

ENERCON GmbH
Dipl.-Ing. Andreas Düser

Die technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Rückblick auf die letzten 10 Jahre und Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen

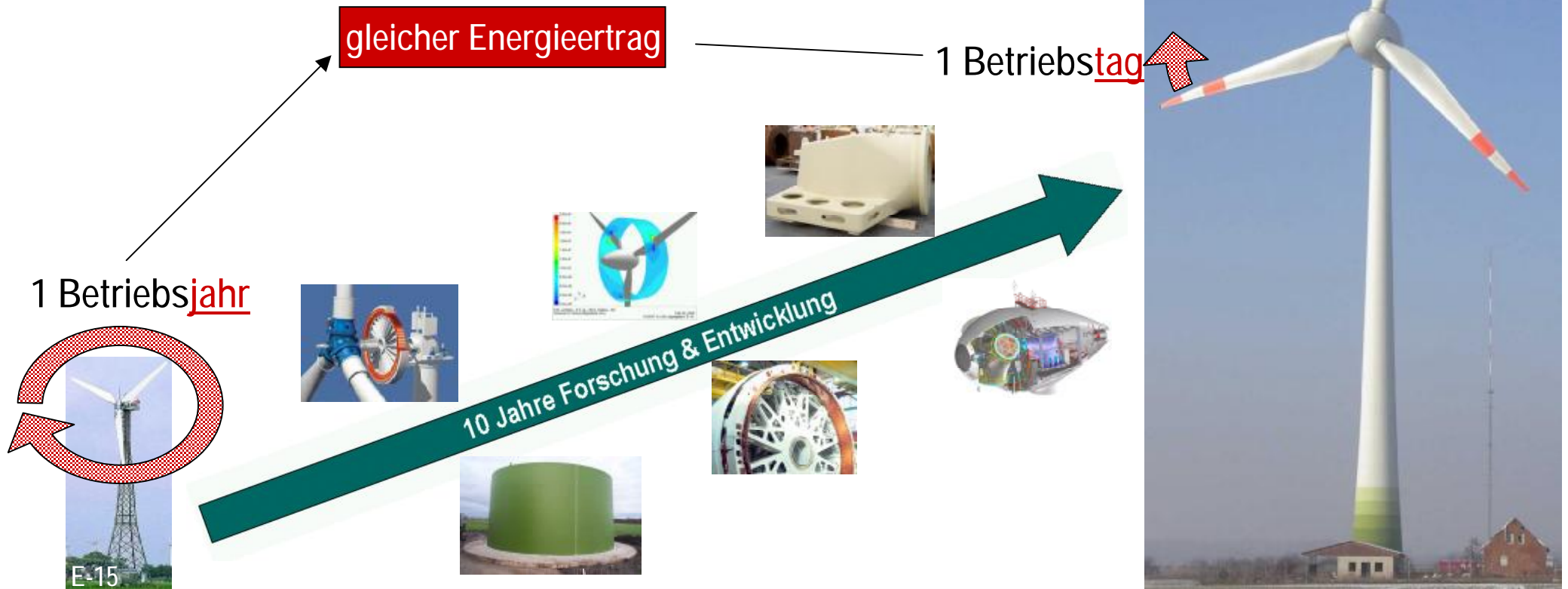
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Maschinenleistung



1. Entwicklung der Anlagentechnik
2. Entwicklung der Nabenhöhe
3. Forschung & Entwicklung für die Windenergie
4. Integration der Windleitung in das vorhandene Netz
5. Wirtschaftlichkeit der Windenergie

Technischer Fortschritt der letzten 10 Jahre



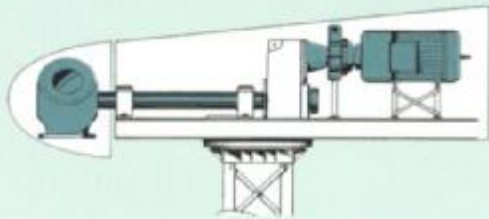
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



'85

E-15
55 kW

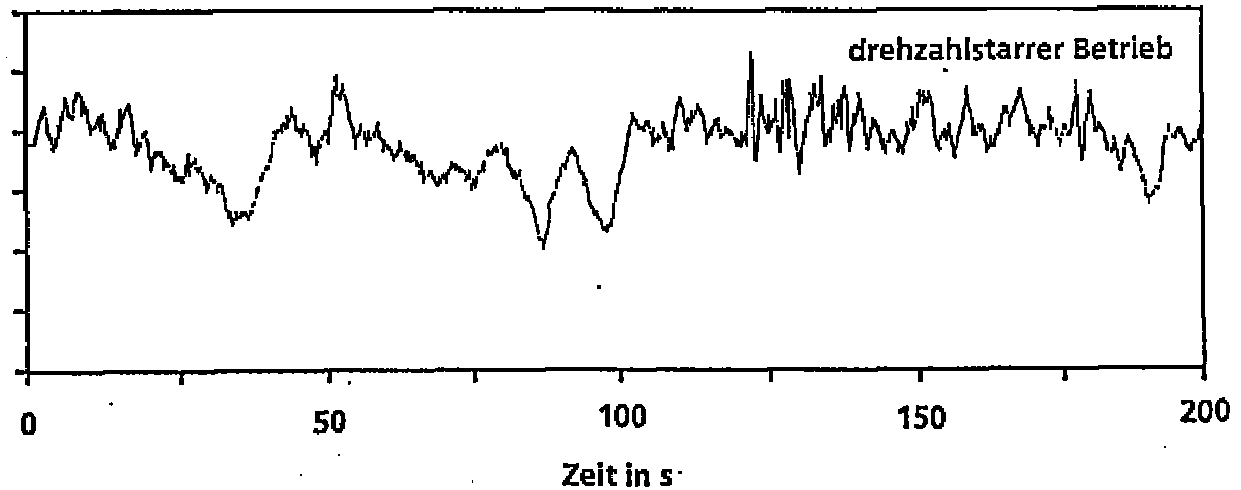
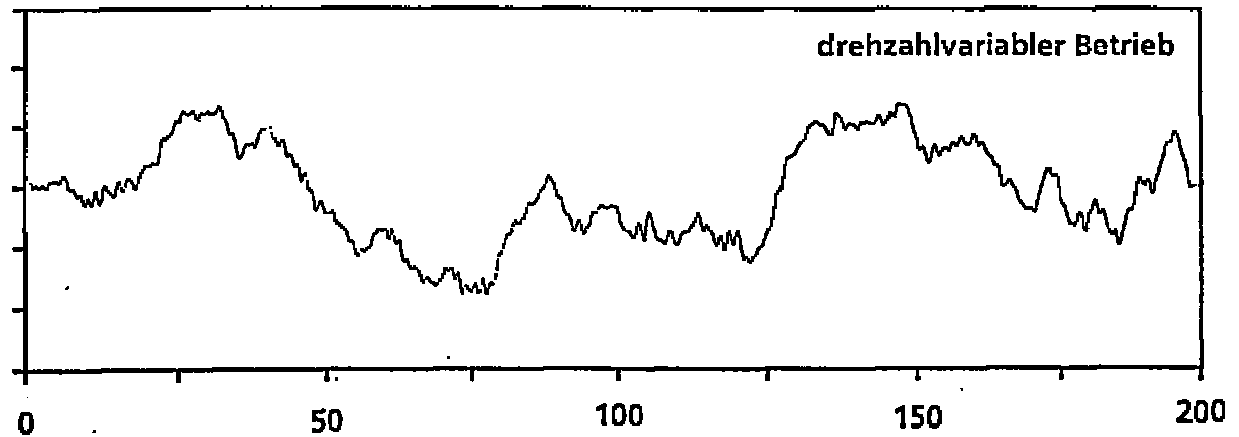


~ Variablen Drehzahl

~ 1985 - 1989: 46 Stück



Torsionsmoment in kNm



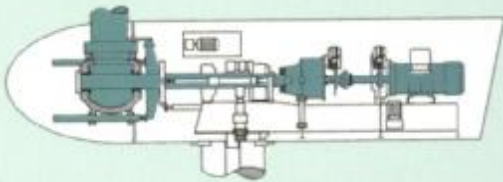
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



'89

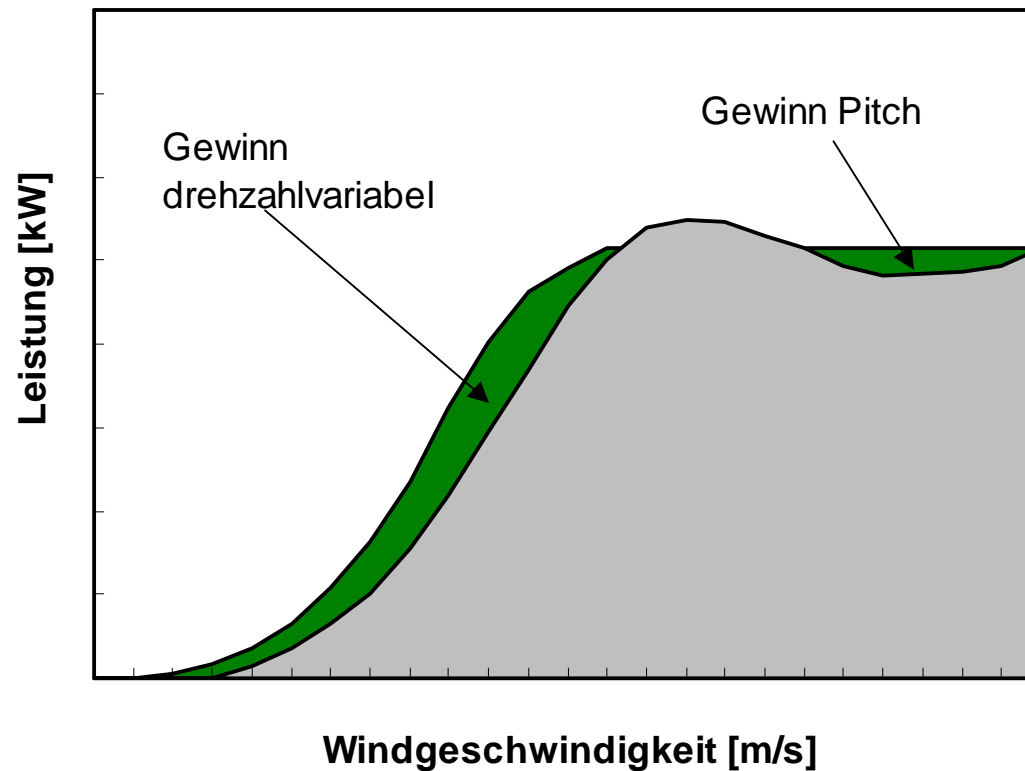
E-32
300 kW



- ~ Variable Drehzahl
- ~ Variable Rotorblattverstellung (Pitch)
- ~ 1989- 1993: 186 Stück



Vergleich Pitch/Drehzahlvariabel – Stall/Drehzahlstarr

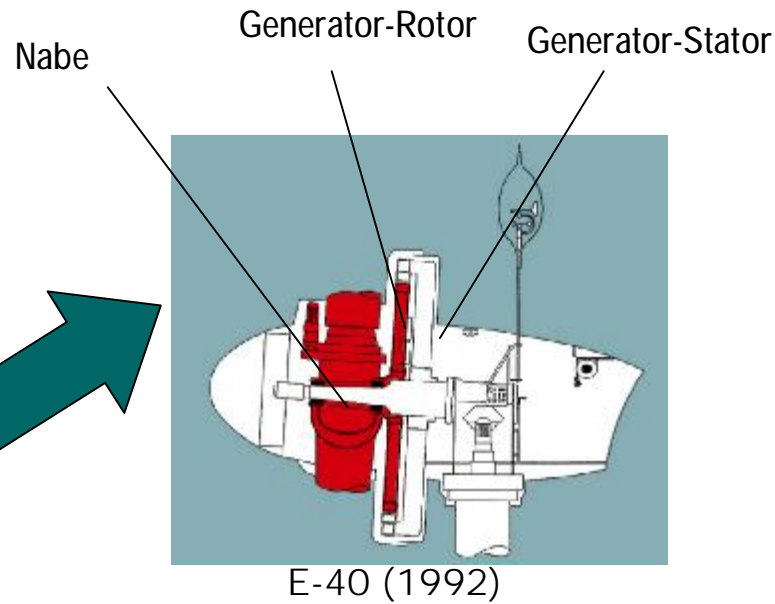
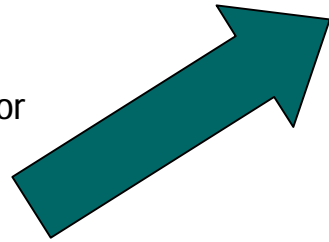
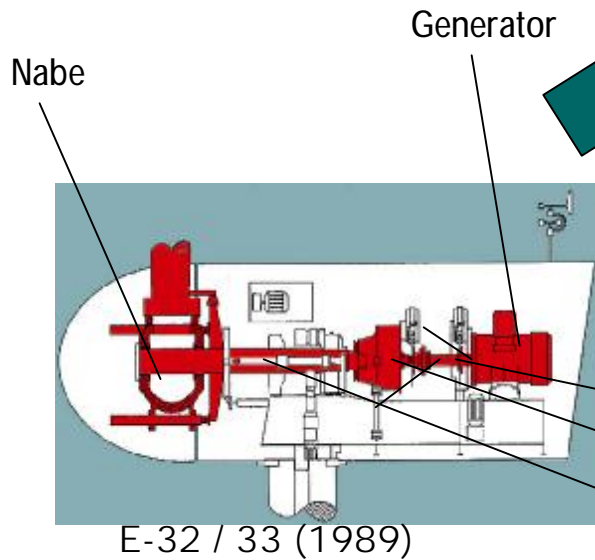


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



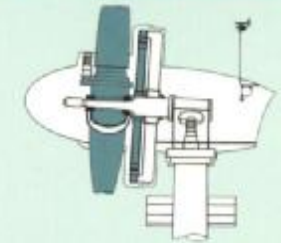
Verzicht auf Getriebe



Bremsen
Getriebe
Wellen

Einsparung kostspieliger und schadensanfälliger Komponenten

'92 E-40
500 - 600 kW



- ~ Variable Drehzahl
- ~ Variable Rotorblattverstellung (Pitch)
- ~ Getriebefrei
- ~ Seit 1992: > 3.802 Stück



Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



Verzicht auf Getriebe



Verzicht auf das Getriebe verringert:

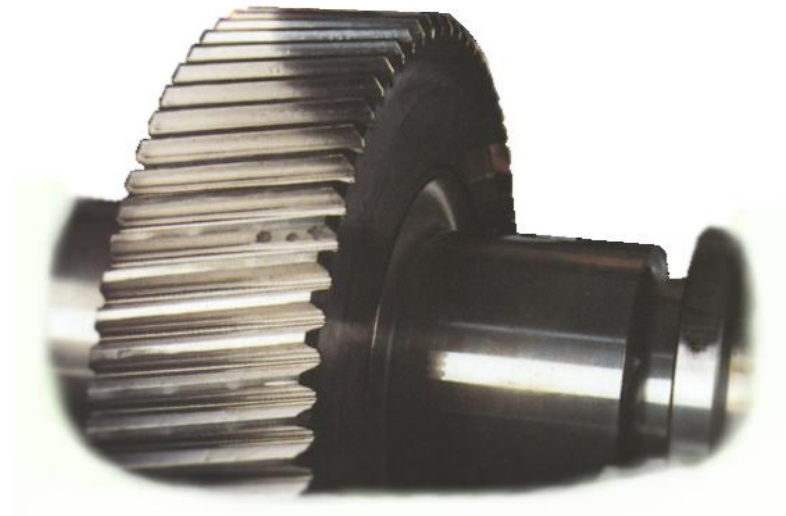
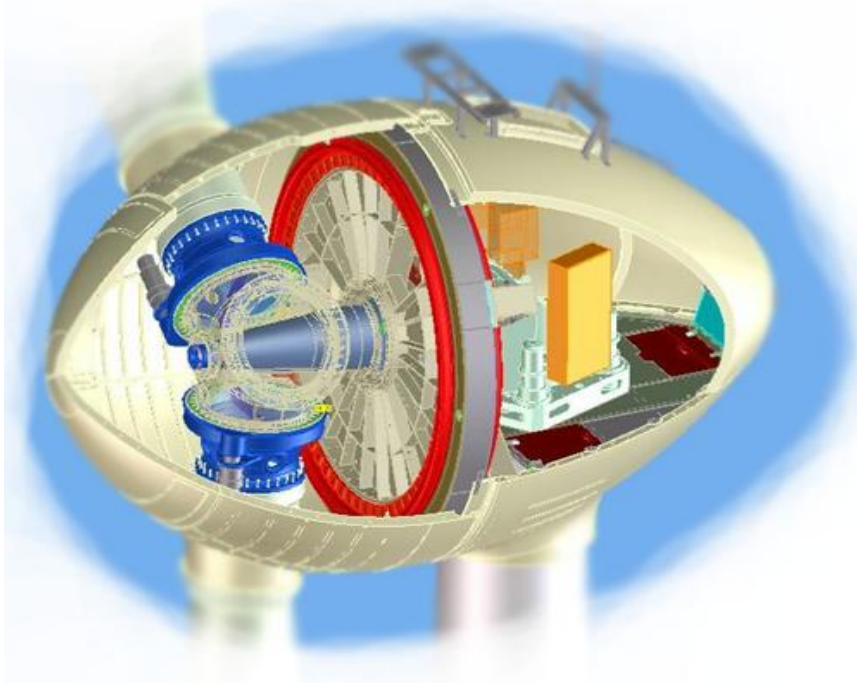
- die Energieverluste zwischen Rotor und Generator
- die Geräuschemission
- den mechanischen Verschleiß
- Ölverluste
- mechanische Reibungsverluste

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



Die Summe aller Umdrehungen
einer getriebelosen Anlage
in **10 Jahren...**



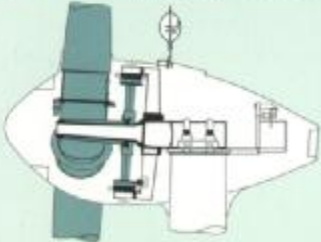
... macht das Getriebe / Generator
einer herkömmlichen Anlage
in nur **30 Tagen!**

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



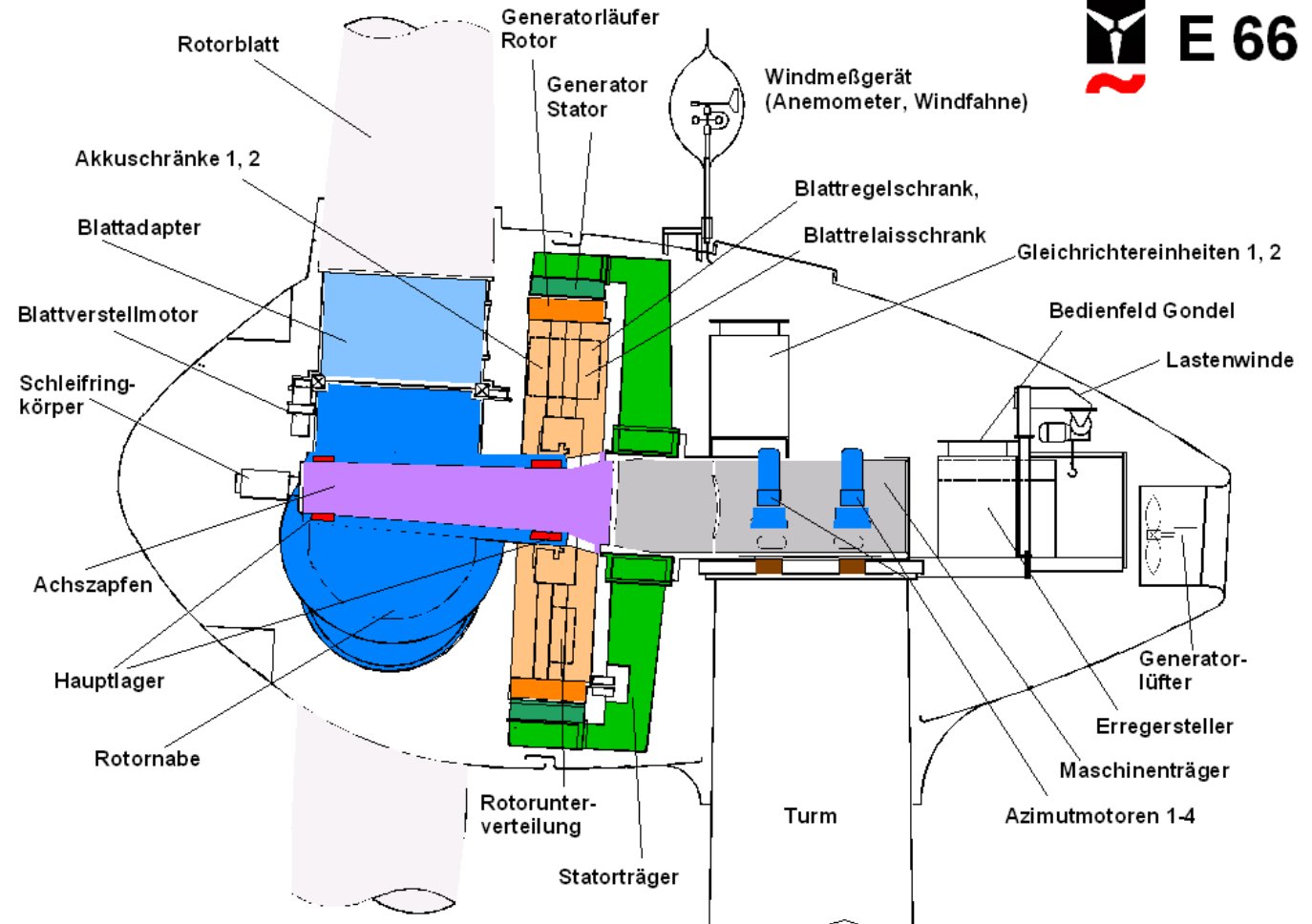
'95 E-66
1.500 - 1.800 kW



- ~ Variable Drehzahl
- ~ Variable Rotorblattverstellung (Pitch)
- ~ Getriebefrei
- ~ Seit 1995: >1.965 Stück



E-66/18.70 Gondelschnittskizze



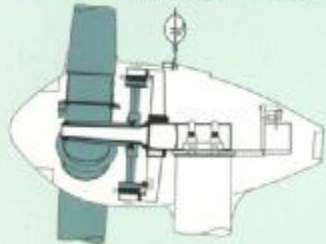
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



'02

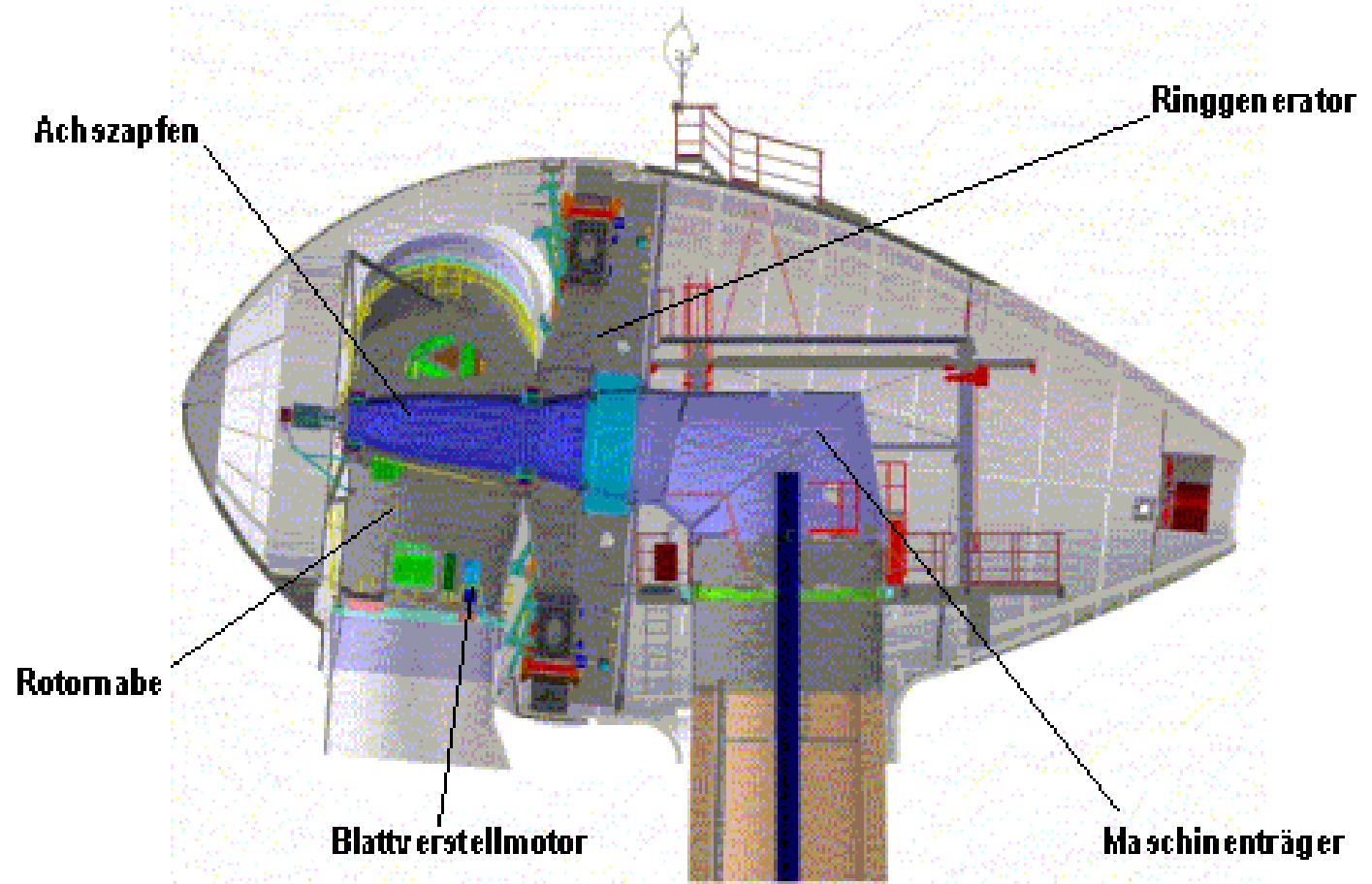
E-112
4.500 kW



- ~ Variable Drehzahl
- ~ Variable Rotorblattverstellung (Pitch)
- ~ Getriebefrei

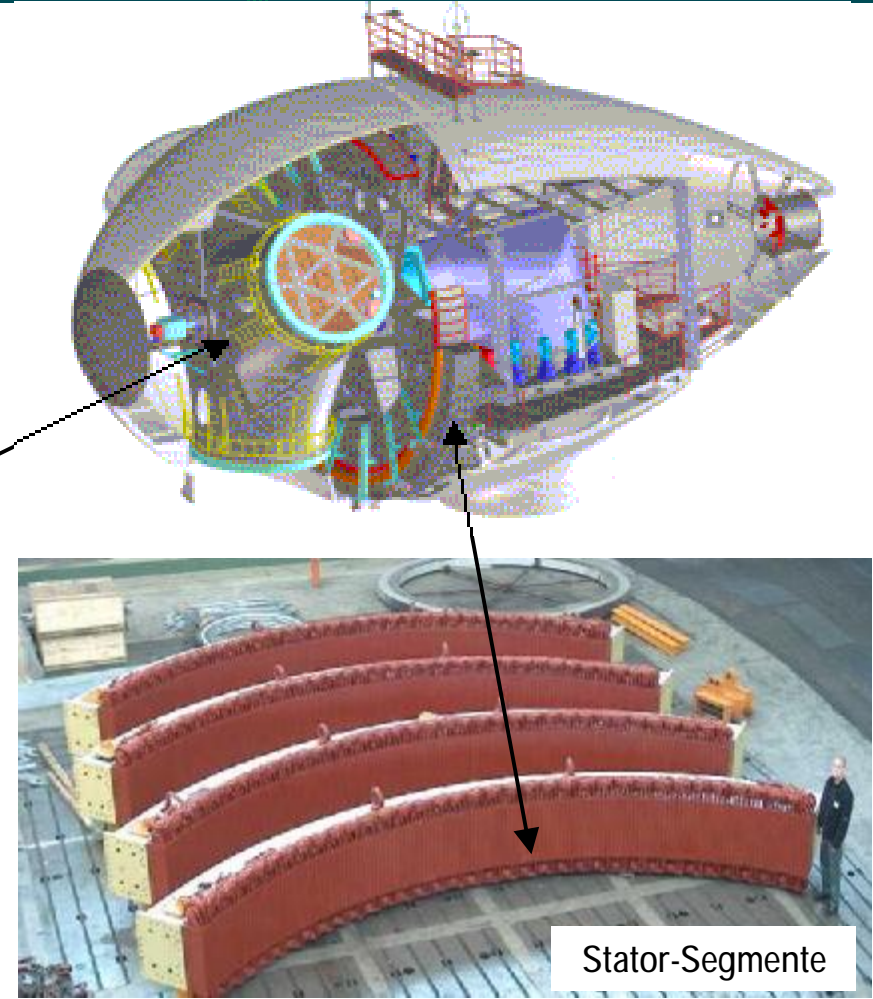


E-112 Gondelschnittskizze



Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik

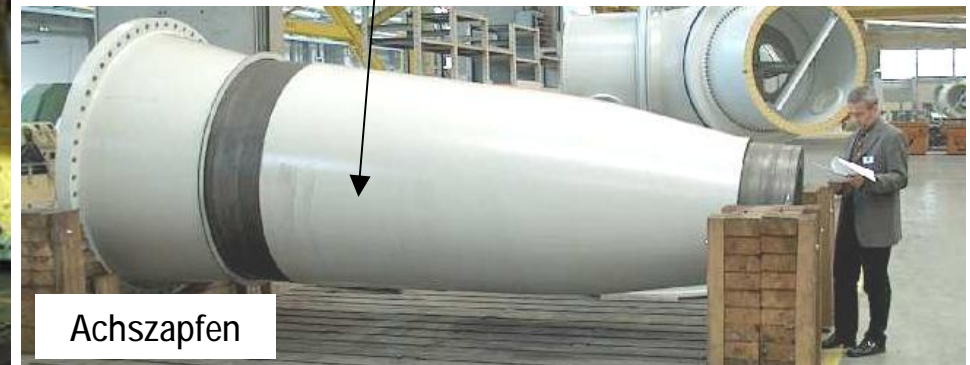
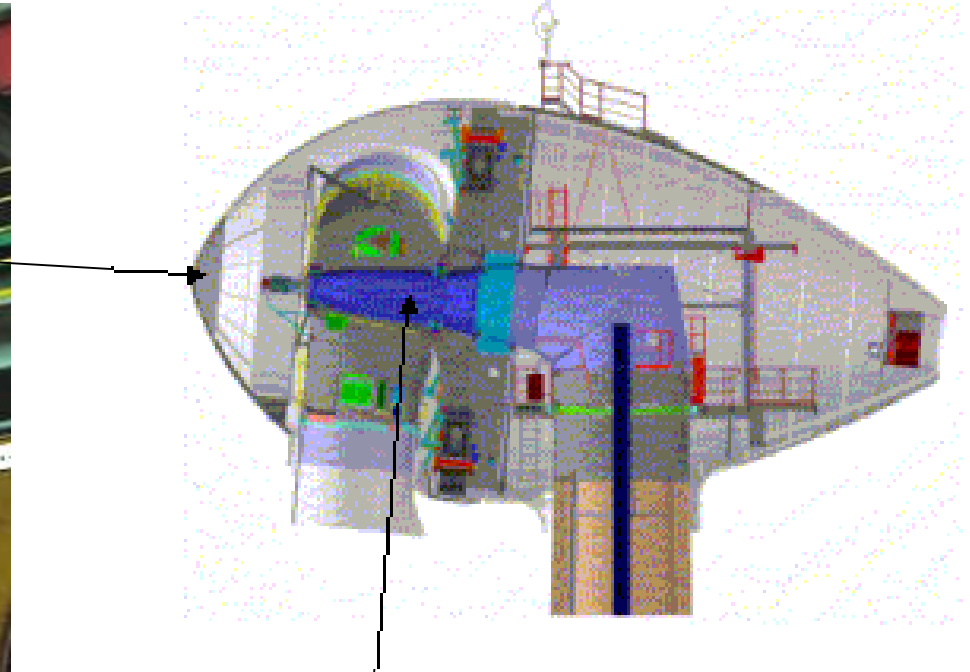


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



GFK-Nabenabdeckung



Achszapfen

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Anlagentechnik



Ursprüngliches Konzept...



Oerlikon, 1891

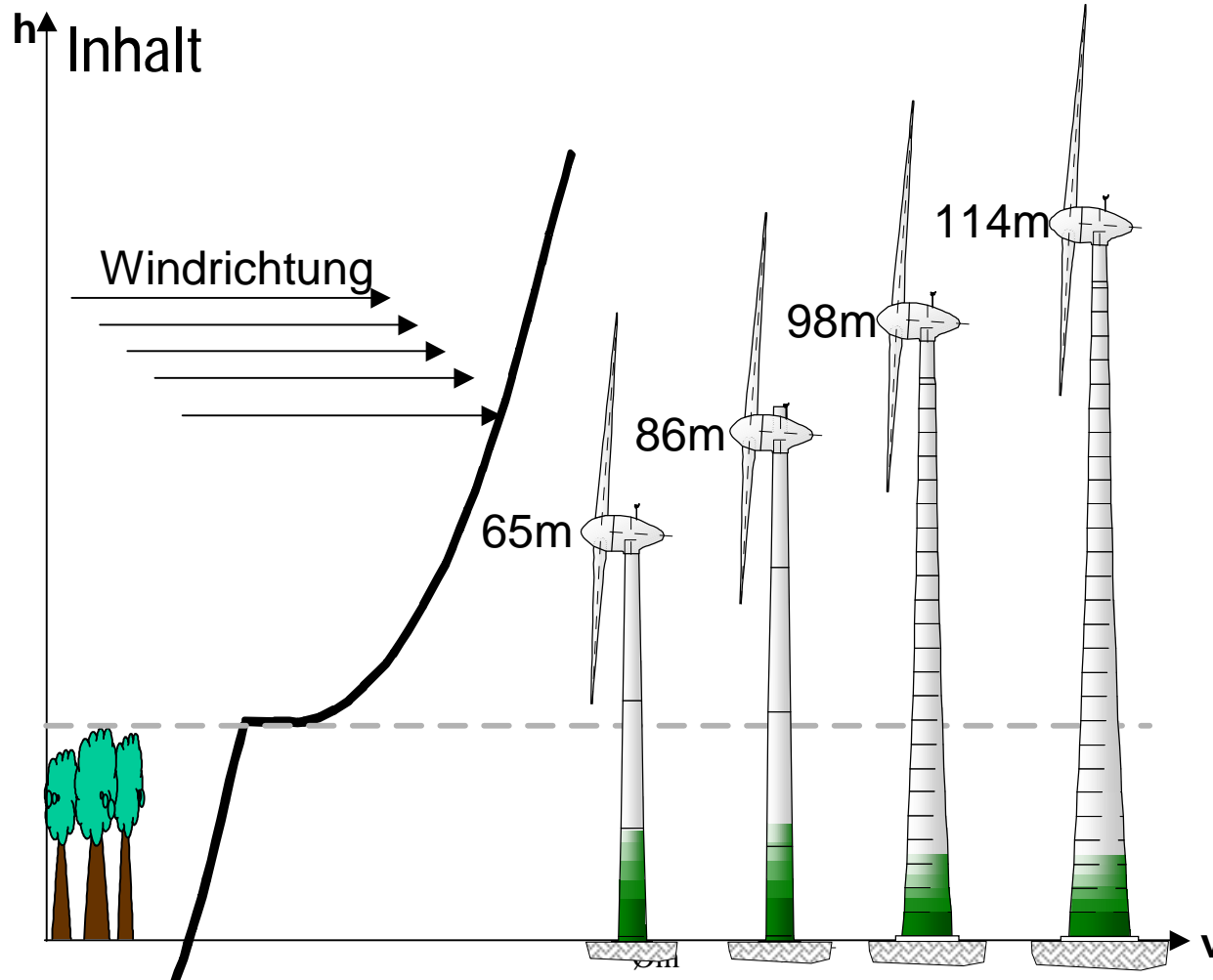
Enercon, 2002



...aufgegriffen für heutige Weiterentwicklung

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Nabhöhe



Darstellung:
Vertikales Windprofil /
Anlagenauswahl

Vorteile hoher Nabhöhen:

geringe Scherung:

-> weniger Belastungen

höherer Ertrag:

-> je Meter ca. 1% Steigerung

-> bis zu 50% mehr aus der Fläche

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \times c_p$$

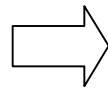
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Nabhöhe

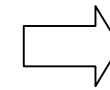


Stahlrohrturm

Transporthöhe begrenzt auf 4,30 m



sehr hoher Transport- und Produktionsaufwand für breite Turmdurchmesser



Stahlrohrturm für große Nabhöhen kostspielig



Unterstes Segment mit Tür



Stahlsegmente beim Transport

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Entwicklung der Nabenhöhe



Betonturmbau mit Gleitschalung



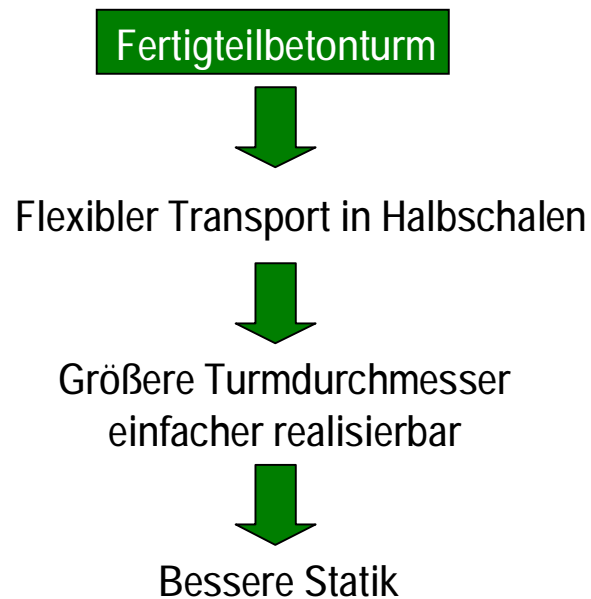
- Nutzung des Know-Hows aus dem Bau von Fernsehtürmen
- Zulieferindustrie bereits vorhanden
- flexibler Transport
- größere Turmhöhen realisierbar
- für Prototypen eingesetzt

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Entwicklung des Fertigteilbetonturms für große Nabenhöhen



Fertigteilbetonturm in der Produktion...



23 Segmente unterschiedlicher Schalungen werden zur Herstellung des 98m-Turmes eingesetzt

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Einsatz des Fertigteilbetonturms für große Nabenhöhen

...Transport in Halbschalen...



...Zusammensetzung der Segmente...



...Aufsatz weiterer Segmente.



Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Überprüfung der Schwingfestigkeit von Gussteilen in Zusammenarbeit mit Fraunhofer Institut



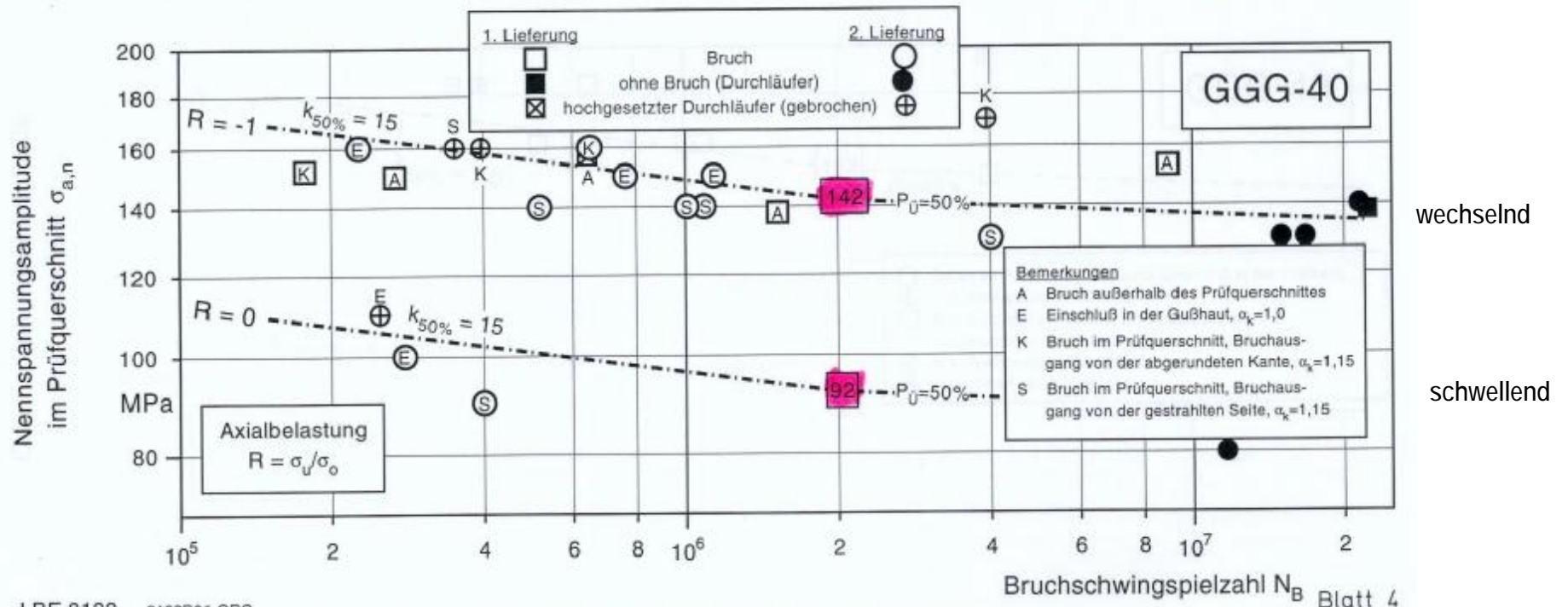
Abb.: Bauteilentnommene Probe mit unbearbeiteter Oberfläche

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Schwingfestigkeit von bauteilentnommenen Proben aus GGG-40 mit unbearbeiteter Oberfläche



LBF 8132 8132D01.ORG

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

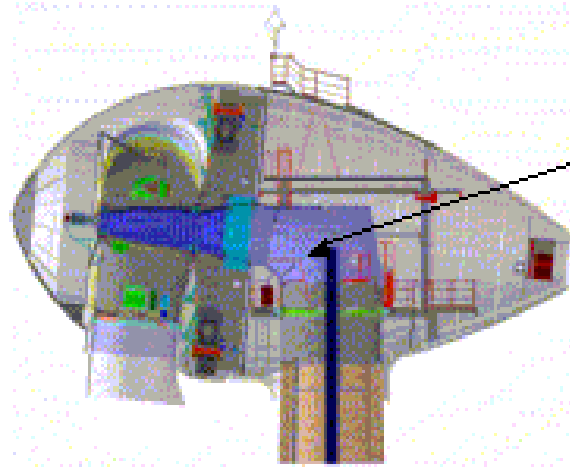
Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Maschinenträger aus Stahl →
• hohes Gewicht
• Produktion ohne Qualitäts-
einbußen aufwendig durch:

Schweißnähte

...wird
ersetzt
durch...



Maschinenträger aus Gusseisen →
• Gewichtsersparnis
• Produktionsaufwand
relativ gering



Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Kernkästen Maschinenträger



Kernkasten Draufsicht

Maschinenträger der E-112: Modellbau in einer Gießerei



Maschinenträger als Rohguss

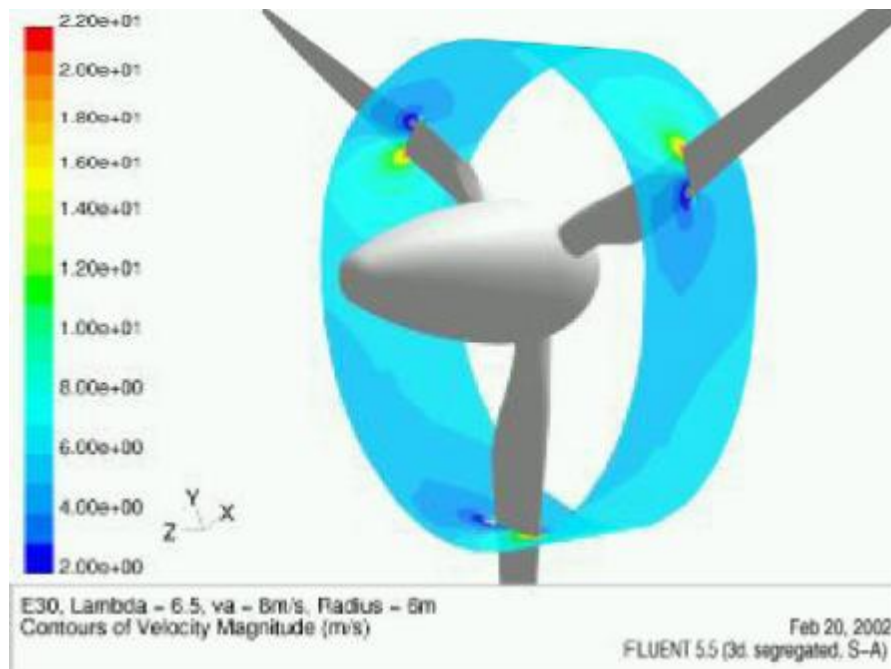


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Aerodynamik der Rotorblätter



Früher: Nachahmung der Technik von Flugzeuggleitflächen

Heute Optimierung durch eigene Forschung & Entwicklung gemäß der Vorgaben:

- hoher Wirkungsgrad
- lange Lebensdauer
- geringe Schallemission
- niedrige Lasten
- geringer Materialeinsatz

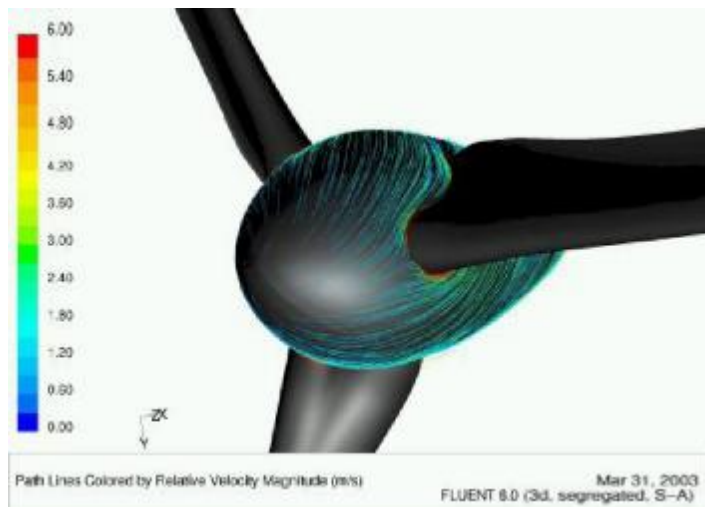
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Forschung & Entwicklung für die Windenergie



Aerodynamik der Rotorblätter

Die ersten Testläufe des neusten ENERCON-Blattprofils haben ergeben:



- Verschlankeung der Blätter führt zur Senkung der Lasten und Schallemissionen und Vereinfachung des Transports

- Höchster je gemessener Wirkungsgrad:

mehr als 50% der Energie des Windes wird in elektrische Energie umgewandelt ($C_p = 0,53$)

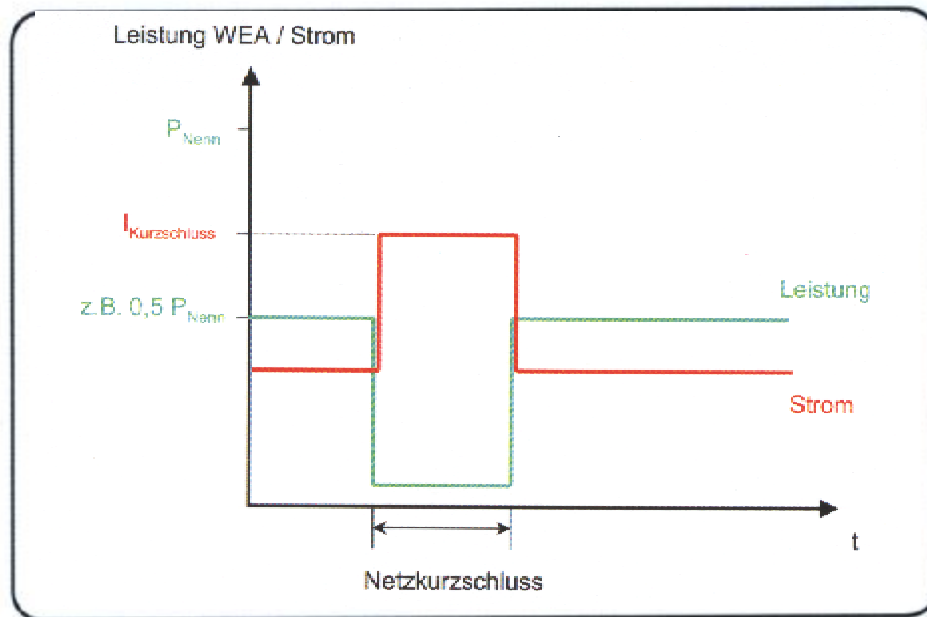


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz

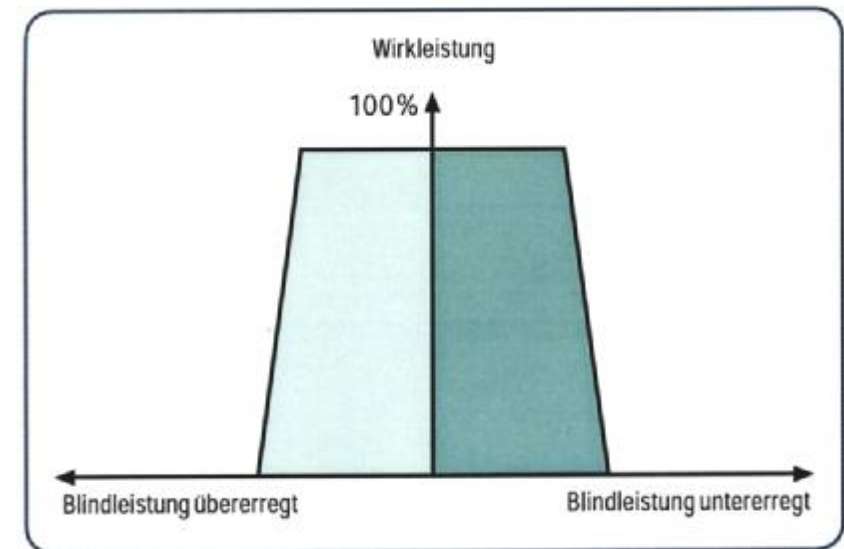


Hohe Netzverträglichkeit durch weiterentwickelte Netzanschlusstechnik



- Überbrückung von Netzfehlern mit Kurzschlussstrom

- Stabilisierung des Stromnetzes durch aktive Steuerung der Blindleistung

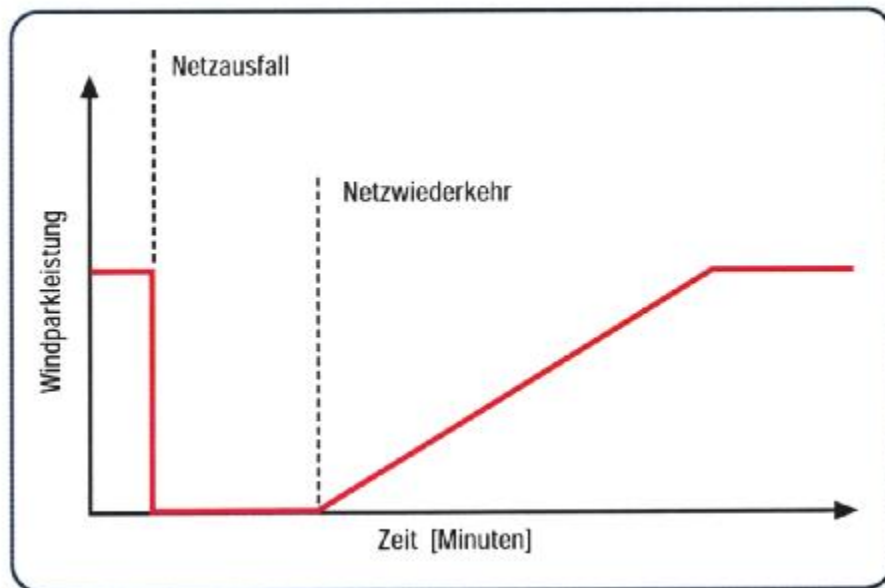


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz

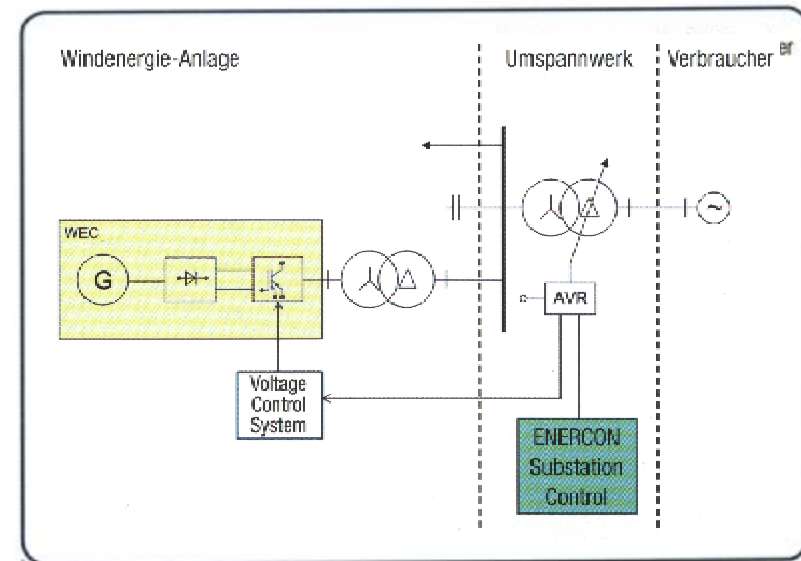


Hohe Netzverträglichkeit durch weiterentwickelte Netzanschlusstechnik



- Kontrollierte Leistungserhöhung beim Anfahren von Windparks

- Spannungsstabilität durch integriertes Spannungskontrollsystem



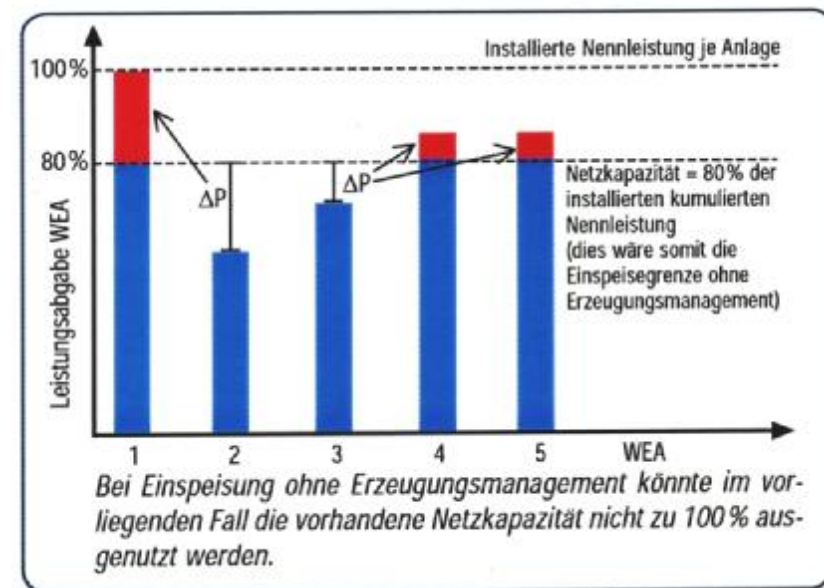
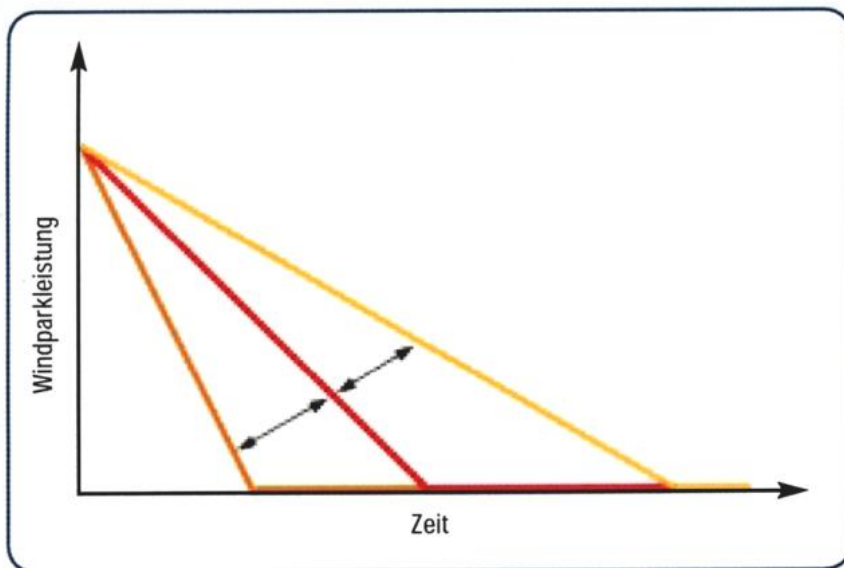
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



Hohe Netzverträglichkeit durch weiterentwickelte Netzanschlusstechnik

- Anpassung der Leistungsabgabe an Netzaufnahmekapazität bei Einzelanlagen...



...und bei Windparks

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



Vorhandene Infrastruktur:

- Zuwegung
- Gleichspannungszwischenkreis
- Wechselrichter
- Trafo
- Fernüberwachung



Für konstante Ausgangsleistung notwendig: **ENERGIESPEICHER**

z.B. Batterien

Superkondensatoren

Schwungrad



Bleibatterie



Nickel-Cadmium Batterie



Ultracaps



ggf. in Verbindung mit Biodieselaggregaten

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



Wind-Diesel-
System Antarktis



Wind-Diesel-Systeme:

- ➔ E-40 in Kombination mit einem Schwungradspeicher in Norwegen (Utsira)
- ➔ Weitere Wind-Diesel-Projekte in Kombination mit Energiespeichern: Antarktis, Australien, Griechenland.
In Planung: Azoren

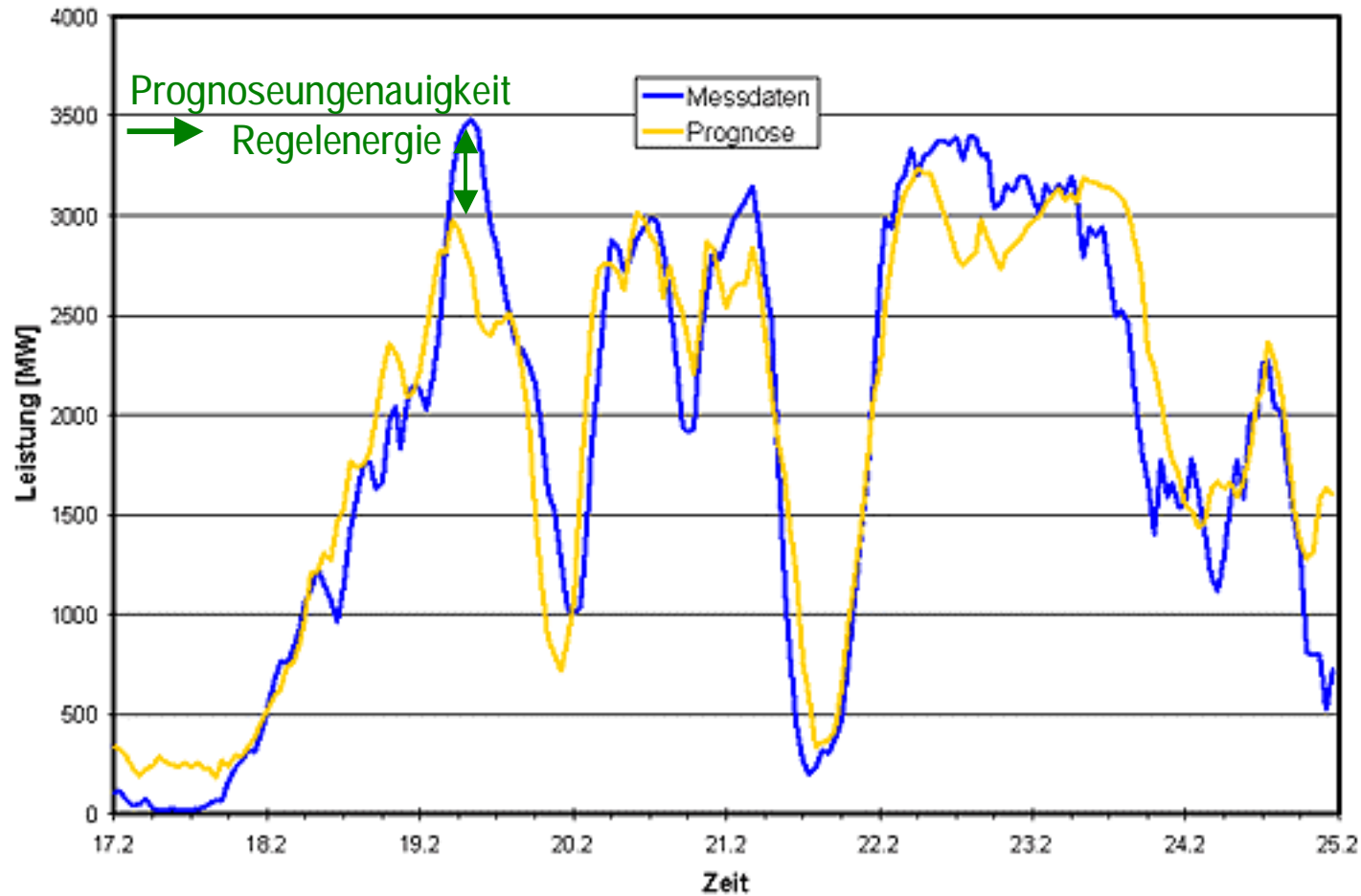


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



Windenergieeinspeisung in das E.ON-Netz: 24h-Prognose über einen Zeitraum von 8 Tagen (Quelle: ISET)

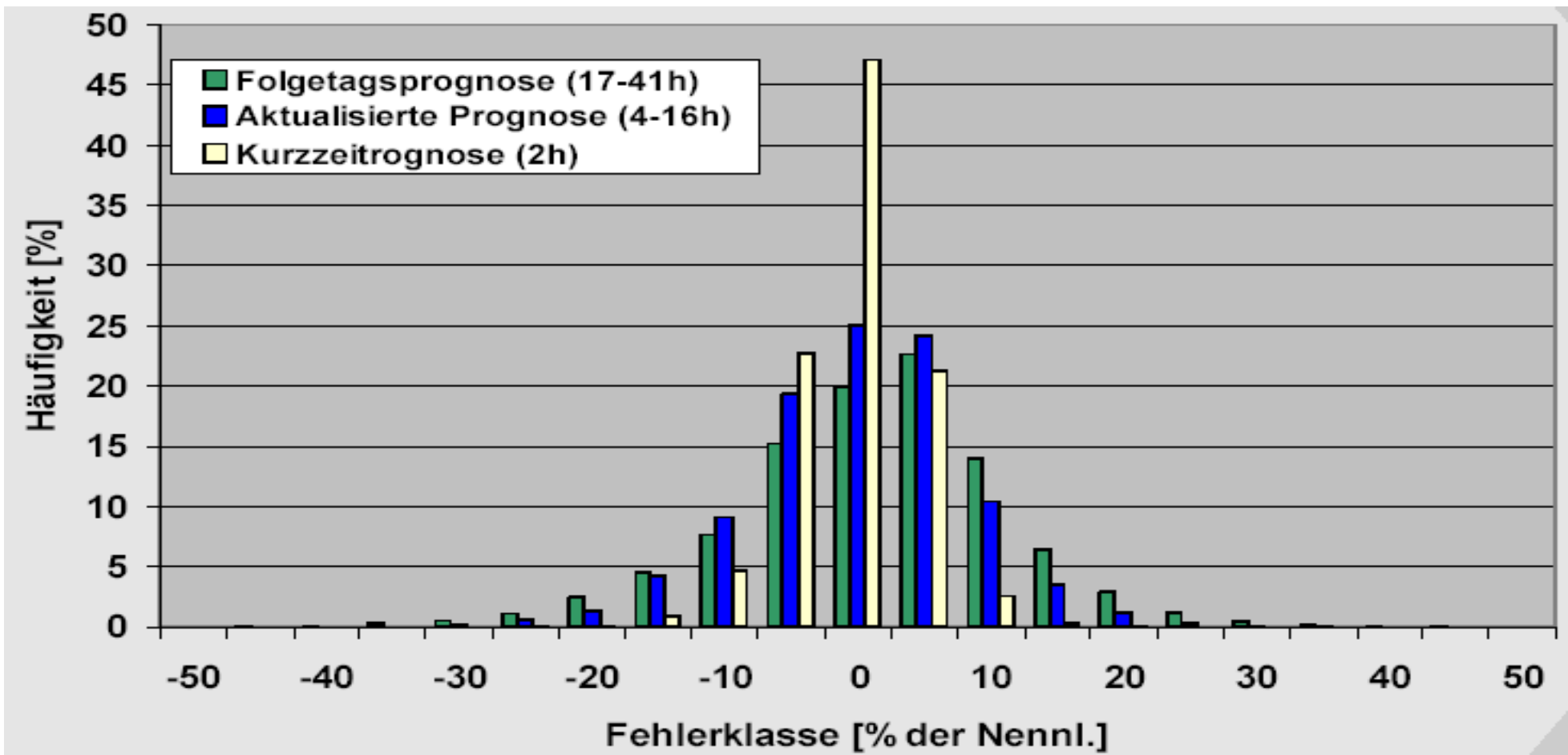


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



Relative Fehlerhäufigkeit der Prognosen (Quelle: ISET)

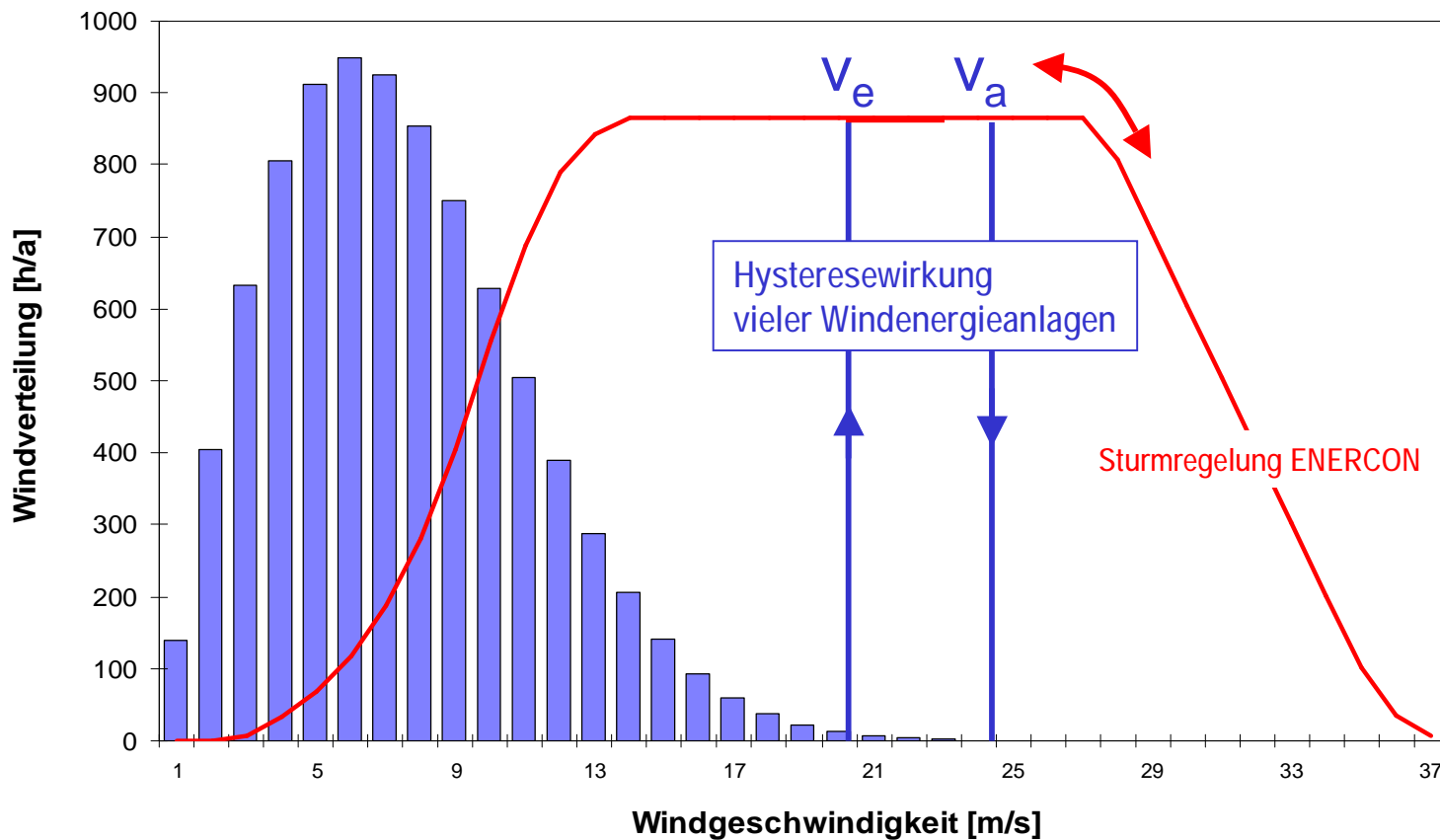


Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

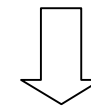
Integration der Windleistung in das vorhandene Netz



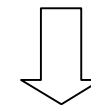
Vergleich: Abschaltverhalten verschiedener Windenergieanlagen



Deutlich günstigere Gradienten bei neuen Enercon-WEA



Keine abrupten Leistungsabfälle mehr



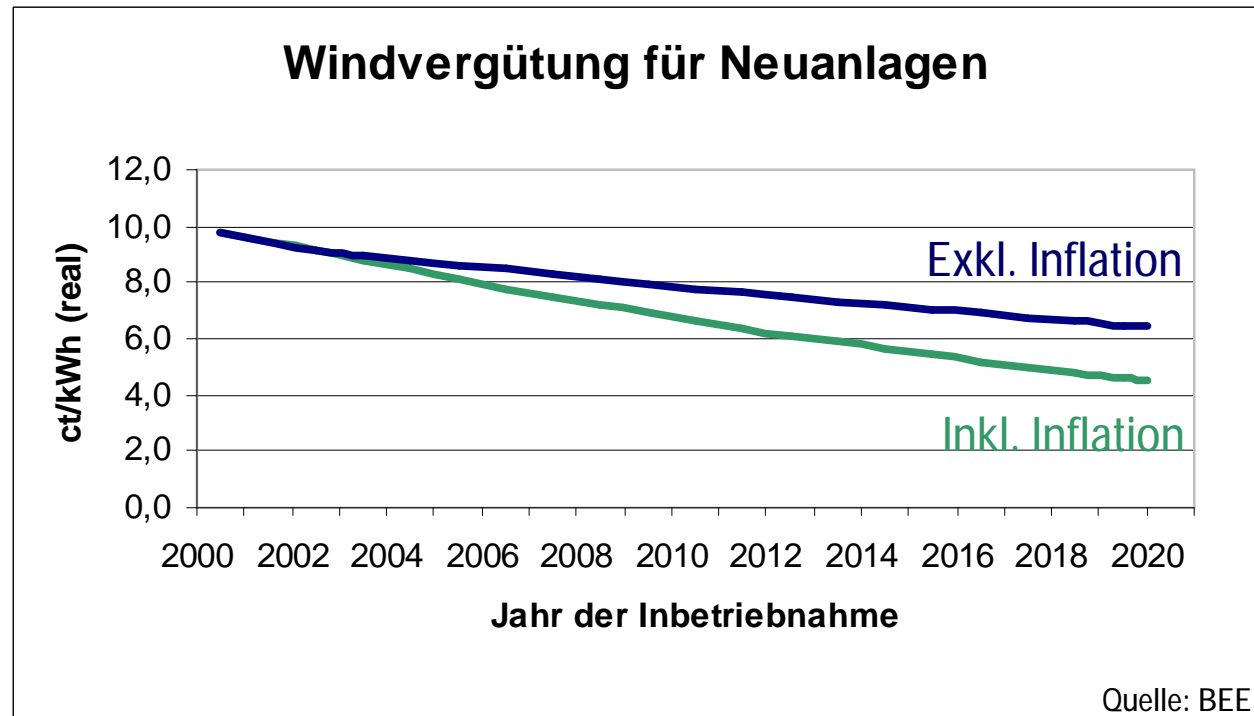
Sturmabschaltungen werden beherrschbar / sind überflüssig

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Wirtschaftlichkeit der Windenergie



Windenergie mittelfristig wirtschaftlich konkurrenzfähig



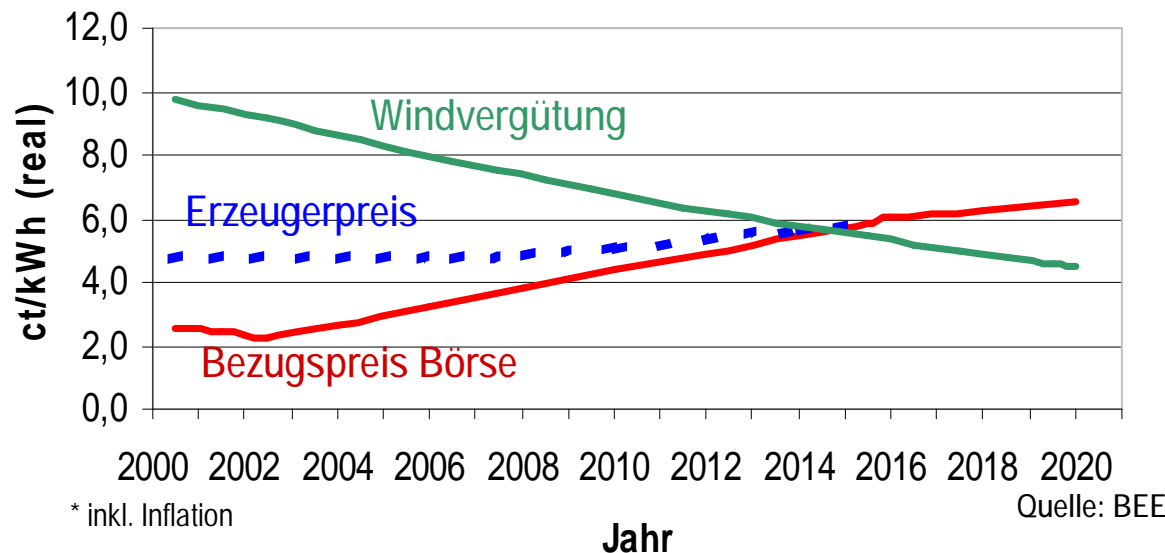
Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Wirtschaftlichkeit der Windenergie



Windenergie auch ohne den CO₂-Aspekt mittelfristig wirtschaftlich konkurrenzfähig

Kosten- und Preisentwicklung der konventionellen Stromerzeugung *



Kosten
steigen 

konventionelle Energien

- 2/3 der Großkraftwerke in D abgeschrieben



Basis für heutige
„Spottpreise“

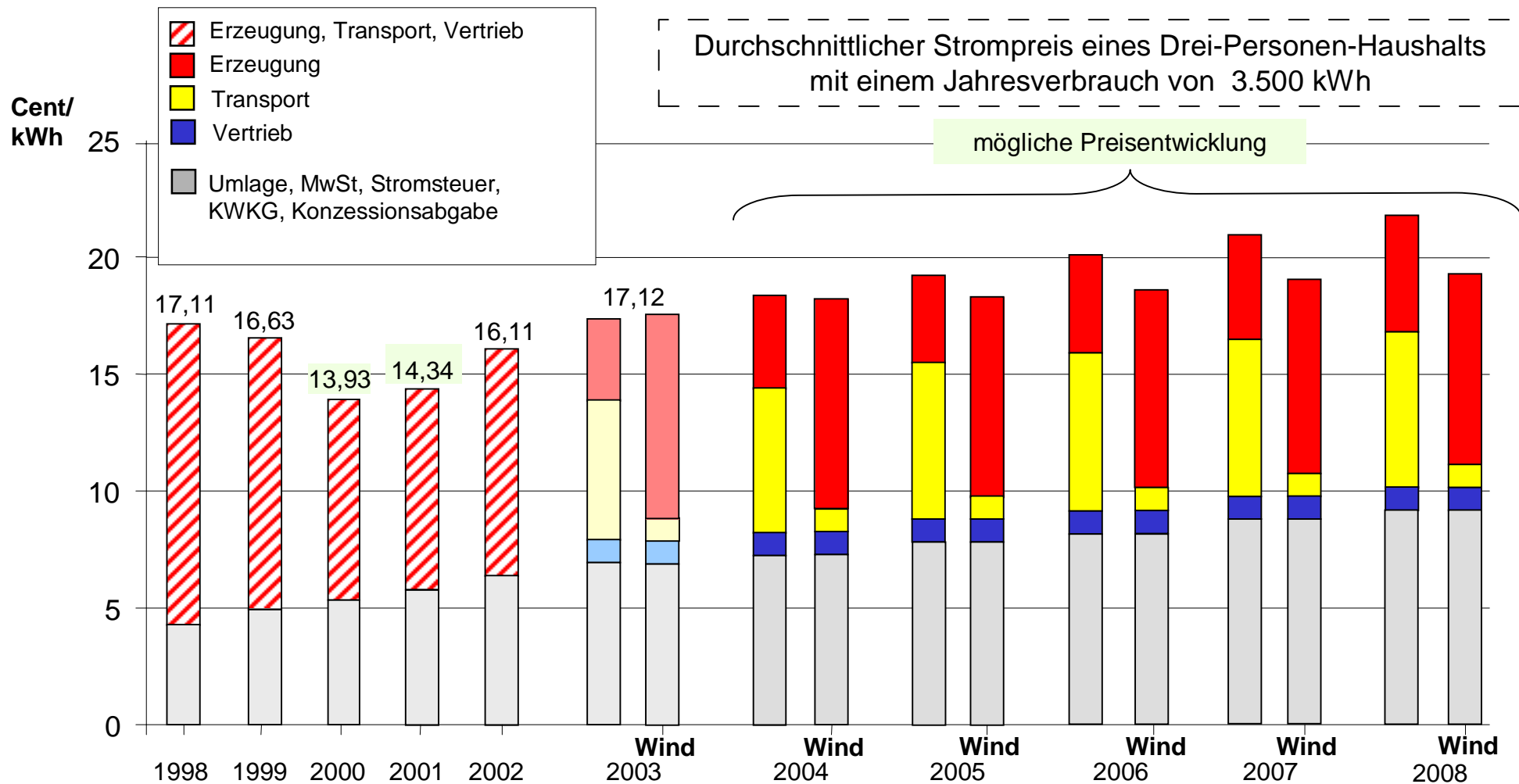


Neubau von ca. 80%
des Kraftwerkparks in
den nächsten 20-30 Jahren

E.ON-Energie-Chef am 28.11.03 in der SZ:
„Heutige Strompreise lassen
nur mit abgeschriebenem
Kraftwerken Gewinne zu.“

Technisch-wirtschaftliche Entwicklung der Windenergie

Wirtschaftlichkeit der Windenergie



Quelle: Strompreisentwicklung bis 2003, Vattenfall Europe Geschäftsbericht 2002

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit





ENERGIE FÜR DIE
WELT