

Erneuerbare Energien im Zieldreieck zwischen Preiswürdigkeit, Versorgungssicherheit und Klimaschutz

Prof. Dr. Wolf Fichtner

Lehrstuhl Energiewirtschaft

Telefon: 0355-69 4504/4505

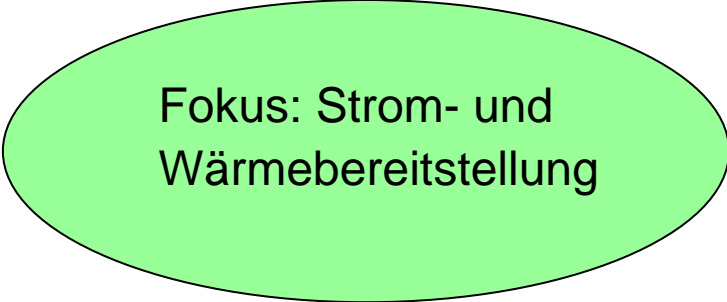
Fax: 0355-69 4048

email: energiewirtschaft@tu-cottbus.de



Gliederung

1. Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien
2. Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien
3. Klimaschutz und Erneuerbare Energien
4. Zusammenfassung

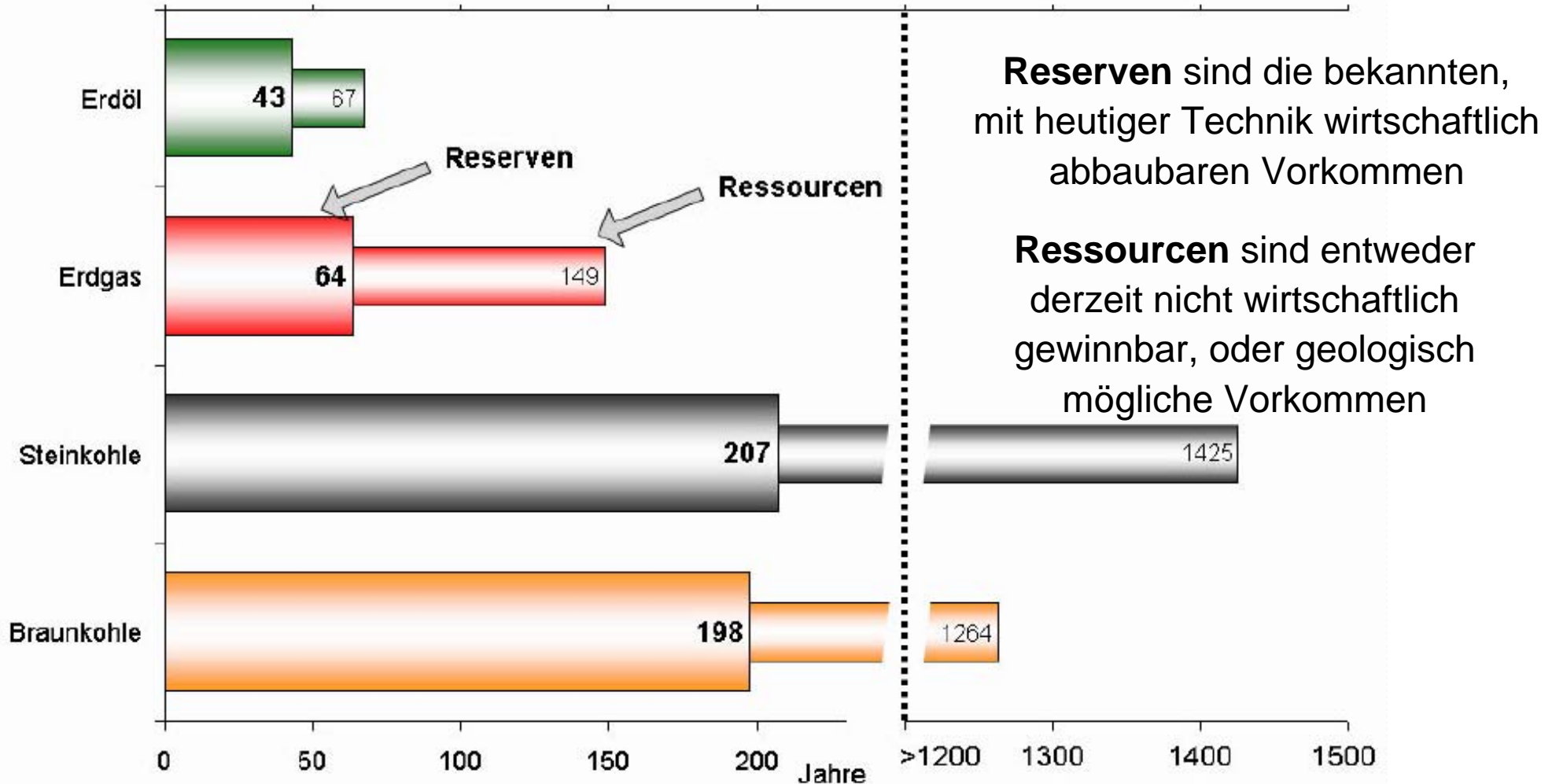


Fokus: Strom- und
Wärmebereitstellung

Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien

a) Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund knapper Ressourcen

Statische Reichweiten fossiler Energien



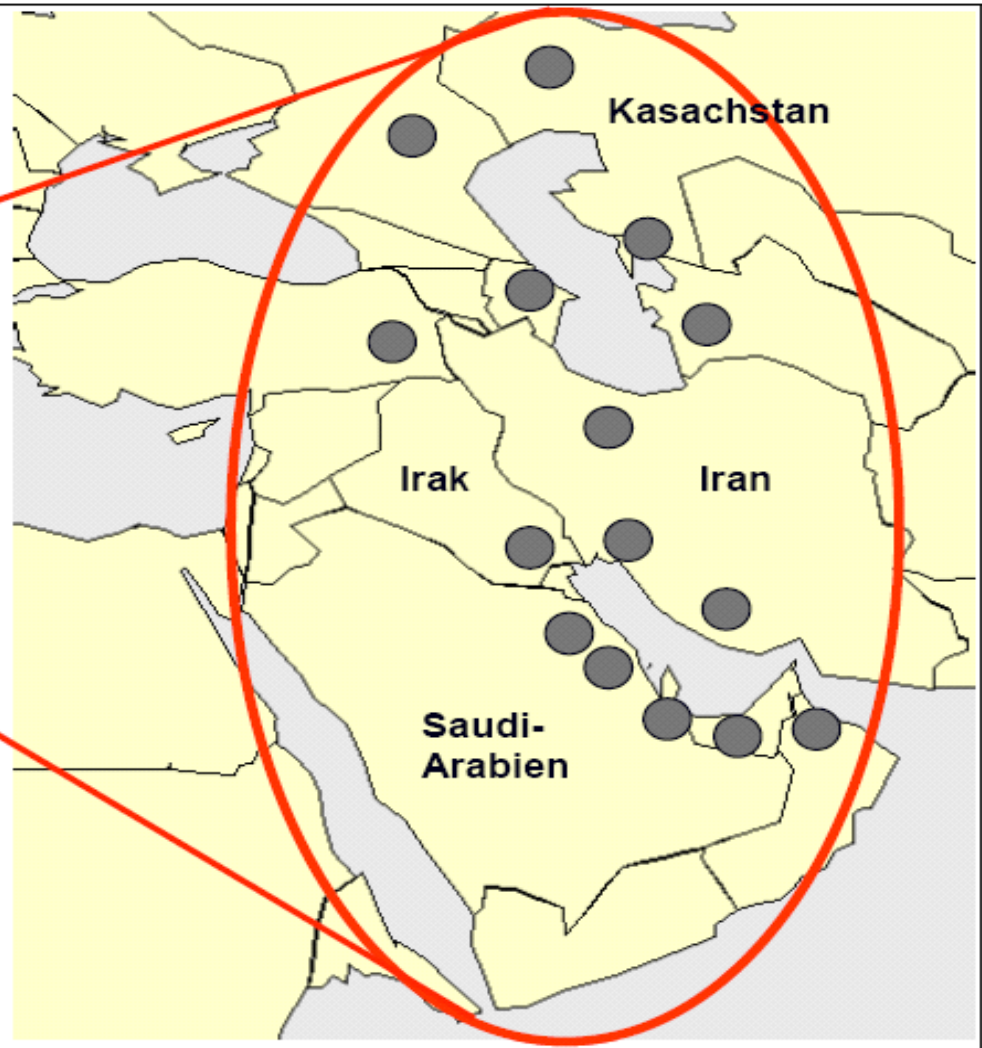
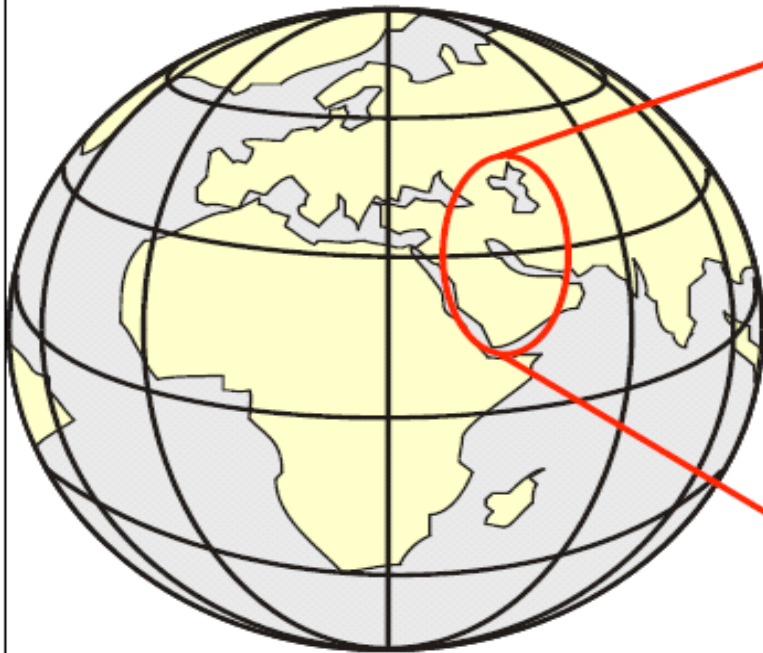
Quelle: BGR

Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien

- Kurz- bis mittelfristig ausreichend Ressourcen und Reserven
- Problem: Ressourcen und Reserven befinden sich größtenteils in unsicheren Regionen

Strategische Ellipse

Ca. 70 % der Erdölreserven und..



ca. 40 % der Erdgasreserven liegen in den persischen Golfstaaten sowie am Kaspischen Meer

[Quelle: Kemp, G. et al. 1997]

Erneuerbare Energien in Deutschland

	Technische Erzeugungspotenziale in TWh/a
Wasserkraft	ca. 25
Windenergie - onshore	ca. 237
Windenergie - offshore	ca. 237
Biomasse	128 – 168
Fotovoltaik	315 – 690
Erdwärme	ca. 321

Quelle: Kaltschmitt et al. 2003

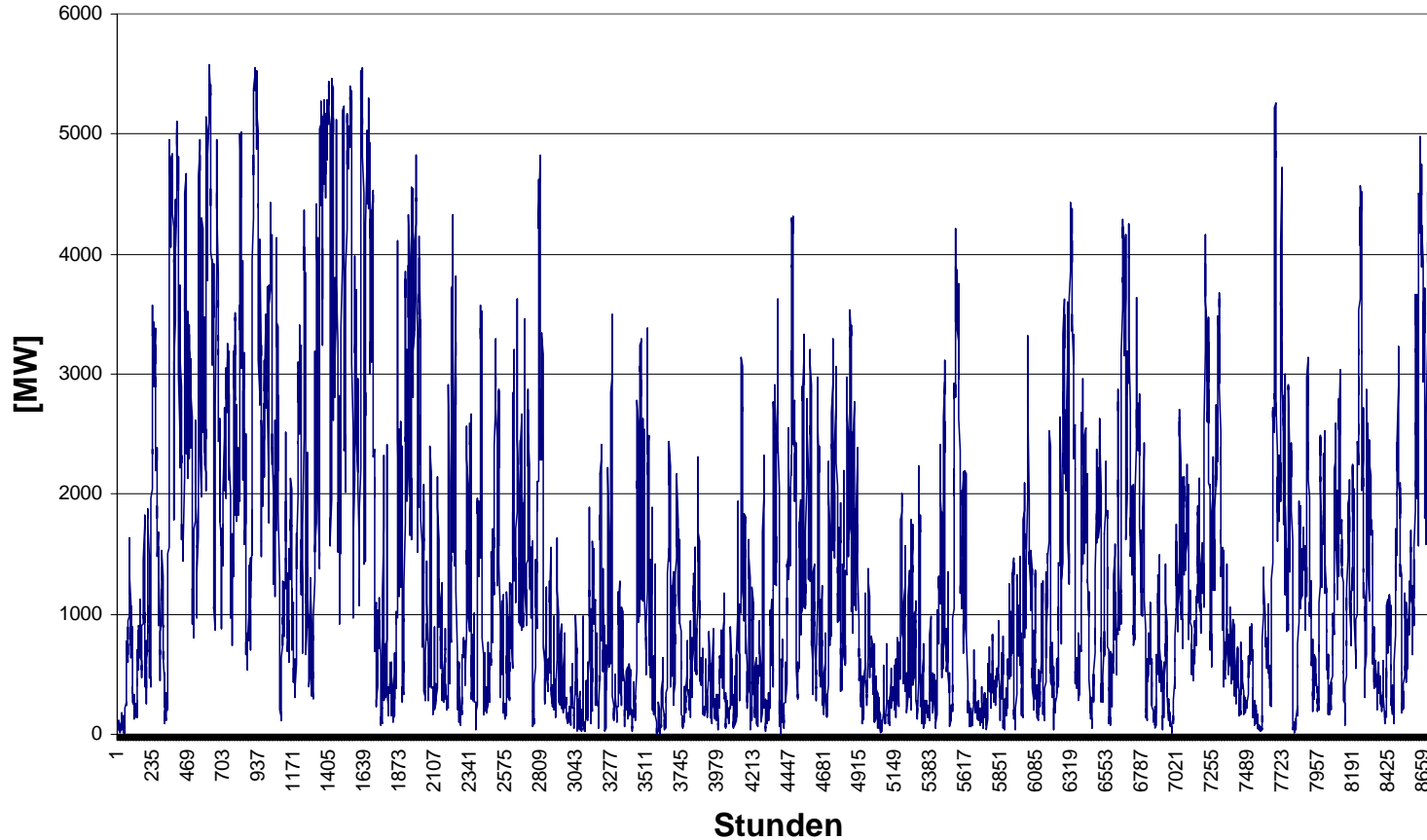
□ Elektrizitätsbereitstellung in Deutschland: ca. 570 TWh/a

Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien

- a) Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund knapper Ressourcen aus unsicheren Regionen

- b) Erneuerbare Energien (Wind und Sonne) vor dem Hintergrund der fluktuierenden Erzeugung

Problembereiche der fluktuierenden Erzeugung



- Hohe Einspeisung bei Schwachlast
- Geringe Einspeisung bei Starklast
- Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen
- Abtransport in Energiebedarfszentren

**Auswirkungen auf die
Netzstabilität**

Gliederung

1. Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien

2. Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien

3. Klimaschutz und Erneuerbare Energien

4. Zusammenfassung

Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien

a) „Wirtschaftlichkeit“ für den Investor (bspw. Privatpersonen)

Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

□ Funktionsweise

- Garantierte Einspeisevergütungen setzen Anreize zur Errichtung von Anlagen auf Basis Erneuerbarer Energien
 - Preissteuerndes Instrumentarium
- Vergütungssätze sind vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme für 20 Jahre vorgegeben
- Vergütungen abhängig von der Erneuerbaren Energiequelle

Vergütungssätze für Windenergieanlagen onshore

Das EEG: Vergütung von Windenergie an Land



Entwicklung der Vergütung von Windstrom für Anlagen, die nach dem 1.08.2004 in Betrieb genommen wurden.
Ohne Inflationsausgleich!

Neuerungen:

- Einmalige Absenkung zum 1.8.2004
- Steigerung der Degression von 1,5% auf 2% ab dem 1.1.2005



Grafik: Bundesverband WindEnergie

Techno-ökonomische Charakterisierung von Windenergieanlagen (WEA)

□ Typische Anlage in 2006

↪ Leistung: 2 MW

↪ Dreiblattrotoren

↪ Turmhöhe: 100 m

↪ Rotordurchmesser: 90 m

↪ Investition: 3 Mio. Euro

↪ Betriebskosten: ca. 60.000 Euro/a (Instandhaltung, Reparatur, Versicherung, Grundstückspachten)

↪ Bereitstellungskosten: bei 2.200 Volllaststunden
ca. 6,5 – 8 Cent/kWh_{el}



Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien

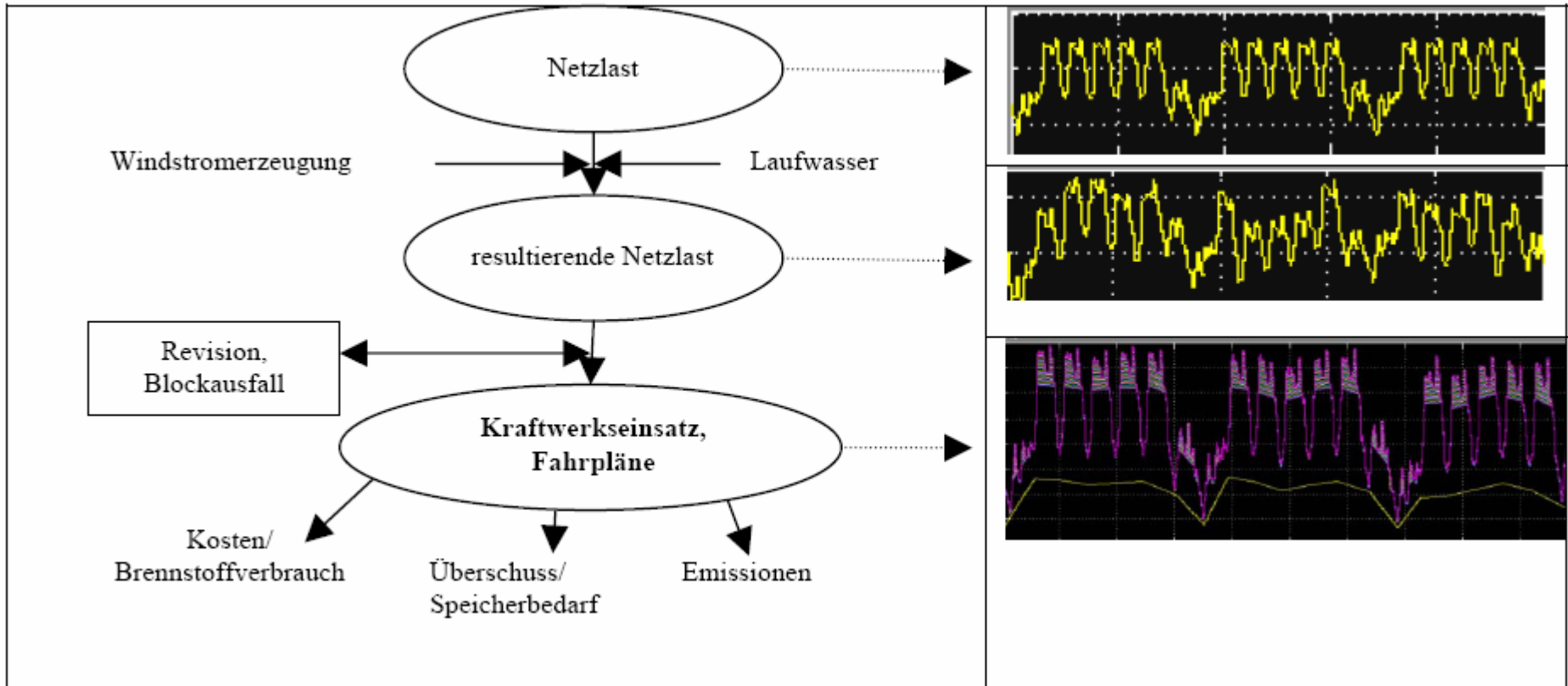
- a) Wirtschaftlichkeit für den Investor

- b) Wirtschaftlichkeit aus gesamtwirtschaftlicher Sicht

Ein Modell zur Analyse der fluktuierenden Stromeinspeisung aus Windenergie

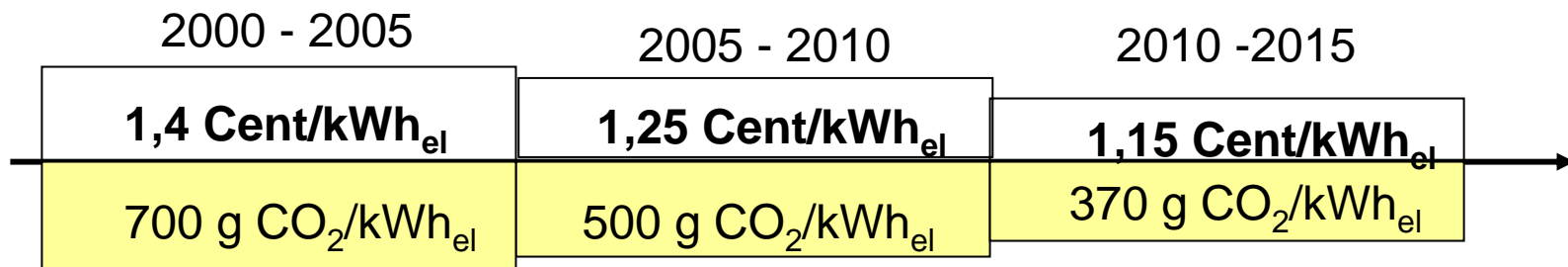
- ❑ Eigene Analysen mit einem MATLAB/Simulink-Modell
- ❑ Ziel: Simulation der Einlastung konventioneller Kraftwerke
 - ↳ Abbildung des existierenden deutschen Kraftwerksparks
- ❑ Prinzipielle Vorgehensweise
 - ↳ Vorgabe der prognostizierten Netzlast
 - ↳ Reduktion um prognostizierte Einspeisung aus Windkraftanlagen
 - ↳ Unterstellter Ausbau: 17,5 GW in 2005, 22,5 GW in 2010
 - ↳ Erstellung der Fahrpläne für die konventionellen Kraftwerke

Vorgehensweise des Modells zur Analyse der fluktuierenden Stromeinspeisung aus Windenergie



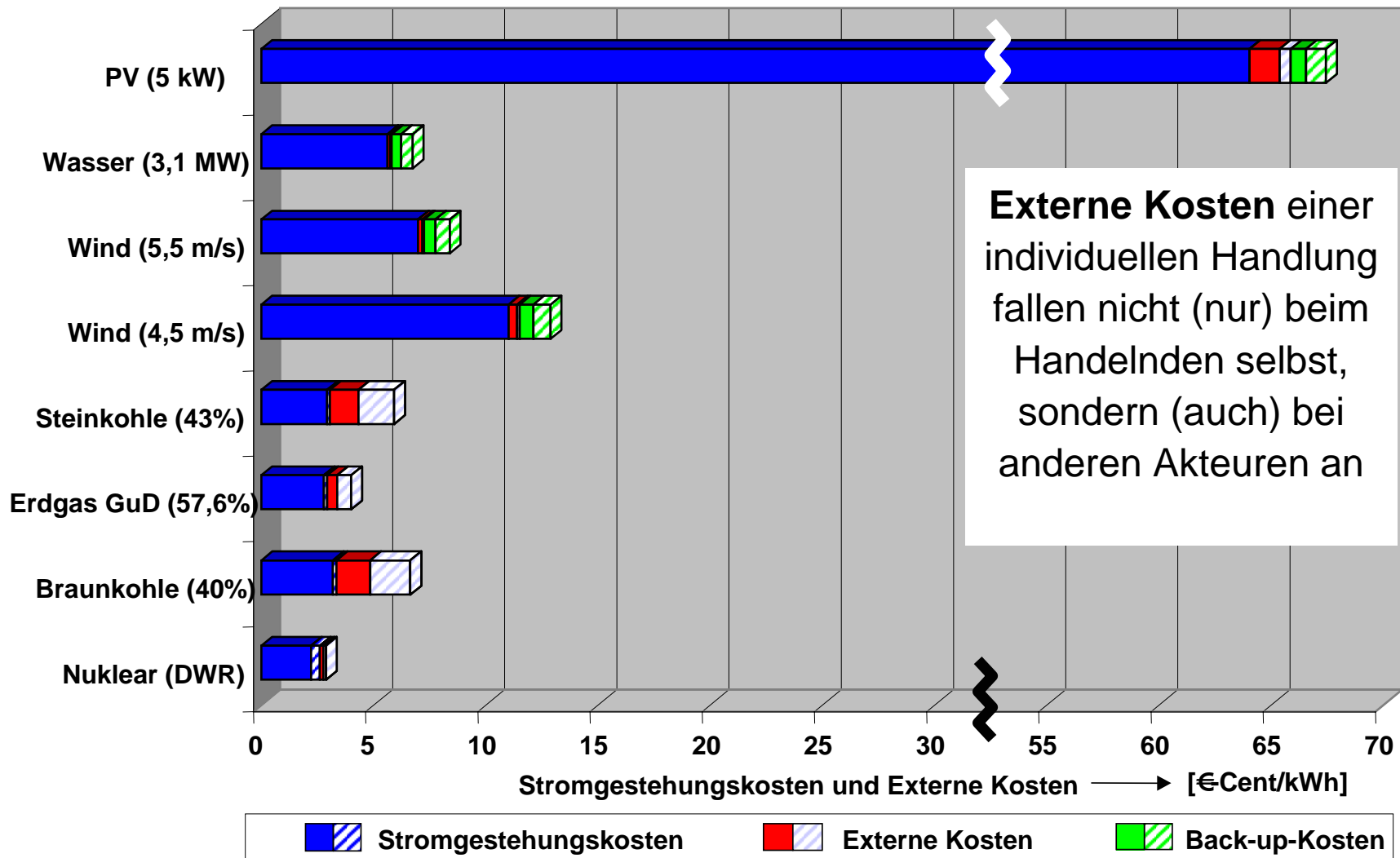
Modellergebnisse mit und ohne Windeinspeisung

- ❑ Bislang verdrängte Windenergie vor allem Strom aus Steinkohlekraftwerken
- ❑ Beim prognostizierten Anstieg der Windleistung verdrängt Windenergie auch Strom aus Braunkohle-, Gas- und Kernkraftwerken
- ❑ Wert der eingespeisten Kilowattstunde ist sehr gering
 - Nahezu kein Leistungseffekt
 - Vermehrter Teillastbetrieb und häufigere Anfahrtsvorgänge



Einspeisevergütung 2005: 8,53 Cent/kWh_{el} (5,39 Cent/kWh_{el})

Vollkosten der Stromerzeugung



Quelle: Voß

Gliederung

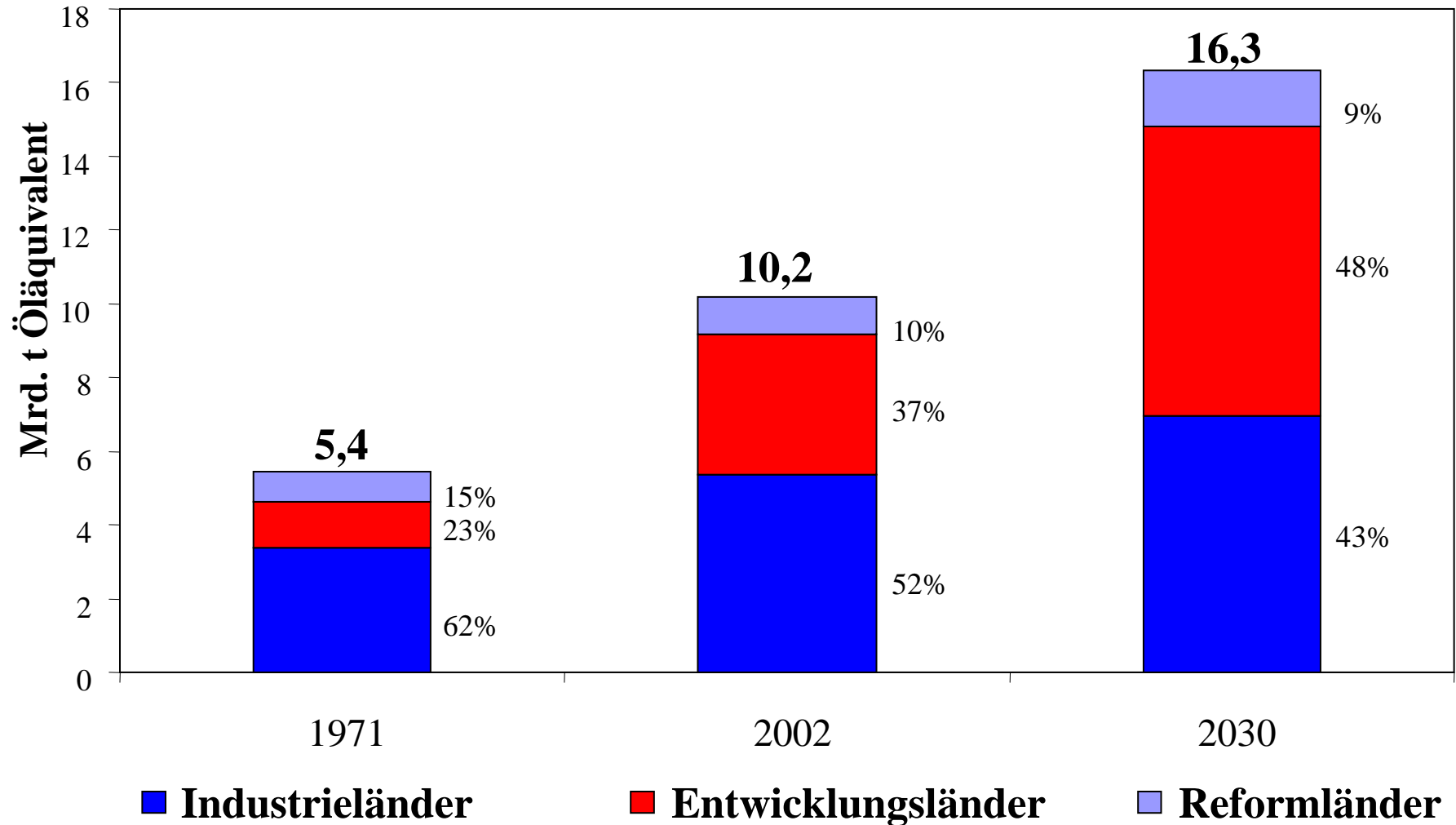
1. Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien
2. Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien
3. Klimaschutz und Erneuerbare Energien
4. Zusammenfassung

Klimaschutz und Erneuerbare Energien

a) Erneuerbare Energien als Maßnahmen zum Klimaschutz

- Klimarahmenkonvention 1992 auf dem Weltgipfel in Rio de Janeiro
 - „Stabilisierung der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau bei dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“
 - EU-Interpretation der gefährlichen Störung: Konzentration > 550 ppm
 - Zum Erreichen einer Konzentration unter 550 ppm maximale weltweite Emissionen im Jahre 2025, danach deutliche Reduktion

Weltenergieverbrauch nach Regionen



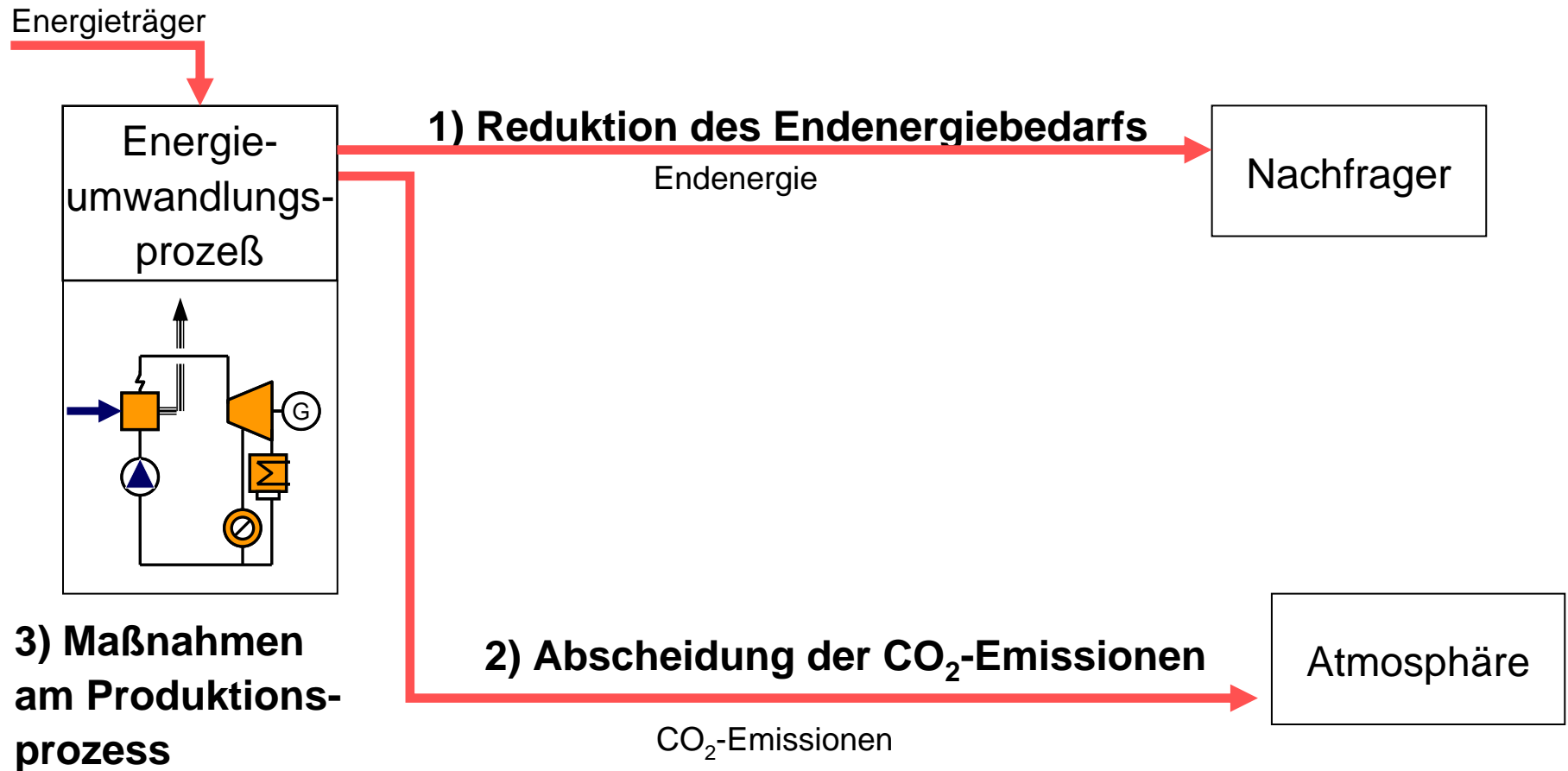
Quelle: EWI/Prognos

- ❑ Klimarahmenkonvention 1992 auf dem Weltgipfel in Rio de Janeiro
 - „Stabilisierung der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau bei dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“
 - EU-Interpretation der gefährlichen Störung: Konzentration > 550 ppm
 - Zum Erreichen einer Konzentration unter 550 ppm maximale weltweite Emissionen im Jahre 2025, danach deutliche Reduktion

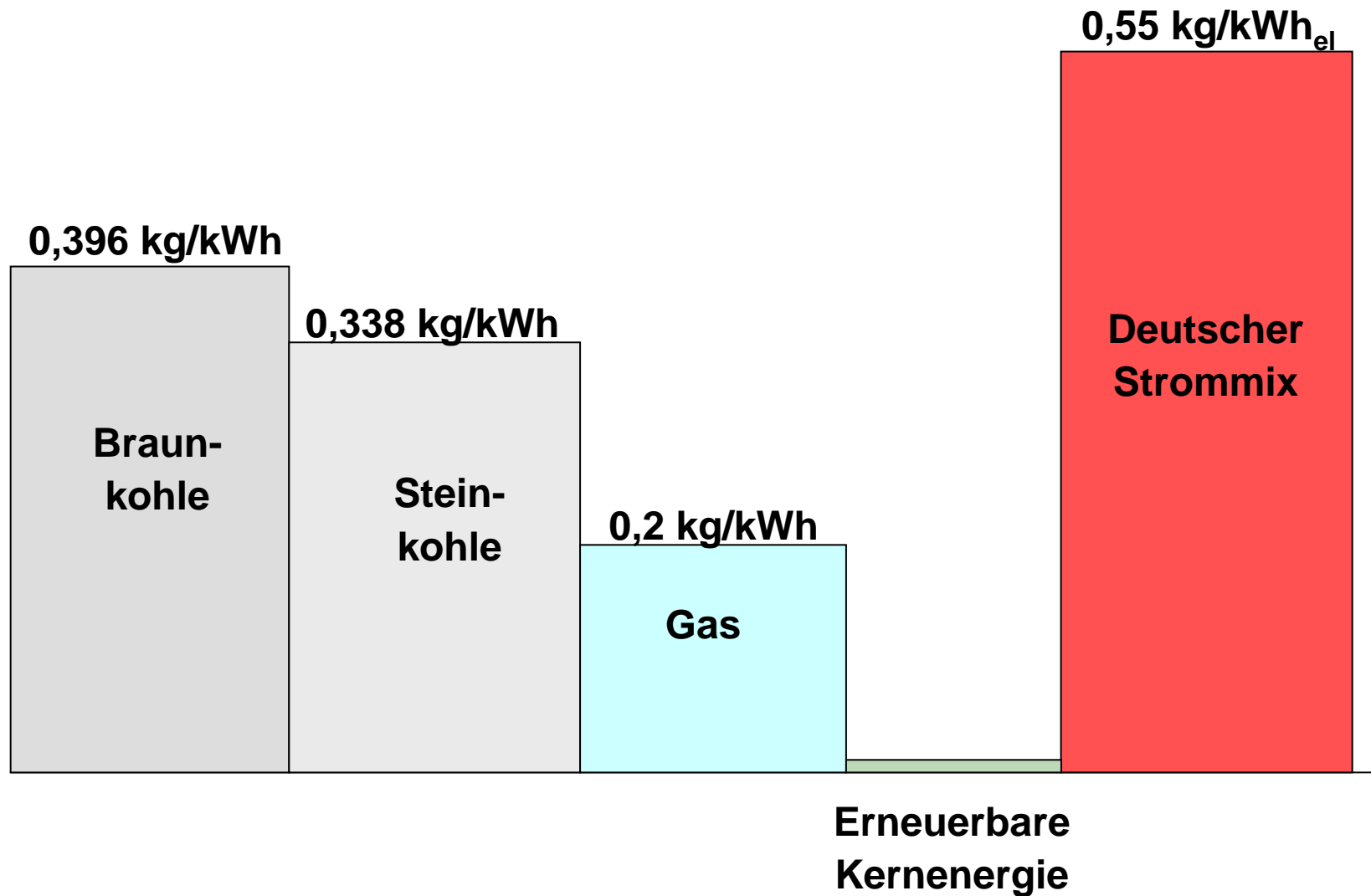
- ❑ 1997 dritte Vertragsstaaten-Konferenz: Kyoto-Protokoll
 - Verpflichtung von 38 Industriestaaten zur Reduktion der Treibhausgase um 5% gegenüber den Emissionen im Jahr 1990 bis 2008-2012
 - EU-Ziel: -8 % und Deutschland-Ziel: -21 %

Maßnahmen zum Klimaschutz

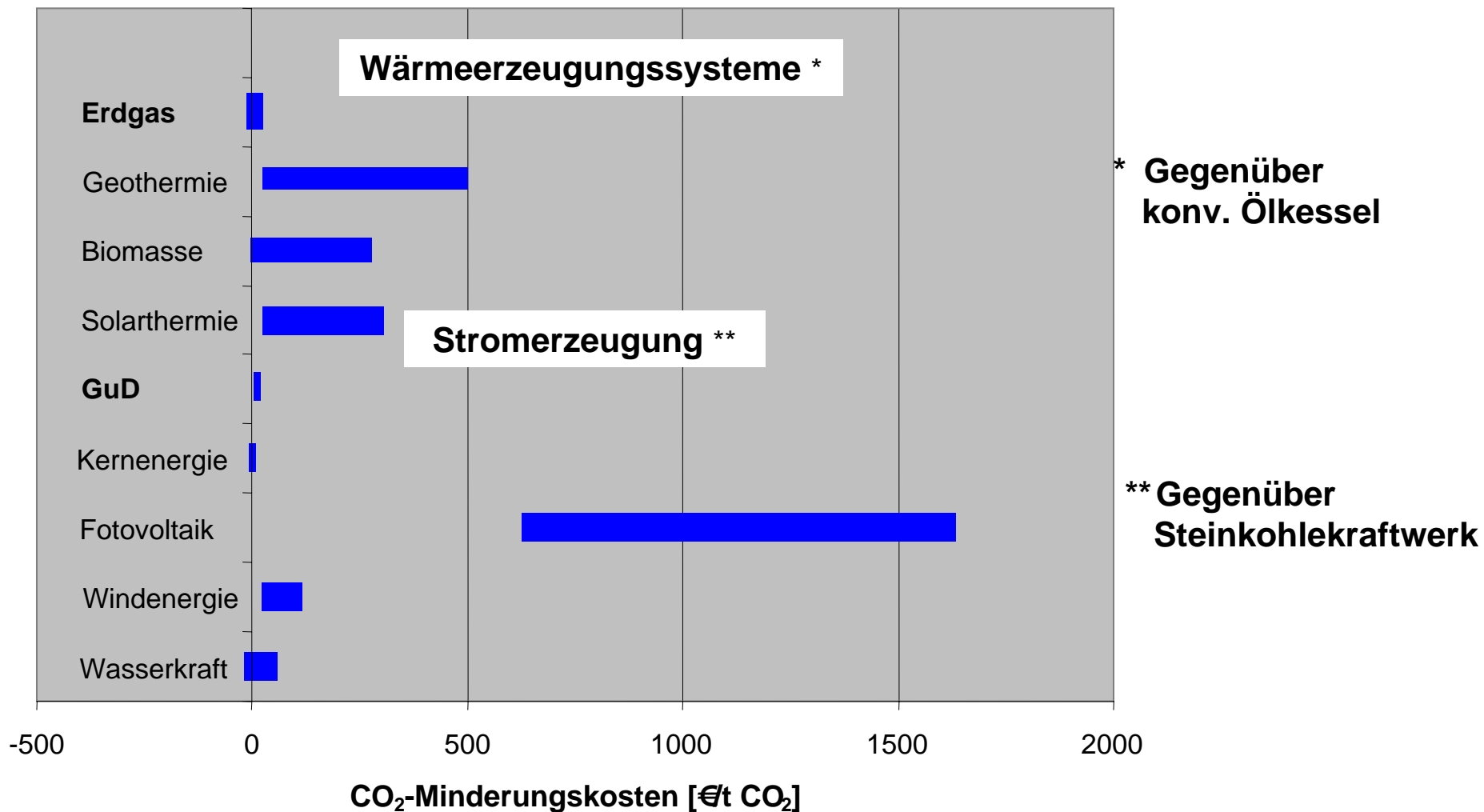
4) CO₂-Emissionsärmere Einsatzstoffe



CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger



Vergleich der CO₂-Minderungskosten von ausgewählten technischen Maßnahmen



Quelle: Voß

Zur Effizienz der CO₂-Minderung durch Einspeisung von Elektrizität aus Windenergie

- ❑ Momentan ist der Brennstoffwechsel von Kohle auf Gas in bestehenden Anlagen die dominierende CO₂-Minderungsmaßnahme
 - Minderungskosten von ca. 15 - 25 €/t CO₂
 - Steigende Primärenergiepreise für Erdgas: Steigende Minderungskosten

- ❑ Heutige Minderungskosten der Windenergie ca. 80 - 100 €/t CO₂

- ❑ Im zukünftigen Perioden (bis 2020) werden investive Maßnahmen mit anstehenden Erneuerungszyklen verzahnt werden
 - Maßnahmen mit geringeren CO₂-Vermeidungskosten als der kurzfristige Brennstoffwechsel (15 – 25 €/t CO₂) können realisiert werden

Klimaschutz und Erneuerbare Energien

- a) Erneuerbare Energien als Maßnahmen zum Klimaschutz

- b) Umweltpolitische Instrumente zum Klimaschutz

Das heutige zentrale Instrument zum Klimaschutz: Der CO₂-Emissionsrechtehandel

□ Prinzipielle Funktionsweise

- Zulässige Umweltbelastung (CO₂-Emissionen) wird festgelegt
- Aufteilung der Umweltbelastung in handelbare Zertifikate
- Betroffene Unternehmen stehen vor der Entscheidung Emissionen zu vermeiden oder Zertifikate zuzukaufen
- Preis für die Zertifikate bildet sich auf dem Markt
- Kein preis- sondern ein mengensteuerndes Instrumentarium

Interaktionen aufgrund der CO₂-freien Elektrizitätsbereitstellung durch EEG-Anlagen

- ❑ Durch den Emissionshandel sind die CO₂-Emissionen gedeckelt

- ❑ Obergrenze von rund 2200 Mio. t/a in 2005 – 2007 in Europa
 - Kontroll- und Sanktionsmechanismen vorausgesetzt wird diese Obergrenze eingehalten

 - Unabhängig von der Existenz des EEG

Interaktionen aufgrund der CO₂-freien Elektrizitätsbereitstellung durch EEG-Anlagen

- ❑ Der Zubau von Anlagen infolge des EEG erhöht den Anteil an CO₂-freiem Strom aus Erneuerbaren Energien
 - Die Verpflichteten des Emissionsrechtehandels benötigen weniger Zertifikate als ohne EEG-Einspeisung

 - Das erhöhte Angebot an Emissionsrechten führt am **europäischen** Markt
 - zu geringeren Preisen für CO₂-Emissionsrechte
 - zu geringeren Strompreisen

Zusammenfassung

❑ Versorgungssicherheit und Erneuerbare Energien

- Die Nutzung Erneuerbarer Energien erhöht langfristig die Versorgungssicherheit und mindert Preisschwankungen bei importierten Energieträgern
- Fluktuierende Elektrizitätserzeugung durch Windenergie führt heute zu Problemen der Netzstabilität

❑ Preiswürdigkeit und Erneuerbare Energien

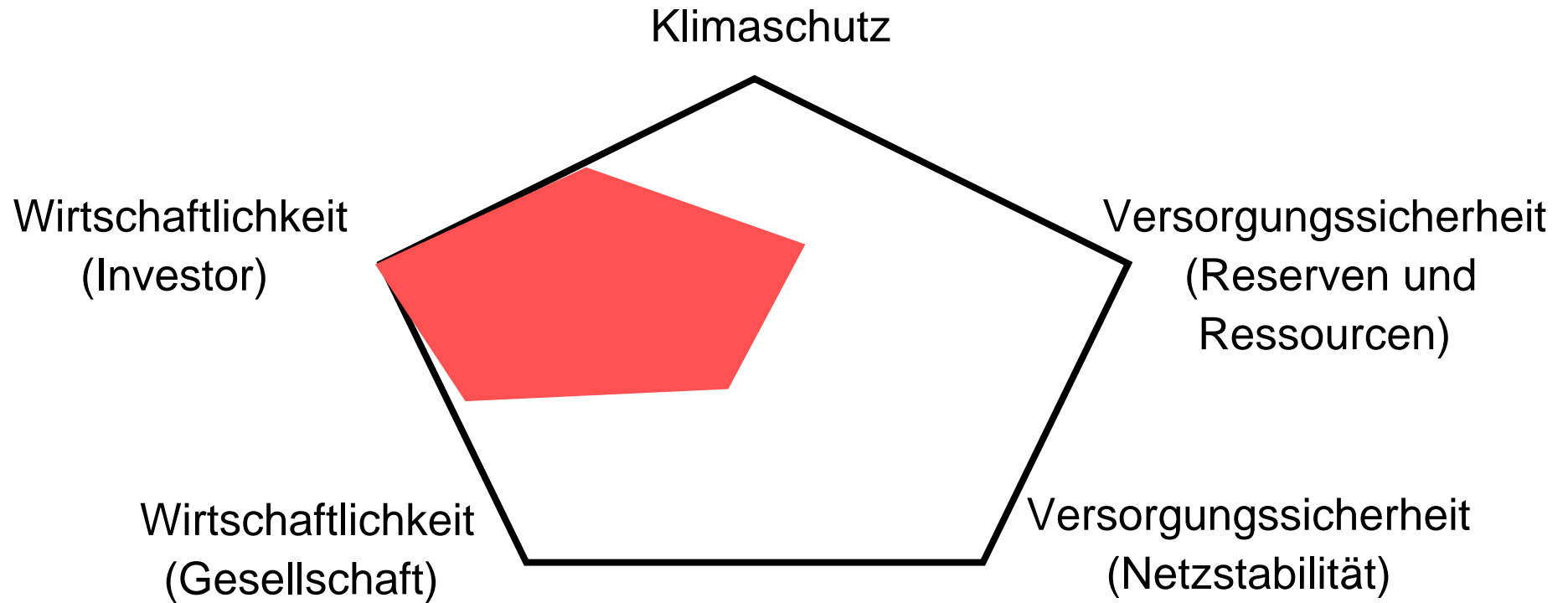
- Wirtschaftlichkeit für den Investor durch EEG größtenteils gegeben, die Wirtschaftlichkeit aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht

❑ Klimaschutz und Erneuerbare Energien

- Erneuerbare Energien sind langfristig die Option zum Klimaschutz, kurzfristig sind andere Optionen kosteneffizienter
- Einspeisevergütung und Emissionsrechtehandel als Instrumente Klimaschutzes passen nicht zusammen

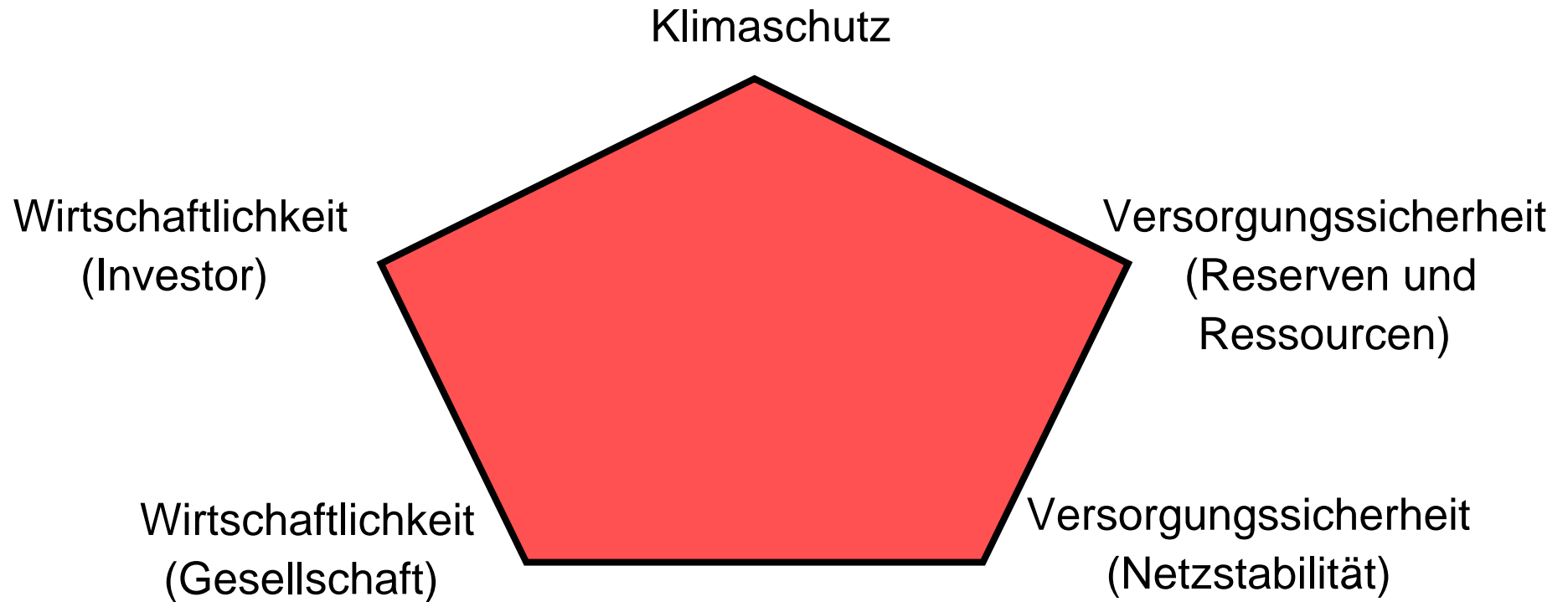
Zusammenfassung

2006:



Zusammenfassung

2100:

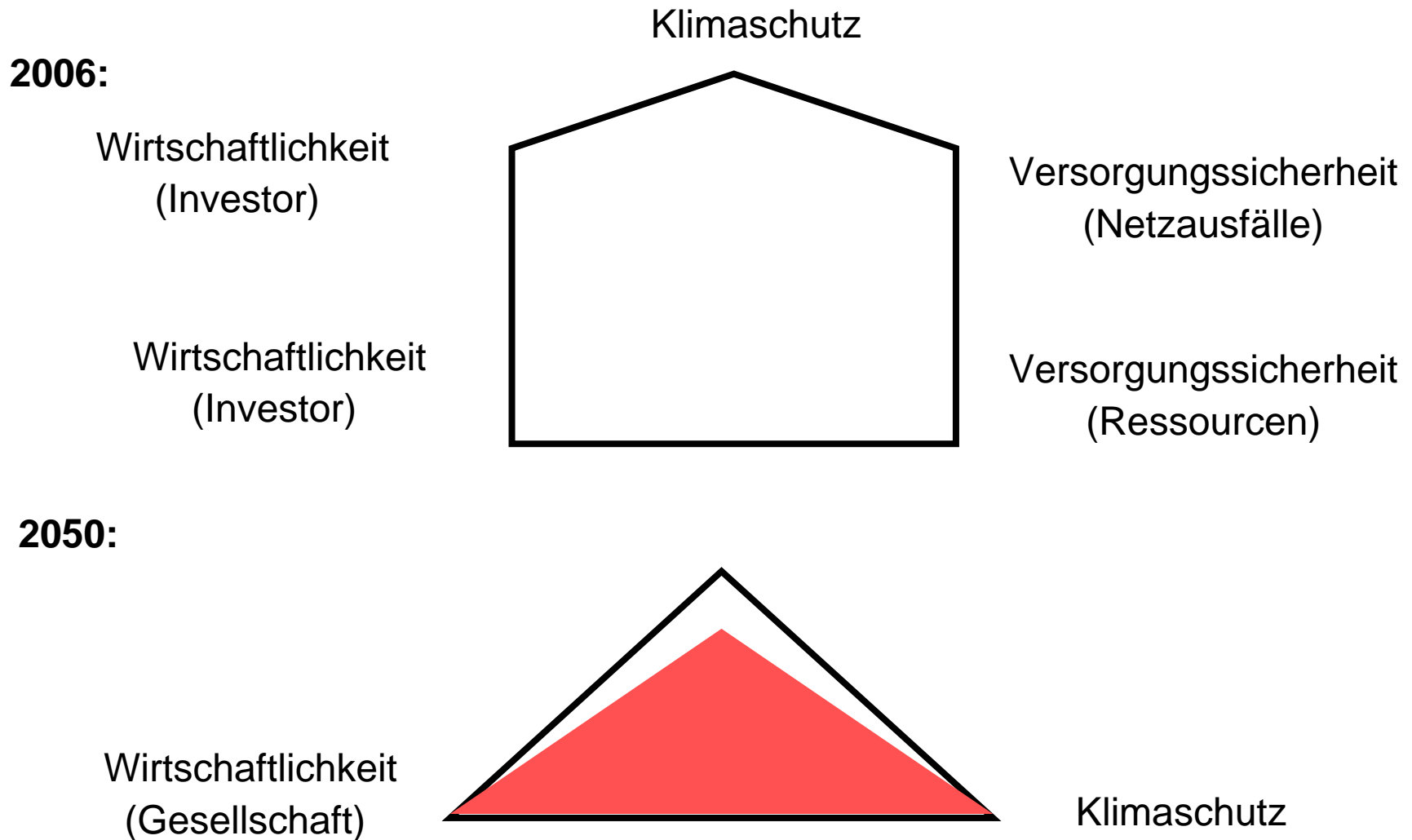


Interaktionen aufgrund der CO₂-freien Elektrizitätsbereitstellung durch EEG-Anlagen

- ❑ Der Zubau von Anlagen infolge des EEG erhöht den Anteil an CO₂-freiem Strom aus Erneuerbaren Energien
 - Die Verpflichteten des Emissionsrechtehandels benötigen weniger Zertifikate als ohne EEG-Einspeisung

 - Das erhöhte Angebot an Emissionsrechten führt am **europäischen** Markt
 - zu geringeren Preisen für CO₂-Emissionsrechte
 - zu geringeren Opportunitätskosten

Zusammenfassung



Weitere Ziele des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)

- ❑ Zweck des Gesetzes ist es
 - insbesondere im Interesse des **Klima-**, Natur- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen...
 - ...die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern...
 - ... dazu beizutragen, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 Prozent und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 Prozent zu erhöhen.

Effizienzwirkungen infolge der Interaktionen zwischen EEG und Emissionsrechtehandel

- ❑ Effizienz der neben der durch die EEG-Einspeisung induzierten noch zu erreichenden CO₂-Minderung
 - Effizienz bedeutet, dass die Minderung dort erbracht wird, wo dies mit den geringsten Kosten möglich ist
 - Aufgrund der deutschen Allokationsregeln nicht erreichbar
 - Bspw. pro eingesparter Tonne CO₂ nicht überall die gleiche Anreizwirkung (bspw. infolge des brennstoffabhängigen Benchmarks)
 - Emissionsminderung innerhalb des Emissionshandels und in den nicht integrierten Bereichen muss zu gleichen Grenzvermeidungskosten führen
 - Die Einspeisung von CO₂-freiem Strom aus Erneuerbaren müsste bei der Festlegung der zuzuteilenden Zertifikaten berücksichtigt werden

Technologieförderung

- Heikles gebiet
- Kostet Geld
 - Verweis auf Karlsruher Analysen

Das Instrument des Zertifikatehandels

□ Ausprägung der Charakteristika

- Der Grad der Zielerreichung steht - hinreichende Kontrollinstanzen und Sanktionsmechanismen vorausgesetzt - bereits mit Implementierung fest
 - Sehr hohe ökologische Treffsicherheit

- Emissionsminderung wird dort erbracht wo dies mit den geringsten Kosten möglich ist
 - Sehr hohe Kosteneffizienz

Der Europäische CO₂-Emissionshandelsmarkt

□ CO₂-Budget in Deutschland 2005-2007

- Energie und Industrie: 503 Mio. t (2000-2002: 505 Mio. t)
- Haushalte, GHD und Verkehr: 356 Mio. t (2000-2002: 358 Mio. t)
- Nicht-CO₂: 123 Mio. t (2000-2002: 127 Mio. t)

□ Budget für vom Emissionshandel erfasste Anlagen

- 499 Mio. t (Reduktion um ca. -0,4% gegenüber 2000-2002 (501 Mio. t))

□ Aufgrund von Sonderzuteilungen („early actions“) kann sich bei einigen Akteuren eine Reduktion von bis zu 7,4 % ergeben (Erfüllungsfaktor: 0,926 %)

Merit-Order

- ❑ Einfluss auf die Preise für CO₂-Emissionsrechte
 - Abhängig von Veränderungen in der Merit-Order

Probleme des deutschen NAP

- Einpreisung der CO₂-Kosten trotz Gratisvergabe (?)
- Ex post-Anpassung und 60 % Regelung
- Partiiell brennstoffabhängiger Benchmark bei Neuanlagen
- Übertragungsregel
- Optionsregel
- Anlagenbegriff
- Unzureichende Anbindung an Minderungspotenziale außerhalb Europas
- Allokationsregeln gelten für unterschiedliche Planungszeiträume
- Hohe administrative Kosten für kleine Emittenten

Zur Emissionsminderung durch das EEG

	Wirkungs- grad (%)	SO₂ (g / kWh_{el})	NOx (g / kWh_{el})	Staub (g / kWh_{el})	CO₂ (g / kWh_{el})
Steinkohle	45	ca. 0,45	ca. 0,5	ca. 0,1	ca. 750
Gas (GuD)	59	-	ca. 1	-	ca. 350

Interaktionen zwischen EEG und Emissionsrechtehandel auf Unternehmensebene

- ❑ Bau einer Anlage, die unter das EEG fällt

- ❑ Reduktion der Betriebsweise einer Anlage die unter den Emissionshandel fällt (momentan bis maximal 60 % der Produktion im Basisjahr)
 - Verkauf der überschüssigen Emissionszertifikate möglich

- ❑ Doppelförderung möglich

Gründe an der Förderung Erneuerbarer Energien festzuhalten

- ❑ Beschäftigungseffekte (?)
 - Negativer Budgeteffekt in Folge der Einspeisevergütung

- ❑ Reduktion von Schadstoffemissionen (?)
 - Nachgeschaltete Rauchgasreinigungsanlagen mit geringen Grenzvermeidungskosten

- ❑ **Erhöhung der langfristigen Versorgungssicherheit und des langfristigen Klimaschutzes**
 - Senkung der Kosten durch Lerneffekte
 - Voraussetzung für langfristige Konkurrenzfähigkeit
 - Chance für Technologieexport

Interaktionen aufgrund der CO₂-freien Elektrizitätsbereitstellung durch EEG-Anlagen

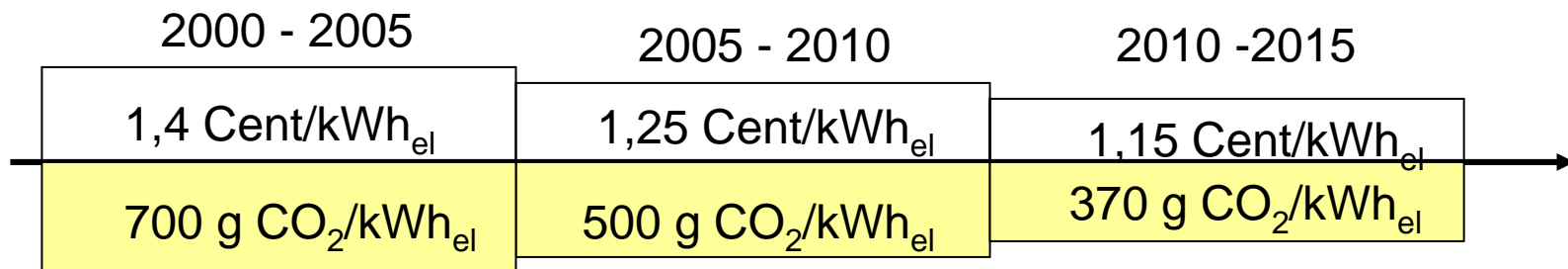
- ❑ Durch den Emissionshandel sind die CO₂-Emissionen infolge der Obergrenze auf 2190 Mio. t/a in Europa gedeckelt
 - Kontroll- und Sanktionsmechanismen vorausgesetzt wird diese Obergrenze eingehalten
 - Unabhängig von der Existenz des EEG
 - Das bedeutet, dem EEG kann bei Koexistenz mit einem CO₂-Emissionshandel kein CO₂-emissionsreduzierender Effekt zugeschrieben werden
 - Ausnahme: Elektrizitätsbereitstellung aus Erneuerbaren substituiert Bereitstellung aus Anlagen die nicht im Emissionshandel integriert sind

Nachfrageorientierte Technologiepolitik

- ❑ Gründe für solch eine nachfrageorientierte Technologiepolitik bei Erneuerbaren Energien
 - Technologische Neuerungen mit hohem Kostendegressionspotenzial
 - Systeminnovationen durch Erneuerbare Energien
 - Preissignale infolge anderer Instrumenten (bspw. des Emissionshandels) sind zu gering und undifferenziert (bspw. für die Fotovoltaik)

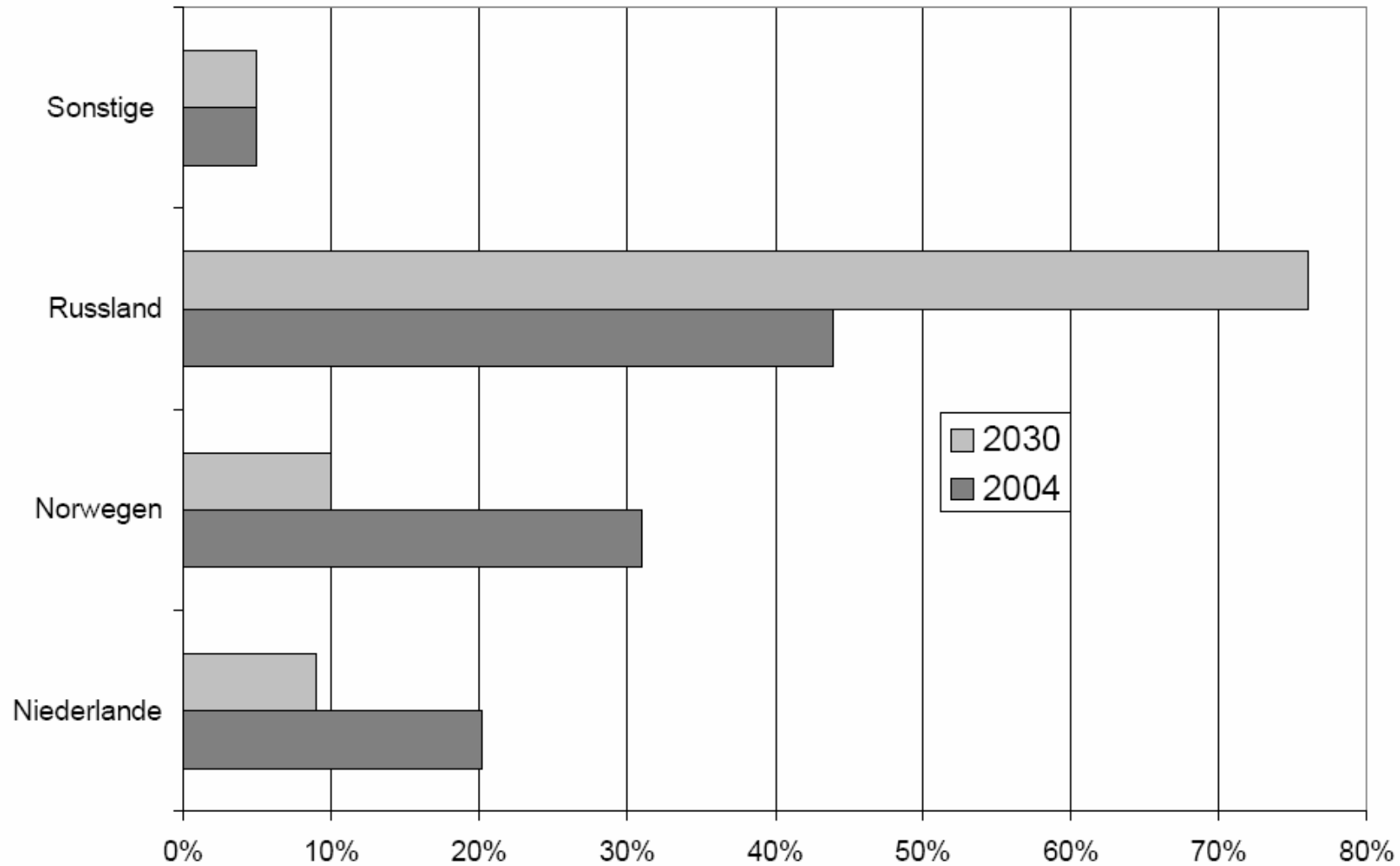
Modellergebnisse

- ❑ Bislang verdrängte Windenergie vor allem Strom aus Steinkohle-
kraftwerken
- ❑ Beim prognostizierten Anstieg der Windleistung verdrängt Windenergie
nun auch Strom aus Braunkohle-, Gas- und Kernkraftwerken



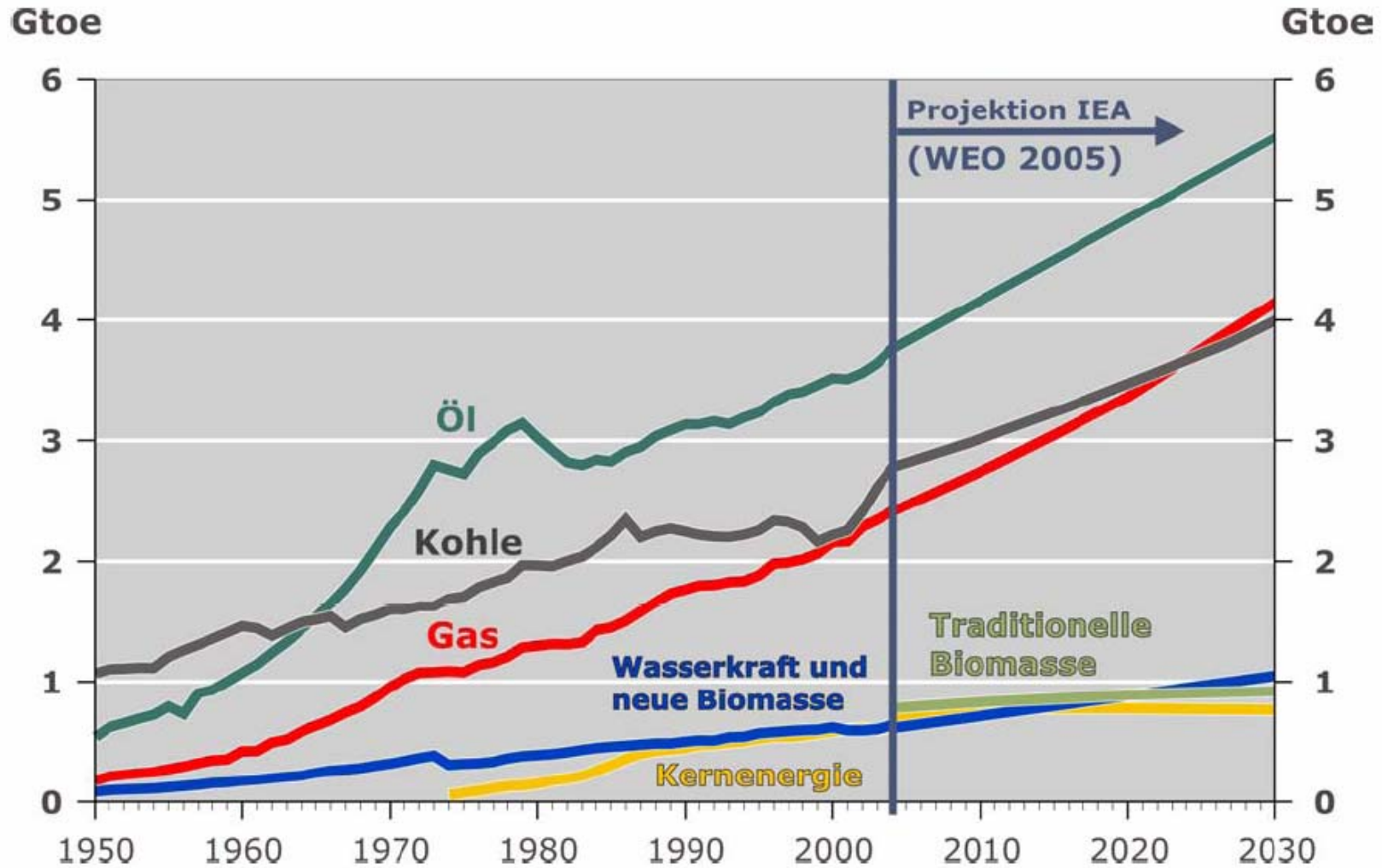
- ❑ CO₂-Minderung deutlich geringer als oftmals publiziert:
ca. 800 – 1000 g / kWh_{el} [ISI 2005]

Gasimporte in Deutschland im Jahre 2004 und 2030



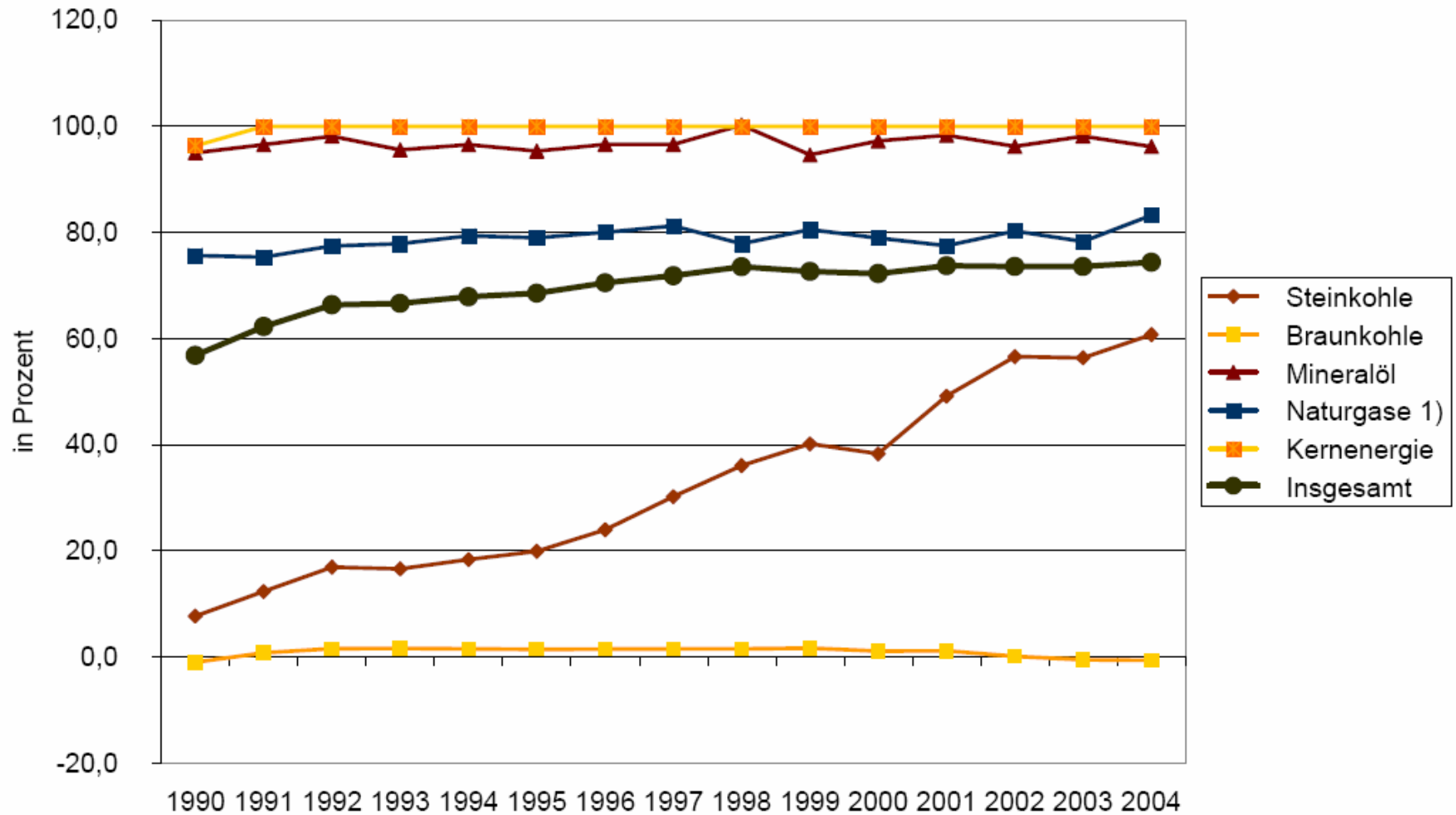
Quelle: DIW Berlin

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs weltweit



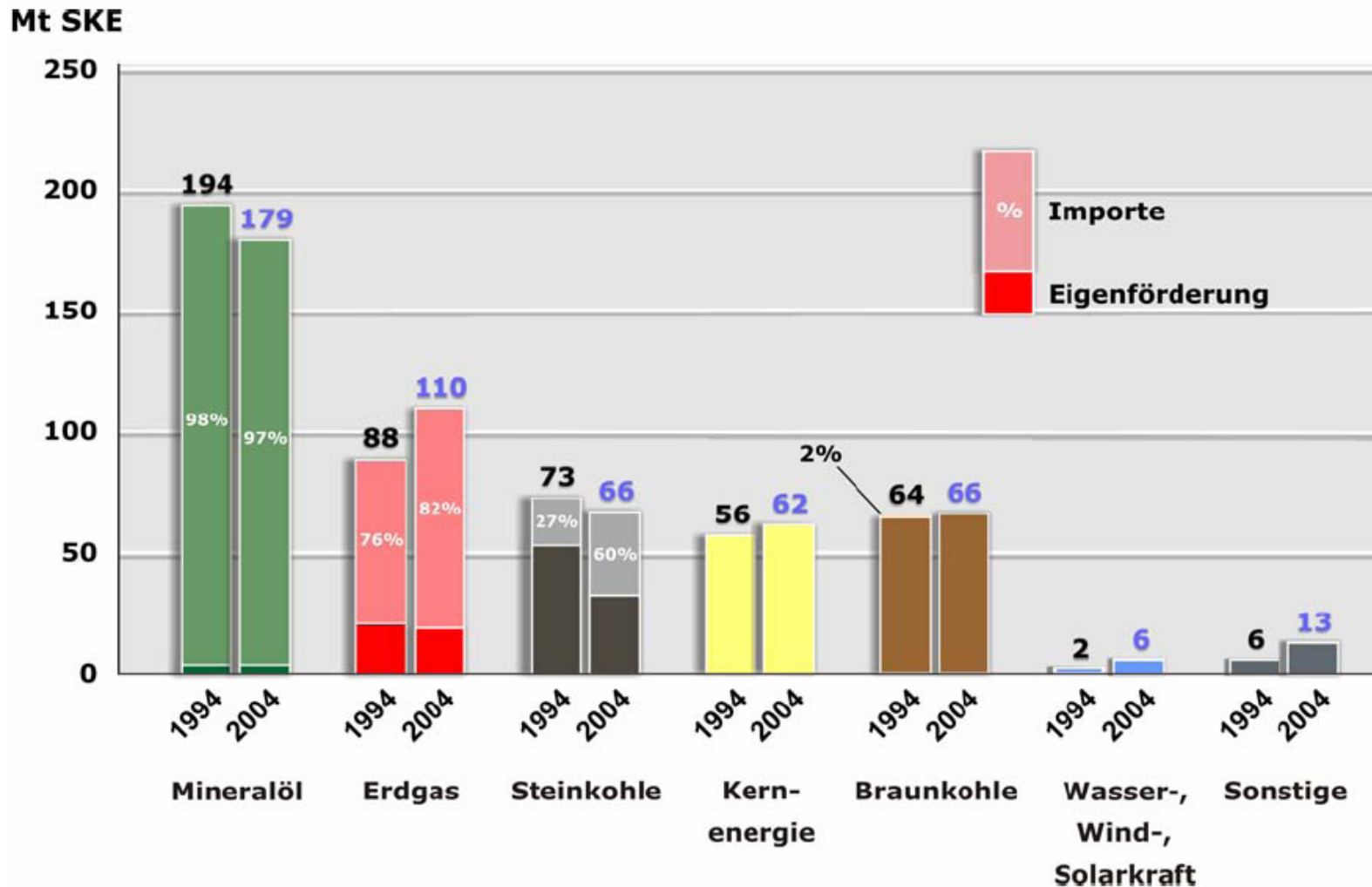
Quelle: BGR 2004

Energieimporte in Deutschland



Quelle: DIW Berlin

Importabhängigkeit und Selbstversorgungsgrad Deutschlands



Quelle: BGR 2004

Definitionen: Statische Reichweiten von Reserven und Ressourcen

- ❑ Die Reserven sind die bekannten, mit heutiger Technik wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen.

Synonym sind gebräuchlich: bauwürdig ausbringbare Reserven, sicher und wahrscheinlich gewinnbare Vorräte.

- ❑ Die Ressourcen sind entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar, oder nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Menge an Energierohstoffen.