



# Energieversorgung in Deutschland – Probleme, Chancen und Perspektiven

**Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung  
Universität Stuttgart

**Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)**

**Aalen, 06.11.2008**

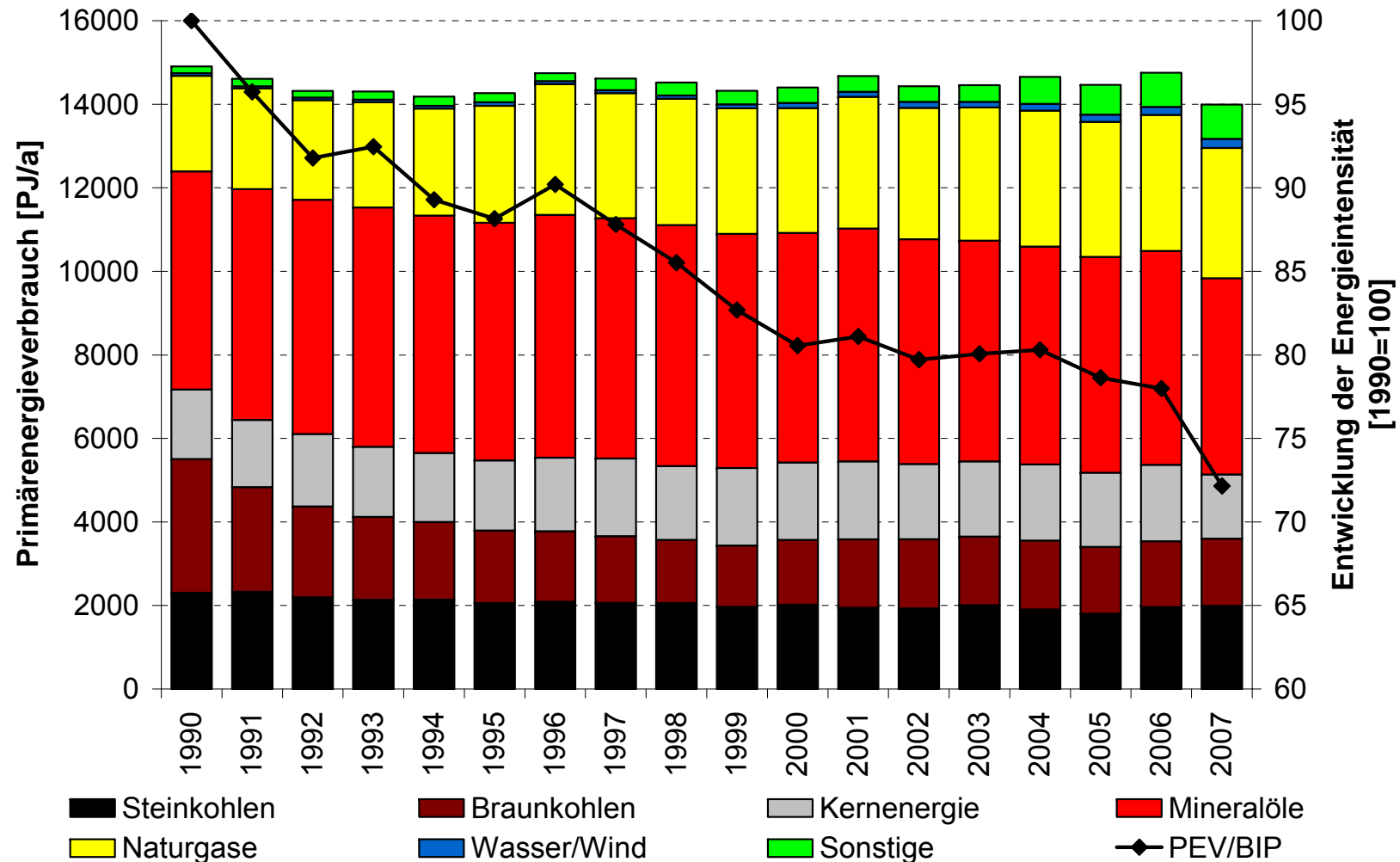


# Energiesituation - Ausgangslage

## ➤ **Energieversorgung**



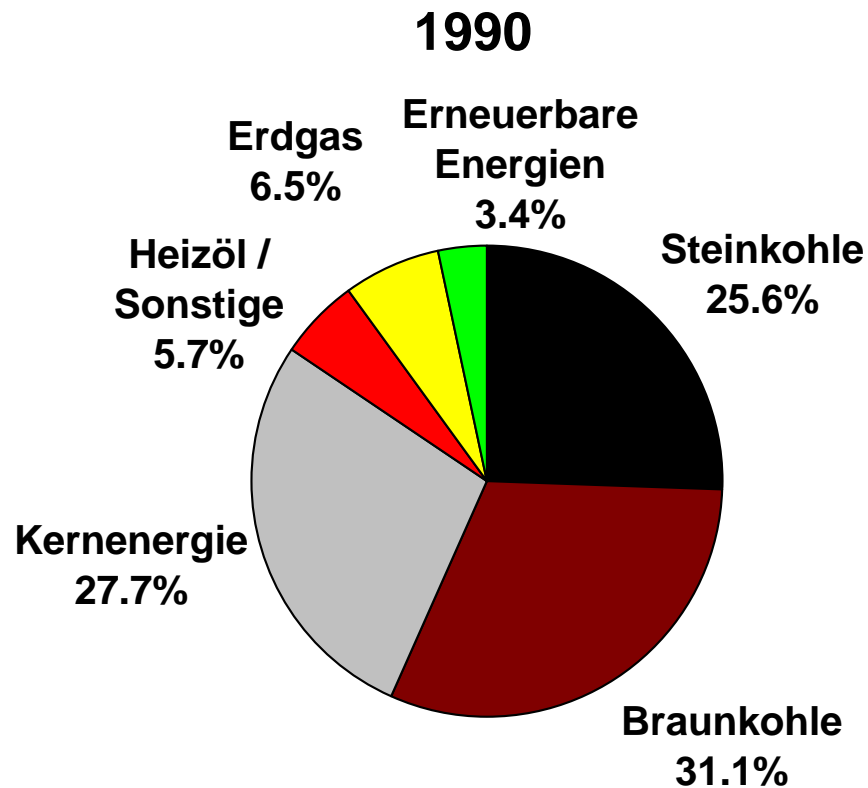
# Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Energieintensität in Deutschland



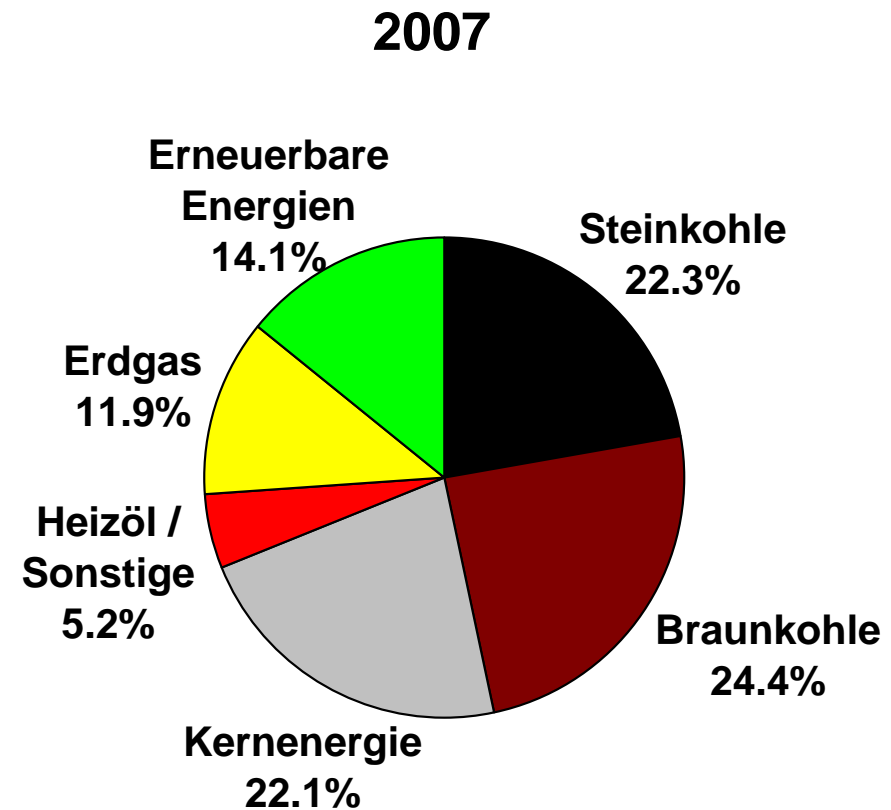
Quelle: AG Energiebilanzen (2008), BMWi (2008), eigene Berechnungen



# Bruttostromerzeugung in Deutschland



**Gesamt: 550 TWh**

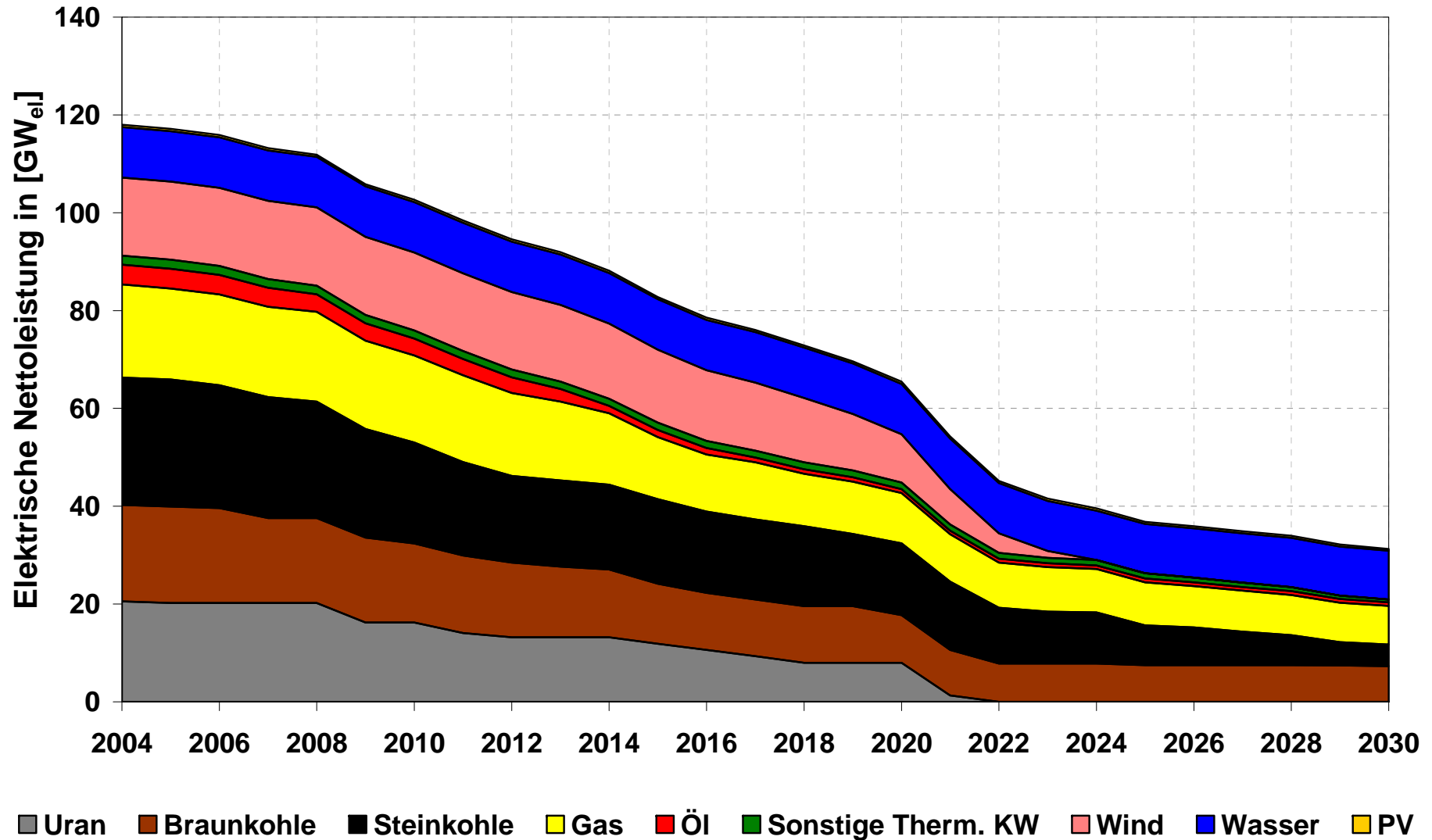


**Gesamt: 637 TWh**

Quelle: AG Energiebilanzen (2008)



## Verbleibende Kapazität des Kraftwerkbestandes 2004





# Energiesituation - Ausgangslage

- **Energieversorgung**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**



## Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2007 (1990)

	Primärenergie [PJ/a]		Elektrizität [GWh/a]	
	1990	2007	1990	2007
<b>Wasserkraft</b>	59	74,5	17.000	20.700
<b>Wind</b>	0,1	142,2	40	39.500
<b>Biomasse</b>	150	681,2	1.422	23.750
<b>Geothermie</b>	k.A.	8,3	--	0,4
<b>solare Strahlung</b>	< 0,1	25,9	1	3.500
<b>Gesamt</b>	<b>209,2</b> (2,2 %*)	<b>932,1</b> (6,7 %*)	<b>18.463</b> (3,4 %**)	<b>87.450</b> (14,2 %**)

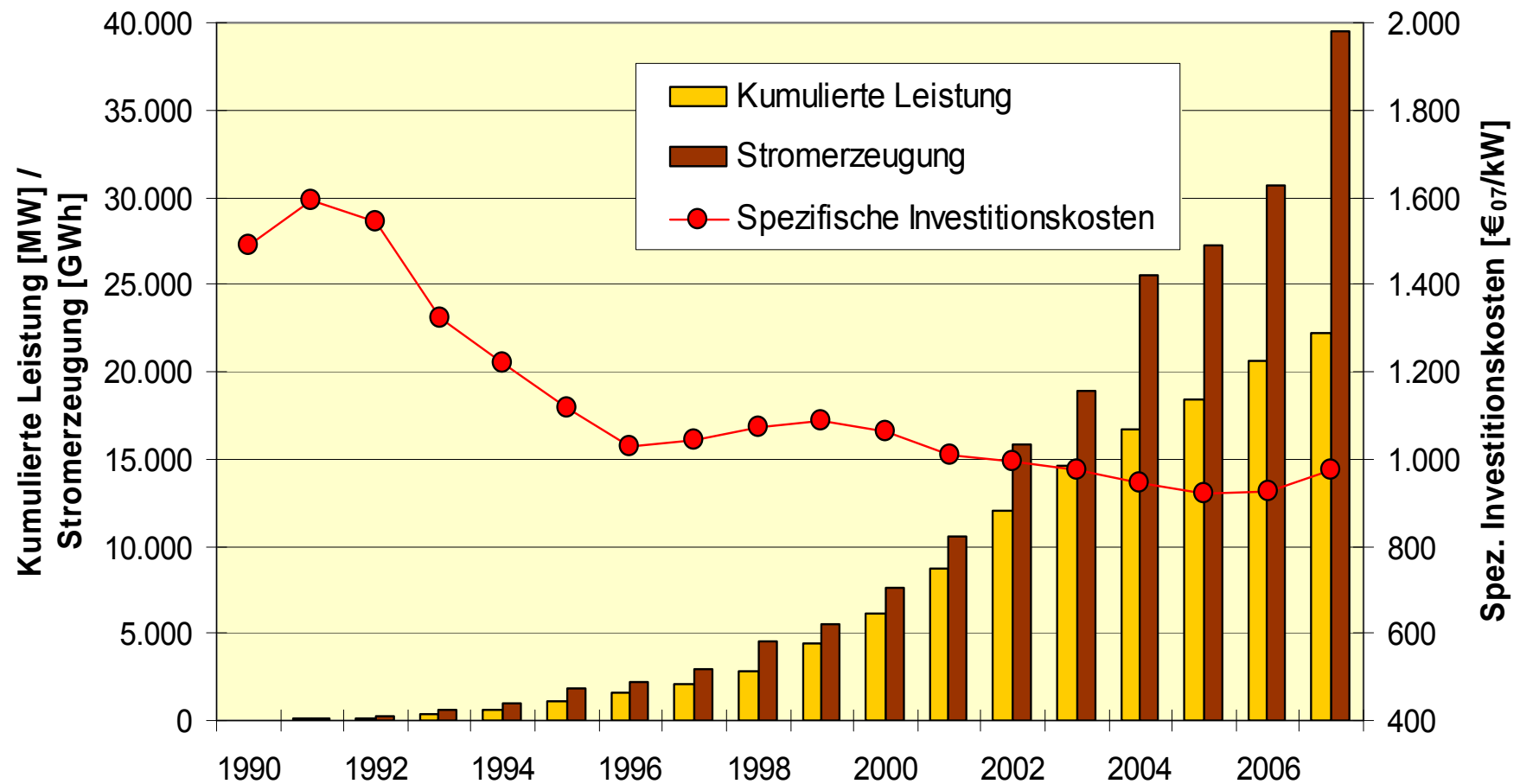
\* Anteil am Primärenergieverbrauch

\*\* Anteil am Bruttostromverbrauch

Quelle: BMU 2008



## Entwicklung der Windenergienutzung und der spezifischen Investitionskosten



Quelle: Bundesverband Windenergie e.V.; Wind Power Monthly, Jan. 2008





## Kosten des Windstroms (Onshore)



Erzeugungskosten (je nach Standort)

**7,6 bis 12,7 ct / kWh**



Back-up-Kosten für gesicherte Leistung

**1,0 bis 2,0 ct / kWh**



Netzausbau und Netzverluste

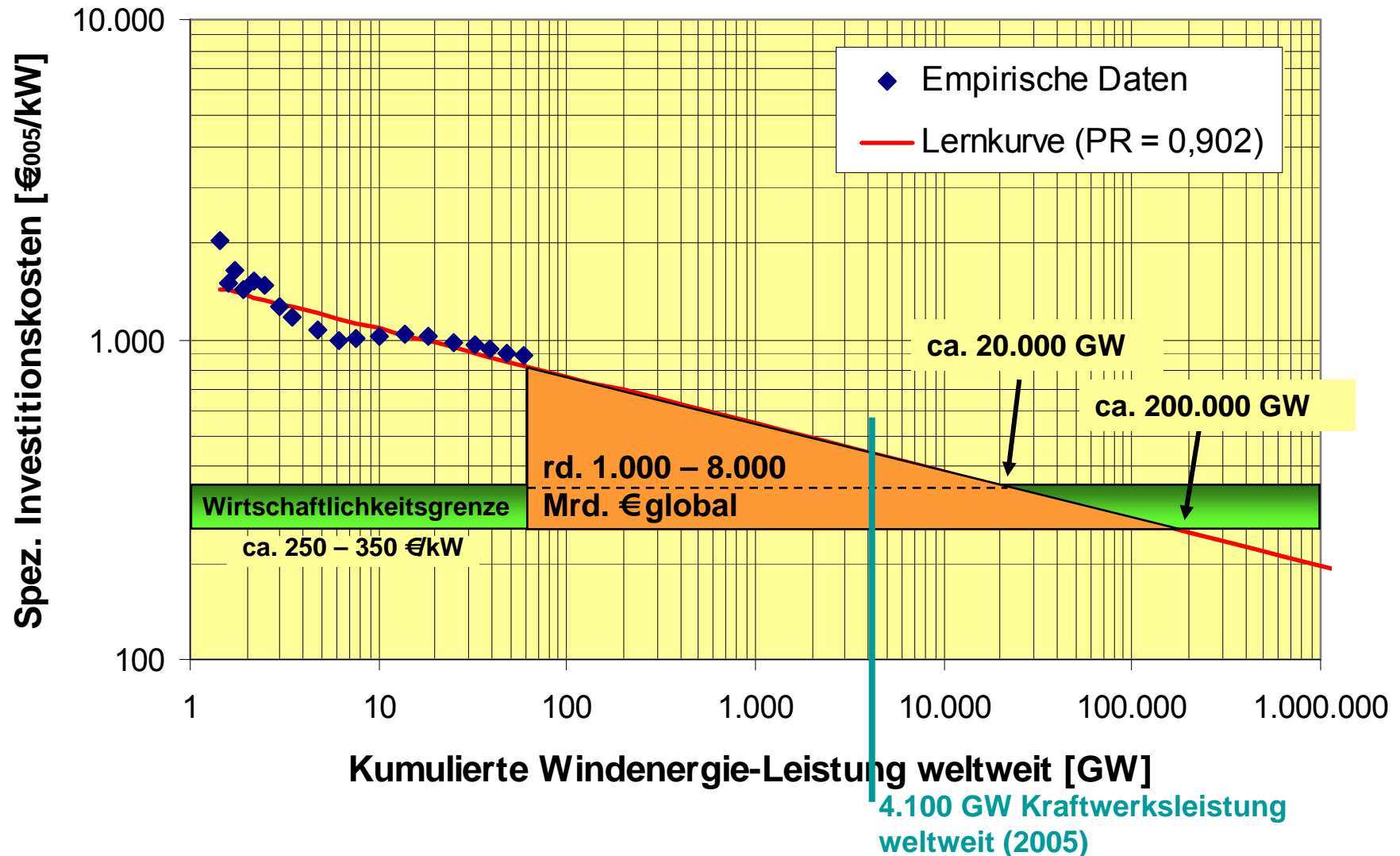
**ca. 0,2 ct / kWh**

**ca. 9 bis 15 ct / kWh**

Quelle: Voß, Wissel et al. 2007

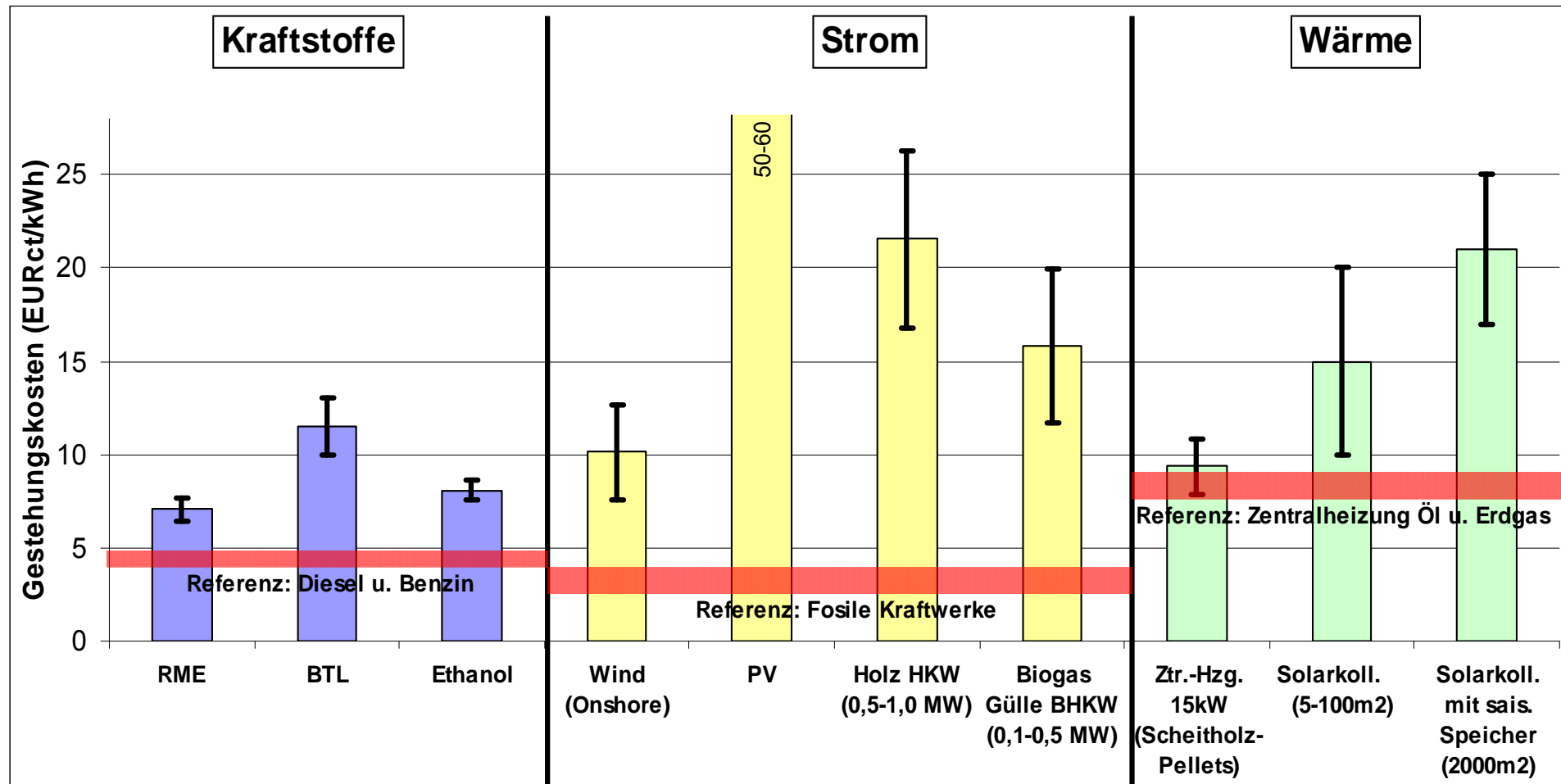


# Lernkurve Windenergie





# Gestehungskosten von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien



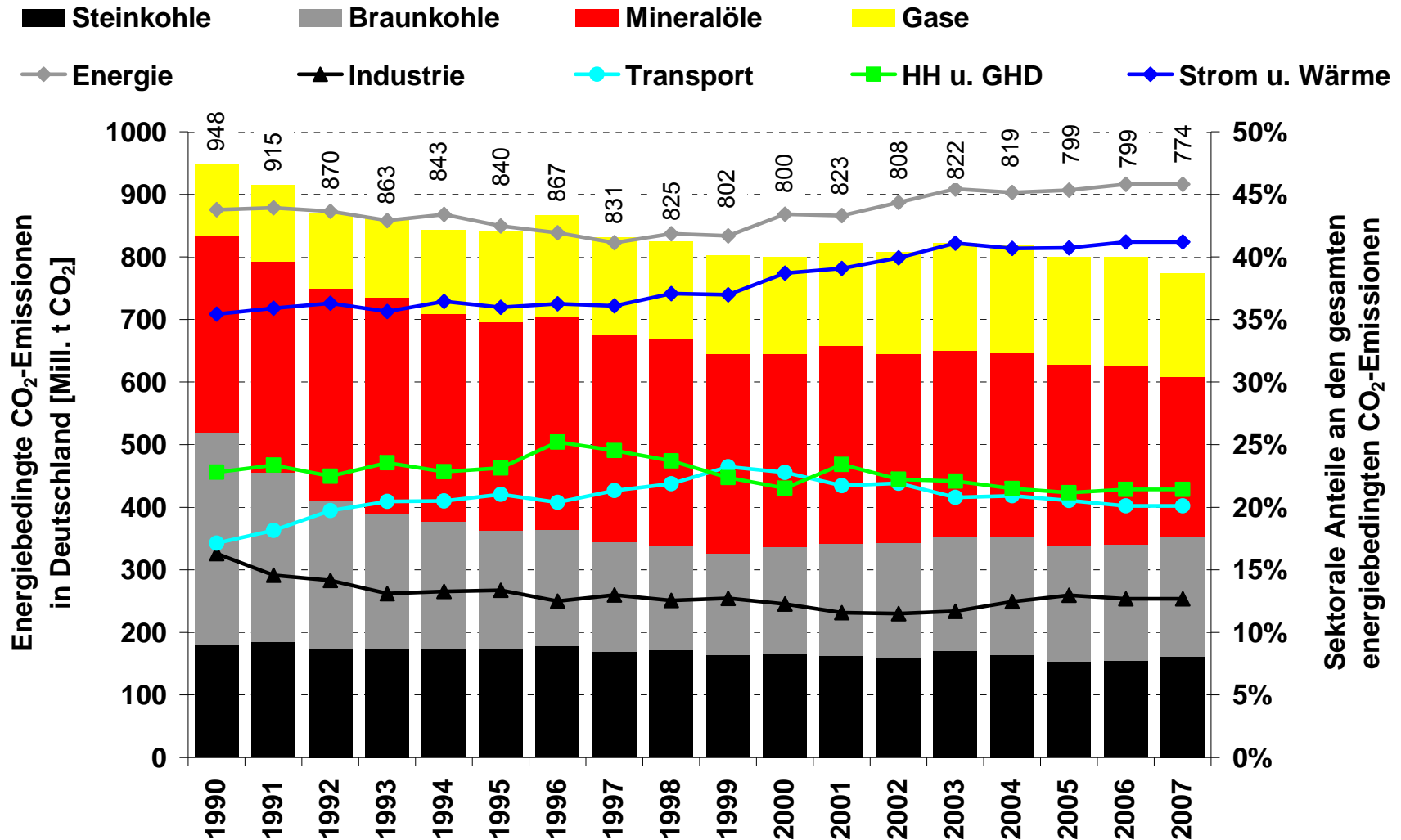


## Energiesituation - Ausgangslage

- **Energieversorgung**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimaschutz**



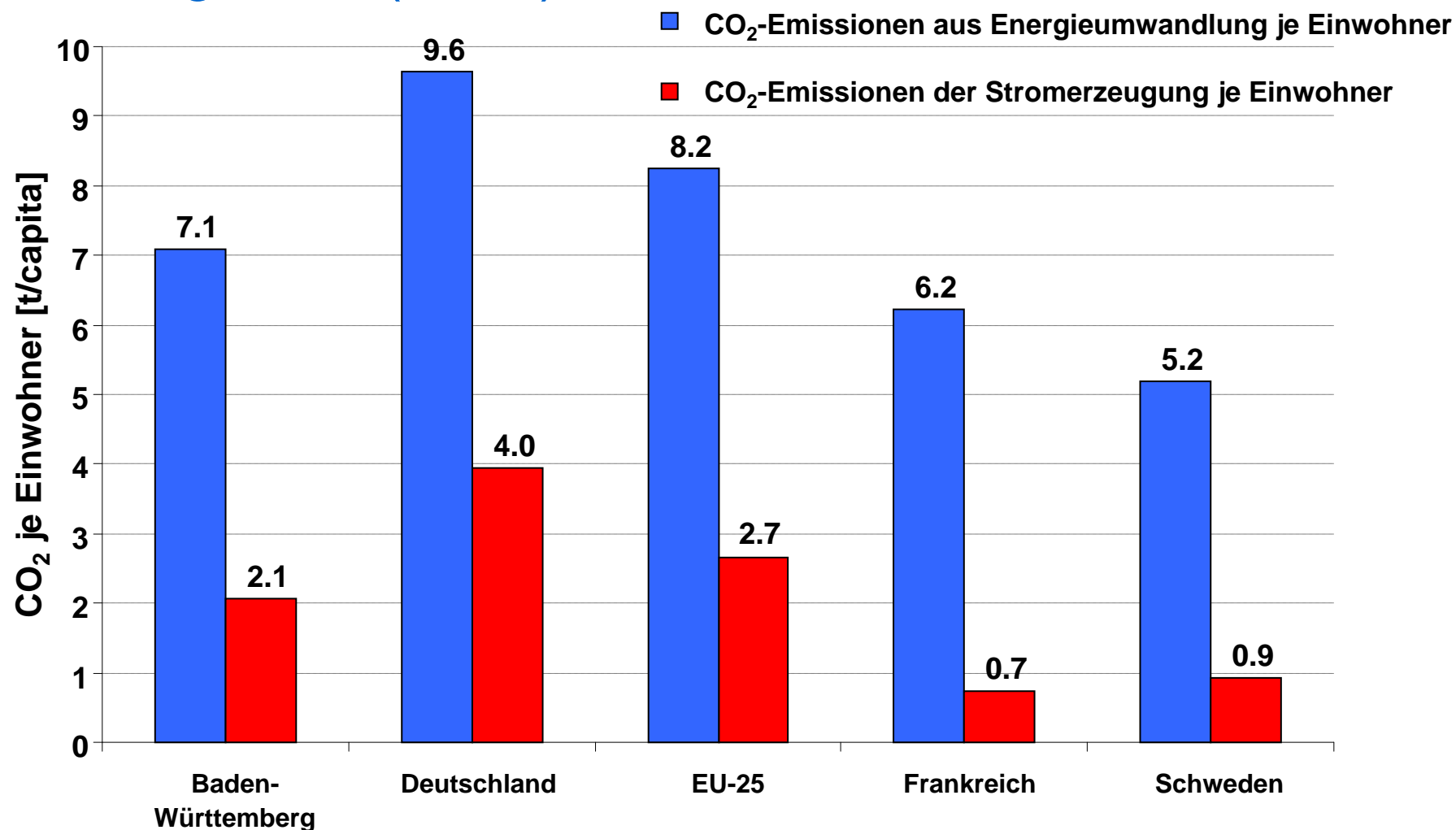
# CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland



Quelle: UNFCCC (2008), BMWI (2008), UBA (2008), AGEB (2007), eigene Berechnungen, zitiert nach Küster (in Vorbereitung)



## CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa: Ausgewählte Länder und Regionen (2005)



CO<sub>2</sub> der Stromerzeugung umfasst hier jeweils Emissionen aus öffentlicher Strom- u. Wärmeerzeugung. Quelle: UNFCCC (2007), EUROSTAT (2007), Stat. LA BW (2007)

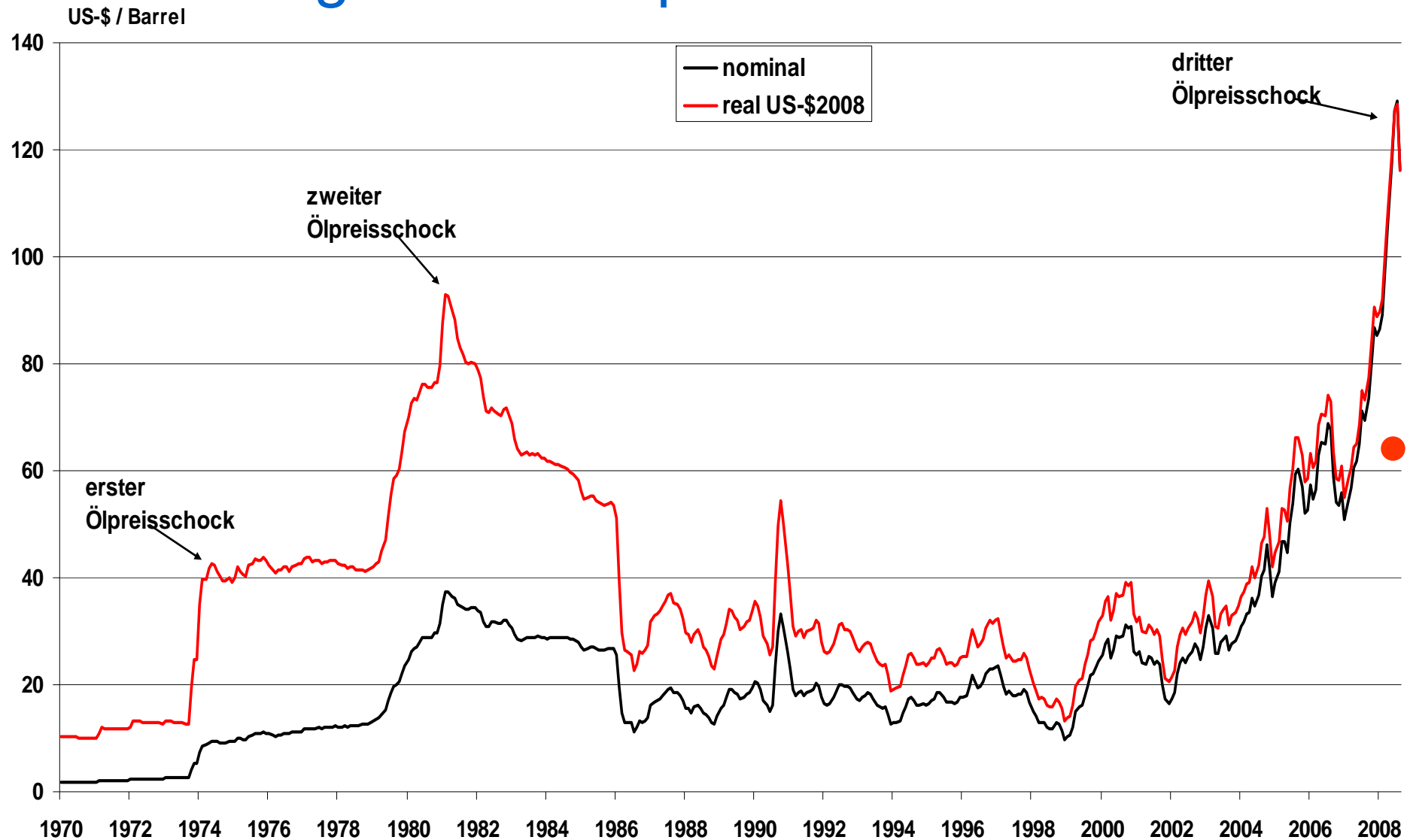


## Energiesituation - Ausgangslage

- **Energieversorgung**
- **Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimaschutz**
- **Energiepreise**



# Entwicklung des Rohölpreises

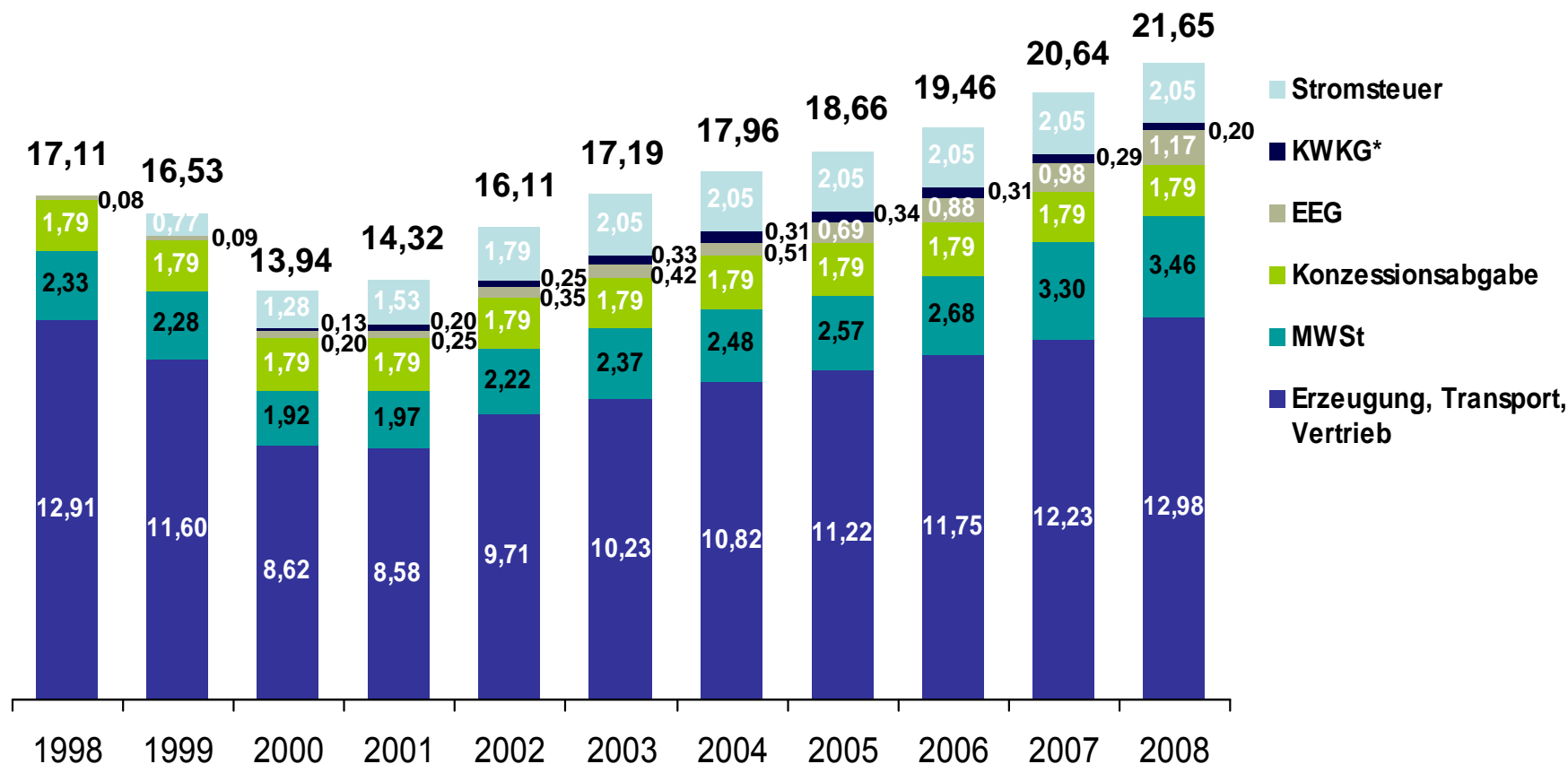






# Strompreis für Haushalte

Durchschnittlicher Strompreis eines Drei-Personen-Haushaltes mit einem Jahresverbrauch von 3.500 kWh/a in Cent/kWh

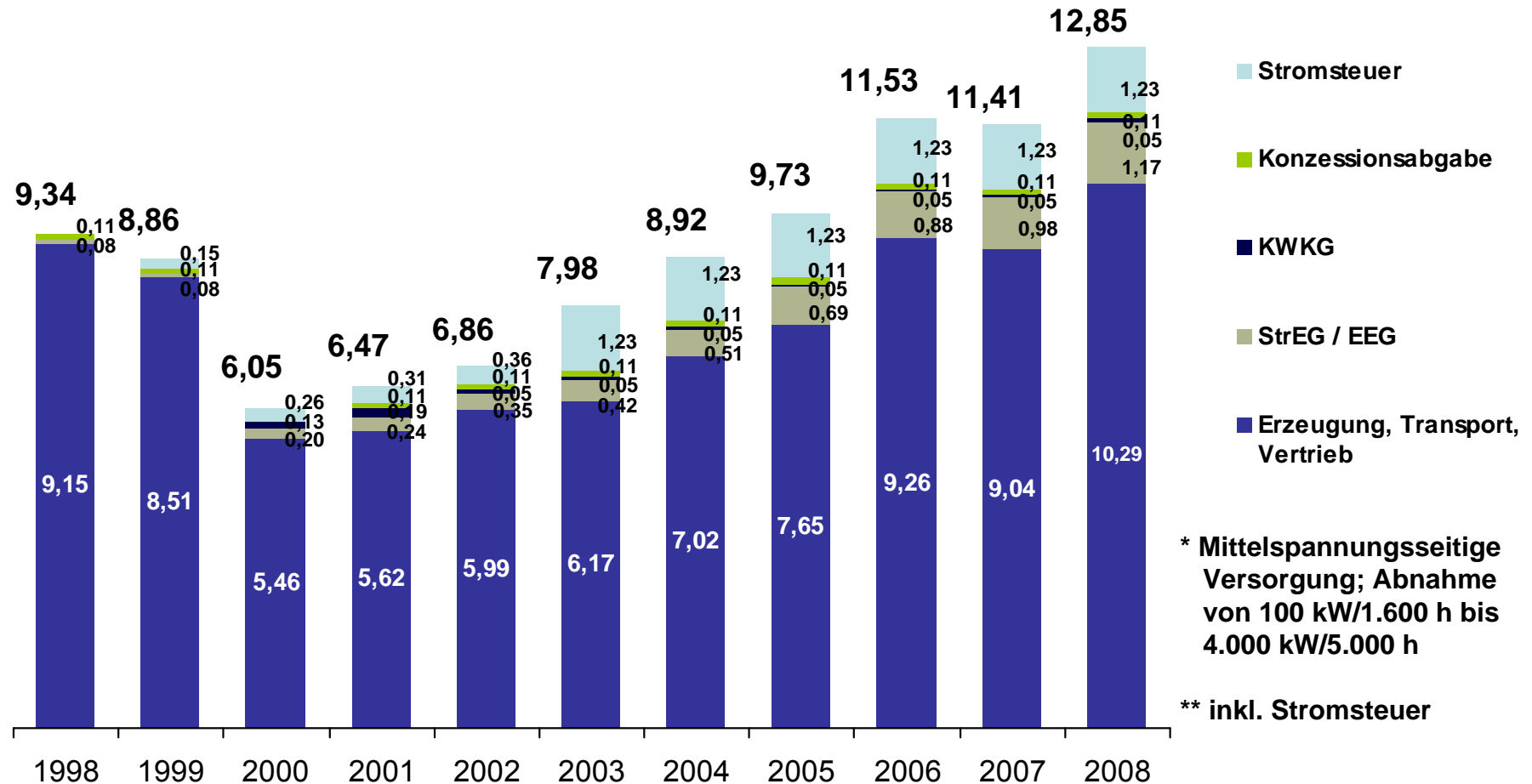


Quelle: BDEW, Stand 7/2008

\*Gesamtbelastung durch KWKG ab 2002, gesunken;  
durch Entlastung Industrie steigende Belastung für Haushalte



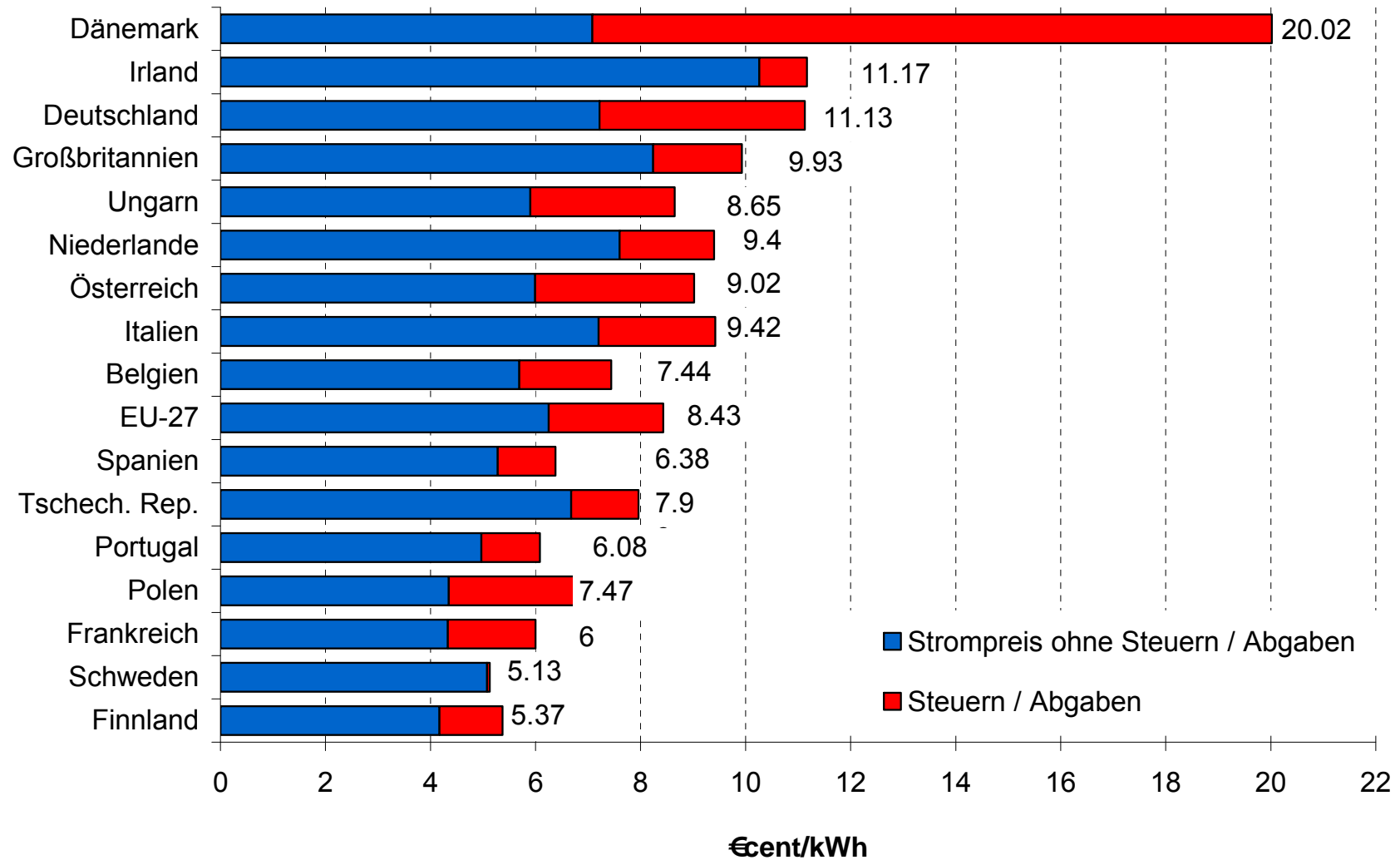
# Durchschnittlicher Strompreis\* für die Industrie in Cent/kWh\*\*



Quellen: VEA, BDEW, einschl. 7/2008



## Industrie-Strompreise in der EU in 2007 (Band IF)



Quelle: Eurostat (2008), neue Erhebungsmethodik

70.000MWh < Jahresverbrauch < 150.000MWh



# Das integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung

Wesentliche Elemente:

- Verdopplung des Anteils von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen an der Stromproduktion auf ca. 25% bis 2020
- Erhöhung des Anteils des Erneuerbaren Energien an der Stromproduktion auf 25-30% bis 2020, danach weitere kontinuierliche Erhöhung
- Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung auf 14% im Jahr 2020
- Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz soll bis 2030 auf 10% steigen
- Steigerung des Anteils der Biokraftstoffe bis 2020 auf etwa 20 Volumenprozent (entspricht 17% energetisch)
- Verschärfung der energetischen Anforderungen im Gebäudebereich (30% in 2009, nach 2012 erneut in vergleichbarer Größenordnung)



# 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“.

## Ziel

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



➤ **Nachhaltige Energieversorgung – was ist darunter zu verstehen?**



## "Nachhaltige Entwicklung" Konkretisierung des Leitbildes für den Energiebereich

- **Naturwissenschaftliche Grundlagen**
- **Nachhaltigkeit und die Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen**
- **Nachhaltigkeit und Ökonomie**



## Naturwissenschaftliche Grundlagen

- 2. Hauptsatz der Thermodynamik  $\Rightarrow$  Leben sowie die Entfaltung wirtschaftlicher und kultureller Leistungen bedürfen ständiger Zufuhr von arbeitsfähiger Energie und Materie.
- Wachsendes Wissen (Gestaltungsfähigkeit) und die damit mögliche Weiterentwicklung von Technik sind die Basis zur Erhaltung bzw. Erweiterung der Entfaltungsspielräume kommender Generationen.
- Energiebedingte Umweltbelastungen resultieren aus der mit der Stoffwandlung verbundenen Stofffreisetzungen in die Umwelt.



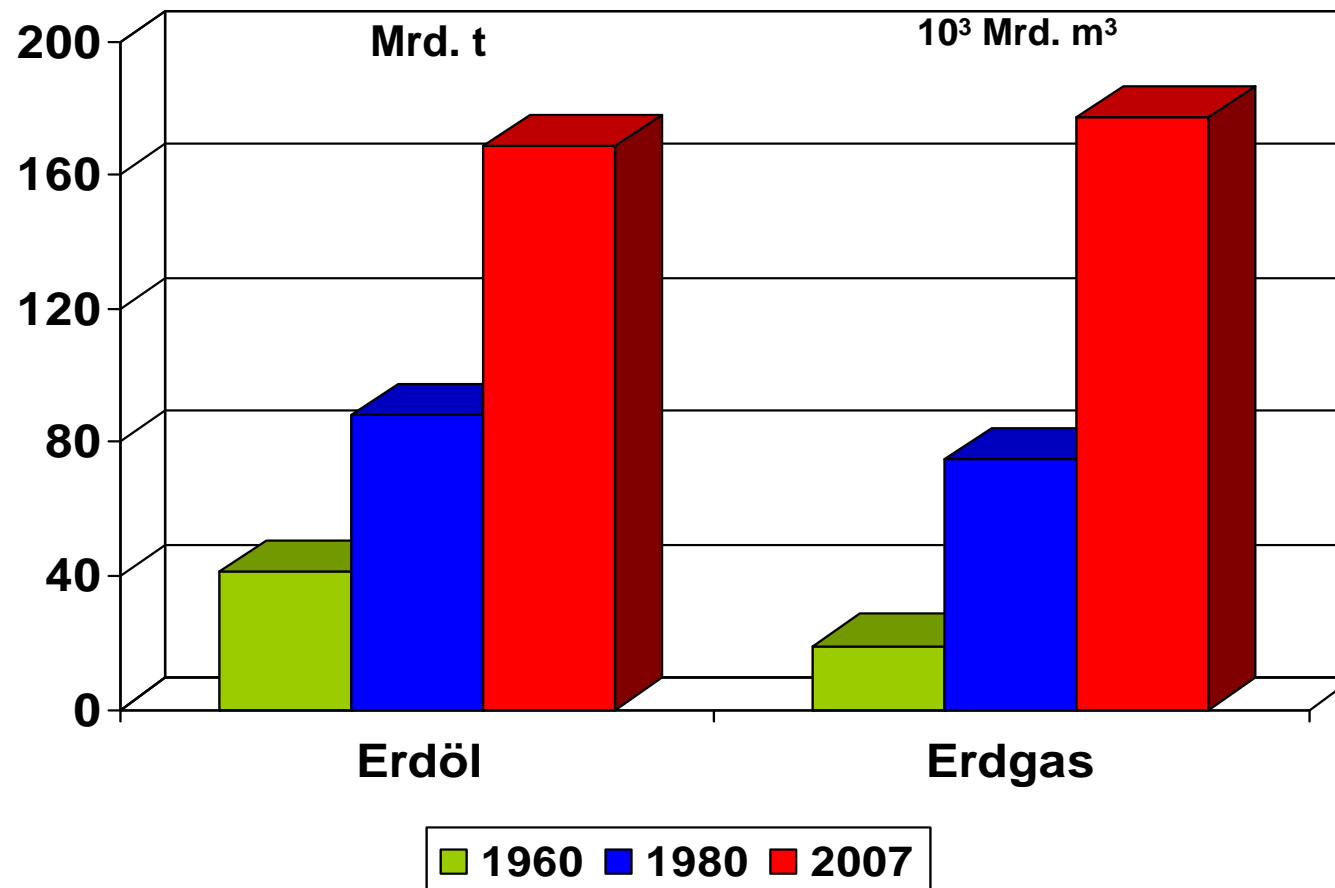


## Nachhaltigkeit und die Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen

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



# Entwicklung der sicher gewinnbaren Reserven





## Effiziente Ressourcennutzung 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.
- Vollkosten, die die Umweltinanspruchnahme erfassen, sind ein Maß für den gesamten Ressourcenverbrauch.
  - ➔ relative Nachhaltigkeit



# Nachhaltige Energieversorgung

## wenn

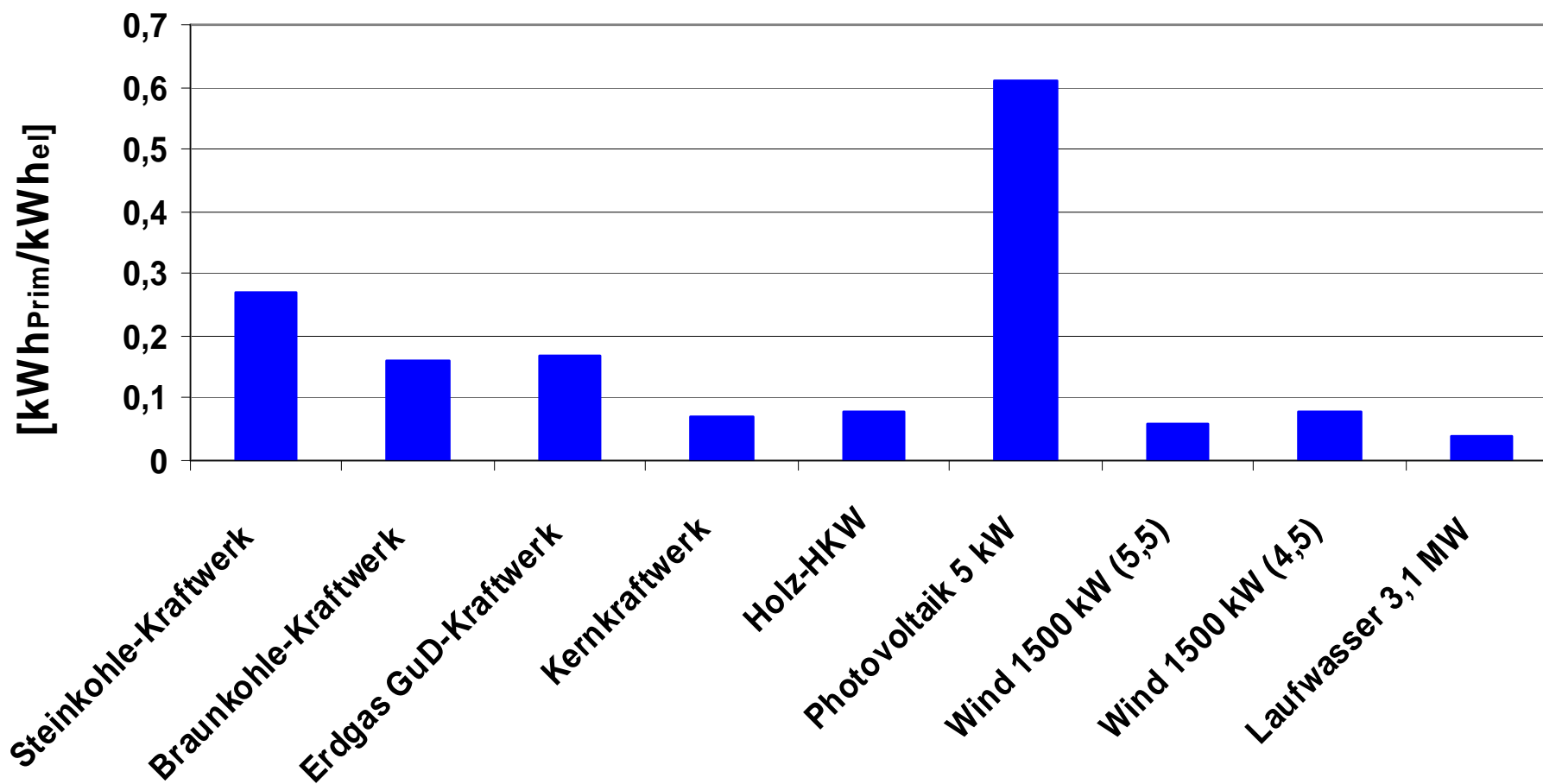
- das Potenzial für die Bereitstellung von Energiedienstleistungen für die nächste Generation größer wird
  - ➔ Ausweitung der wirtschaftlich nutzbaren Energie- und Rohstoffbasis
- die mit der Energienutzung verbundenen Stofffreisetzungen die Assimilationskapazität der Umwelt als Senke nicht überschreiten
- die Energiedienstleistungen mit möglichst geringem Ressourcenaufwand, einschließlich der Ressource Umwelt bereitgestellt werden
  - ➔ Relative Nachhaltigkeit von Energiesystemen lässt sich messen am gesamten Ressourcenverbrauch je Energieeinheit
  - ➔ Vollkosten sind Maß für relative Nachhaltigkeit



## ➤ **Stromerzeugungssysteme auf dem Prüfstand der Nachhaltigkeit**



# Spezifischer kumulierter Energieaufwand (KEA) (ohne Brennstoff)



Quelle: IER 2005/07



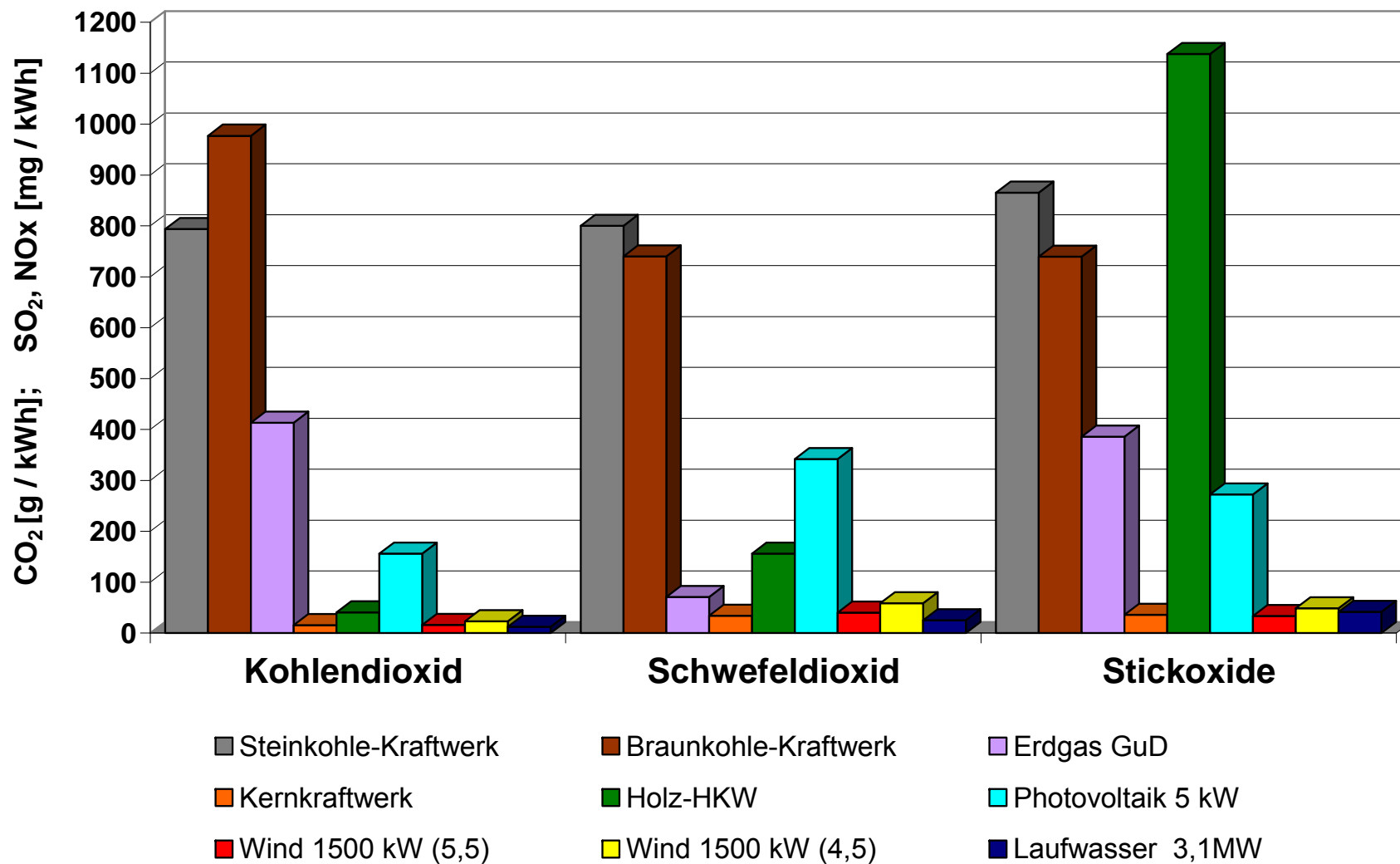
## Gesamter Rohstoff und Materialaufwand

	<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-Kraftwerk</b>	<b>1.700</b>	<b>8</b>	<b>30</b>
<b>Braunkohle-Kraftwerk</b>	<b>2.134</b>	<b>8</b>	<b>19</b>
<b>Erdgas GuD</b>	<b>1.239</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Kernkraftwerk</b>	<b>457</b>	<b>6</b>	<b>27</b>
<b>Holz-HKW</b>	<b>934</b>	<b>4</b>	<b>18</b>
<b>Photovoltaik 5 kW</b>	<b>4.969</b>	<b>281</b>	<b>2.189</b>
<b>Wind 1500 kW (5,5)</b>	<b>3.066</b>	<b>52</b>	<b>35</b>
<b>Wind 1500 kW (4,5)</b>	<b>4.471</b>	<b>75</b>	<b>51</b>
<b>Laufwasser 3,1 MW</b>	<b>2.057</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

Quelle: IER 2005/07



# Kumulierte Emissionen

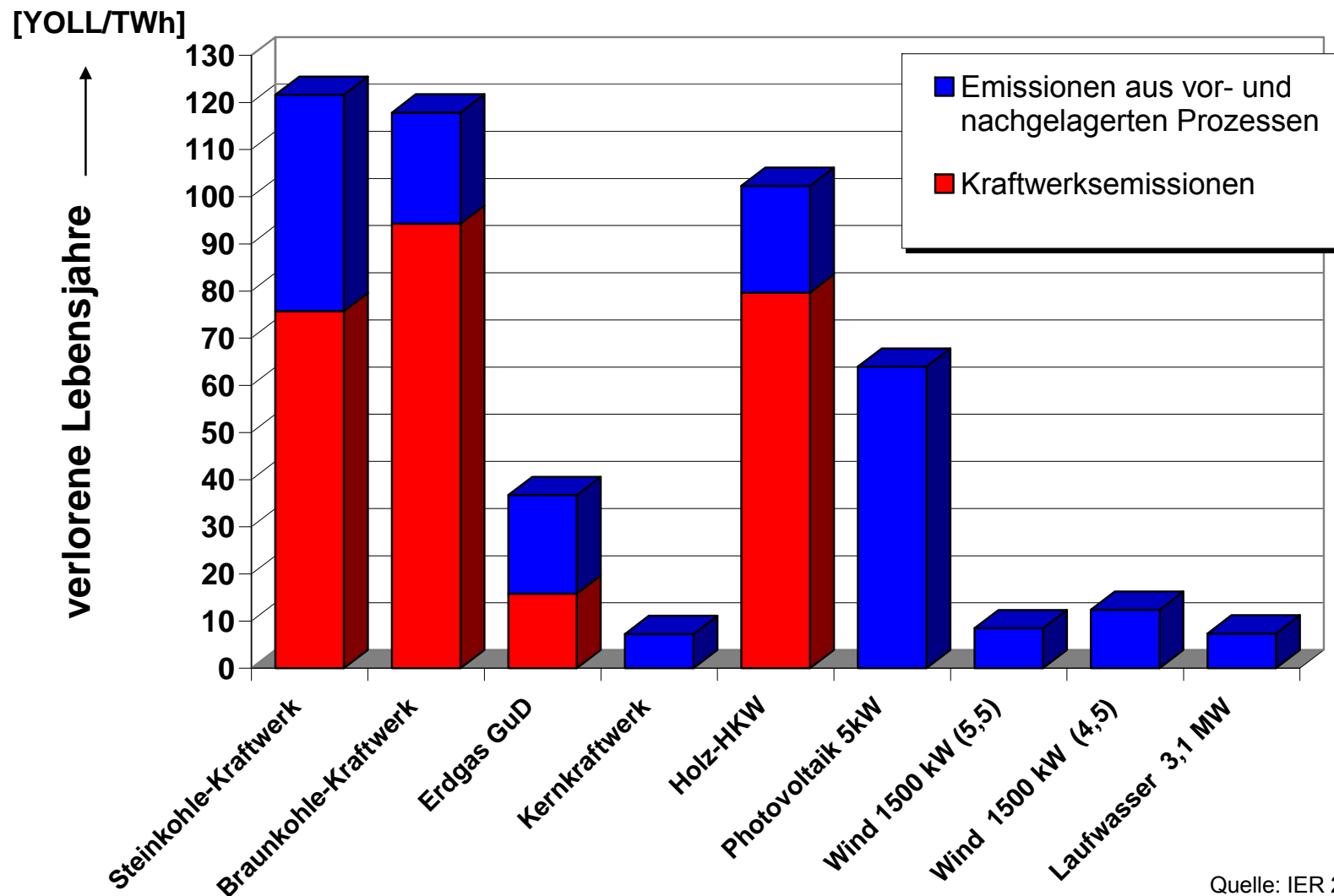


Quelle: IER 2005/07





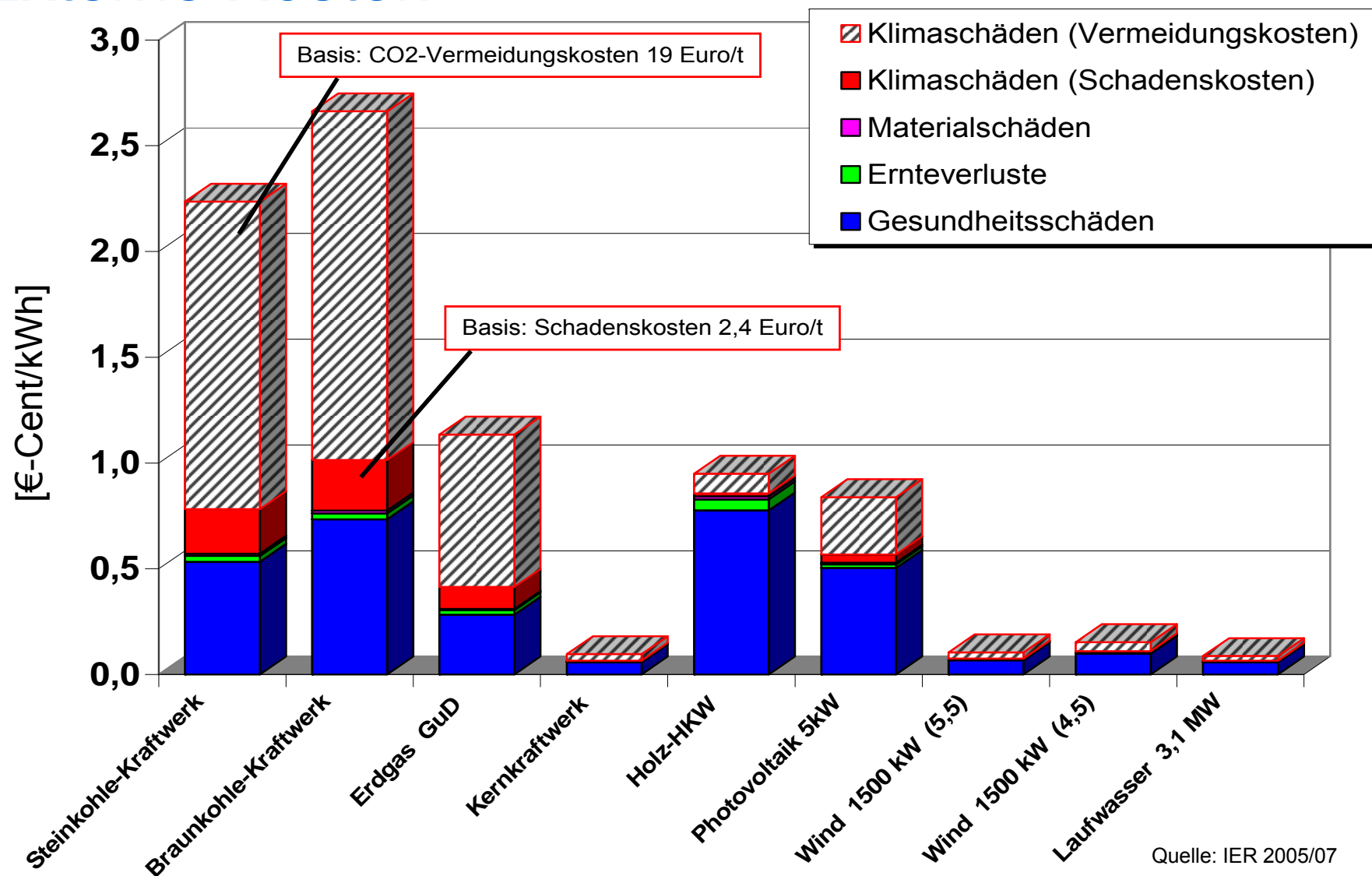
# Gesundheitsrisiken



Quelle: IER 2005/07



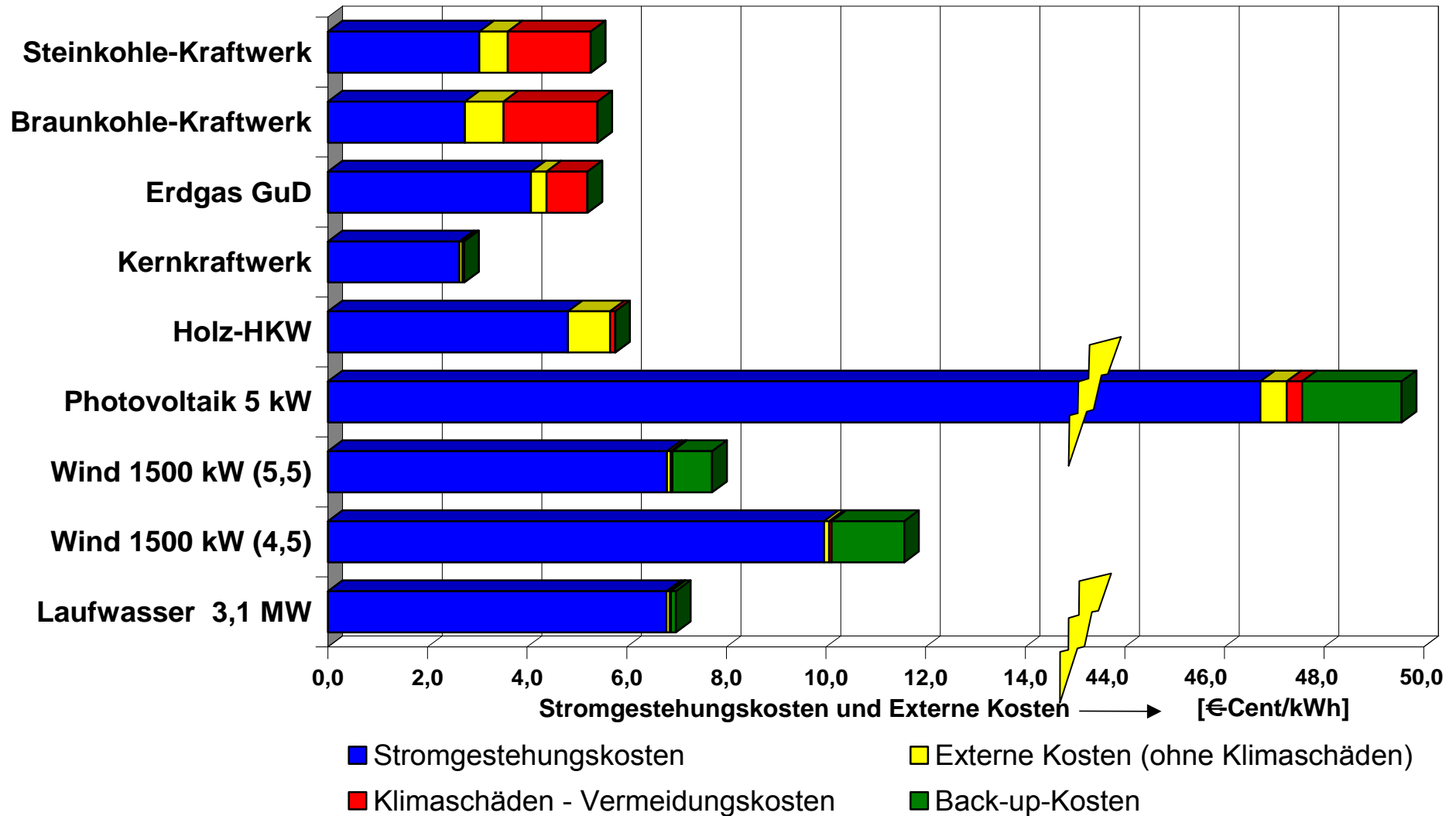
# Externe Kosten



Quelle: IER 2005/07



# Vollkosten der Stromerzeugung



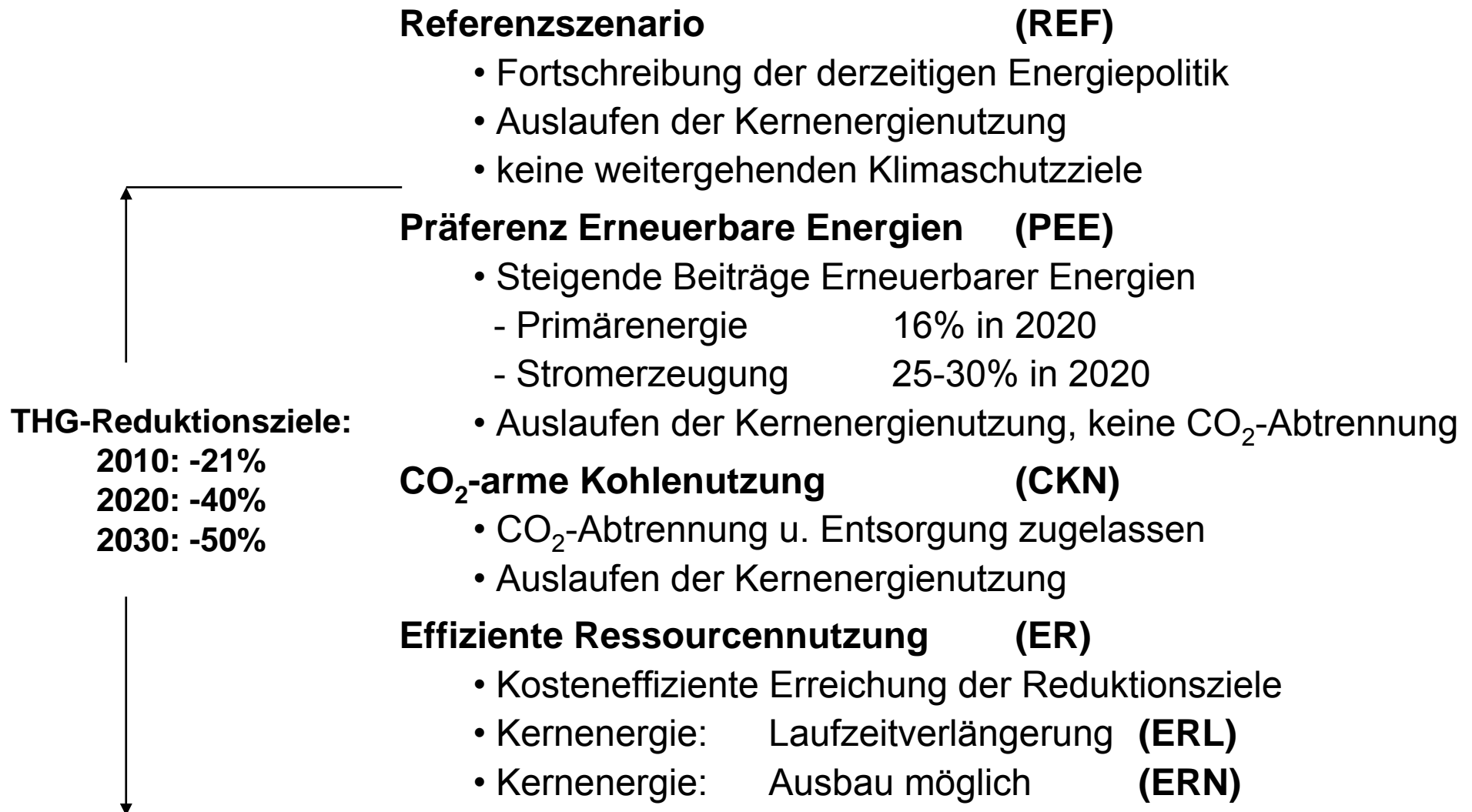
Quelle: IER 2005/07



## ➤ **Entwicklung der Energieversorgung in Deutschland – Politische Rahmenbedingungen und Nachhaltigkeit**

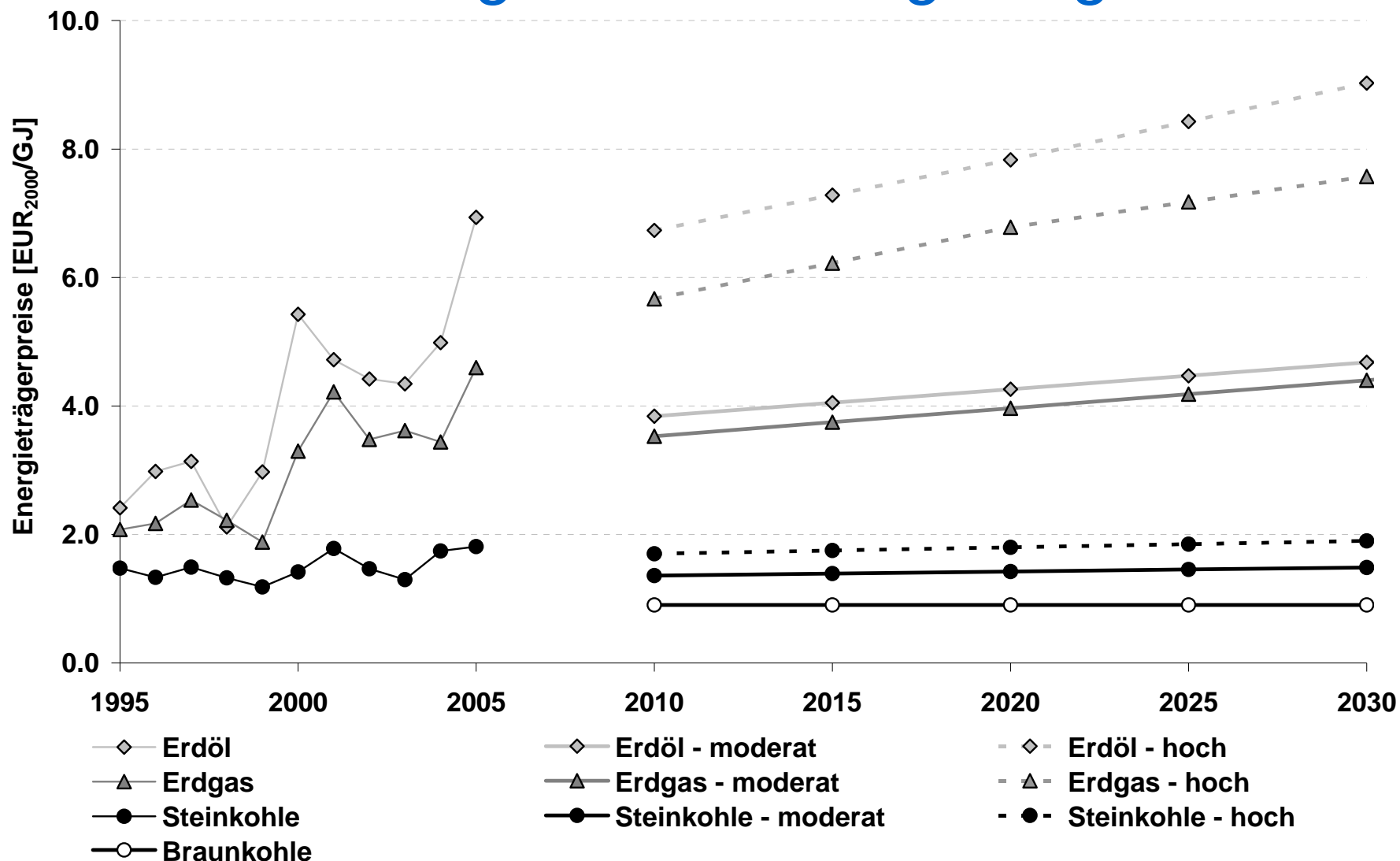


# Charakterisierung der Szenarien



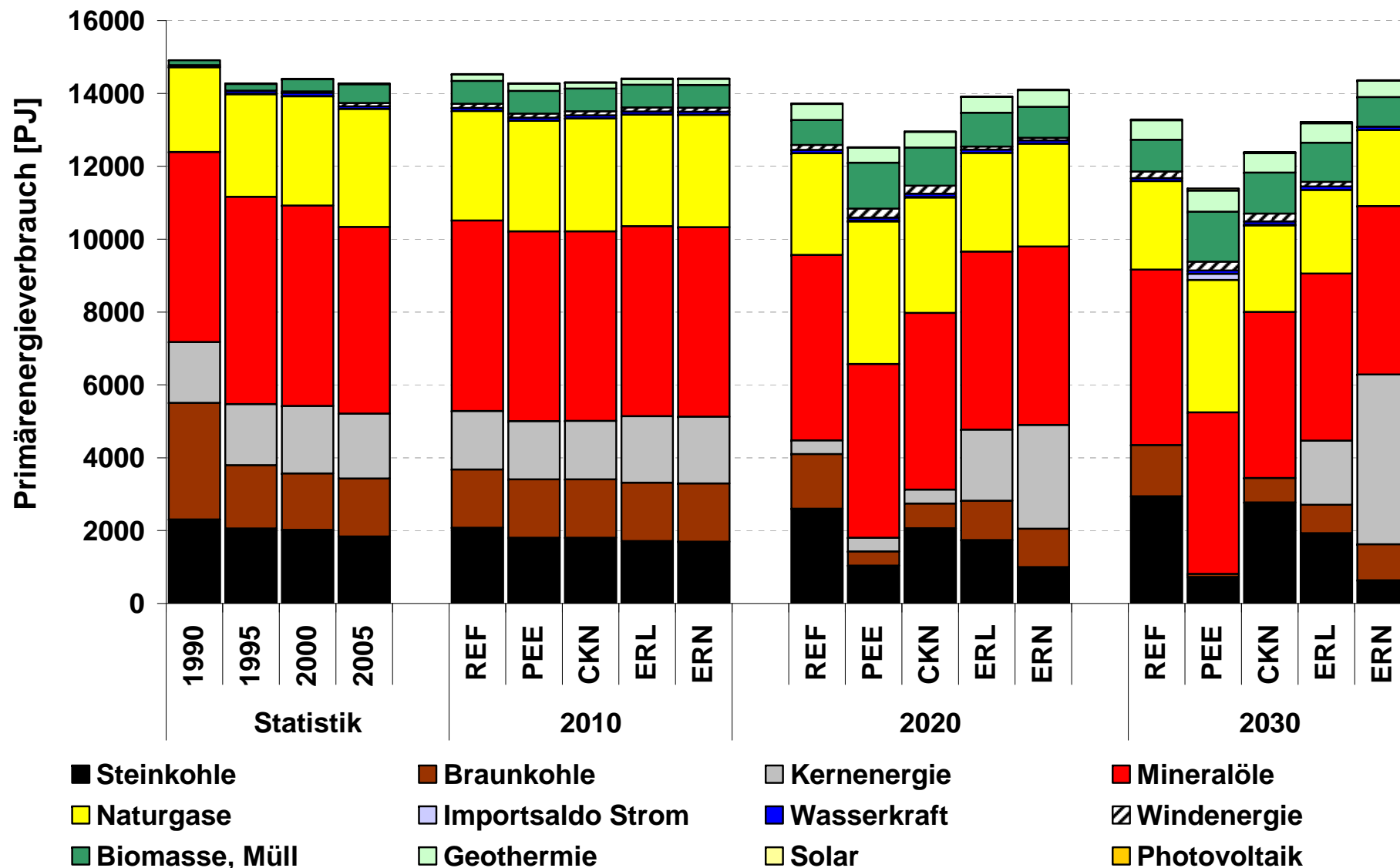


# Preisentwicklung fossiler Energieträger



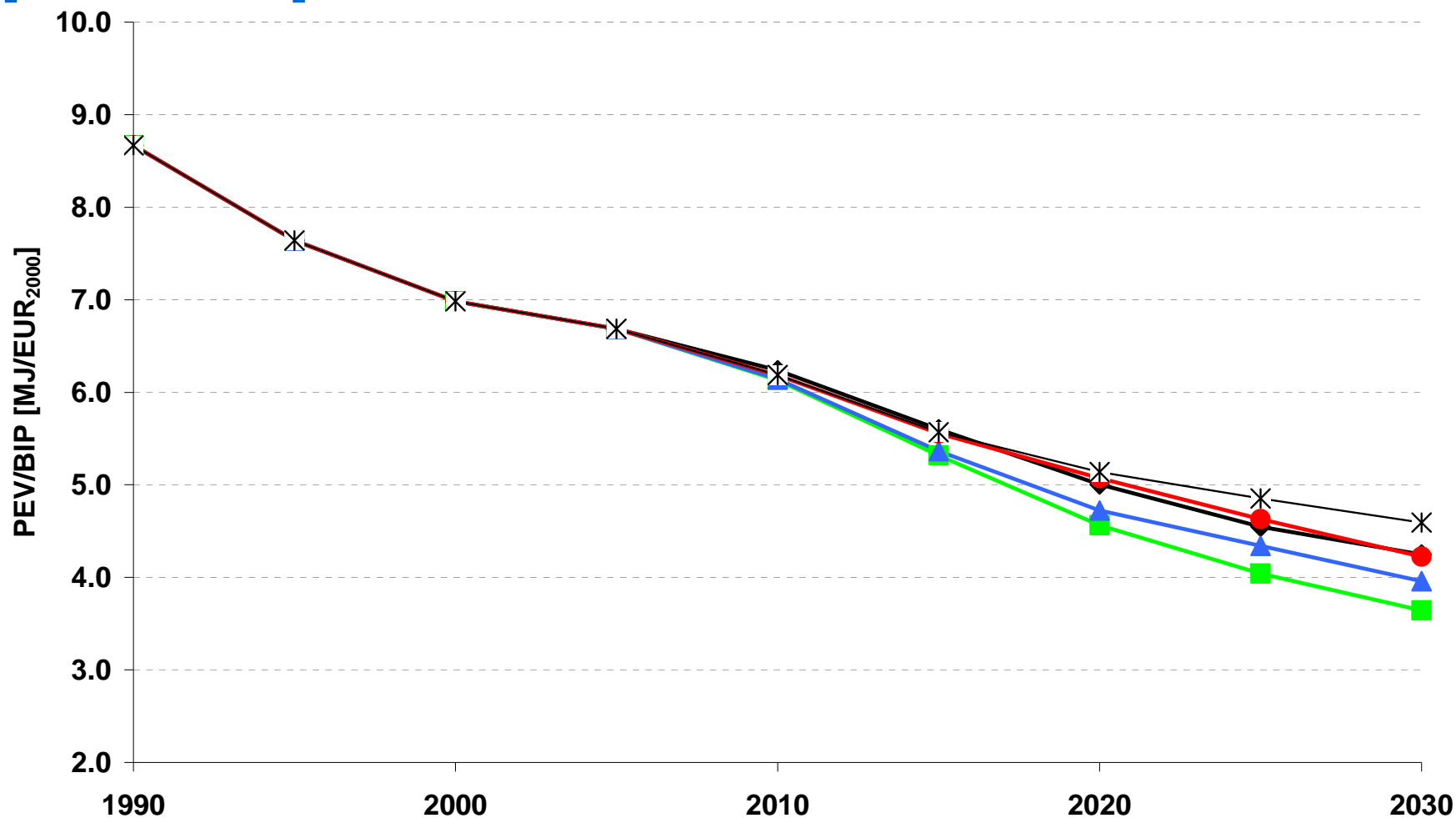


# Primärenergieverbrauch nach Energieträgern





# Energieintensität des Bruttoinlandsproduktes [MJ/€2000]



Anm.: PEV nach Wirkungsgradmethode

—◆— REF

—■— PEE

—▲— CKN

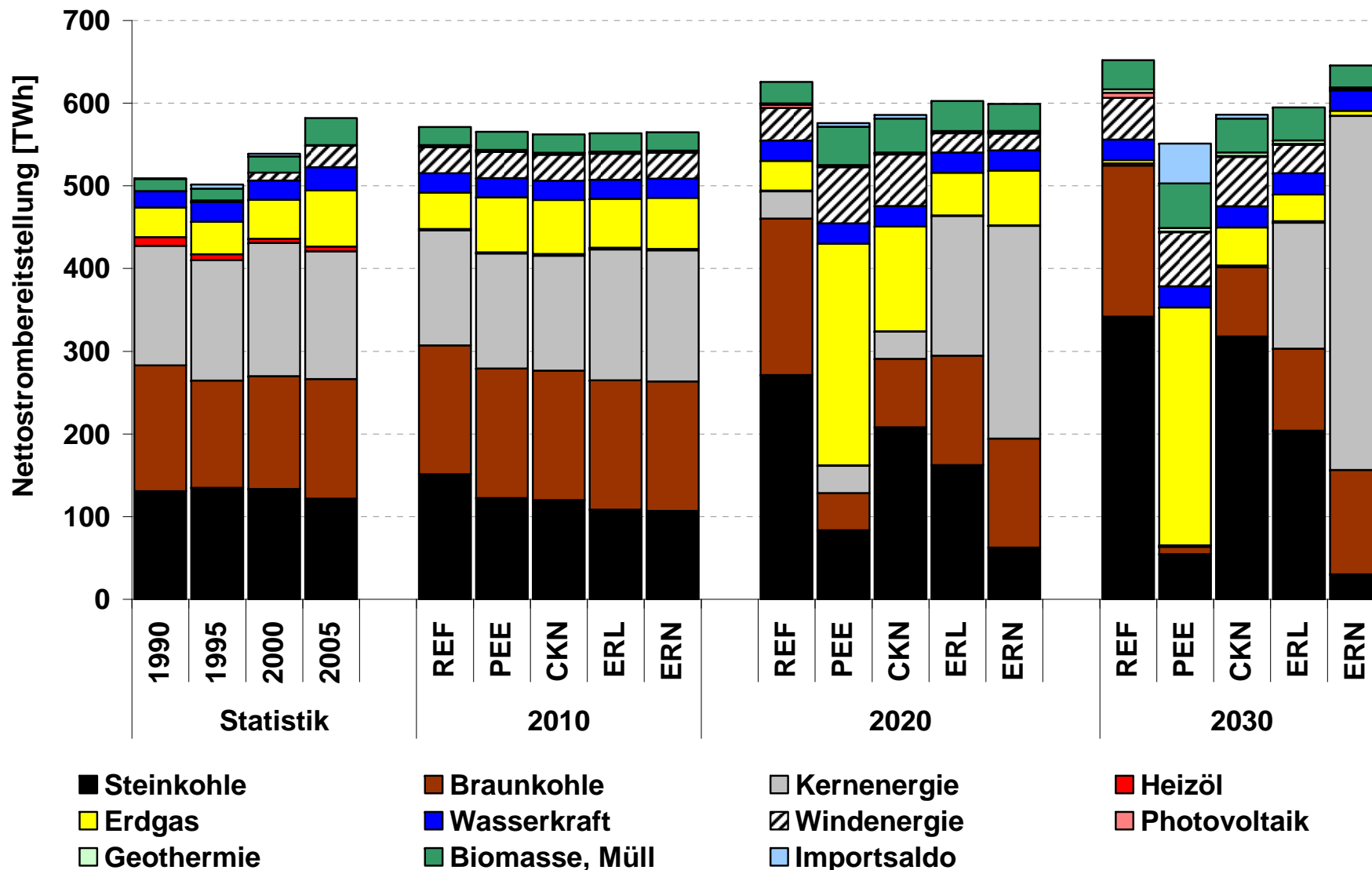
—●— ERL

—✕— ERN



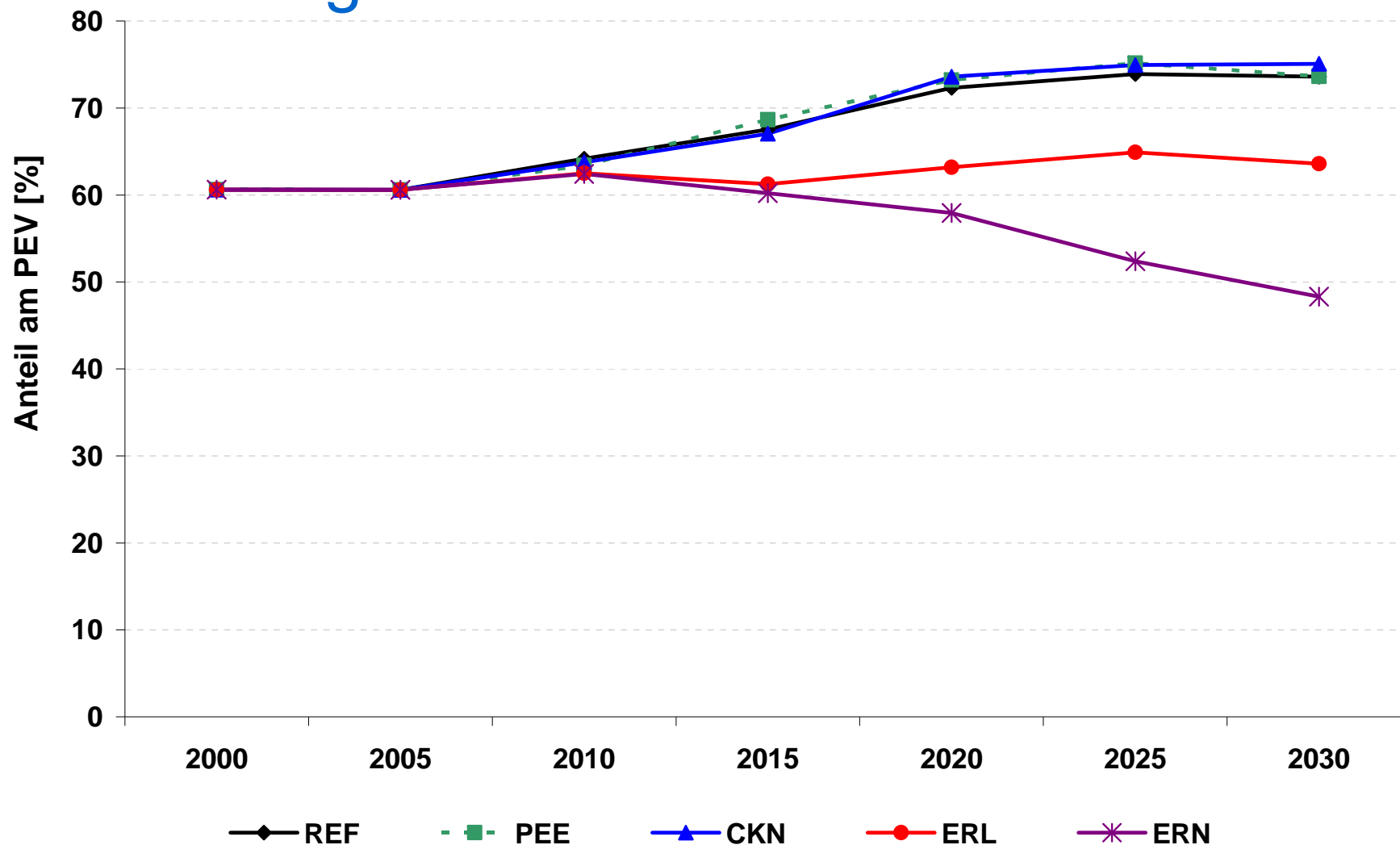


# Nettostrombereitstellung nach Energieträgern





# Anteil der Importe fossiler Energieträger am Primärenergieverbrauch in Prozent





## Kumulierte Treibhausgasminderungskosten und mittlere Stromgestehungskosten der verschiedenen Szenarien

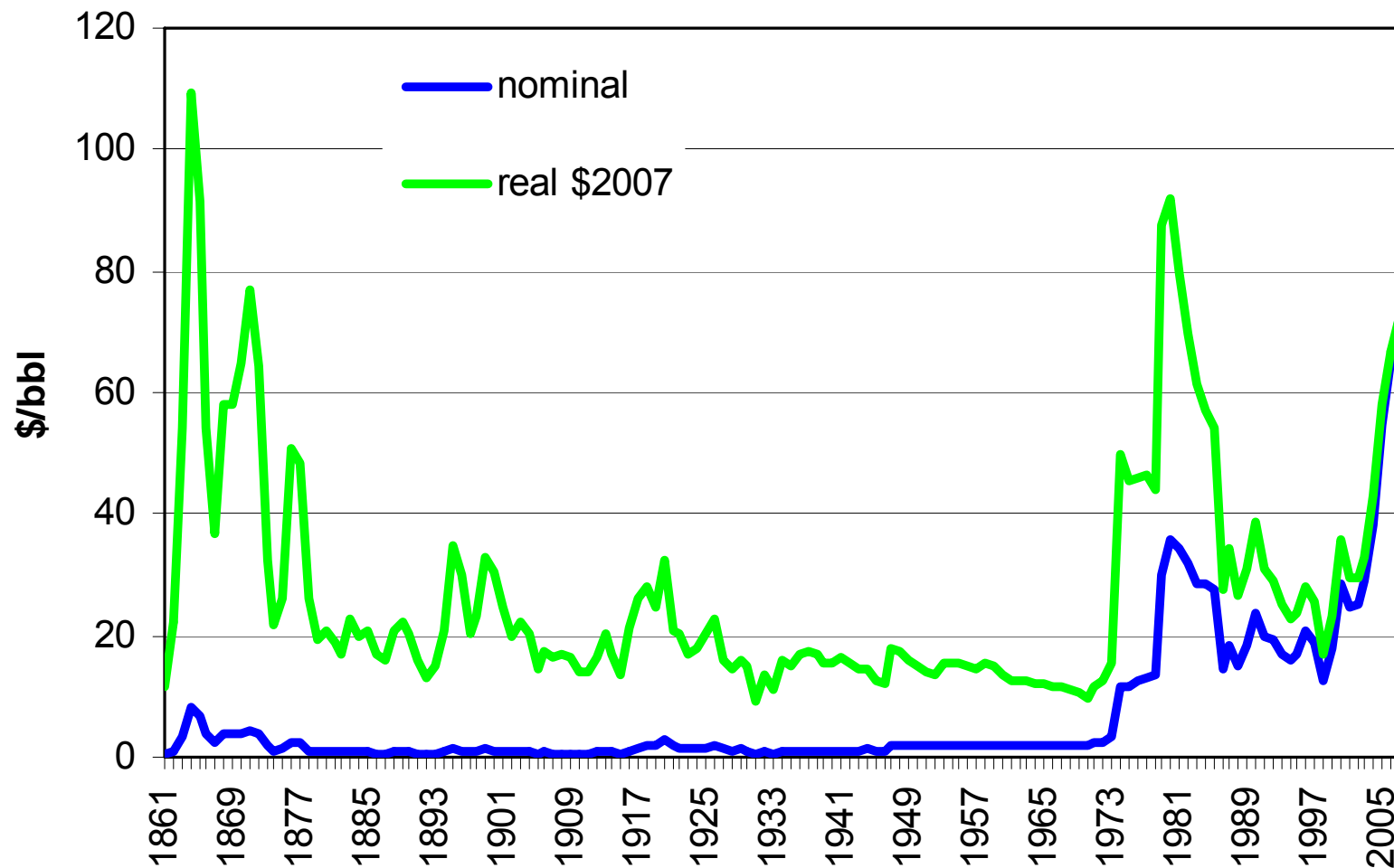
Szenario	Kumulierte Minderungskosten bis 2030 [Mrd. Euro <sub>00</sub> ]	Mittlere Stromgestehungskosten 2030 [Cent <sub>00</sub> /kWh]
Referenzszenario (REF)		4,4 <b>4,2*</b>
CO <sub>2</sub> -arme Kohlenutzung (CKN)	117 <b>74*</b>	5,4 <b>4,9*</b>
Präferenz Erneuerbare Energien (PEE)	212 <b>138*</b>	7,4 <b>6,4*</b>
Effiziente Ressourcennutzung: Laufzeitverlängerung (ERL)	-23 <b>-37*</b>	4,2 <b>3,7*</b>
Effiziente Ressourcennutzung: Kernenergieausbau / Laufzeitverlängerung (ERN)	-118 <b>-122*</b>	2,8 <b>2,7*</b>
<b>* Moderate Energiepreise</b>		



**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



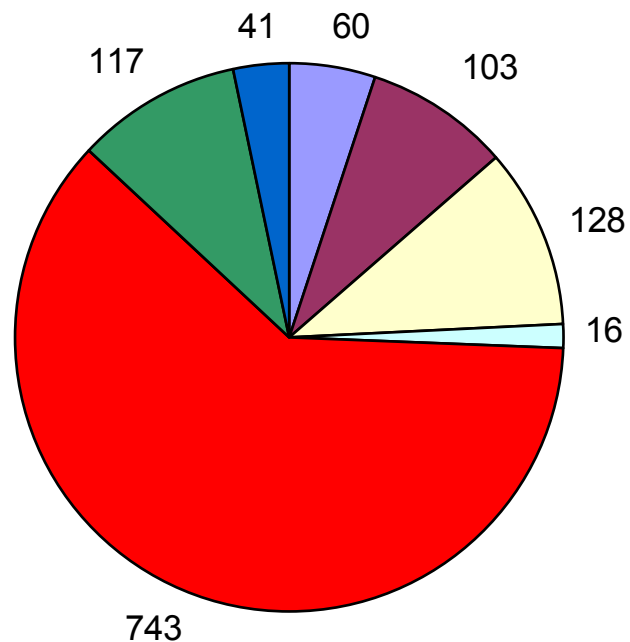
# Entwicklung des Rohölpreises





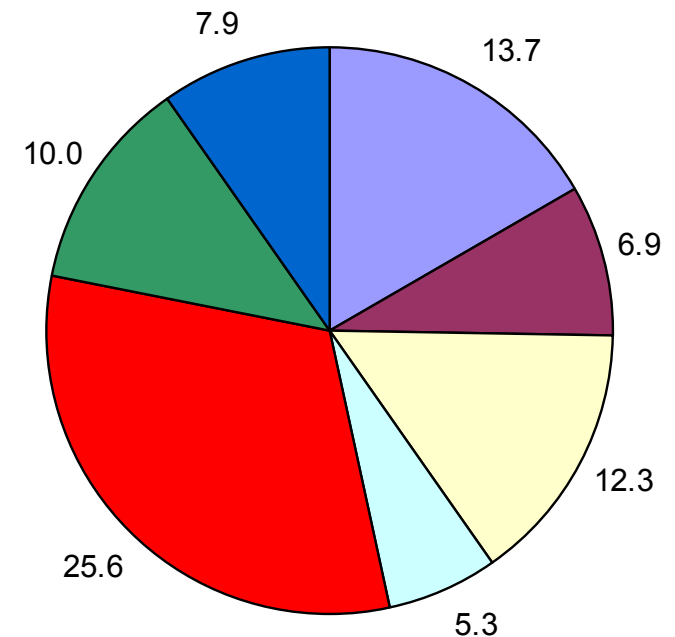
# Ölreserven und -förderung 2006

Nachgewiesene Ölreserven 2006 [Gb]



Welt: 1208 Gb

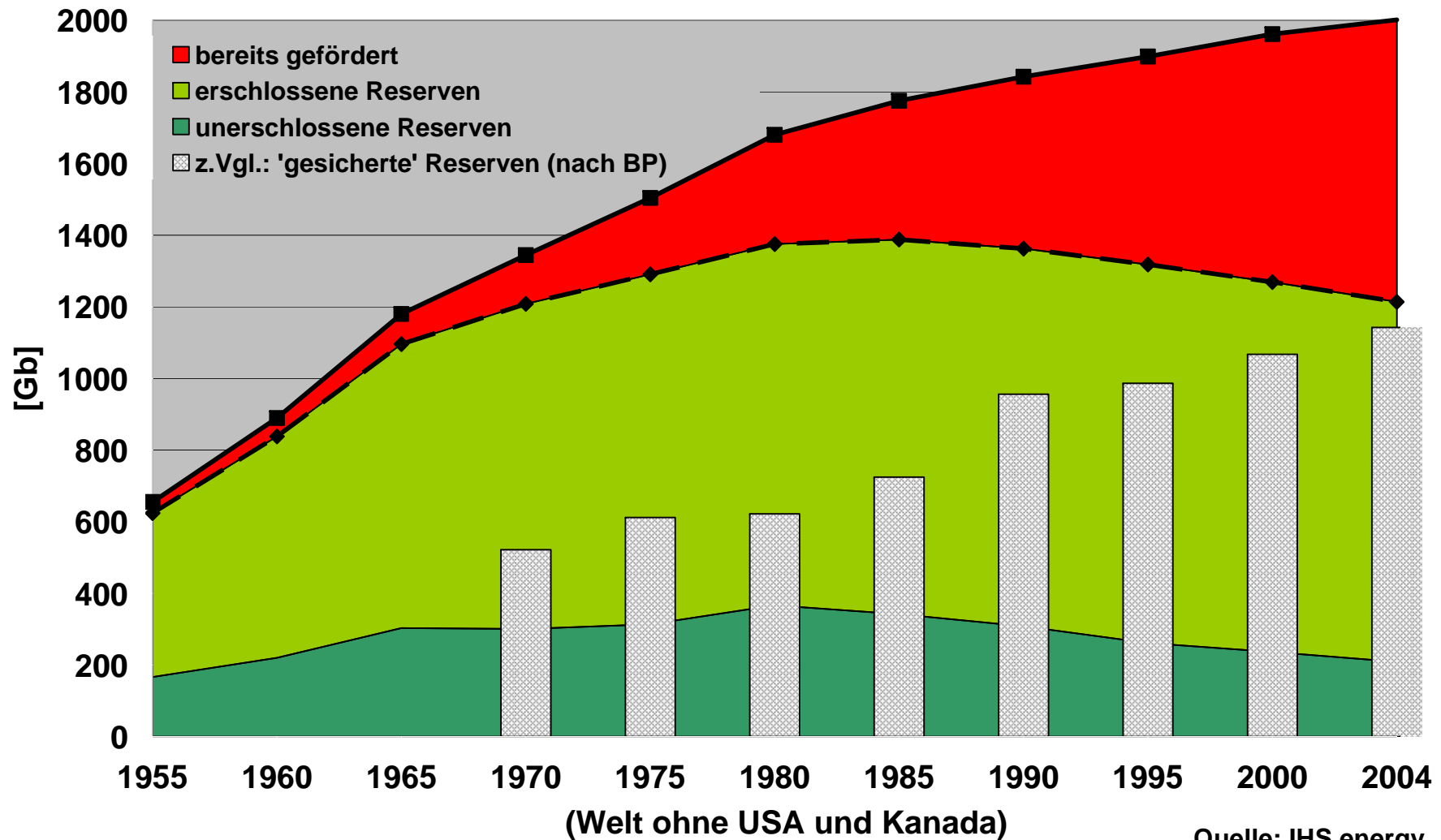
Ölförderung 2006 [Mio. b/d]



Welt: 81.7 Mio. b/d



## Kumulierte Entdeckungen und Reserven



Quelle: IHS energy