



Zukunft der Energie – Energie der Zukunft

Systemische Ansätze für eine gesicherte Energieversorgung

Prof. Dr.-Ing. A. Voß

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Universität Stuttgart

Berliner Wissenschaftsgespräche

Energieforschung

12.-13. März 2009, Berlin



Was können „Energiesystemanalysen“ zur

- Ableitung tragfähiger Strategien für die Ausgestaltung der zukünftigen Energieversorgung
- Einordnung der Rolle und Bedeutung von Energietechniken und Energieträgern
- Fundierung energiepolitischer Konzepte, Maßnahmen und Rahmensetzungen

leisten? Was sind ihre Grenzen?

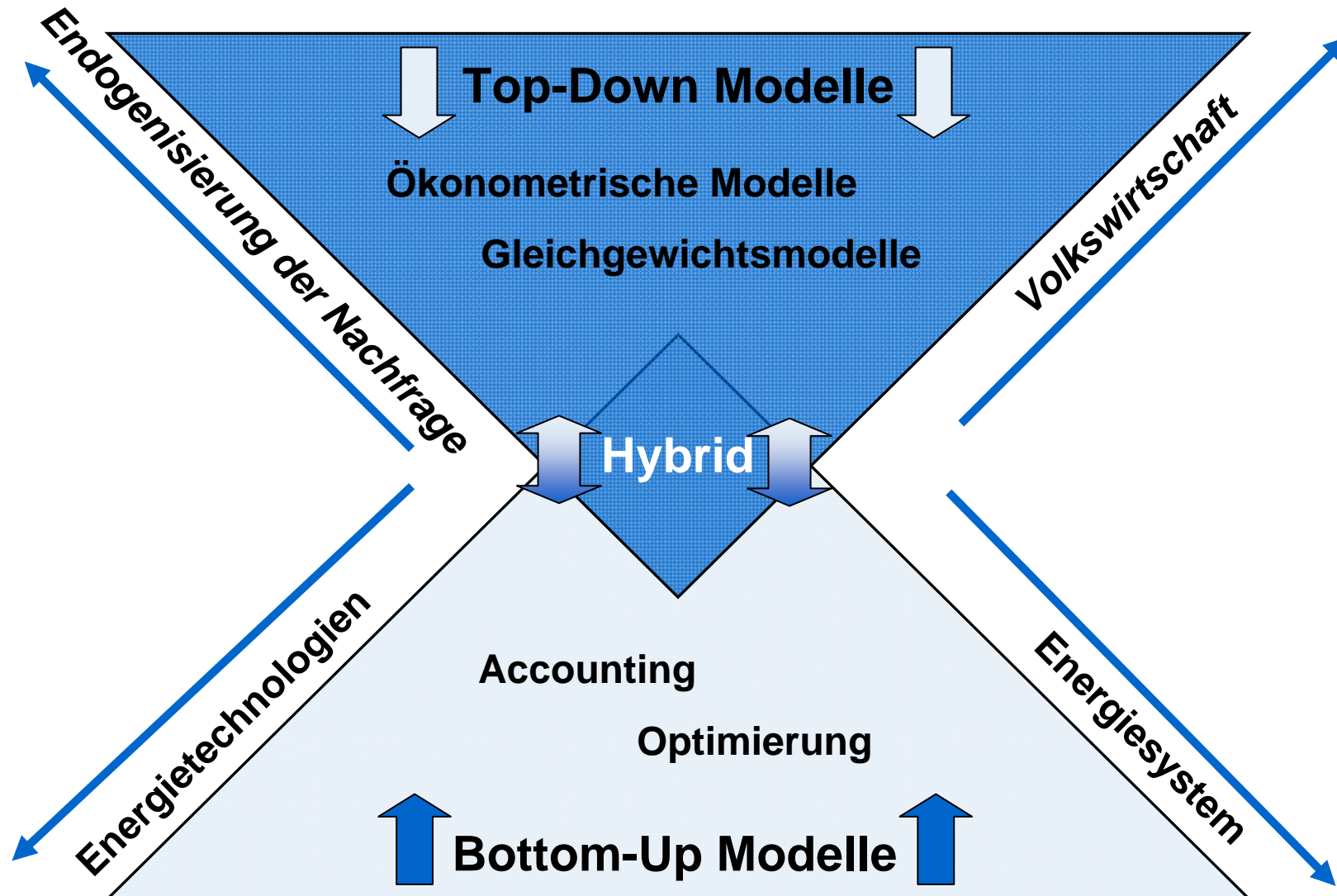


Energieversorgung ist heute und zukünftig

- nicht eine einzelne „Energietechnik“
- sondern ein komplexes „System“ miteinander vernetzter Energietechniken zur Gewinnung und Umwandlung, zum Transport und zur Verteilung, zur Speicherung und zur Nutzung von Energieträgern, um Energiedienstleistungen im gewünschten Umfang an den jeweiligen Orten bereitzustellen
- Anforderungen
 - i. technisch zuverlässig und versorgungssicher
 - ii. wirtschaftlich
 - iii. umwelt- und klimaverträglich
 - iv. ressourcenschonend
 - v. nachhaltig
 - vi. ...



Kategorien von Energiemodellen



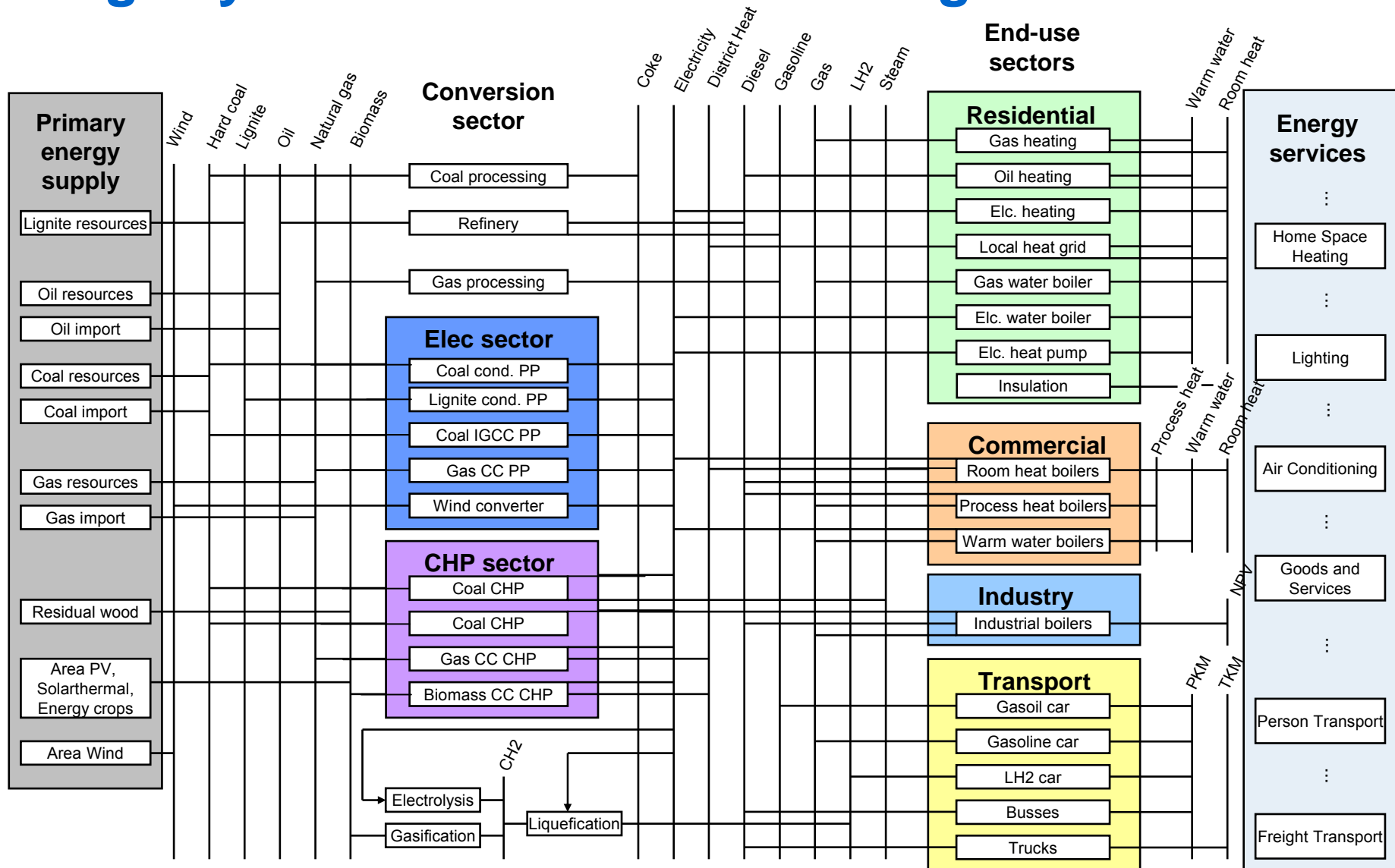


Bottom-Up Modelle: Wesentliche Merkmale

- „Ingenieursansatz“
- Prozess- bzw. technologieorientierte Modellierung
- Energiesystemperspektive: Gewinnung, Umwandlung, Transport, Speicherung, Energienutzung, Bereitstellung von Energiedienstleistungen (Energy Services)
- Produktions- und Investitionsentscheidungen werden
 - (1) exogen vorgegeben
 - **Accounting Framework** („Energiesystemischer Taschenrechner“)
 - (2) im Rahmen einer systemübergreifenden Optimierung determiniert (z.B. Minimierung der Gesamtsystemkosten)
 - **Energiesystemmodelle** (mit interner Ressourcenallokation)

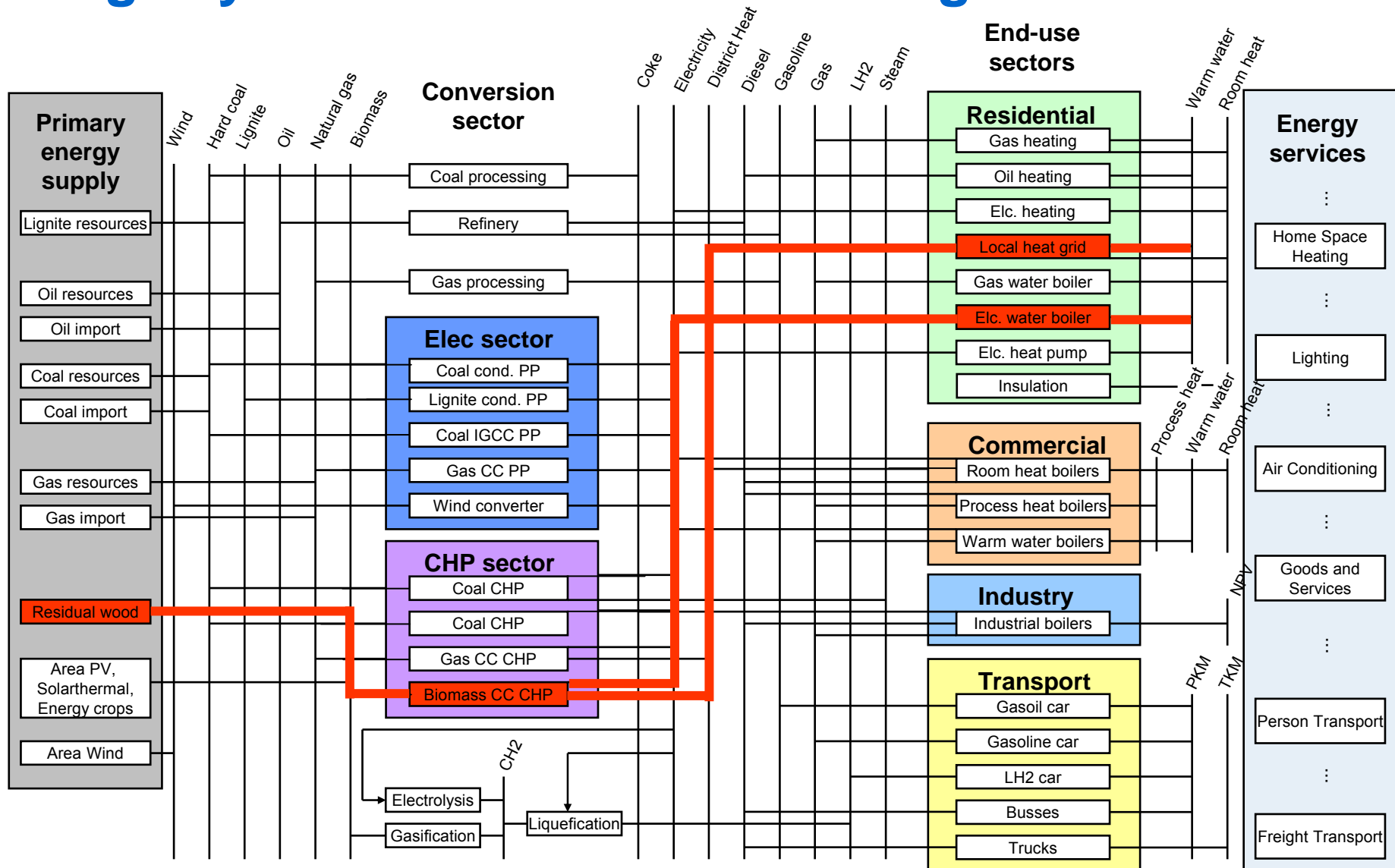


Energiesystem: Netzwerkdarstellung



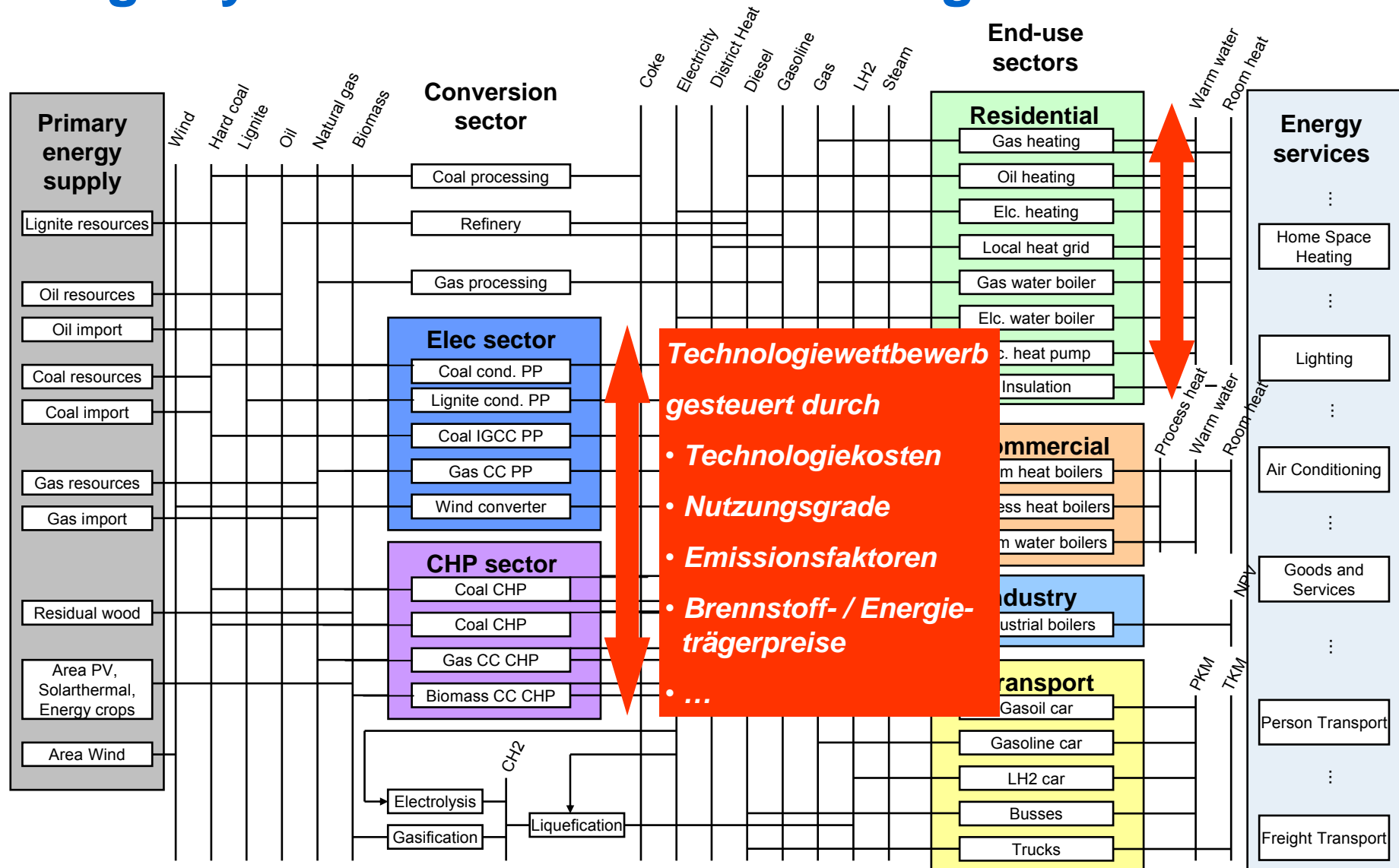


Energiesystem: Netzwerkdarstellung





Energiesystem: Netzwerkdarstellung



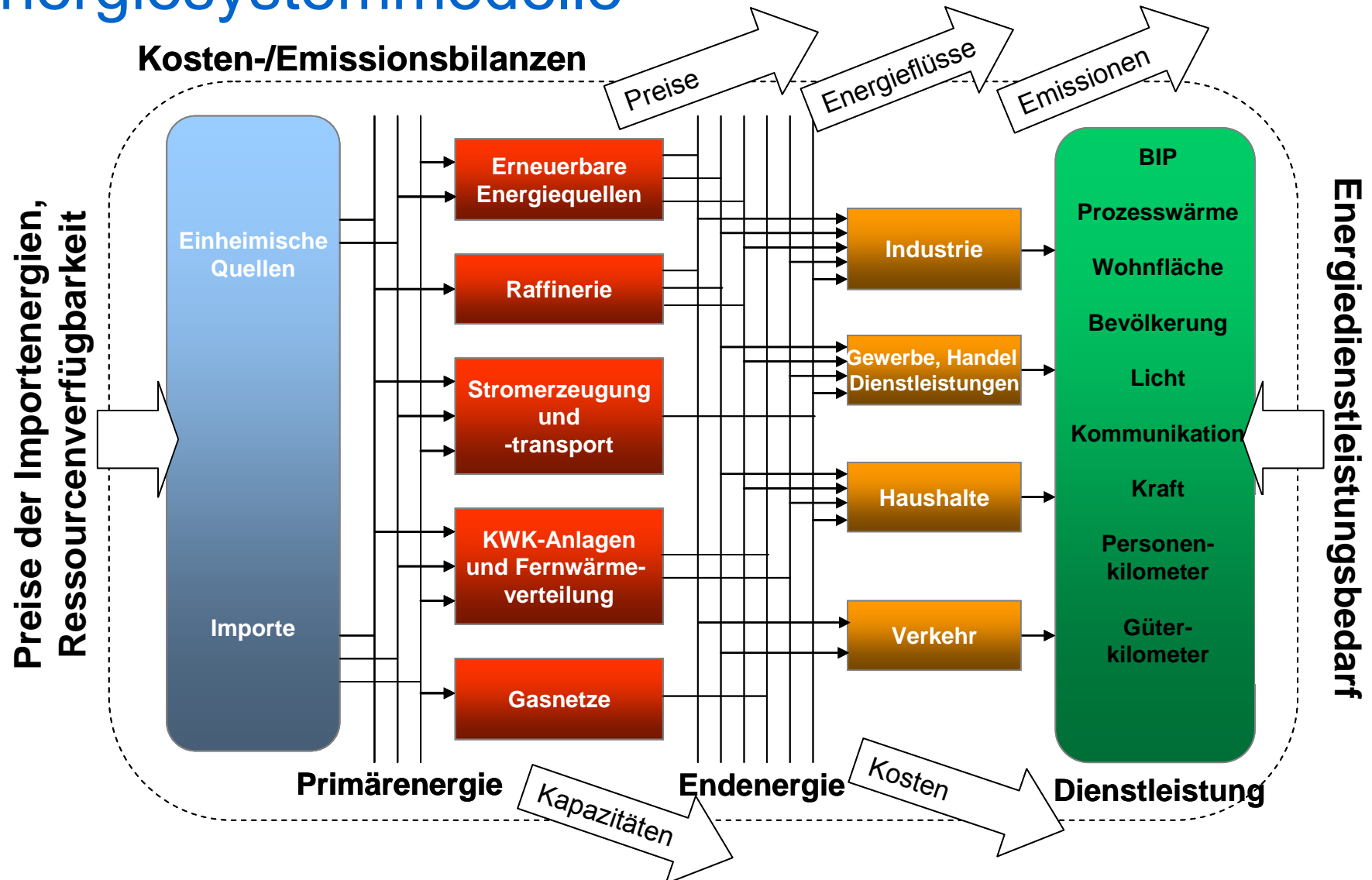


Energiesystemmodelle

- sind dabei als dynamische mathematische Optimierungsmodelle formuliert
 - i. zeitintegrale Zielfunktion (z.B. Minimierung der Gesamtkosten des Energiesystems über den Betrachtungszeitraum)
- Dies erlaubt eine explizite Erfassung der Kapazitätszu- und abbauten von Energietechnologien, z.B. Kraftwerken
- Politische Rahmenbedingungen, z.B. angestrebte Marktanteile von Energietechnologien bzw. Energieträgern oder angestrebte Treibhausgasreduktionsziele, lassen sich über Nebenbedingungen explizit modellieren



Energiesystemmodelle





Nationale Energiesystemmodelle - Input

- Derzeitiger Bestand an Energiewandlungs-, Energietransport- und Energienutzungstechnologie (Kapazitäten, Alterstruktur, Wirkungsgrade, ...)
- Charakterisierung zukünftiger Technologieoptionen
 - i. Wirkungsgrade, technische Lebensdauer, ...
 - ii. Investitionskosten, O&M Kosten, Verfügbarkeit, ...
 - iii. Schadstoffemissionsfaktoren
- Verfügbarkeit von Energieressourcen: Mengen und Kosten
- Preise und Mengen der Importenergien
- Entwicklung der Energiedienstleistungsnachfrage



Energiesystemmodelle – Werkzeug für eine szenariogestützte Zukunftsanalyse

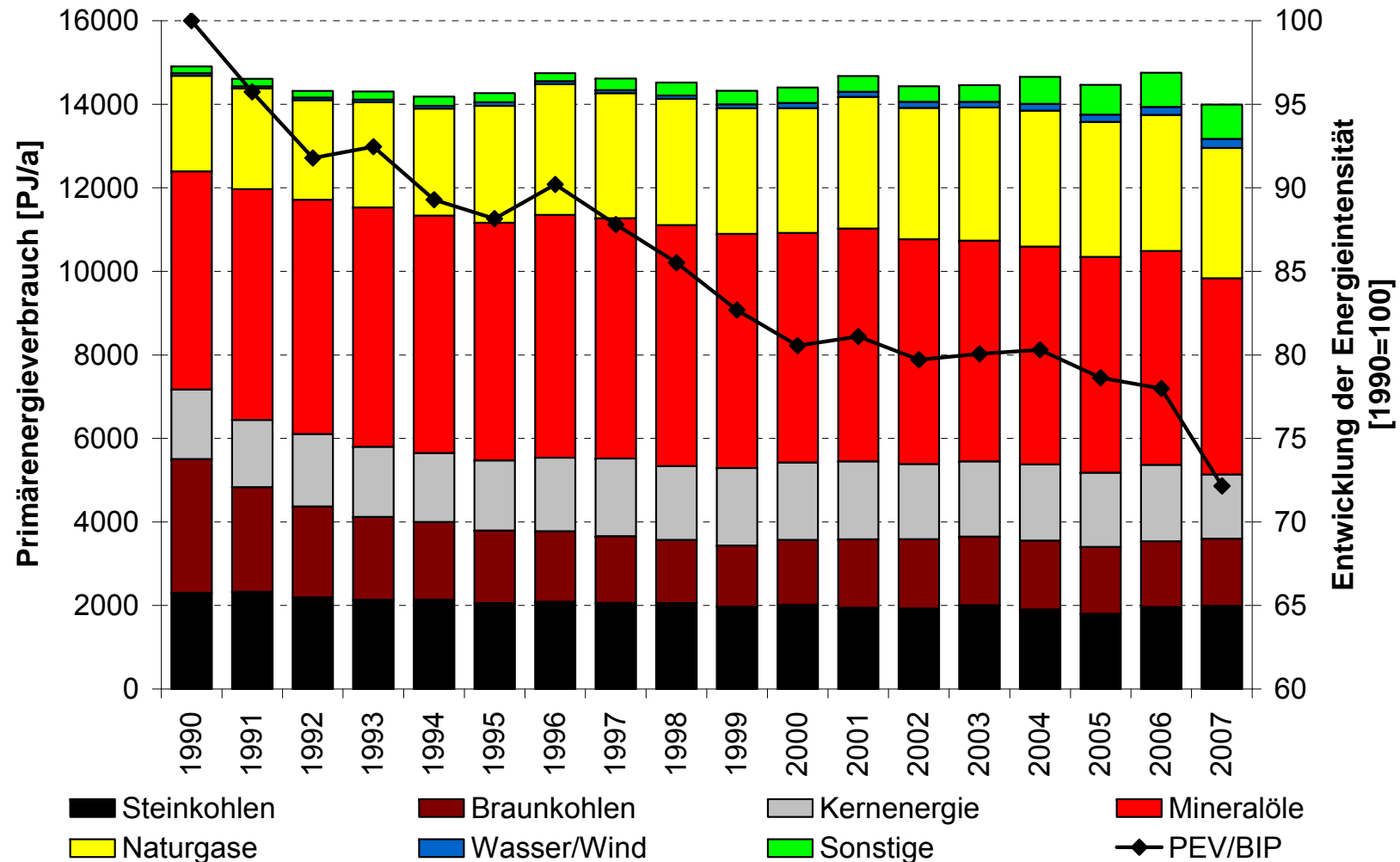
- keine Prognose
- konsistente systemare Beschreibung möglicher Entwicklungen der Energieversorgung, um sie im Hinblick auf das energiepolitische Zielviereck
 - i. Versorgungssicherheit
 - ii. Umwelt- und Klimaverträglichkeit
 - iii. Wirtschaftlichkeit
 - iv. Nachhaltigkeiteinordnen und bewerten zu können



➤ **Wege zu einer klimaverträglichen
Energieversorgung in Deutschland-
Ein Modellexperiment**



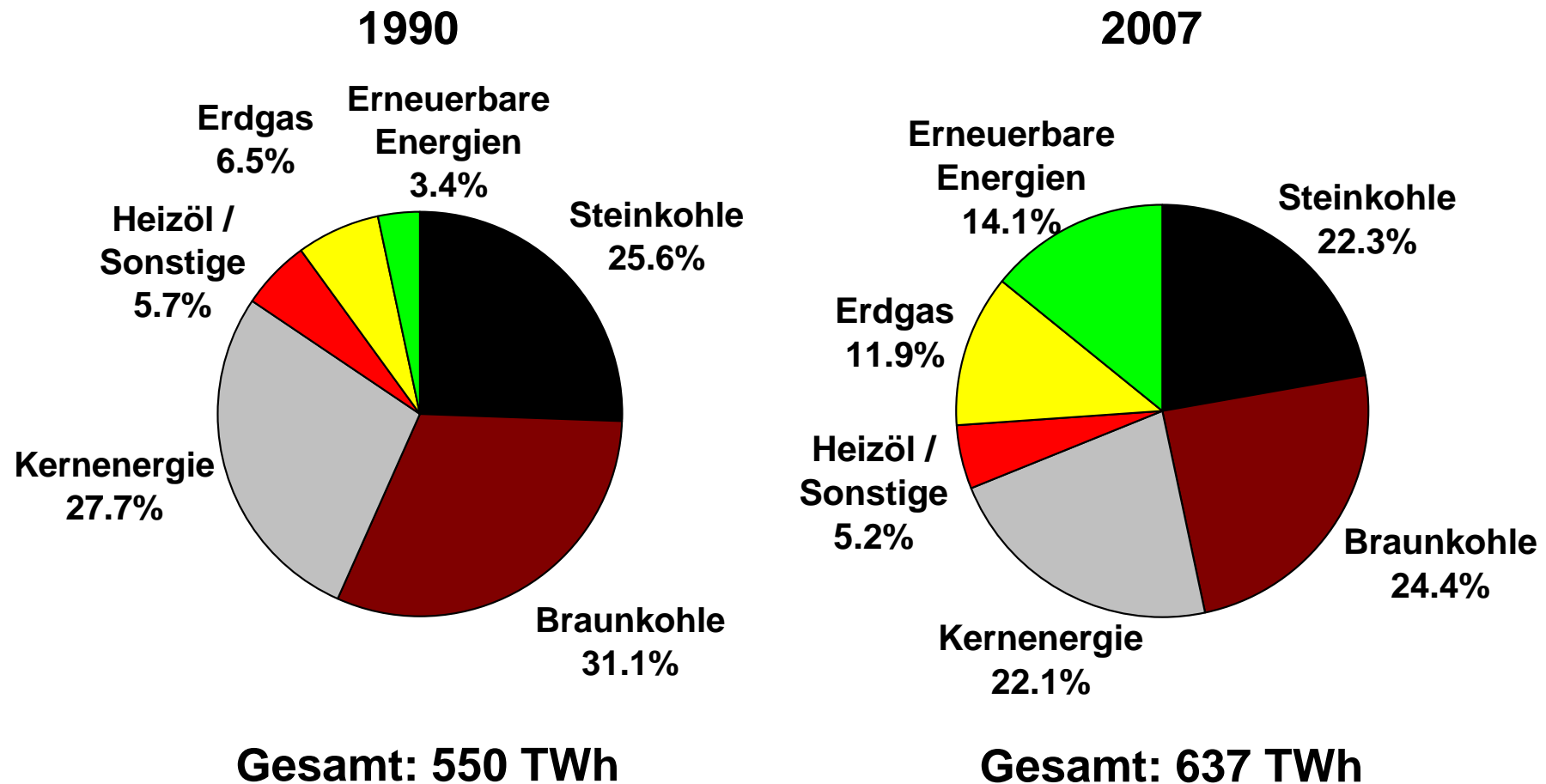
Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Energieintensität in Deutschland



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



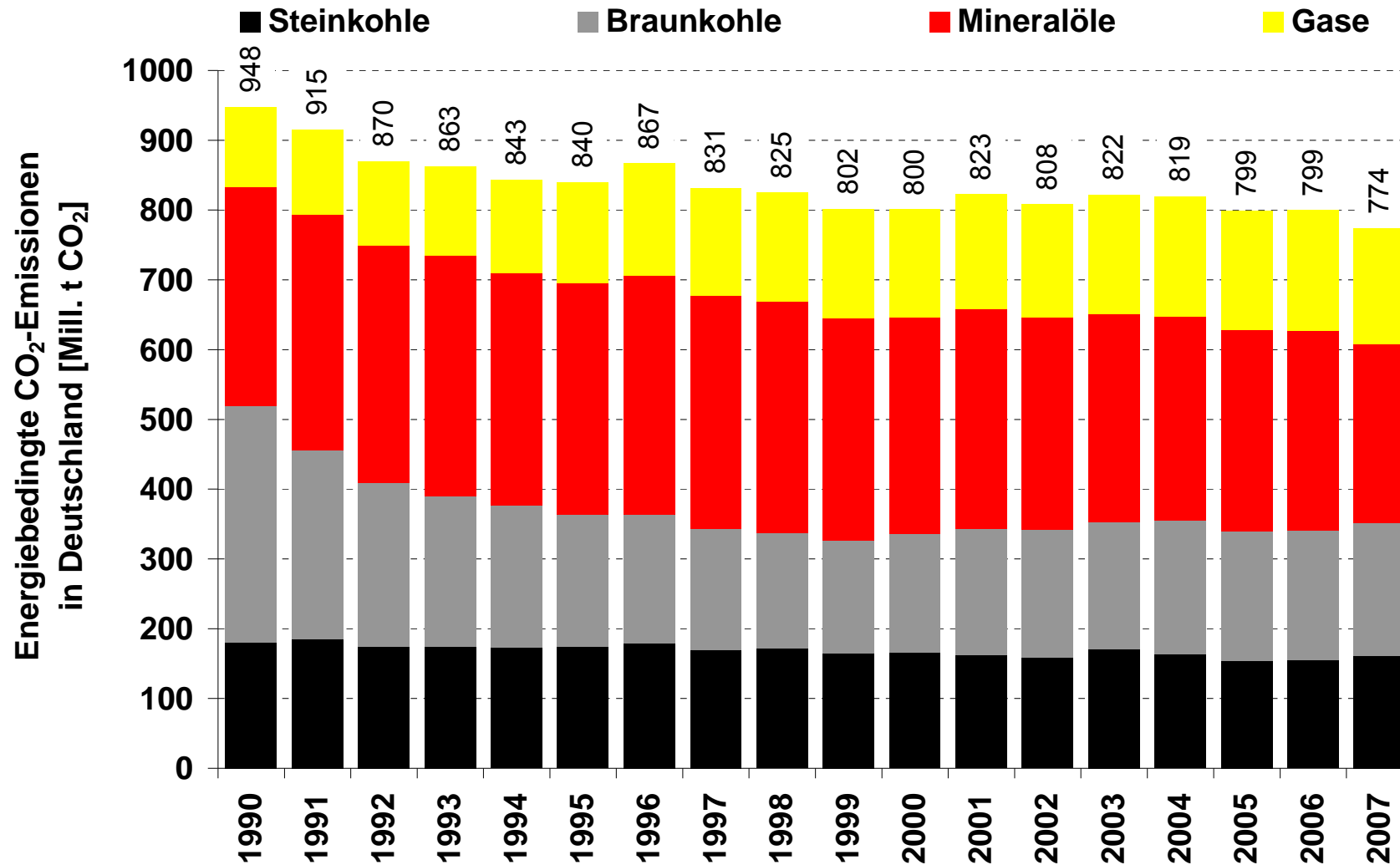
Bruttostromerzeugung in Deutschland



Quelle: AG Energiebilanzen (2008)



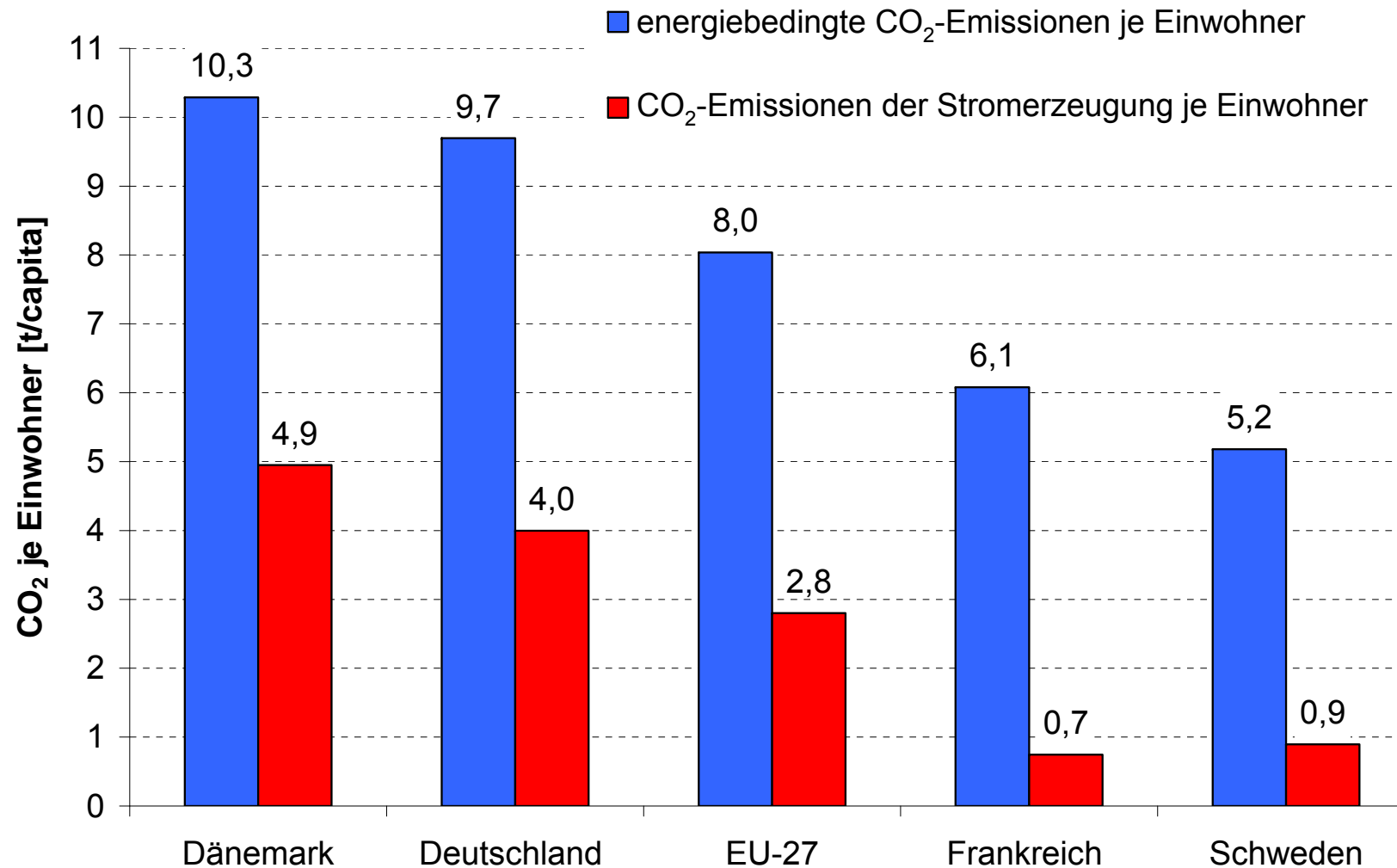
CO₂-Emissionen in Deutschland



Quelle: UNFCCC (2008), BMWI (2008), UBA (2008), AGEB (2007), eigene Berechnungen



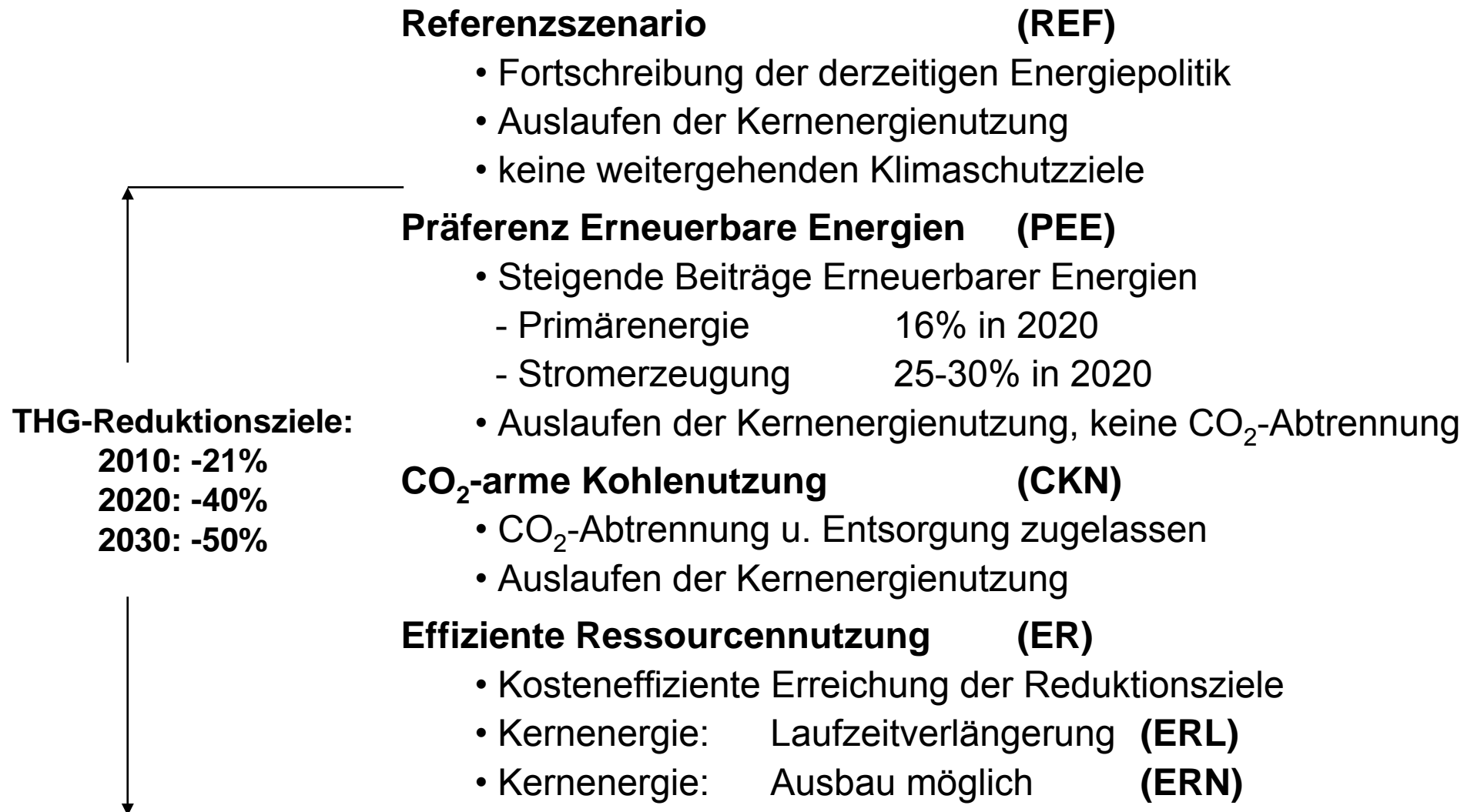
CO₂-Emissionen in Europa: Ausgewählte Länder (2006)



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

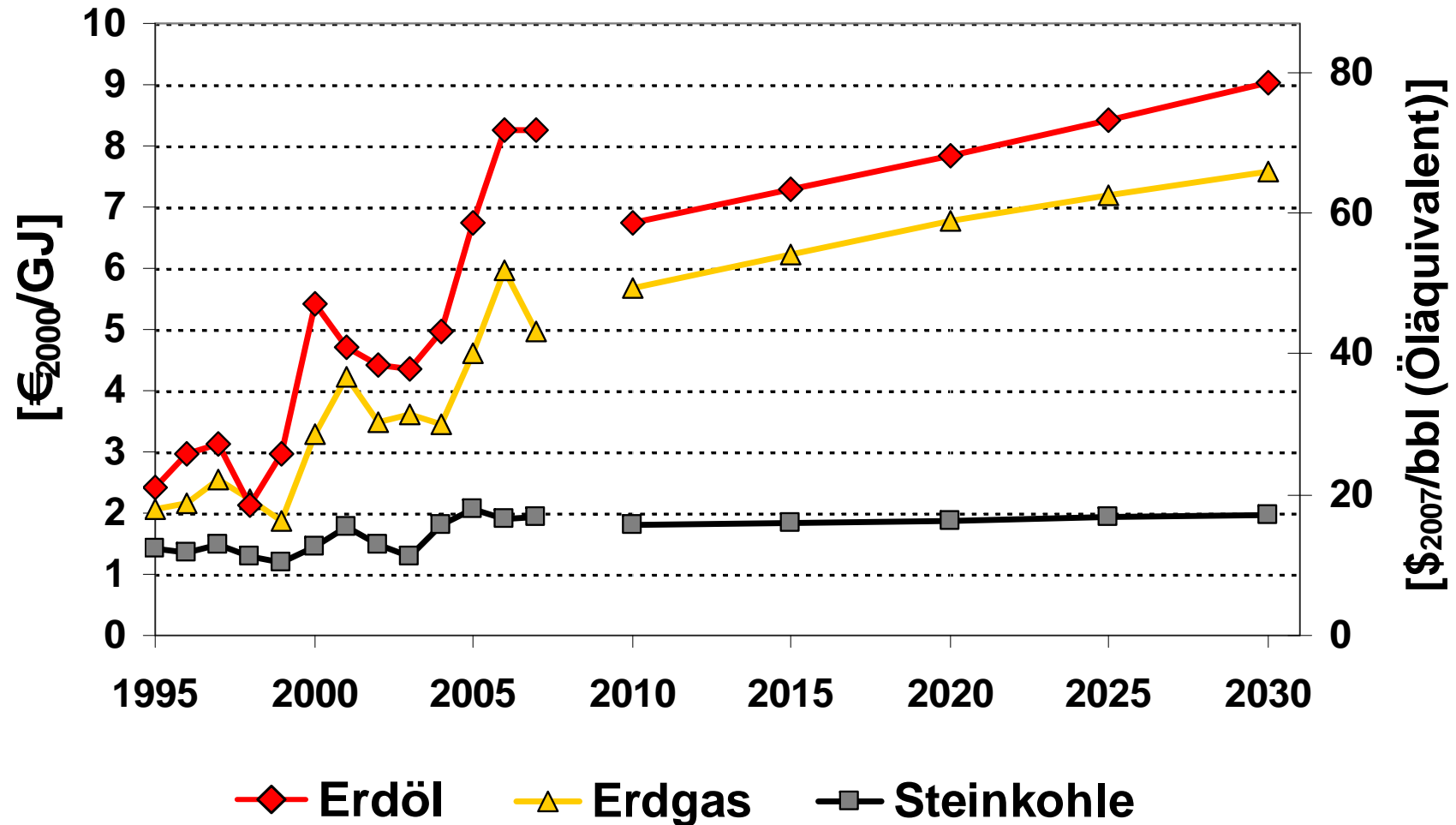


Charakterisierung der Szenarien



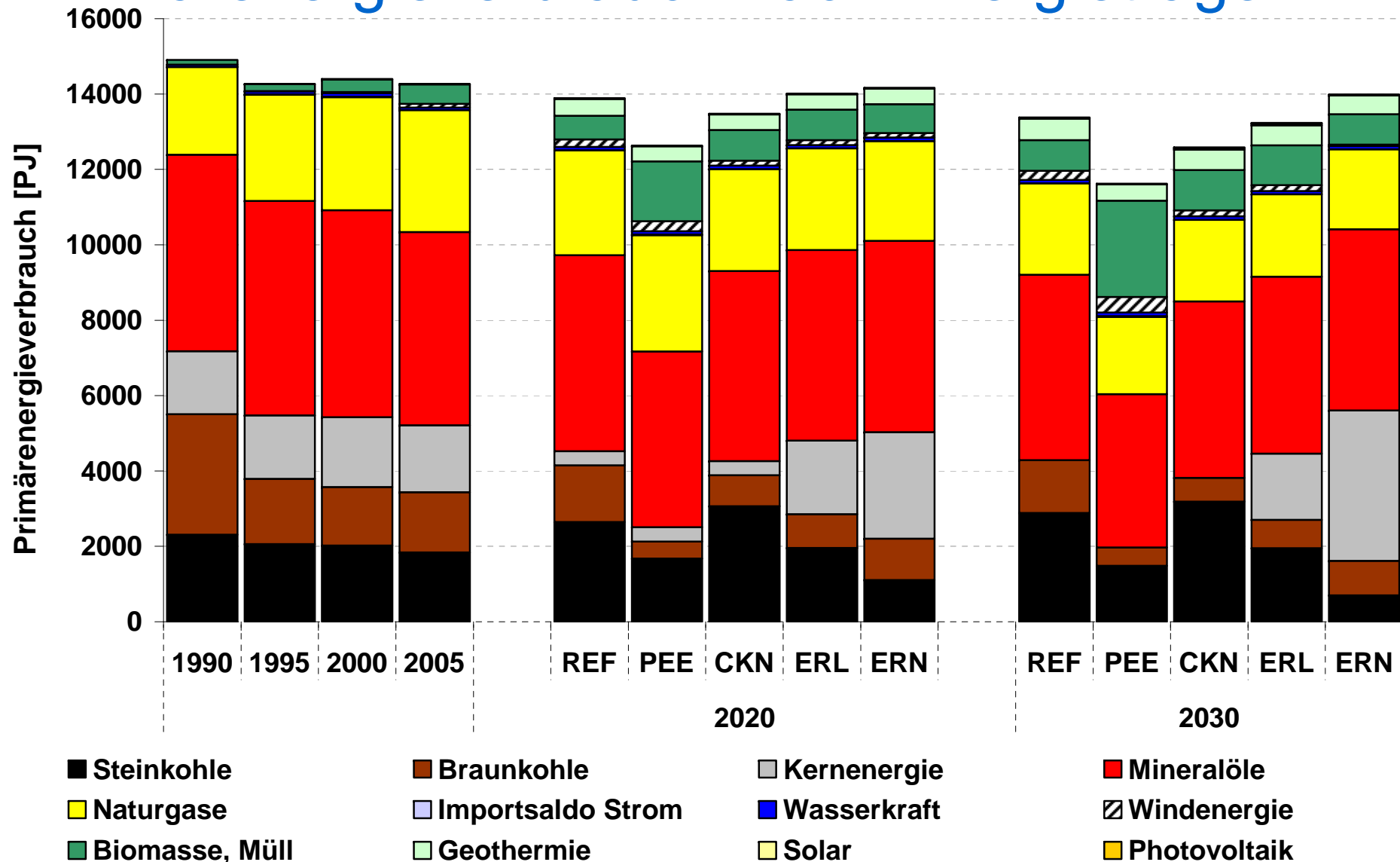


Preisentwicklung fossiler Energieträger



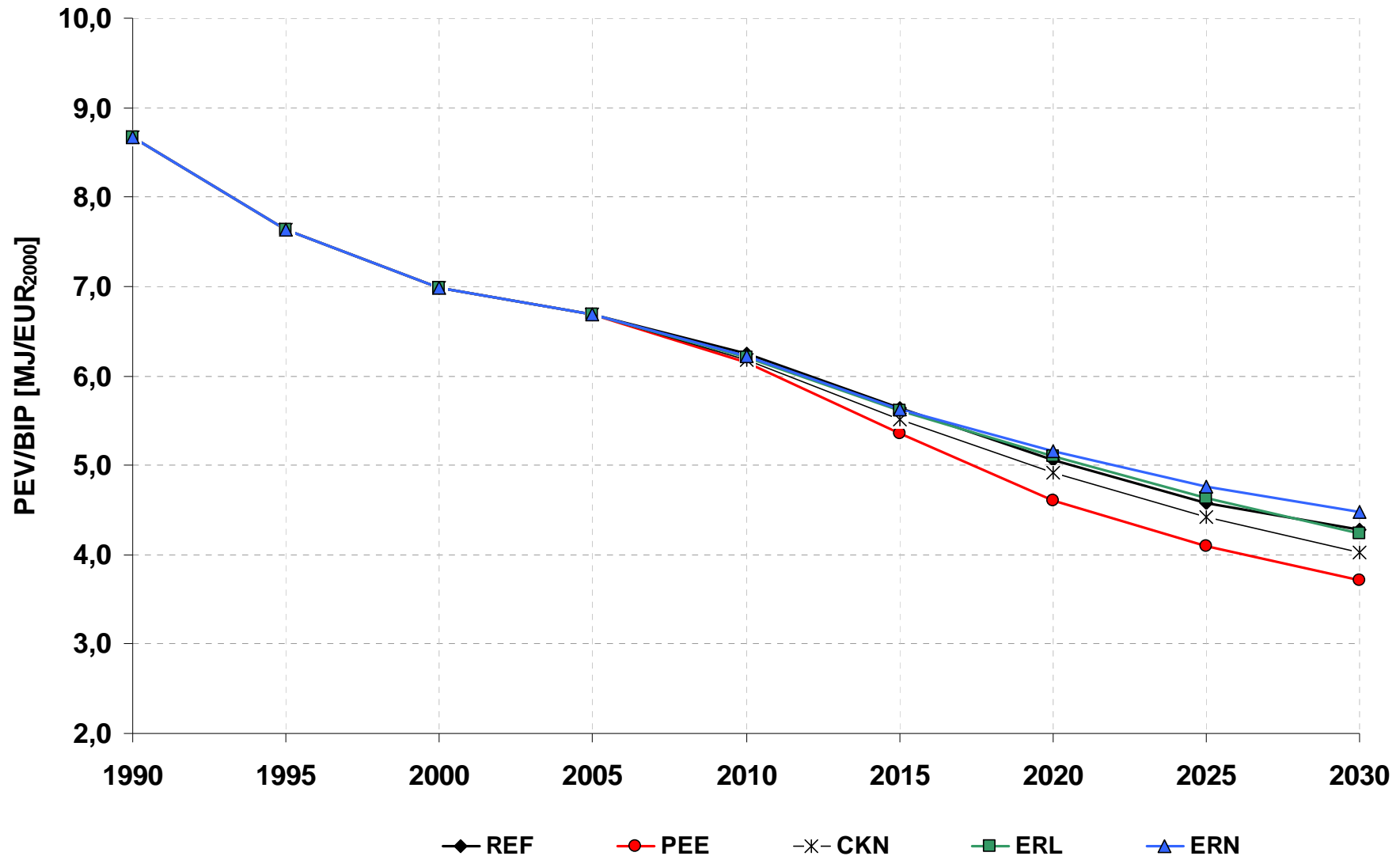


Primärenergieverbrauch nach Energieträgern





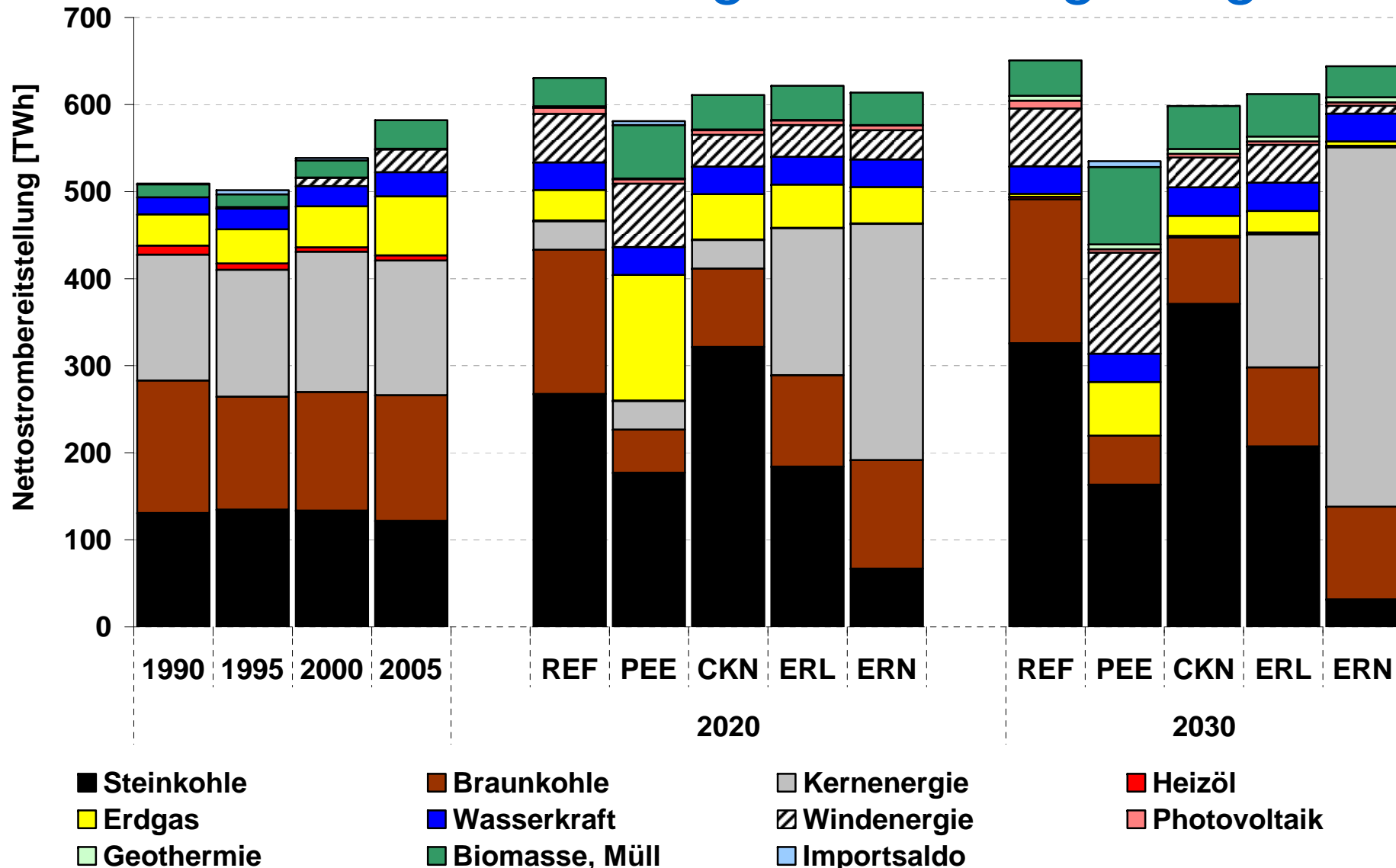
Energieintensität des Bruttoinlandsproduktes



Anm.: PEV nach Wirkungsgradmethode

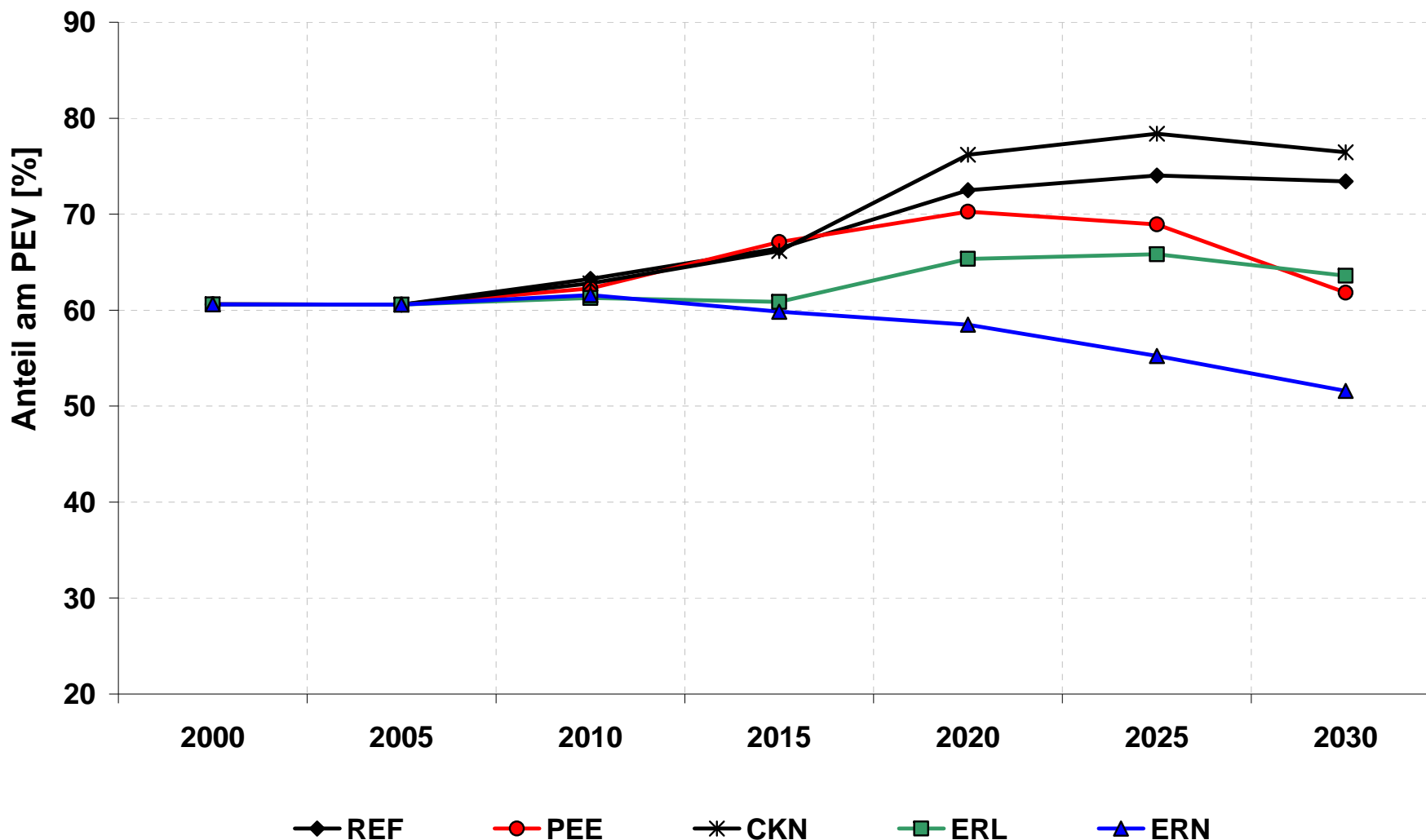


Nettostrombereitstellung nach Energieträgern





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)		4,8 4,7*
CO ₂ -arme Kohlenutzung (CKN)	42 127*	5,5 5,4*
Präferenz Erneuerbare Energien (PEE)	142 242*	7,1 5,8*
Effiziente Ressourcennutzung: Laufzeitverlängerung (ERL)	-76 19*	4,6 5,4*
Effiziente Ressourcennutzung: Kernenergieausbau / Laufzeitverlängerung (ERN)	-164 -56*	3,3 2,1*
* Moderate Energiepreise		



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**