

# **Bewertung unterschiedlicher Strategien einer zukünftigen Stromerzeugung**

Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
Universität Stuttgart  
[www.ier.uni-stuttgart.de](http://www.ier.uni-stuttgart.de)

**VDI-KTG Kolloquium  
„Perspektiven der Kernenergie“  
Dresden, 29. September 2005**

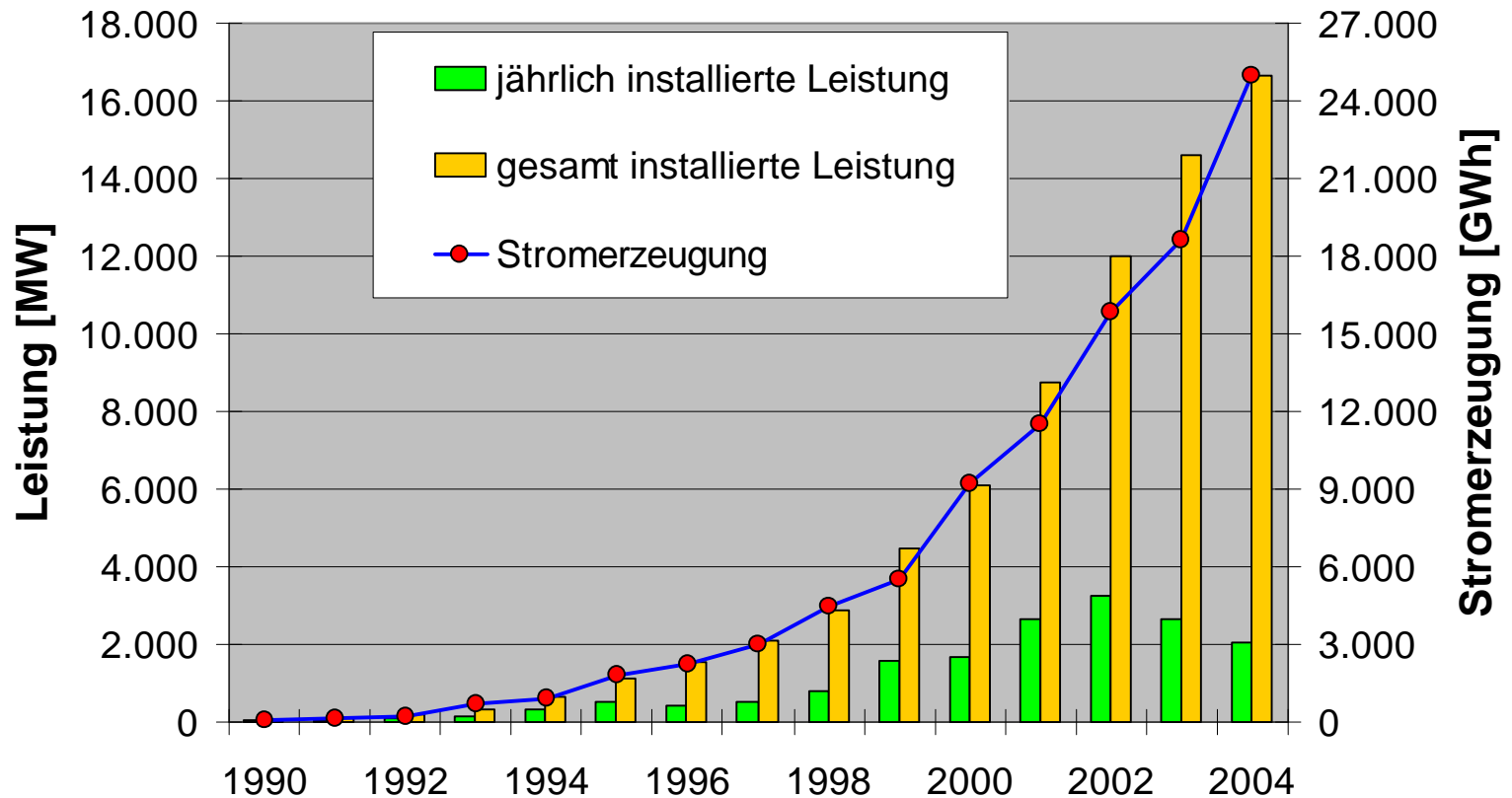
## **Ziele und Elemente der Energiewendepolitik**

- **Orientierung am Leitbild der Nachhaltigkeit: Verfolgung dreier gleichrangiger Ziele: Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit**
- **Steuerung über Märkte und Wettbewerb**
- **Geordnete Beendigung der Nutzung der Kernenergie**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK**
- **Minderung der energiebedingten Treibhausgasemissionen**
- **Ökologische Steuerreform**

## ➤ **Ökologische Steuerreform**

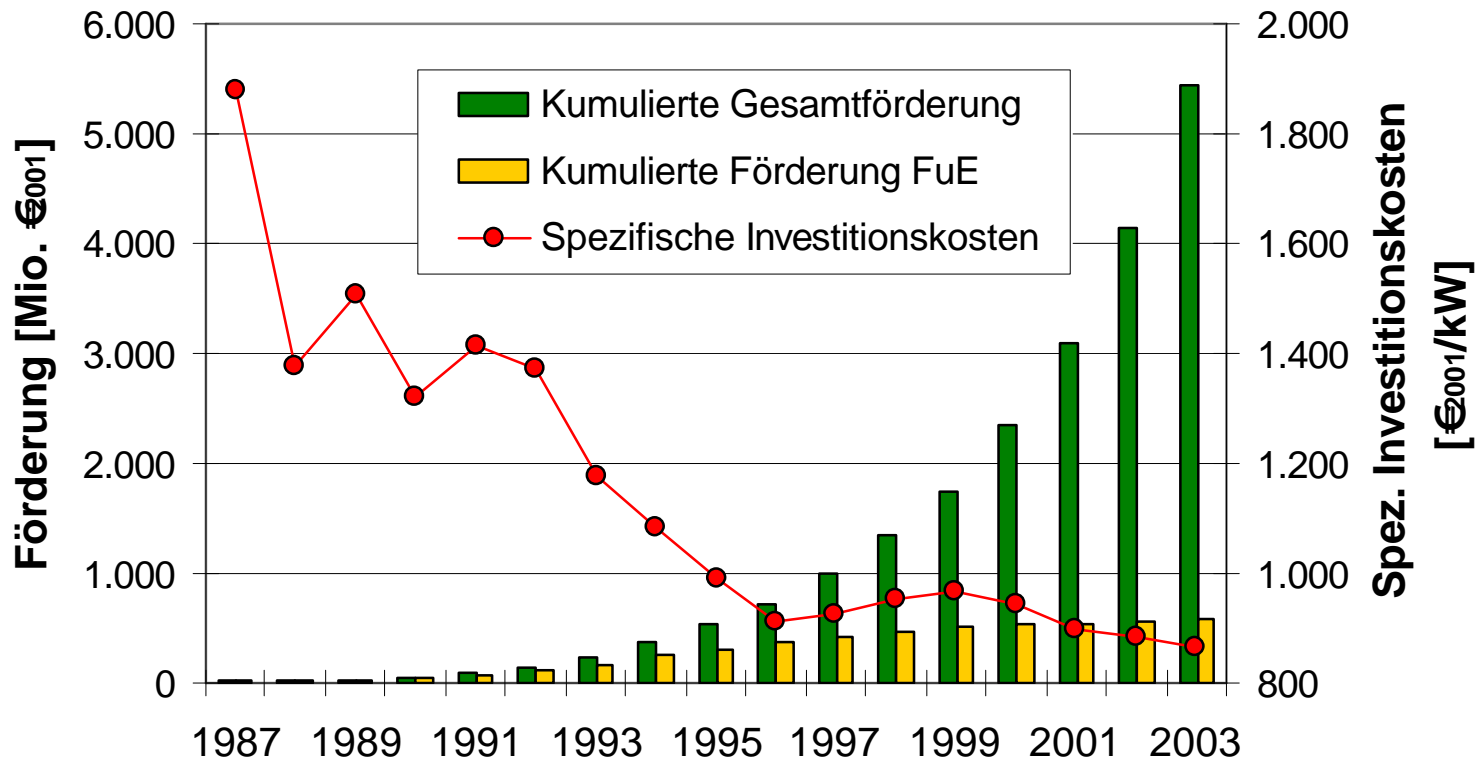
- **Ökologische Steuerreform**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**

# Entwicklung der Windenergienutzung



Quelle: Bundesverband WindEnergie e.V.

# Windenergie: Kumulierte Fördersummen und spezifische Investitionskosten

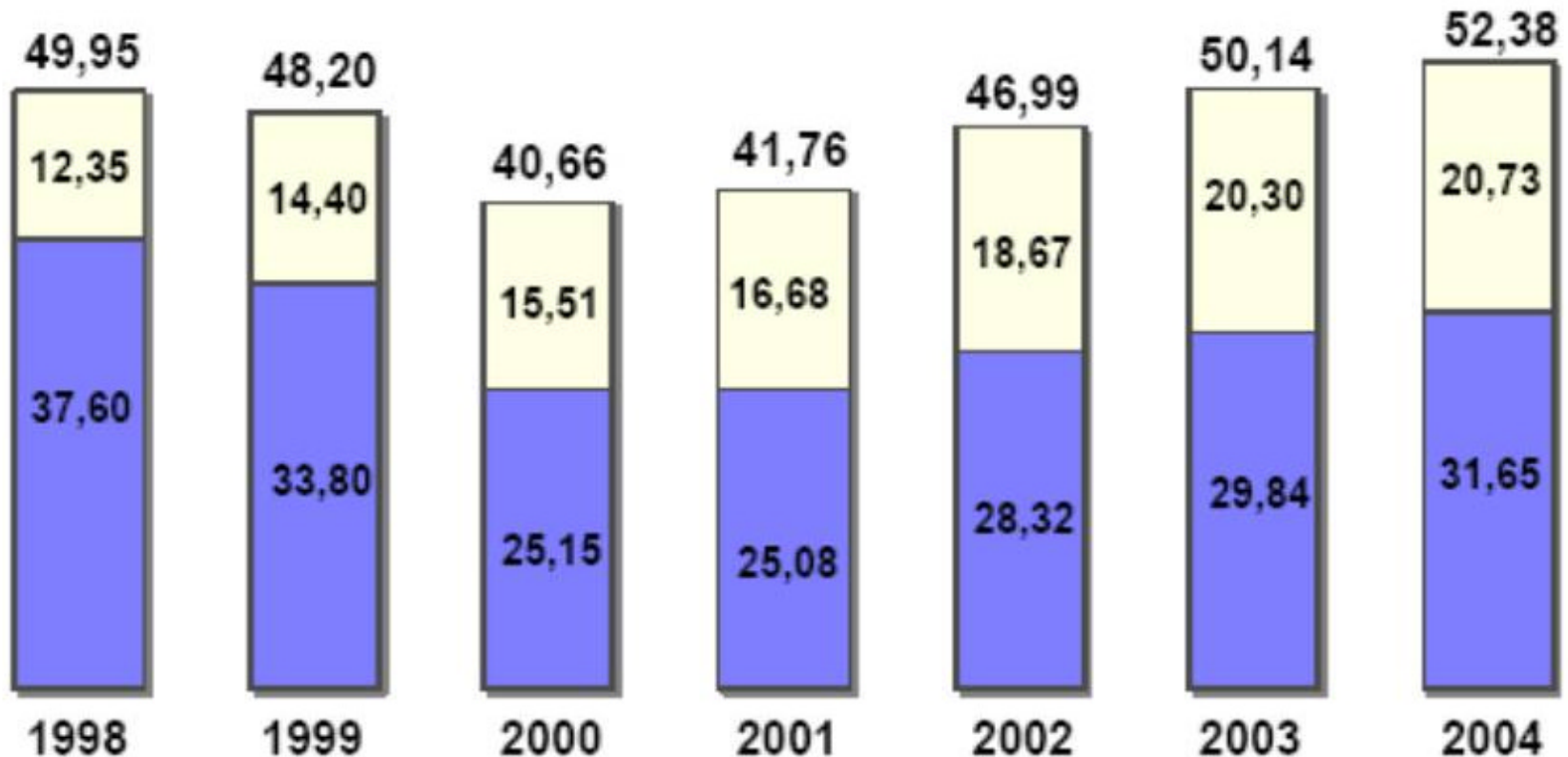



## Kosten des Windstroms

- Erzeugungskosten (je nach Standort, bei Zinssatz von 8%)	7 bis 12 ct / kWh
- Back-Up-Kosten für gesicherte Leistung	0,7 bis 1,8 ct / kWh
- Netzausbau und Netzverluste	ca. 0,2 ct / kWh
<hr/>	
Gesamtkosten	8 bis 14 ct / kWh

- **Ökologische Steuerreform**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **Liberalisierung und Wettbewerbsorientierung der Energiemärkte versus staatliche Interventionen**

## Durchschnittliche monatliche Stromrechnung eines Drei-Personen-Haushaltes (3.500 kWh/a) in Euro

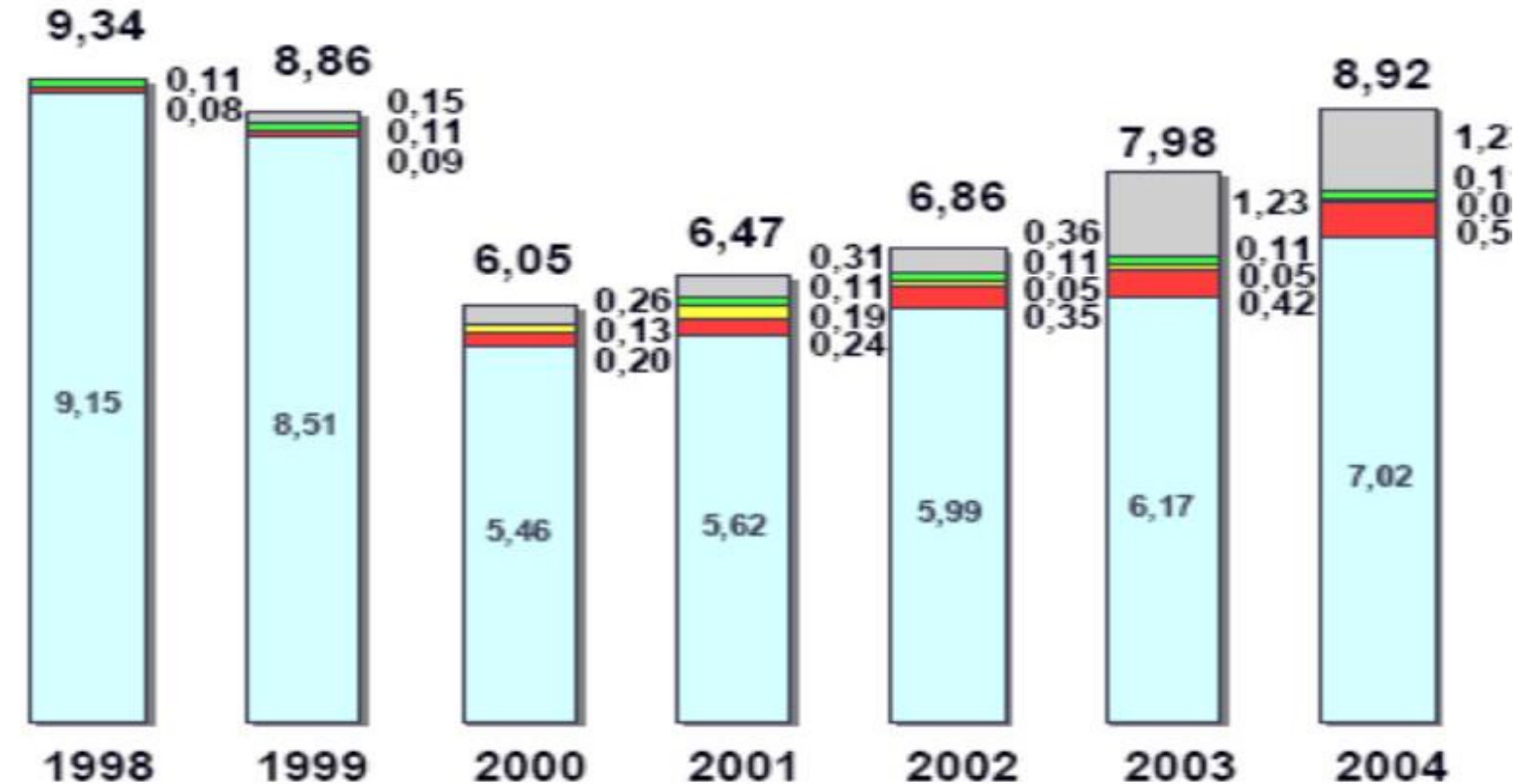


 Erzeugung,  
Transport und Vertrieb

 Steuern, Abgaben, Umlagen  
(Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz,  
Stromsteuer, Konzessionsabgabe, MWST)

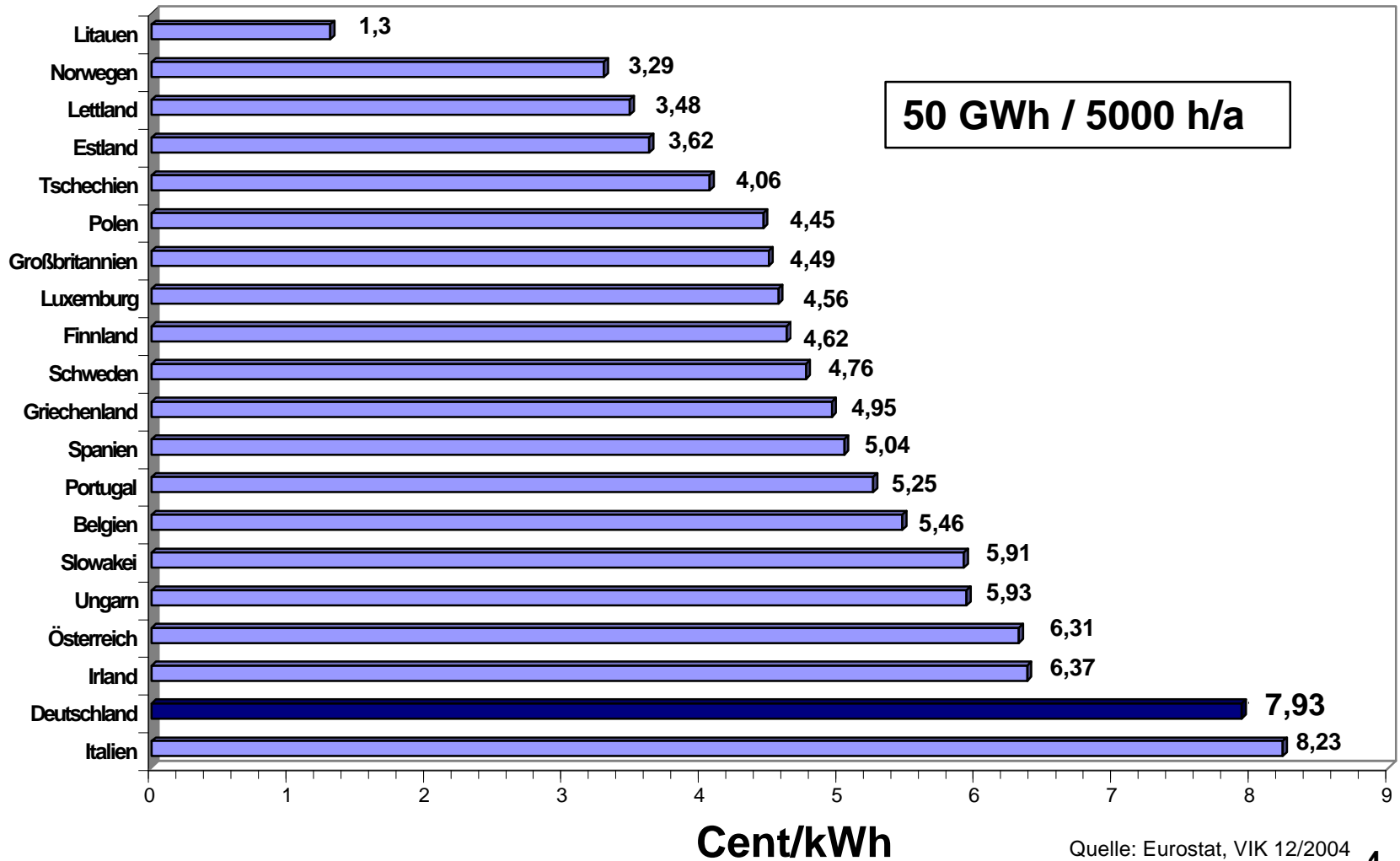
Quelle: VDEW 12/2004

## Durchschnittlicher Strompreis für die Industrie in Cent/kWh (inkl. Stromsteuer)



- Stromst.
- KA
- KWKKG
- StrEG / EEG
- Erzeugung, Transport, Vertrieb

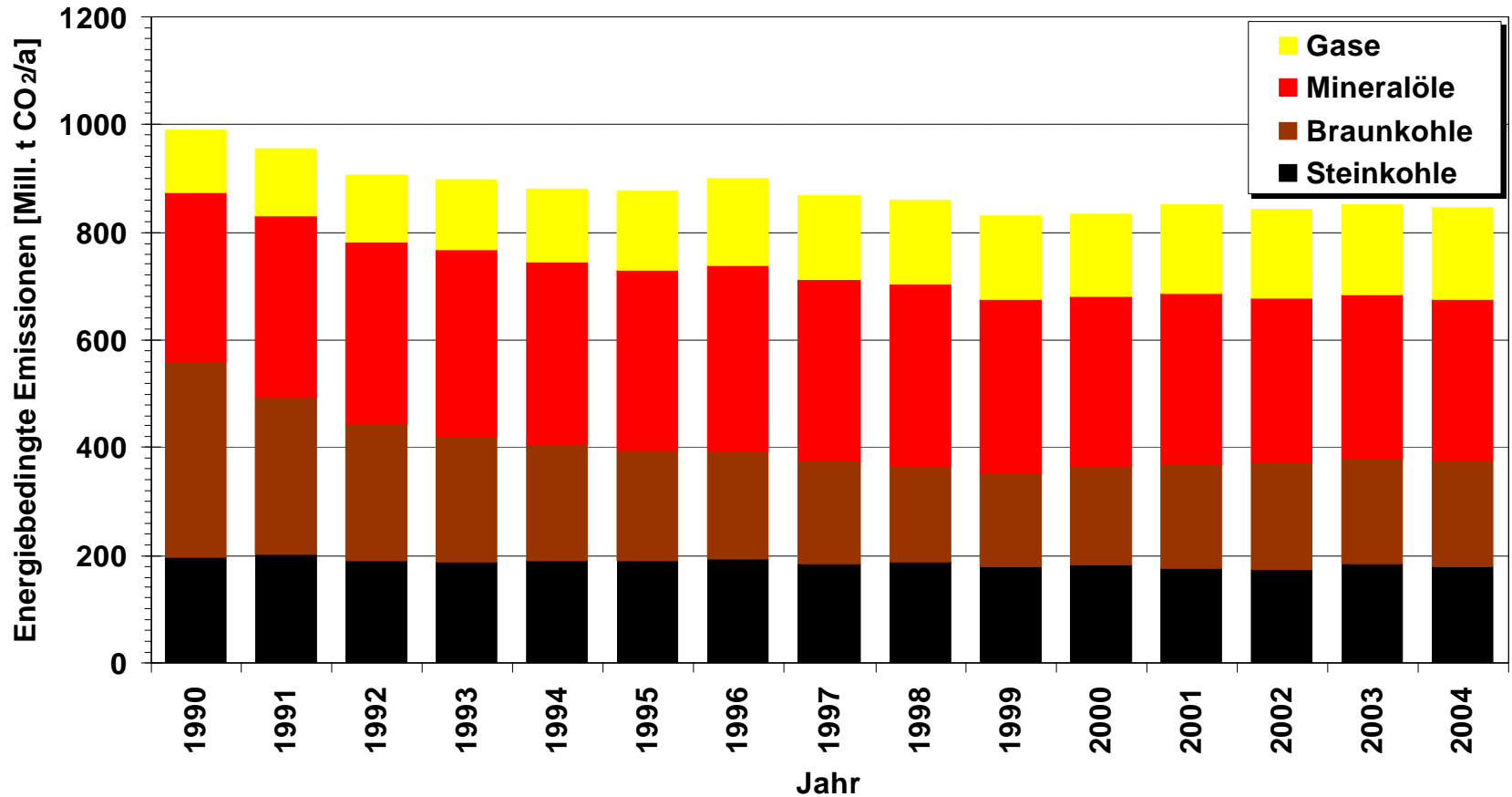
## EU Industrie-Strompreisvergleich (Stand: 1.7.2004)



Quelle: Eurostat, VIK 12/2004

- **Ökologische Steuerreform**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **Liberalisierung und Wettbewerbsorientierung der Energiemärkte versus staatliche Intervention**
- **Klimaschutz**

## Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (nach Energieträgern)



## Erneuerbare Energien und Klimaschutz

	<b>CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten</b> [EUR / t CO <sub>2</sub> ] *)
<b>Wind</b>	<b>85 - 170</b>
<b>Photovoltaik</b>	<b>1.200</b>
<b>Erdgas</b>	<b>~ 0</b>
<b>Kernenergie</b>	<b>~ 0</b>
<b>Wirkungsgradsteigerung bei Kohlekraftwerken</b>	<b>15-20</b>

\*) gegenüber Steinkohlekraftwerk

- **Ökologische Steuerreform**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **Liberalisierung und Wettbewerbsorientierung der Energiemärkte versus staatliche Intervention**
- **Klimaschutz**
- **Nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung**

# Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development)

## Brundtland Kommission:

„Nachhaltige Entwicklung“ ist eine „Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“.

„Im Wesentlichen ist nachhaltige Entwicklung ein Wandlungsprozess, in dem die Nutzung von Ressourcen, das Ziel von Investitionen, die Richtung technologischer Entwicklung und institutioneller Wandel miteinander harmonisieren und das derzeitige und künftige Potential vergrößern, menschliche Bedürfnisse und Wünsche zu erfüllen.“

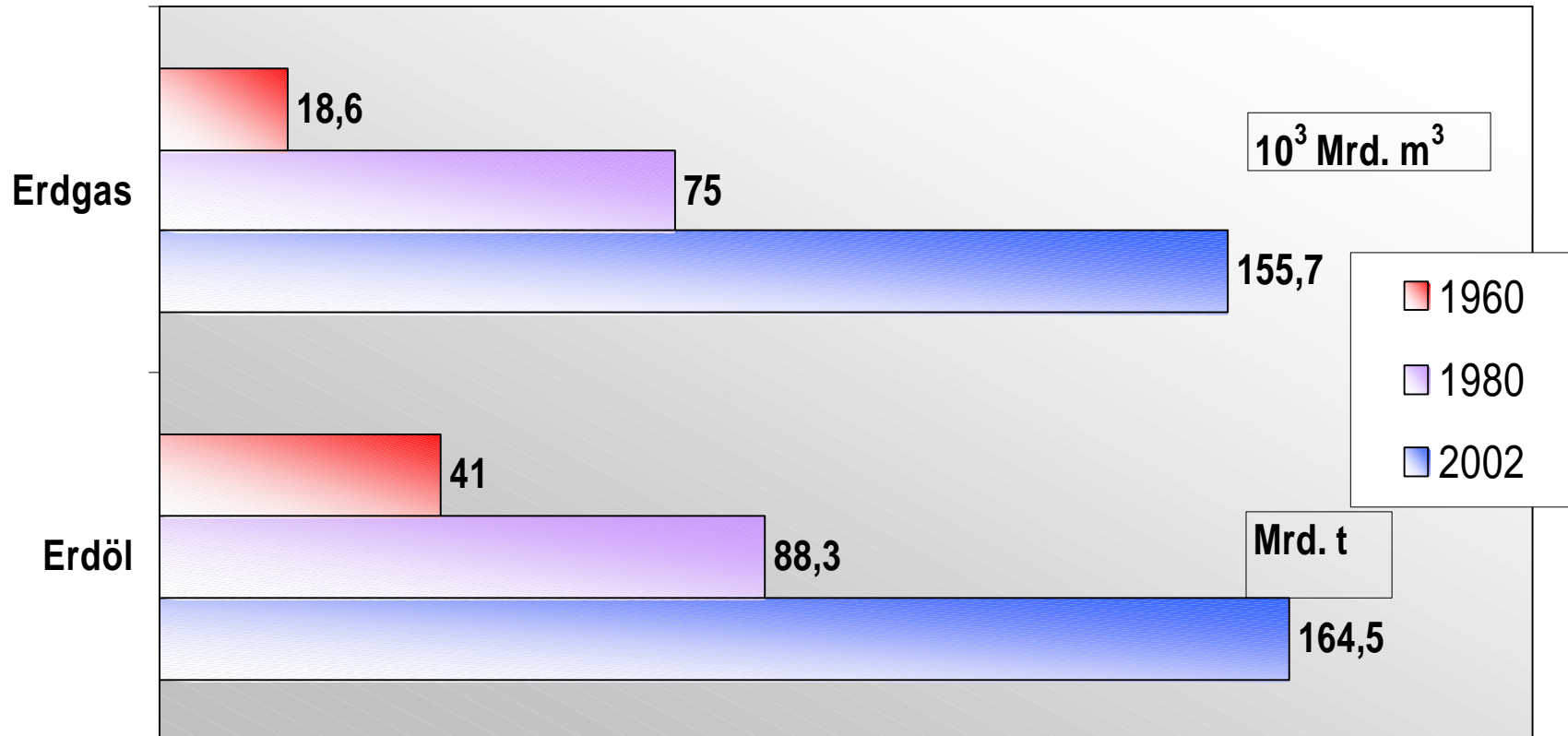
## Ziel

Die Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen aller Menschen, der heute und zukünftig lebenden, mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlage in Einklang zu bringen.

## ➤ **Nachhaltigkeit und die Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen**

- Ist die Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen (z.B Erdöl und Kohle) mit dem Nachhaltigkeitsprinzip vereinbar ?
- Die Bereitstellung von Energiedienstleistungen erfordert den Einsatz von Energieträgern, aber auch von nichtenergetischen Rohstoffen und Materialien.
- Eine Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen erfordert eine Gegenleistung => die Ausweitung der technisch-wirtschaftlich verfügbaren Ressourcenmenge.
- Stand der Technik bestimmt die technisch-wirtschaftlich verfügbare Energie- und Rohstoffbasis.

## Entwicklung der sicher gewinnbaren Reserven




## ➤ **Nachhaltigkeit und Ökonomie**

- Haushälterischer Umgang mit knappen Ressourcen ist ein zentraler Aspekt von Nachhaltigkeit.
- Auch das allgemeine ökonomische Prinzip zielt auf die Minimierung des Ressourcenverbrauchs ab.
  - => Kosten und Preise dienen dabei als Maß für die Ressourceninanspruchnahme.
- Kosten sind aber nur dann ein Maß für die relative Nachhaltigkeit von Energiesystemen wenn alle Kosten, auch die der Umweltinanspruchnahme erfasst sind.
  - => Internalisierung externer Kosten

# Nachhaltige Energieversorgung

wenn

- Das Potential für die Bereitstellung wirtschaftlicher Energiedienstleistungen für die nächste Generation größer wird  
Ausweitung der wirtschaftlich nutzbaren Energie- und Rohstoffbasis
-  Die mit der Energiedienstleistung verbundenen Stofffreisetzungen die Assimilationskapazität der Umwelt als Senke nicht überschreiten
- Die Risiken der Bereitstellung von Energiedienstleistungen für die menschliche Gesundheit kleiner sind als die durch sie vermiedenen natürlichen Risiken
- Die Energiedienstleistungen mit einer möglichst geringen Inanspruchnahme aller Ressourcen (Quellen und Senken) bereitgestellt werden

Relative Nachhaltigkeit von Energiesystemen lässt sich messen am gesamten Ressourcenaufwand je Energiedienstleistung (Rohstoffe, Energie, Arbeit, Umwelt)

Vollkosten (private plus externe Kosten)



➤ **Stromerzeugungstechniken auf dem Prüfstand der Nachhaltigkeit**

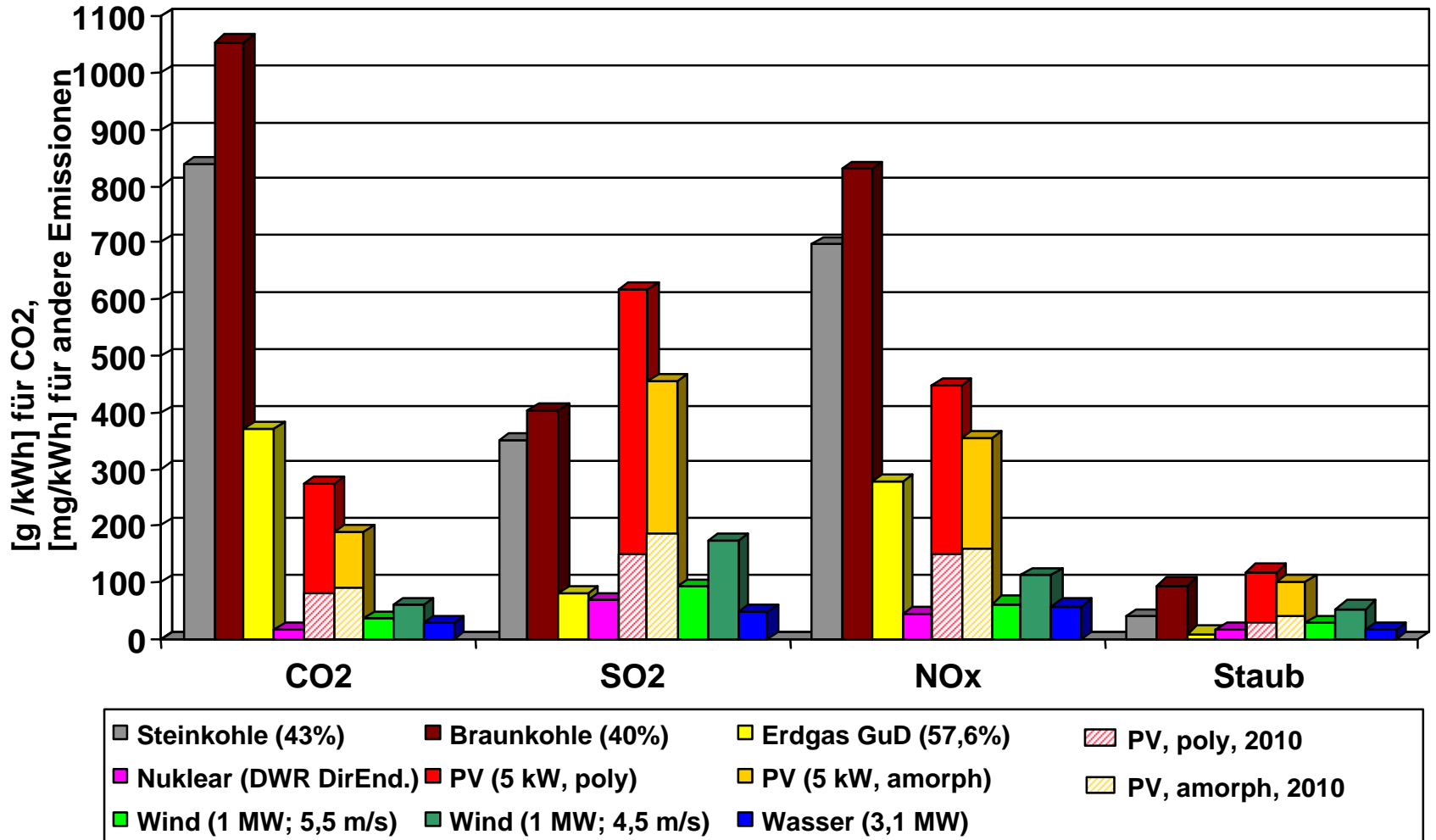
## Kumulierter Energieaufwand (KEA) und energetische Amortisationszeit (EAZ)

		<b>KEA</b> (ohne Brennstoff) [kWh <sub>Prim</sub> / kWh <sub>el</sub> ]	<b>EAZ</b> [Monate]
<b>Steinkohle</b>	(43 %)	0,29	3,6
<b>Braunkohle</b>	(40 %)	0,17	2,7
<b>Erdgas GuD</b>	(57,6 %)	0,17	0,8
<b>Nuklear</b> (DWR, DirEnd.)		0,07	2,9
<b>PV</b>	amorph	0,62	71
(5 kW)	poly	0,94	107
<b>Wind</b>	5,5 m/s	0,08	7,3
(1 MW)	4,5 m/s	0,18	16,4
<b>Wasser</b>	(3,1 MW)	0,05	13,7

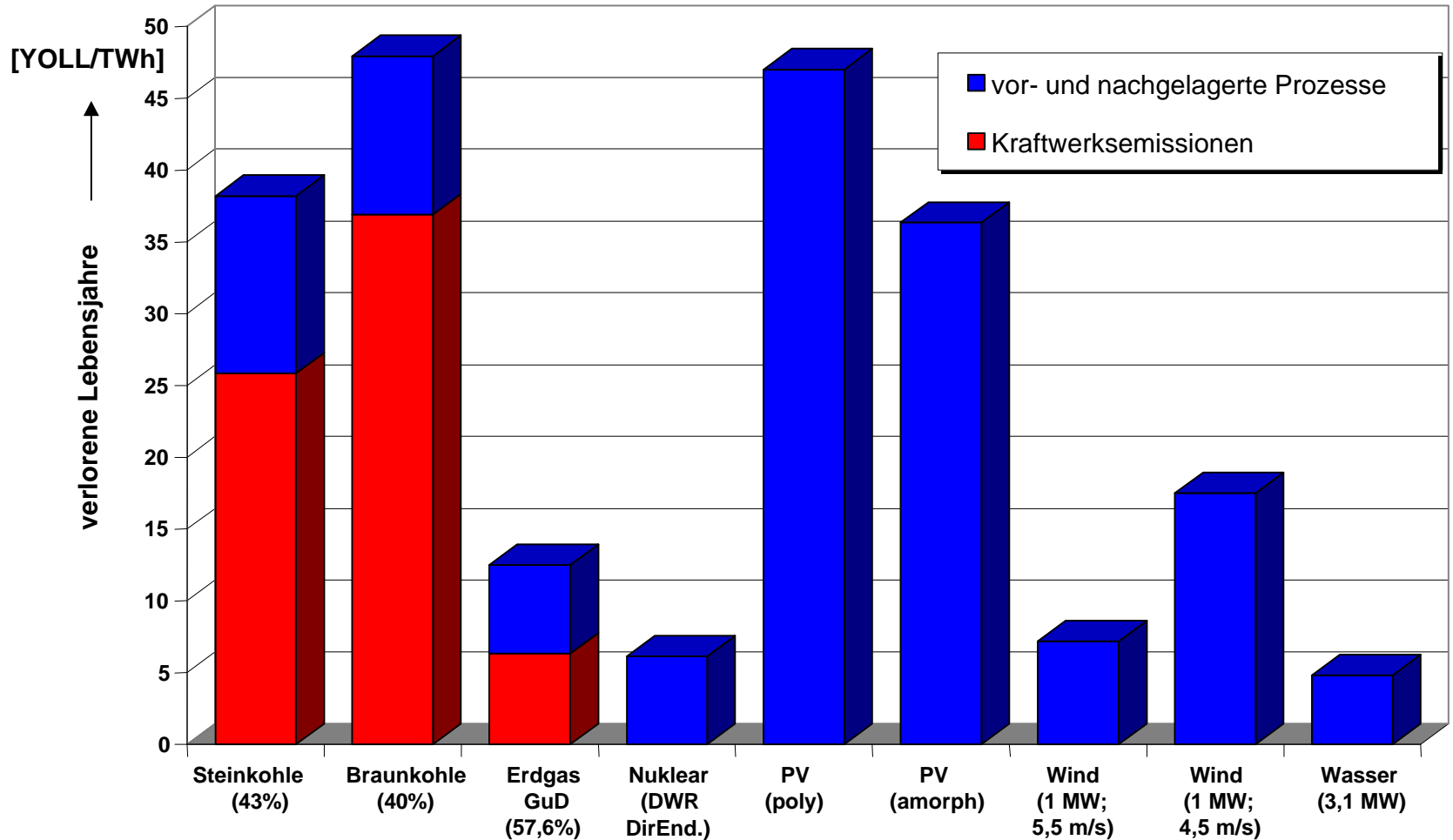
## Gesamter Rohstoff- und Materialaufwand

	<b>Eisen</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]	<b>Kupfer</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]	<b>Bauxit</b> [kg / GWh <sub>el</sub> ]
<b>Steinkohle</b> (43 %)	2.308	2	20
<b>Braunkohle</b> (40 %)	2.104	8	19
<b>Erdgas GuD</b> (57,6 %)	969	3	15
<b>Nuklear</b> (DWR, dir. Endlagerung)	445	6	27
<b>PV</b> poly	6.708	251	2.100
(5 kW) amorph	8.153	338	2.818
<b>Wind</b> 5,5 m/s	5.405	66	54
(1 MW) 4,5 m/s	10.659	141	110
<b>Wasser</b> (3,1 MW)	2.430	5	10

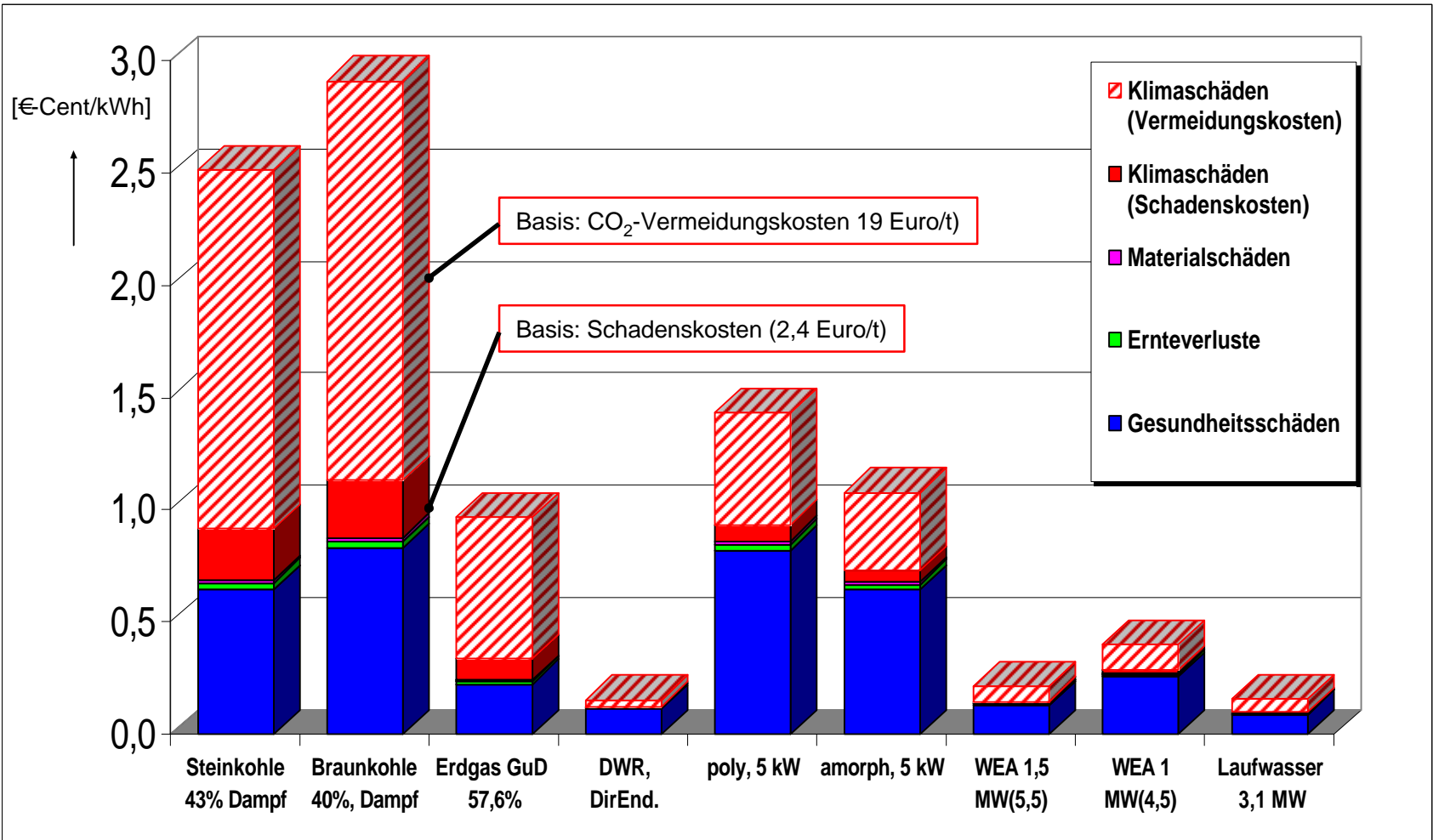
# Kumulierte Emissionen



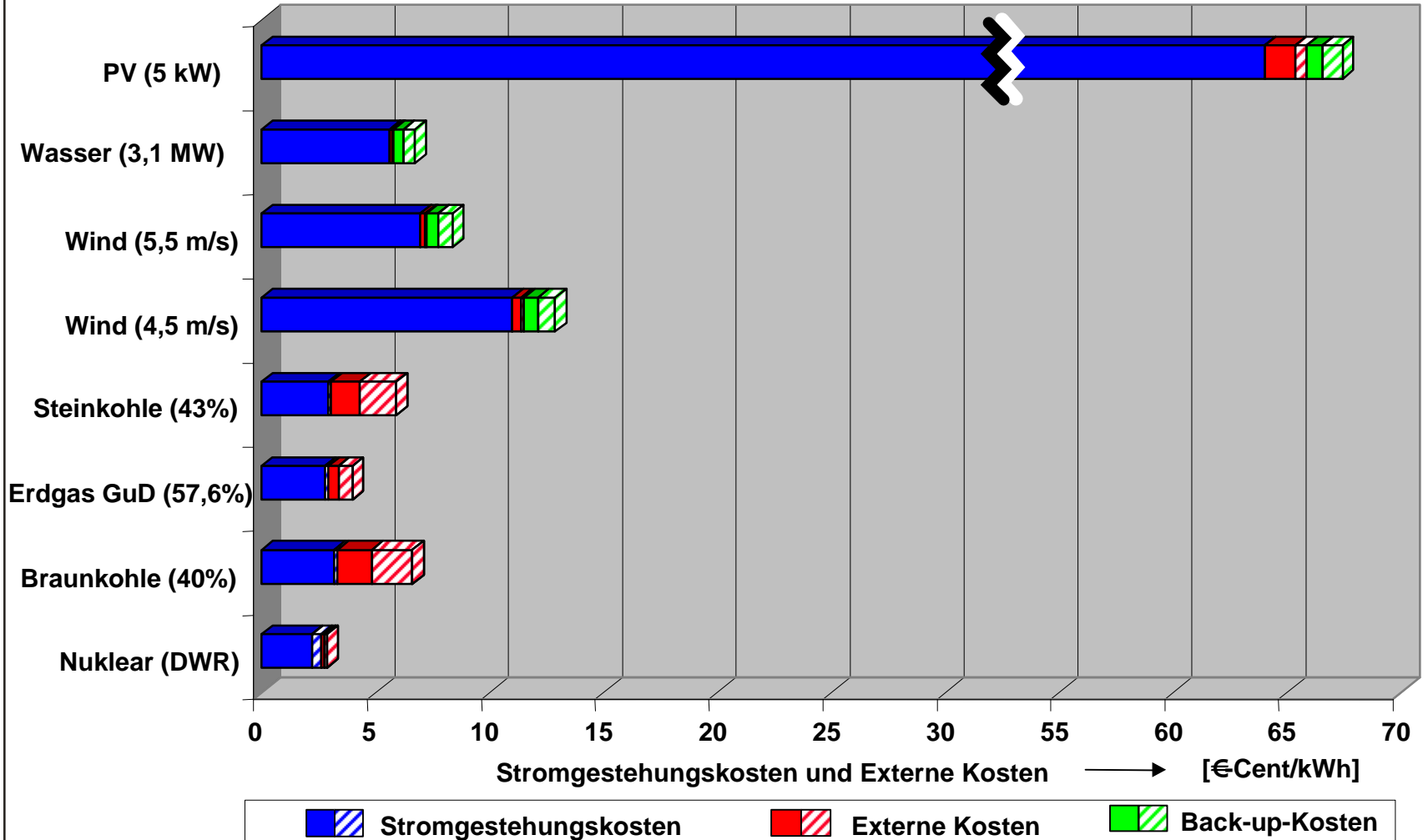
# Gesundheitsrisiken



# Externe Kosten

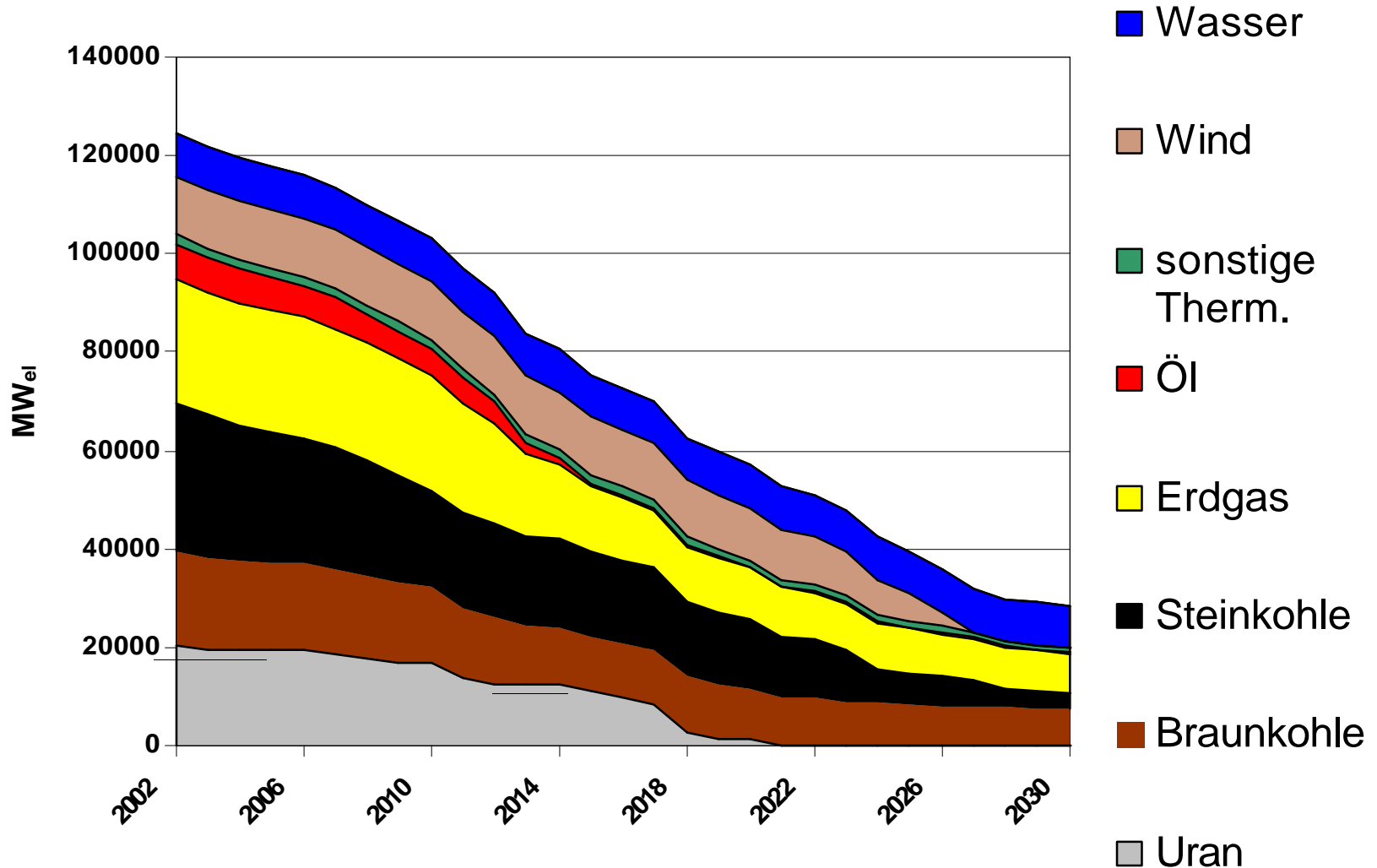


## Gestehungskosten und Externe Kosten der Stromerzeugung



- **Politische Rahmenbedingungen und die zukünftige Entwicklung der Energieversorgung**

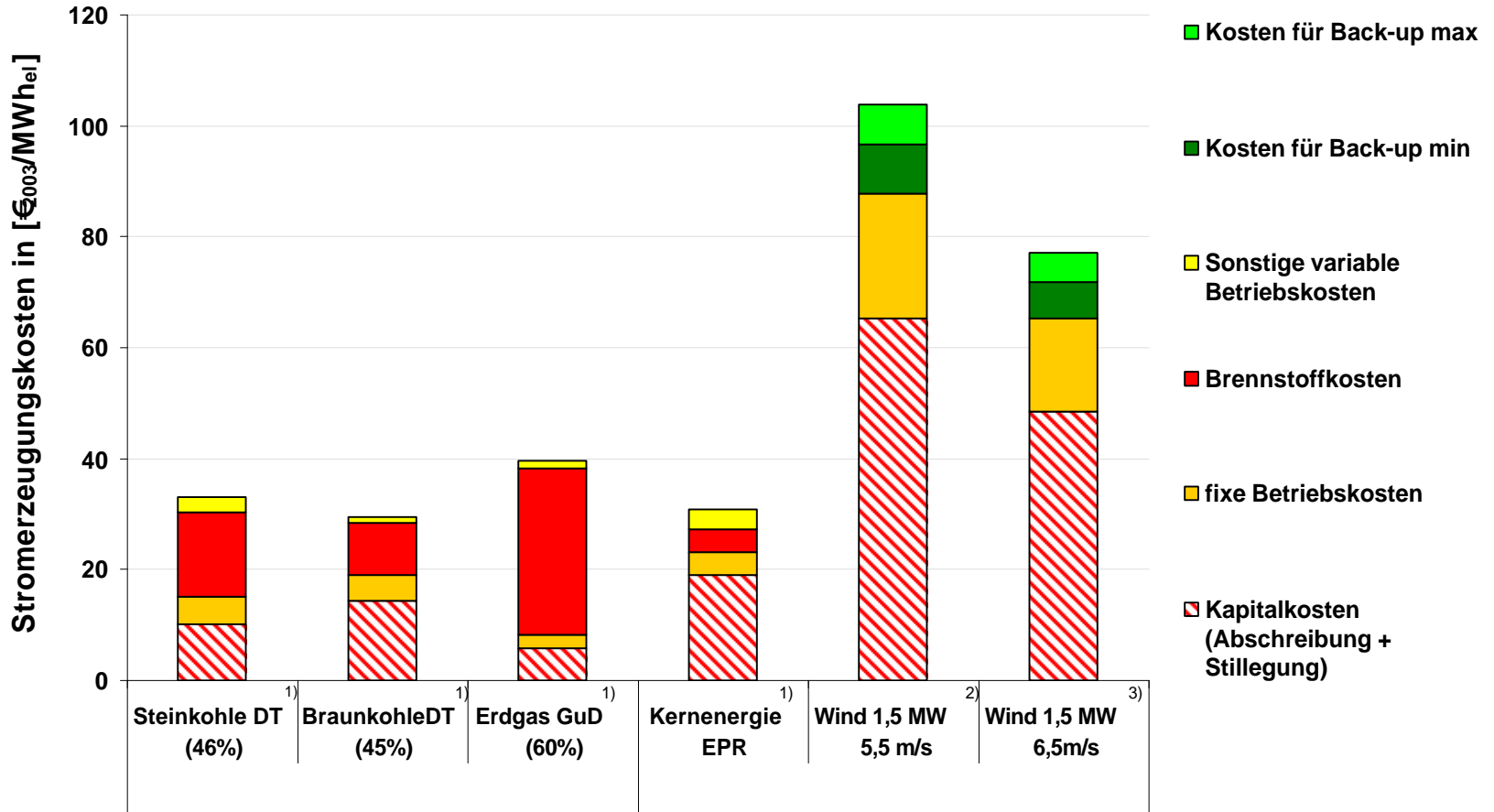
## Verbleibende Kapazität des Kraftwerksbestandes 2002



➤ **Zubauoptionen aus wirtschaftlicher Sicht**

# Stromerzeugungskosten (life-cycle-cost)

(realer Zinssatz 8%/a, Inbetriebnahmejahr 2010)

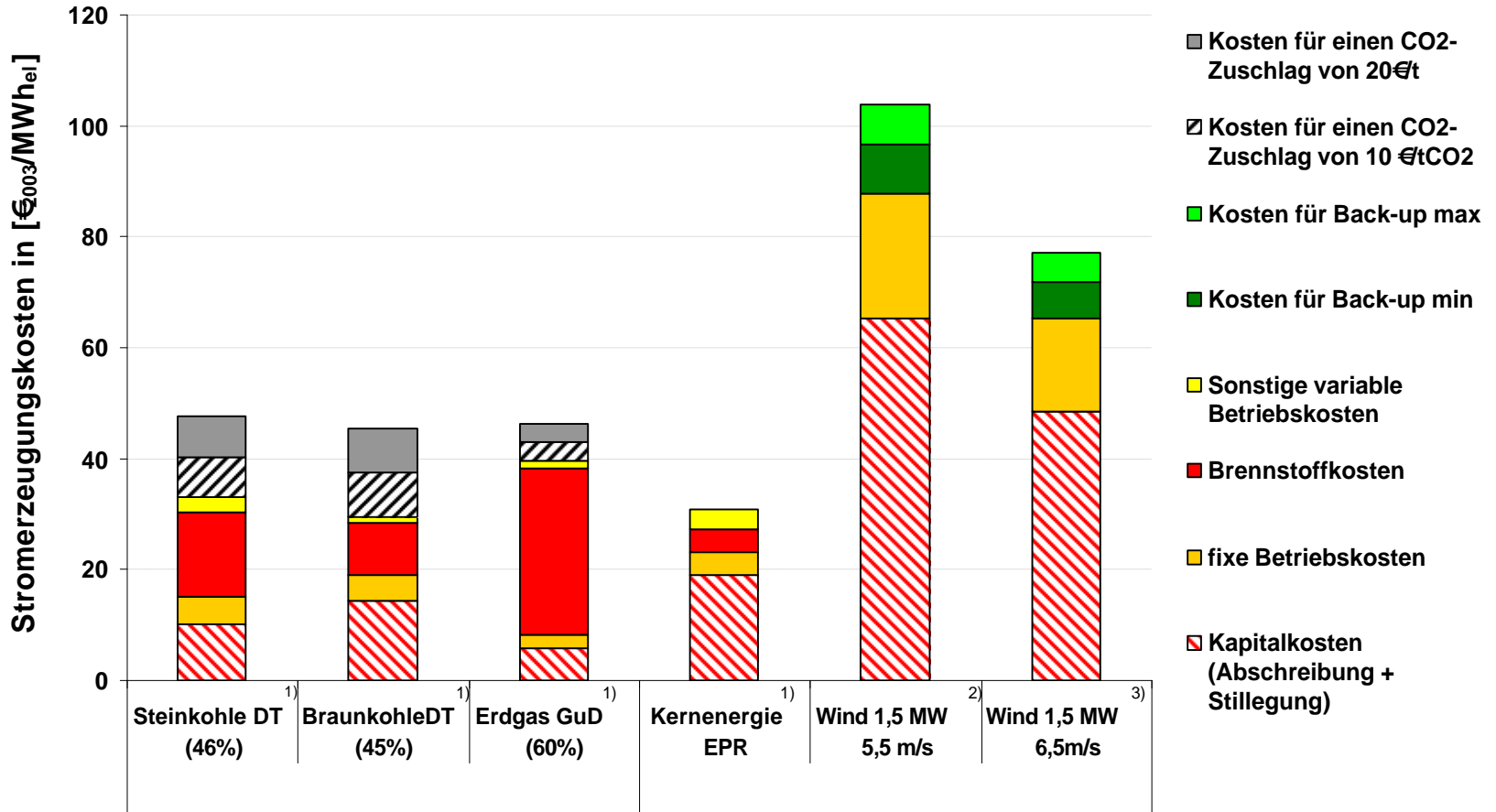


<sup>1)</sup> 7446 Vollaststunden

<sup>2)</sup> 1504 Vollaststunden

<sup>3)</sup> 2022 Vollaststunden

# Stromerzeugungskosten (life-cycle-cost) incl. CO<sub>2</sub>-Kosten (realer Zinssatz 8%/a, Inbetriebnahmejahr 2010)



<sup>1)</sup> 7446 Vollaststunden

<sup>2)</sup> 1504 Vollaststunden

<sup>3)</sup> 2022 Vollaststunden

# Perspektiven der Entwicklung der Energieversorgung Deutschlands

## Referenzszenario (REF)

- Fortschreibung der derzeitigen Energiepolitik
- Auslaufen der Kernenergienutzung
- keine Vorgabe von Klimaschutzzielen

## Präferenz Erneuerbare Energien (PEE)

- Anteil Erneuerbarer Energien am Nettostromverbrauch steigt auf 30 %
- Auslaufen der Kernenergienutzung
- Keine CO<sub>2</sub>-Abtrennung

## Clean Coal Technologies (CCT)

- CO<sub>2</sub>-Abtrennung u. Entsorgung zugelassen
- Auslaufen der Kernenergienutzung

## Effiziente Ressourcennutzung

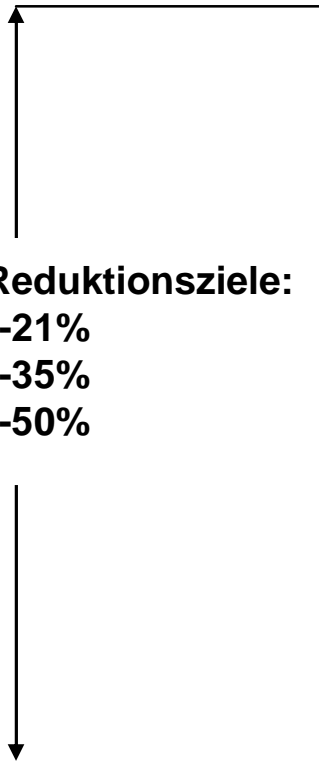
- Kosteneffiziente Erreichung der Reduktionsziele
- Kernenergie: Laufzeitverlängerung (ERL)
- Kernenergie: Ausbau möglich (ERA)

### THG-Reduktionsziele:

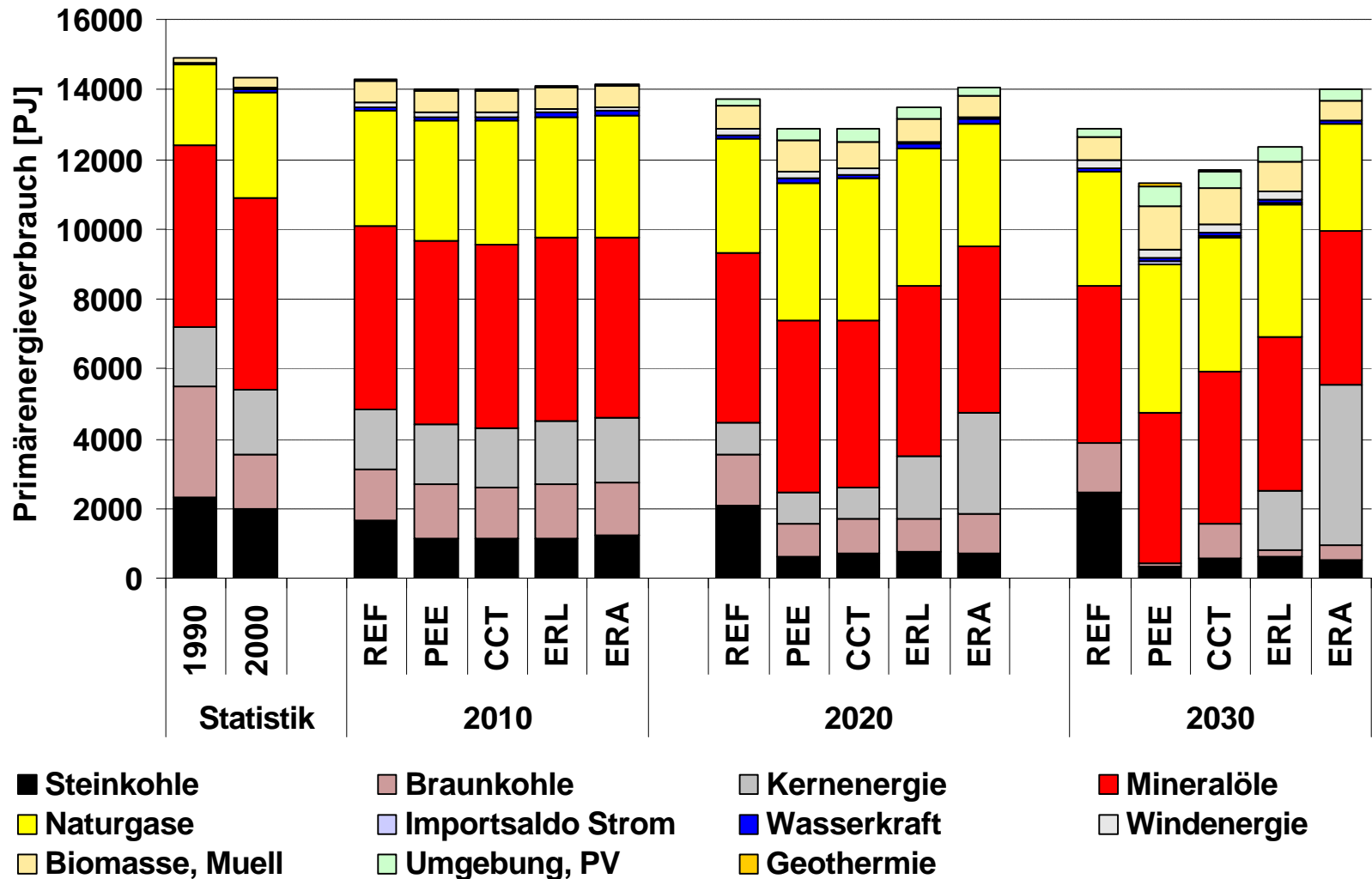
2010: -21%

2020: -35%

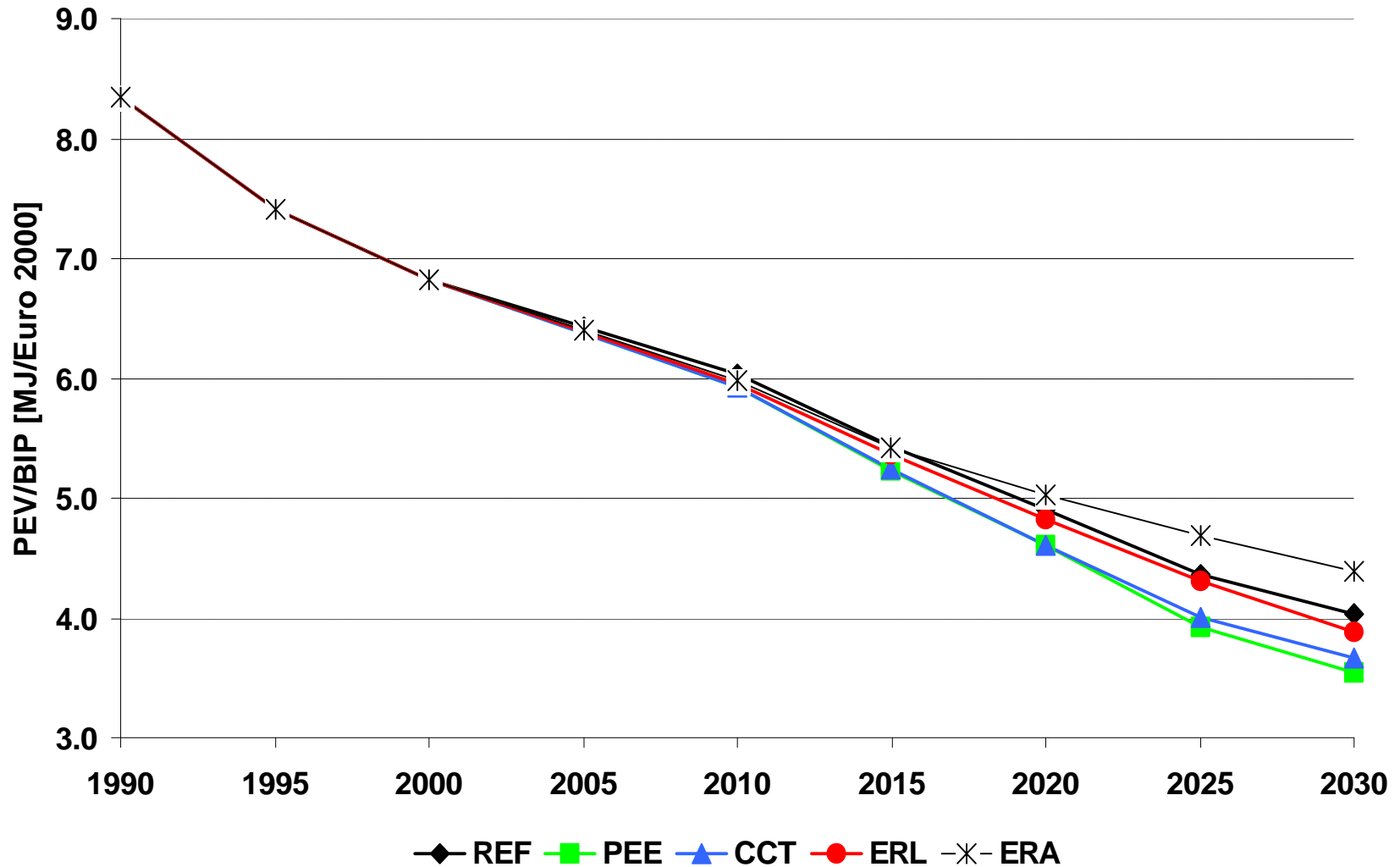
2030: -50%



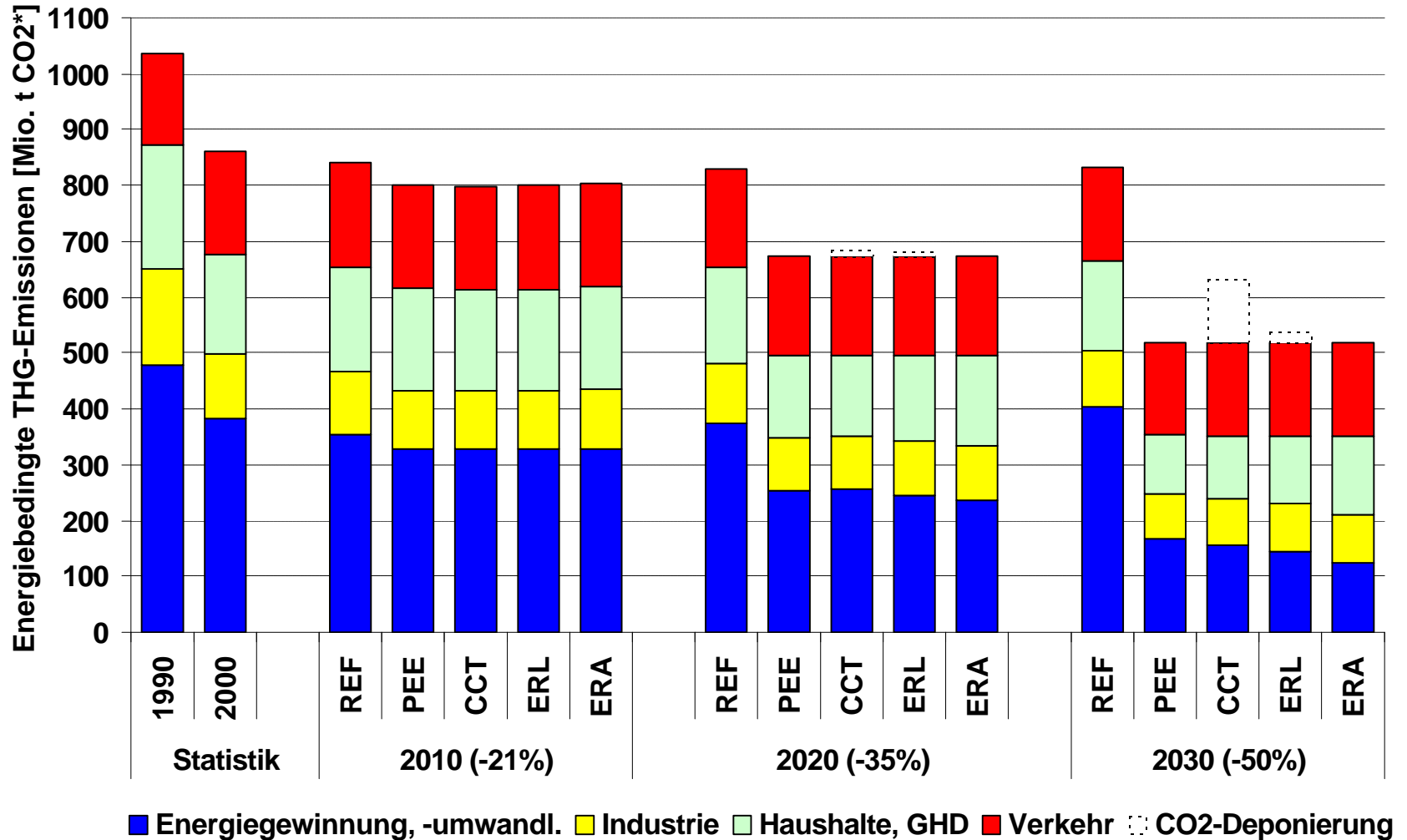
## Entwicklung des Primärenergieverbrauchs nach Energieträgern



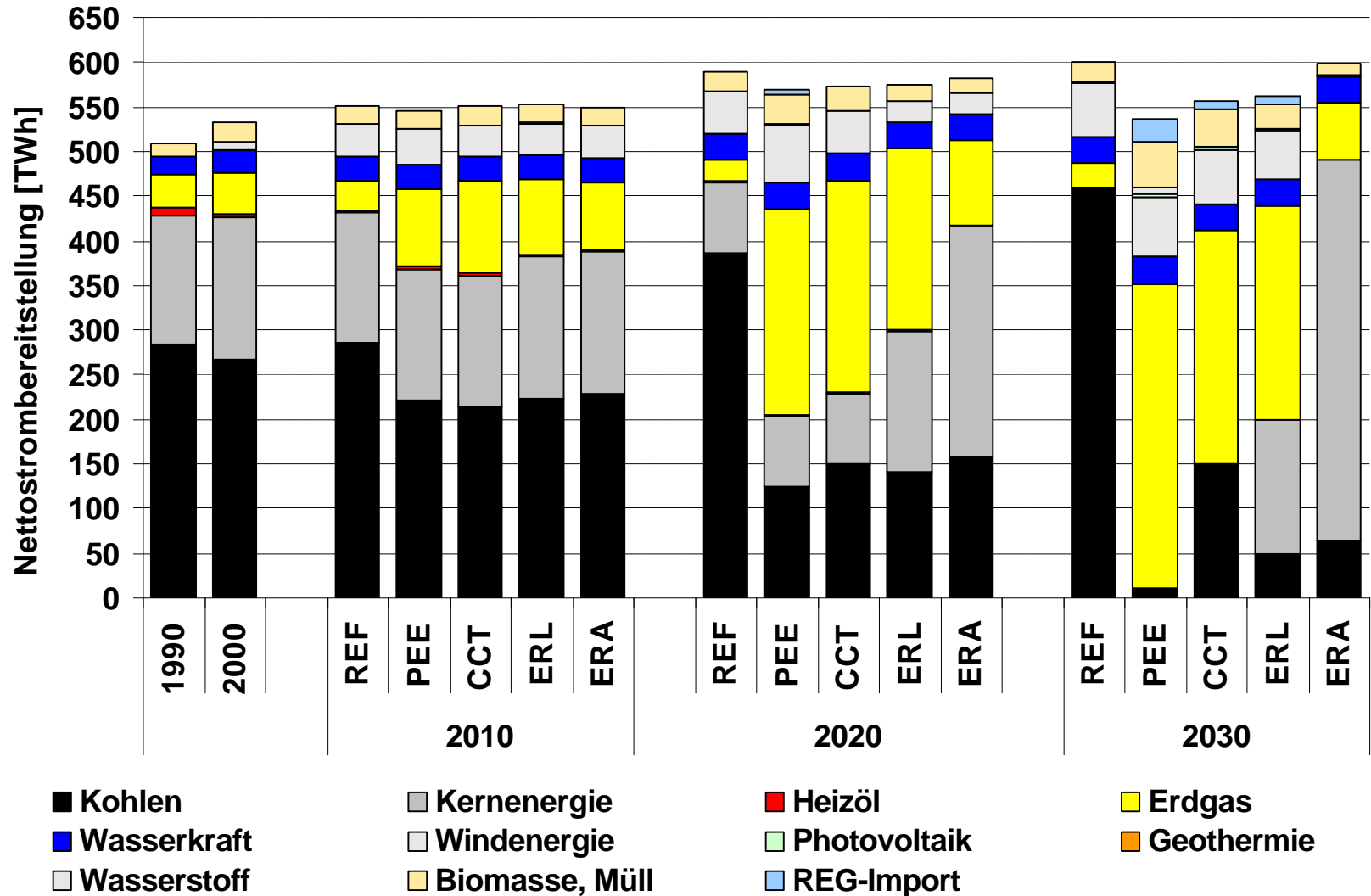
## Entwicklung der Energieintensität des Bruttoinlandsproduktes



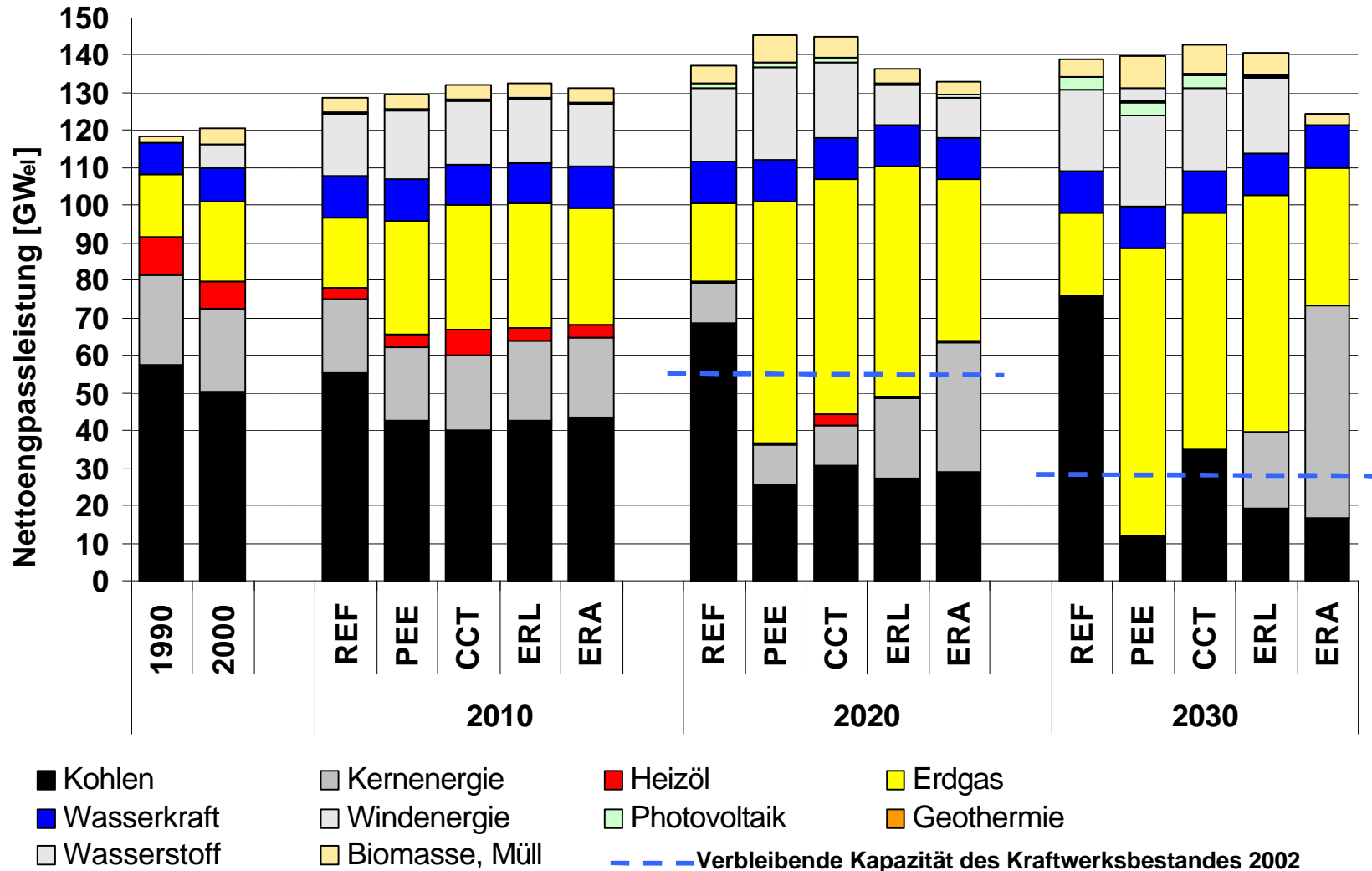
## Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren



# Entwicklung der Stromerzeugungsstrukturen



# Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten



## Kostenimplikationen

<b>Szenario</b>	<b>Kumulierte Minderungskosten</b>  <b>bis 2030</b> [Mrd. Euro <sub>00</sub> ]	<b>Marginale Minderungskosten</b>  <b>in 2030</b> [Euro <sub>00</sub> /t]	<b>Mittlere Strom- gestehungskosten</b>  <b>in 2030</b> [Cent <sub>00</sub> /kWh]
<b>Referenzszenario (REF)</b>			<b>3,6</b>
<b>Präferenz Erneuerbare Energien (PEE)</b>	<b>110</b>	<b>79</b>	<b>5,5</b>
<b>Clean Coal Technologie (CCT)</b>	<b>86</b>	<b>57</b>	<b>5,0</b>
<b>Effiziente Ressourcennutzung: Laufzeitverlängerung (ERL)</b>	<b>-30</b>	<b>42</b>	<b>3,8</b>
<b>Effiziente Ressourcennutzung: Kernenergieausbau (ERA)</b>	<b>-113</b>	<b>27</b>	<b>2,5</b>

## ➤ **Schlussbemerkung**



**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!**