



„Energieversorgung in Europa- Herausforderungen, Optionen, Perspektiven“

Prof. Dr.-Ing. A. Voß

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Universität Stuttgart

73. Jahrestagung der DPG

Hamburg, 2.-6. März 2009

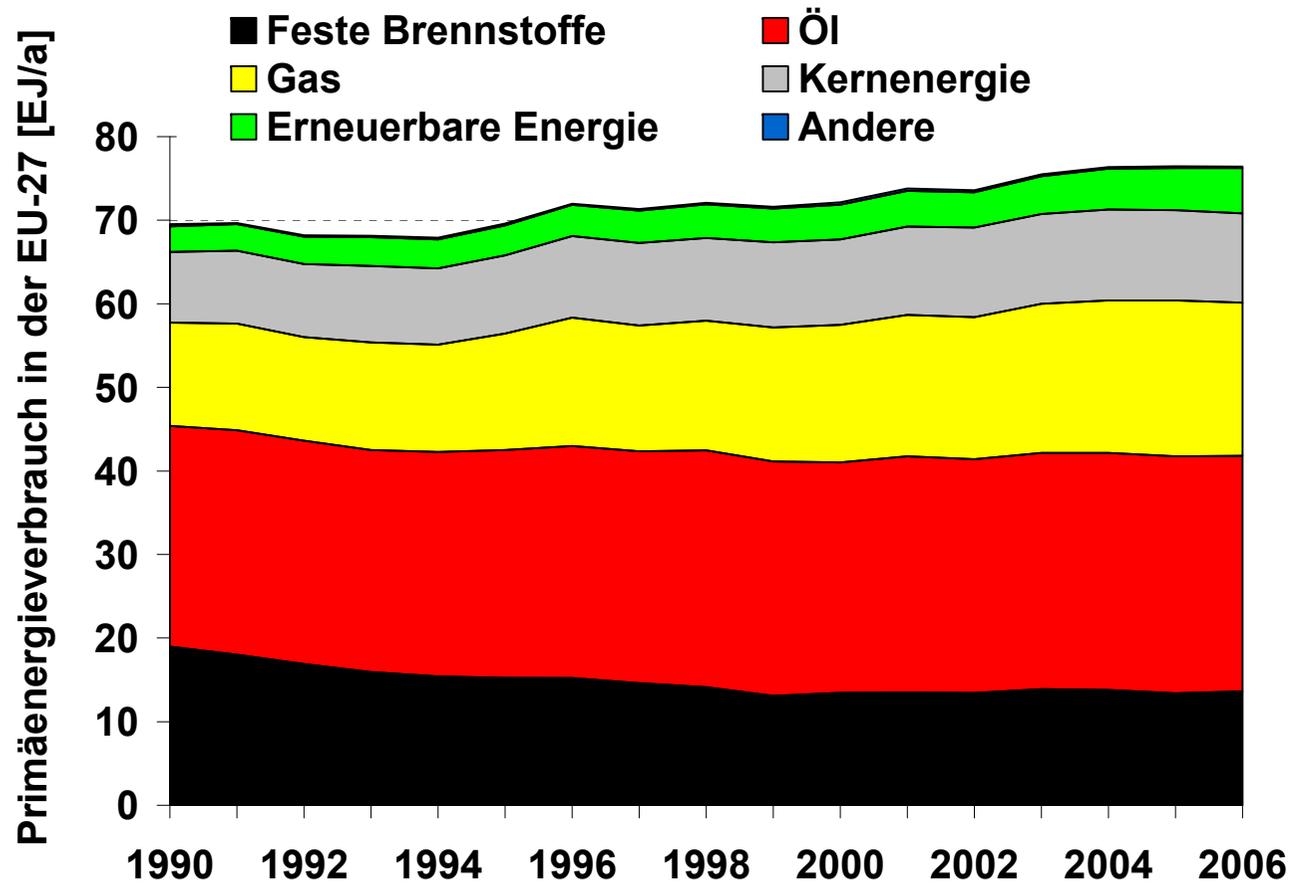


Energiesituation - Ausgangslage

➤ **Energieversorgung**



Energie in Europa (EU-27)



Importabhängigkeit [%]	
1990	44,6
	↓ +21%
2006	53,8

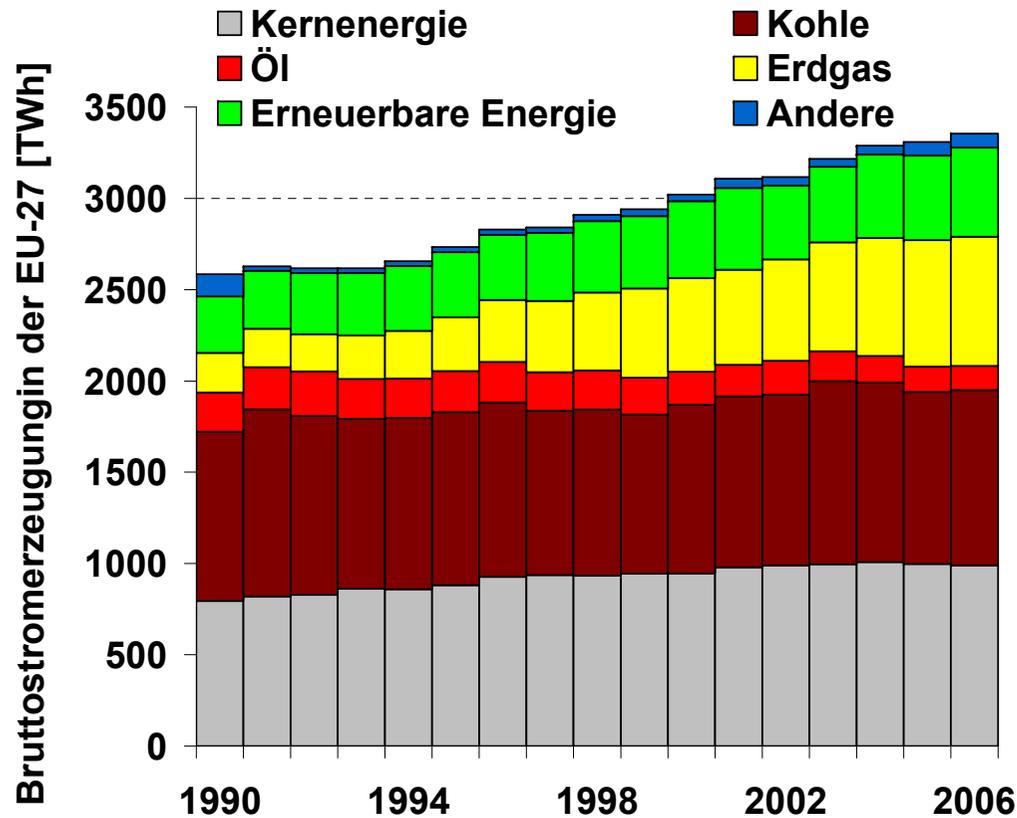
Energieintensität des BIP [toe/tsd.€ ₂₀₀₀]	
1990	215
	↓ -18%
2006	177

Quelle: EU-Kommission (2009)

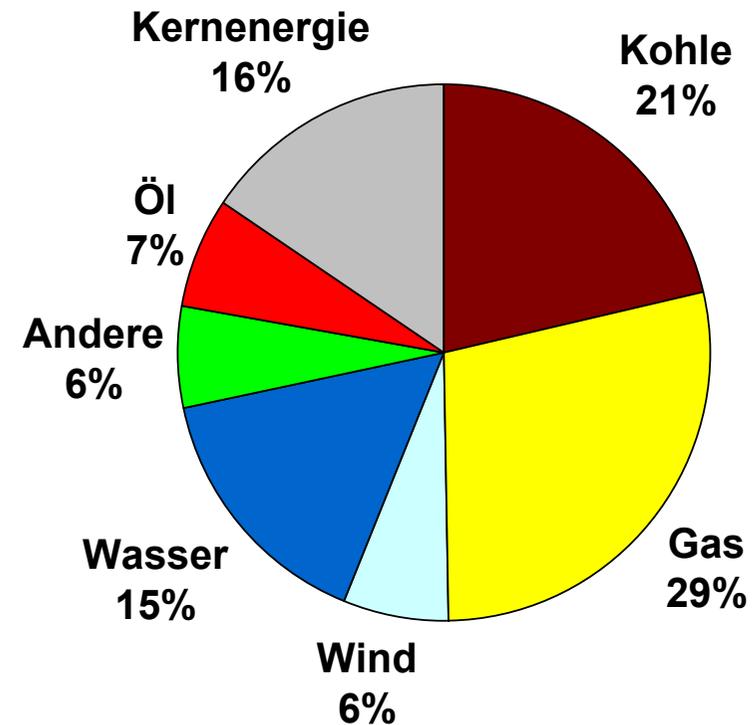


Elektrizität in Europa

**Bruttostromerzeugung
(EU-27) in 2006: 3354 TWh**



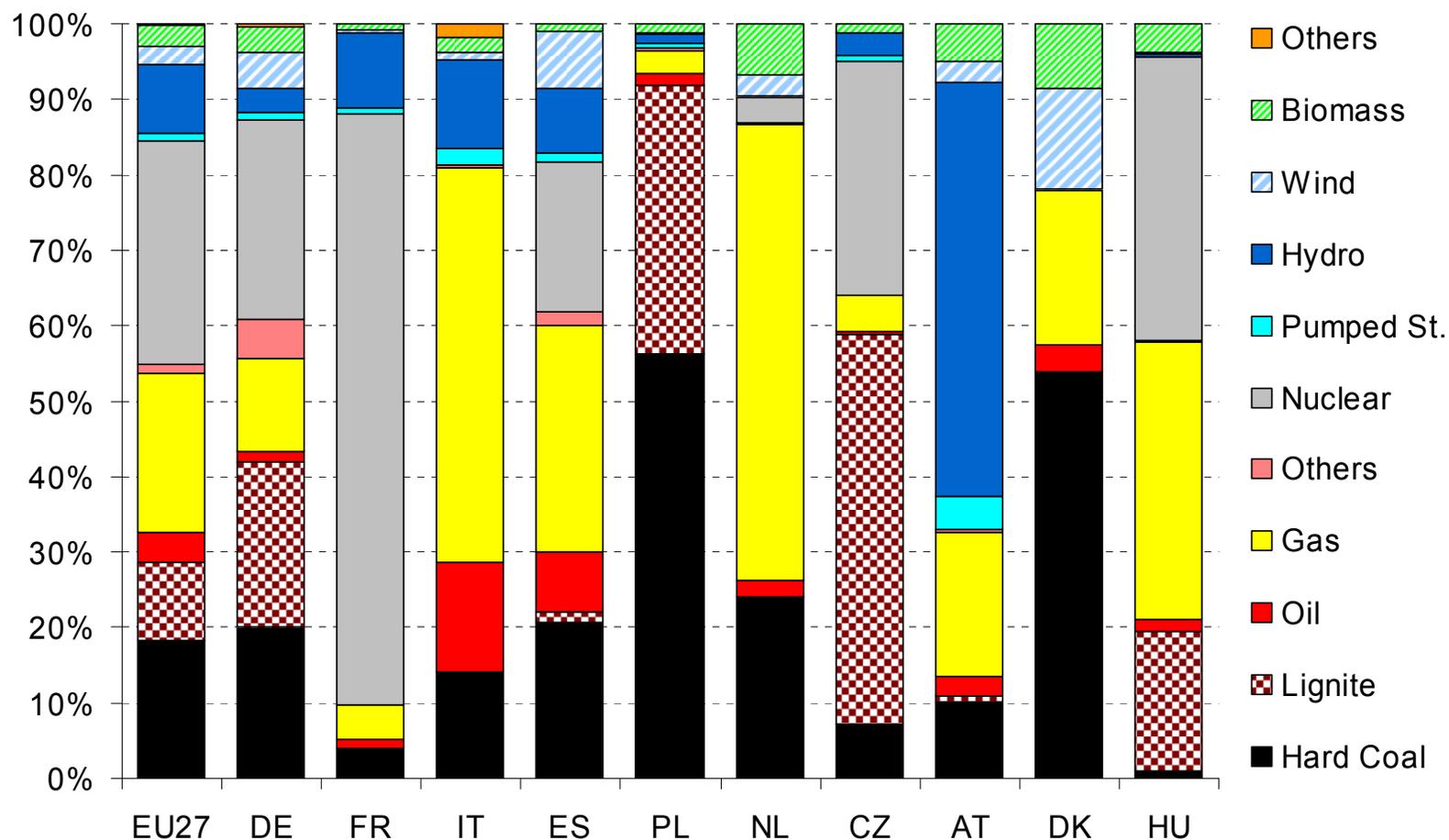
**Erzeugungskapazitäten
(EU-27) in 2007: 855 GW**



Quelle: EU-Kommission (2009)



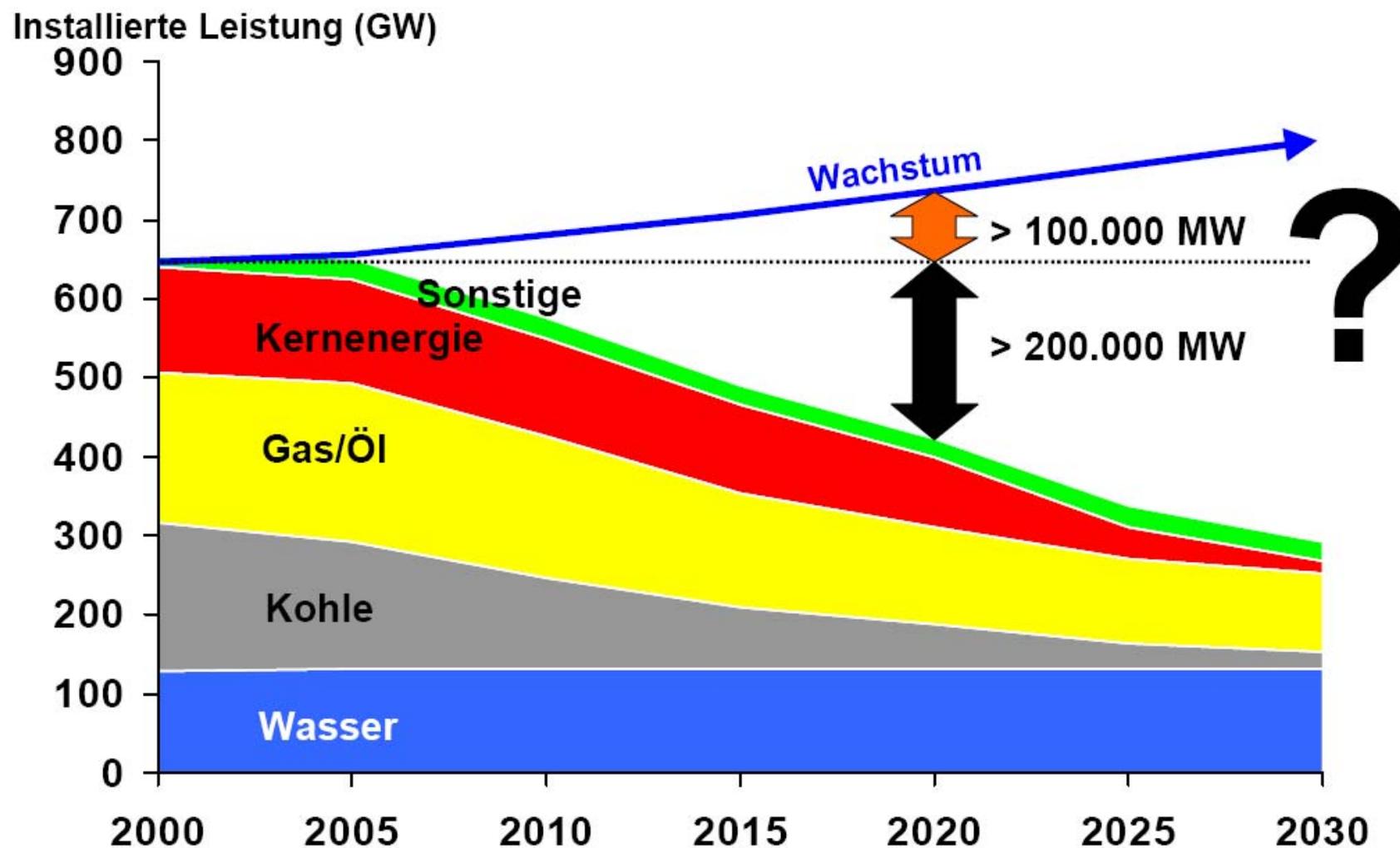
Bruttoelektrizitätserzeugung in Europa: Struktur in ausgewählten Ländern (2006)



Source: EUROSTAT (2008)



Kraftwerkszubaubedarf in der EU



Quelle: VGB

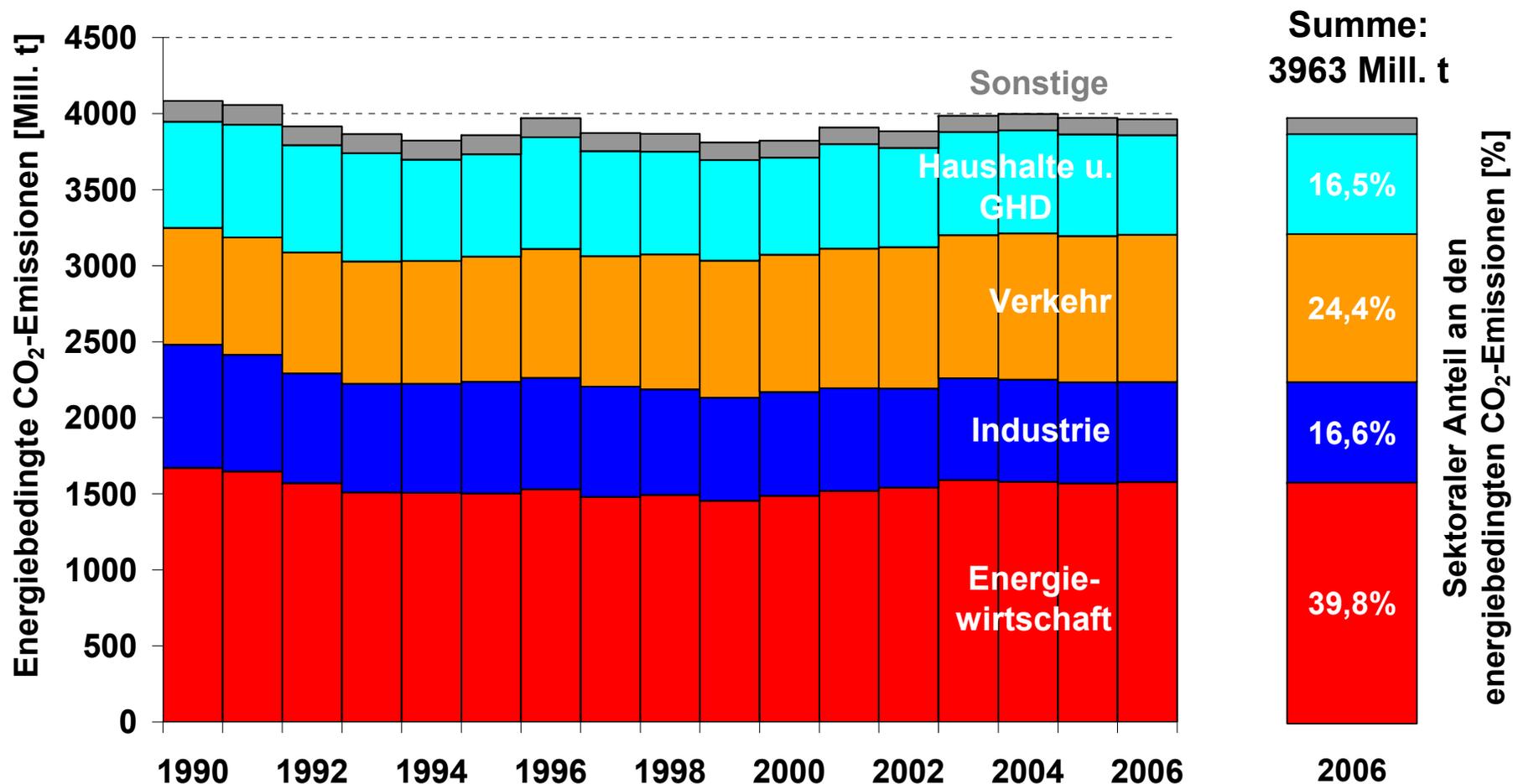


Energiesituation - Ausgangslage

- **Energieversorgung**
- **CO₂-Emissionen und Klimaschutz**



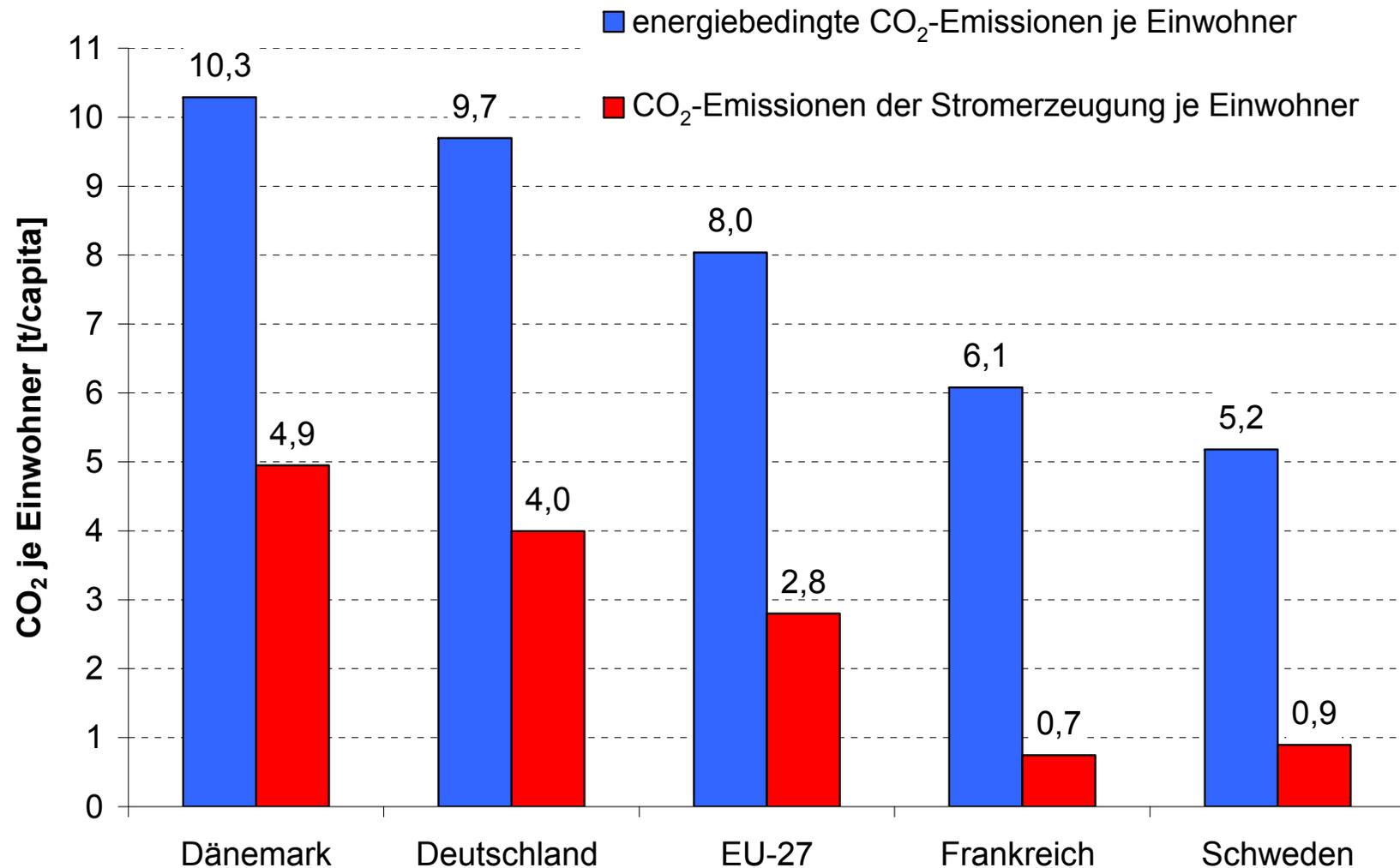
Energiebedingte CO₂-Emissionen in der EU-27



Quelle: EU-Kommission (2009). Ohne Internationale Bunker. Ohne LULUCF. Sonstige umfasst die Kategorien Landwirtschaft, Nicht Klassifizierte Emissionen sowie Diffuse Brennstoffemissionen



CO₂-Emissionen in Europa: Ausgewählte Länder (2006)



Quelle: Eigene Berechnungen nach EU-Kommission (2009) und EUROSTAT (2009). CO₂ der Stromerzeugung umfasst hier jeweils Emissionen aus öffentlicher Strom- u. Wärmeerzeugung

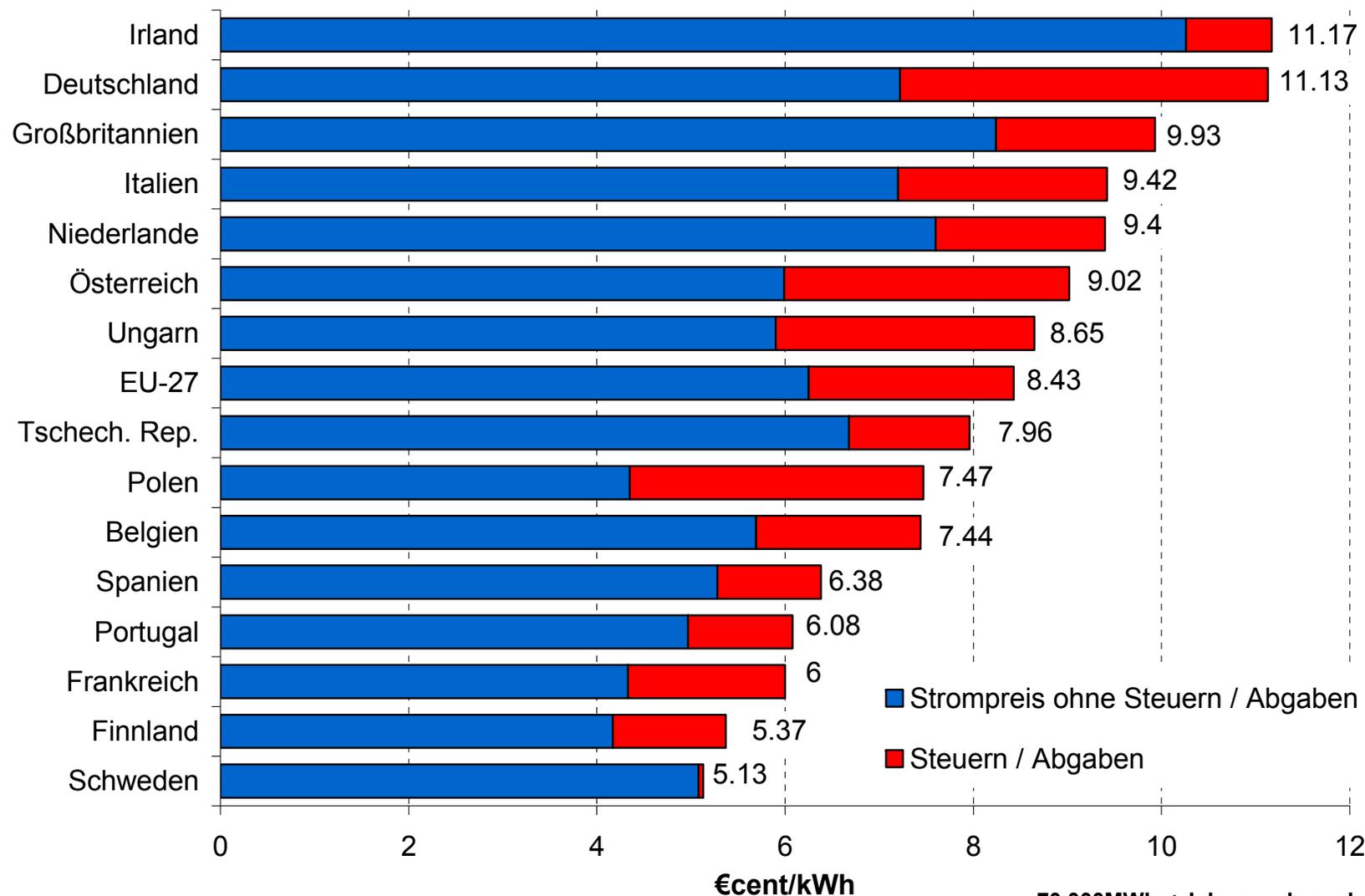


Energiesituation - Ausgangslage

- **Energieversorgung**
- **CO₂-Emissionen und Klimaschutz**
- **Energiepreise**



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



Quelle: Eurostat (2008), neue Erhebungsmethodik

70.000MWh < Jahresverbrauch < 150.000MWh



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?**



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.

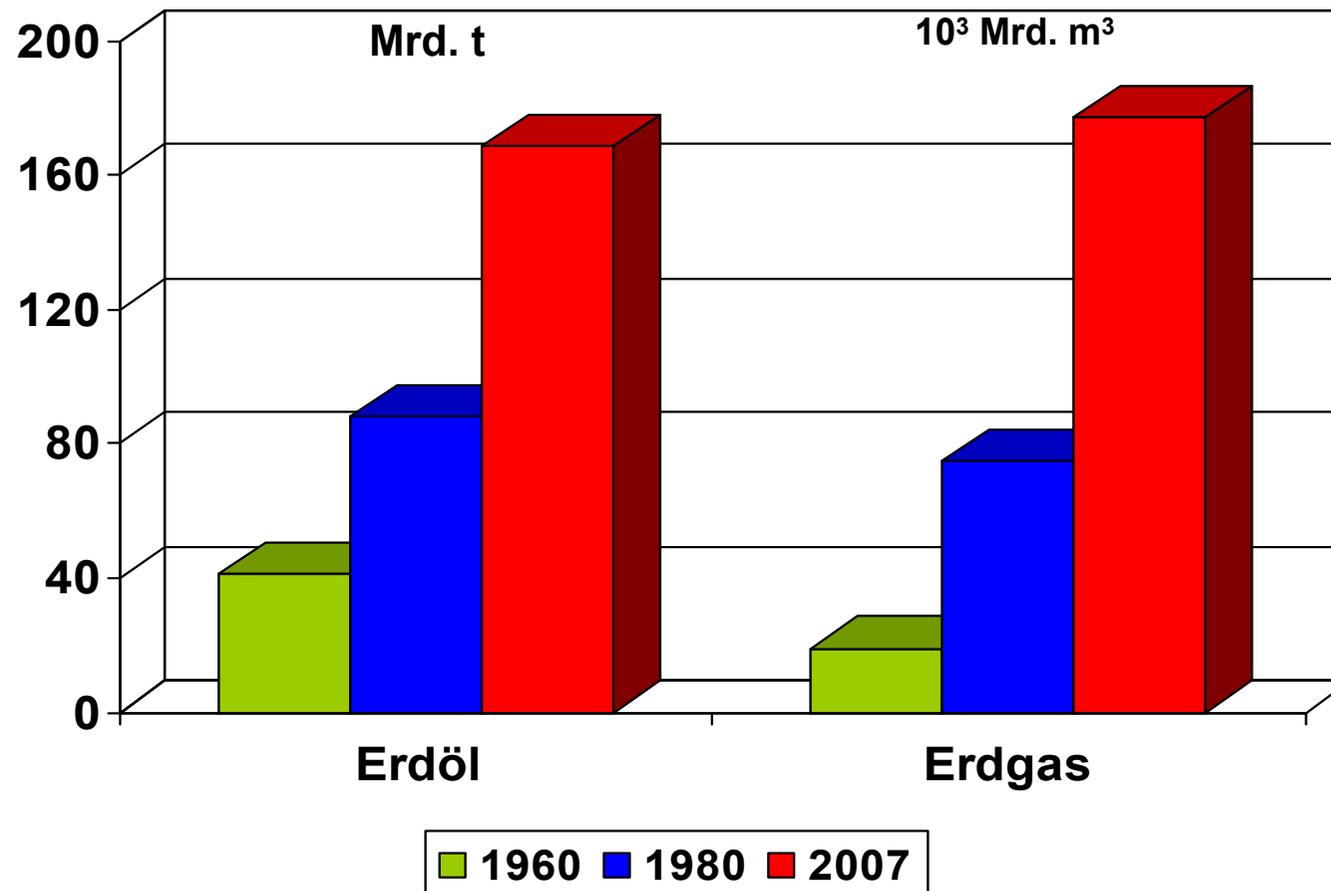


Nachhaltigkeit und die Nutzung vorratsbegrenzter Ressourcen

- 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

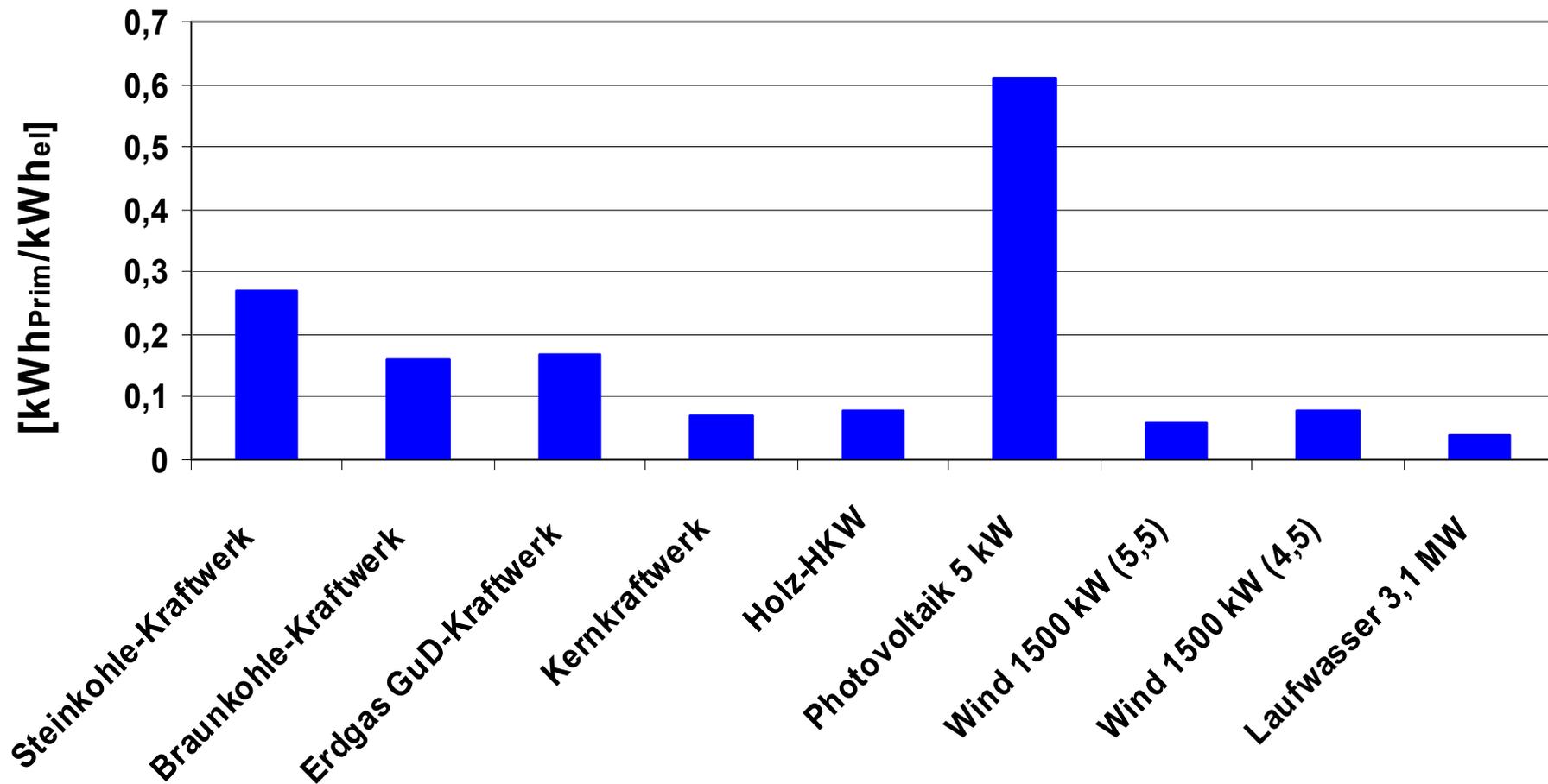
- das Potenzial für die Bereitstellung von Energiedienstleistungen für die nächste Generation größer wird
 - ➔ Ausweitung der wirtschaftlich nutzbaren Energie- und Rohstoffbasis
- die mit der Energienutzung verbundenen Stofffreisetzungen die Assimilationskapazität der Umwelt als Senke nicht überschreiten
- 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



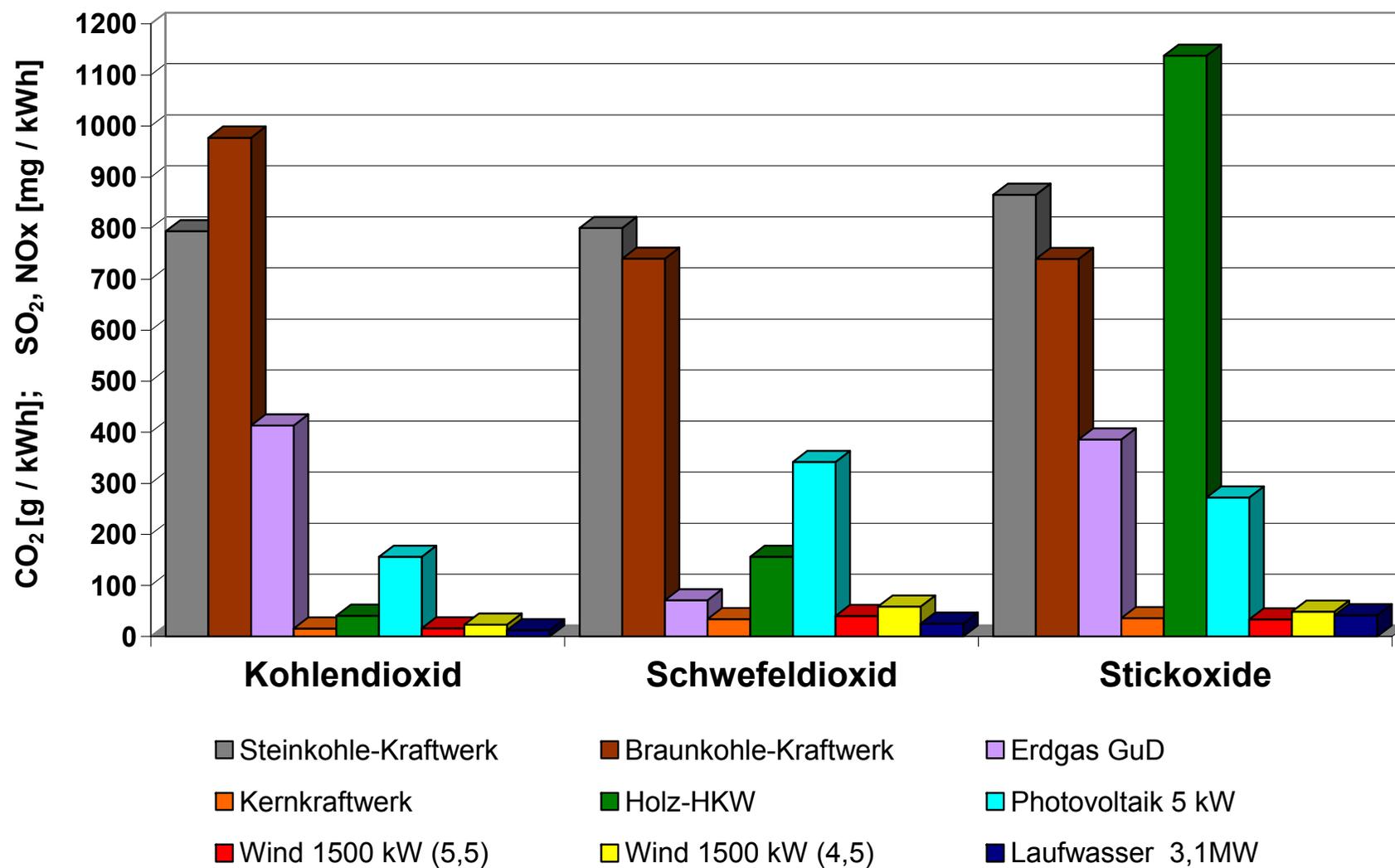
Gesamter Rohstoff und Materialaufwand

	Eisen [kg/GWh _{el}]	Kupfer [kg/GWh _{el}]	Bauxit [kg/GWh _{el}]
Steinkohle-Kraftwerk	1.700	8	30
Braunkohle-Kraftwerk	2.134	8	19
Erdgas GuD	1.239	1	2
Kernkraftwerk	457	6	27
Holz-HKW	934	4	18
Photovoltaik 5 kW	4.969	281	2.189
Wind 1500 kW (5,5)	3.066	52	35
Wind 1500 kW (4,5)	4.471	75	51
Laufwasser 3,1 MW	2.057	5	7

Quelle: IER 2005/07



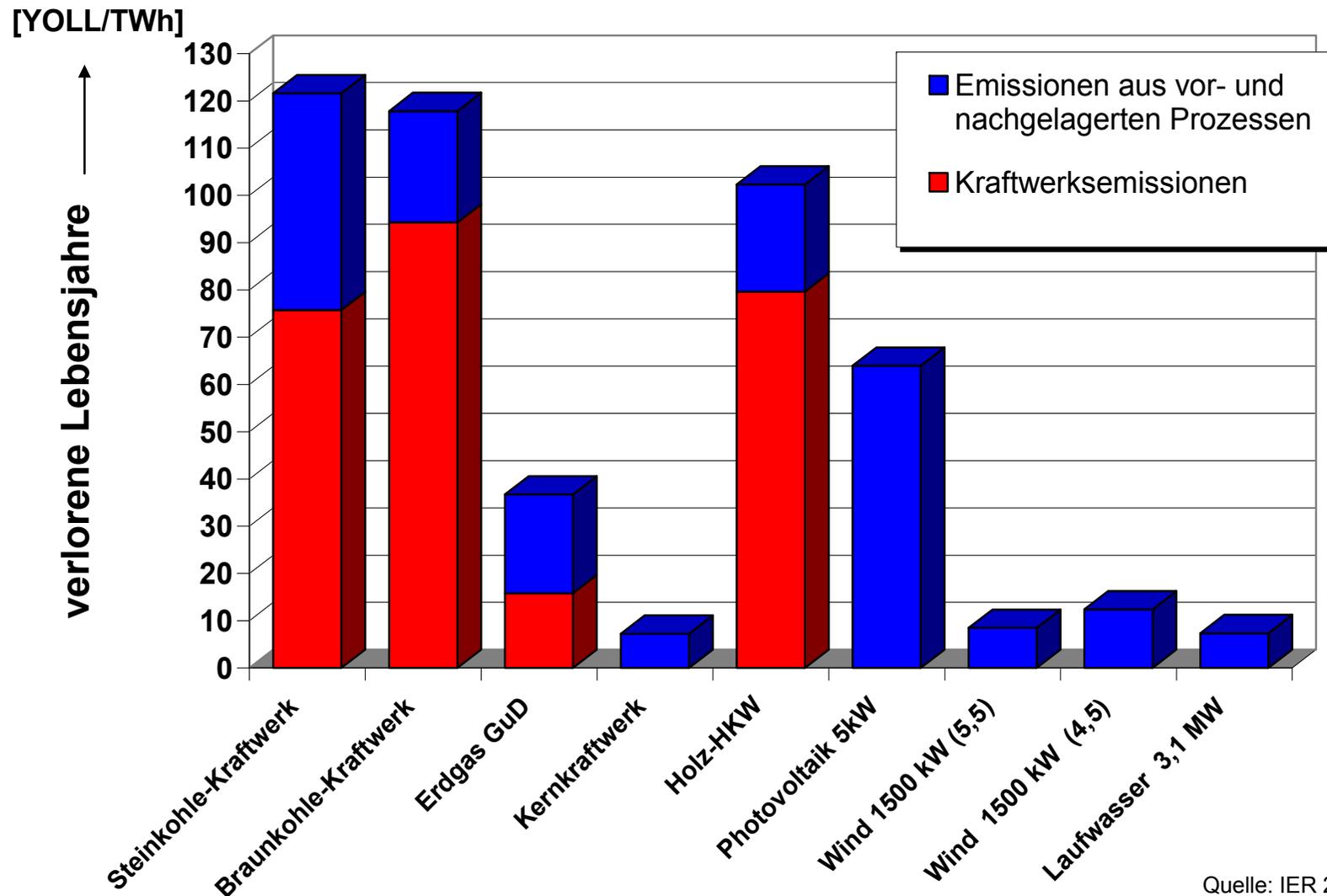
Kumulierte Emissionen



Quelle: IER 2005/07



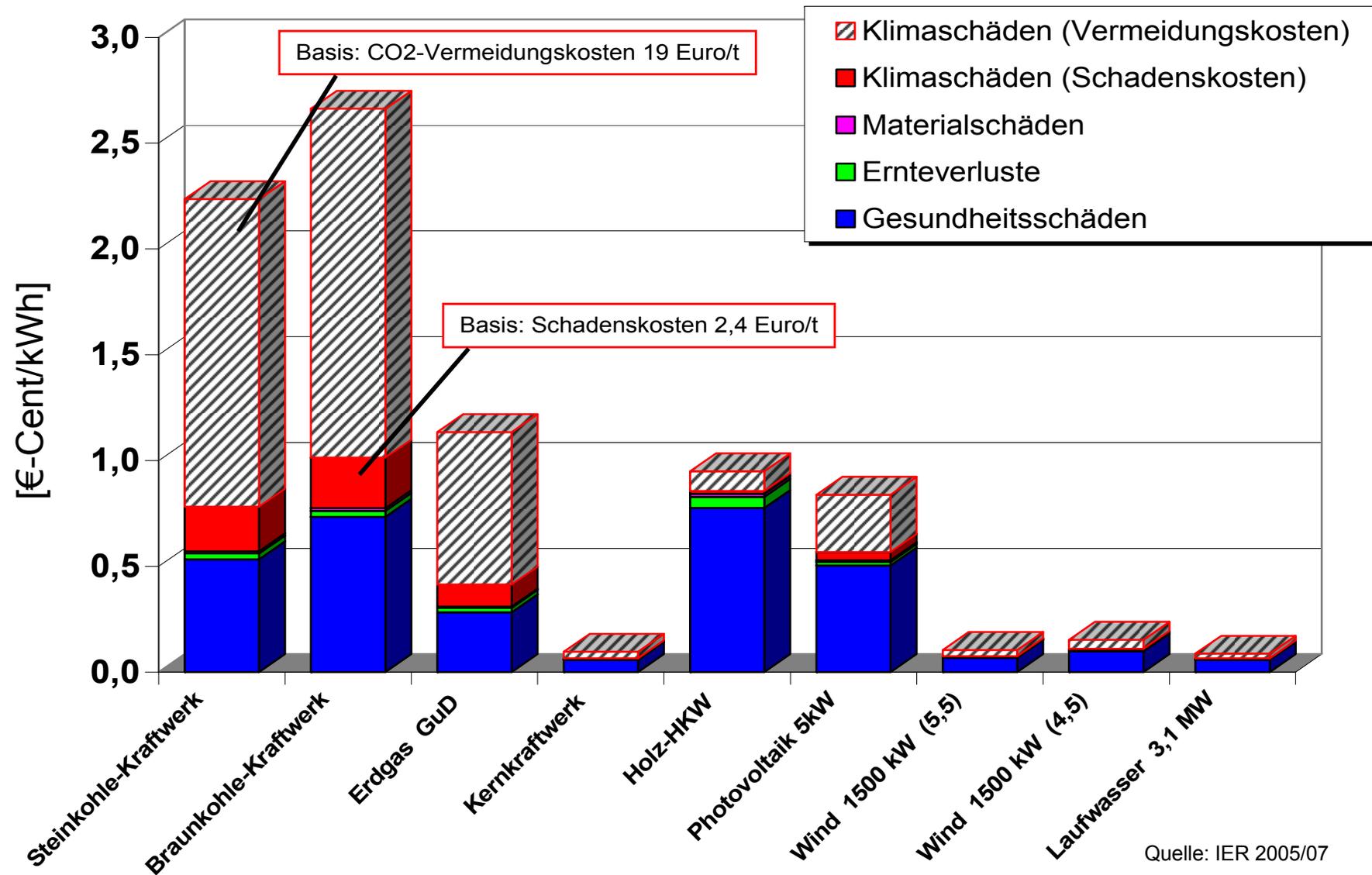
Gesundheitsrisiken



Quelle: IER 2005/07



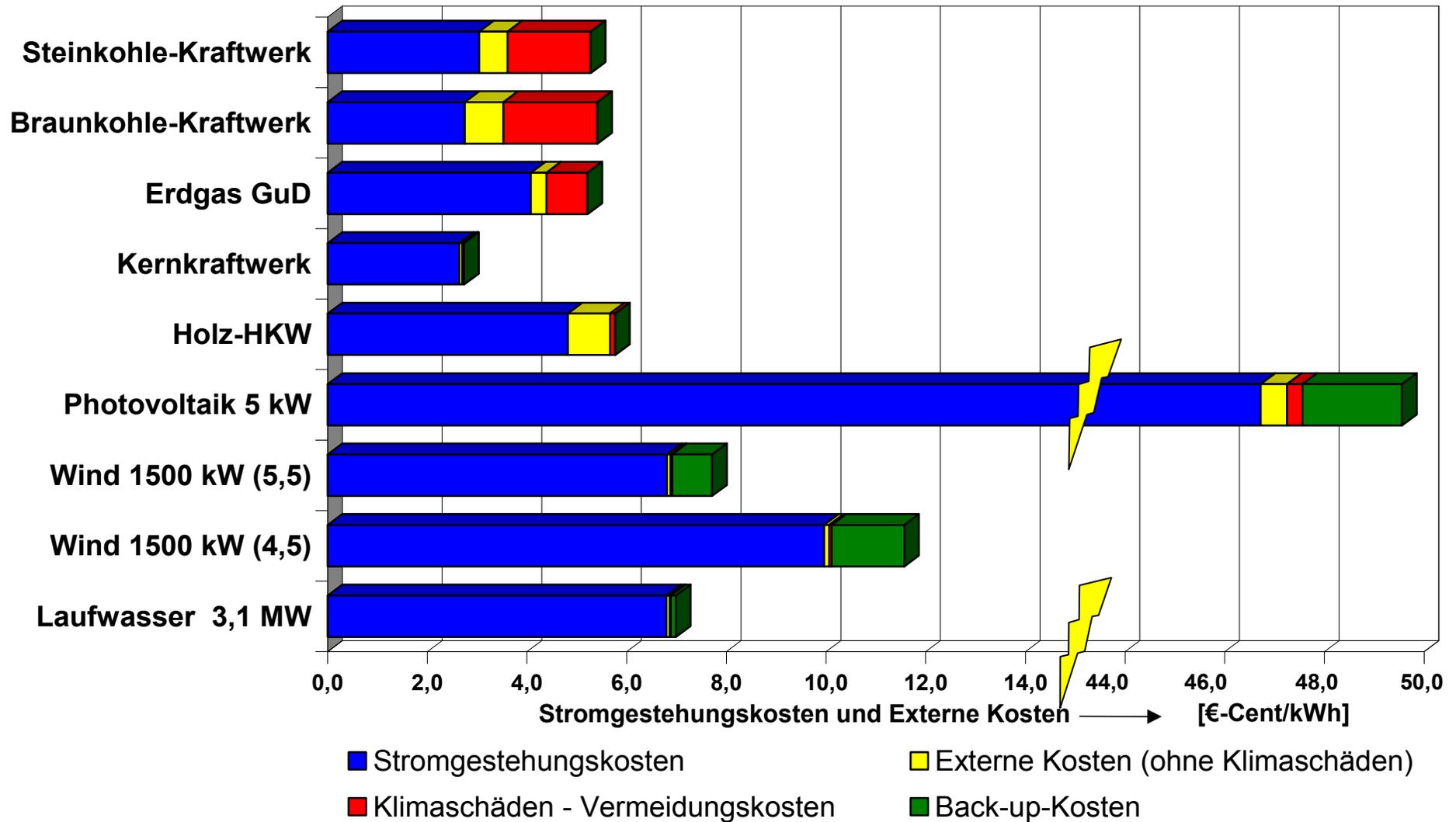
Externe Kosten



Quelle: IER 2005/07



Vollkosten der Stromerzeugung



Quelle: IER 2005/07

Fossile Kraftwerke: Technologische Weiterentwicklungen

- Wirkungsgradsteigerung: z.B. steinkohlebefeuerte Kraftwerke

Ø EU heute	38%	ΔCO_2
heute verfügbare Technik	45%	-15%
Ziel 2020	>50%	-24%

- CCS

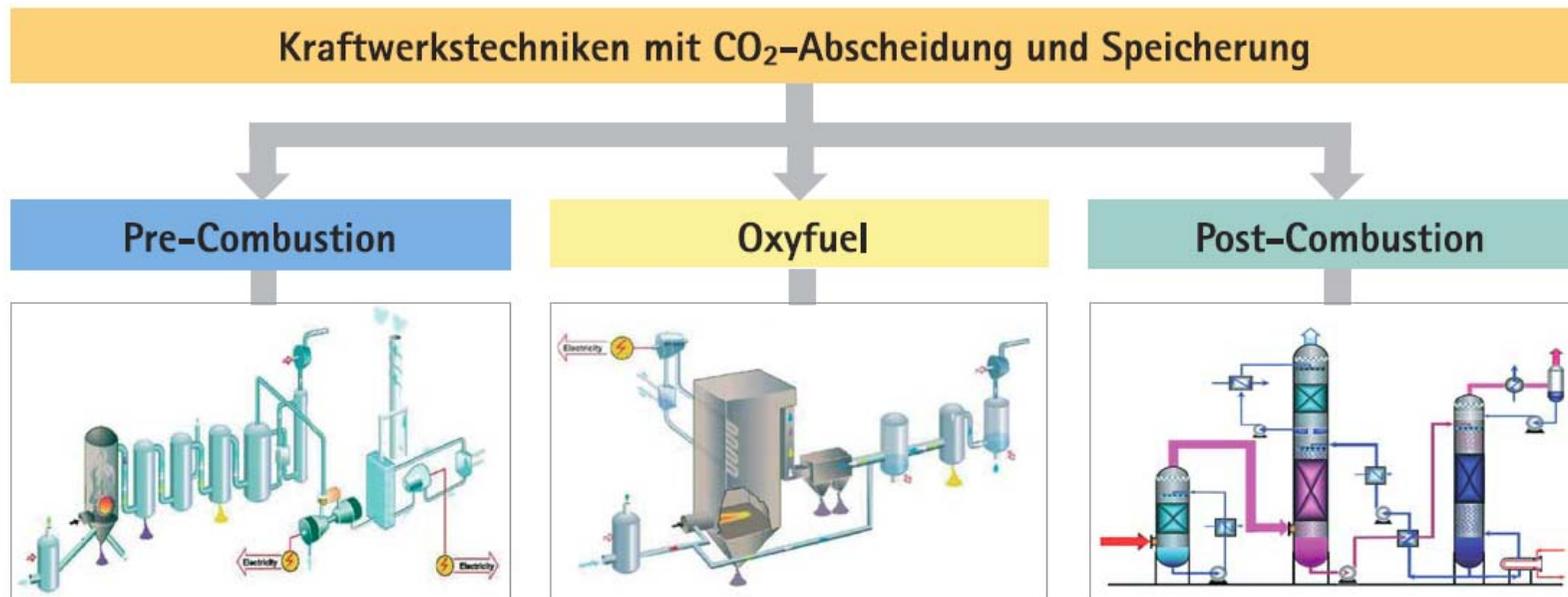


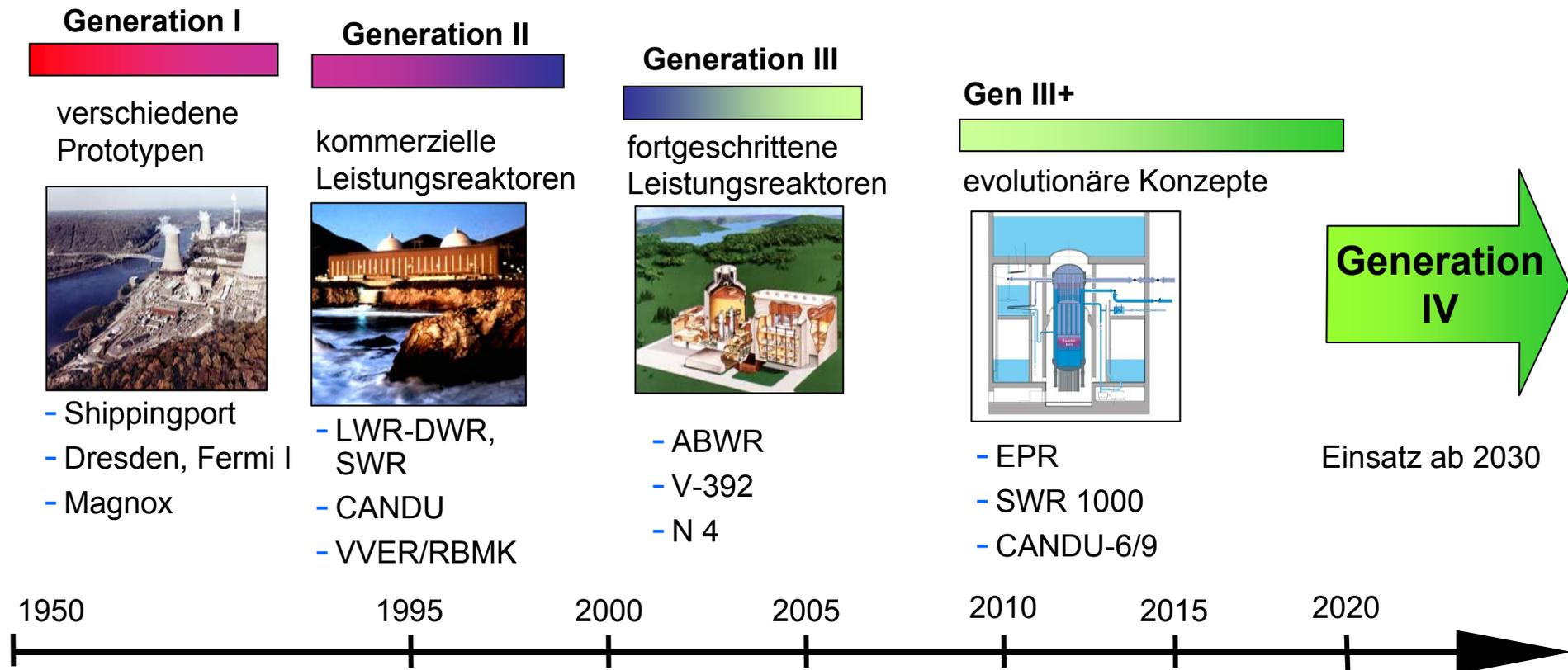
Bild zitiert nach
VGB (2006)

Wirkungsgradverlust: 5 bis 14 %-Punkte
CO₂-Vermeidungskosten: 35 bis 50 €/t CO₂



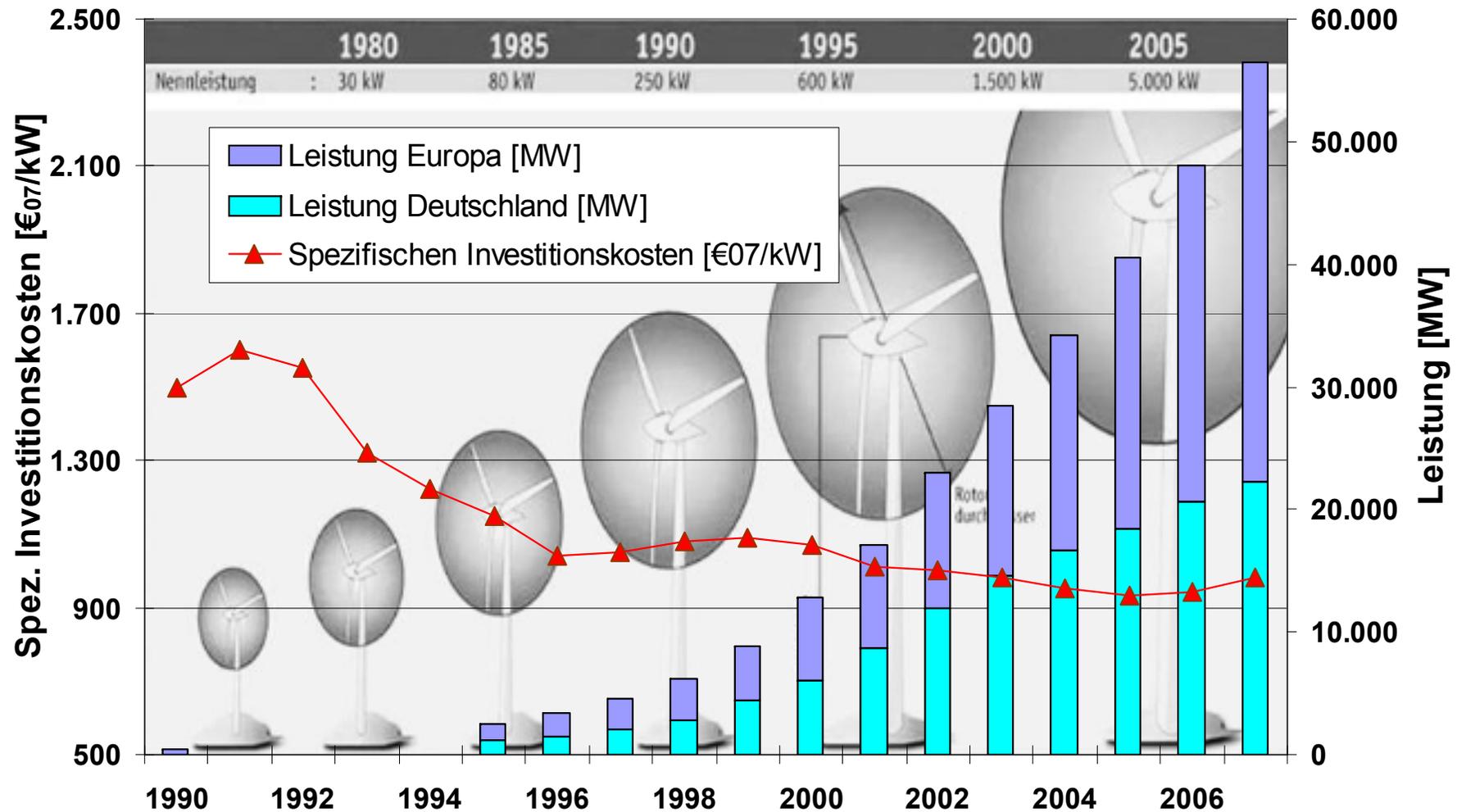
Weiterentwicklungen bei der Kernenergie

- Verbesserte Sicherheit („katastrophenfreie“ KKW)
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- Höhere Proliferationsresistenz
- Bessere Uranausnutzung
- Signifikante Reduktion der Langzeit-Radiotoxizität der Abfälle





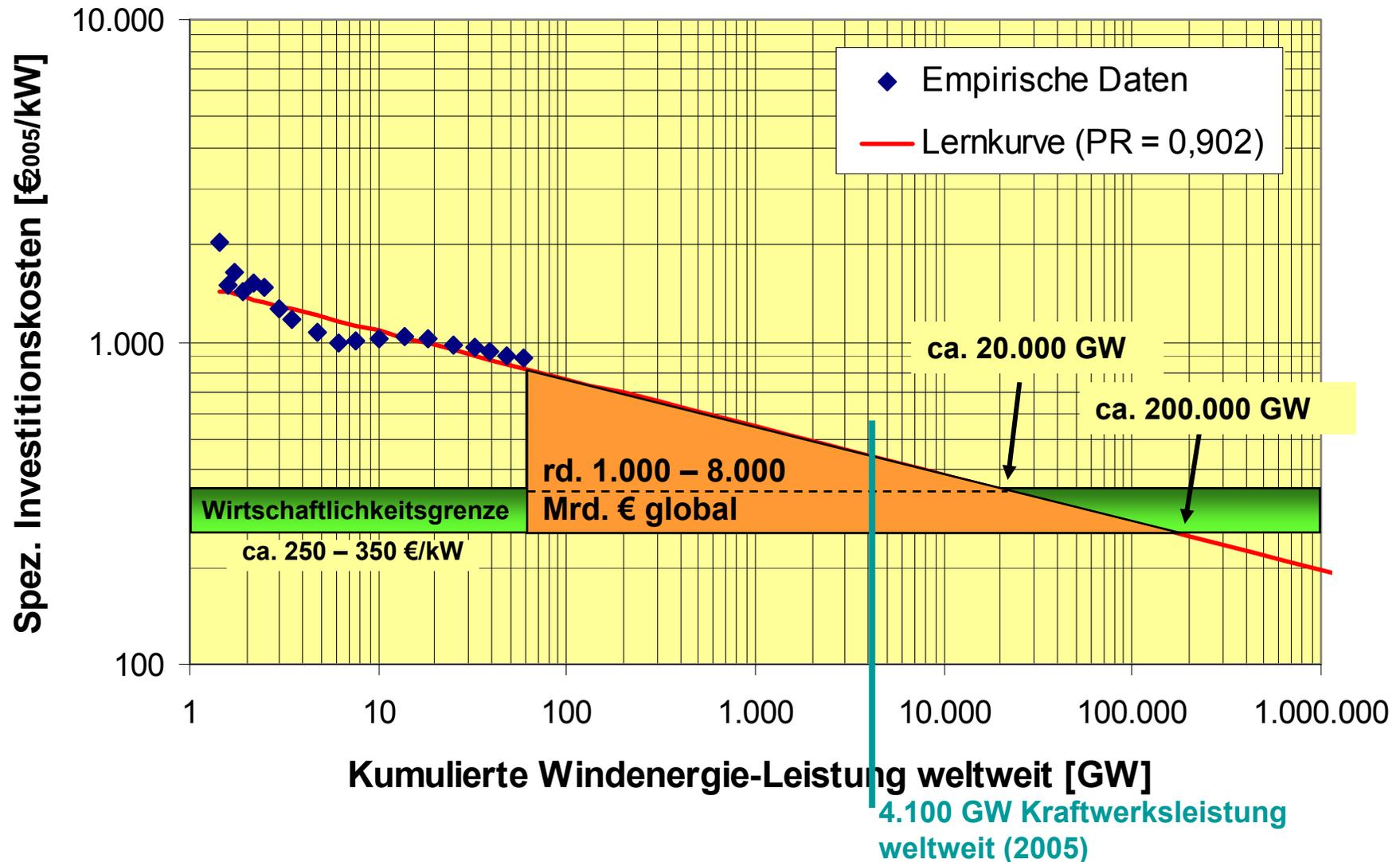
Windenergie: Entwicklung



Quelle: Bundesverband WindEnergie e.V.



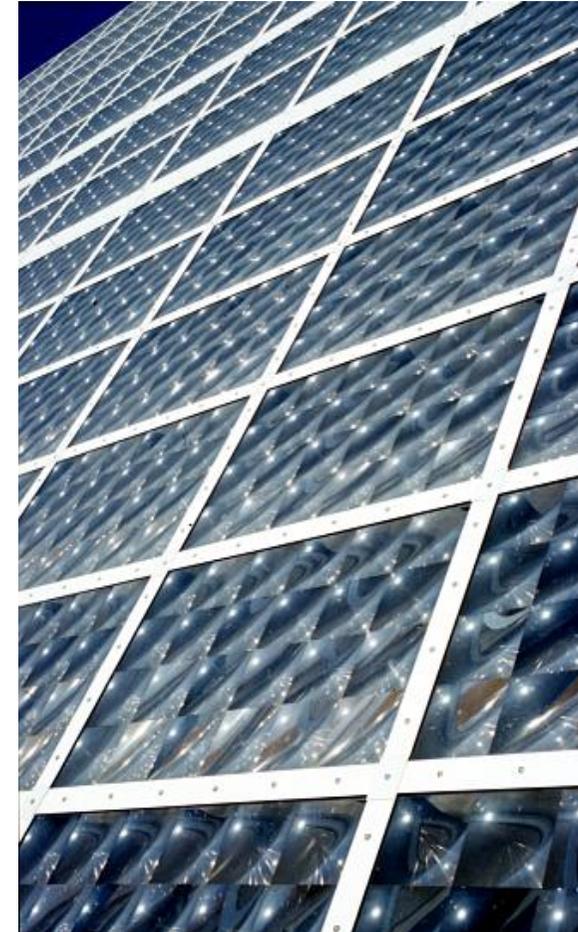
Lernkurve Windenergie





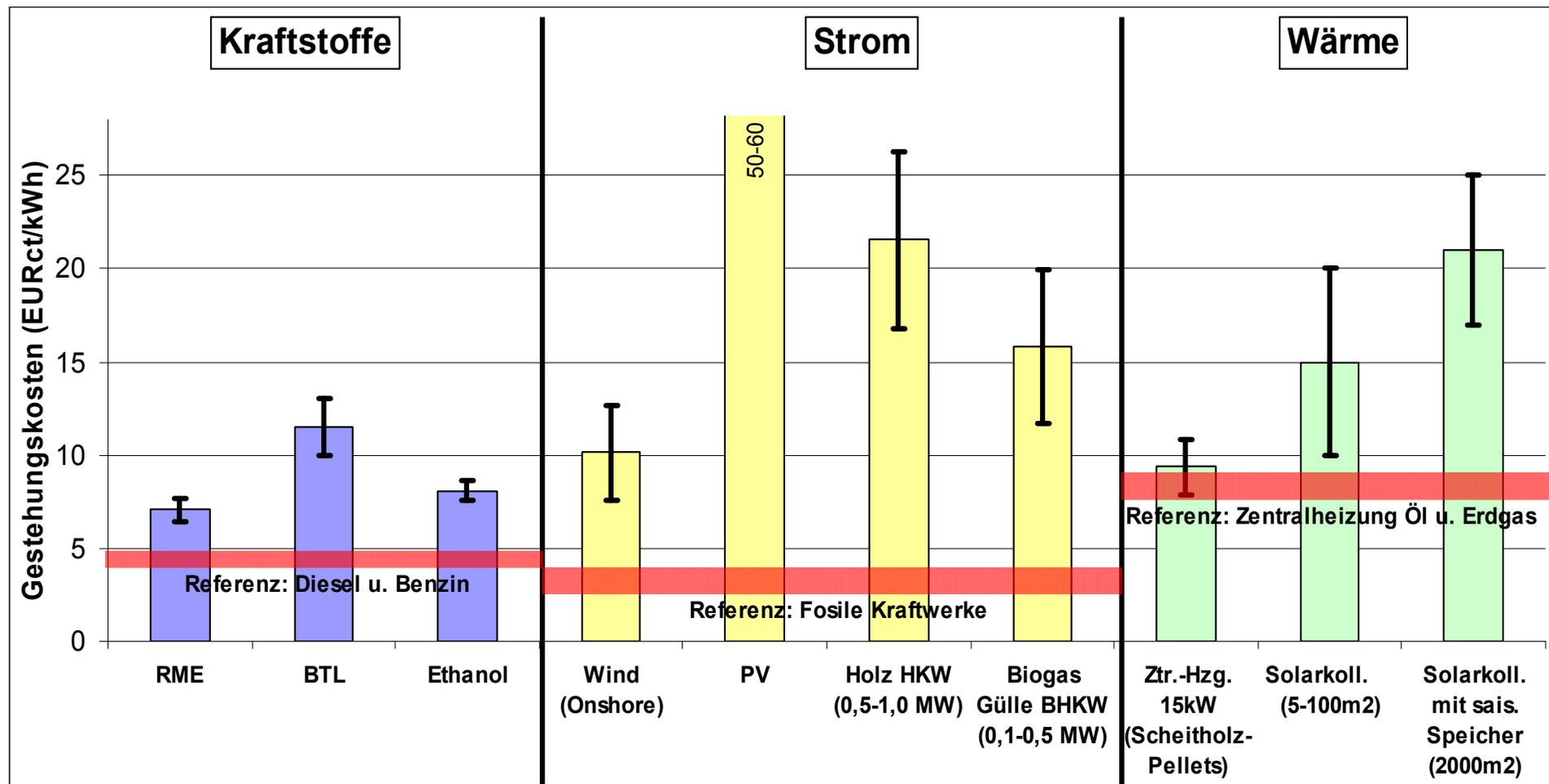
Photovoltaik: Technologische Entwicklung

- ◆ Mono- und multikristalline Si-Zellen heute marktbeherrschende Zelltypen
 - ◆ Modulwirkungsgrade: 13 – 16 %
 - ◆ Spez. Investitionskosten:
 - 4.000 €/kW_p (Freiflächenanlagen) –
 - 5.000 €/kW_p (Dachanlagen)
 - ◆ Vollastbenutzungsstunden: 800 – 900 h/a
- ◆ Kostenreduktion durch
 - ◆ Verbesserte Herstellungsverfahren
 - ◆ Dünnschichtsolarzellen aus
 - ⇒ dünnem kristallinen Silizium
 - ⇒ Cadmiumtellurid CdTe
 - ⇒ Kupfer-Indium-Diselenid CIS





Gestehungskosten von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien





➤ **Perspektiven der Energieversorgung in Europa**



Charakterisierung der Szenarien

Basisszenario (BAS)

- Business as usual
- keine verschärfte Klimaschutzpolitik
- Fortsetzung der derzeitigen Kernenergiepolitik – Kernenergieausstieg in Deutschland, Belgien und Schweden

EU-Politik-Szenario (EUP)

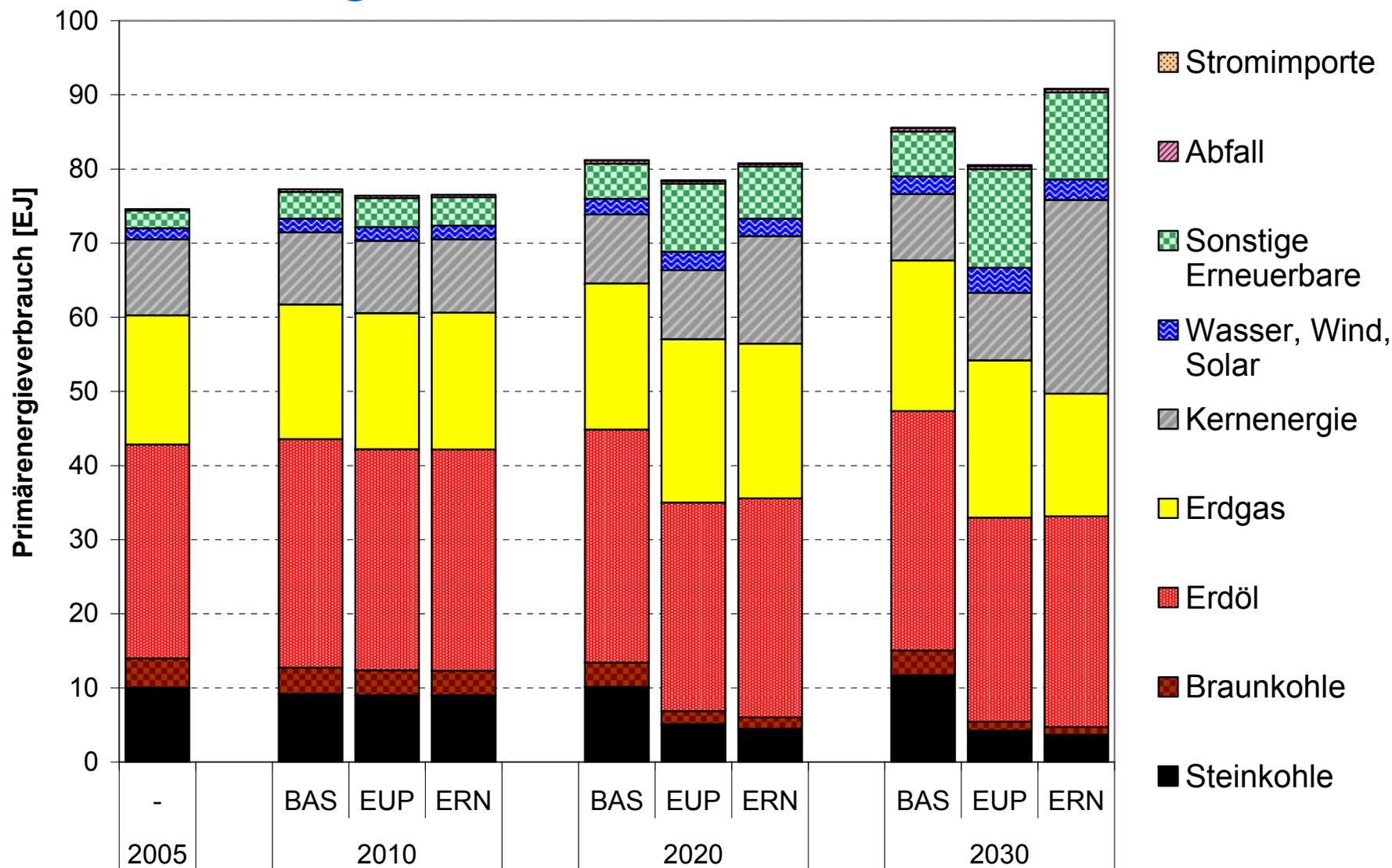
- Reduktion der CO₂-Emissionen: -20% bis 2020; -70% bis 2050
- Ausweitung der Nutzung Erneuerbarer Energien: 20% in 2020
- Kernenergie wie im Basisszenario

Effiziente Ressourcennutzung (ERN)

- Reduktion der CO₂-Emissionen: -20% bis 2020; -70% bis 2050
- kosten- und ressourceneffiziente Erreichung der Reduktionsziele

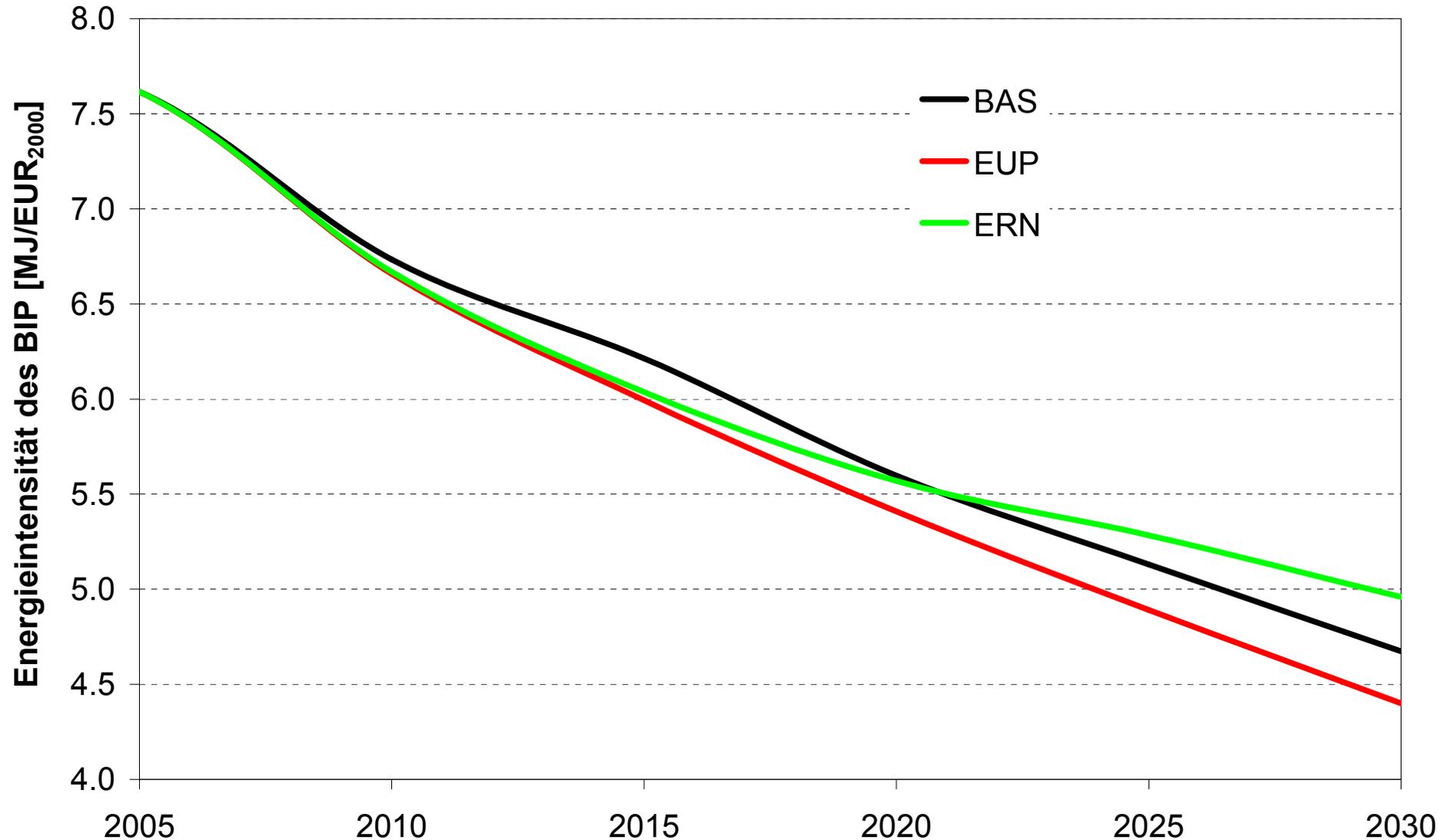


Primärenergieverbrauch EU-27



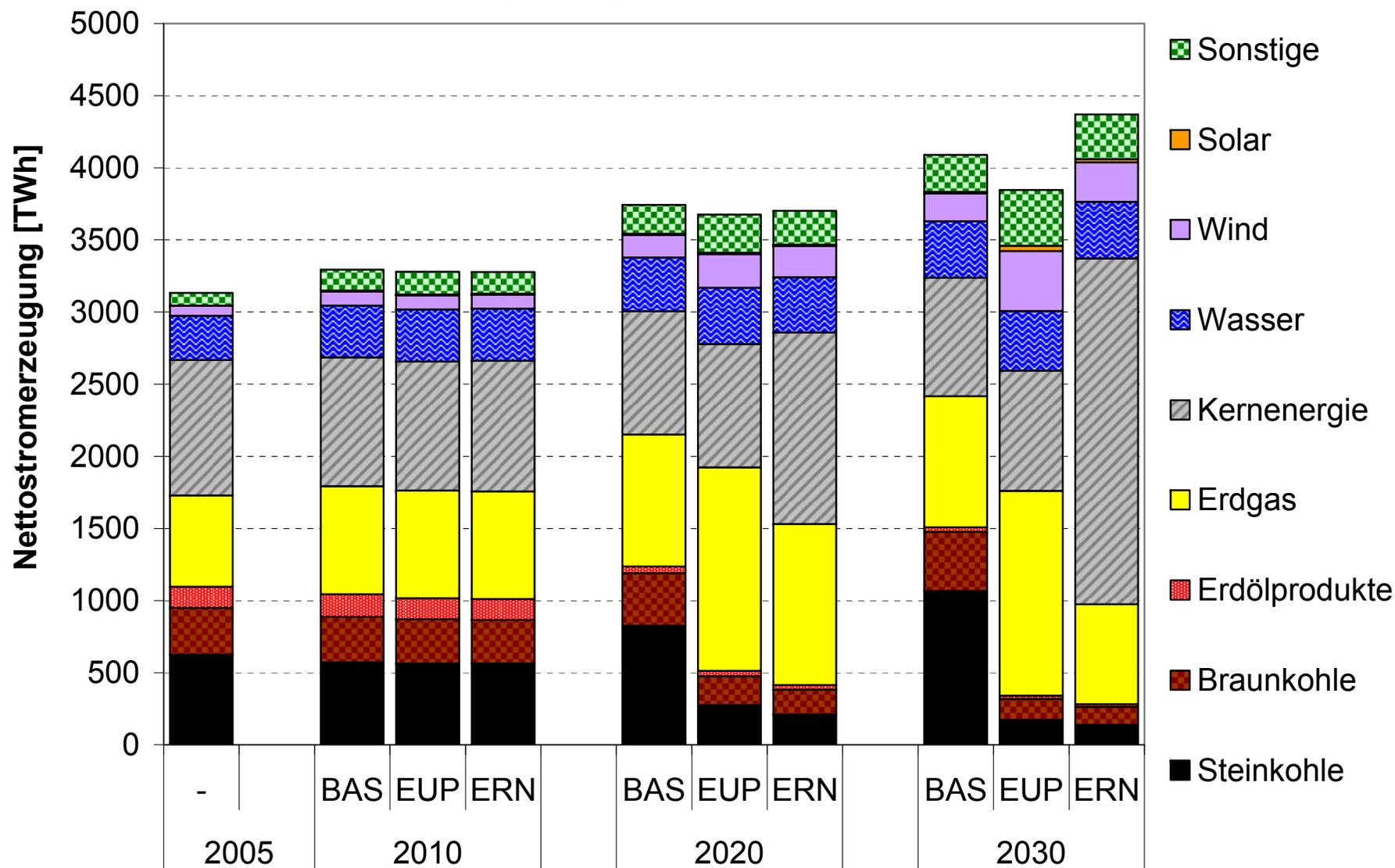


Energieintensität des BIP EU-27



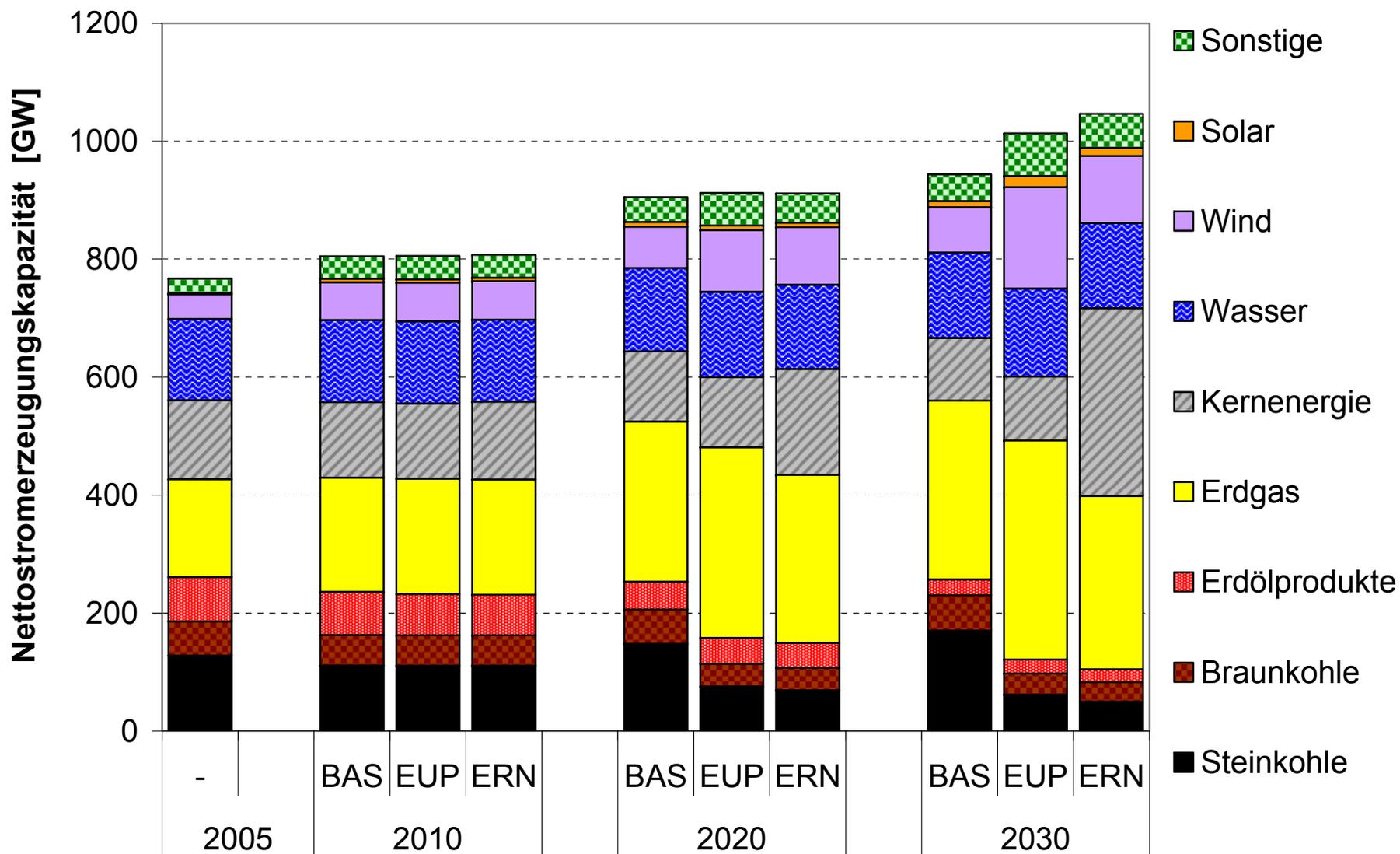


Nettostromerzeugung EU-27



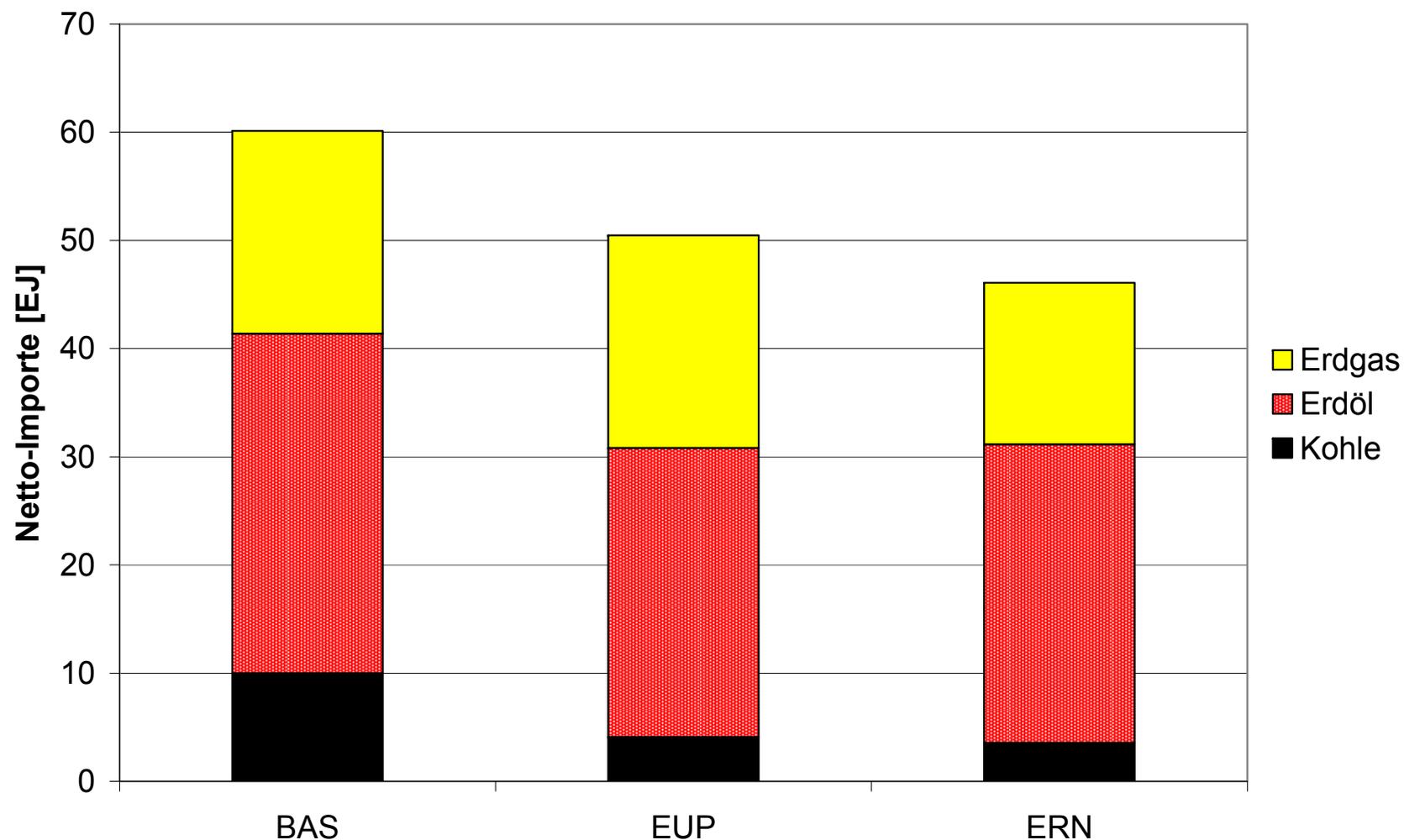


Stromerzeugungskapazität EU-27





Import fossiler Energieträger im Jahr 2030





Wirtschaftliche Implikationen

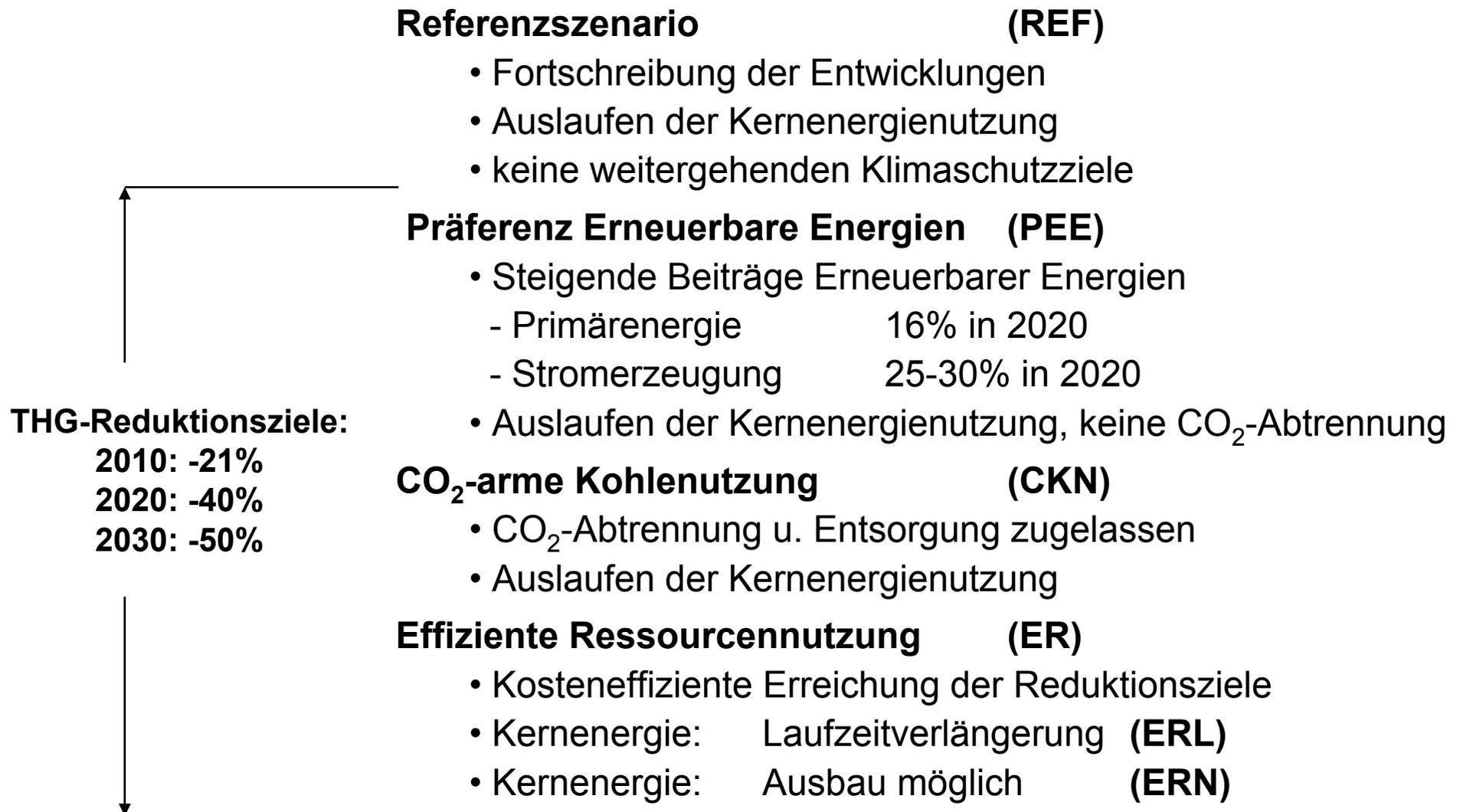
Szenario	Im Vergleich zu BAS		2030	
	Kumulierte Mehrkosten bis 2030 [Mrd. EUR ₂₀₀₀]	Mehrkosten in 2030 [Mrd. EUR ₂₀₀₀]	Ø Strompreis [EUR ₂₀₀₀ /MWh]	Ø CO ₂ – Vermeidungskosten [EUR ₂₀₀₀ /t CO ₂]
EU – Politik (EUP)	705	143	61	70
Effiziente Ressourcennutzung (ERN)	270	79	43	39



➤ **Entwicklungsmöglichkeiten der
Energieversorgung und politische
Rahmenbedingungen in Deutschland**

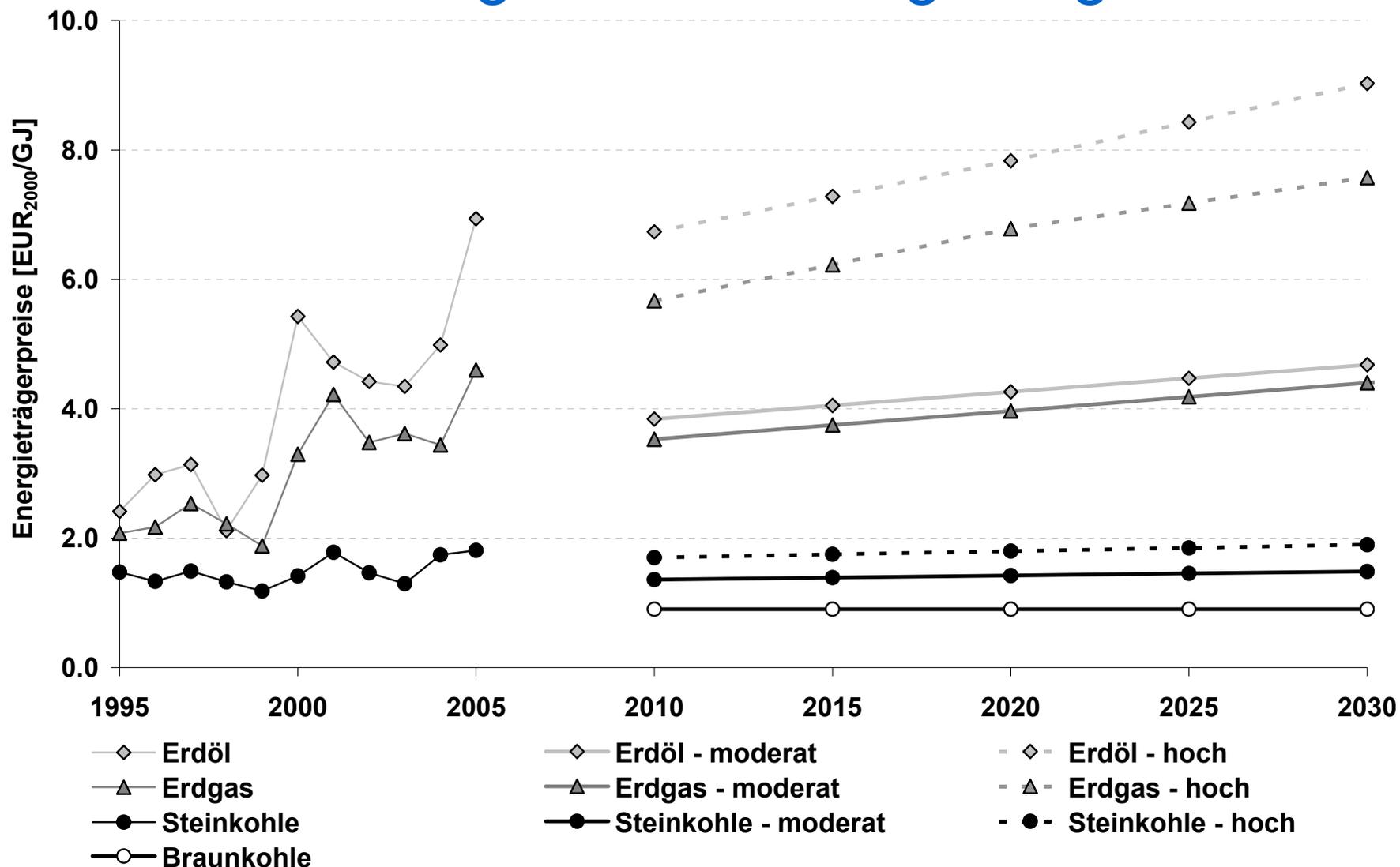


Charakterisierung der Szenarien



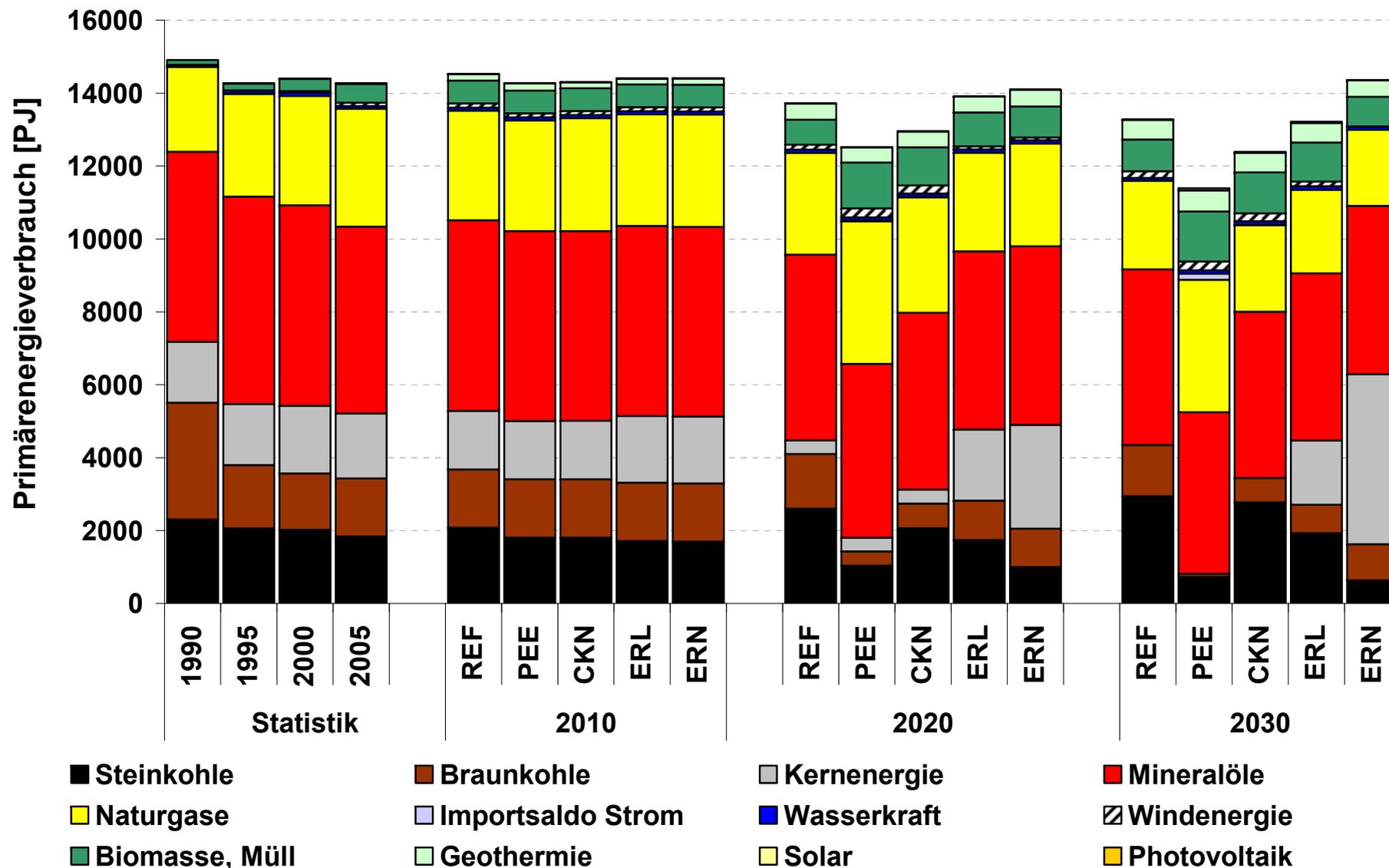


Preisentwicklung fossiler Energieträger



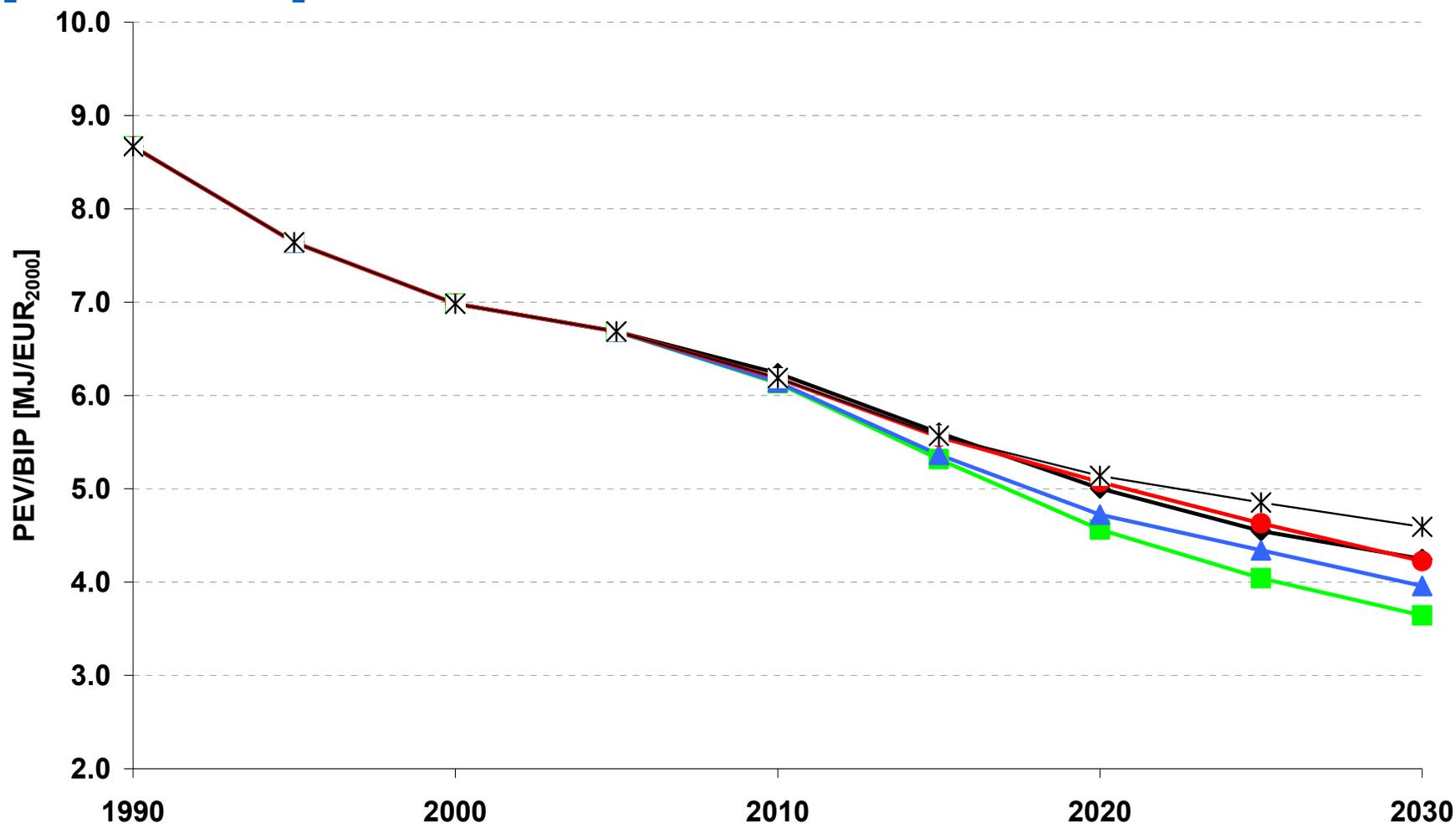


Primärenergieverbrauch nach Energieträgern





Energieintensität des Bruttoinlandsproduktes [MJ/€2000]



Anm.: PEV nach Wirkungsgradmethode

—◆— REF

—■— PEE

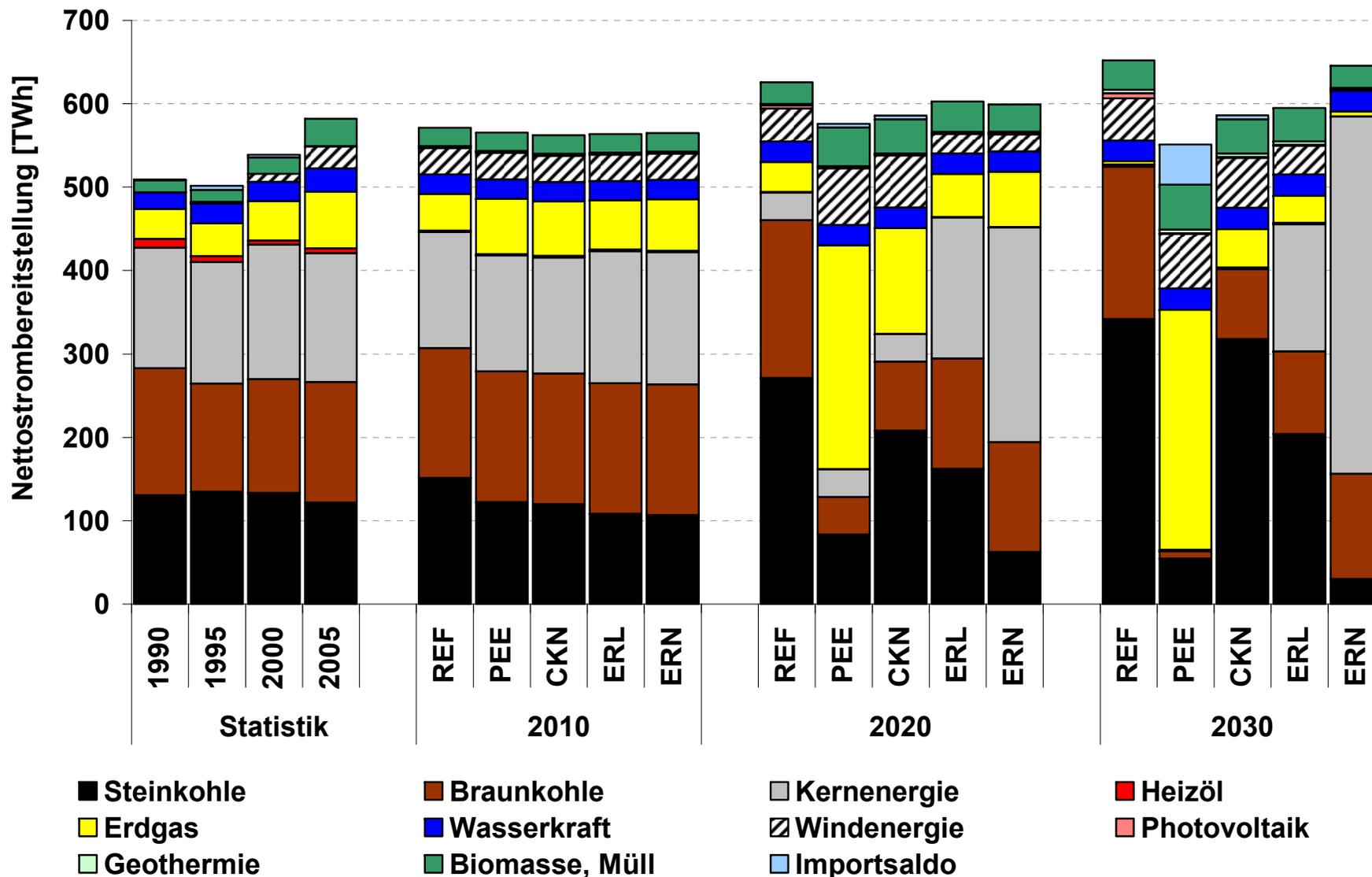
—▲— CKN

—●— ERL

—✕— ERN

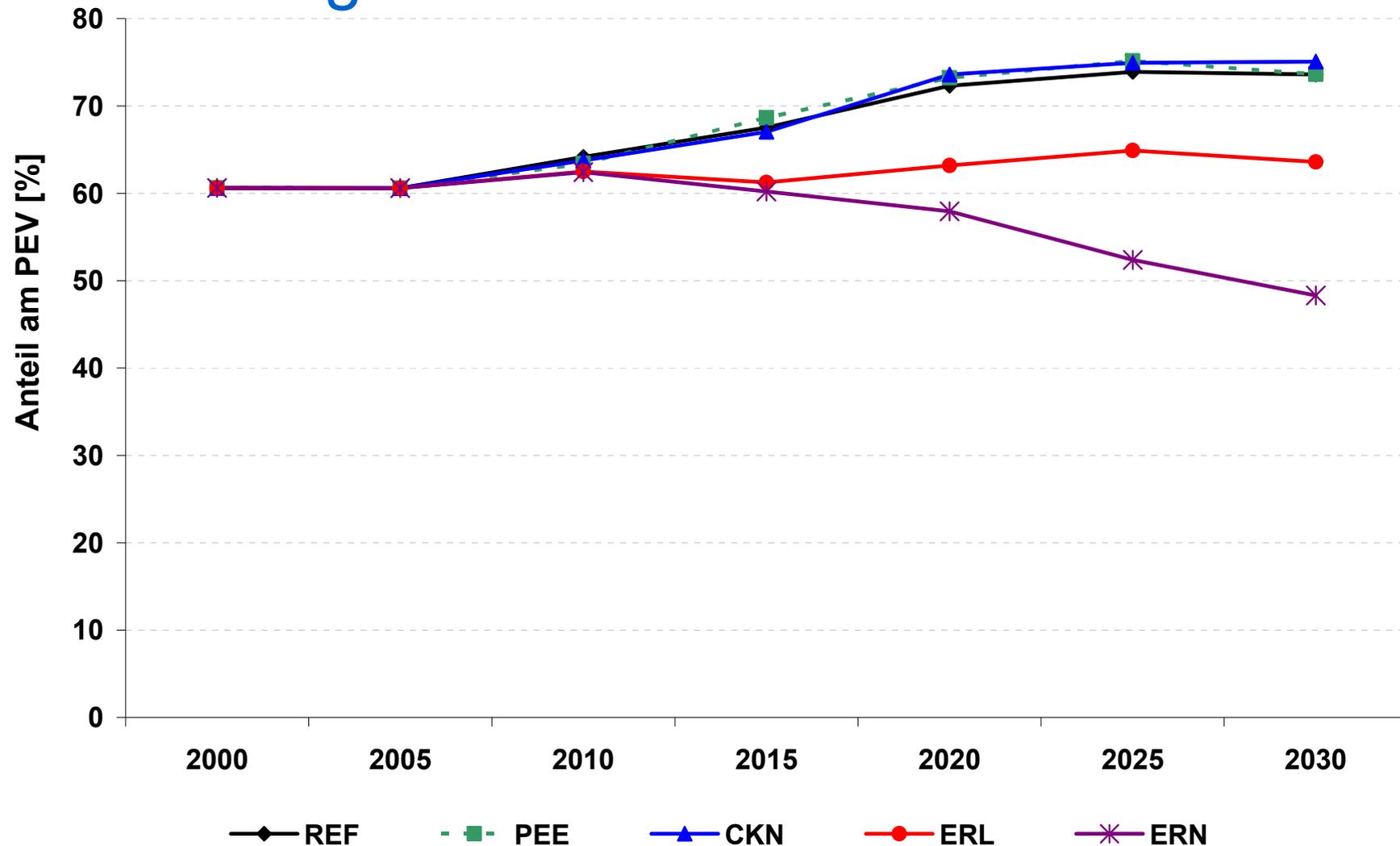


Nettostrombereitstellung nach Energieträgern





Anteil der Importe fossiler Energieträger am Primärenergieverbrauch in Prozent





Kumulierte Treibhausgasminderungskosten und mittlere Stromgestehungskosten der verschiedenen Szenarien

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

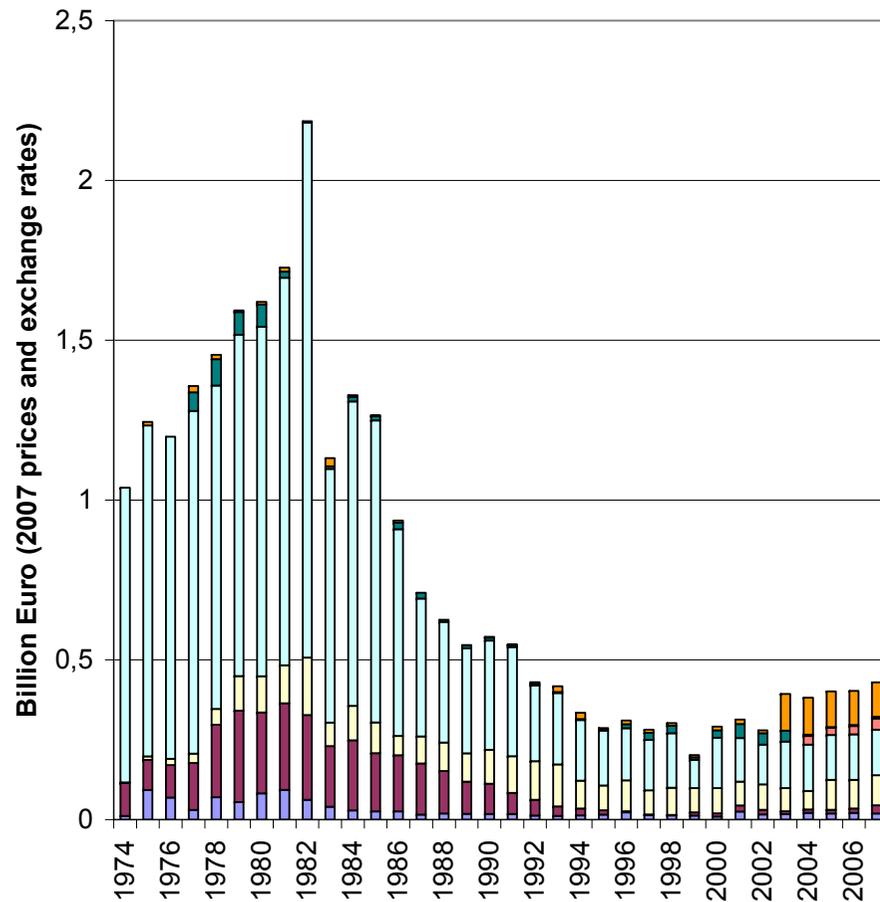


➤ **Schlussbemerkung**

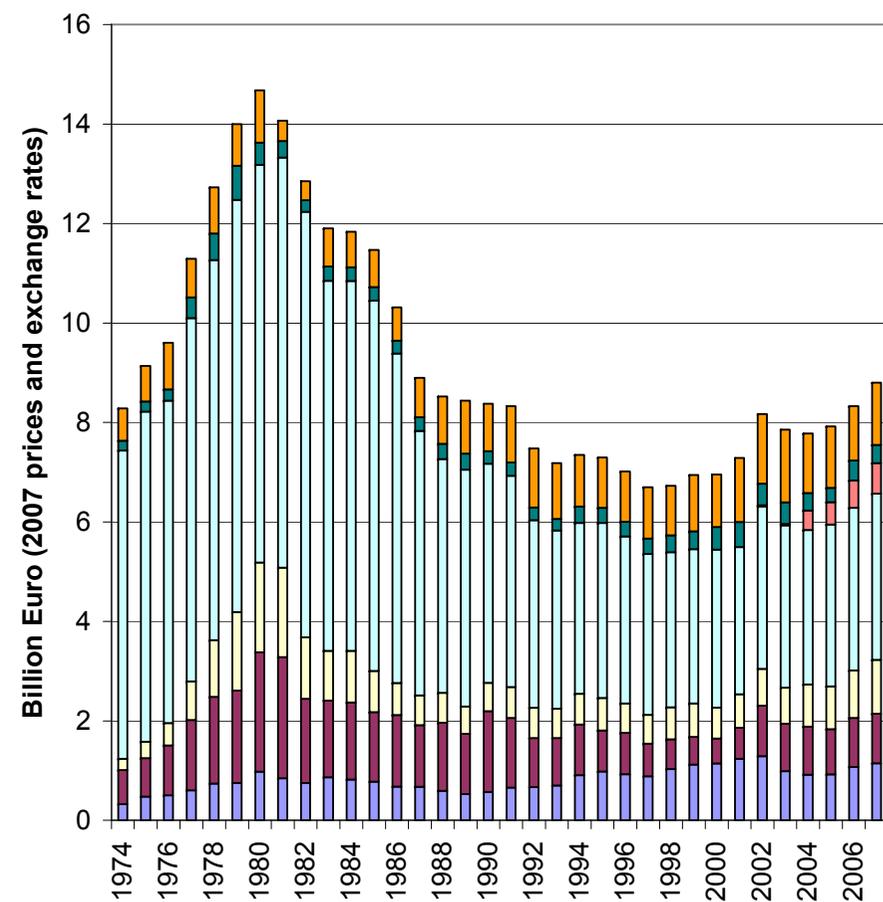


Staatliche Ausgaben für die Energieforschung

Deutschland



IEA-Länder





**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**