

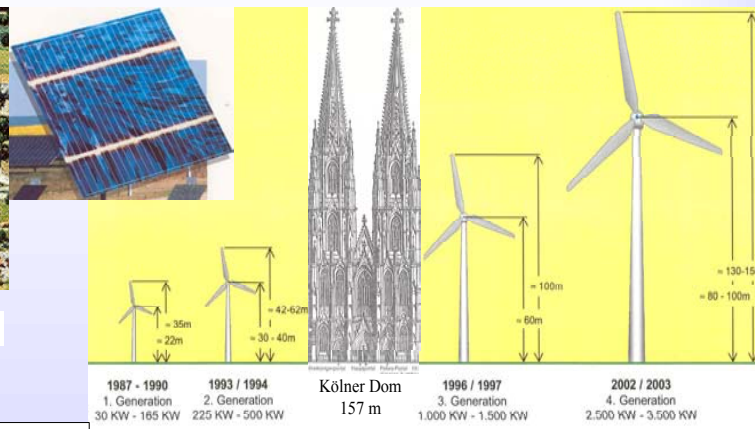


# ARBEITSKREIS ENERGIE (AKE) in der DPG **LMU** DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

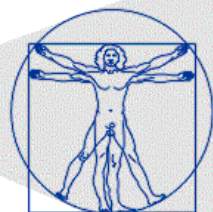
Tagungsleiter Prof. Dr. Martin Keilhacker



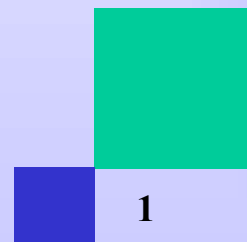
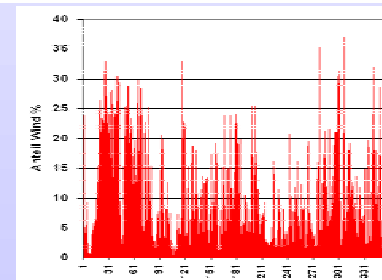
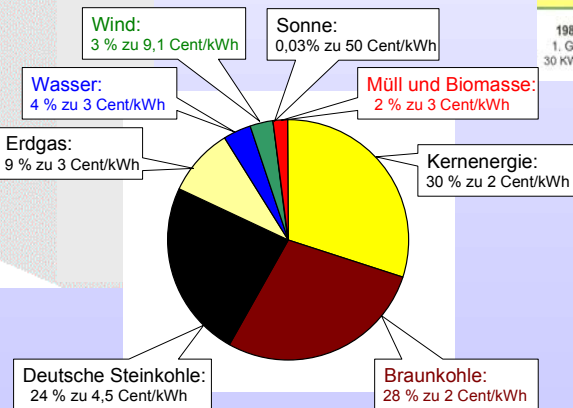
## Netzeinspeisung aus zeitlich fluktuativen Quellen



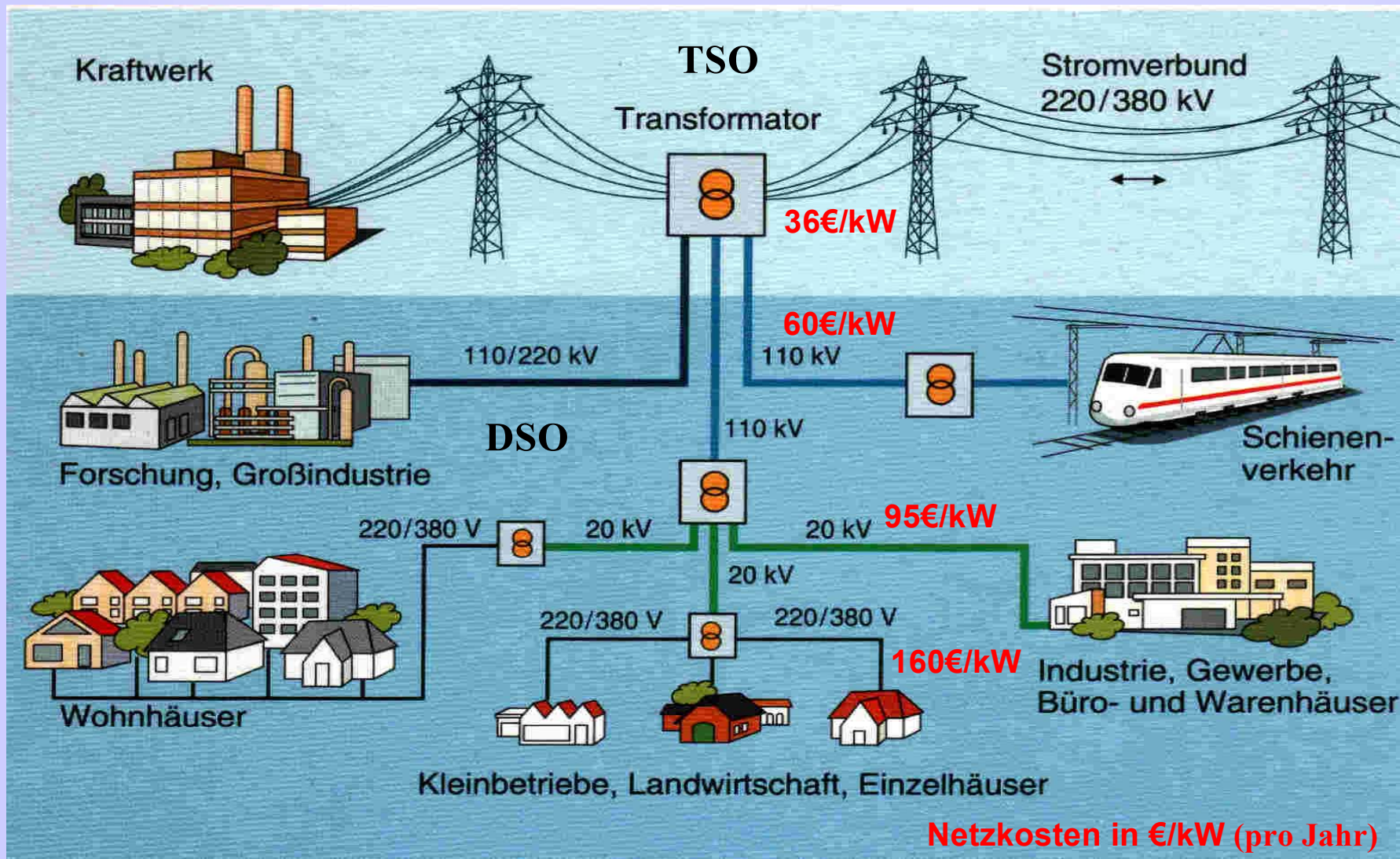
Prof. Dr.-Ing. Helmut Alt  
Am 22. März 2004  
AKE in der DPG  
München



Wo kommt der Strom her ?

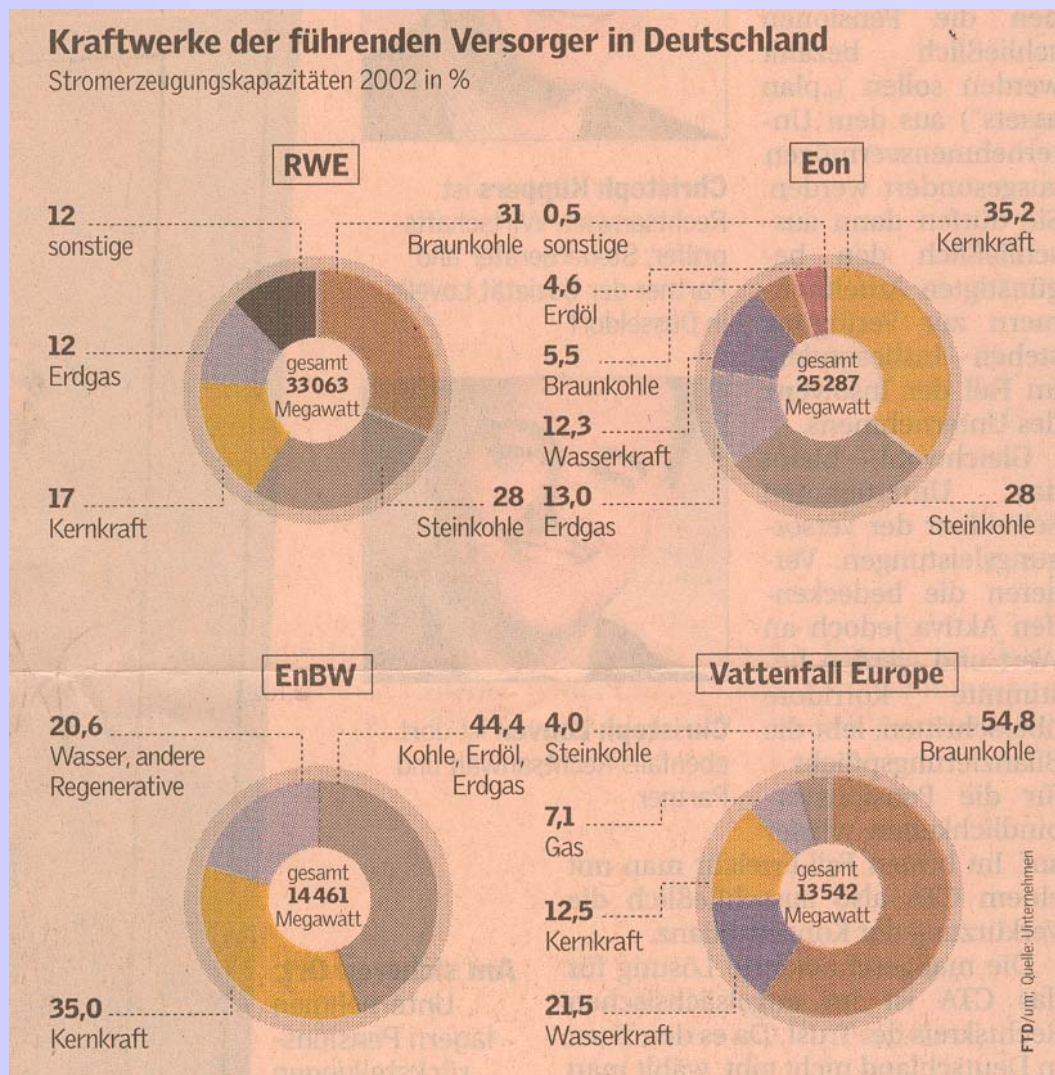


# Netzebenen und Netzkosten





# Energiemix der Stromerzeugung in Deutschland



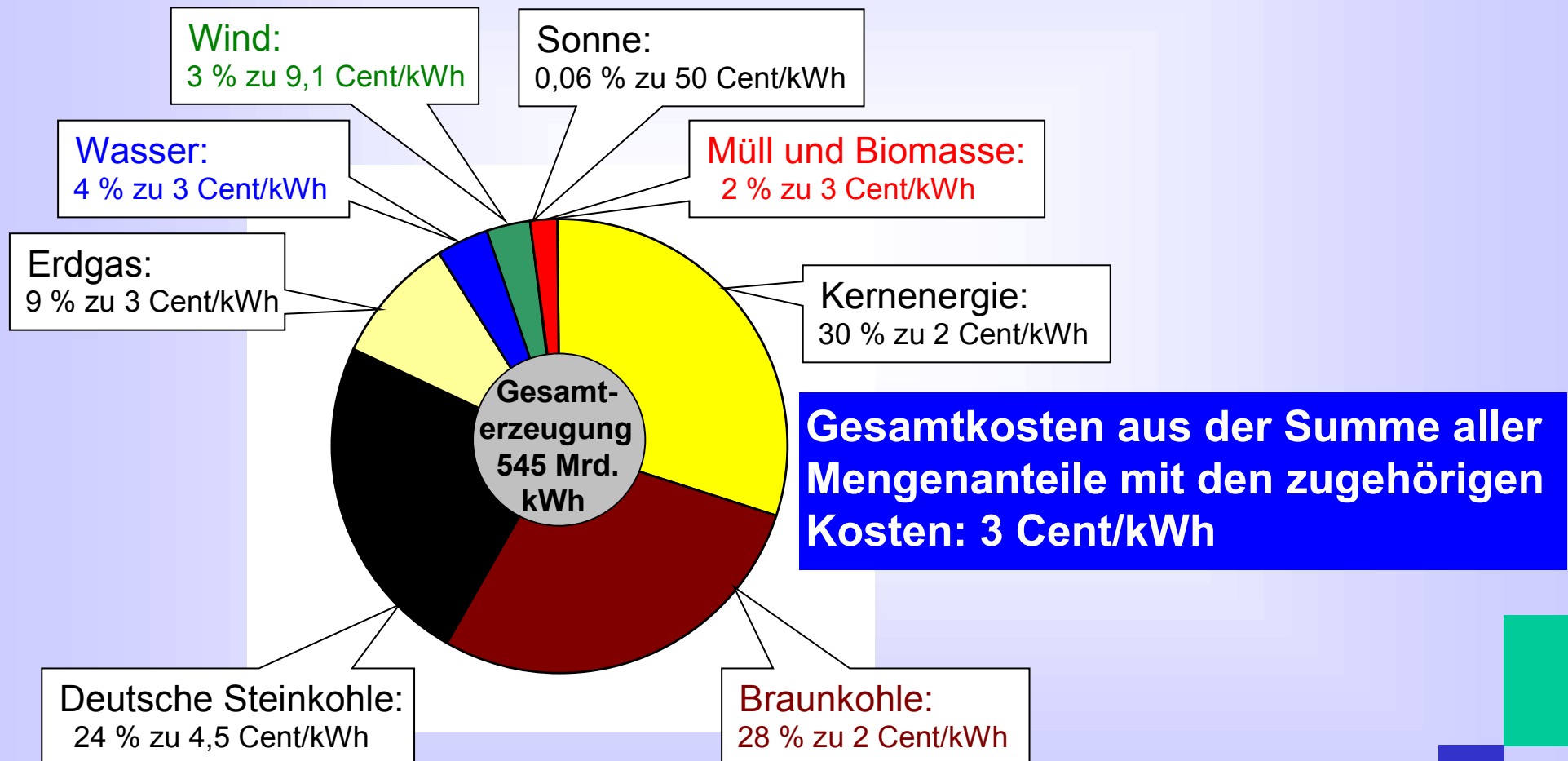
**Summenleistung:  
86.353 MW  
entsprechend rd. 80 %  
von 107 GW  
installierter Leistung.**

**(RWE und E.ON  
verfügen über rd. 55 %)**

Quelle: FTD vom 30.9.2003

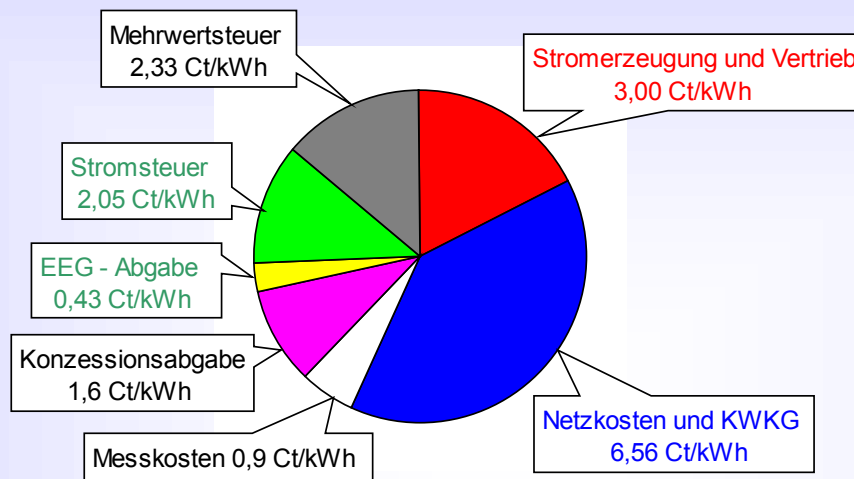
# Erzeugungsmix in Deutschland

## Wo kommt der Strom her ?

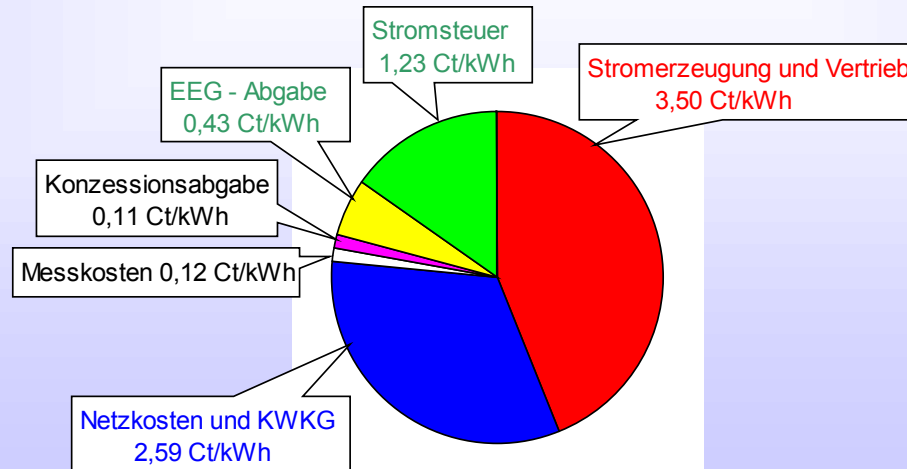


# Stromkosten in Haushalt und Gewerbe

**Was kostet der Strom für Haushaltskunden ?**  
(Jahresverbrauch 4000 kWh, 2003: rd. 17 Cent/kWh)



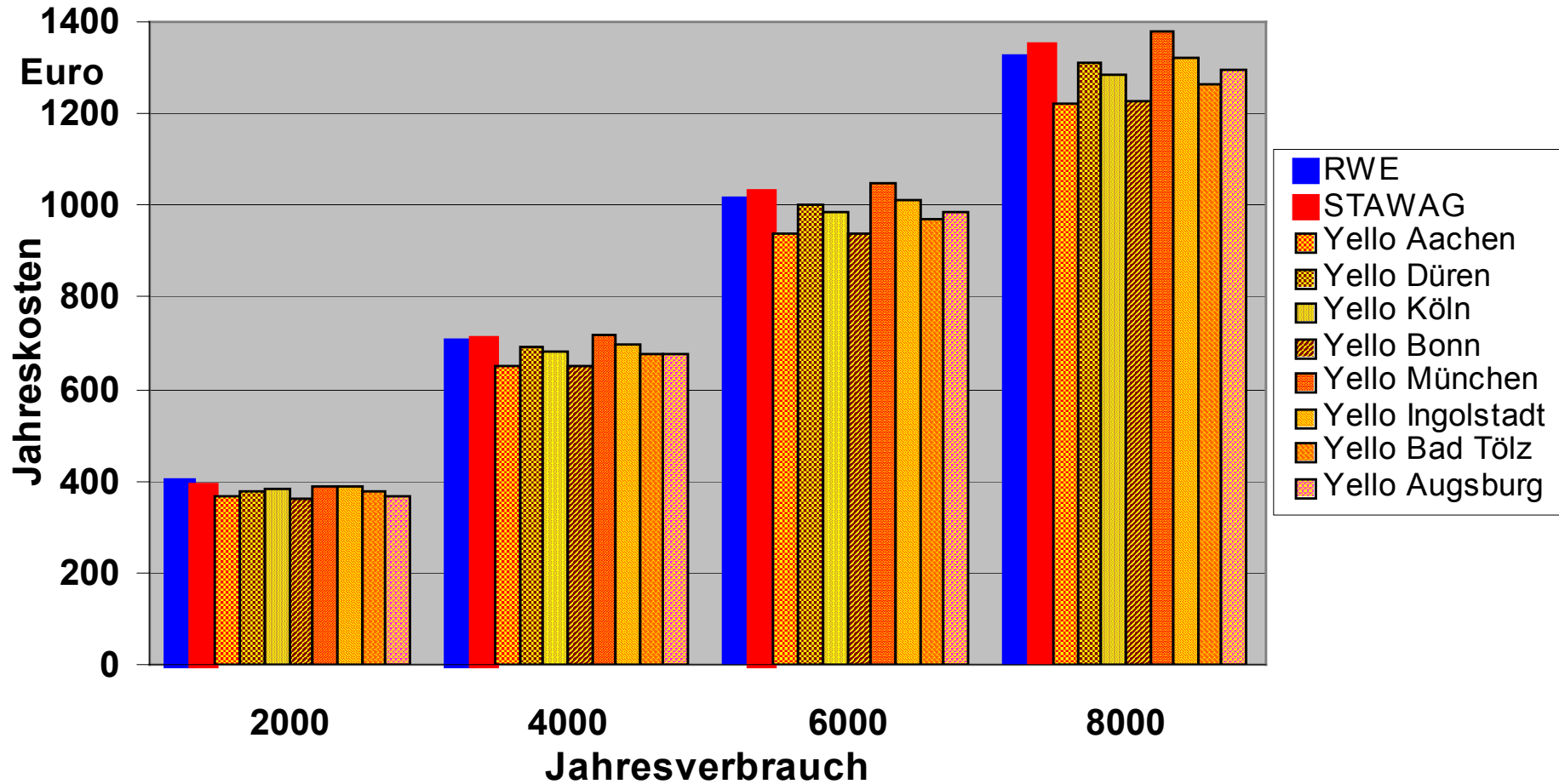
**Was kostet der Strom für Industriekunden (2003) ?**  
Mittelspannung 500 kW, 2.500 h (rd. 8 Cent/kWh)

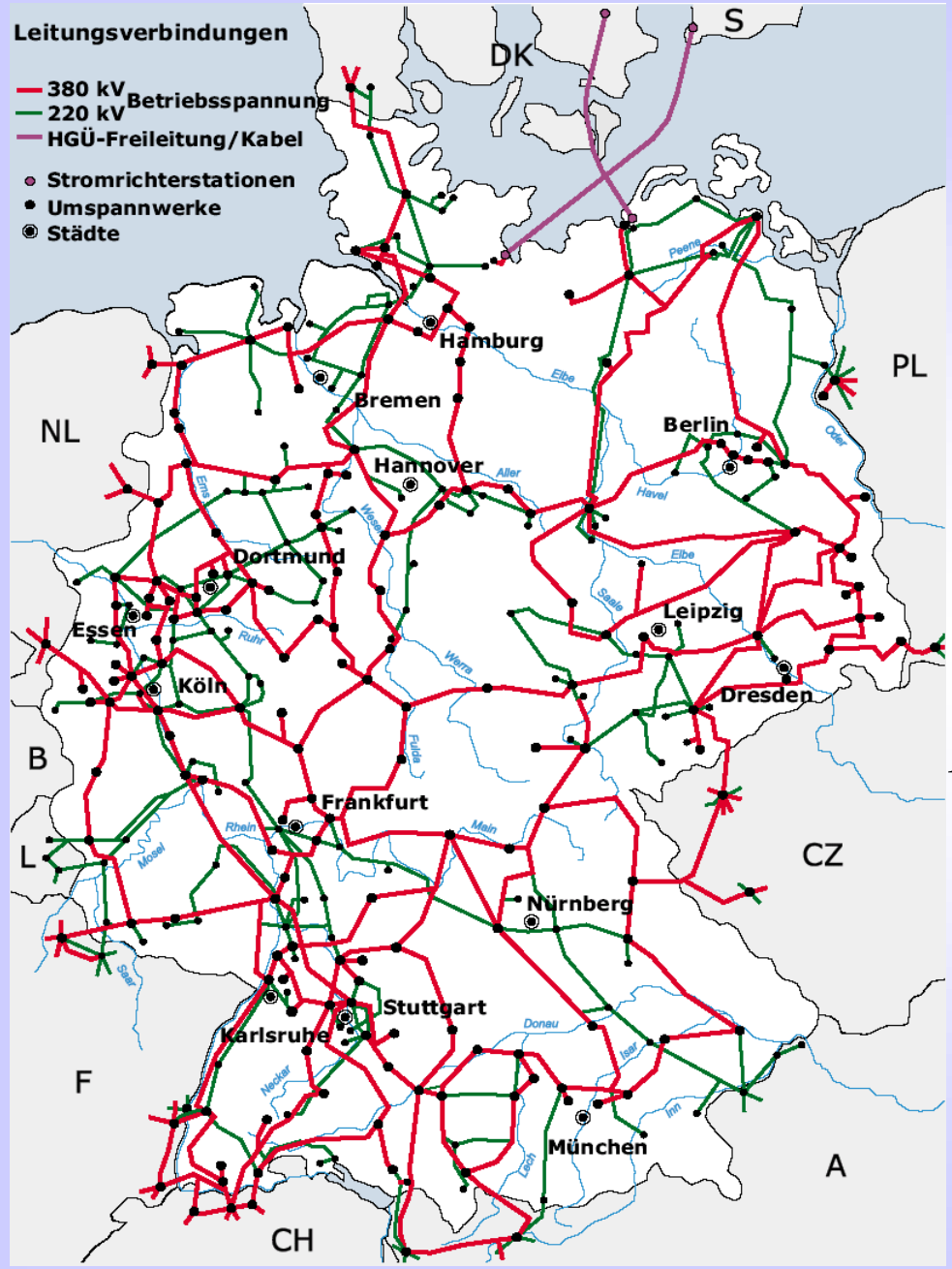


# Wettbewerb um Haushaltskunden

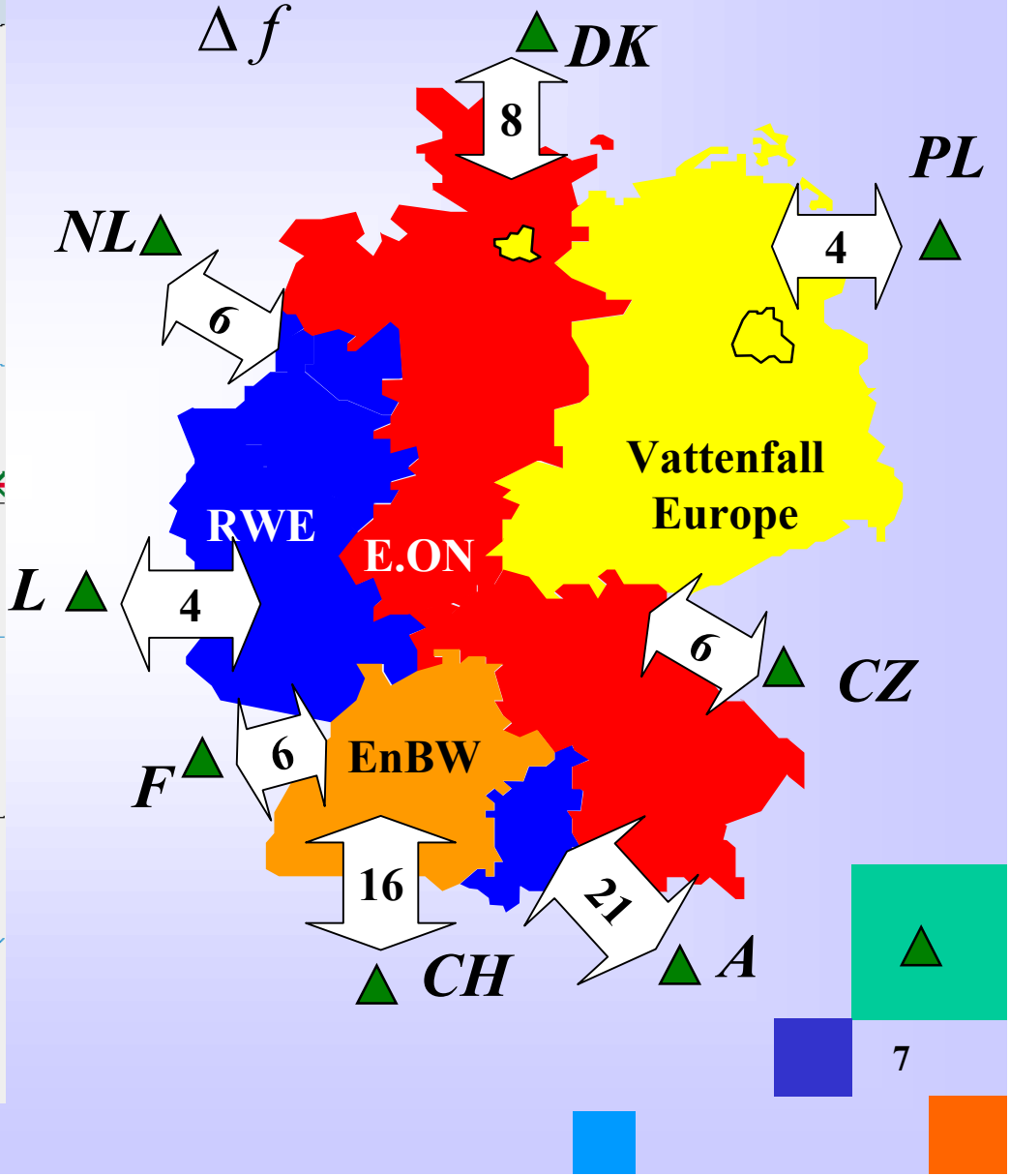


## Tarif-Strompreise u. Yello-Angebote ab 1.1.2004

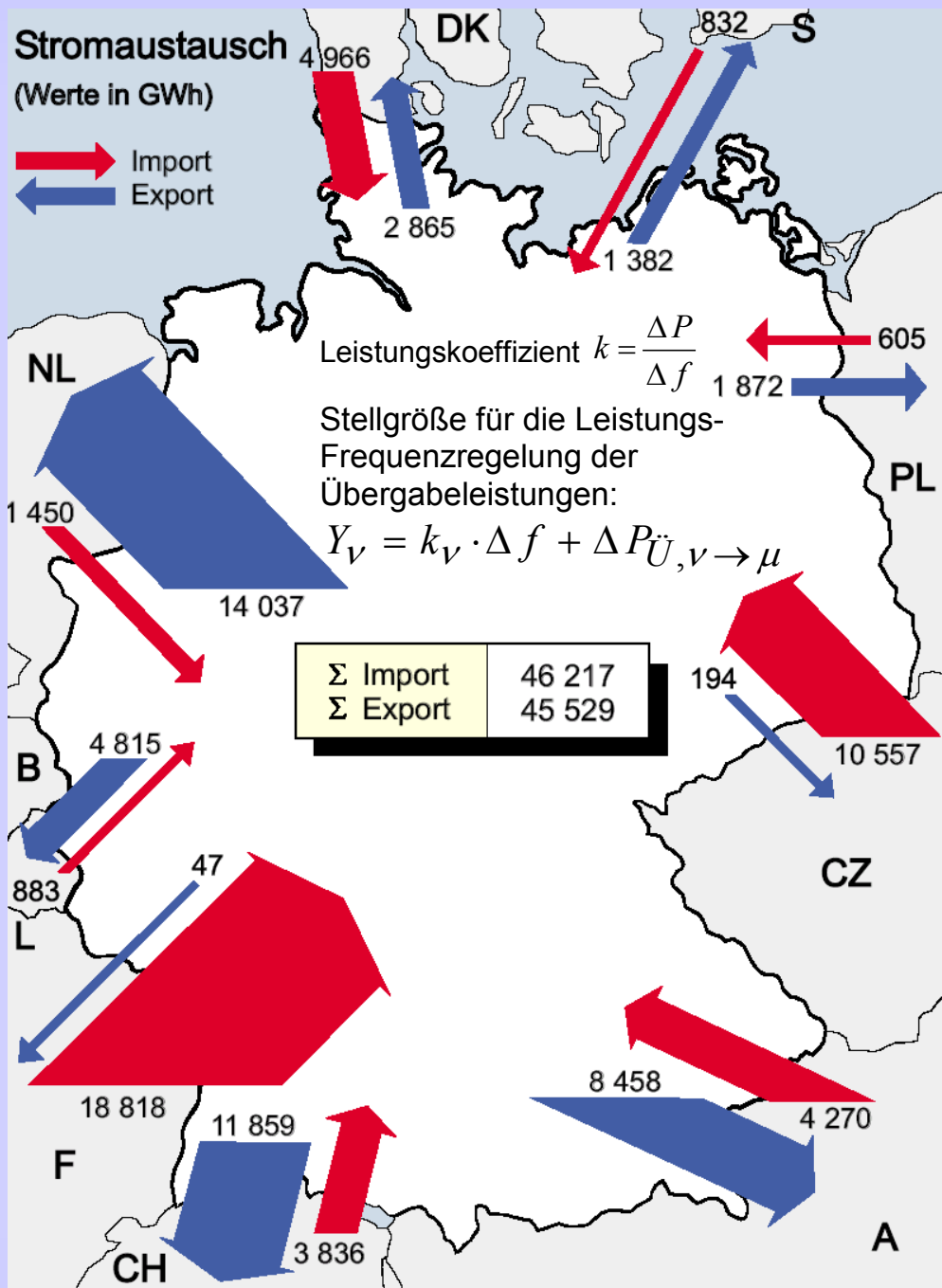




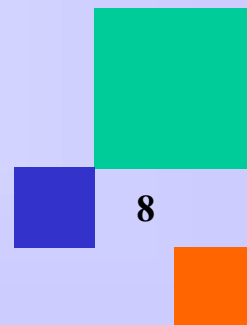
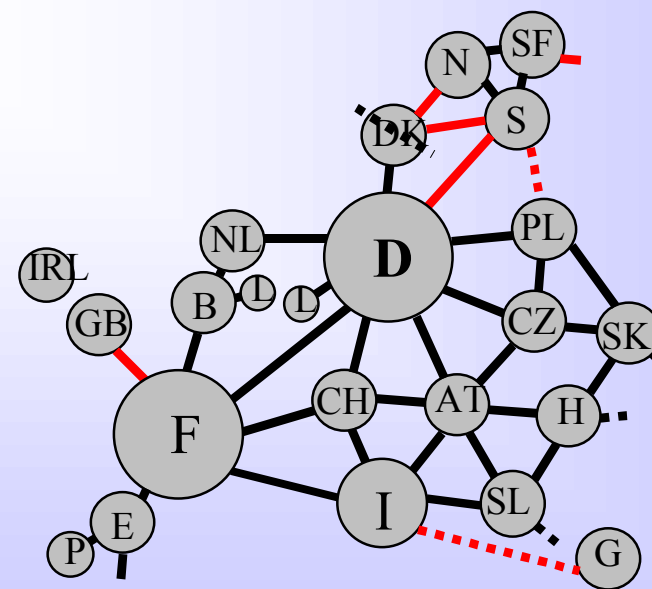
$$k = \frac{\Delta P}{\Delta f}$$





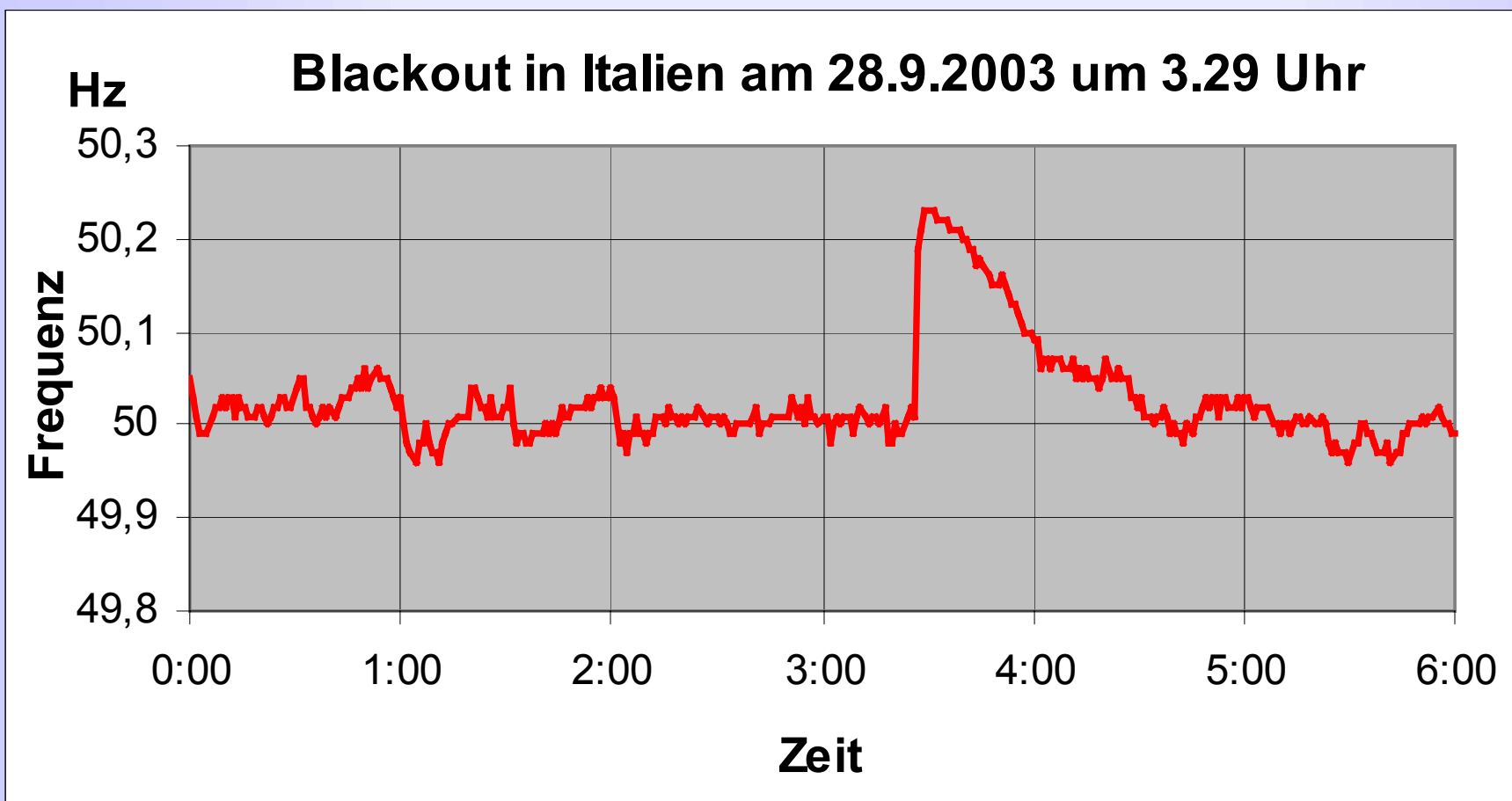


## Energieaustausch mit den Verbundpartnern in der UCTE im Jahr 2002

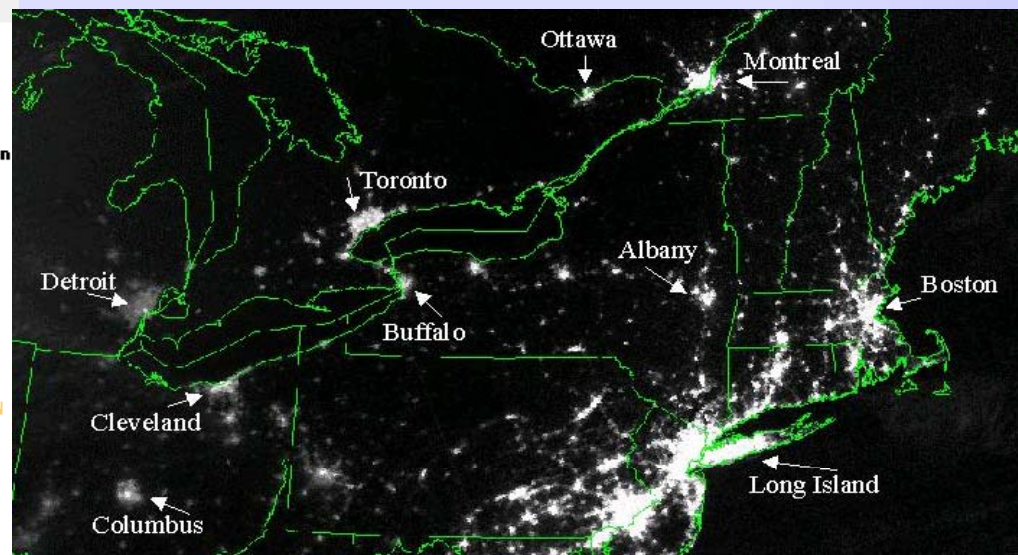
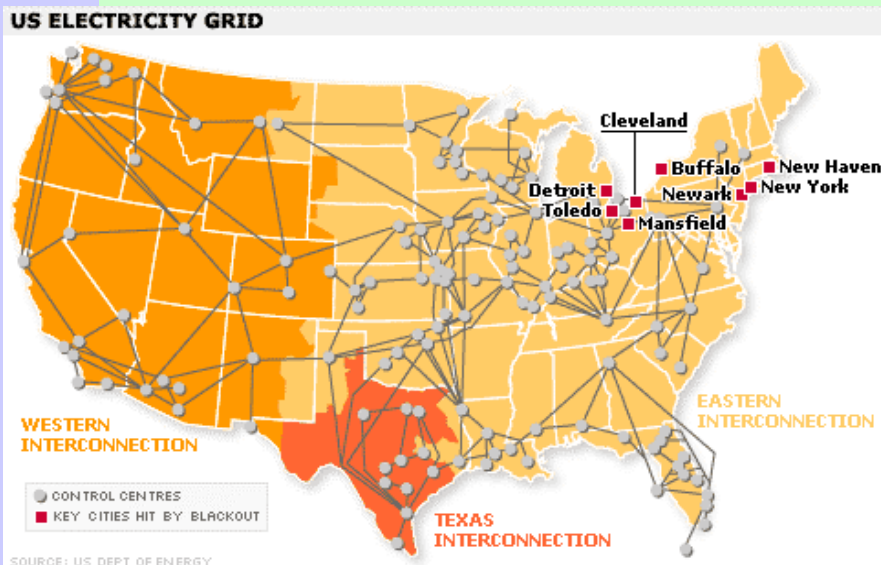




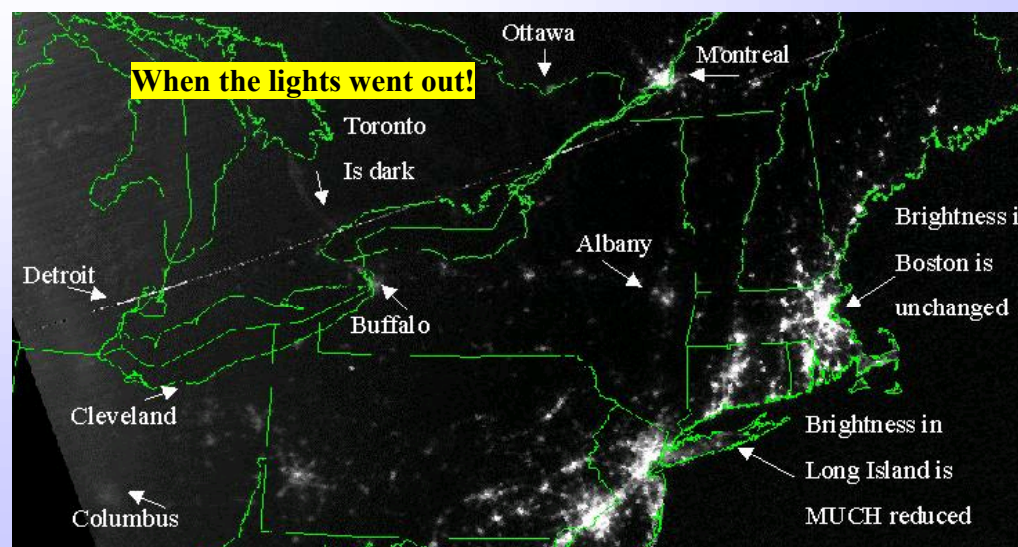
# Blackout Gefahr bei Leistungsüberschuss oder Leistungsmangel Beispiel Italien 6.700 MW zu viel im Netz!



# Blackout bei niedrigem Vermaschungsgrad und konzentrierter Erzeugung in den USA



**Teilausfall im Nordosten der USA  
am 14. August 2003**

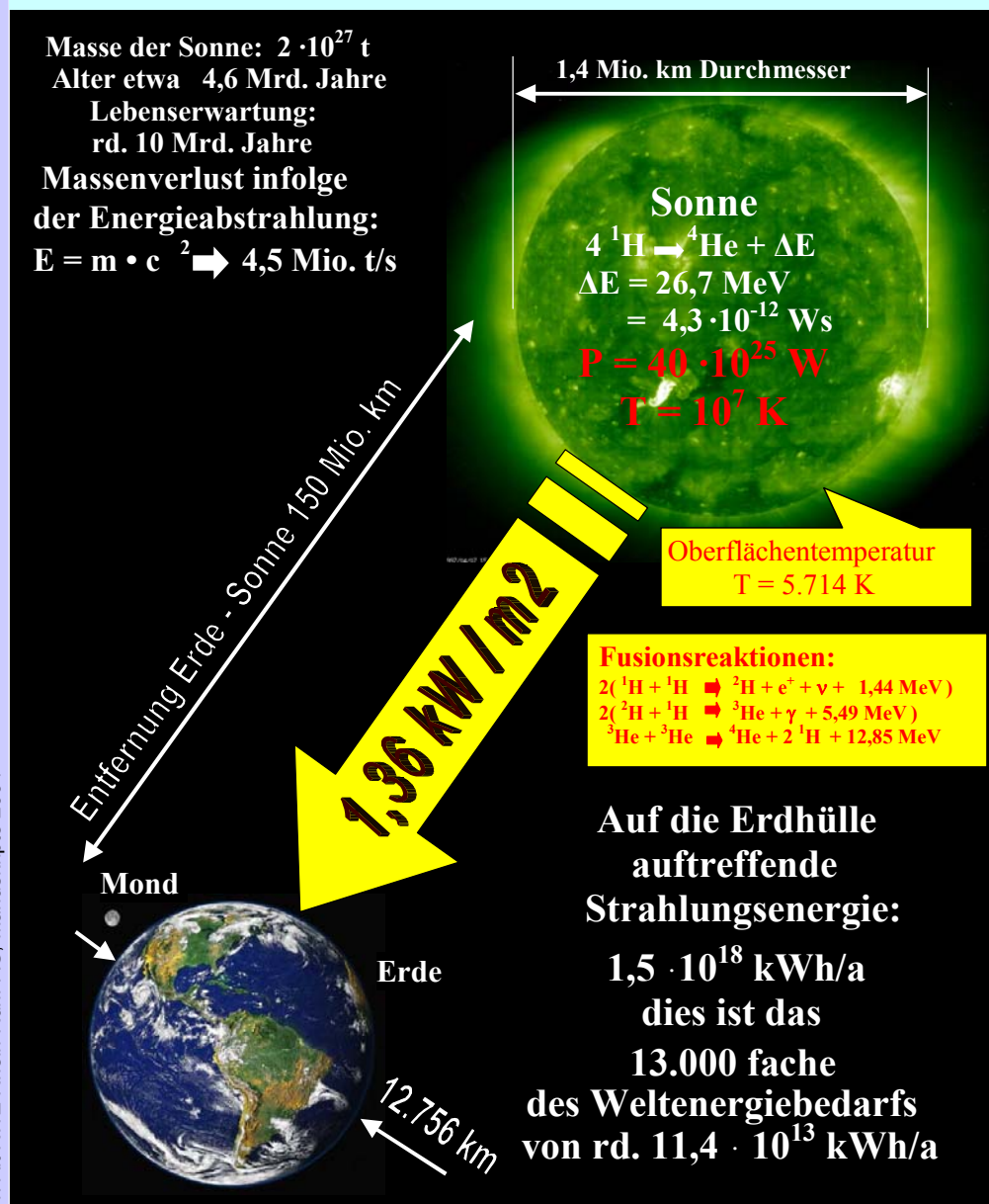


# Europa bei Nacht mit intakter Stromversorgung





# Energiefluss der Sonne zur Erde als Ursache allen Geschehens und Lebens auf unserer Erde



## Abschätzung der mittleren Erdtemperatur:

Von der Sonne empfangene Strahlungsleistung:

$$P_e = S \cdot (1 - A) \cdot \pi \cdot r^2 \quad (\text{Kreisfläche})$$

Von der Erde abgestrahlte Strahlungsleistung  
Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P_a = \varepsilon \cdot \sigma \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot T^4 \quad (\text{Kugelfläche})$$

mit Albedo  $A = 0,3$  und Emissionsgrad  $\varepsilon$ :  
 $0 \leq \varepsilon \leq 1$  (schwarzer Körper  $\varepsilon = 1$ ),

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}, \quad S = 1,36 \text{ kW/m}^2 \text{ folgt:}$$

$$P_e = P_a \quad (\text{Einstrahlung} = \text{Abstrahlung})$$

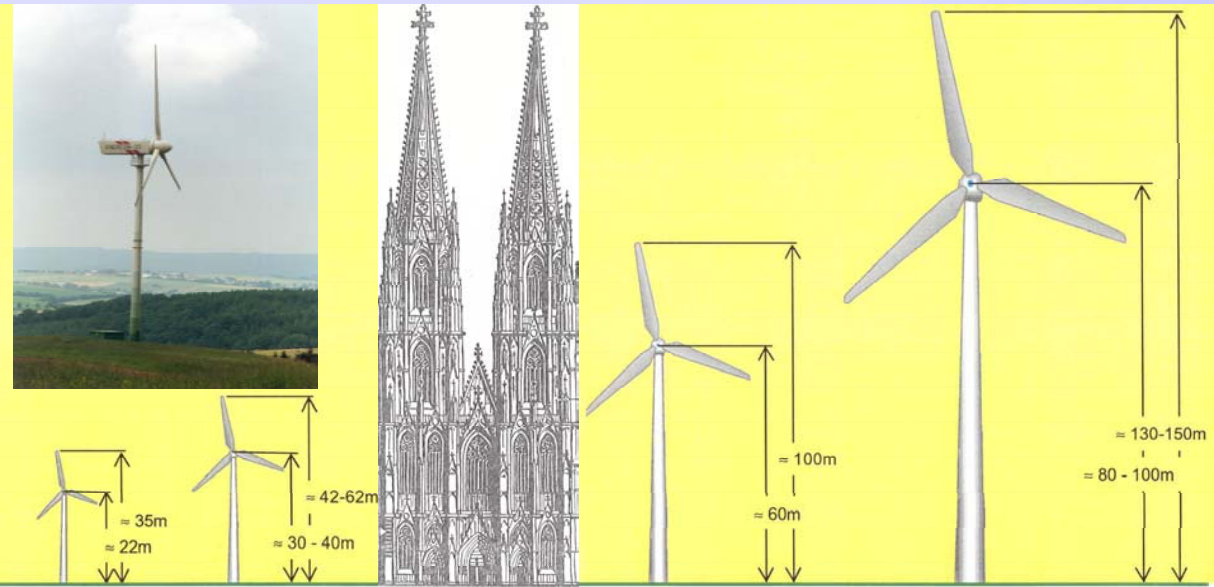
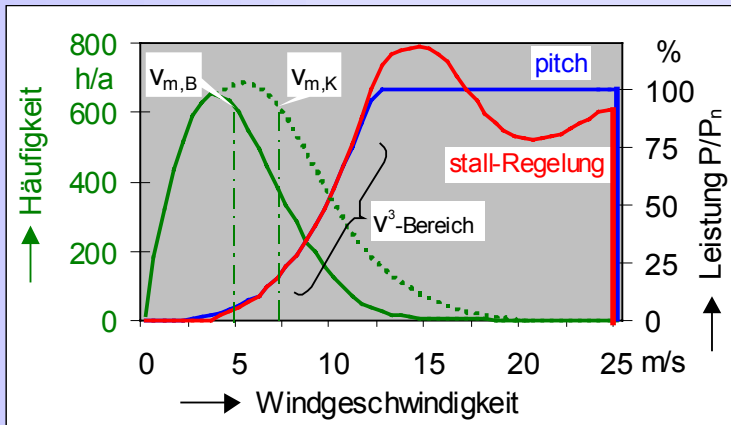
$$T = 4 \sqrt{\frac{S \cdot (1 - A)}{4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma}} = 254,54 \text{ K} \quad \text{für } \varepsilon = 1.$$

$$\varepsilon = 0,90 : \vartheta = 261,33 - 273,15 = -11,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

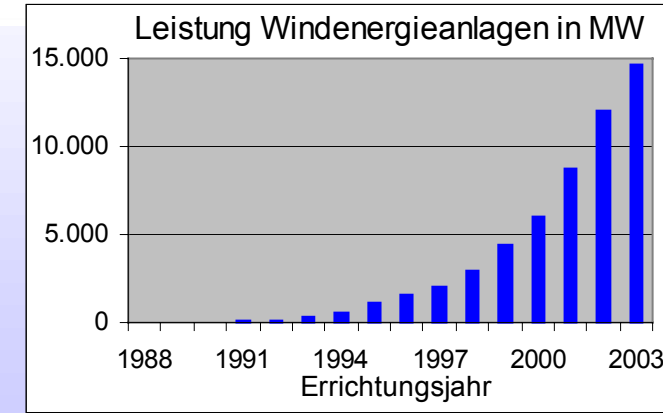
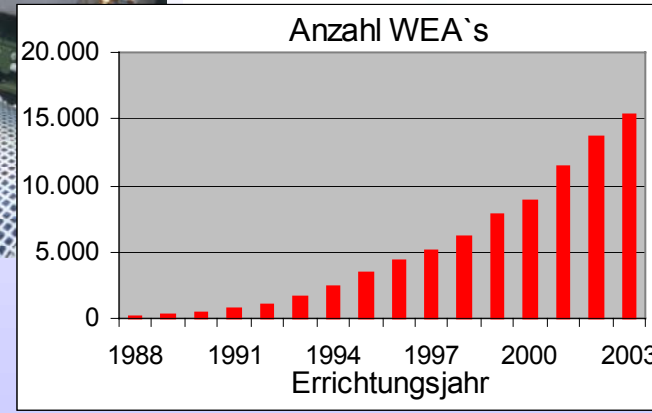
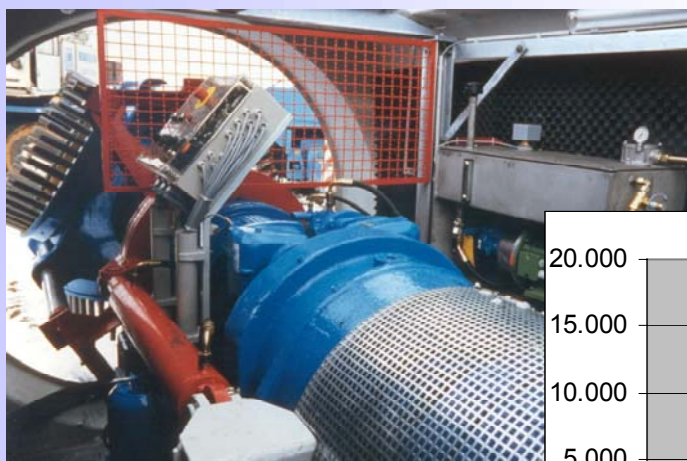
$$\varepsilon = 0,63 : \vartheta = 285,70 - 273,15 = +12,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$



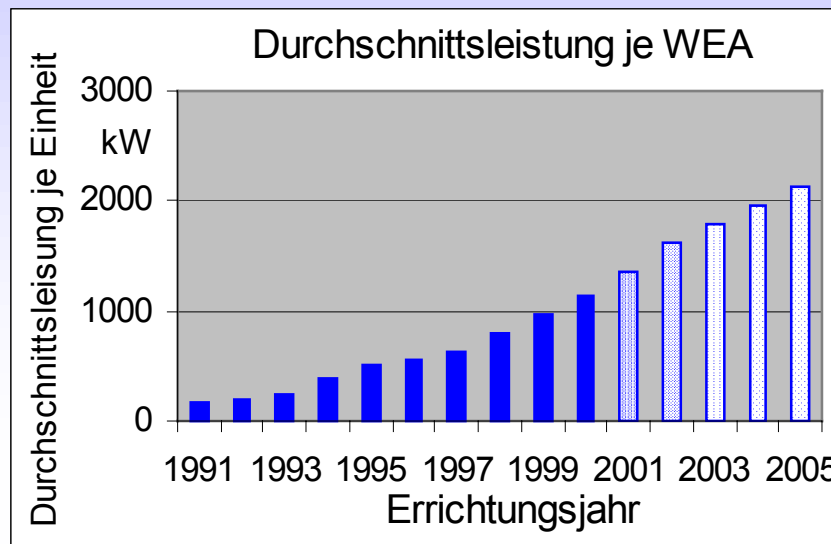
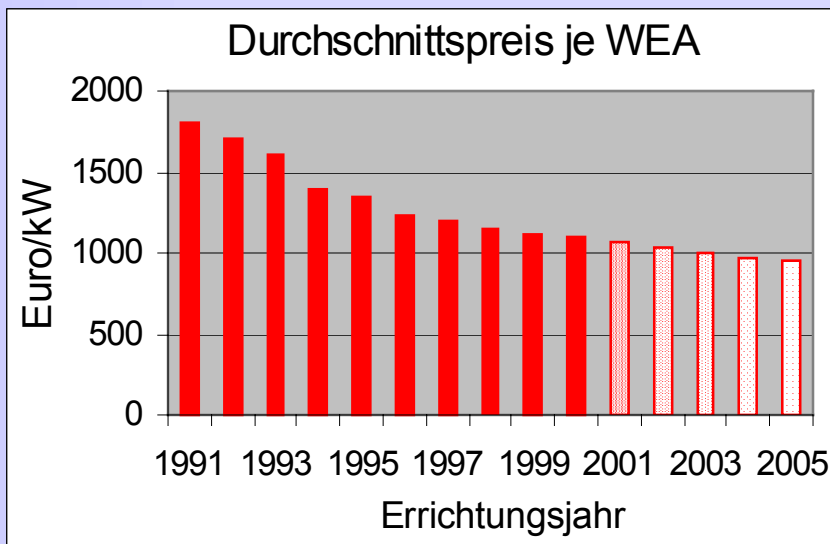
# Kann Wind einen zuverlässigen Beitrag leisten?



1987 - 1990 1. Generation 30 KW - 165 KW	1993 / 1994 2. Generation 225 KW - 500 KW	Kölner Dom Dreißigiger Portal Hauptportal Petrus-Portal 131	1996 / 1997 3. Generation 1.000 KW - 1.500 KW	2002 / 2003 4. Generation 2.500 KW - 3.500 KW
--	---	--	---	---



# Warum ist die Kostendegression am Ende?

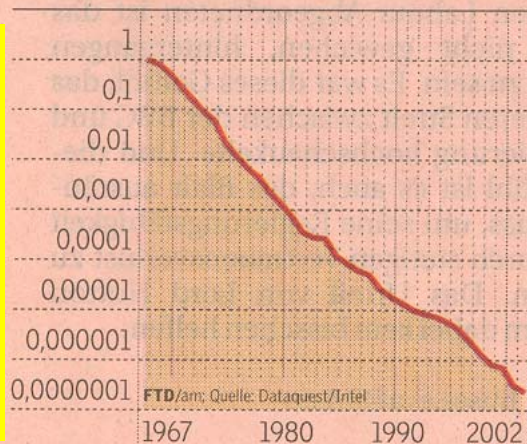


## Zum Vergleich:

**Transistor versus WEA:** Ein Mercedes-Benz Auto, vom Typ 220D, das 1967 11.000 DM kostete, dürfte heute nur noch 0,2 Cent kosten! Resümee: Bei Stahl, Zement, Steine, Maschinen, Autos und WEA's gilt das leider nicht.

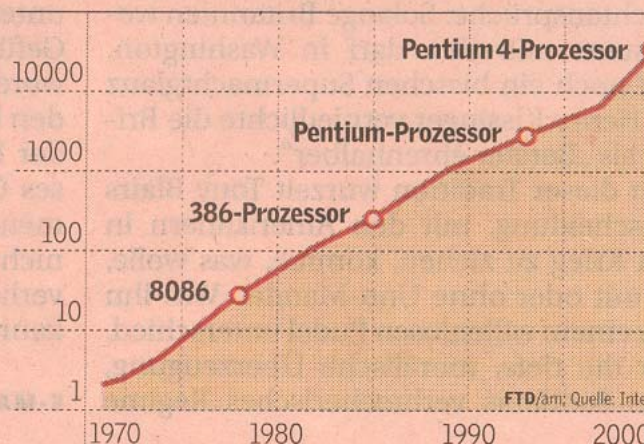
### Rapider Preisverfall

Kosten pro Transistor in \$



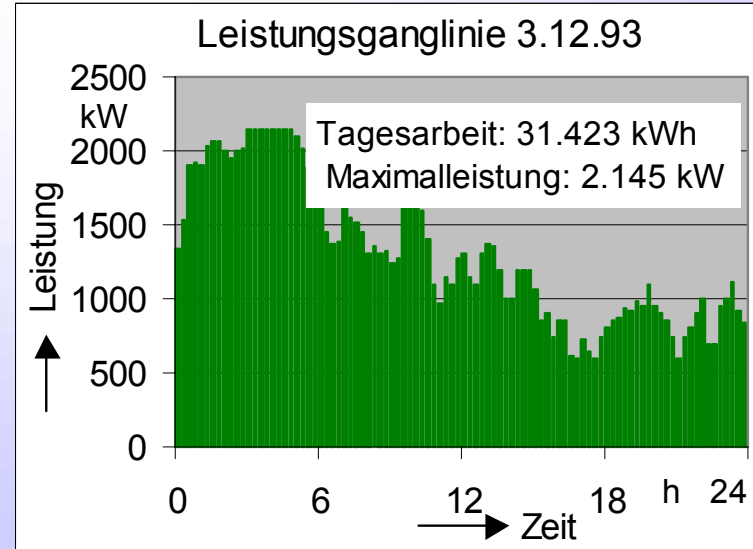
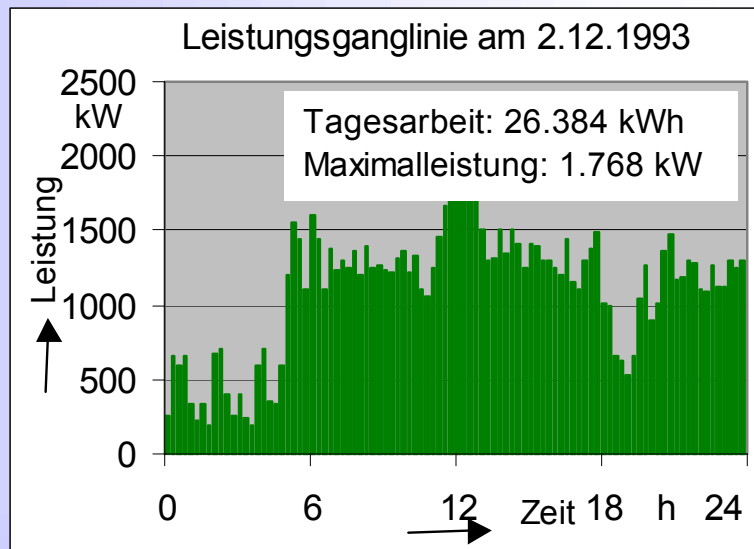
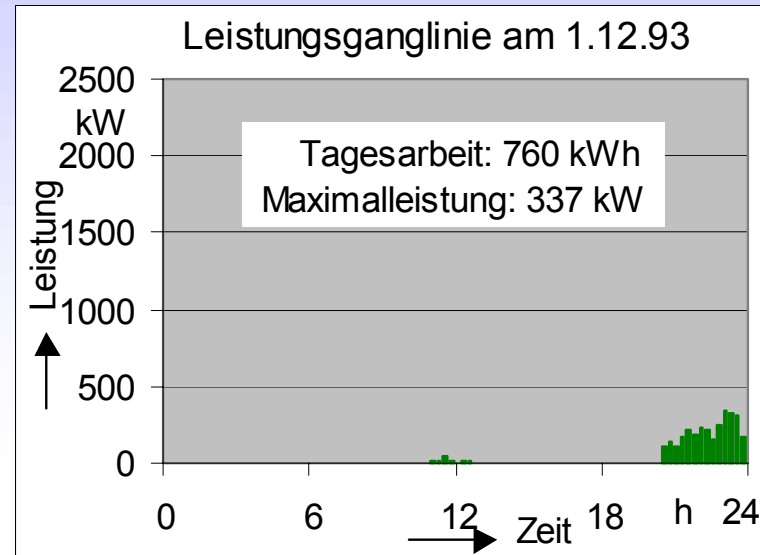
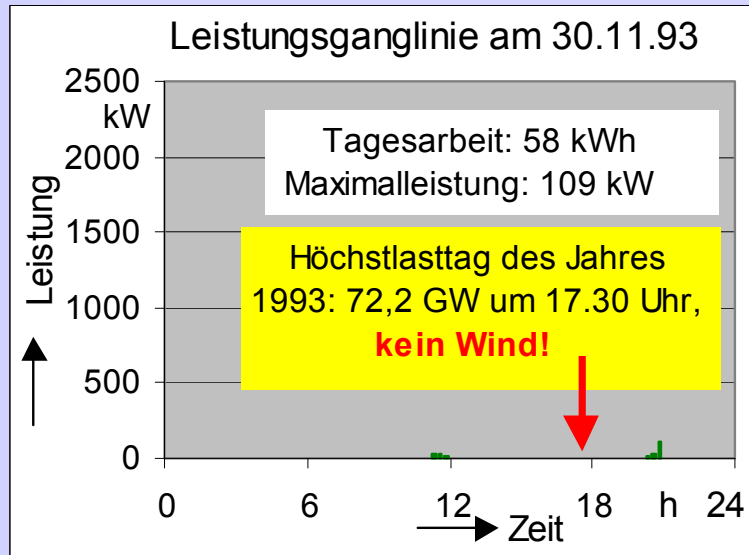
### Verdoppelung alle 18 Monate

Transistoren pro Prozessor in Tsd.

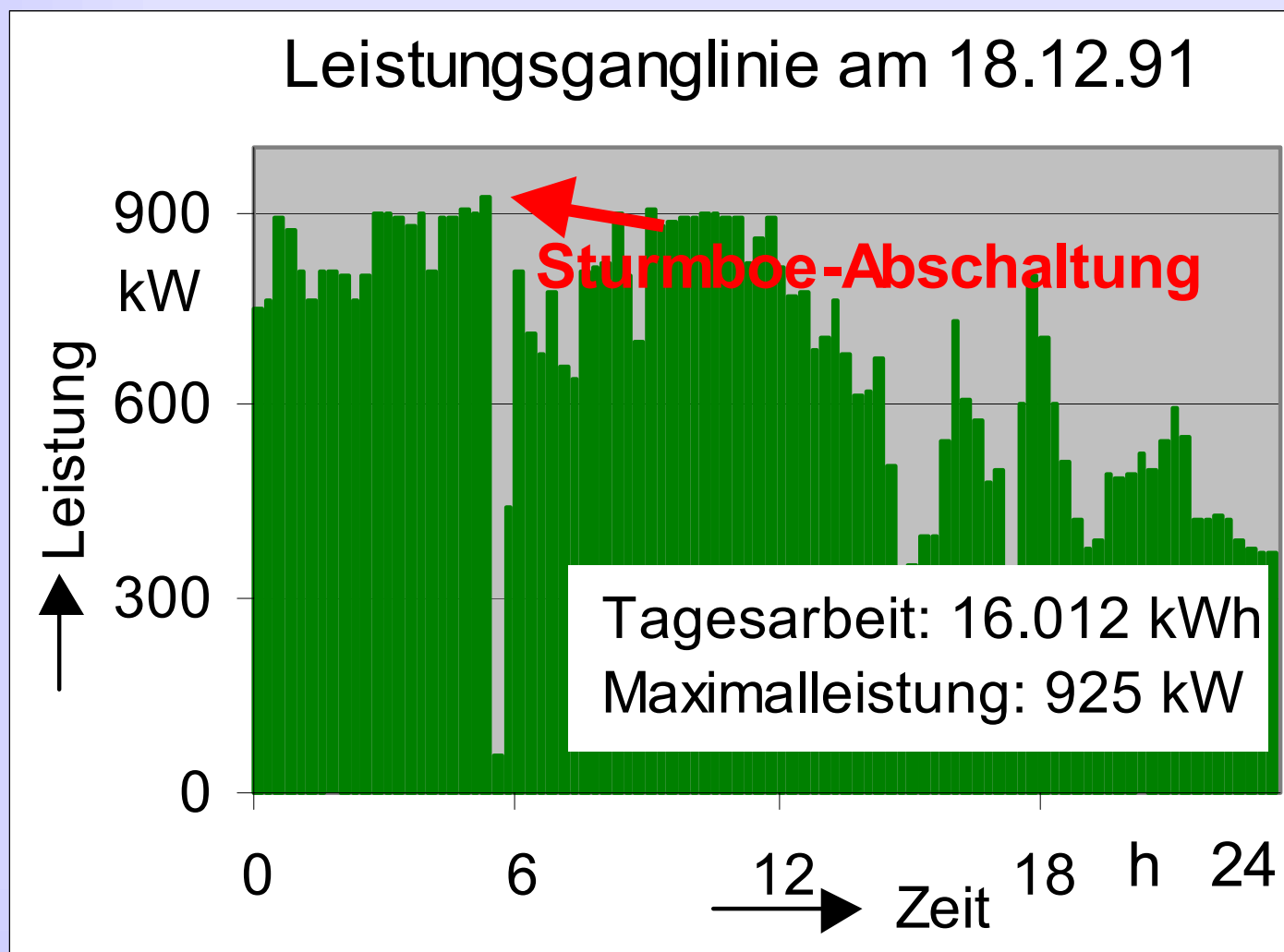


Quelle:FTD 29.1.2004

# Kann Wind einen zuverlässigen Beitrag leisten?

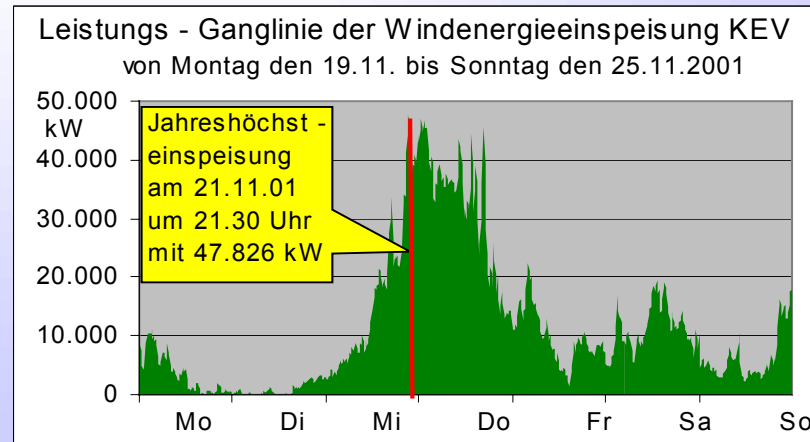
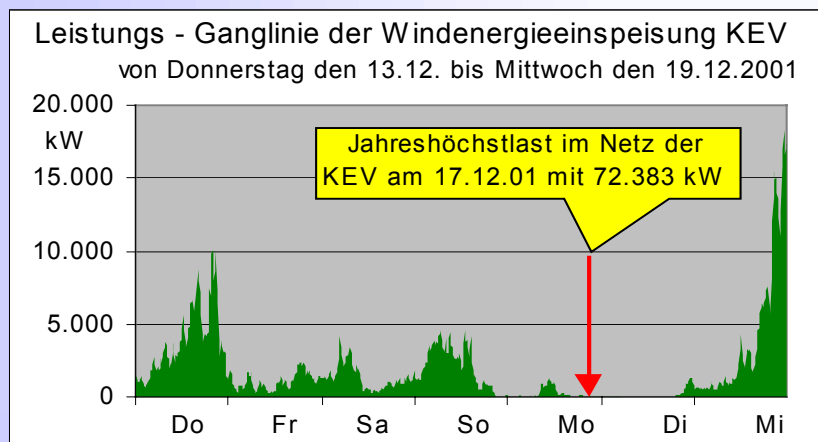
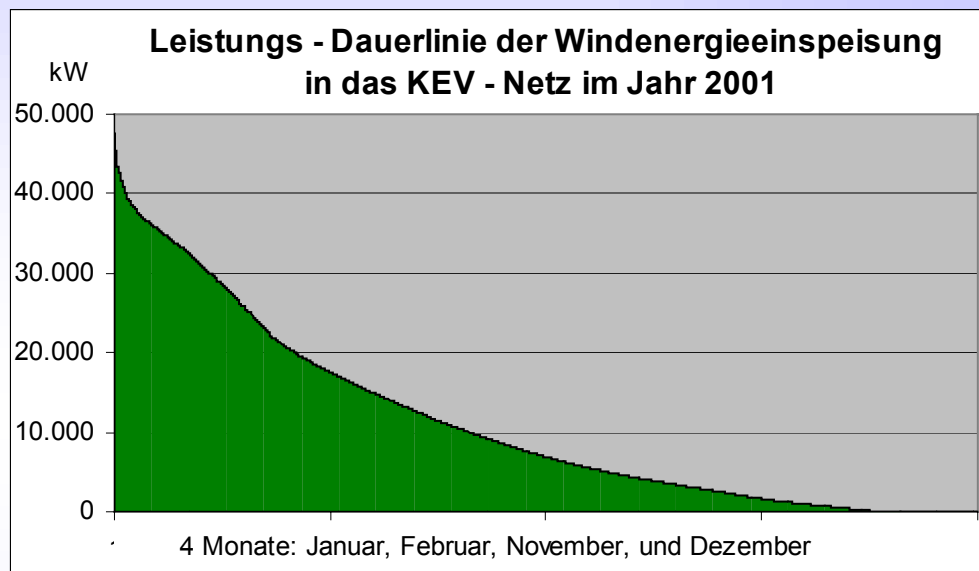
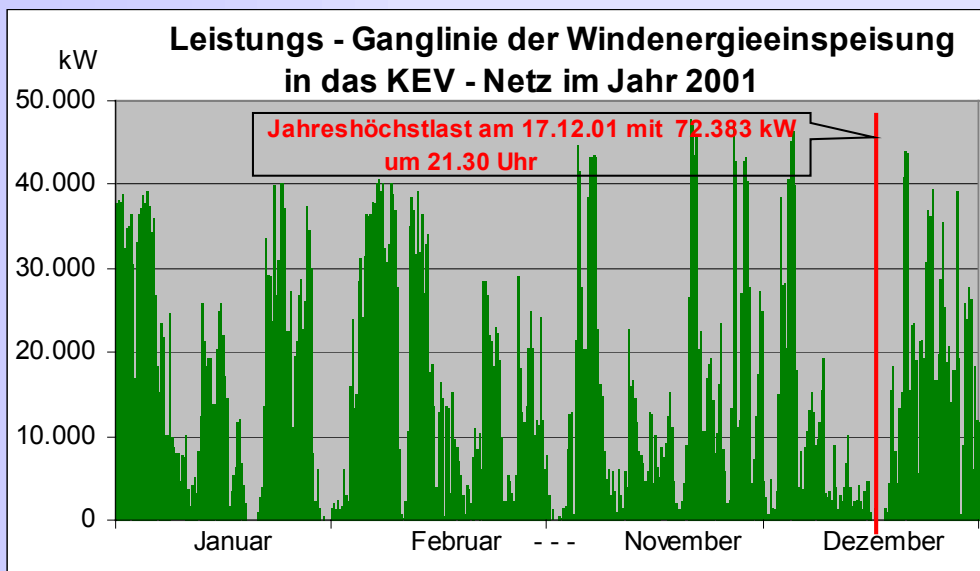


# Kann Wind einen zuverlässigen Beitrag leisten? Beispiel: Abschaltung bei Starkwind

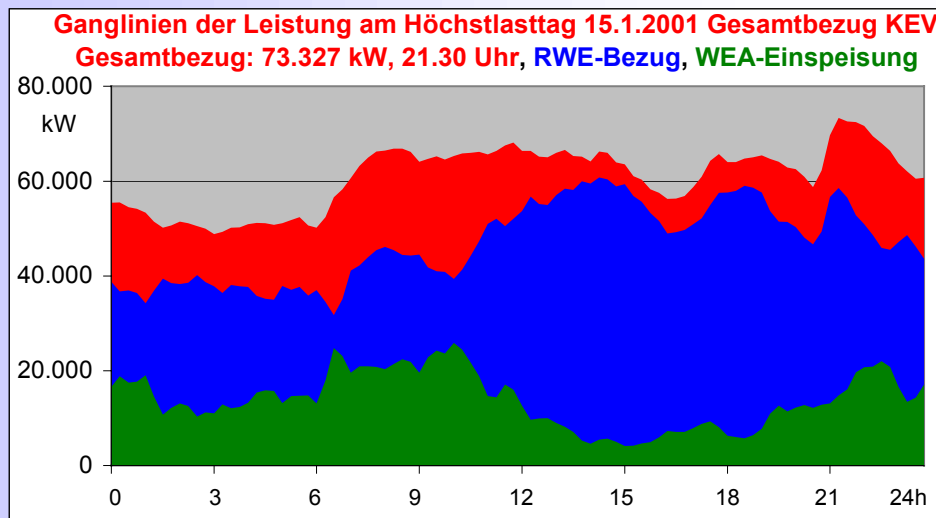
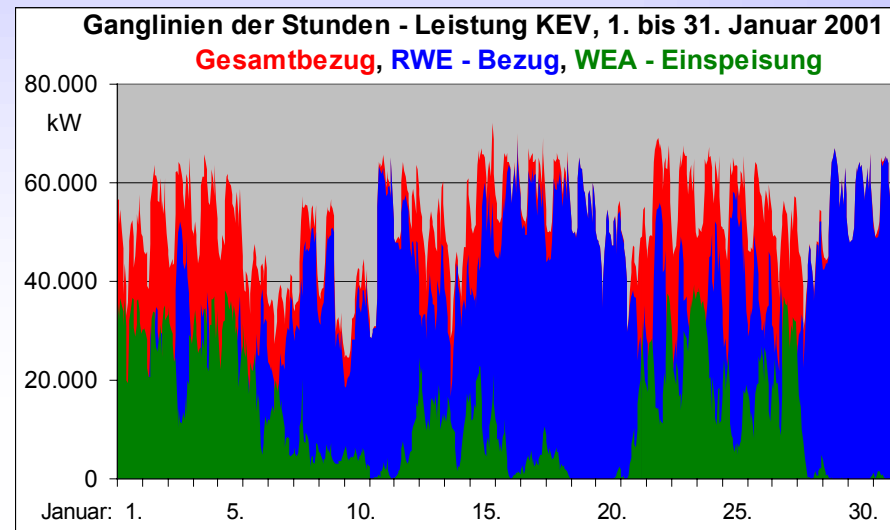
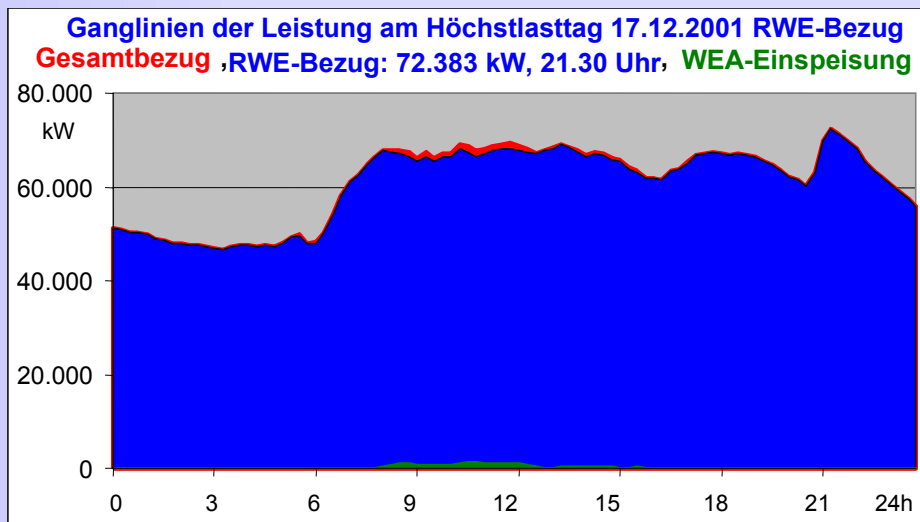




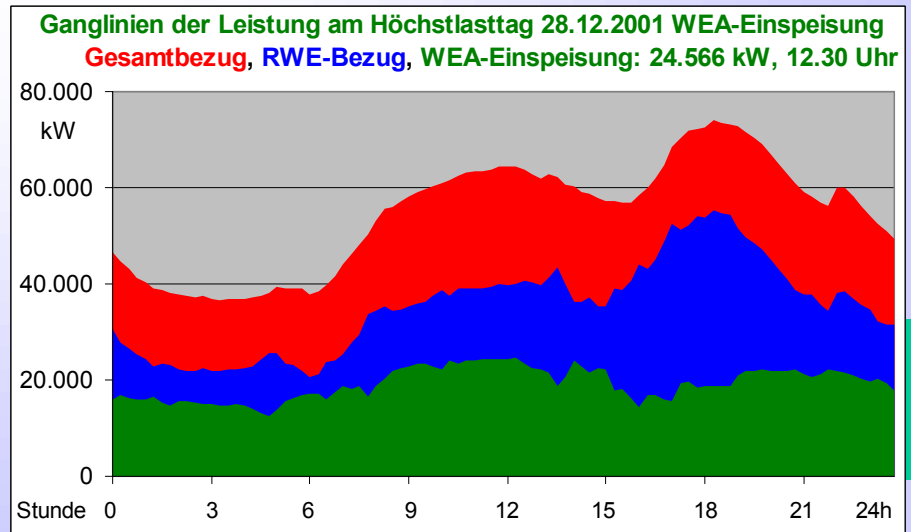
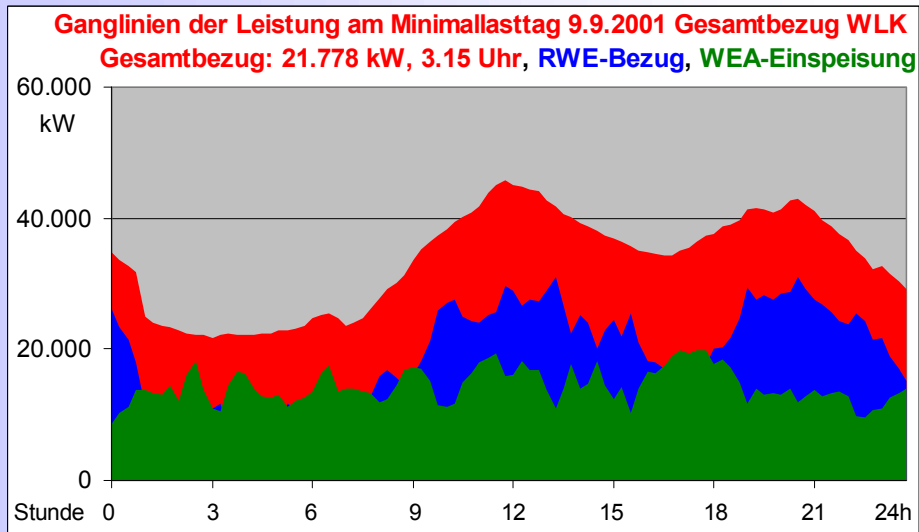
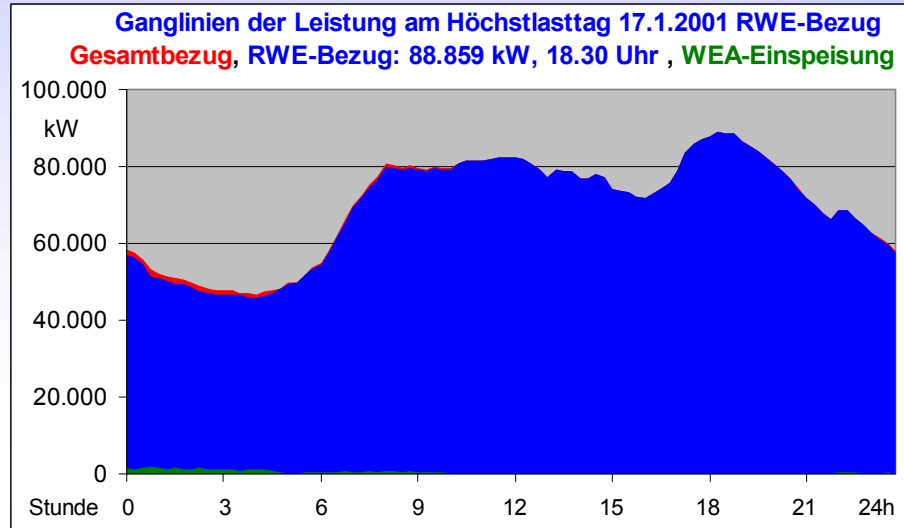
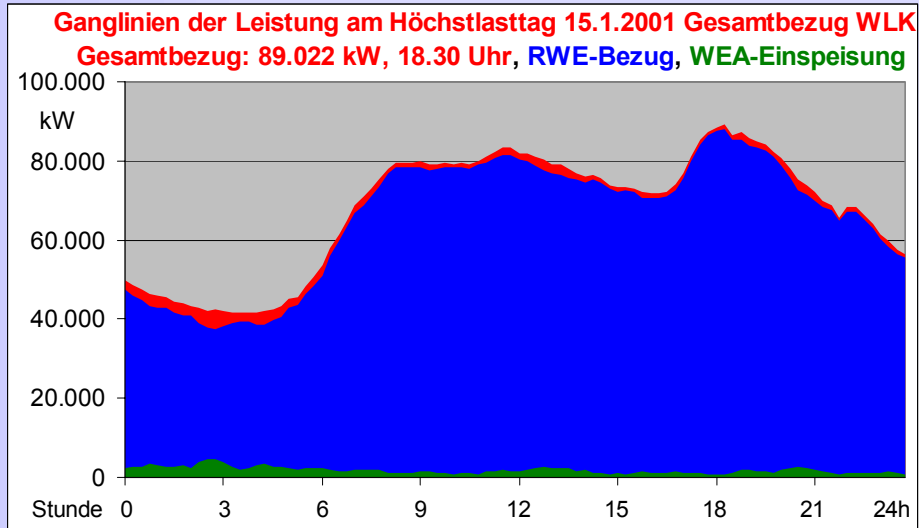
# Wie verfügbar ist der Wind ?



# Wie verfügbar ist der Wind ?



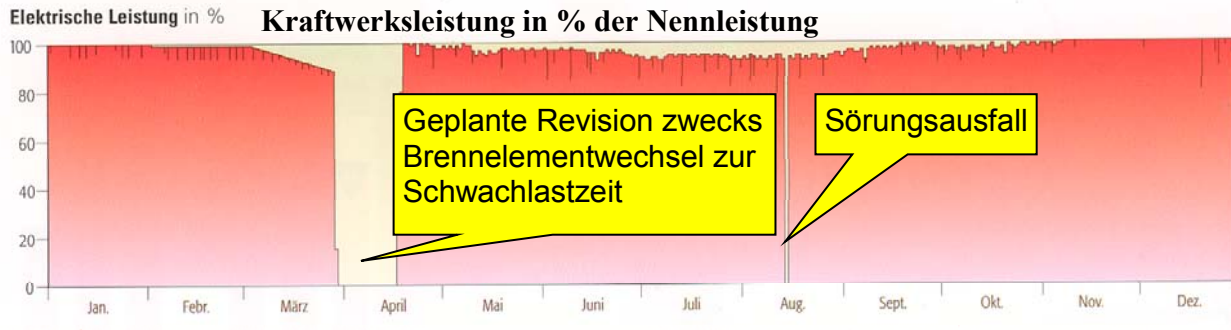
# Wie verfügbar ist der Wind ?



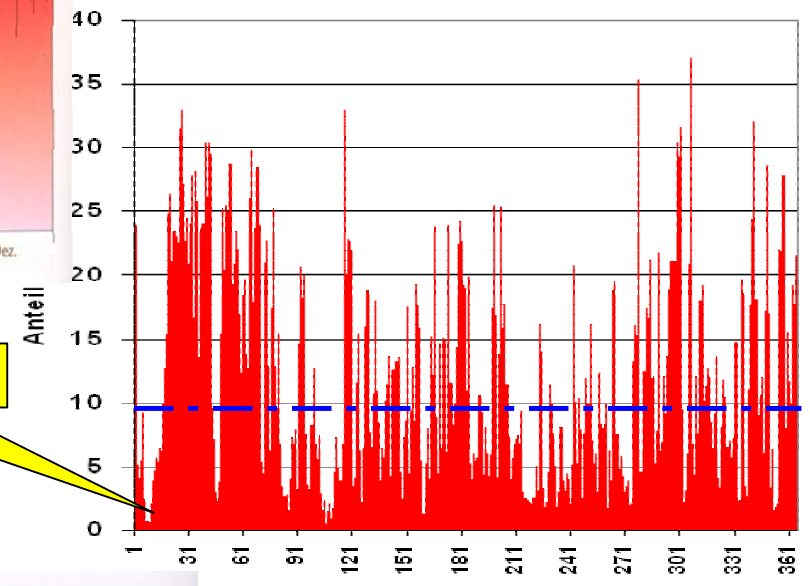
# Verfügbarkeit von Kernkraftwerken versus WEA's



## Netzeinspeisung KKW Grohnde 2001

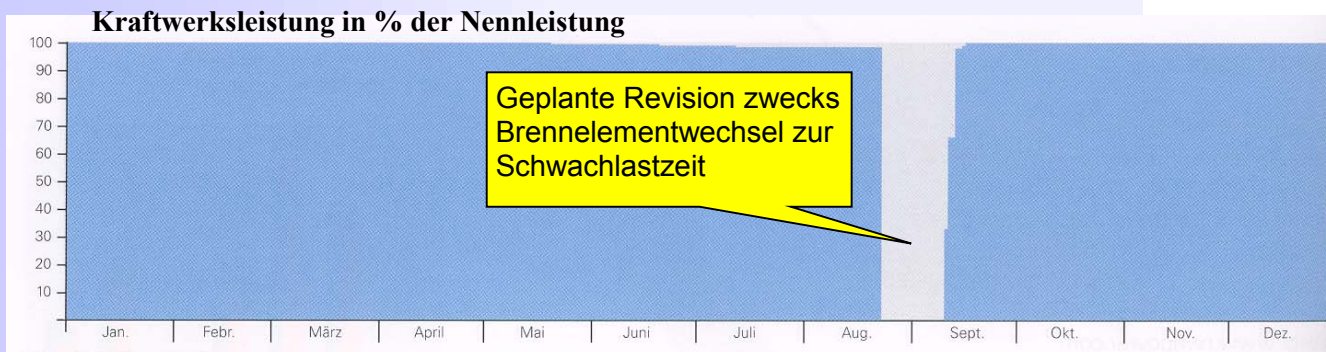


## Zeitgleiche Windeinspeisung E.ON Netz 2002



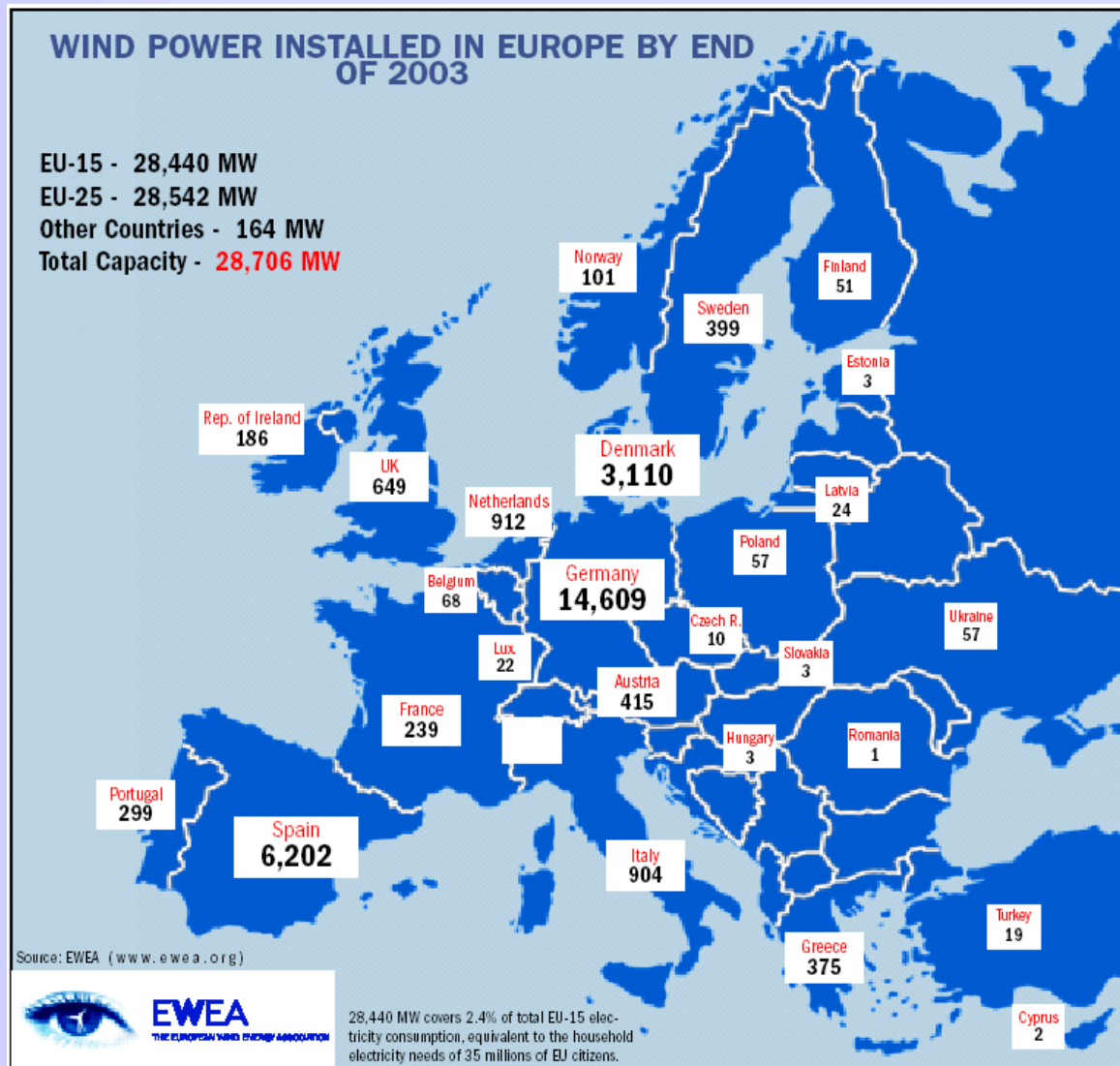
Windstille zur Starklastzeit

## Netzeinspeisung KKW Biblis B 2002





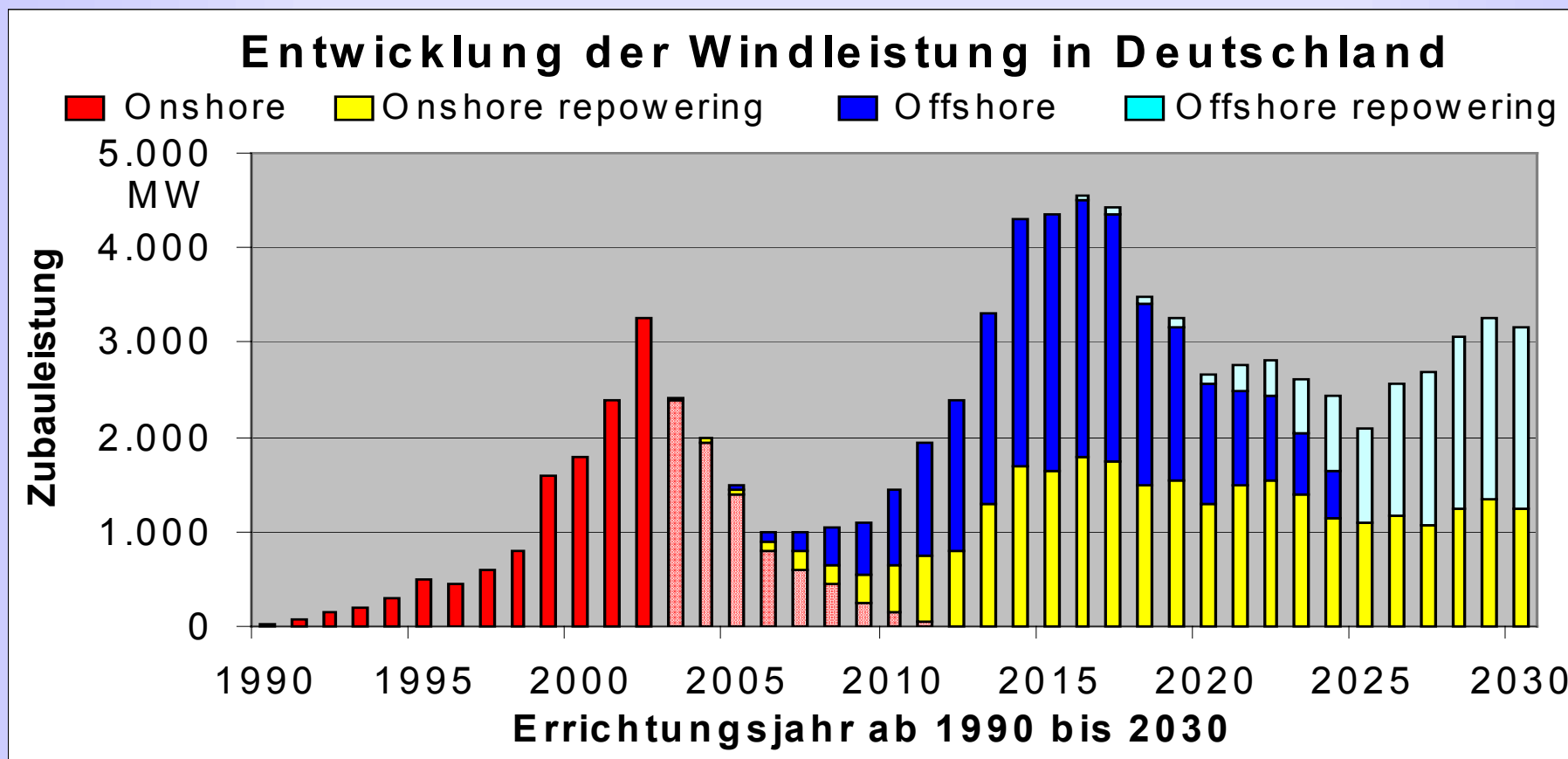
# Stand der installierten Anlagen Ende 2003



## Die weltweit führenden Länder nach WEA-Leistung

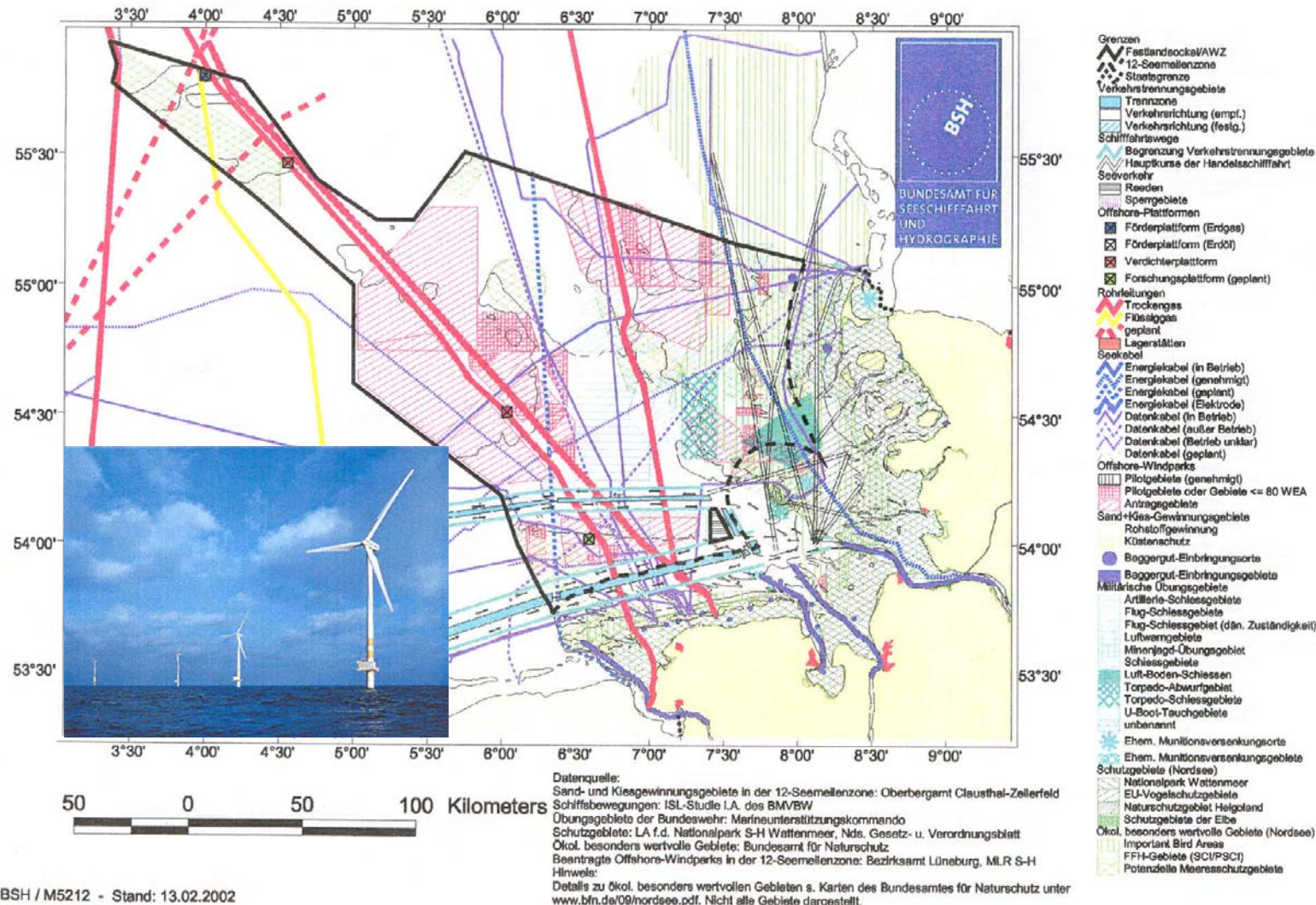
<b>Deutschland:</b>	<b>14.609 MW</b>
<b>USA:</b>	<b>6.374 MW</b>
<b>Spanien:</b>	<b>6.202 MW</b>
<b>Dänemark:</b>	<b>3.110 MW</b>
<b>Indien:</b>	<b>2.110 MW</b>
<b>Weltweit:</b>	<b>39.249 MW</b>

# Ist Offshore der Ausweg?



# Windstandorte in vielfältiger Nachbarschaft

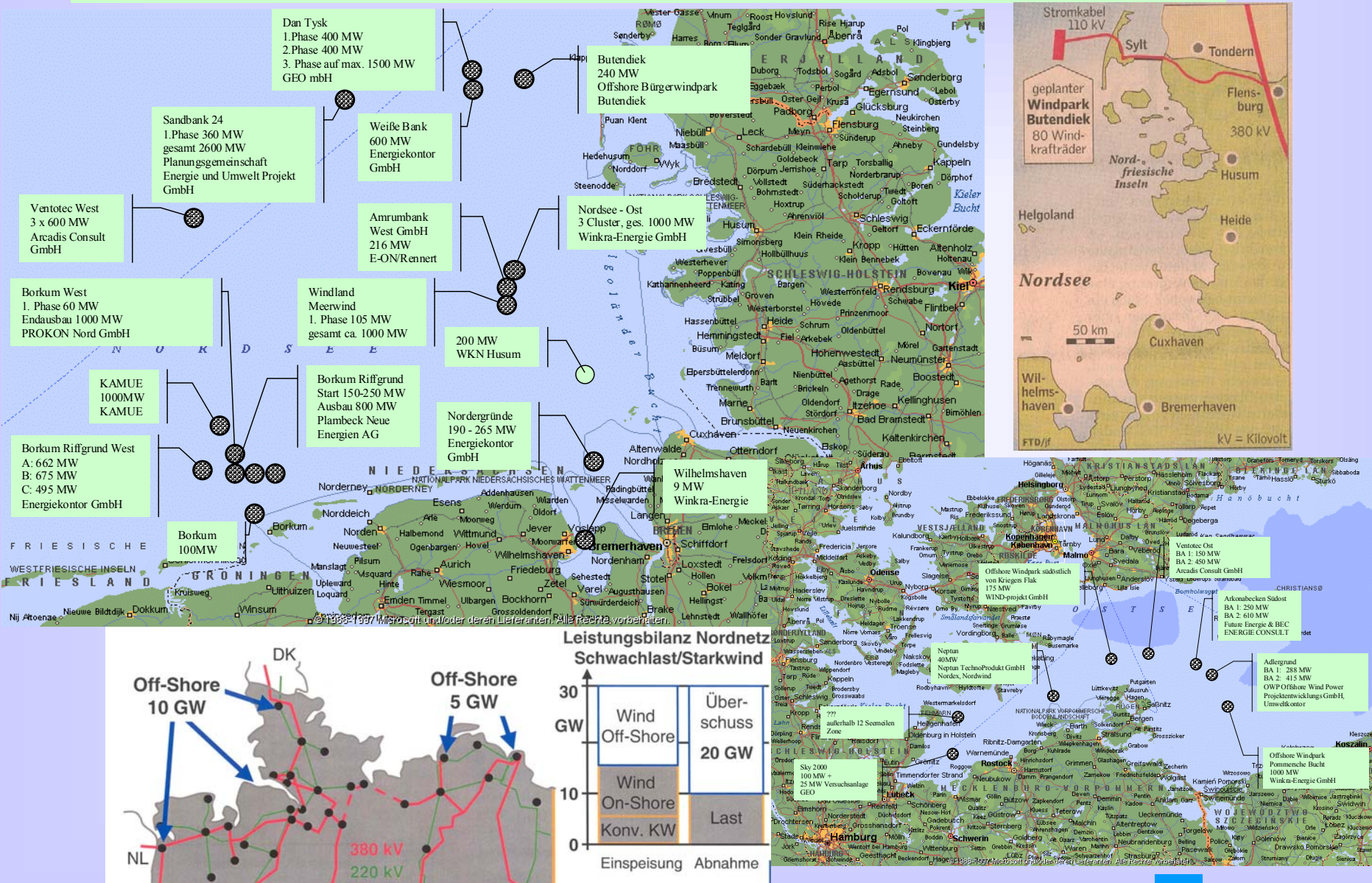
## Nordsee - Sämtliche Nutzungen



BSH / M5212 - Stand: 13.02.2002

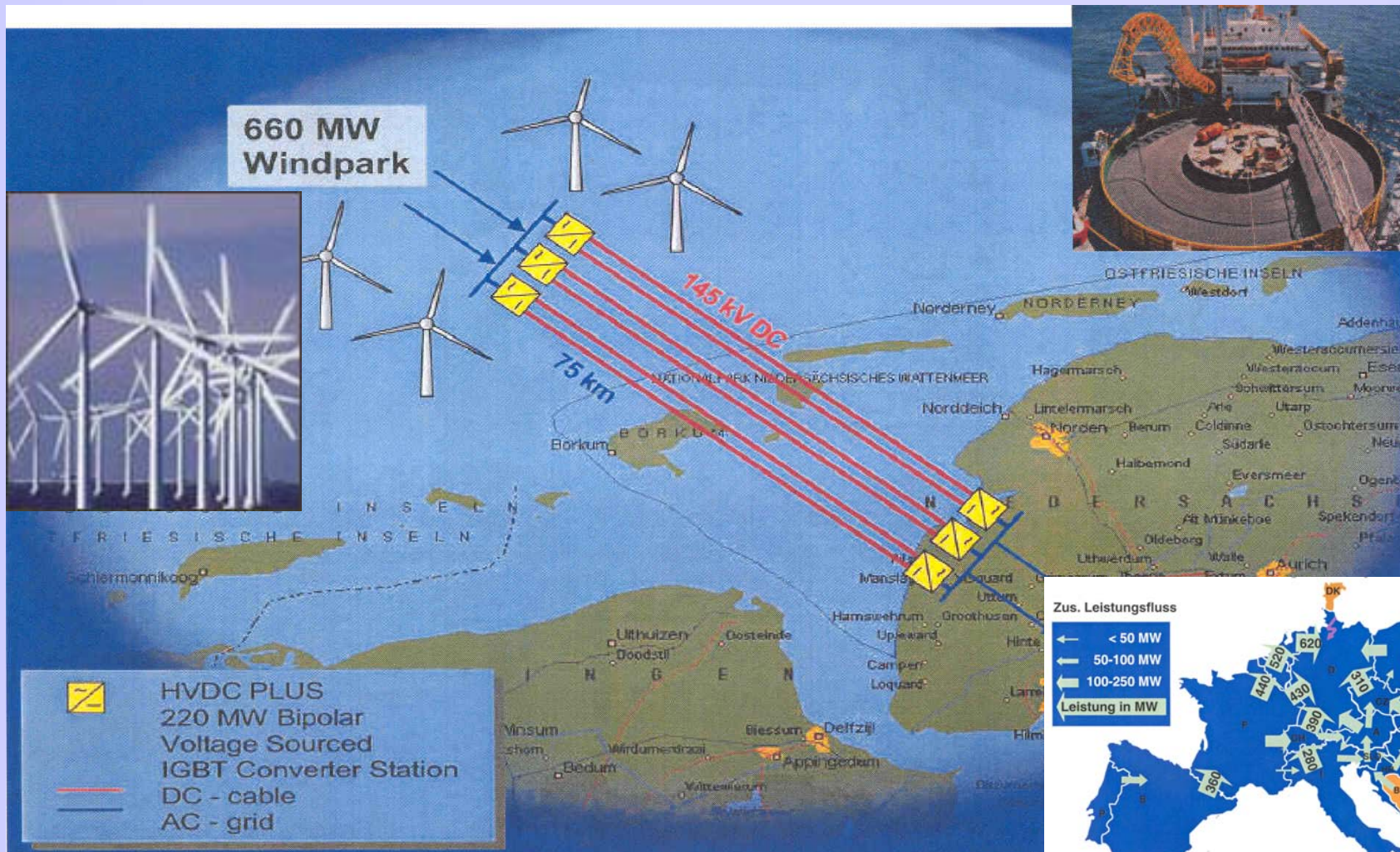


# Projekte zahlreich und unverbindlich!





# Neue Einspeise - Netzstrategie erforderlich





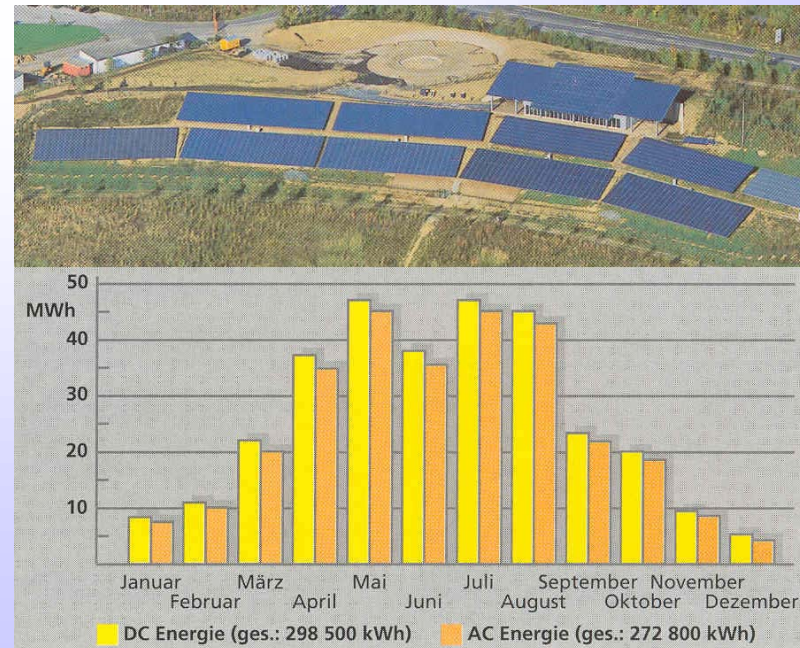
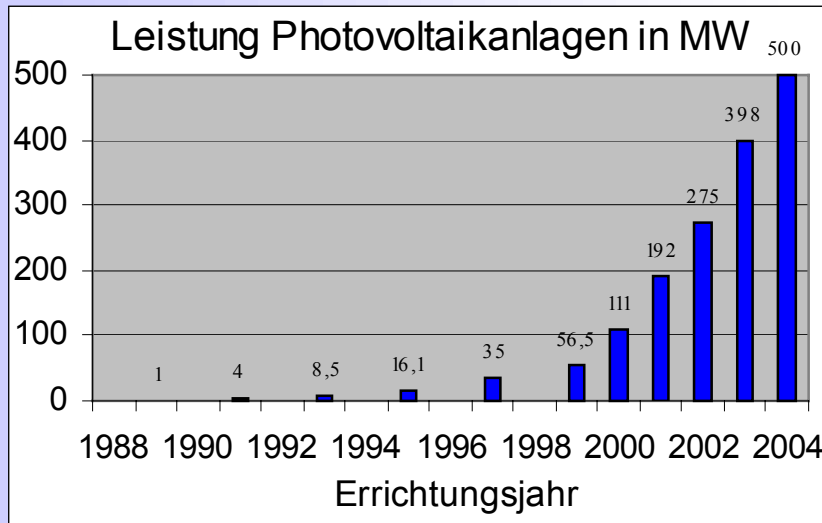
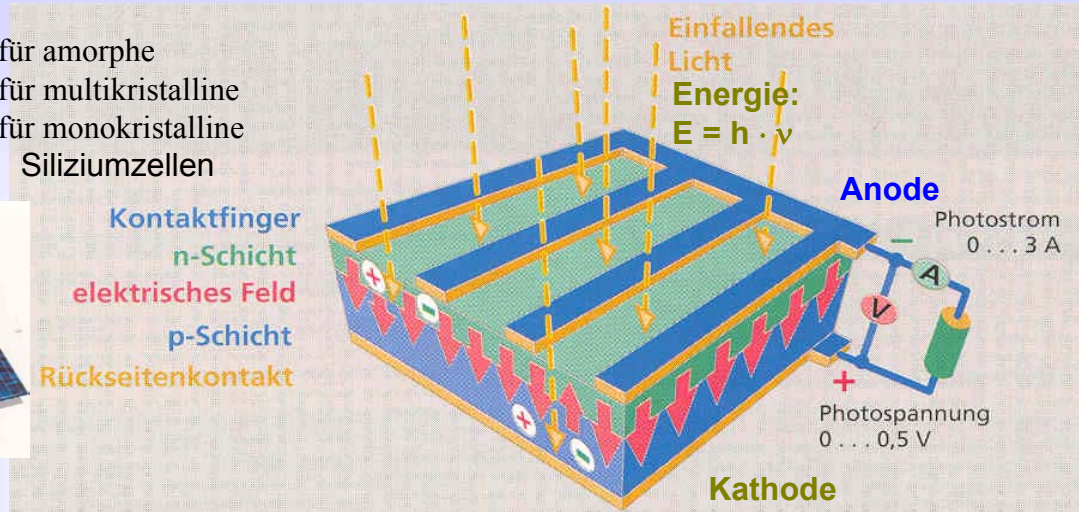
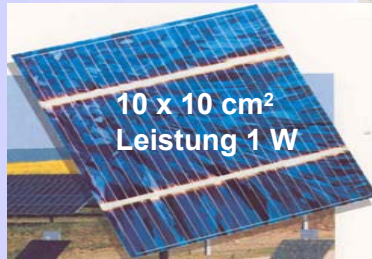
# Die Versicherungen werden vorsichtiger



# Photovoltaikanlagen zur Netzeinspeisung

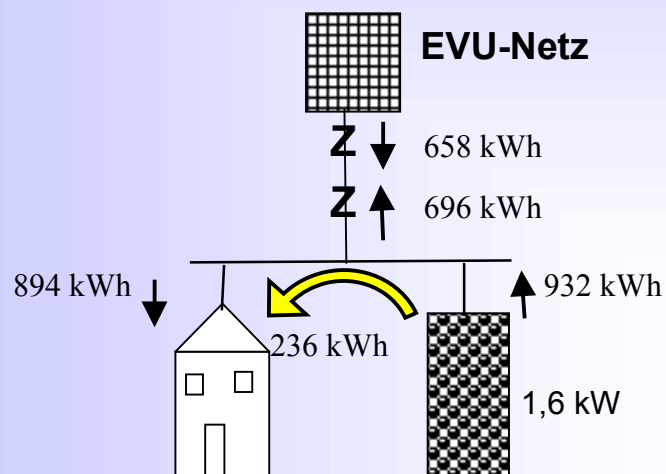
## Wirkungsgrad:

- $\eta = 6 - 7\%$  für amorphe
- $\eta = 12 - 14\%$  für multikristalline
- $\eta = 17 - 18\%$  für monokristalline Siliziumzellen

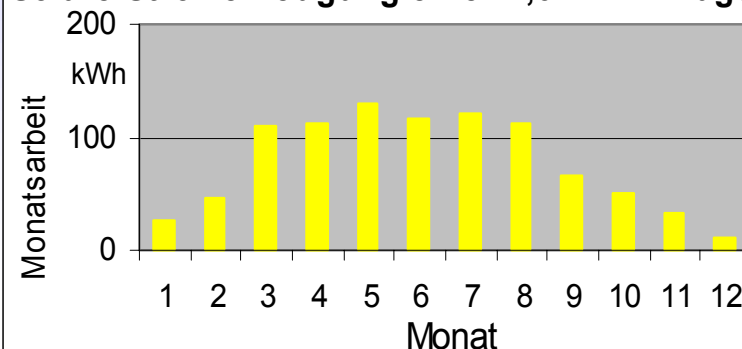




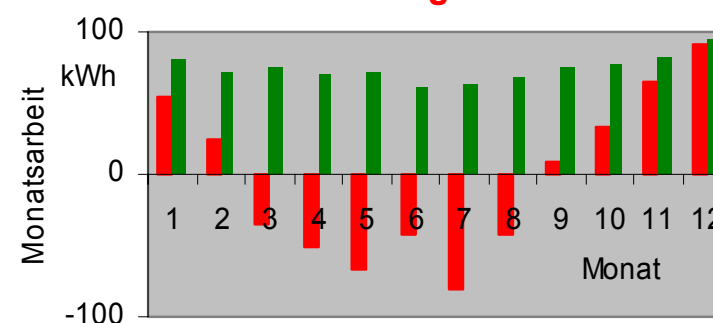
# 1,6 kW Photovoltaik - Hausanlage zur Netzeinspeisung



Solare Stromerzeugung einer 1,6 kW - Anlage



Verbrauch und Nettobezug aus dem Netz

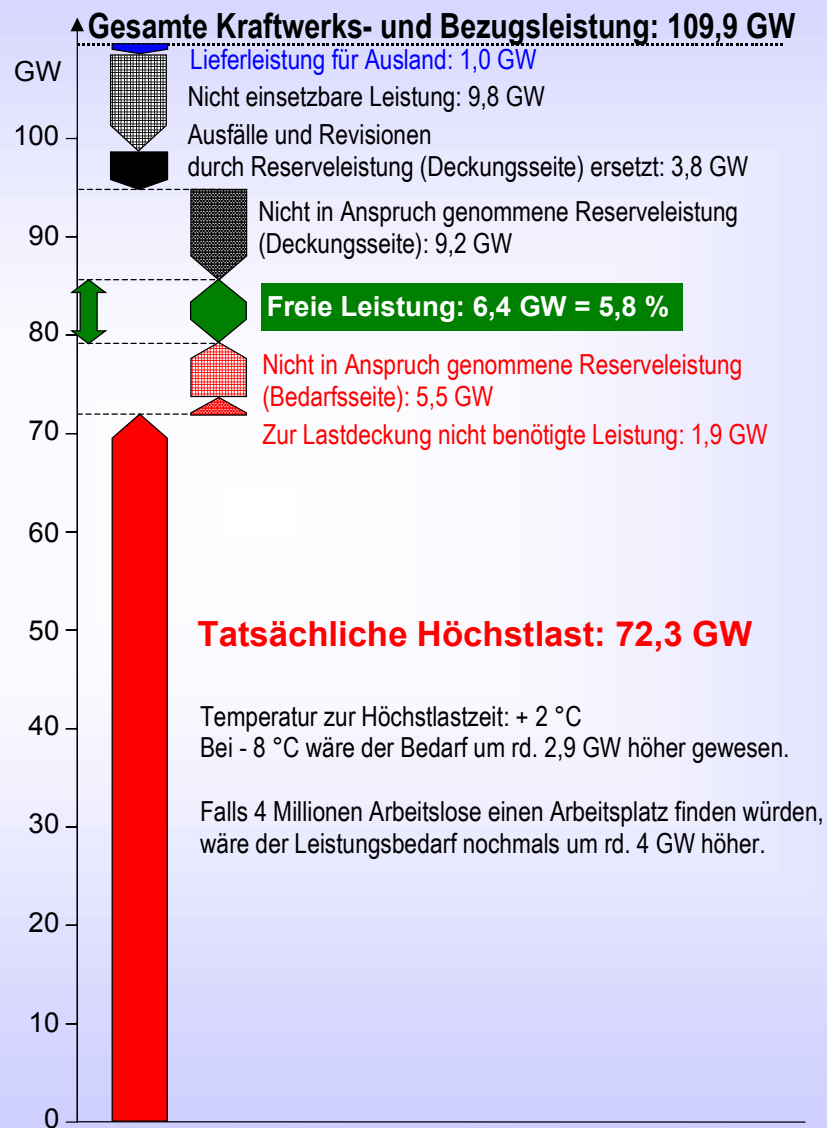


<b>Solarstromerzeugung:</b>	<b>932 kWh</b>
<b>Bezug aus dem Netz:</b>	<b>658 kWh</b>
<b>Netzeinspeisung:</b>	<b>696 kWh</b>
<b>Selbstgenutzter Solarstrom:</b>	<b>236 kWh</b>
<b>Nettobezug aus dem Netz:</b>	<b>-38 kWh</b>
<b>Gesamtverbrauch:</b>	<b>894 kWh</b>

# Wieviel Leistung ist zu viel ?

## Leistungsbilanz 1997

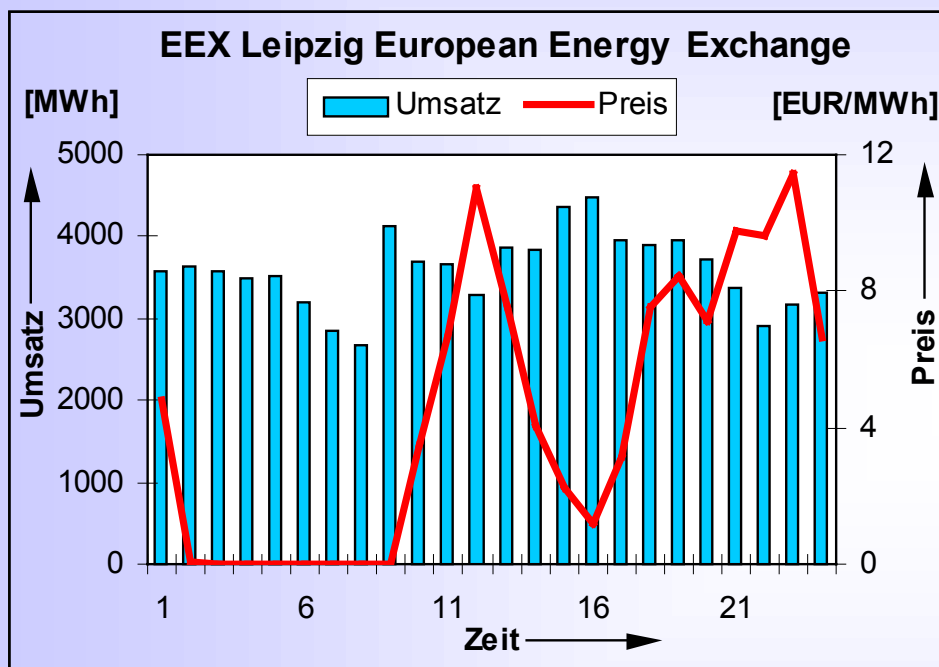
Jahreshöchstlast am  
4.12.1997, 17.45 Uhr



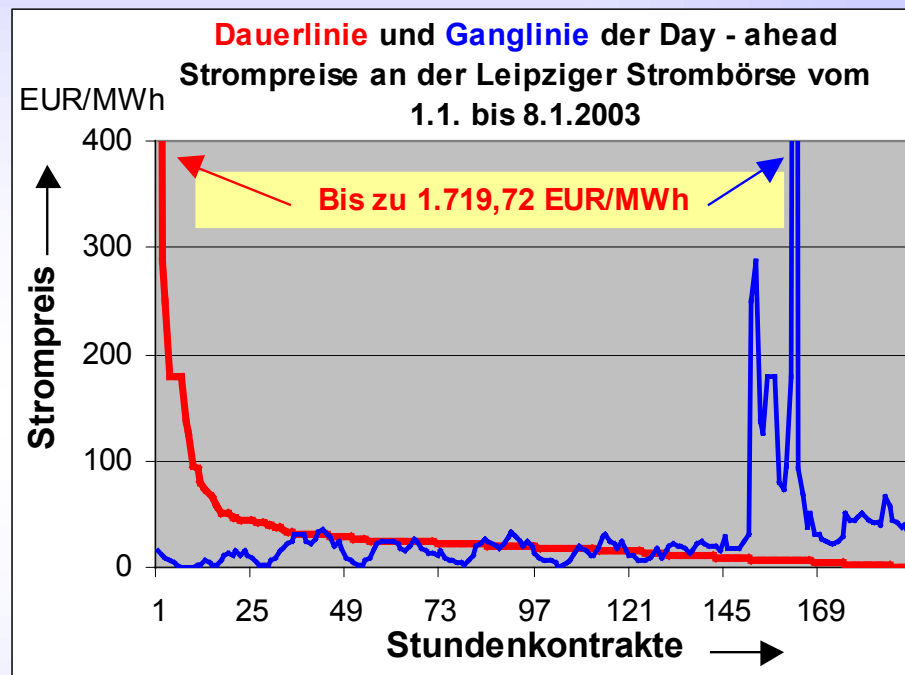


# Wie reagiert die Strombörse ?

Beispiel: 25.12. 2002 und vom 1.1. bis 8.1.2003

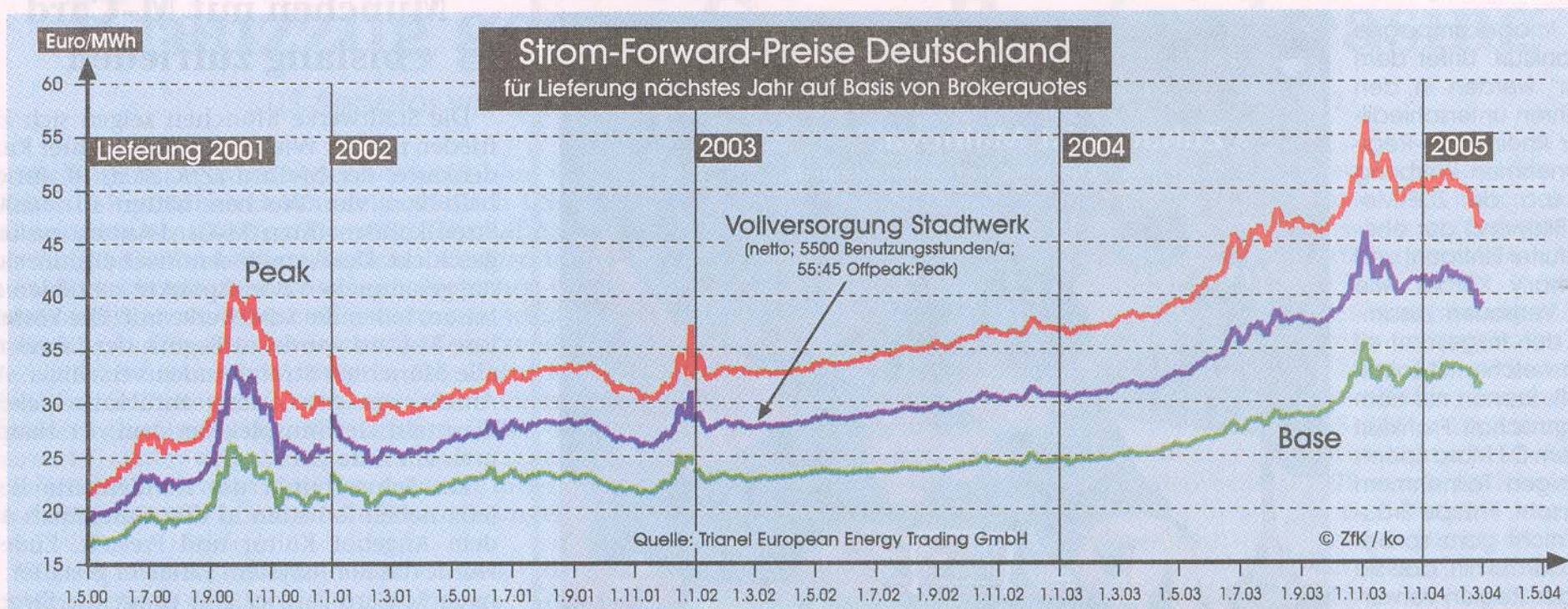


Durchschnittspreis:  $p_{\emptyset, EEX} = 4,37$  EUR/MWh



**Der Börsenpreis ist höchst volatil:  
von 0 bis 1,72 Euro je kWh, je nach Wind!**

# Wie reagiert die Leipziger Strombörse EEX ?



## Sinkende Preise

bestimmen das Handelsgeschehen bei den Forwards für 2005 im Februar. Auf dem Markt seien große Mengen an Strom angeboten

worden. „Vielleicht sollte damit das Bild der Einbahnstraße bei den Strompreisen ein wenig revidiert werden“, sagte ein Händler. Die weitere Preisrichtung sei aber eher seitwärts. Grafik: Trianel/ZfK: ko

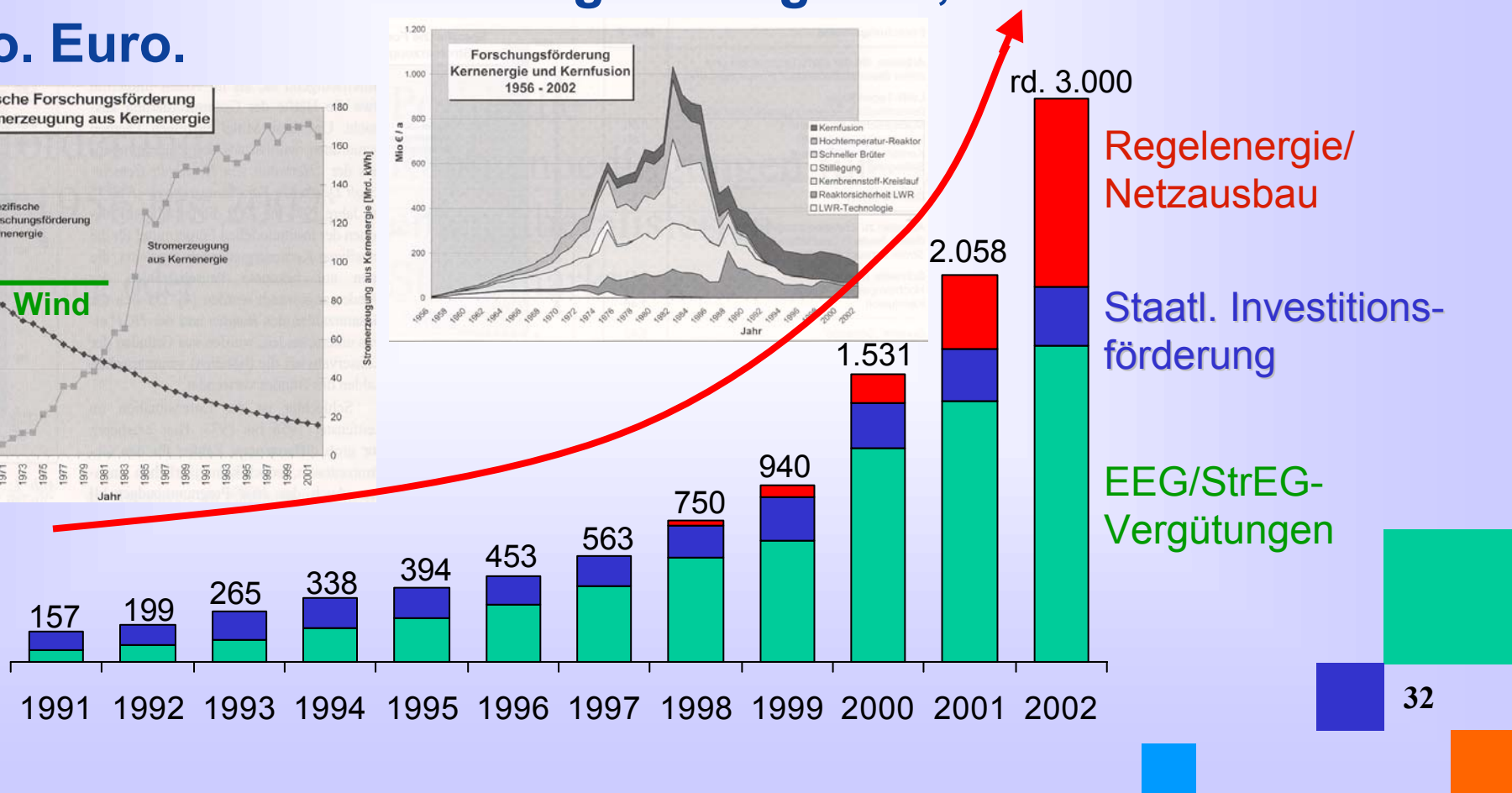
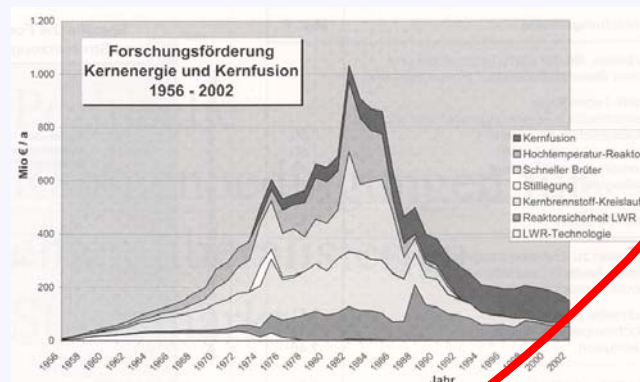
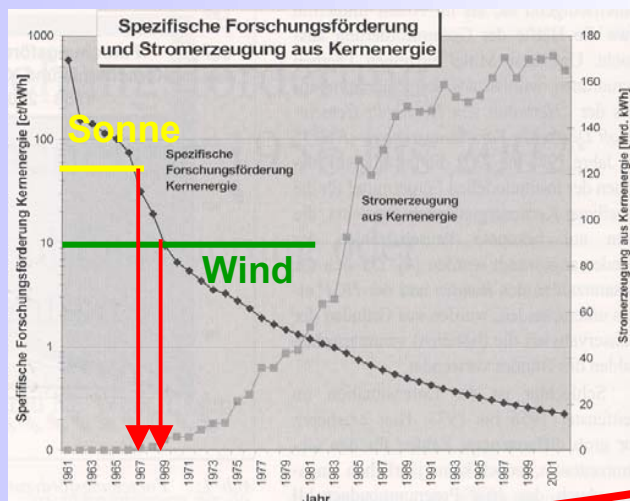
Quelle: ZfK, März 2004

# Förderung der regenerativen Energie

versus Kernenergie

Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen in Deutschland, die nach dem EEG förderungswürdig sind, in Mio. Euro.

Gibt es Grenzen ?





## Novelle des EEG vom 7.11.2003

Das Bundesumweltministerium und das Bundeswirtschaftsministerium haben sich auf folgende Regelungen geeinigt:

Windenergie: Anfangsvergütung ab 2004 im Binnenland 8,7 Ct/kWh, Degression für neue Anlagen 2 % pro Jahr (bisher 1,5 %).

**(d.h. Wirtschaftlichkeitsschwelle nach 73 Jahren erreicht).**

Offshore 9,1 Cent/kWh für mindestens 12 Jahre fest.

Solarstrom: 45,7 Ct/kWh Grundvergütung plus 11,7 Ct/kWh für Anlagen bis 30 kW und plus 9,3 Ct/kWh für Anlagen über 30 kW, generell zuzüglich 5 Ct/kWh für Fassadenanlagen. Degression für neue Anlagen bleibt bei 5 %.

**(d.h. Wirtschaftlichkeitsschwelle nach 65 Jahren erreicht).**

Biomasseanlagen: 11,5 Ct/kWh für Anlagen bis 150 kW zuzüglich 2,5 Ct/kWh (bis 5 MW), zuzüglich 1 Ct/kWh bei innovativer Technik wie Brennstoffzellen.

Wasserkraft: Einbeziehung von Anlagen über 5 MW hinaus bis 150 MW, sofern mindestens 15 % Effizienzsteigerung.



# Wie reagiert der Kunde ? „Mix it, Baby“

35 % Sonne  
30 % Wind  
20 % Wasser  
15 % Biogas

4.000 kWh: 1.682 €  
statt 650 €



Anbieter	Primärenergie und Arbeitspreis	Gesamtpreis incl. Grundpreis bei 4000 kWh/a	
		Angebotspreis Cent/kWh	Angebotspreis vor MWSt und verbleibende Erzeugungskosten <sup>1)</sup> Cent/kWh
<b>E.ON Mix-Power</b> Grundpreis 9,99 Euro/Monat Entsprechend 3,00 Cent/kWh bei 4000 kWh/a	100 % Sonne 72,80 Cent/kWh	75,80	65,34 - 11,42 = 53,92
	100 % Wind 23,46 Cent/kWh	26,46	22,81 - 11,42 = 11,39
	100 % Biogas 21,80 Cent/kWh	24,80	21,38 - 11,42 = 9,96
	100 % Wasser 16,36 Cent/kWh	19,36	16,69 - 11,42 = 5,27
	100 % Kohle 15,33 Cent/kWh	18,33	15,80 - 11,42 = 4,38
	100 % Kernenergie 13,29 Cent/kWh	16,29	14,04 - 11,42 = 2,62
<b>RWEavanza</b> 8,17 €/Monat 13,57 Ct/kWh	Mix Geschäftsbericht	16,02	13,81 - 11,42 = 2,39
<b>Yello</b> 6,6 €/Monat 13,20 Ct/kWh	Mix Geschäftsbericht	15,18	13,09 - 11,42 = 1,67

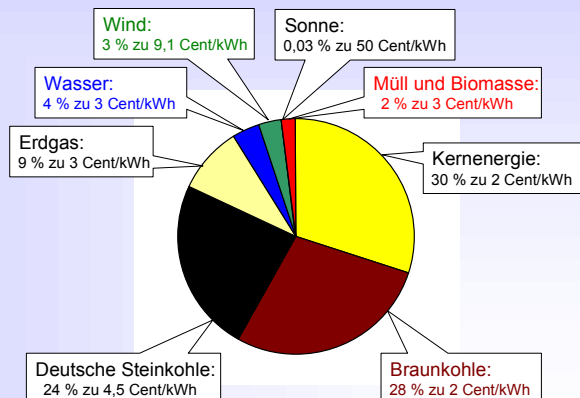


Tabelle 1. Strompreisangebote und Erzeugungskosten verschiedener Anbieter im liberalisierten Markt für Haushaltkunden

1) Abzüglich den gesetzlich oder vertraglich festliegenden Kosten wie: 1,79 Ct/kWh Ökosteuern, 0,27 Ct/kWh EEG-Abgabe, 1,64 Ct/kWh Konzessionsabgabe (Mittelwert), 0,90 Ct/kWh Messkosten und 6,56 Ct/kWh Netznutzungskosten incl. 0,26 Ct/kWh KWK-Abgabe, insgesamt 11,42 Ct/kWh administrative Abgaben.



# Wie reagiert die Politik ???

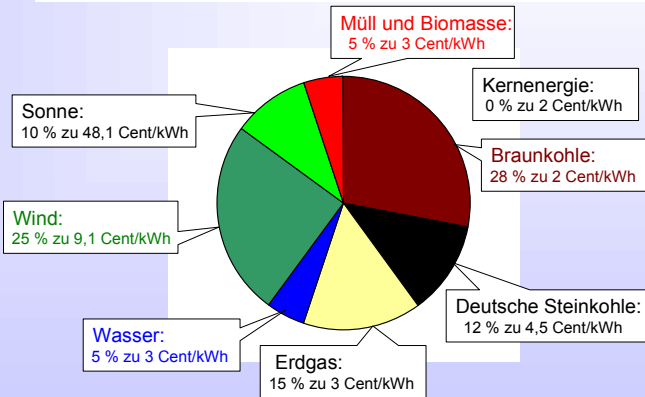


**Aktueller Mix und fiktiver Zukunftsmix der Stromerzeugung**

Jahreskosten für Stromerzeugung:  
**15 Mrd. Euro**

Durchschnittspreis: **3 Cent /kWh**

Kernenergie:	30 %	⇒	0 %	⇒	- 3,00 Mrd. Euro
Braunkohle:	28 %	⇒	28 %	⇒	0
Steinkohle:	24 %	⇒	12 %	⇒	- 2,70 Mrd. Euro
Erdgas:	9 %	⇒	15 %	⇒	+ 0,90 Mrd. Euro
Wasser:	4 %	⇒	5 %	⇒	+ 0,15 Mrd. Euro
Wind:	3 %	⇒	25 %	⇒	+ 10,01 Mrd. Euro
Sonne:	0,03 %	⇒	10 %	⇒	+ 23,98 Mrd. Euro
Müll, Biomasse:	2 %	⇒	5 %	⇒	+ 0,45 Mrd. Euro



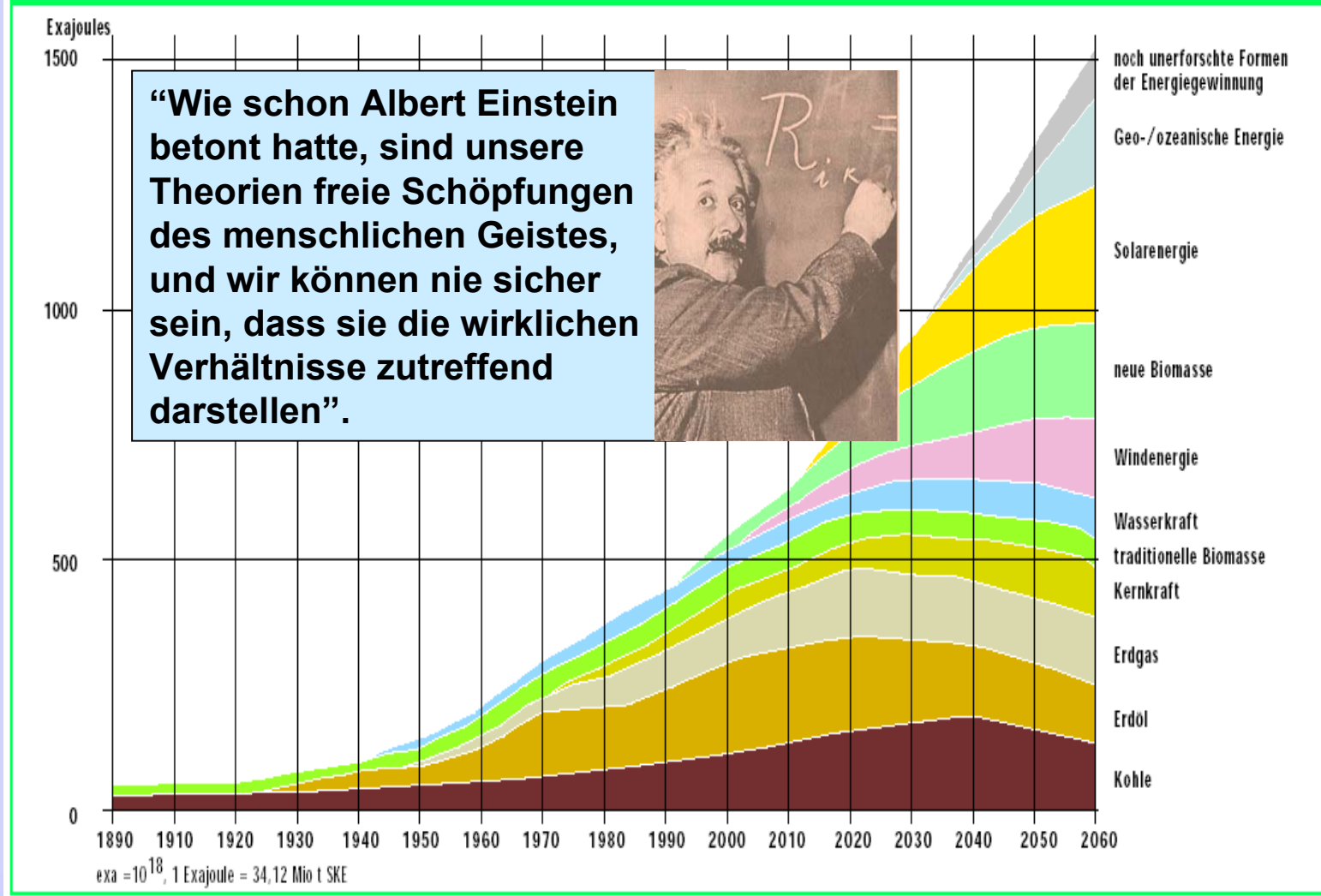
Jahreskosten für Stromerzeugung:  
**45 Mrd. Euro**

Durchschnittspreis: **9 Cent /kWh**

**Mehrkosten:**  
**30 Mrd. Euro/a**  
**oder 120.000 EFH's/a**

# Was bringt die Zukunft ?

Shell-Energieszenario: Weltenergieverbrauch bis 2060 (denkbare Entwicklung)



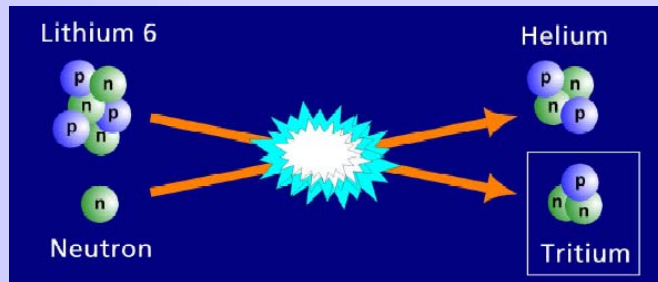
# BoA - Block Niederaussem 978 MW, RWE Power Wirkungsgrad > 43%



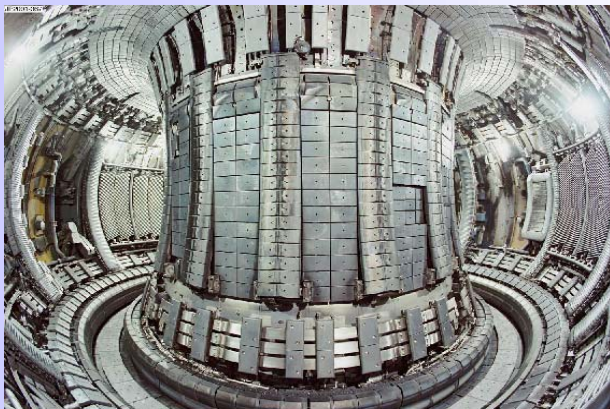
Baukosten: 1,2 Mrd. Euro (1.227 €/kW)



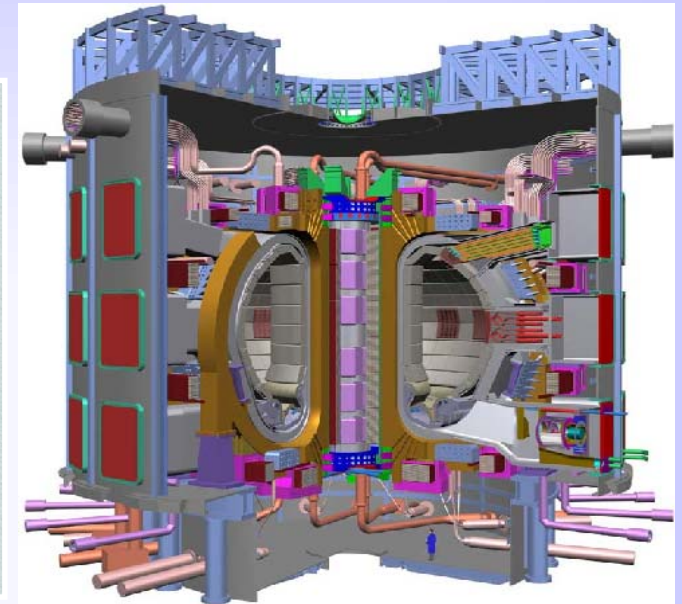
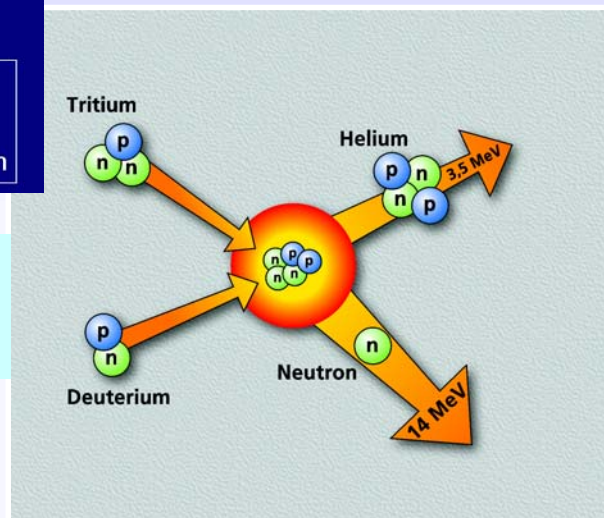
# Was bringt die Zukunft ? ... Kernfusion ? ...



## Fusionsreaktor Joint European Torus JET



Quelle: Forschungszentrum  
Jülich, Prof. Dr. U. Samm



### Veranschlagte Baukosten ITER:

**4,7 Milliarden Euro (in abgespeckter Version)**

EU Standortbewerbung:

- Cardarache (bei Aix-en-Provence)
- neben Clarington in Kanada und Rokkasho in Japan

**Stand der Verhandlungen über den Finanzierungsmodus:**

- Gastland 40%
- EU, China, Südkorea, Rußland, USA 60%



# Industrie soll Emissionen stark senken

## ☎ Emissionshandel ☎



**CO<sub>2</sub>**  
 2002/2003 505 Mio. t → 2007 488 Mio. t

**Einzelanlagen: statt 3,4 % nun 7,1 bis 7,9 % !**

**Börsenwerte:**  
 5 bis 15 €/t CO<sub>2</sub> entsprechend rd.  
 0,5 bis 1,5 Ct/kWh bei Braunkohle!

### Marktwirtschaftlicher Umweltschutz Wie der Handel mit Emissionsrechten funktioniert

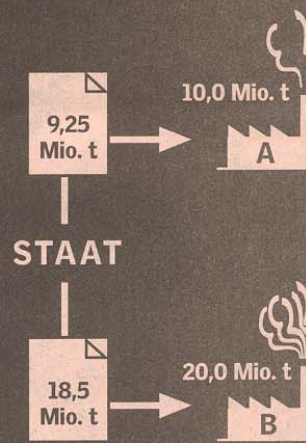
#### 2000-2002

**Das Ziel:**  
 Deutschland will bis zum Jahr 2007 den Ausstoß von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Industrie deutlich verringern. Als Berechnungsbasis gilt die Emissionsmenge der Firmen in den Jahren 2000 bis 2002.



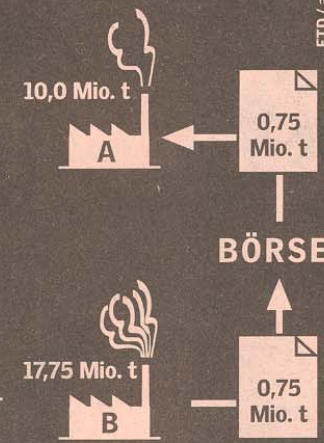
#### 2005-2007

**Der Weg:**  
 Der Staat verteilt zum Jahreswechsel 2004/2005 Emissionsrechte, die den Firmen in den Jahren 2005 bis 2007 nur noch eine um 7,5 Prozent gesenkte CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge erlauben.



**Firma A**  
 investiert nicht in Umweltschutz und muss 2007 Emissionsrechte dazukaufen.

**Firma B**  
 verringert kontinuierlich den CO<sub>2</sub>-Ausstoß und kann 2007 Emissionsrechte verkaufen.

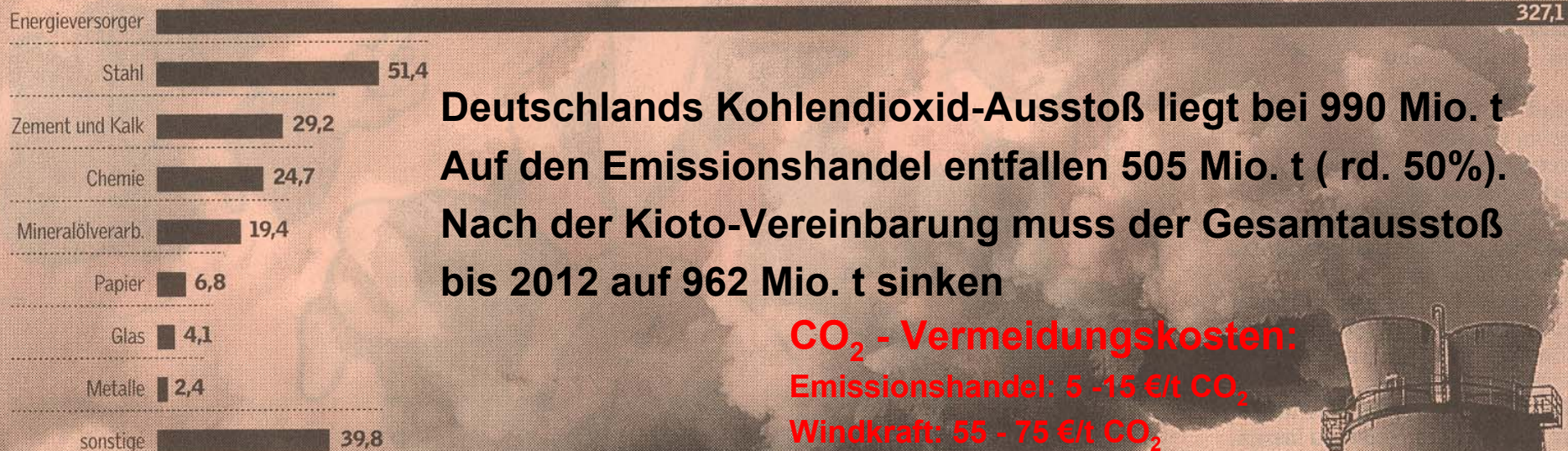


FTD / amr: Quelle: FTD

Quelle: FTD 2.2.2004



# CO<sub>2</sub> Emittenten für den Zertifikatshandel



FTD/am: Quelle: BDI NRW

**Summe: 504,9 Mio. t**  
aus 2.600 Kraftwerke und Fabriken

**Deutschlands Kohlendioxid-Ausstoß liegt bei 990 Mio. t**  
**Auf den Emissionshandel entfallen 505 Mio. t ( rd. 50%).**  
**Nach der Kioto-Vereinbarung muss der Gesamtausstoß**  
**bis 2012 auf 962 Mio. t sinken**

**CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten:**

**Emissionshandel: 5 -15 €/t CO<sub>2</sub>**

**Windkraft: 55 - 75 €/t CO<sub>2</sub>**

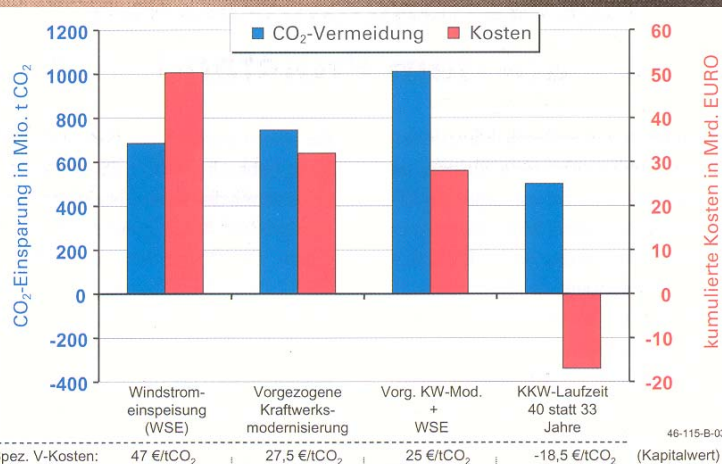
**KWK: 70 - 100 €/t CO<sub>2</sub>**

**Fotovoltaik: 300 - 600 €/t CO<sub>2</sub>**



## Treibhausgas-Emittenten

Kohlendioxid-Ausstoß der in den  
Zertifikathandel einbezogenen Branchen  
2001, in Mio. Tonnen



Quelle: FTD 11.2.2004

4 Szenarien-Studie Prof. Wagner, TU München,  
Forum Berlin 13.1.2004

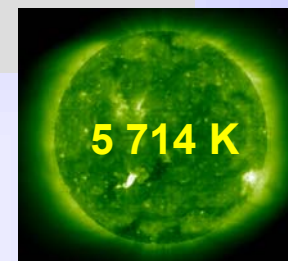


# Klimafaktoren 900 nach Chr. bis heute

☎ Emissionshandel ☎

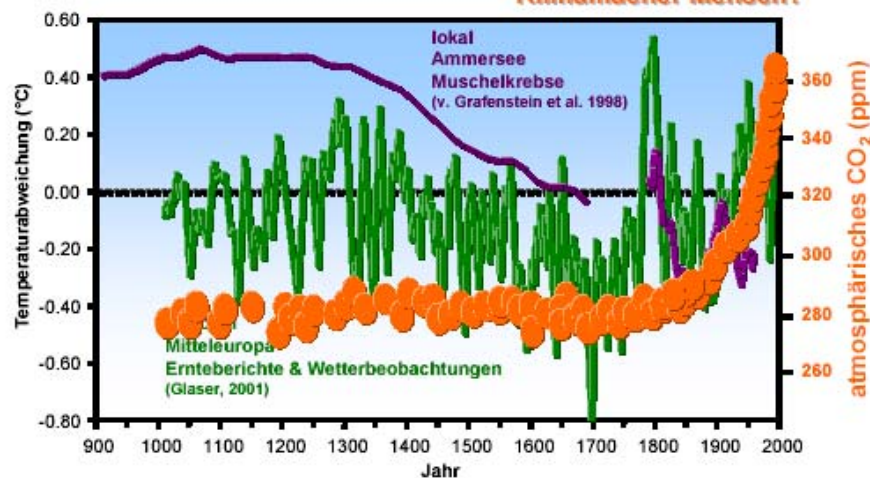


Ist CO<sub>2</sub> an allem Schuld ?



## Gute Zeiten – schlechte Zeiten

### Klimamacher Mensch?

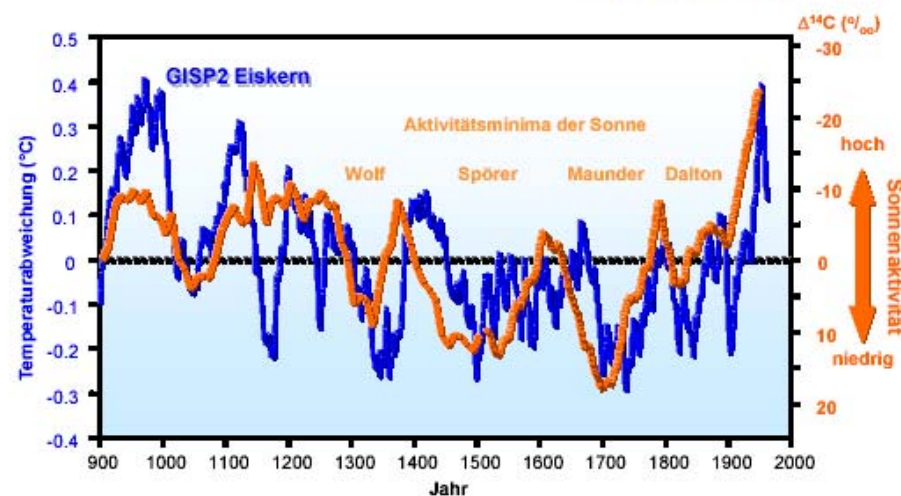


Quellen: Glaser (2001); v. Grafenstein et al. (1998); CDIAC (2003)



## Motor Sonne

### Die Launen der Sonne



Quellen: GISP2 Eiskern-Projekt; Stuiver et al. (1998)

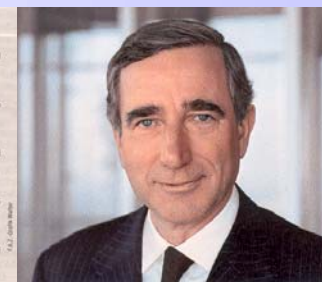


Quelle: FTD 2.2.2004, BGR Dr. Berner Hannover

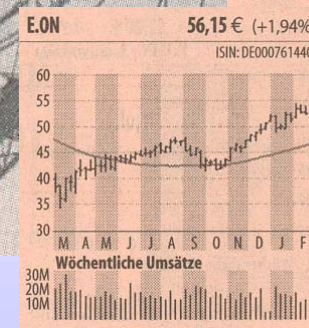
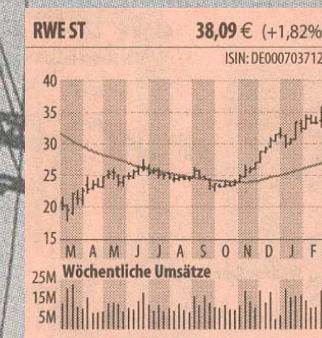
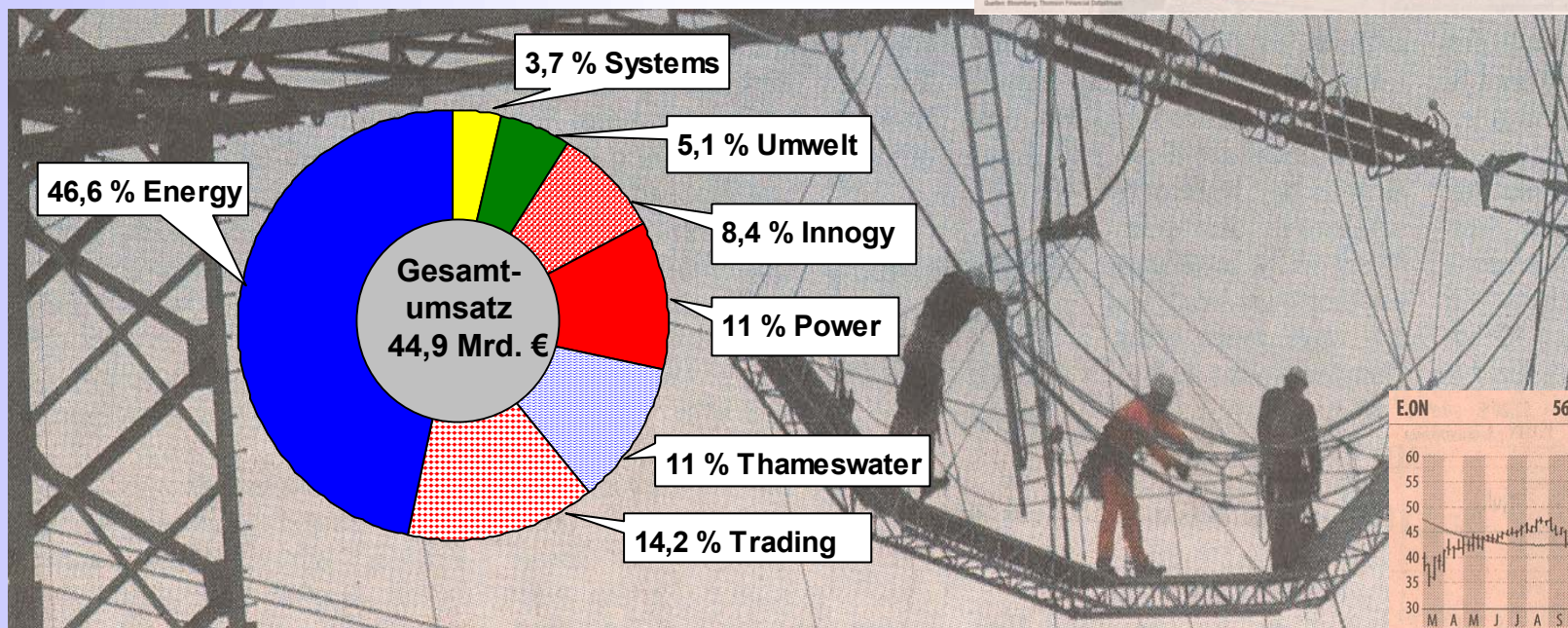
**Vielen Dank für Ihr Interesse  
„Es gibt noch viel zu tun, packen wir es an“**

## RWE AG Umsatz 2003 nach Sparten

Steigende Aktien, fallende Renditen



**CEO Harry Roels**



Quelle: FTD 9.2.2004, FAZ 9.3.2004