	135 m	120 m	102,6 m	99 m



Enercon E126

7.580 kW

Nennleistung:	7.580 kW
Rotordurchmesser:	127 m
Nabenhöhe:	135 m
Windzone (DiBt):	WZ III
Windklasse (IEC):	IEC/NVN IA
Anlagenkonzept:	getriebelos, variable Drehzahl, Einzelblattverstellung
Rotor	
Typ:	Luvläufer mit aktiver Blattverstellung
Drehrichtung:	Uhrzeigersinn
Blattanzahl:	3
Überstrichene Fläche:	12.668 m ²
Blattmaterial:	GFK (Epoxidharz) / GFK; GFK (Epoxidharz) / Stahl, integrierter Blitzschutz
Drehzahl:	variabel, 5 – 11,7 U/min
Blattverstellung:	ENERCON Einzelblattverstellungssystem, je Rotorblatt ein autarkes Stellsystem mit zugeordneter Notversorgung
Antriebsstrang mit Generator	
Hauptlager:	einreihiges Kegelrollenlager
Generator:	direktgetriebener ENERCON Ringgenerator
Netzinspeisung:	ENERCON Wechselrichter
Bremssysteme:	3 autarke Blattverstellungssysteme mit Notversorgung, Rotorhaltebremse
Windnachführung:	aktiv über Stellgetriebe, lastabhängige Dämpfung
Abschaltgeschwindigkeit	28 - 34 m/s (mit ENERCON Sturmregelung)
Fernüberwachung	ENERCON SCADA



Gründung :

64 Pfähle à 25 m x 0,56 m
 1.500 m³ Beton
 180 t Bewehrungsstahl





EIFER

Enercon E126 (Emden)

7.580 kW





EIFER

Enercon E126 (Emden)

7.580 kW





EIFER

Enercon E126 (Emden)

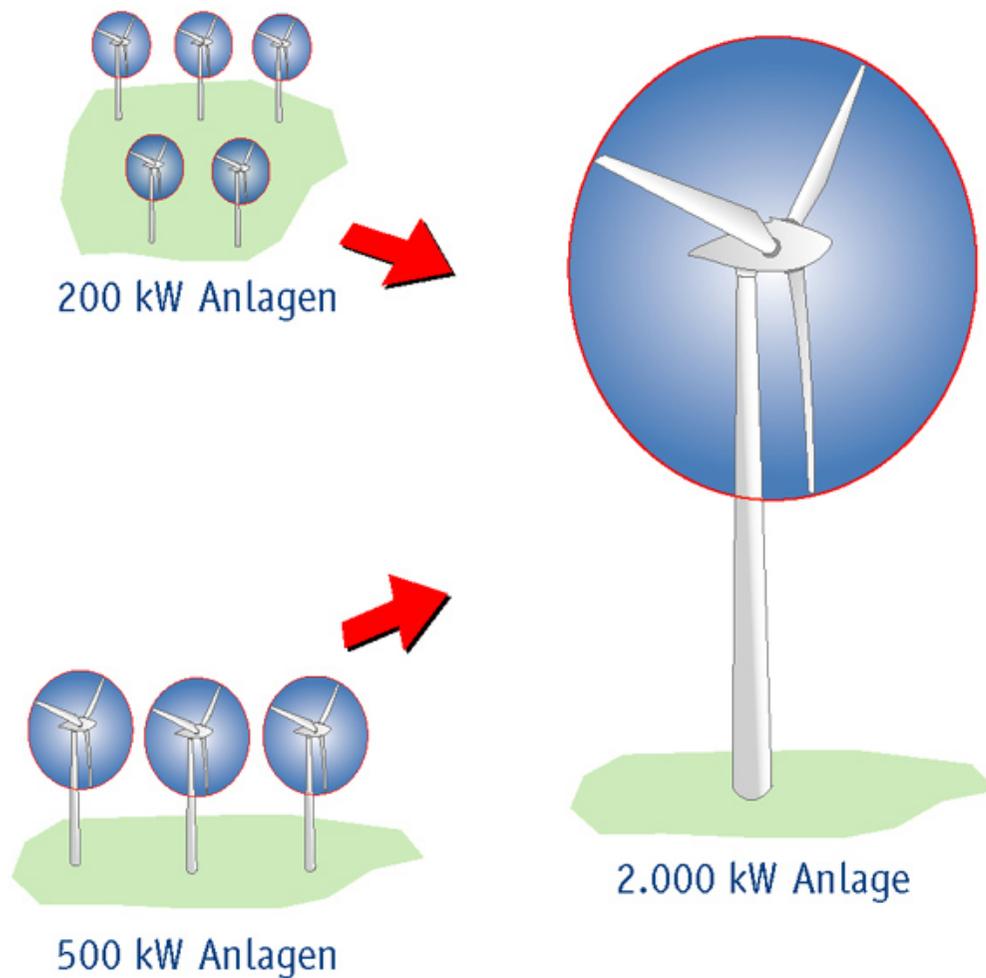
7.580 kW





EIFER

Repowering



Standortoptimierung durch Anlagenerneuerung

- Mindestens eine Halbierung der Anlagenzahl
- Verdopplung bis Verdreifachung der Leistung
- Verdreifachung bis Vervielfachung der Stromerträge

Vorher
Windpark Bassens
(Niedersachsen)



Nachher





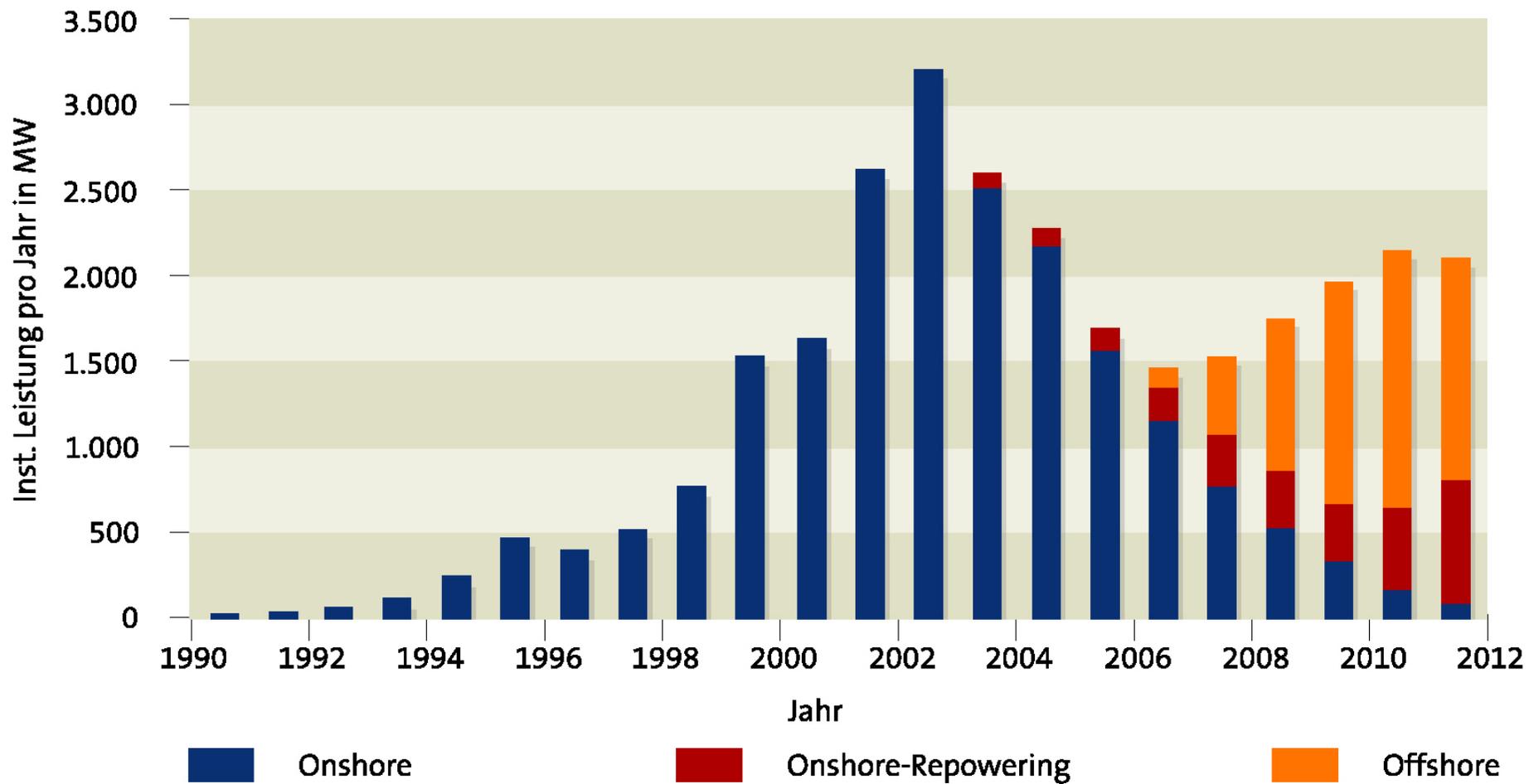
EIFER

Offshore



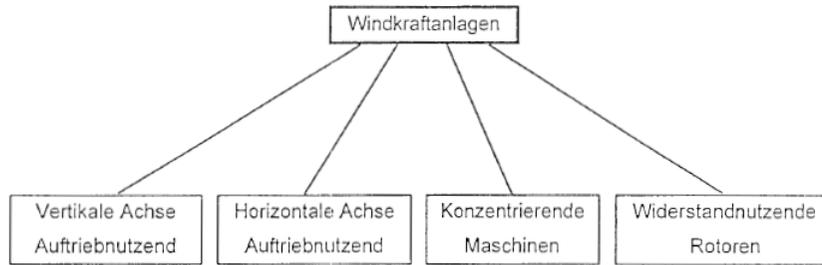


Weitere Entwicklung ?

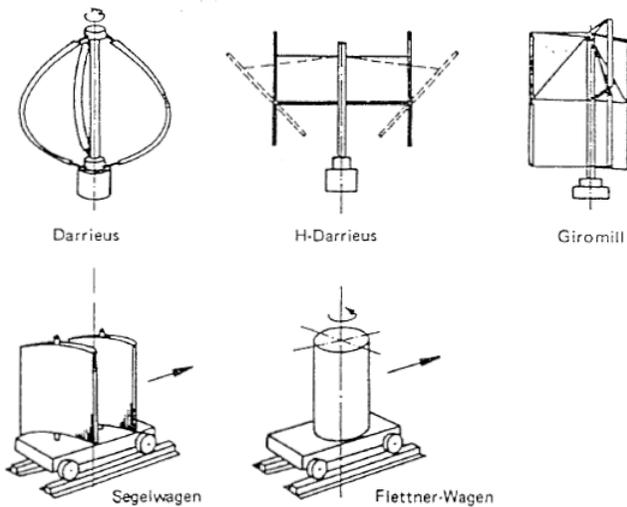




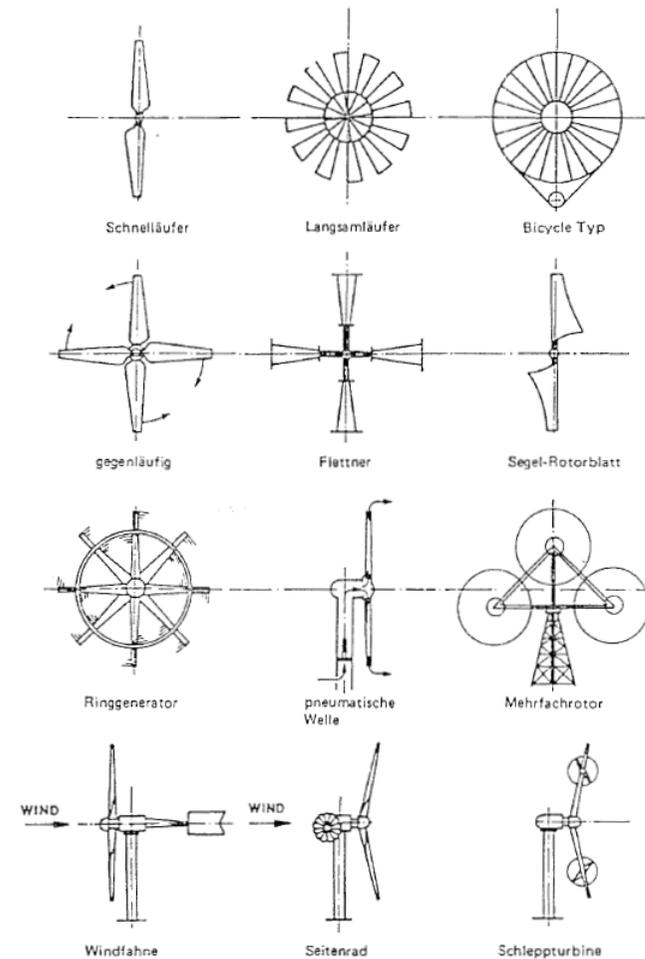
Bauformen (Skript)



Vertikale Achse, Auftriebnutzend:



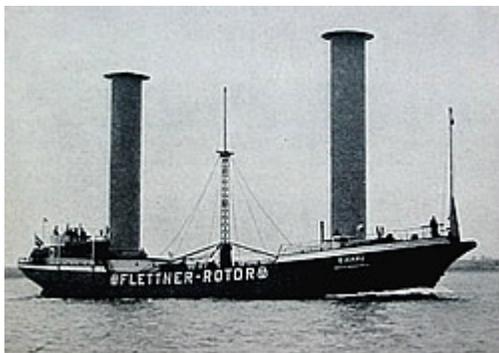
Horizontale Achse, Auftriebnutzend:



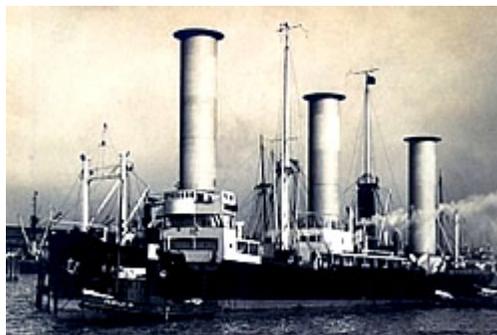


EIFER

Flettner's Visionen und Realitäten



Buckau



Barbara



Enercon E-Ship



Baden-Baden



Acyone

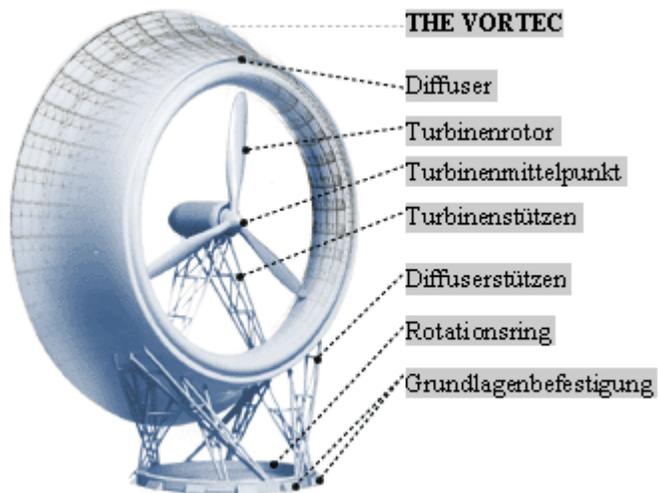


Thom-Rotorshiff



EIFER

Vortec Diffusors



- 54-66 m
- 3,5 – 5 MW
- ... Pleite

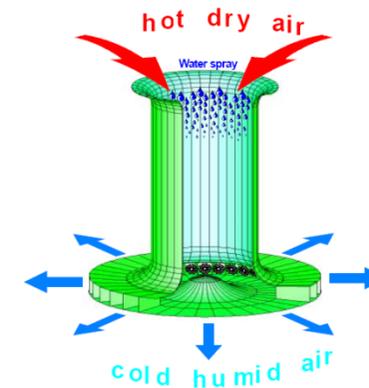
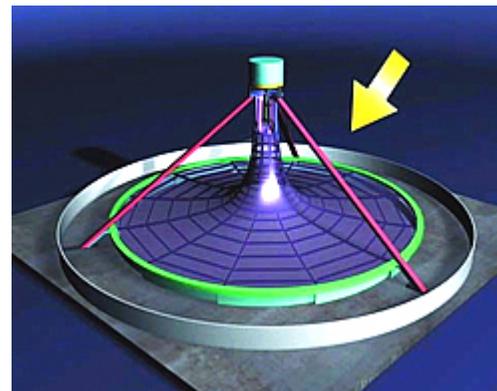




EIFER

Aufwind oder Abwind oder Wirbel ?

- 100 kW / 1-2%
- 1980-1989
- 200 m Höhe
- Ø 10 m
- 45.000 m² Ø 250m
- 1,2 km Höhe
- Ø 400 m
- Bis zu 900 MW
- ? Pumpen
- ? Salz





EIFER

Visionen und Realität !



- Bahrain WTC
- 2007
- 3 Rotoren
- 1,2 MW total
- 11-15 %



EDF
KIT



EIFER

Chinesische Visionen MagLev versus Kanadische Realitäten MagWind



- Vision 1 GW
- Versuch zwischen 300W - 20kW
- Realität 1,1 kW
– MagWind Kanada





Darrieus Visionen und Realitäten



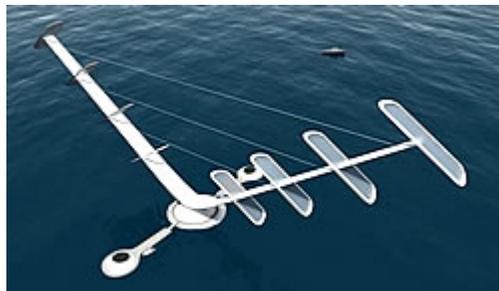
Quiet-Revolution /GB



Wind Sail / USA



WindWall / NL



Aerogenerator 9MW / 2011



Savonius / Russia

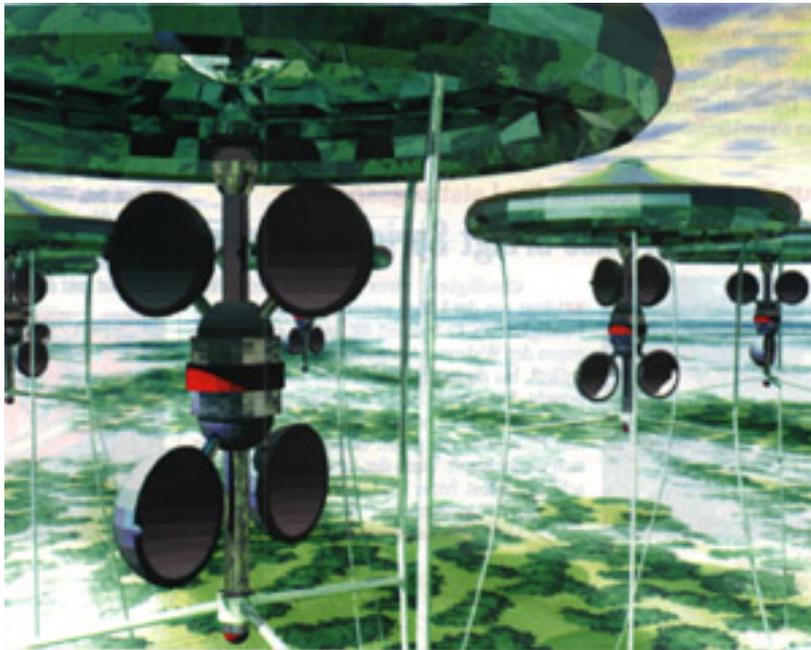


GB / ES – Las Palmas



EIFER

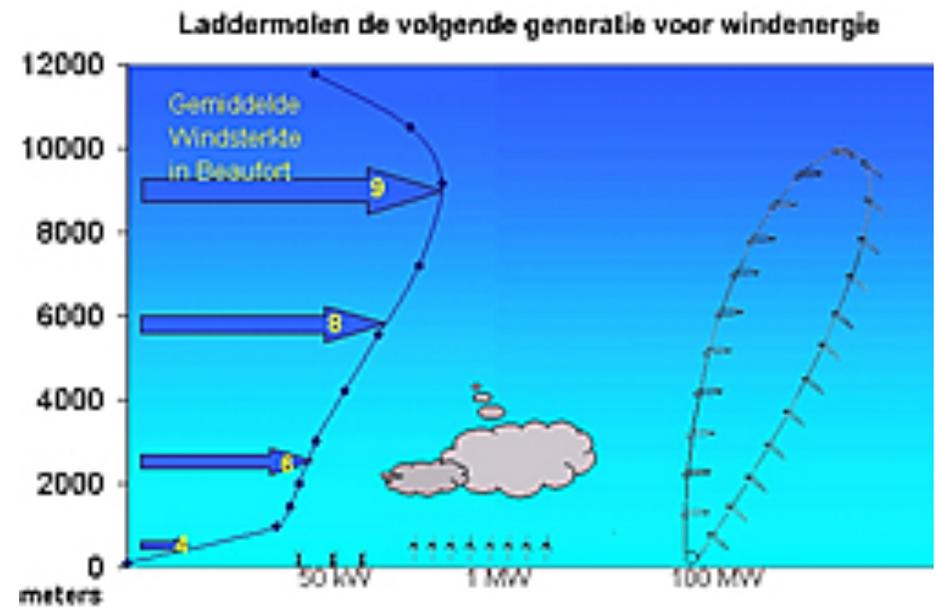
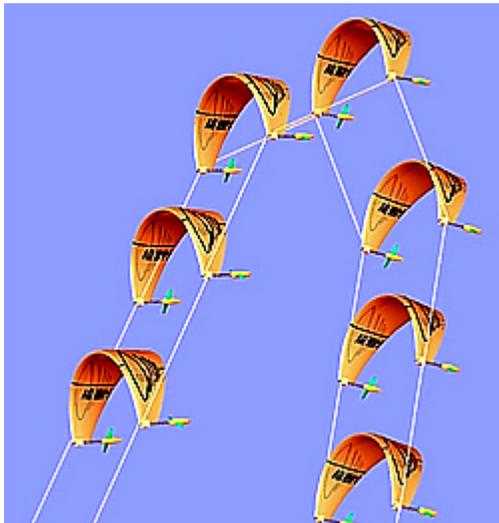
Visionen von Herbert Beuermann





EIFER

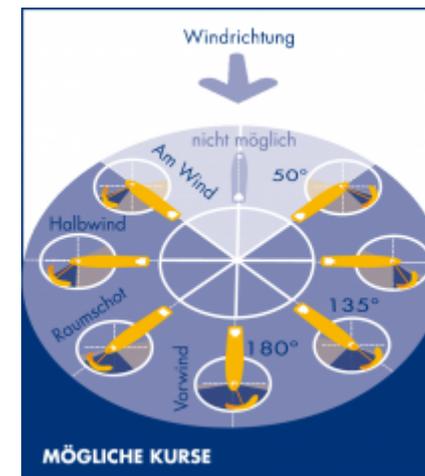
Visionen im Jetstream und mit einer Leiter





EIFER

Sky Sail



Reederei Wessel – Frachter (3)
Parlevliet & Van der Plas B.V. (1)
8-16 t Zugkraft (32 2011)
10% - 35% - 50% Reduktion



EIFER

Maltese Falcon

