

Energieversorgung in einer globalisierten Welt. Beitrag der Forschung am KIT

Colloquium Fundamentale 2008

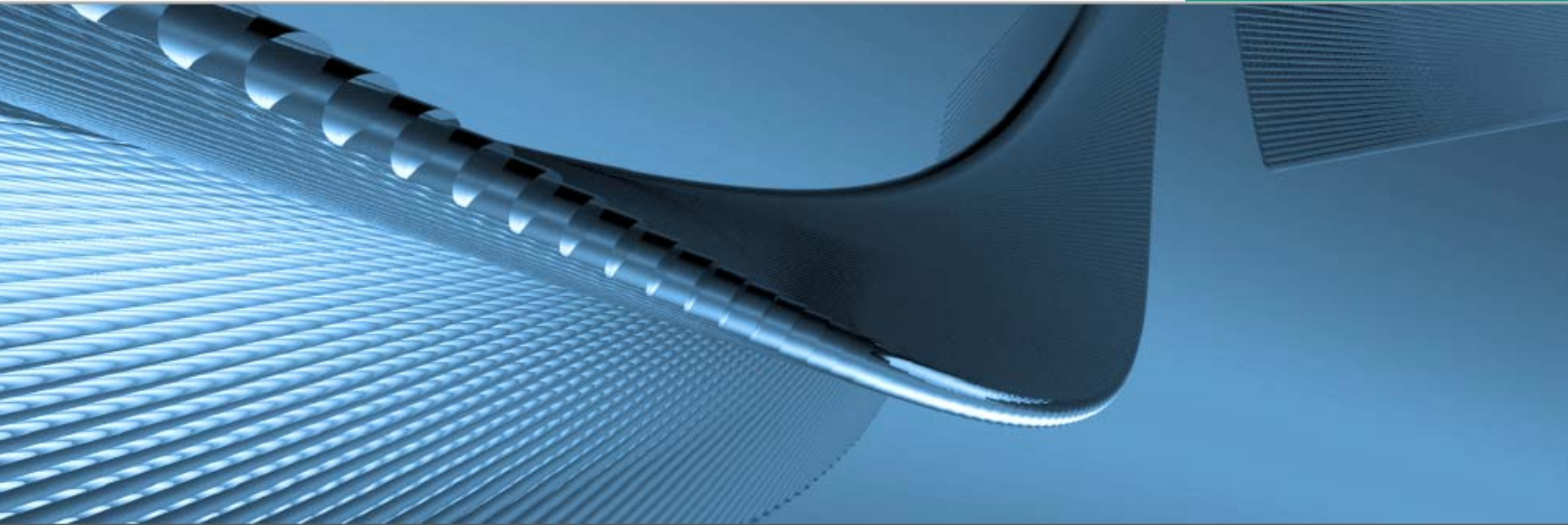
„Erleuchtung oder Blackout? Energieversorgung der Zukunft“

Dr. Peter Fritz

Mitglied des Vorstands Forschungszentrum Karlsruhe GmbH und
des Rektorats der Universität Karlsruhe (TH)

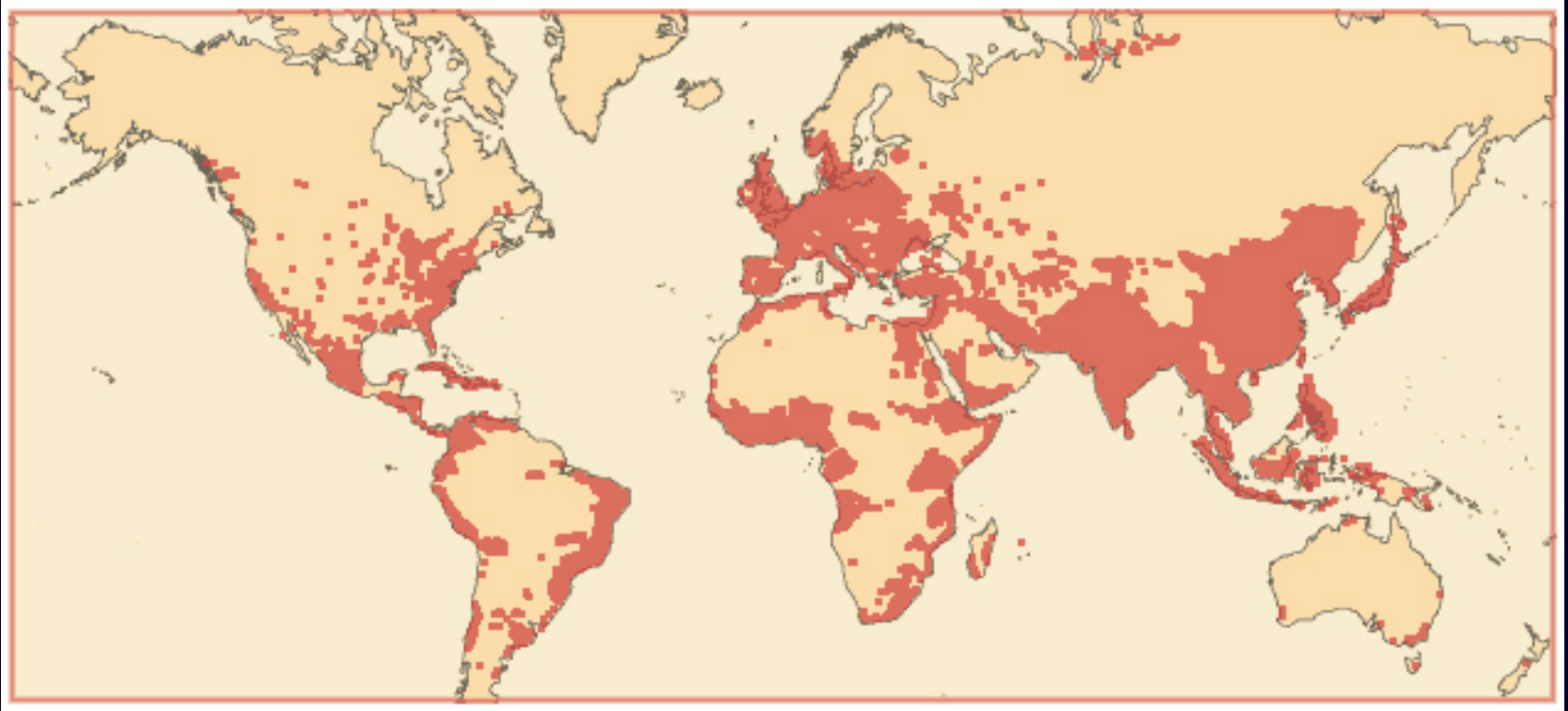


Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



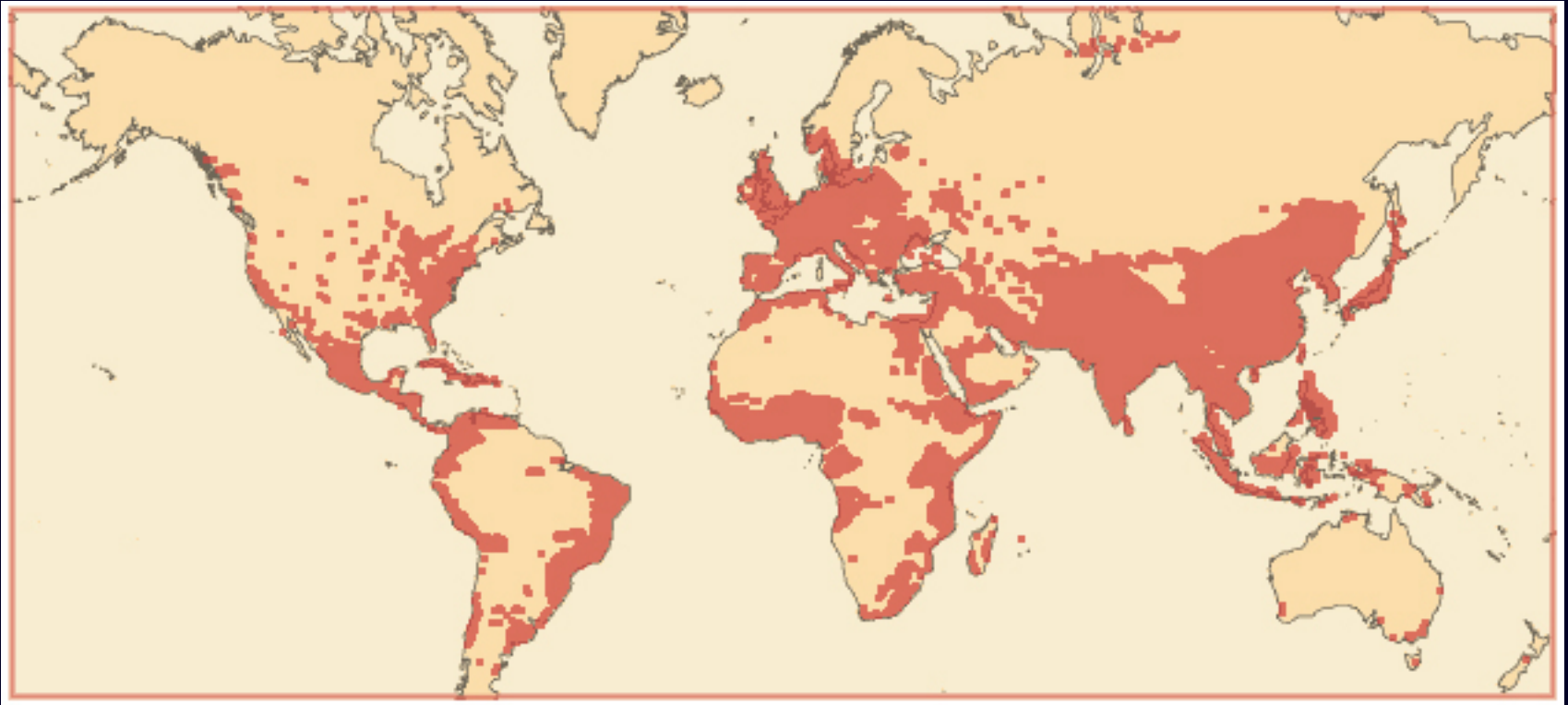
- **Einführung**
- **Szenarien verfügbarer, bisher genutzter Energiequellen**
- **Nutzung erneuerbarer Energiequellen**
- **CO₂- Reduktionsziele / Regionale Szenarien**
- **Energieforschung am**
Karlsruhe Institute of Technology
– Ein Ausblick–

1987



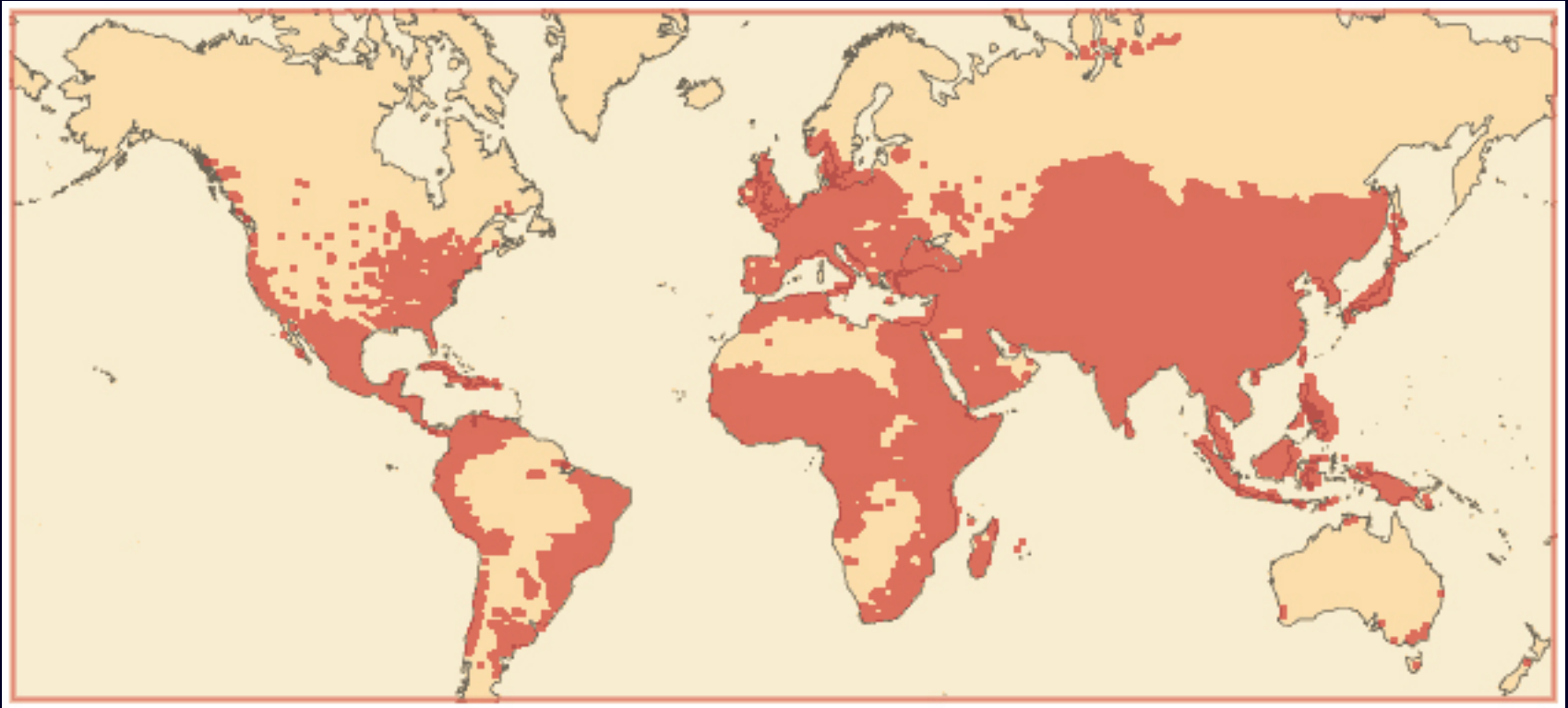
5 Milliarden

1999



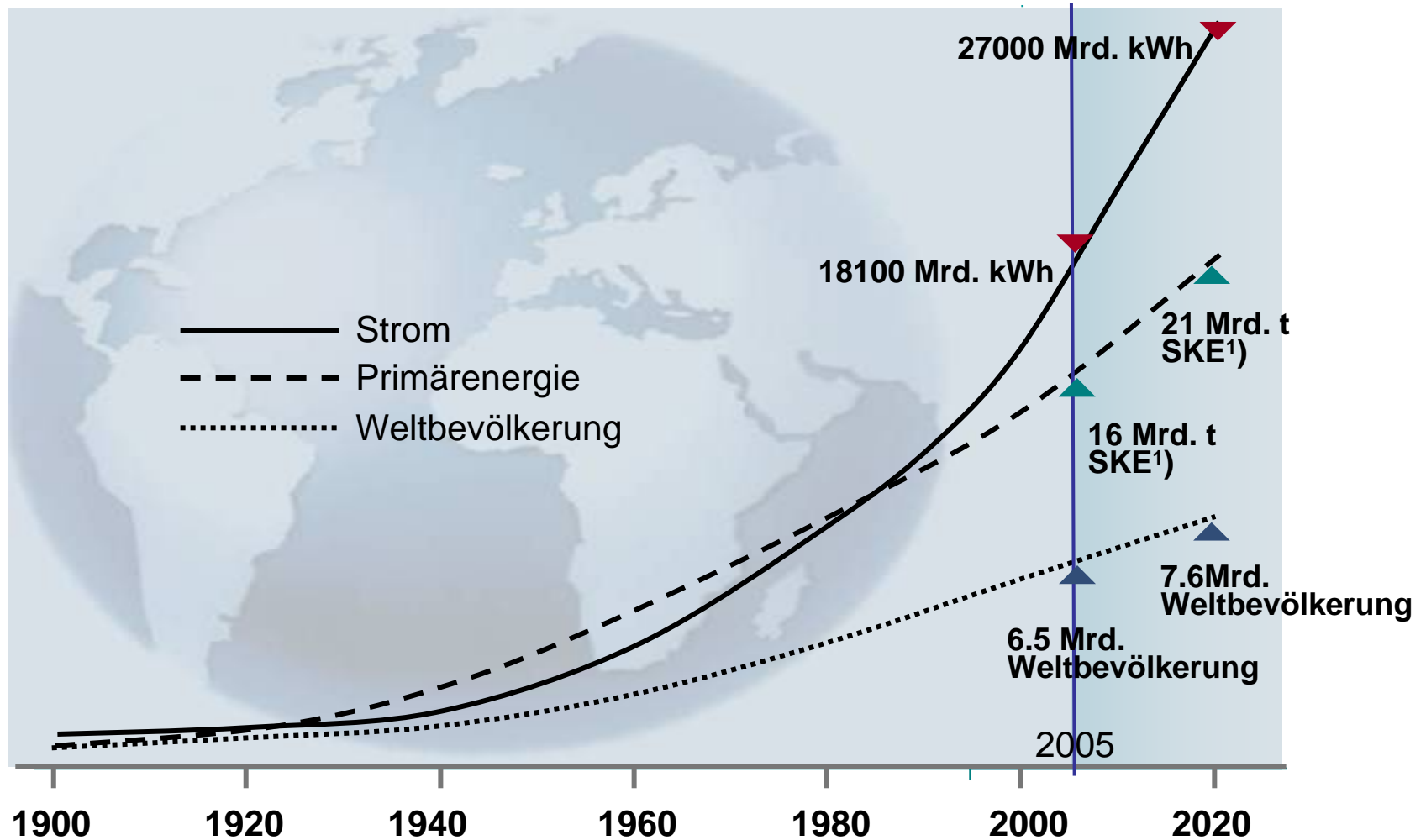
6 Milliarden

2050



9 Milliarden

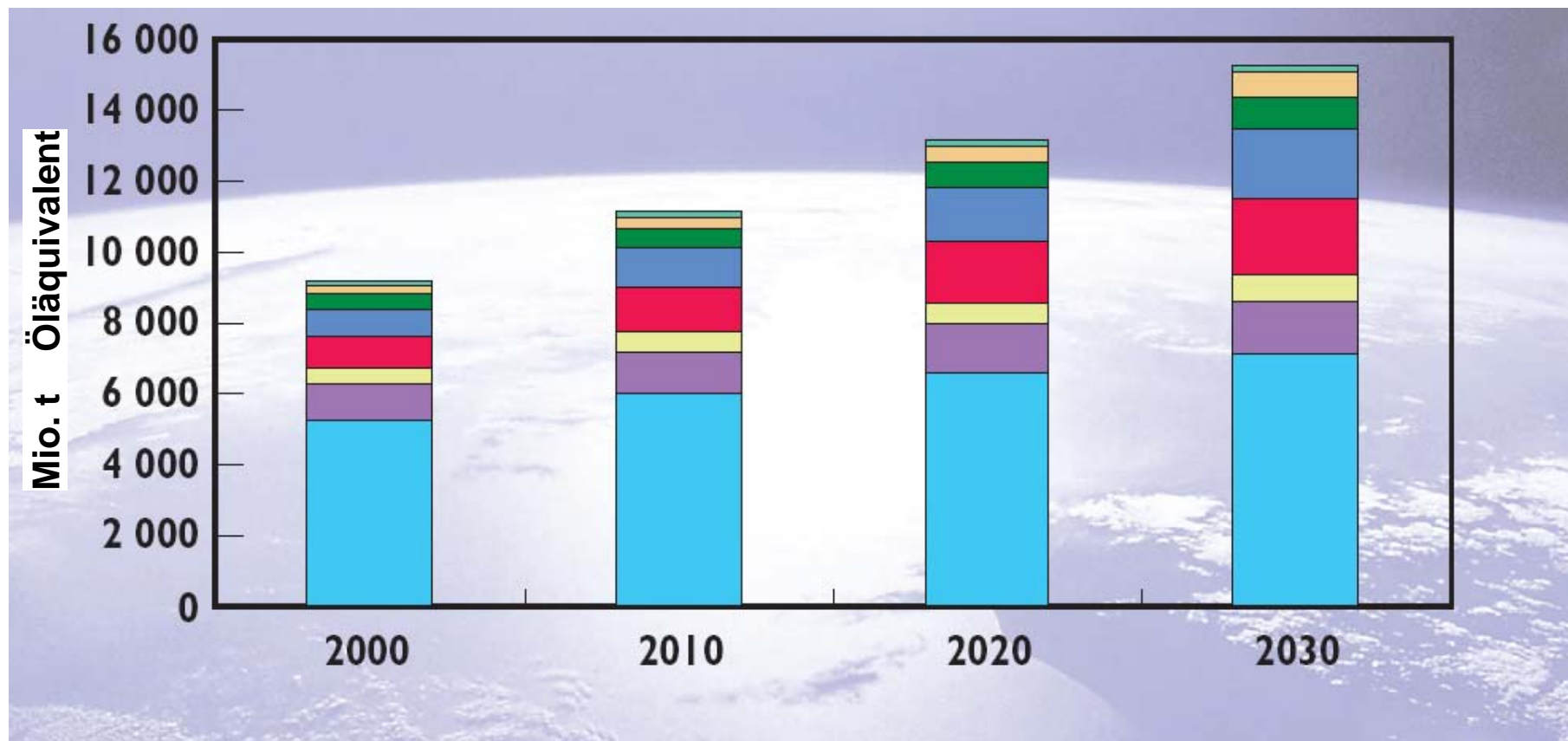
Bevölkerungswachstum, Primärenergieverbrauch und Stromverbrauch



1) Steinkohleeinheiten

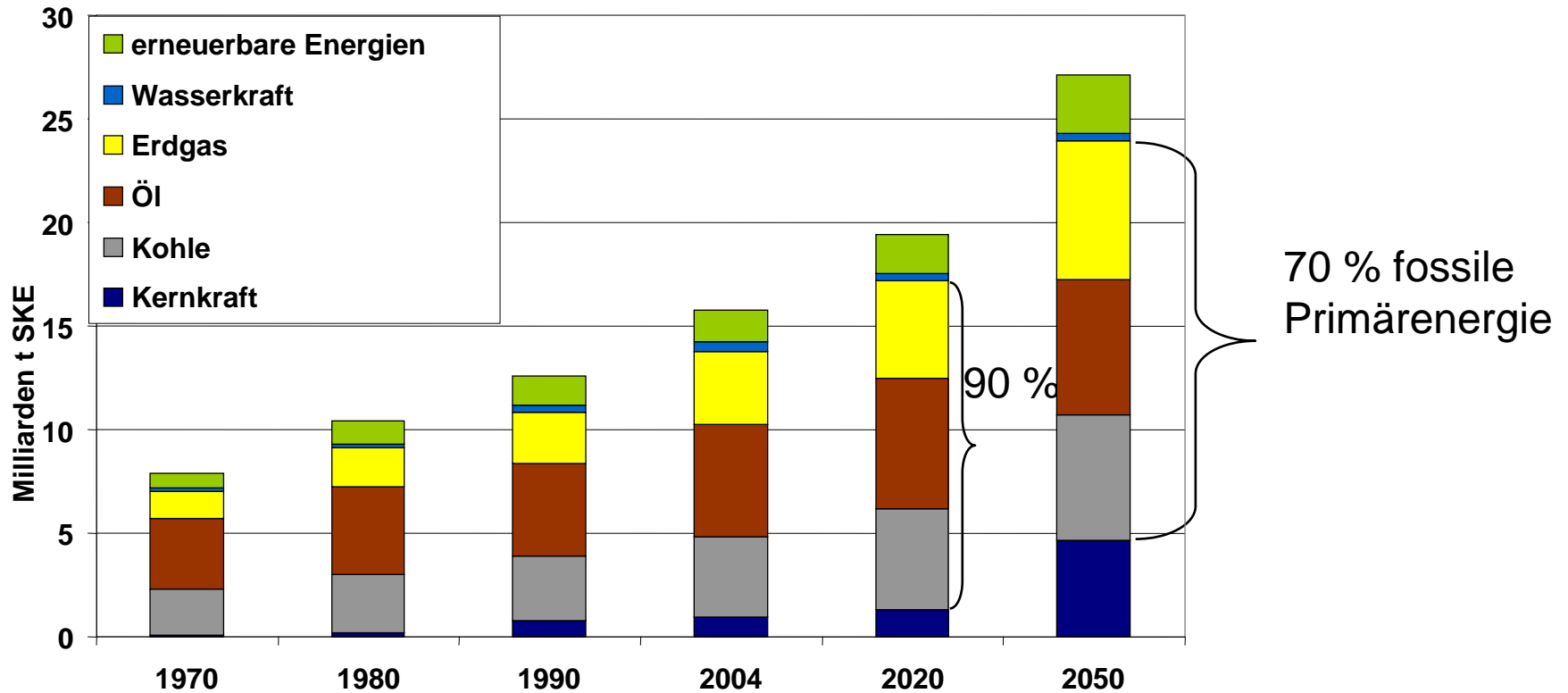
Quelle: WNA, UN, IEA, Siemens PG

Energieverbrauch nach Weltregionen 2000 - 2030



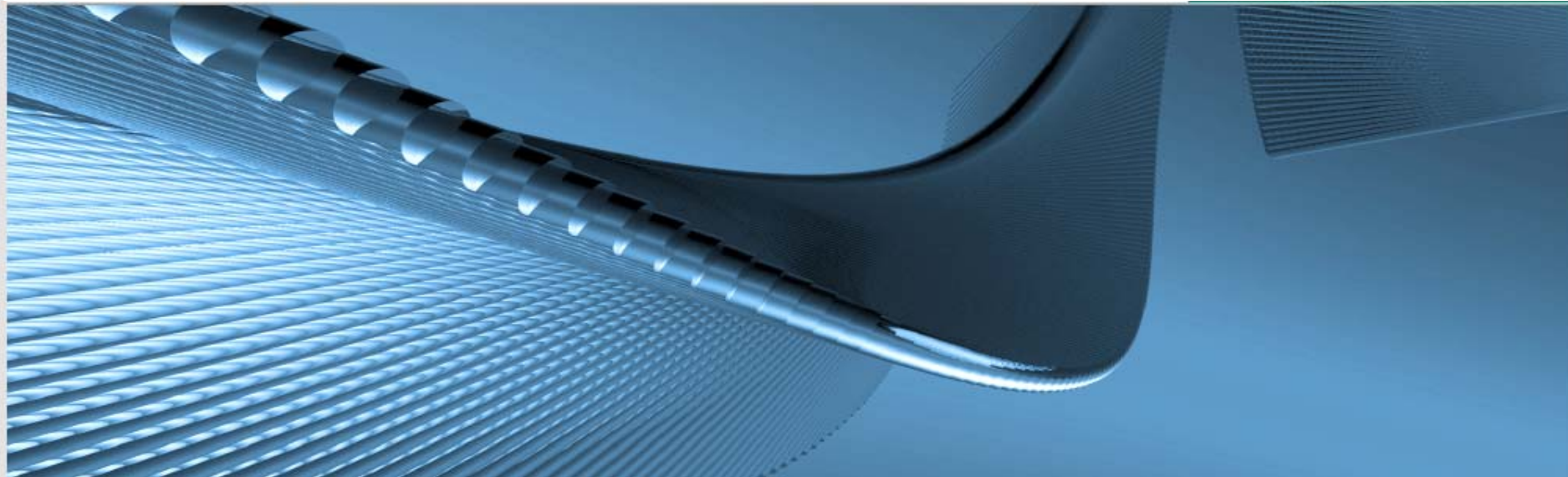
Quelle : IEA

Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Szenarien verfügbarer, bisher genutzter Energiequellen



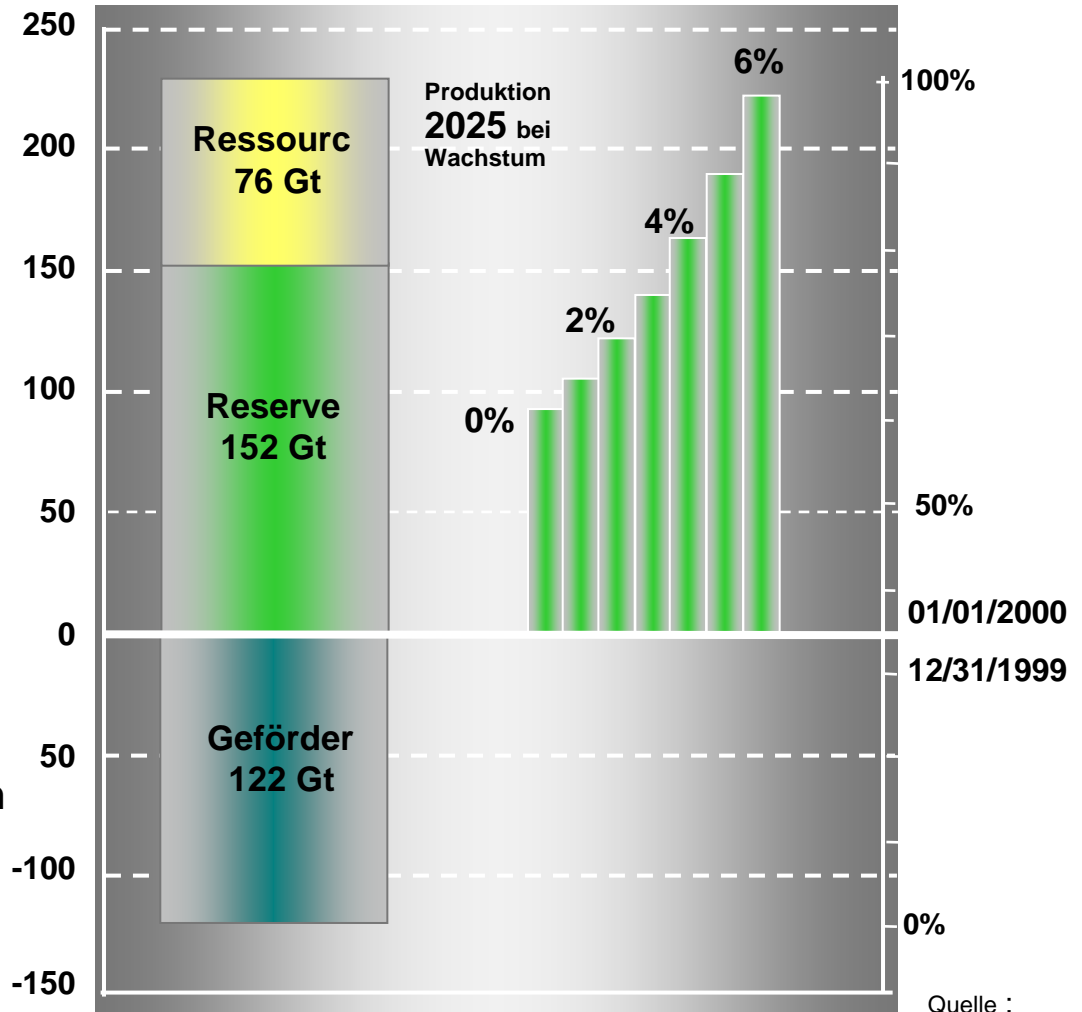


Konventionelles Erdöl

- Welt - Gesamtpotential und Verfügbarkeit

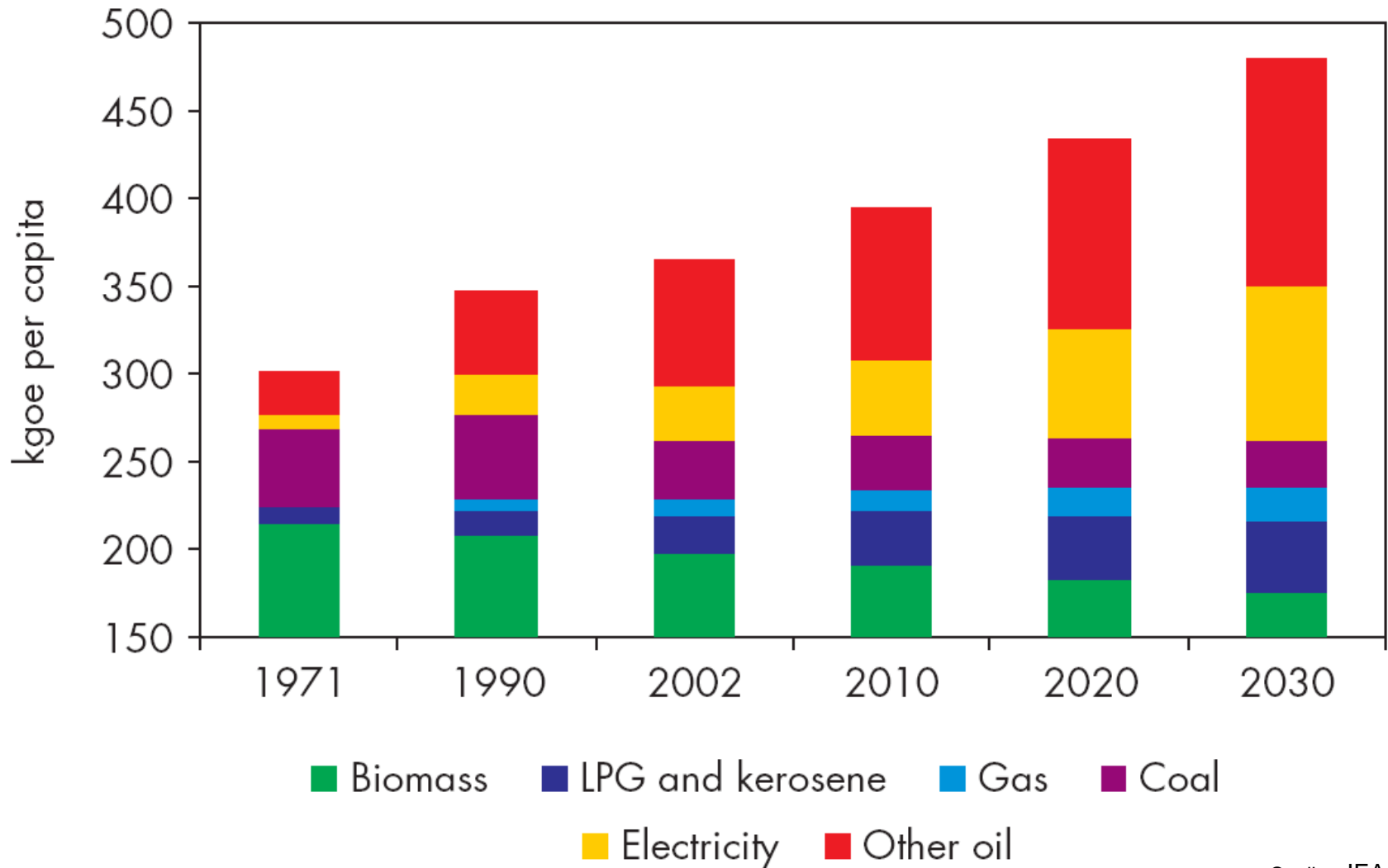
Ressourcen: Teil der Gesamtressourcen, der entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar ist, geologisch indiziert wurde, als In situ-Menge erfasst oder sonstig nicht dem Reservenbegriff zuzuordnen ist. Gt

Reserven: Teil der Gesamtressourcen, der mit großer Genauigkeit erfasst wurde und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden kann. Synonym sind gebräuchlich: bauwürdig ausbringbare Reserven, sicher und wahrscheinlich gewinnbare Vorräte

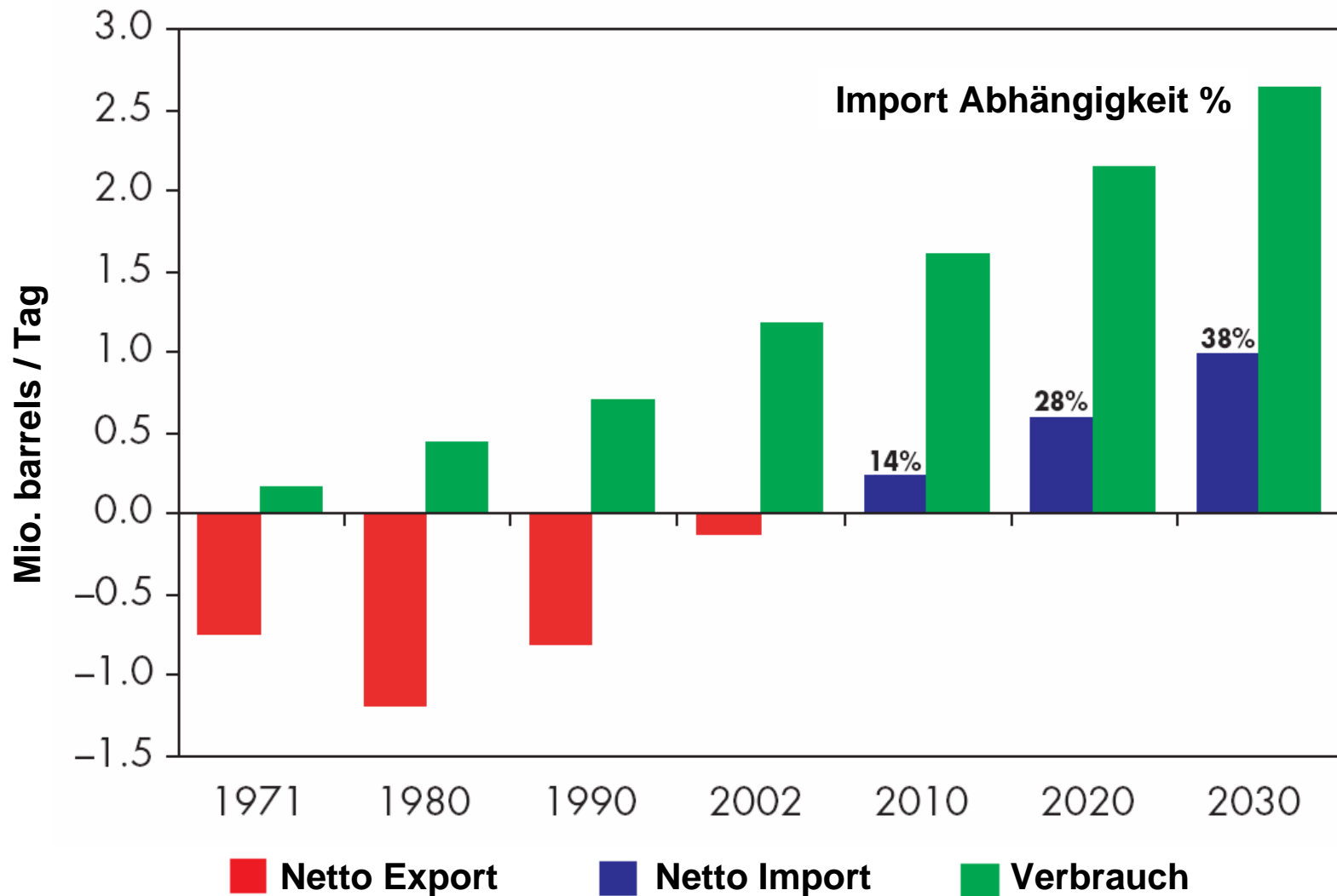


Quelle :

Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Person in Indien



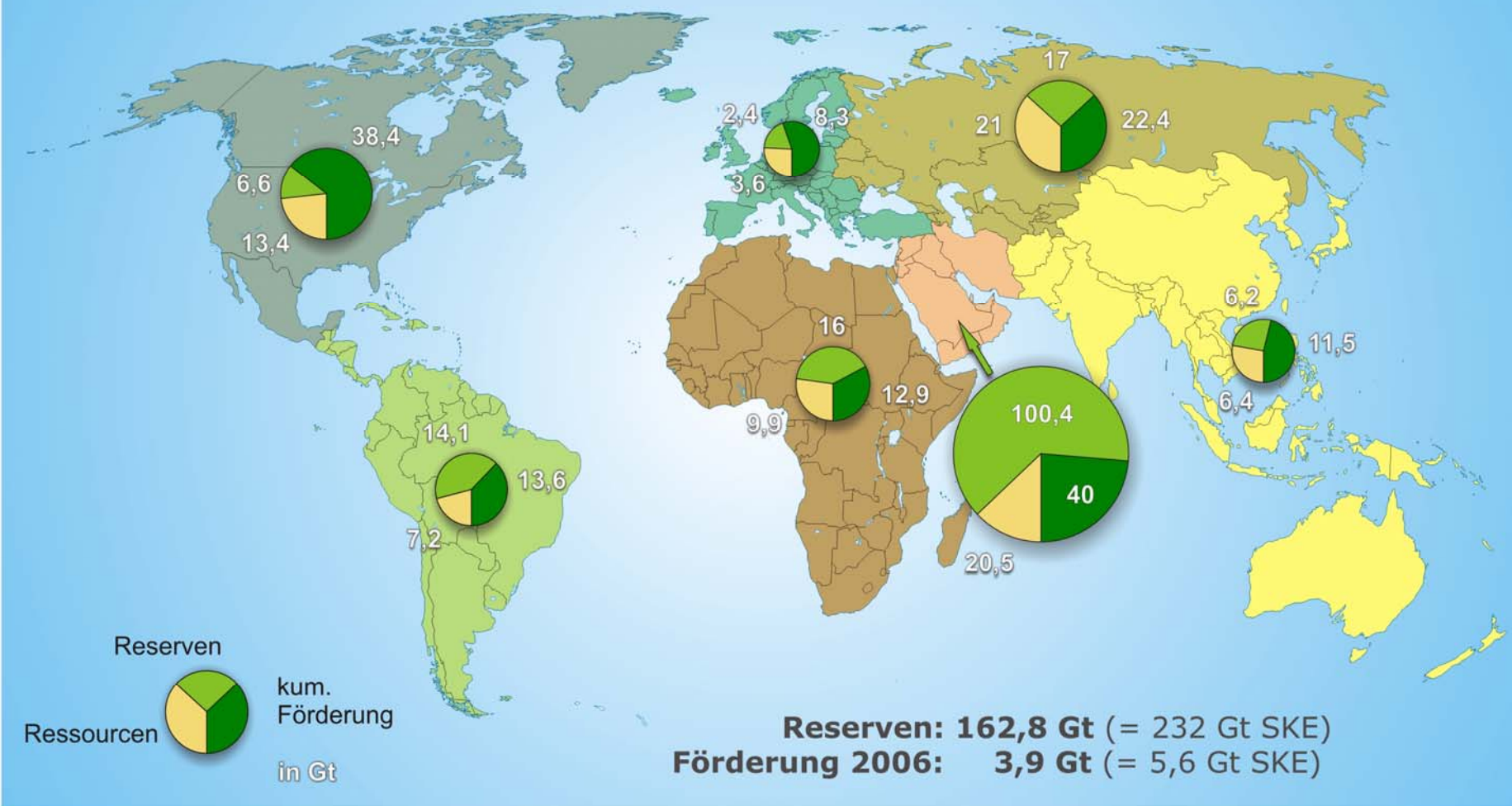
Quelle : IEA



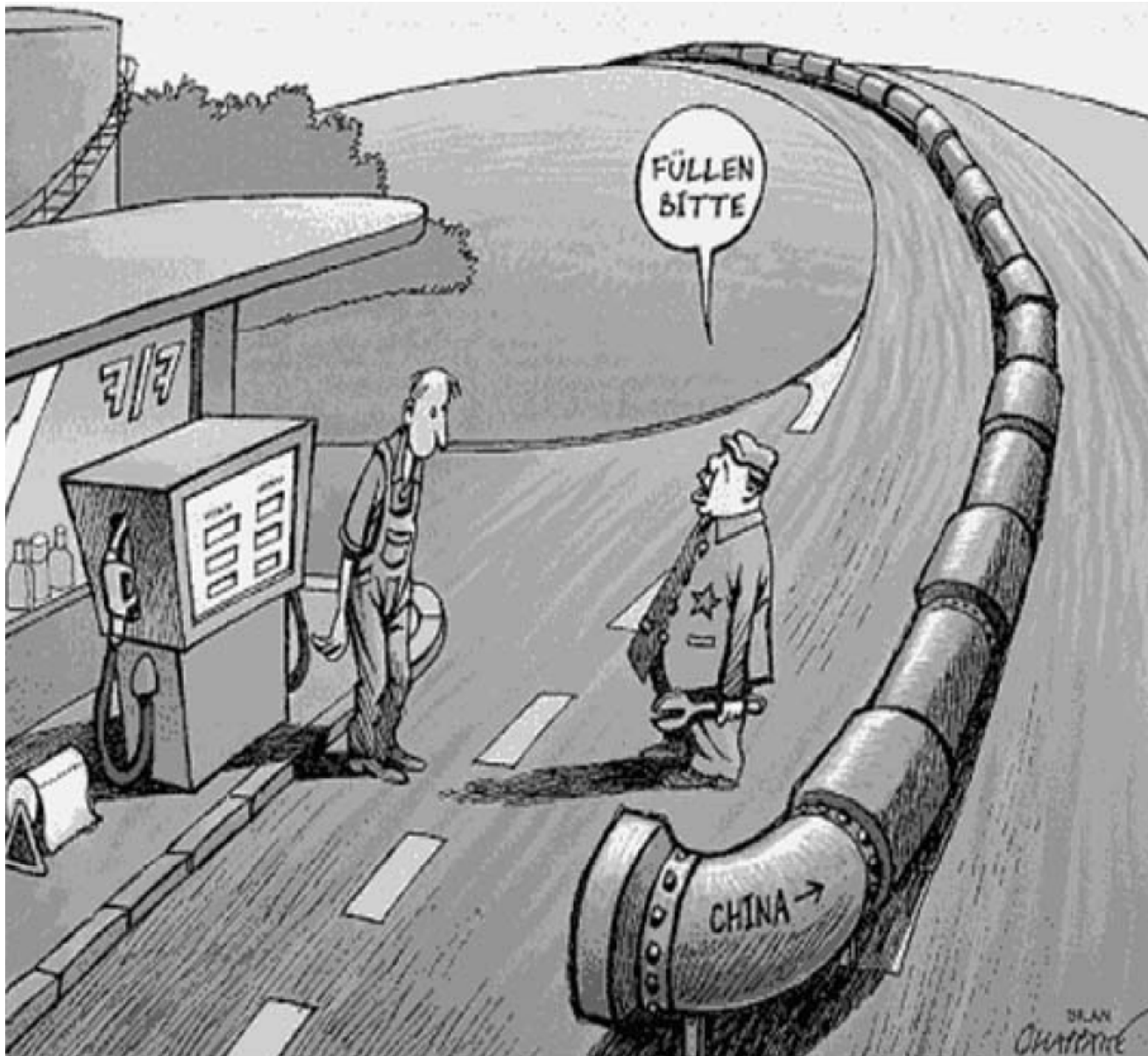
Quelle: IEA 2004

Das Gesamtpotenzial konventionellen Erdöls 2006 (392 Gt) differenziert nach Regionen

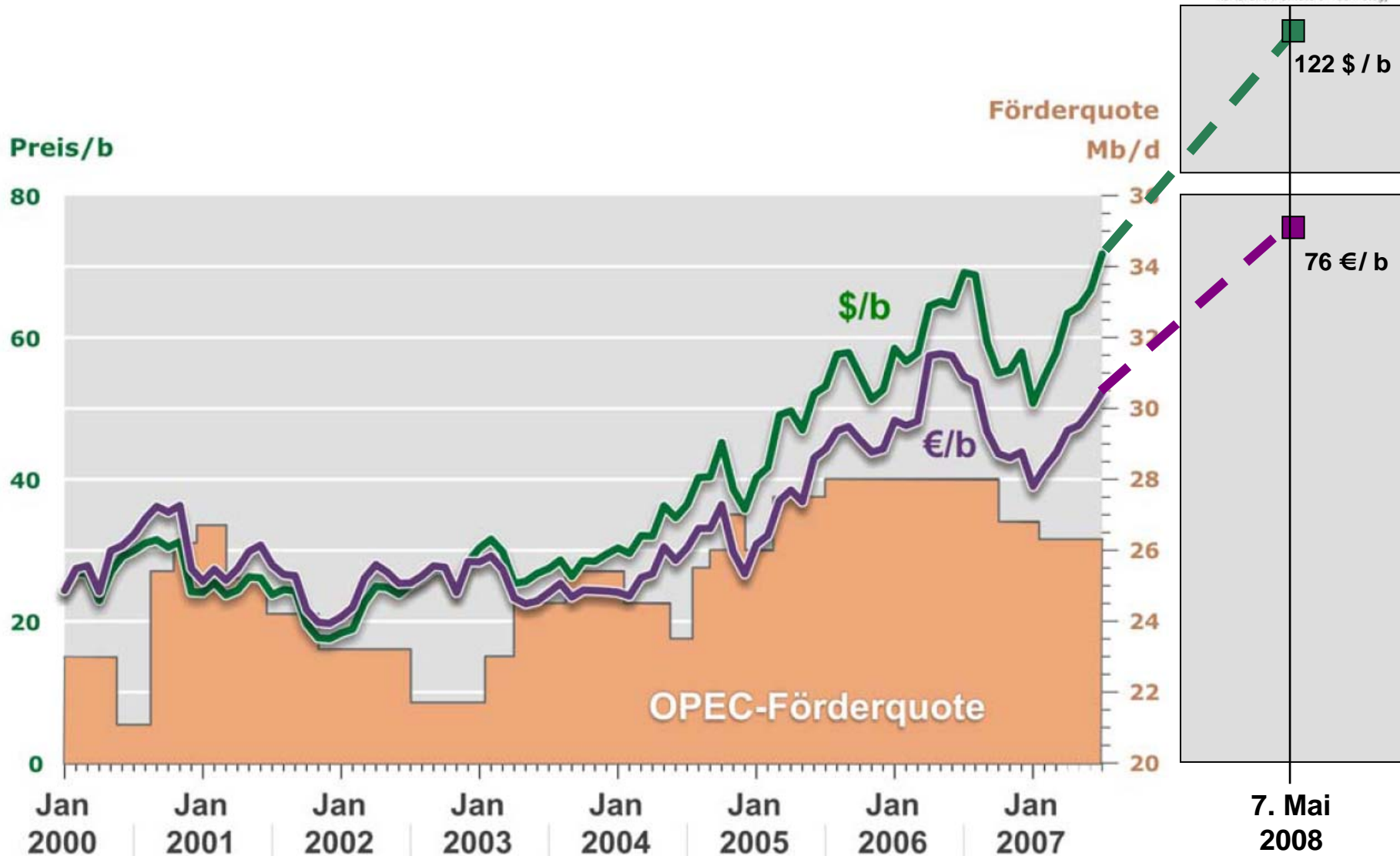
Erdöl



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

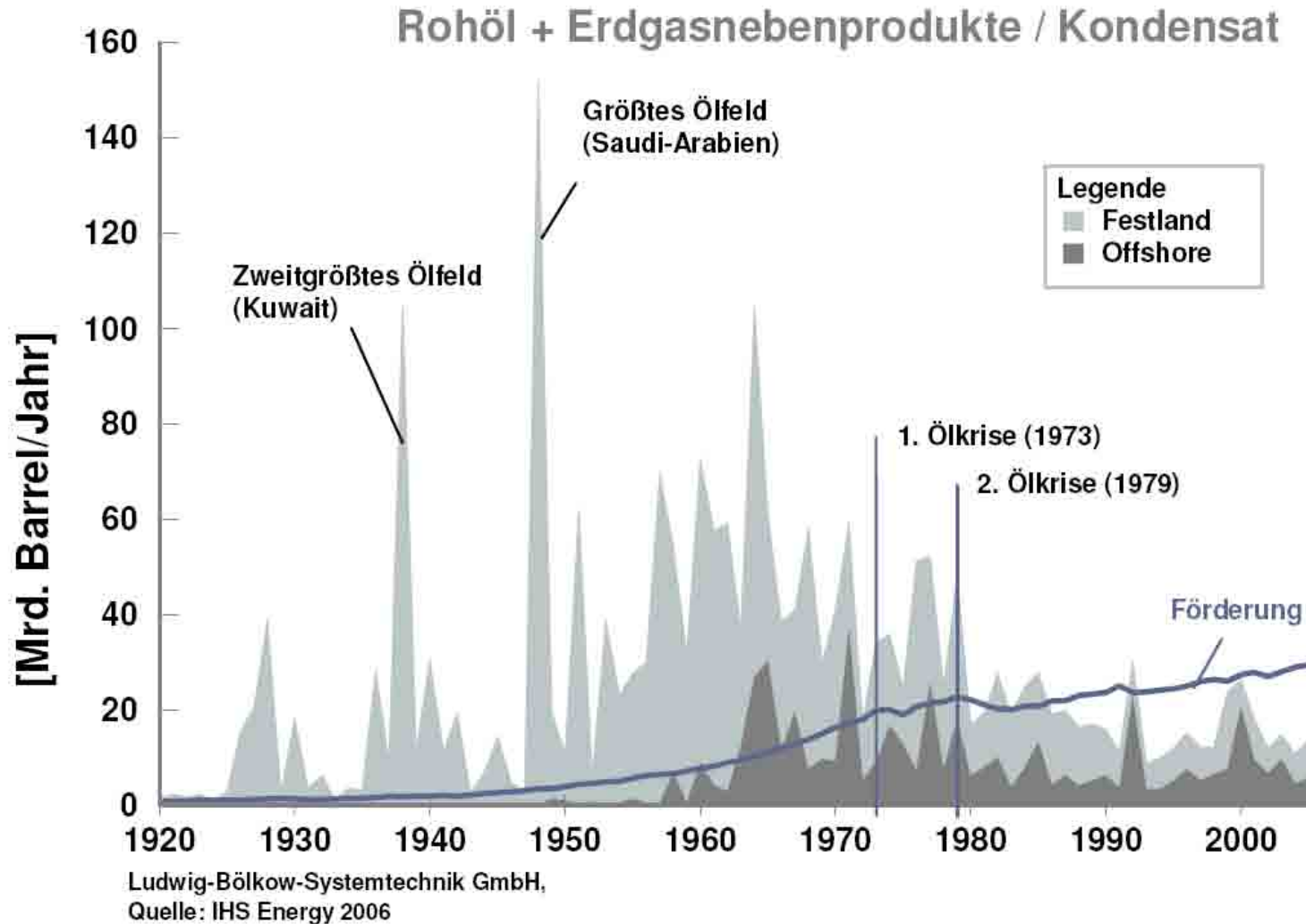


Entwicklung der Erdölpreise für OPEC Basket in \$ und Euro je Barrel sowie der OPEC-10 Förderquote (Monatsmittel)

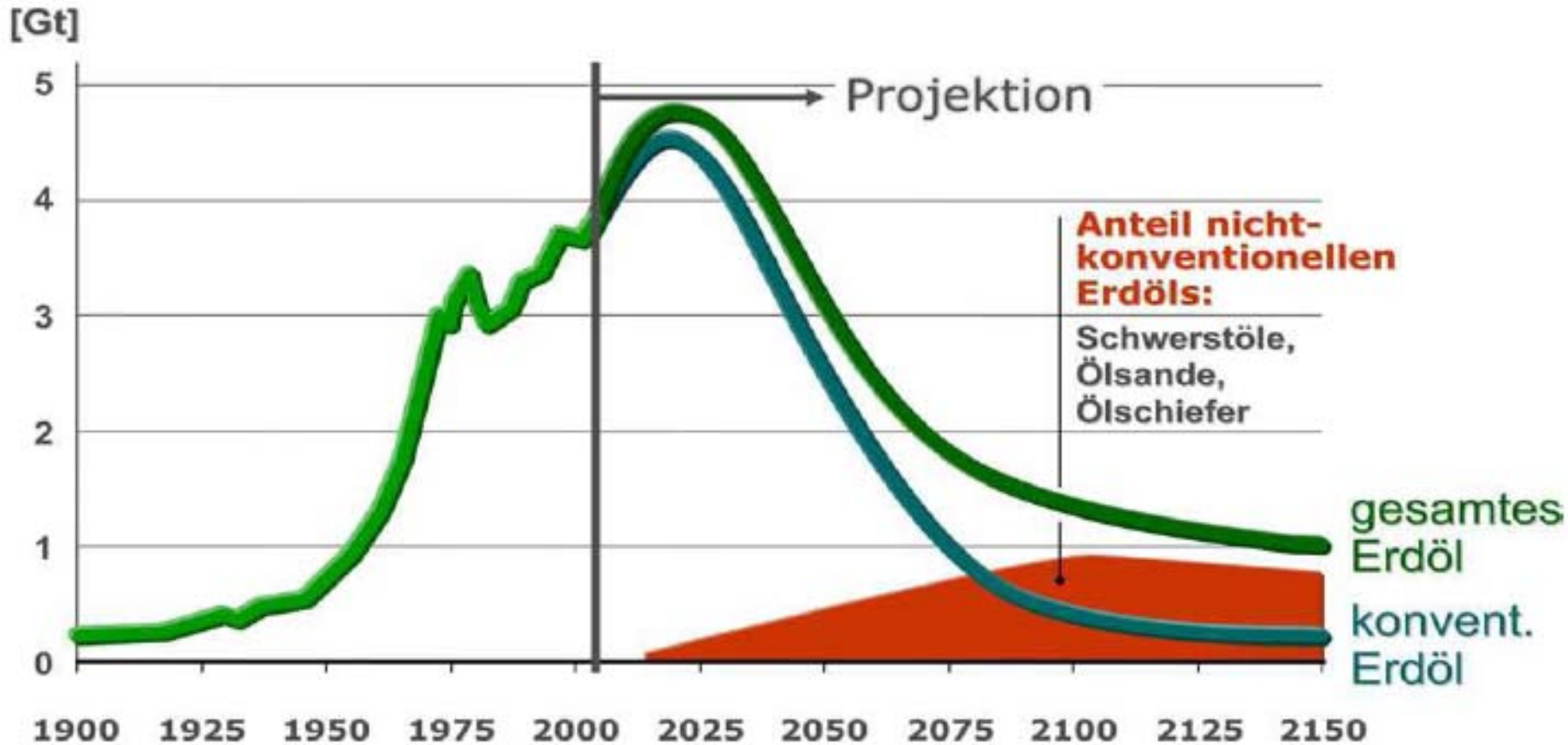


Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

Historischer Verlauf von Ölfunden (erwiesen und wahrscheinlich) und -förderung

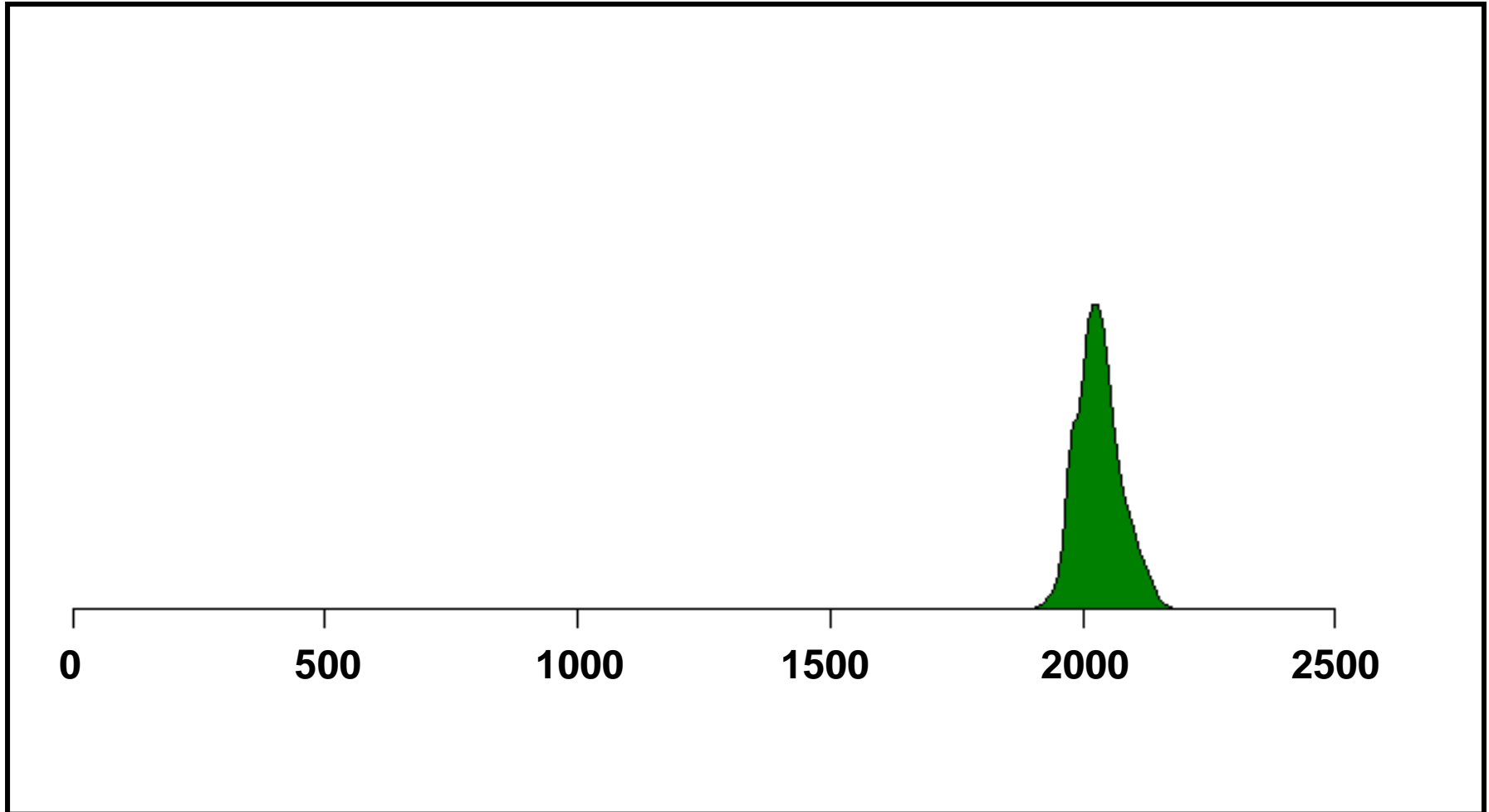


Die weltweite Erdölförderung von 1900 - 2150



Die weltweite Erdölförderung von 1900 bis 2050 – die historische Entwicklung und der Versuch eines Ausblicks
Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Das Erdölzeitalter im Zeitfenster von 2500 Jahren



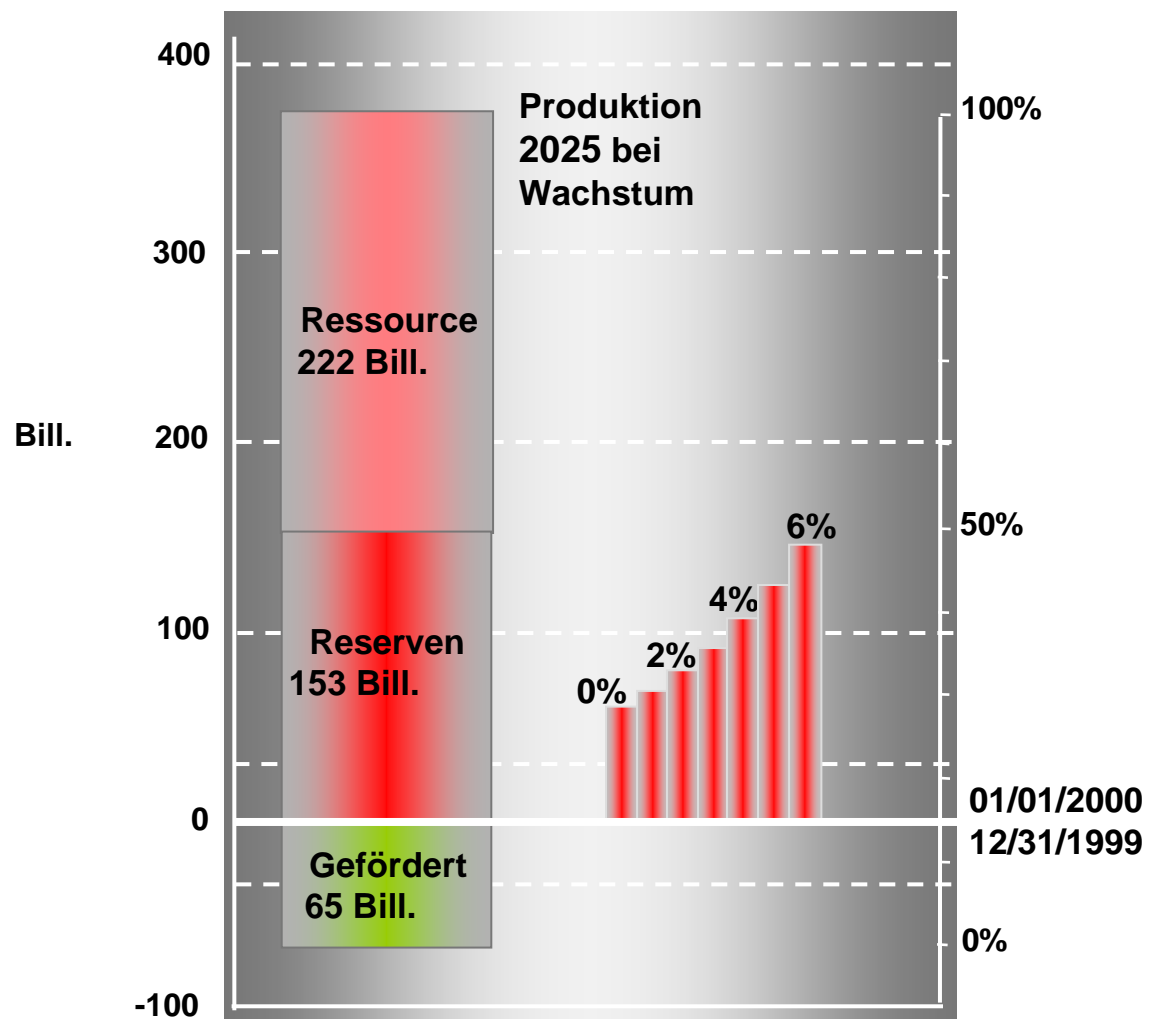
Quelle: BGR

Gas

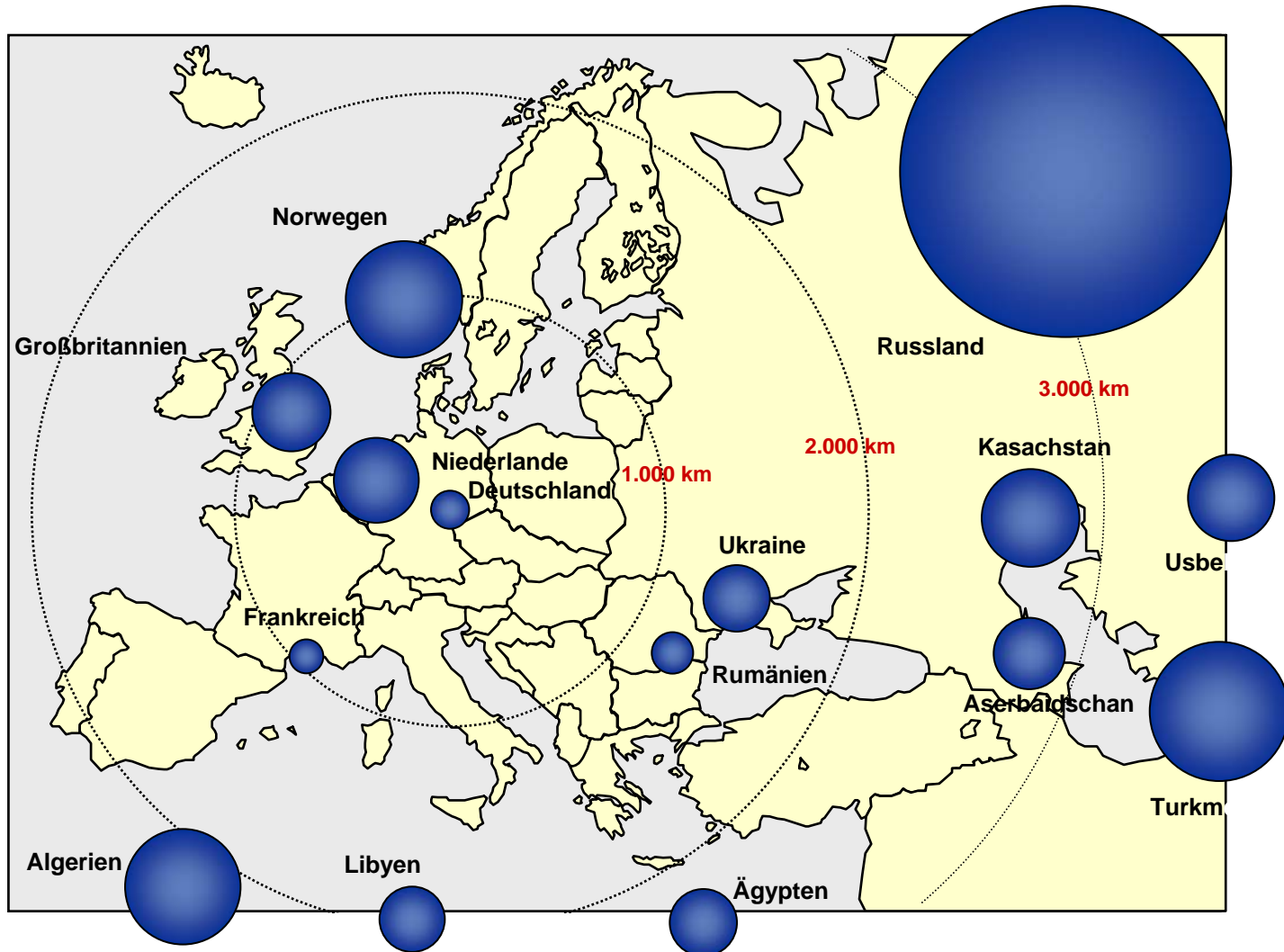


Konventionelles Erdgas

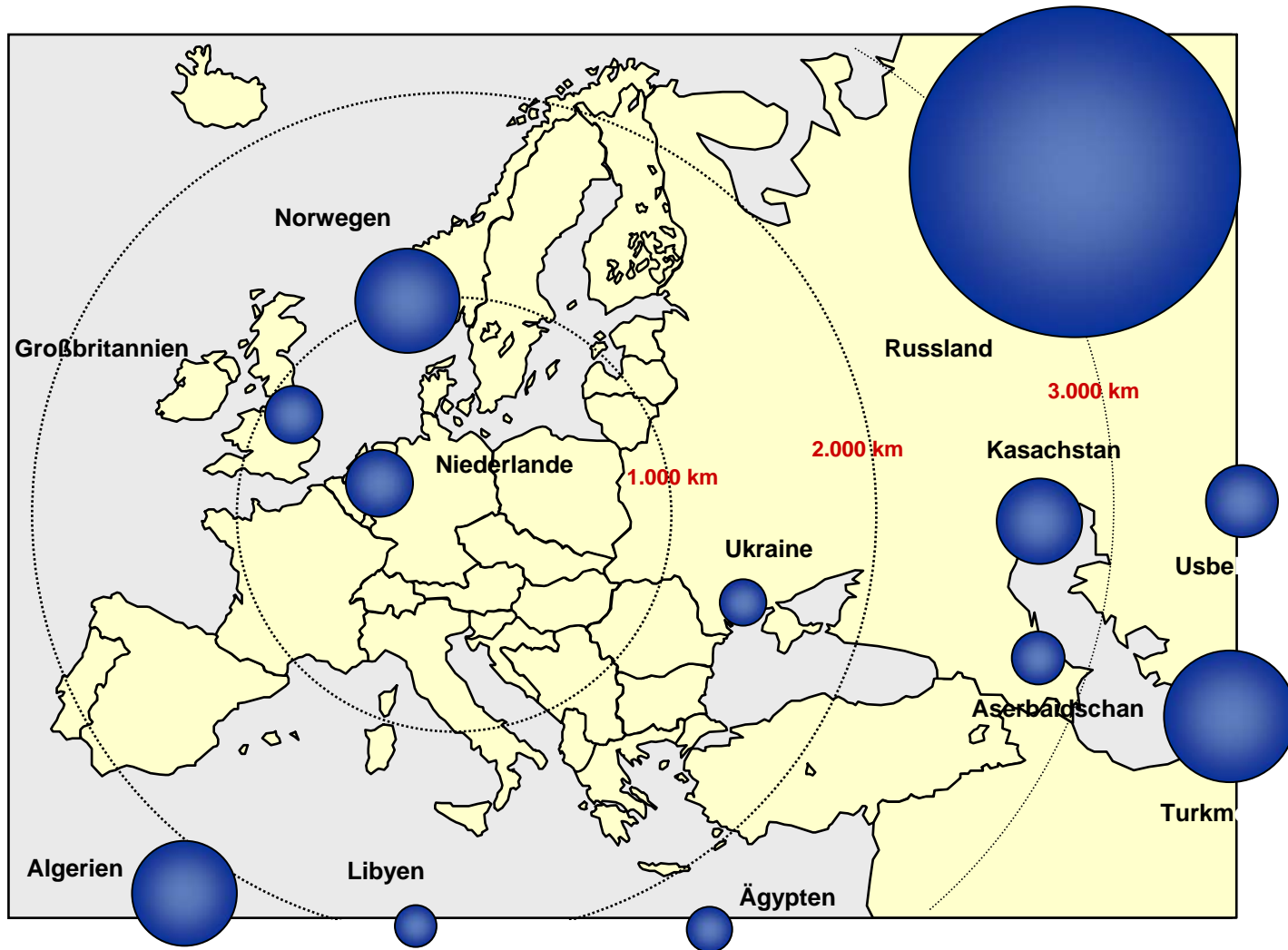
- Welt - Gesamtpotential und Verfügbarkeit



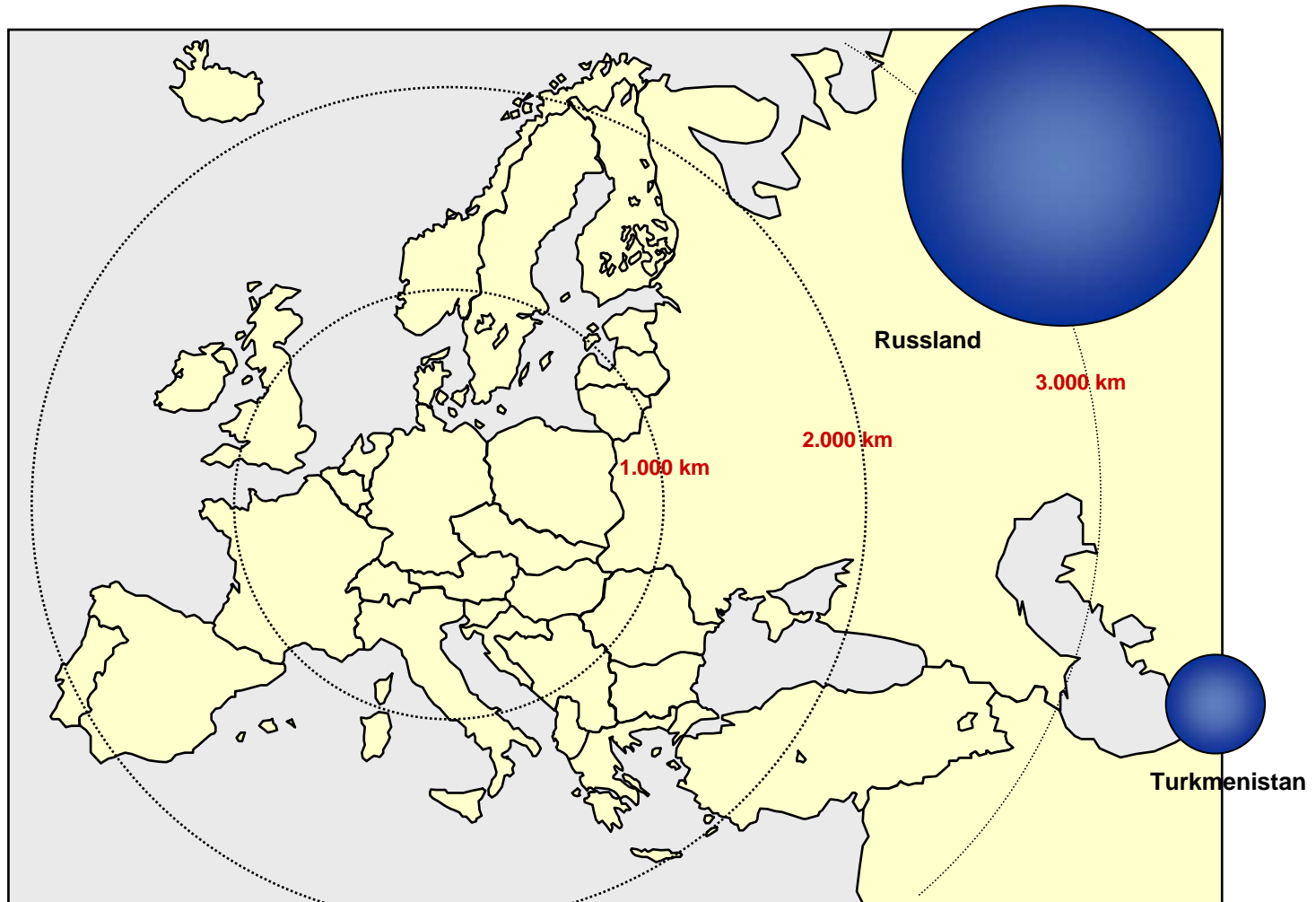
Quelle :



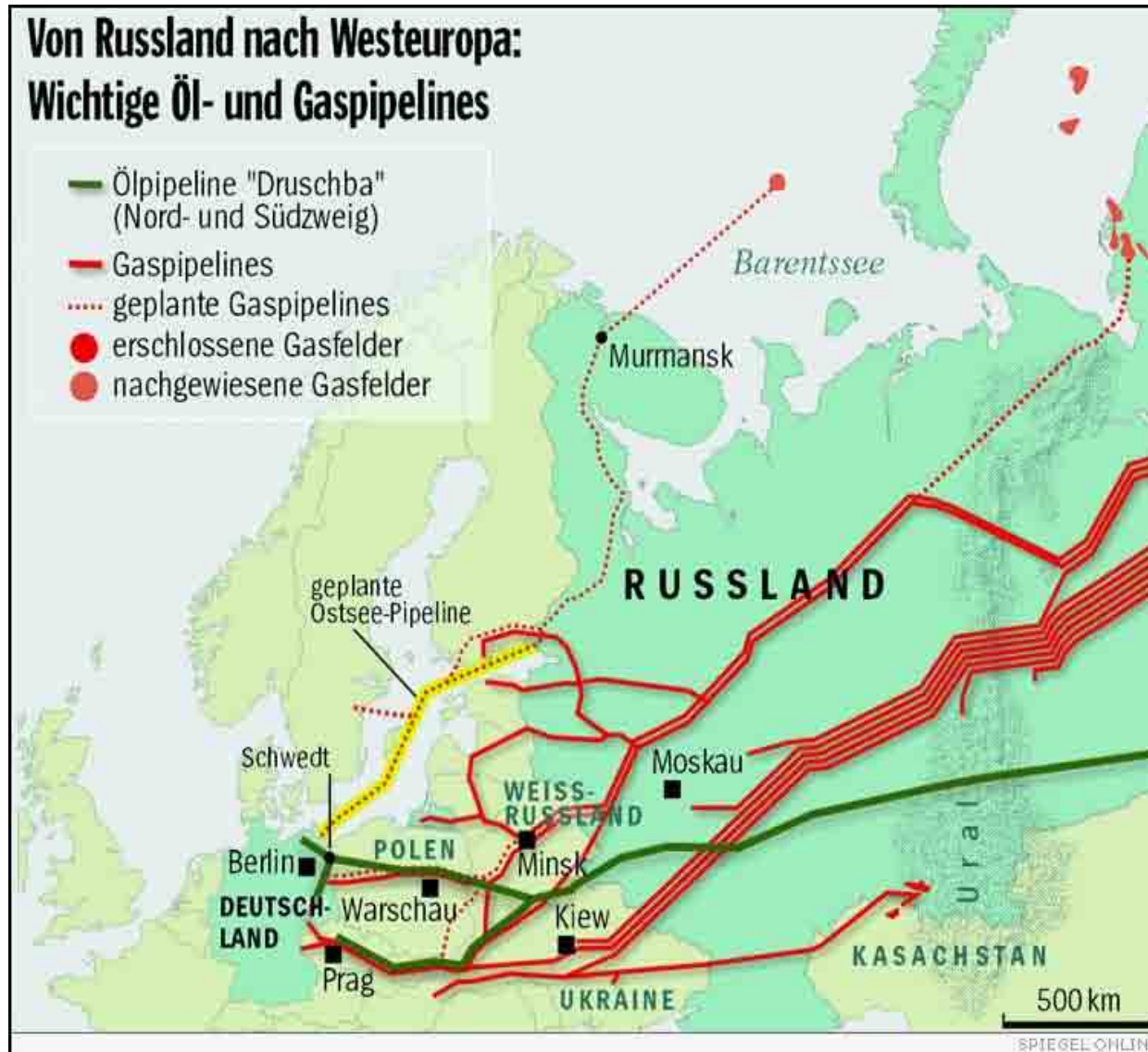
Datenquelle:
Prof. Vahrenholt,
RE Power Systems



Datenquelle:
Prof. Vahrenholt,
RE Power Systems

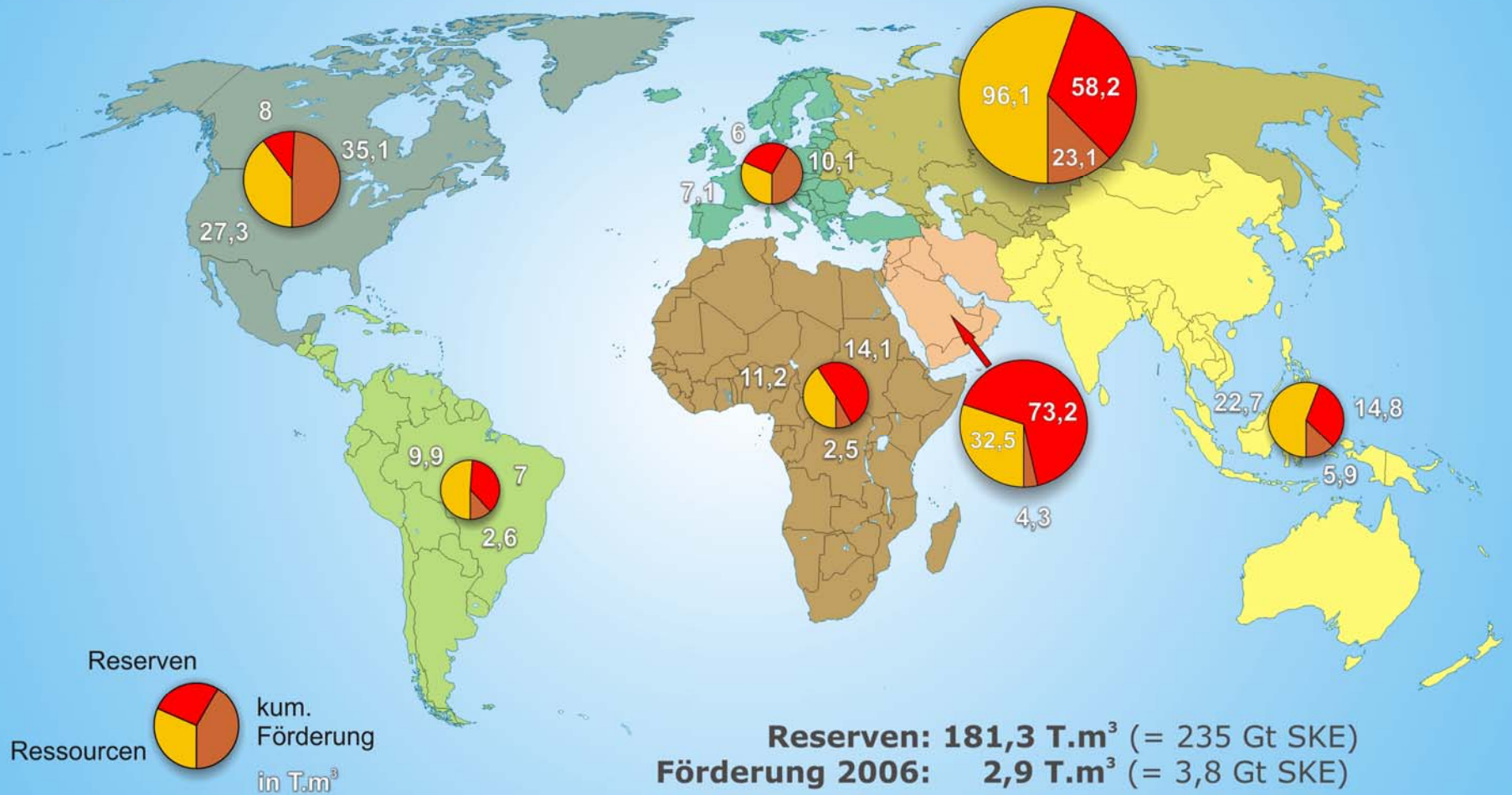


Datenquelle:
Prof. Vahrenholt,
RE Power Systems



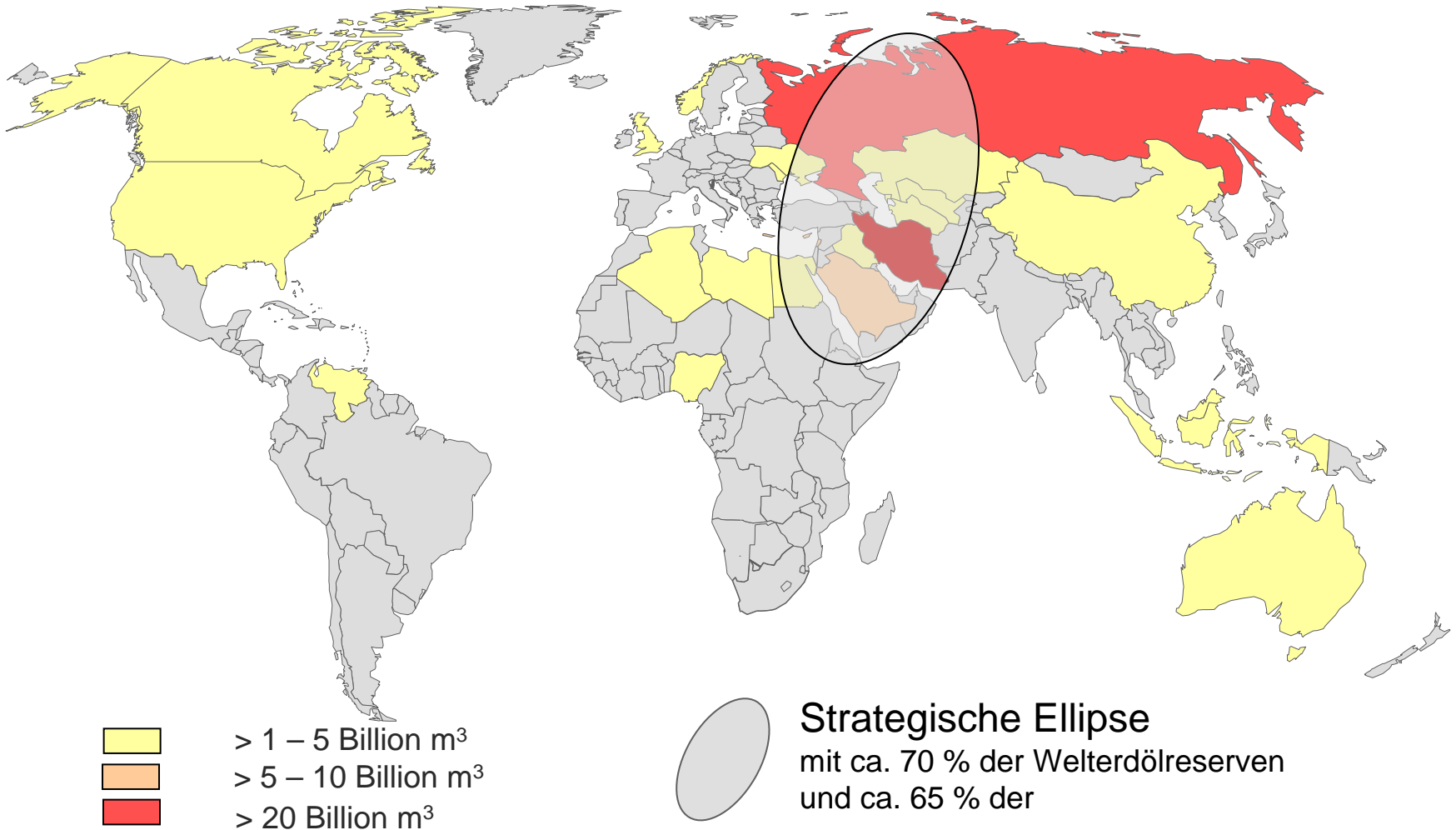
Gesamtpotenzial konventionellen Erdgases 2006 differenziert nach Regionen

Erdgas



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

Länder mit Erdgasreserven > 1 Bill. m³



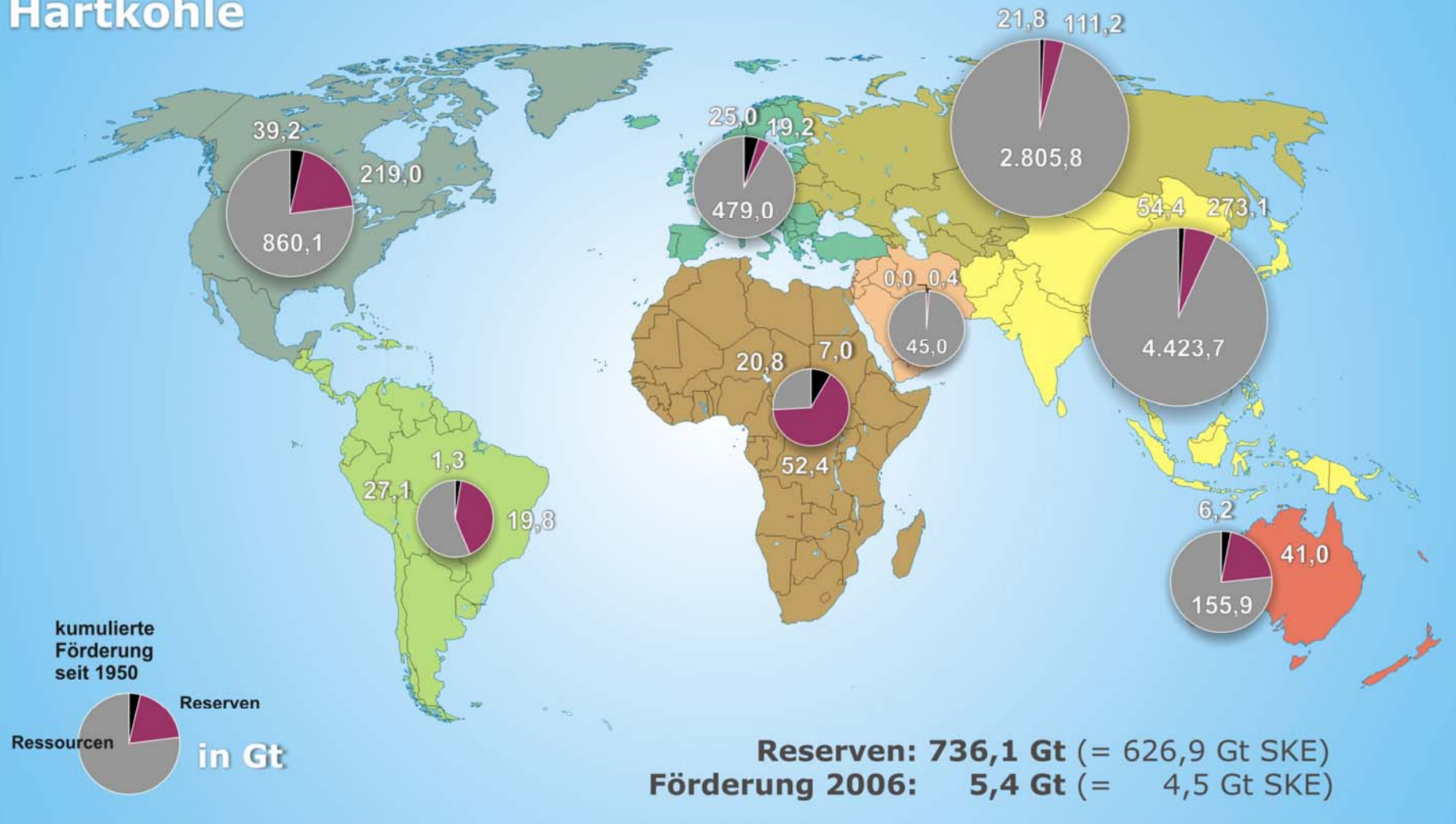
Quelle :

Kohle



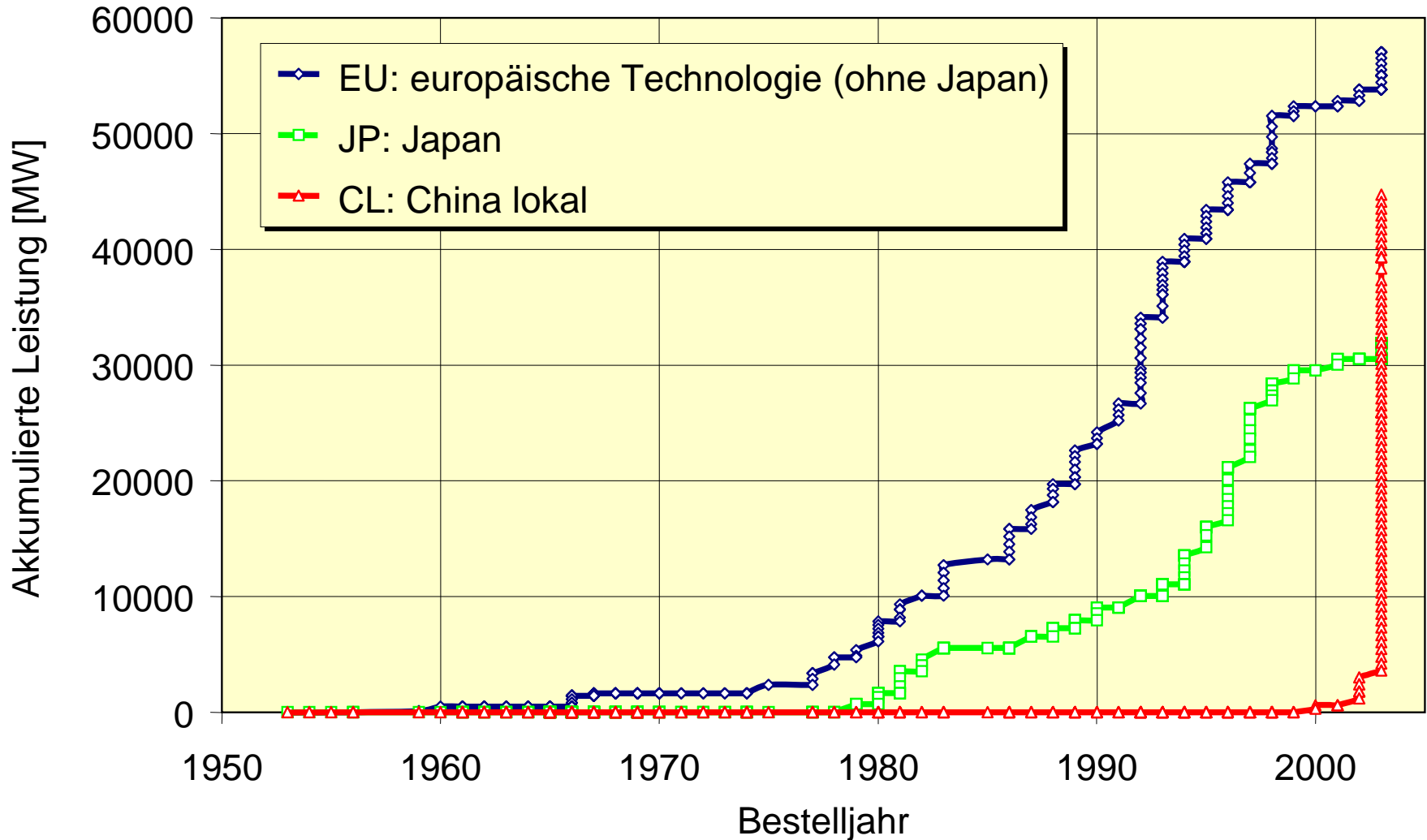
Regionale Differenzierung des Gesamtpotenzials an Hartkohle 2006

Hartkohle



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

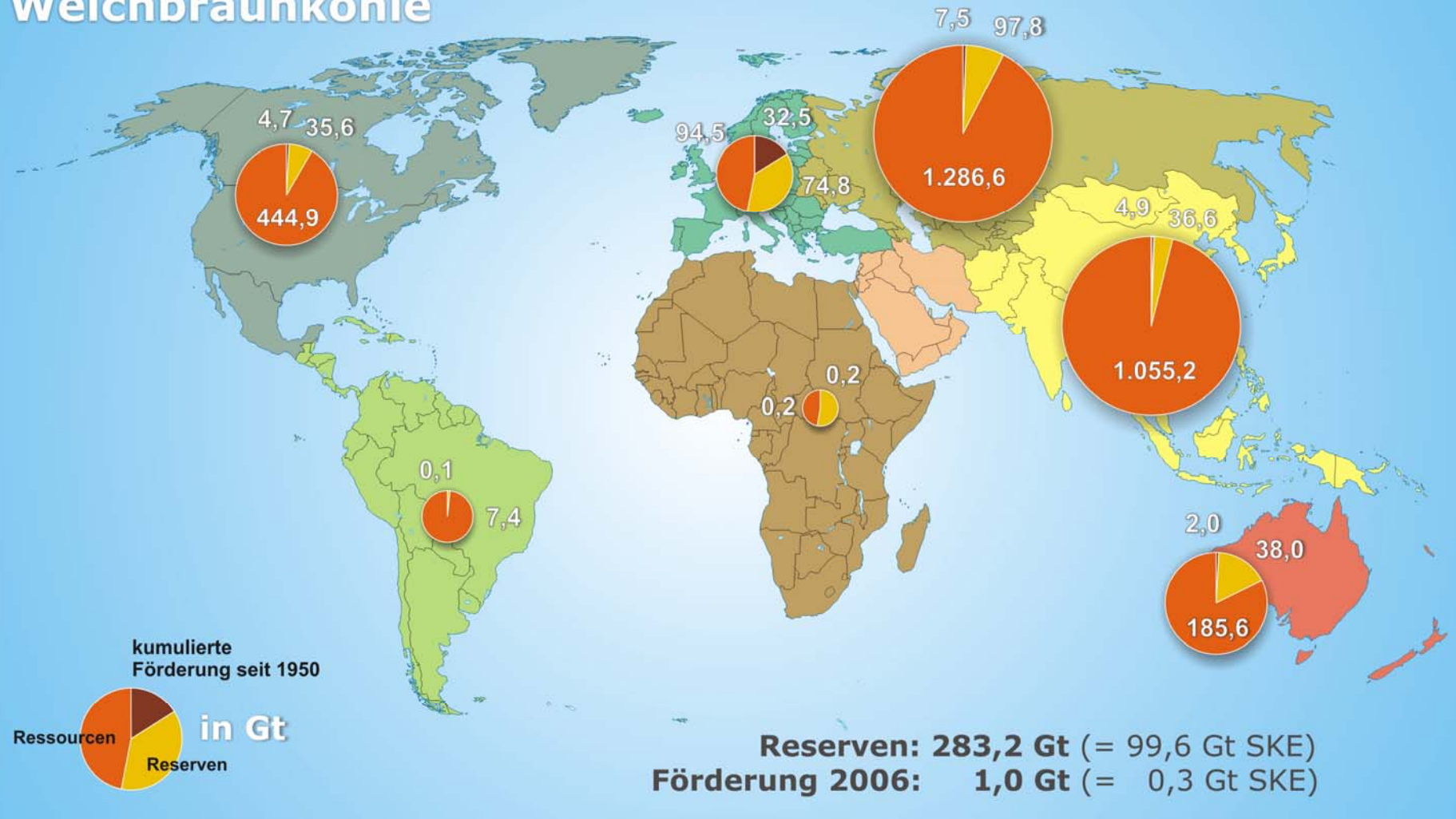
Zeitliche Entwicklung der Installation modernster Kohlekraftwerke



Quelle: Dr. Gasteiger; Alstom VGB-Kongress Okt. 2004

Regionale Differenzierung des Gesamtpotenzials an Weichbraunkohle 2006

Weichbraunkohle



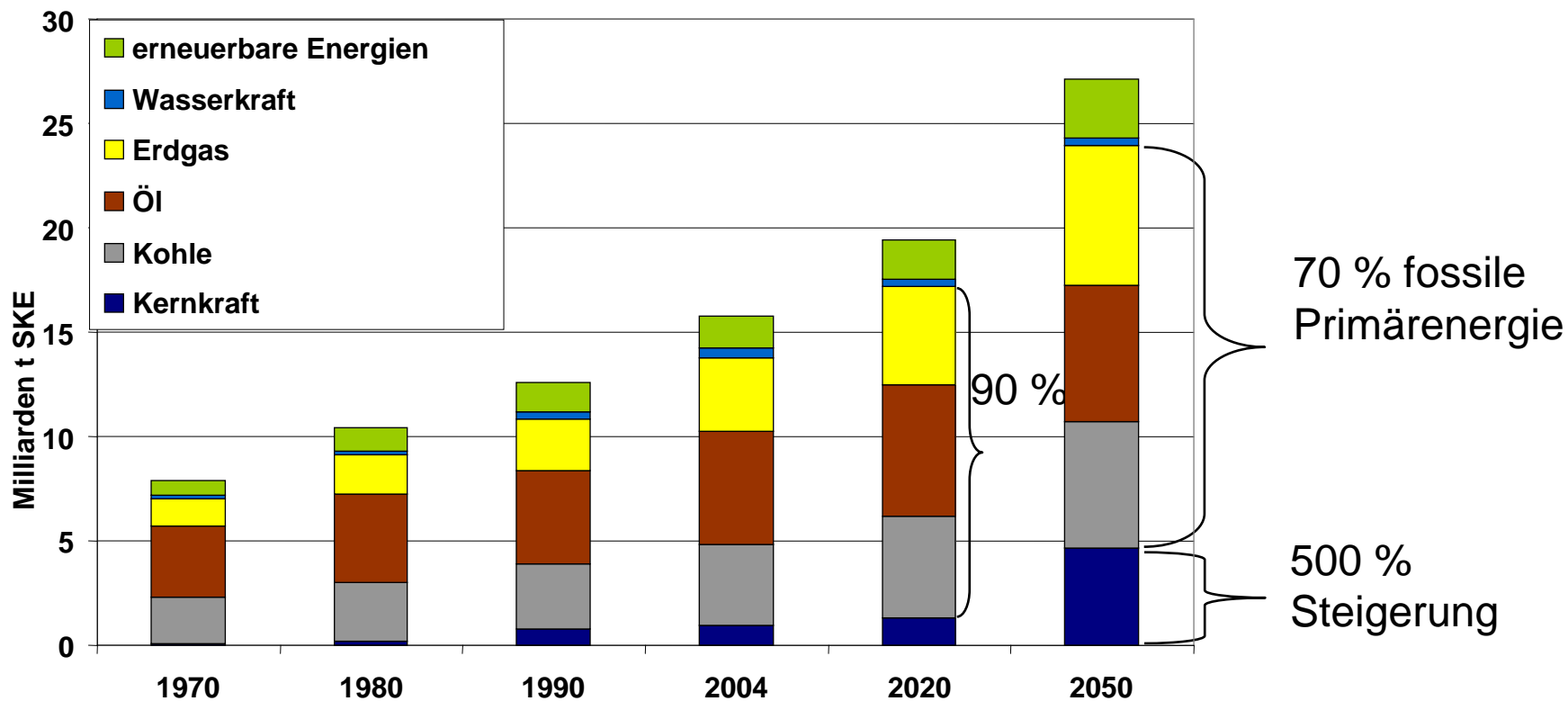
Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

Uran



© Thomas Seilnacht

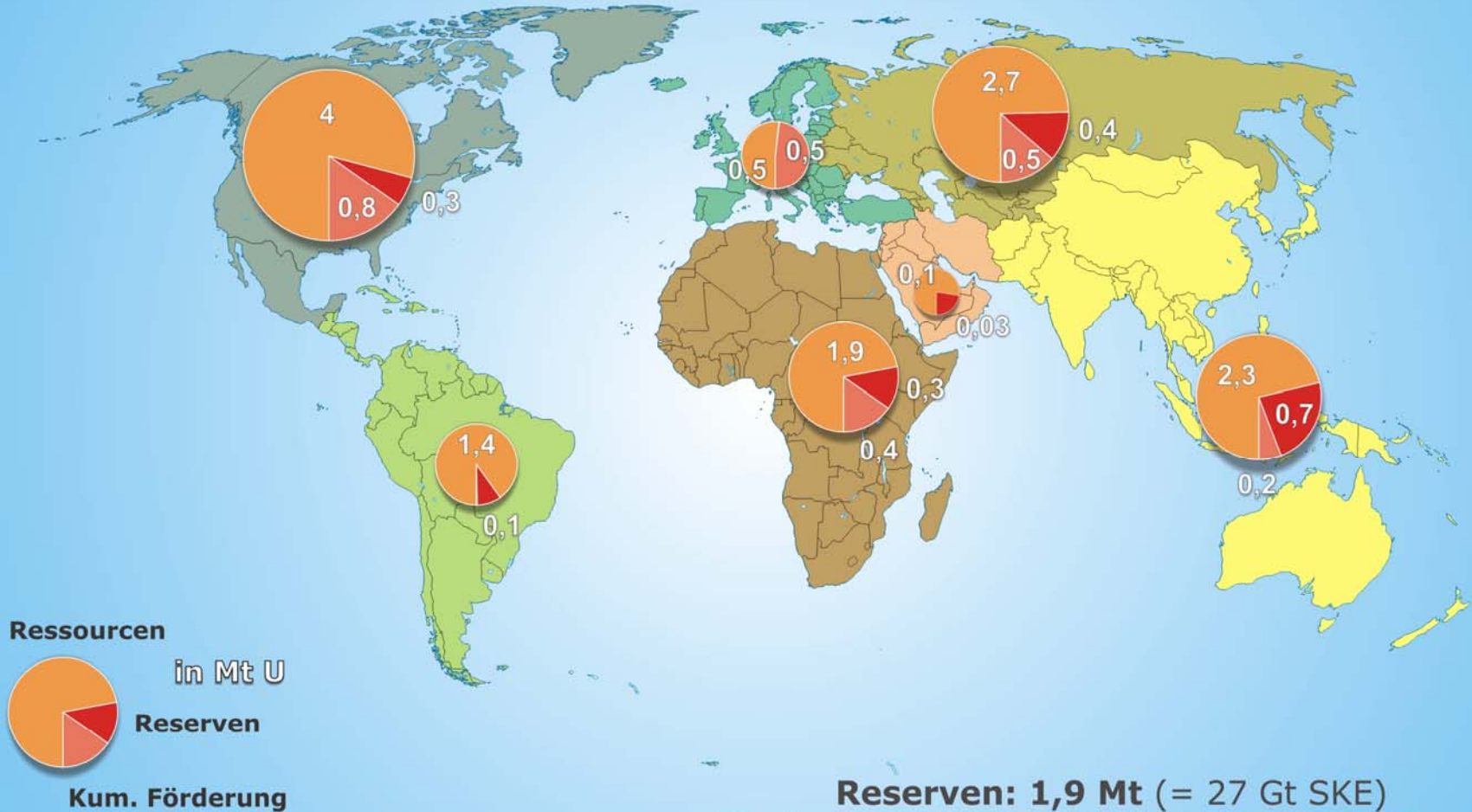
Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Regionale Differenzierung des Gesamtpotenzials an Uran 2006

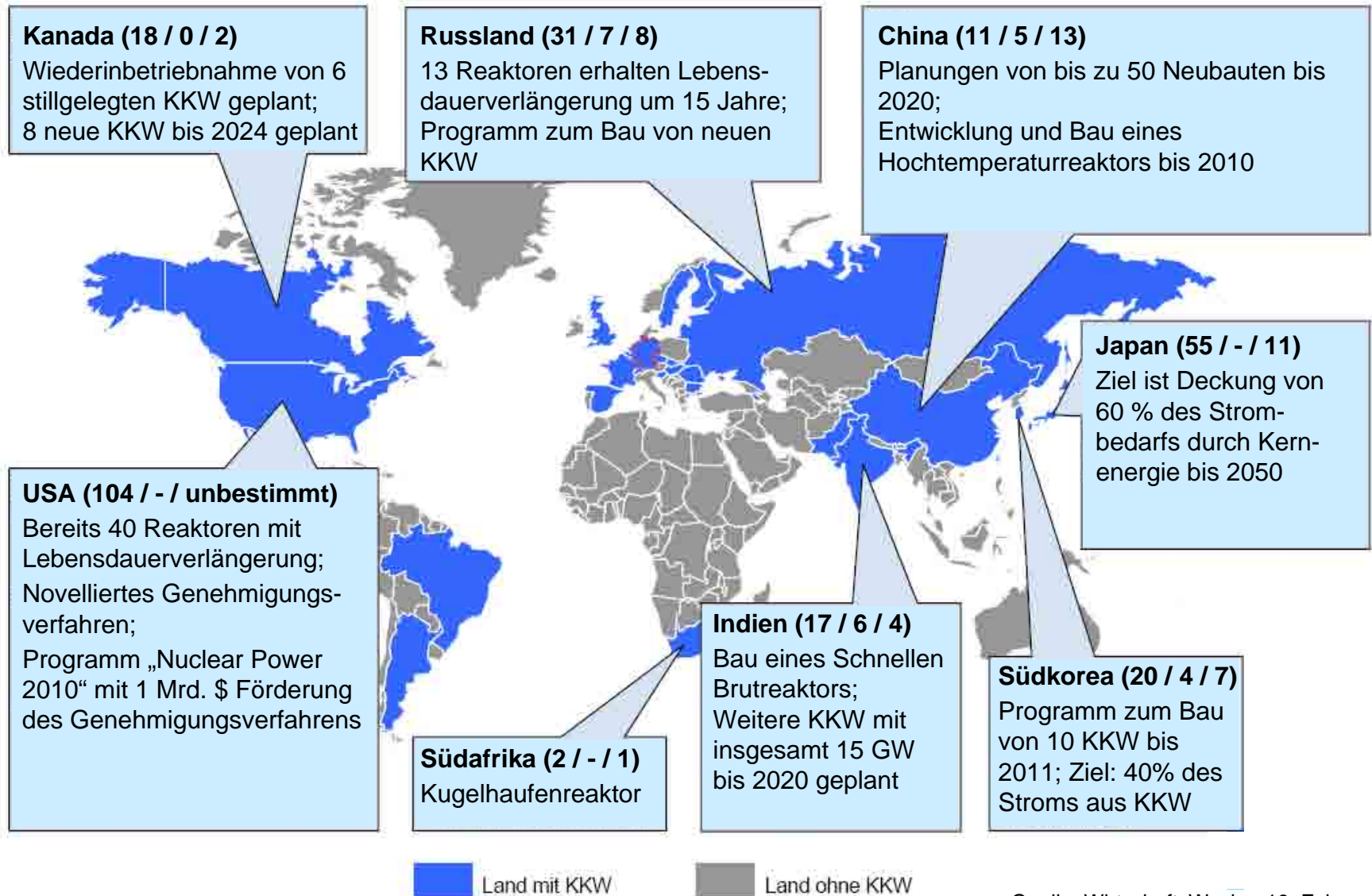
Uran



Reserven: 1,9 Mt (= 27 Gt SKE)
Förderung 2006: 0,04 Mt (= 0,6 Gt SKE)

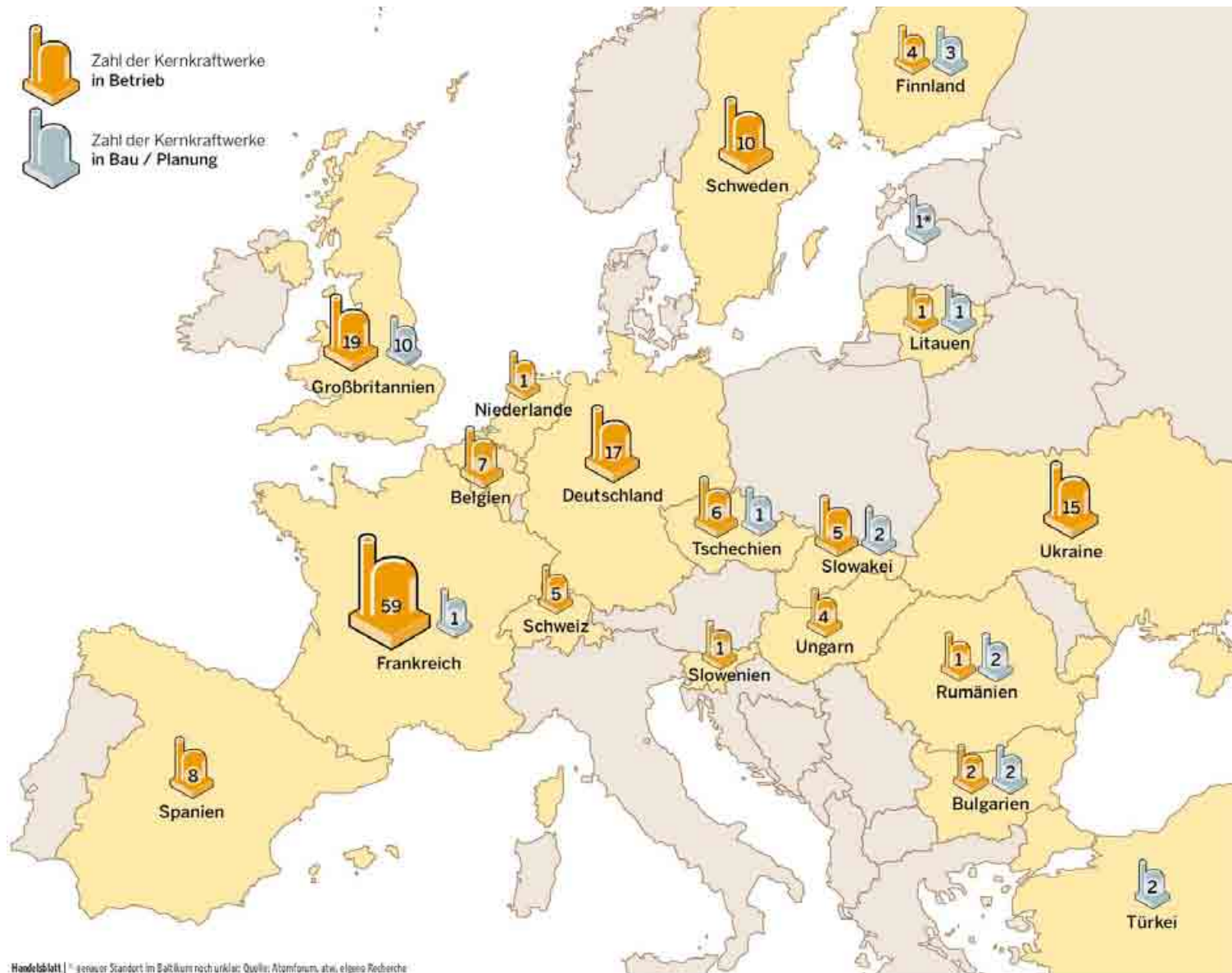
Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (12/2007)

Kernkraft weltweit (440 in Betrieb / 32 in Bau / > 70 in Planung)

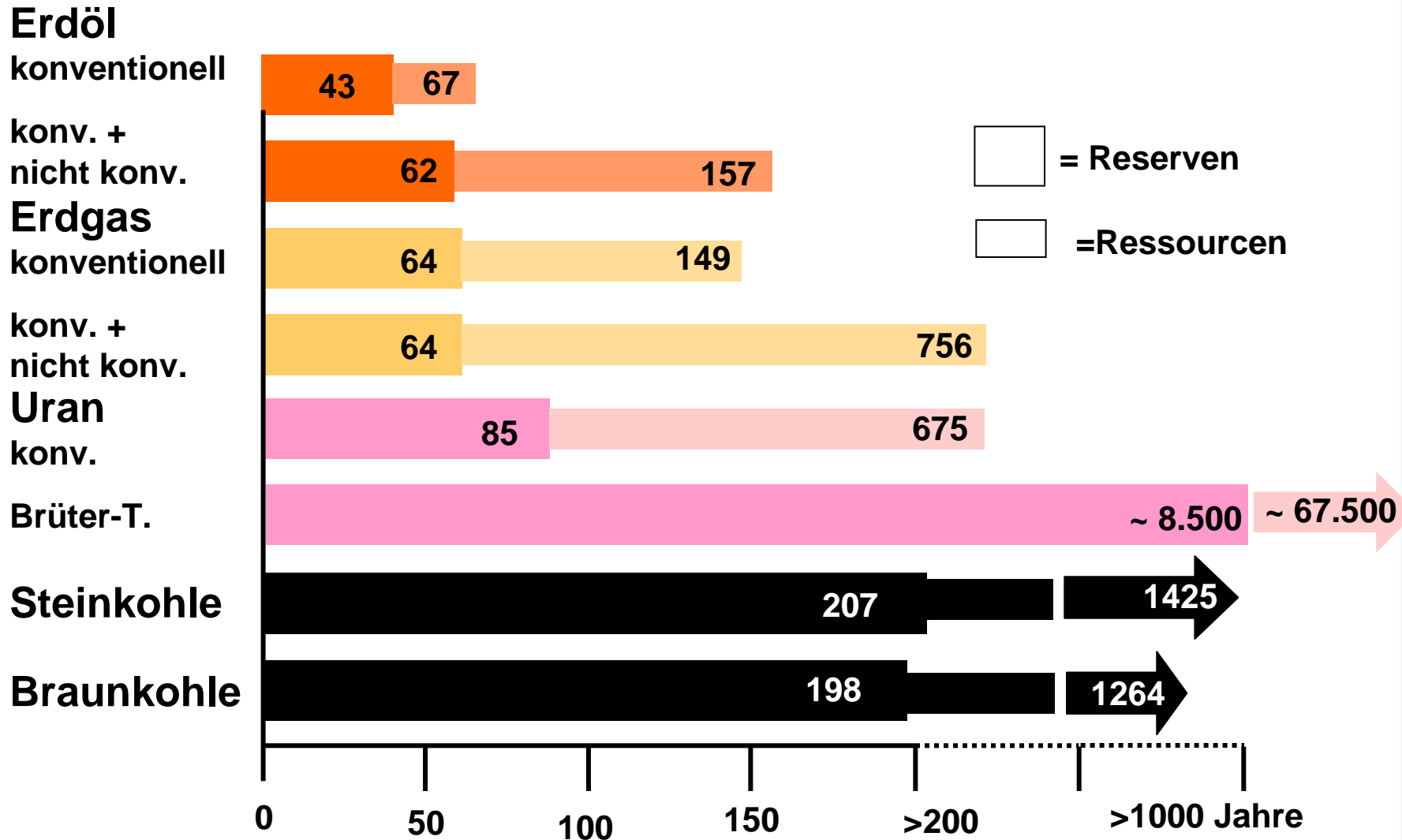


Quelle: WirtschaftsWoche, 18. Februar 2008

Kernkraft in Europa (in Betrieb / in Bau / in Planung)

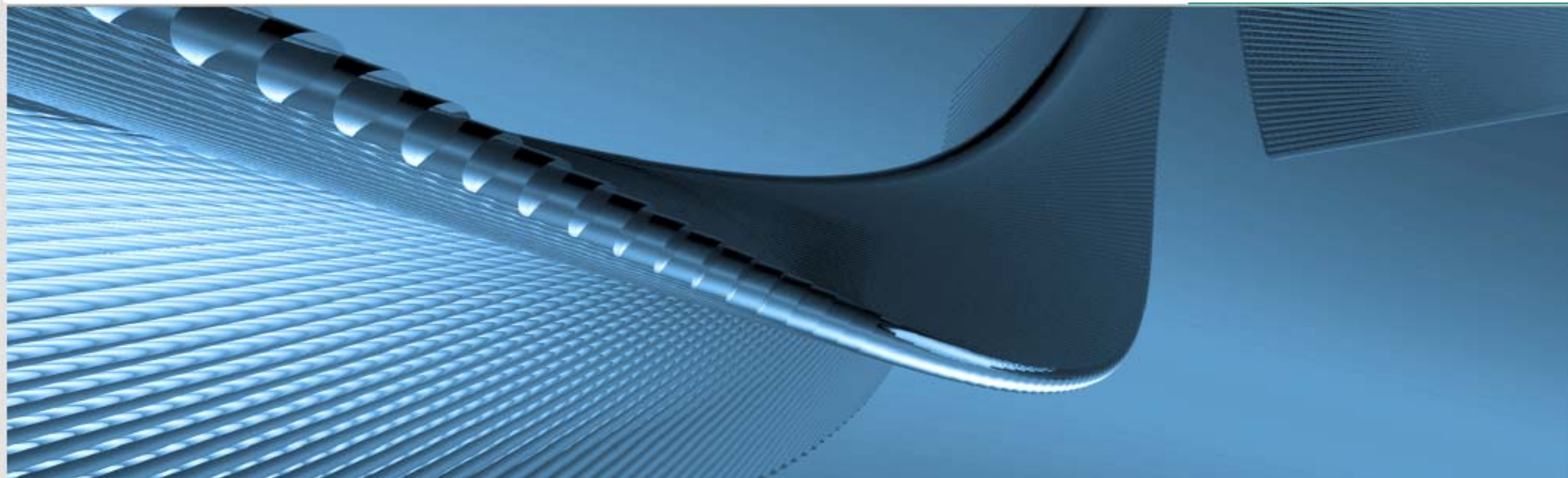


Statische Reichweite von Energieträgern weltweit

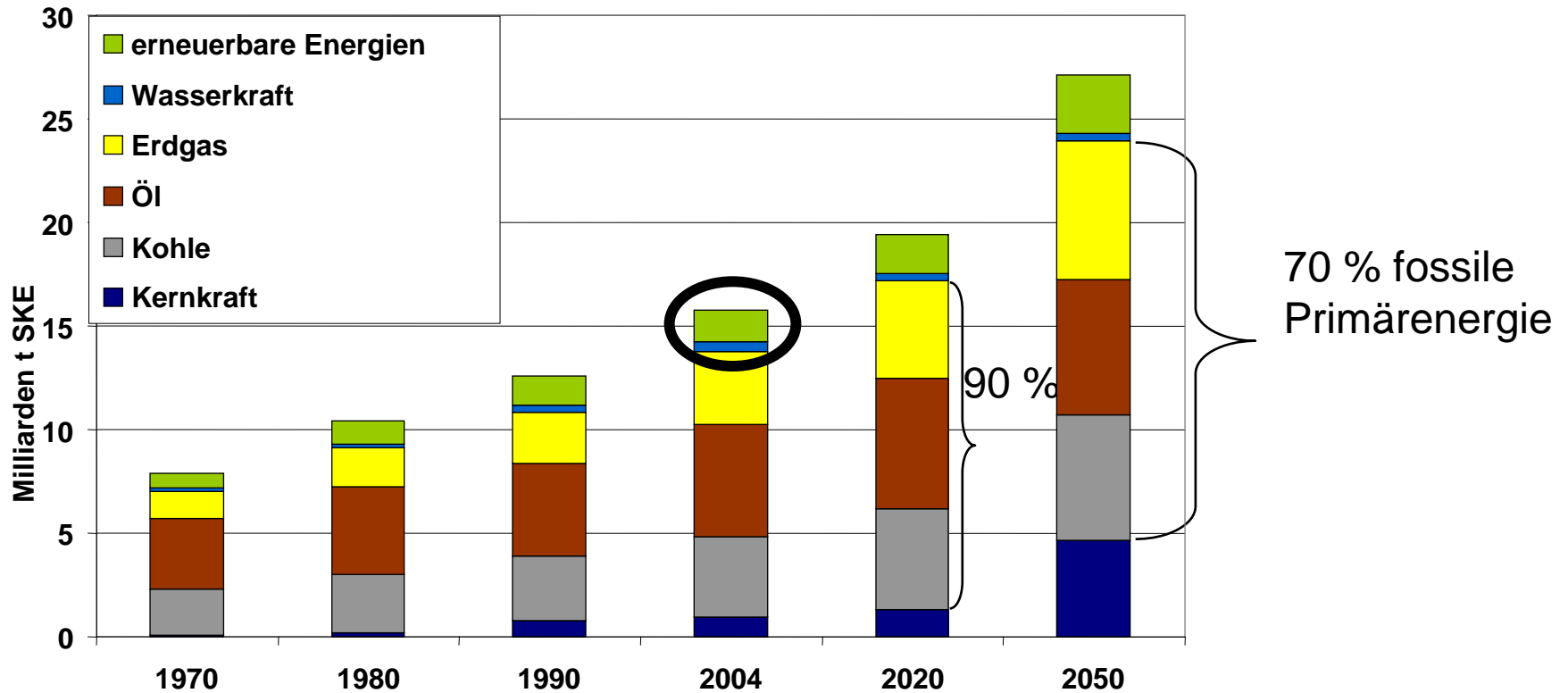


Quelle :

Nutzung erneuerbarer Energiequellen

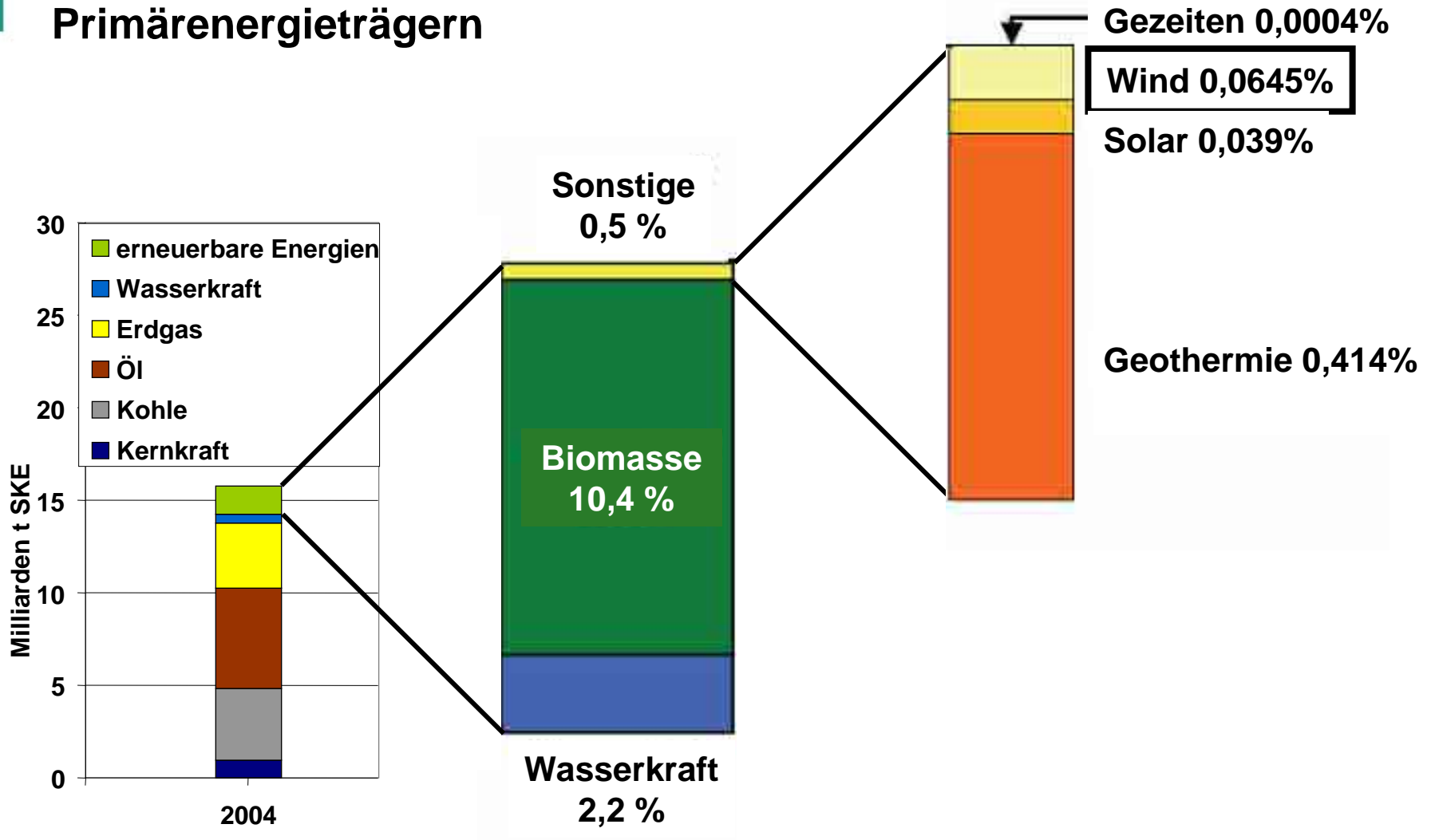


Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council



- Fast die Hälfte des in der EU durch Windkraft erzeugten Stroms stammt aus Deutschland

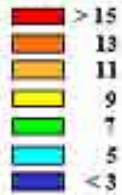
- Ein Drittel des weltweit durch Windkraft erzeugten Stroms stammt aus Deutschland

Quelle: ISET

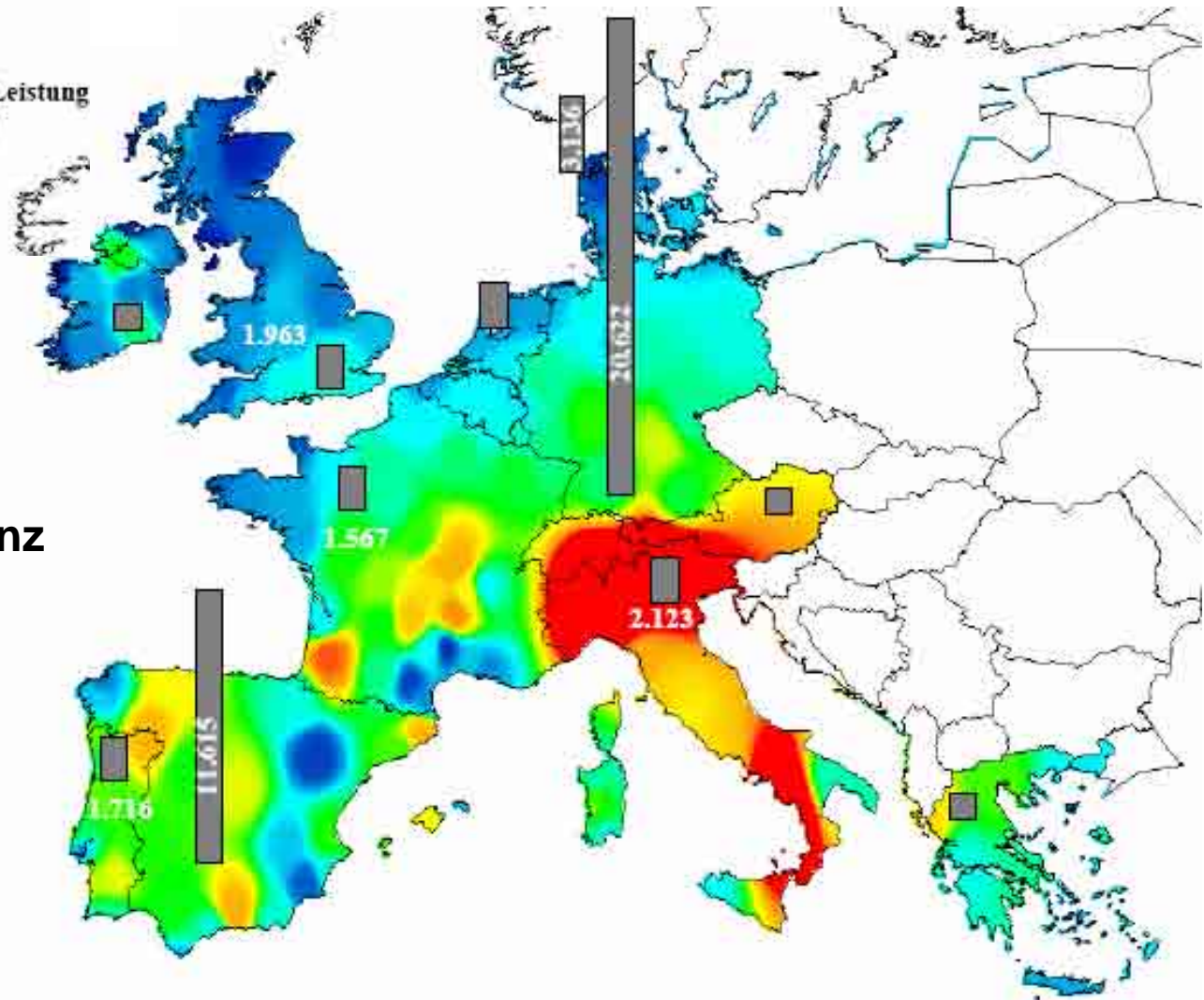
EE-Erzeugungskosten und EE-Investitionen

Stromgestehungskosten

Windenergie [ct./kWh]



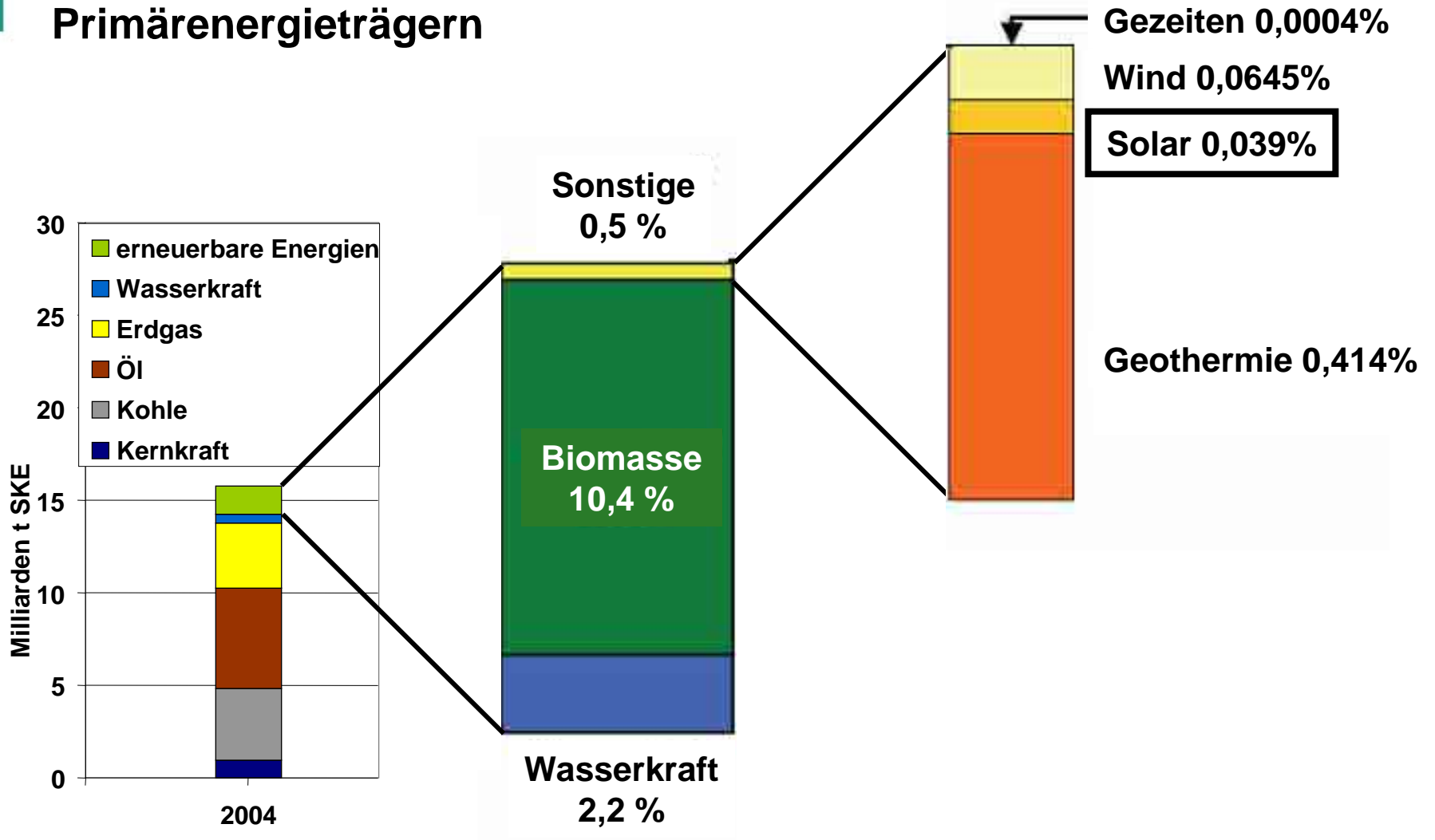
Installierte Leistung
Wind [MW]
in 2006



**Maximale
regionale Differenz
> 12 ct / kWh**

Quelle: Prof. Bettzüge, Wintertagung des Deutschen Atomforums 2008

Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Solarthermisches Kraftwerk in Almeria, Spanien



Zwei Solarkraftwerke mit jeweils 0,5 MW elektrischer Leistung

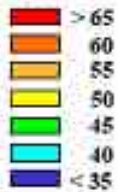
Quelle: DLR

- In Deutschland wurden in 2006 55% aller weltweit installierten Photovoltaikanlagen betrieben.
- 2006 betrug der Anteil der Solarstromerzeugung in Deutschland 0,21% der insgesamt erzeugten Strommenge.
- Steigerung in 2007 auf 0,3%.

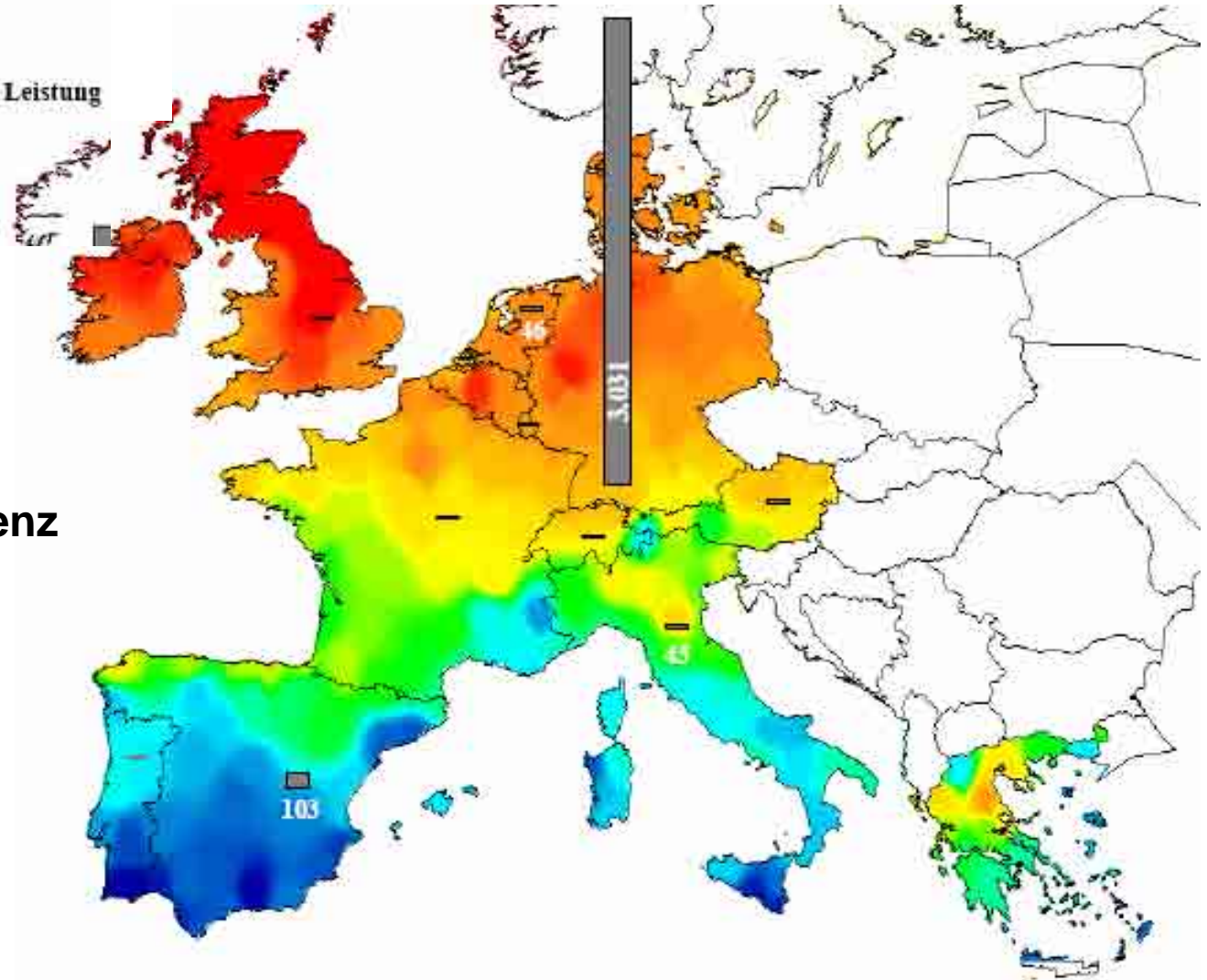


EE-Erzeugungskosten und EE-Investitionen

Stromgestehungskosten
Photovoltaik [ct./kWh]



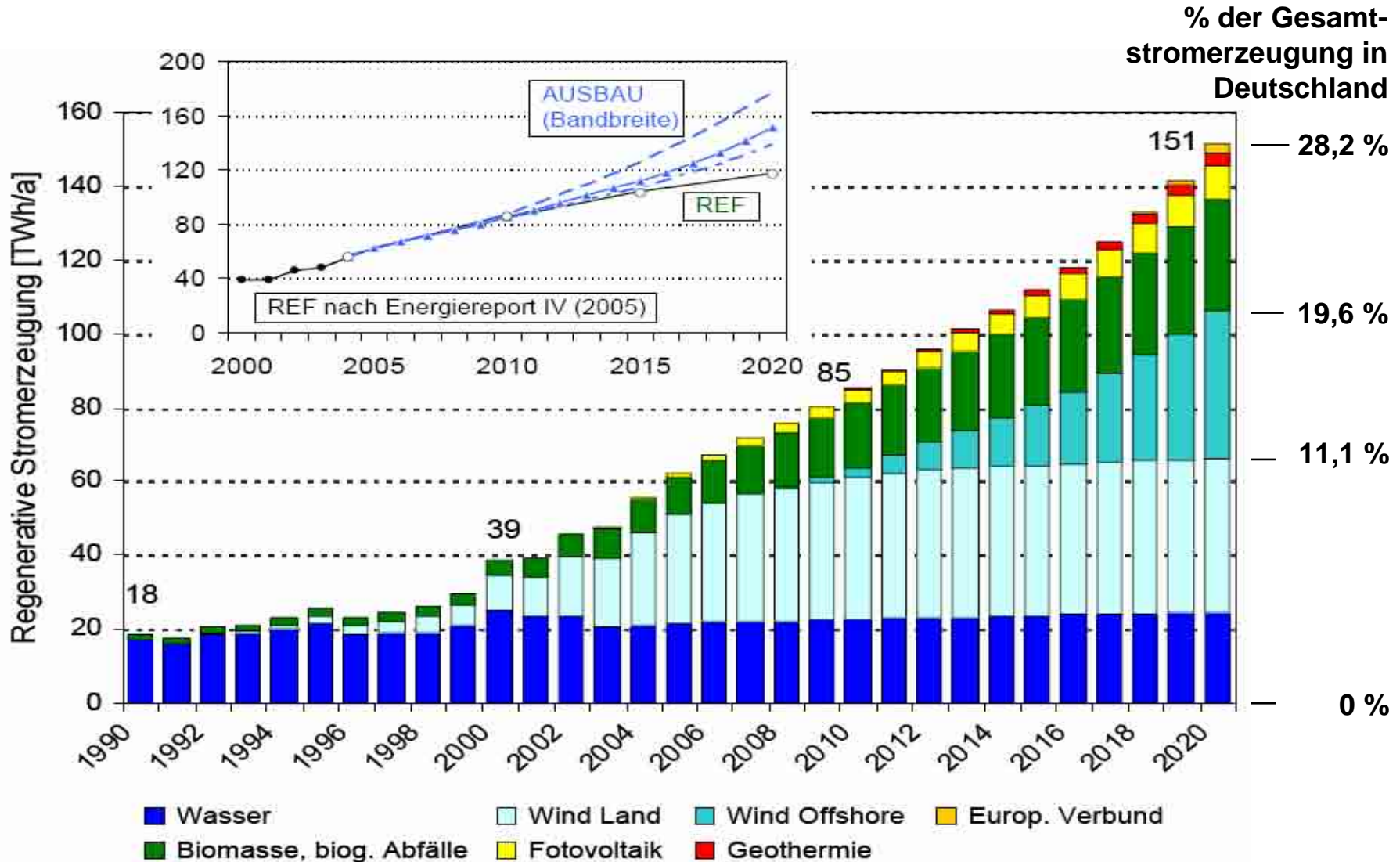
Installierte Leistung
PV [MW]
in 2006



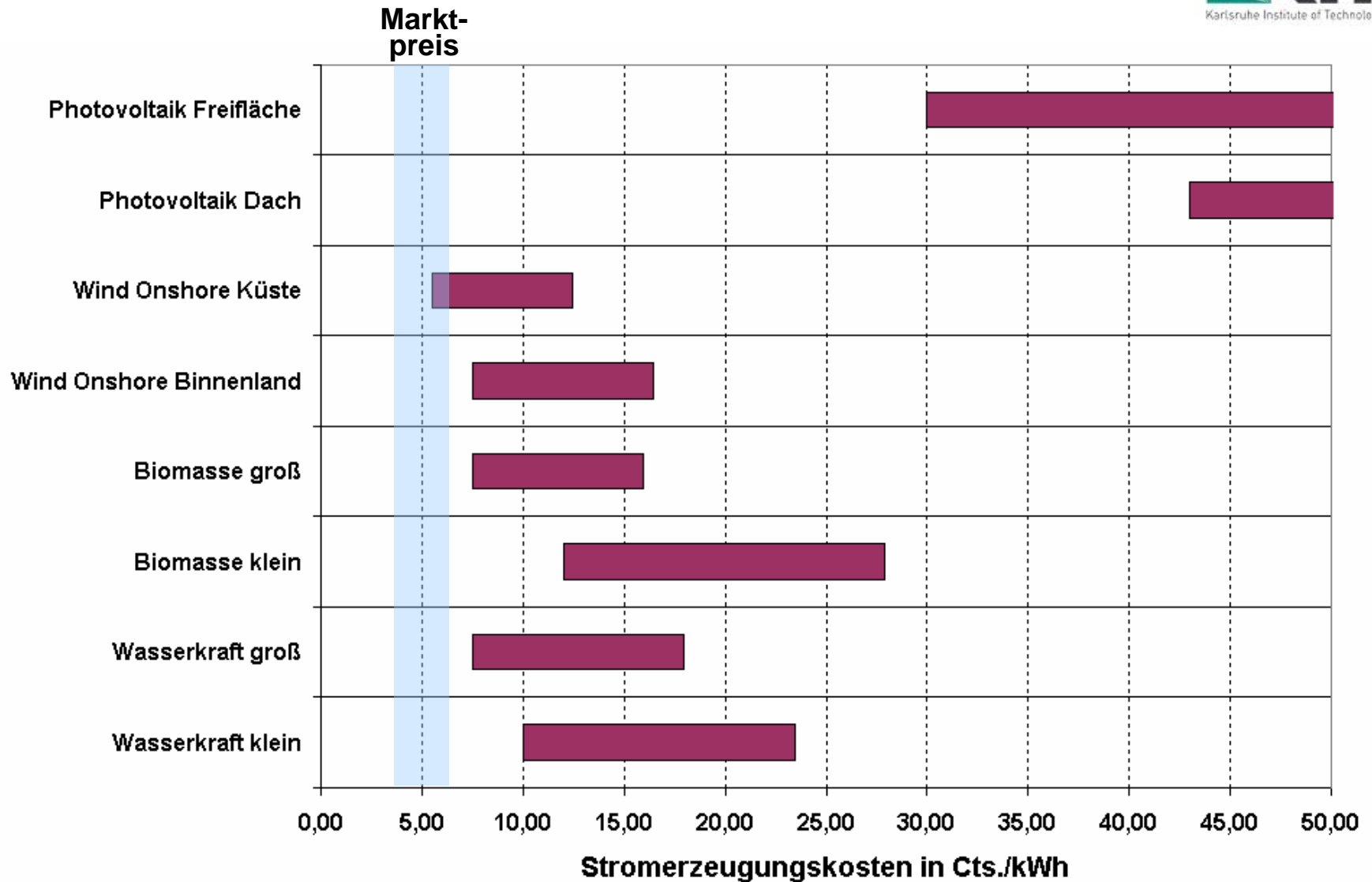
**Maximale
regionale Differenz
> 30 ct / kWh**

Quelle: Prof. Bettzüge, Wintertagung des Deutschen Atomforums 2008

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

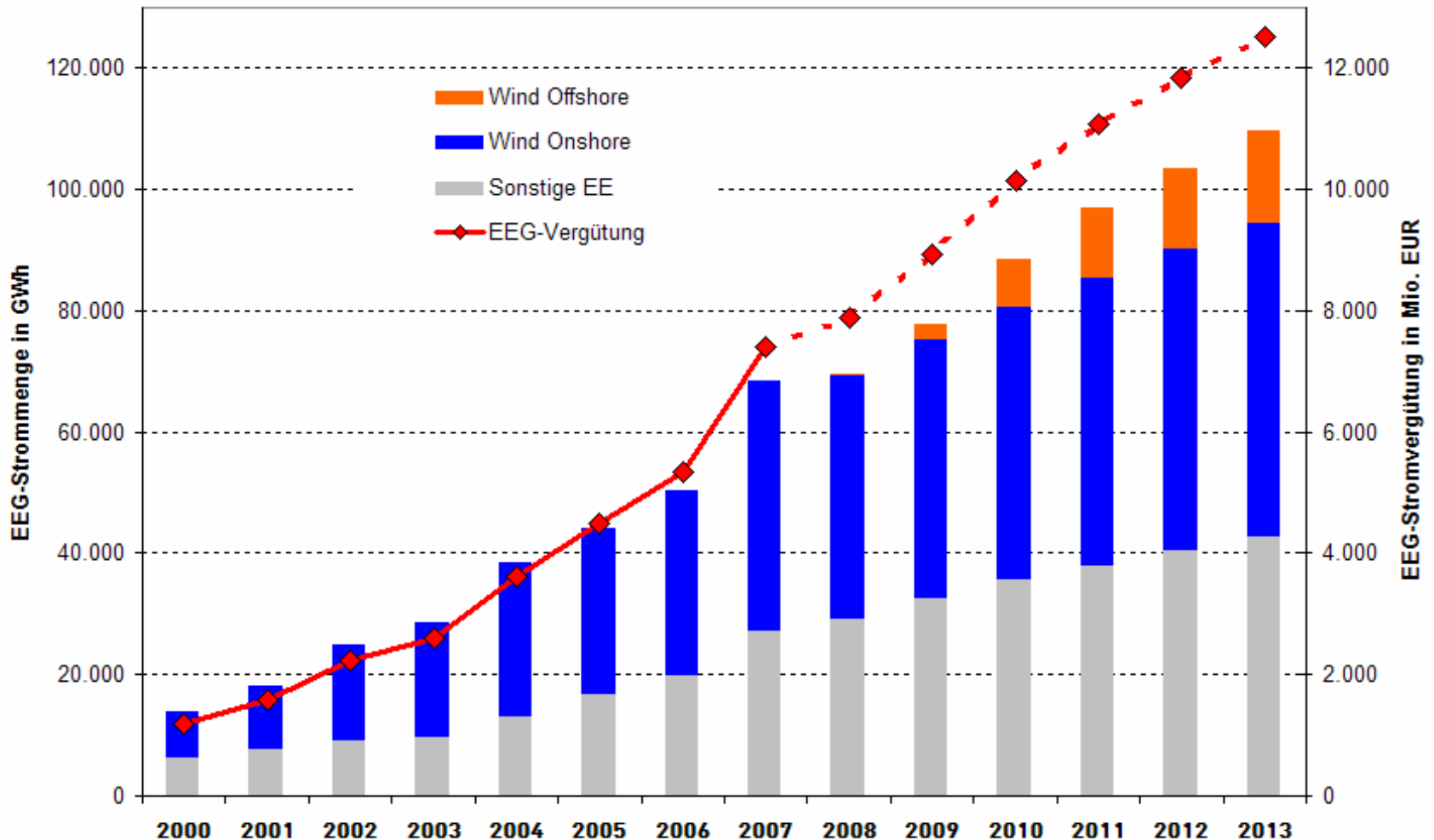


Kosten Erneuerbarer Energien



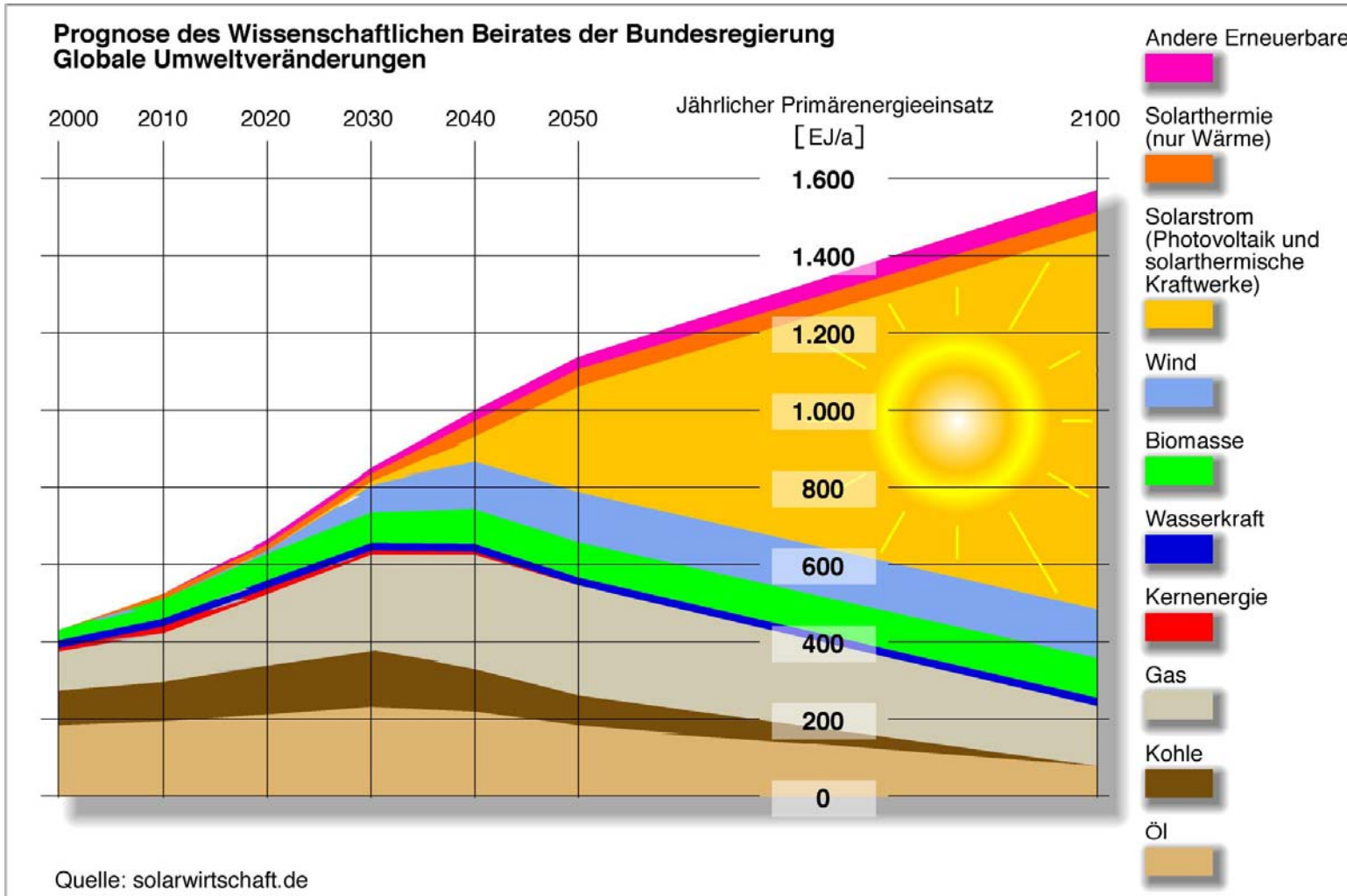
Quellen: Erfahrungsbericht EEG 2007 (Auszüge) BMU, EnBW

EEG-Strommengen und Vergütungszahlungen

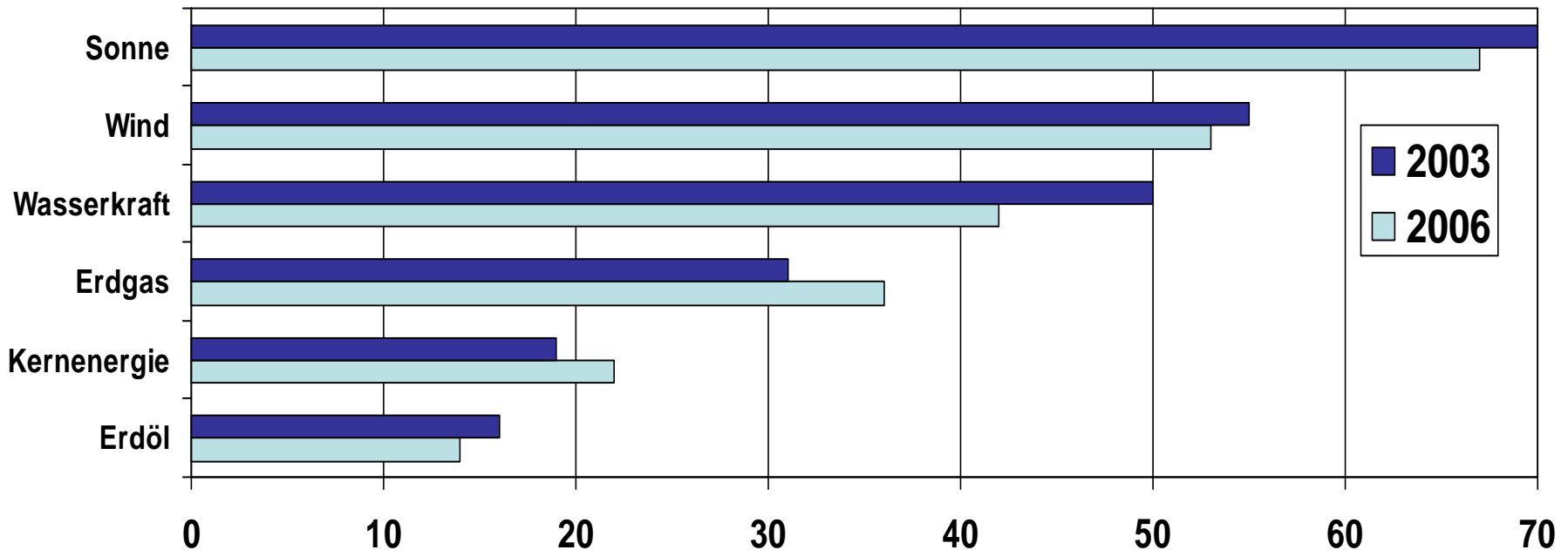


Quellen: BDEW / VDN (Stand: Juni 2007), EnBW

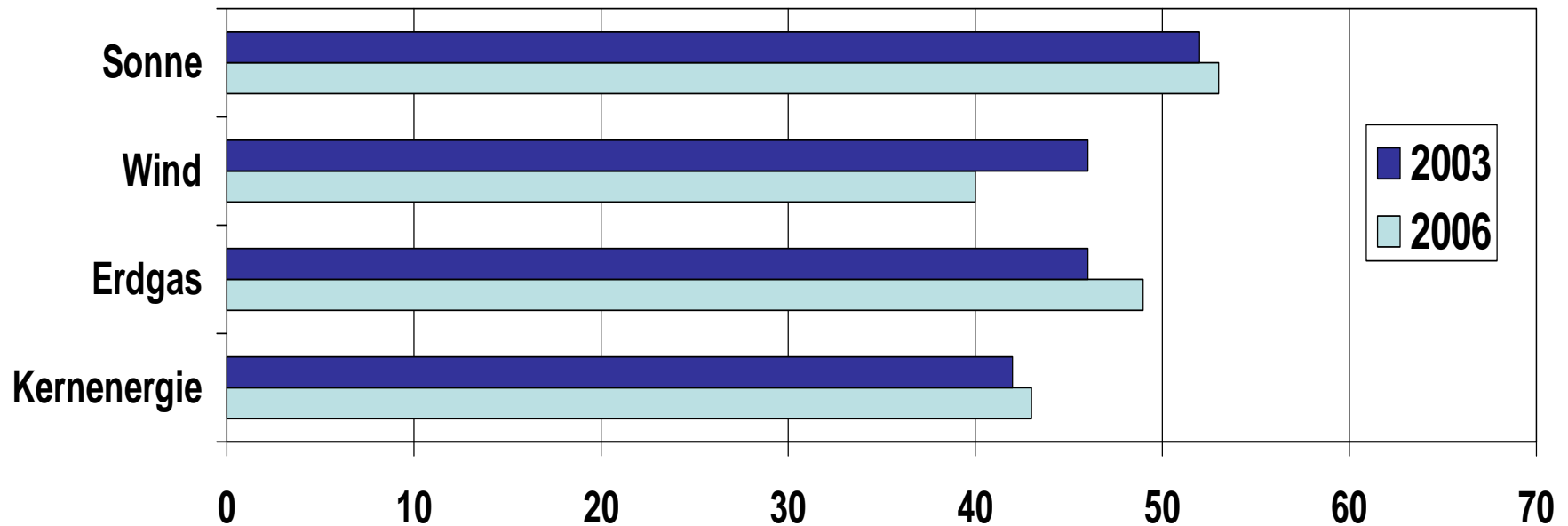
Veränderung des weltweiten Energieerzeugung bis 2100



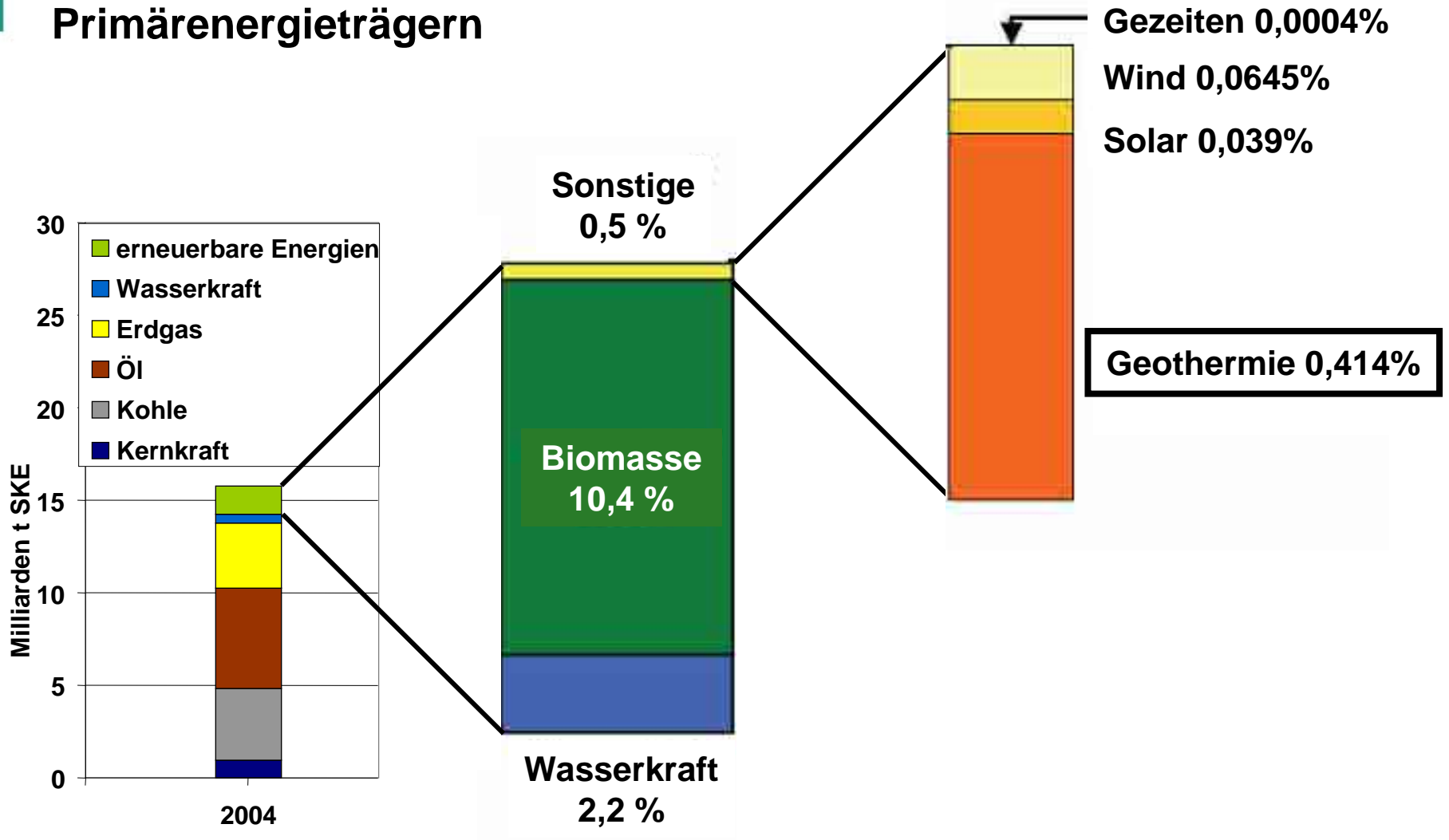
Welche Energieform wäre nach Ihrer Meinung *ideal* als tragende Säule einer langfristigen Energieversorgung geeignet? (Mehrfachangaben möglich)



Welche Energieform wird nach Ihrer Meinung tatsächlich den den größten Beitrag zum Energiemix der nächsten 20, 30 Jahre leisten? (Mehrfachangaben möglich)



Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council



- › mehr als 99 % der Erdmasse sind wärmer als 1000 °C
- › 3° Temperaturanstieg je 100 m Tiefe (in der Erdkruste)

› Herkunft der Erdwärme:

- › oberflächennah vor allem Sonnenenergie
- › vor allem natürlicher radioaktiver Zerfall in Erdkruste und –mantel (U, Sr, Th, Rb, ...)
- › zum Teil Gravitationsenergie aus der Bildungszeit der Erde (wird nicht ersetzt)

Quelle: EnBW

Erdwärme könnte den gesamten Strombedarf Deutschlands decken

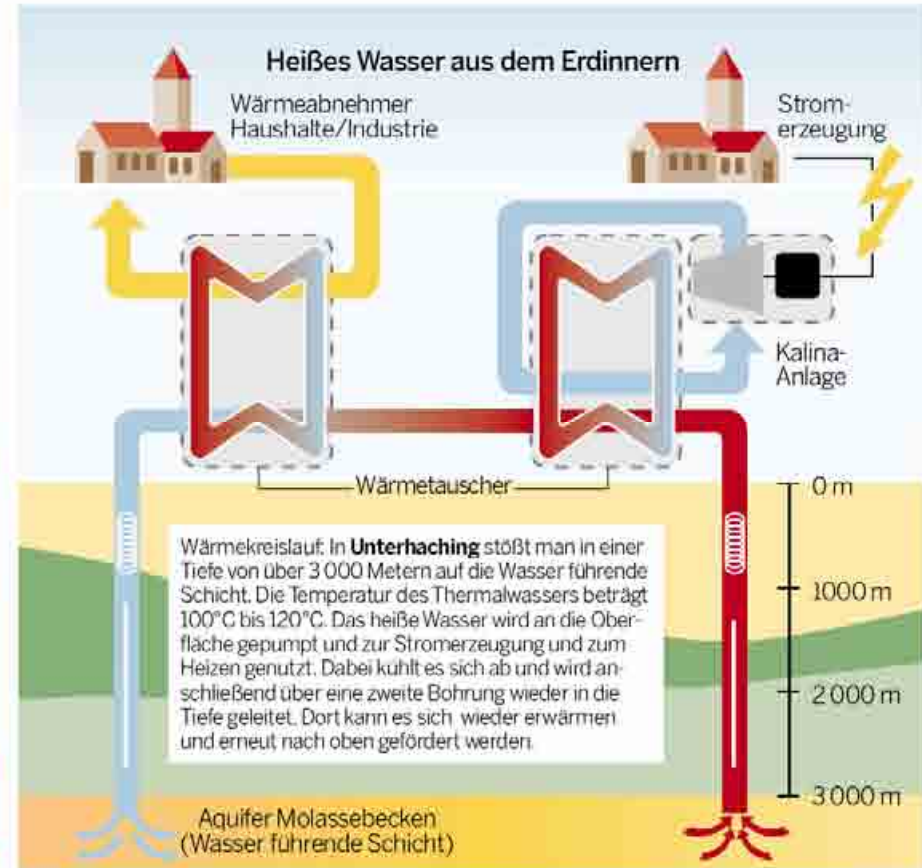
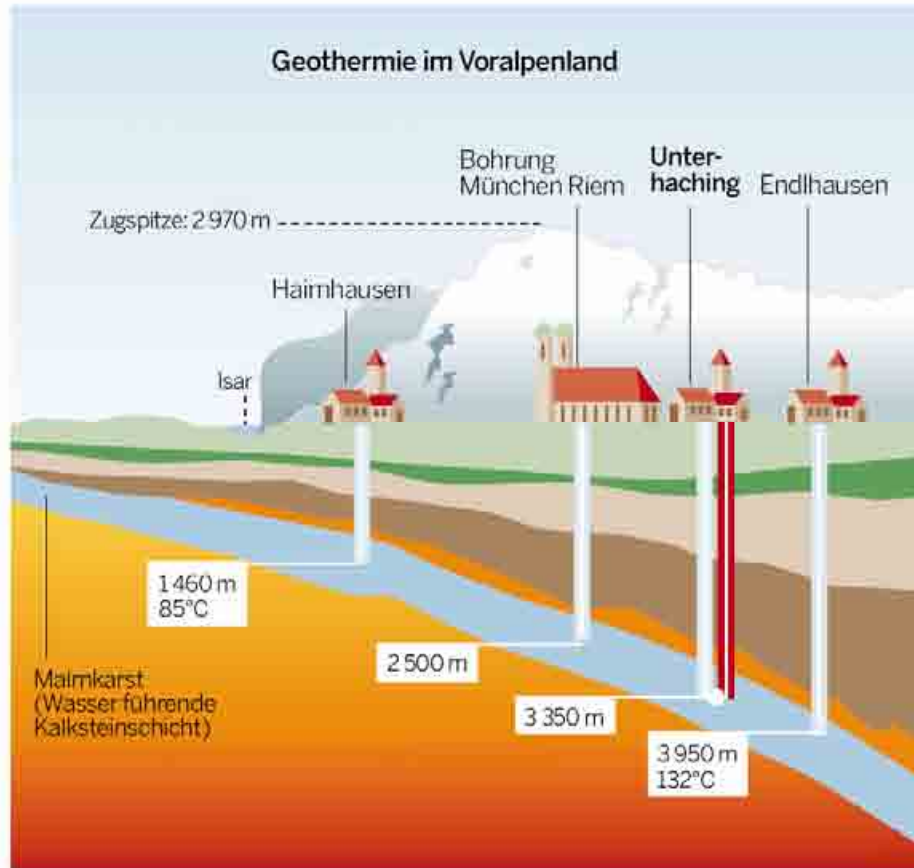
Geophysiker tagen in Aachen und werben für die umweltfreundliche Geothermie – Experten halten die Angst vor Erdbeben für unbegründet

Wesentlich weiter verbreitet und ganz und gar nicht erdbebenträchtig ist dagegen das Anzapfen von Heißwasservorkommen im Untergrund. Das renommierte GGA-Institut schätzt das hierzulande technisch mögliche Potenzial für diese Nutzungsform der Geothermie auf das Vierfache des deutschen Jahresstrombedarfs und das Fünffache der gesamten in Deutschland benötigten Wärmeleistung.

Realisiert ist davon zurzeit nur ein Bruchteil. Im Jahr 2005 war es gerade einmal 0,11 Prozent des Wärmebedarfs, und das auch nur, weil darin schon die Wärmepumpen enthalten sind, die Heizenergie für Einfamilienhäuser aus dem Boden ziehen. Der Anteil an der Stromproduktion ist in Prozentzahlen praktisch nicht darstellbar.

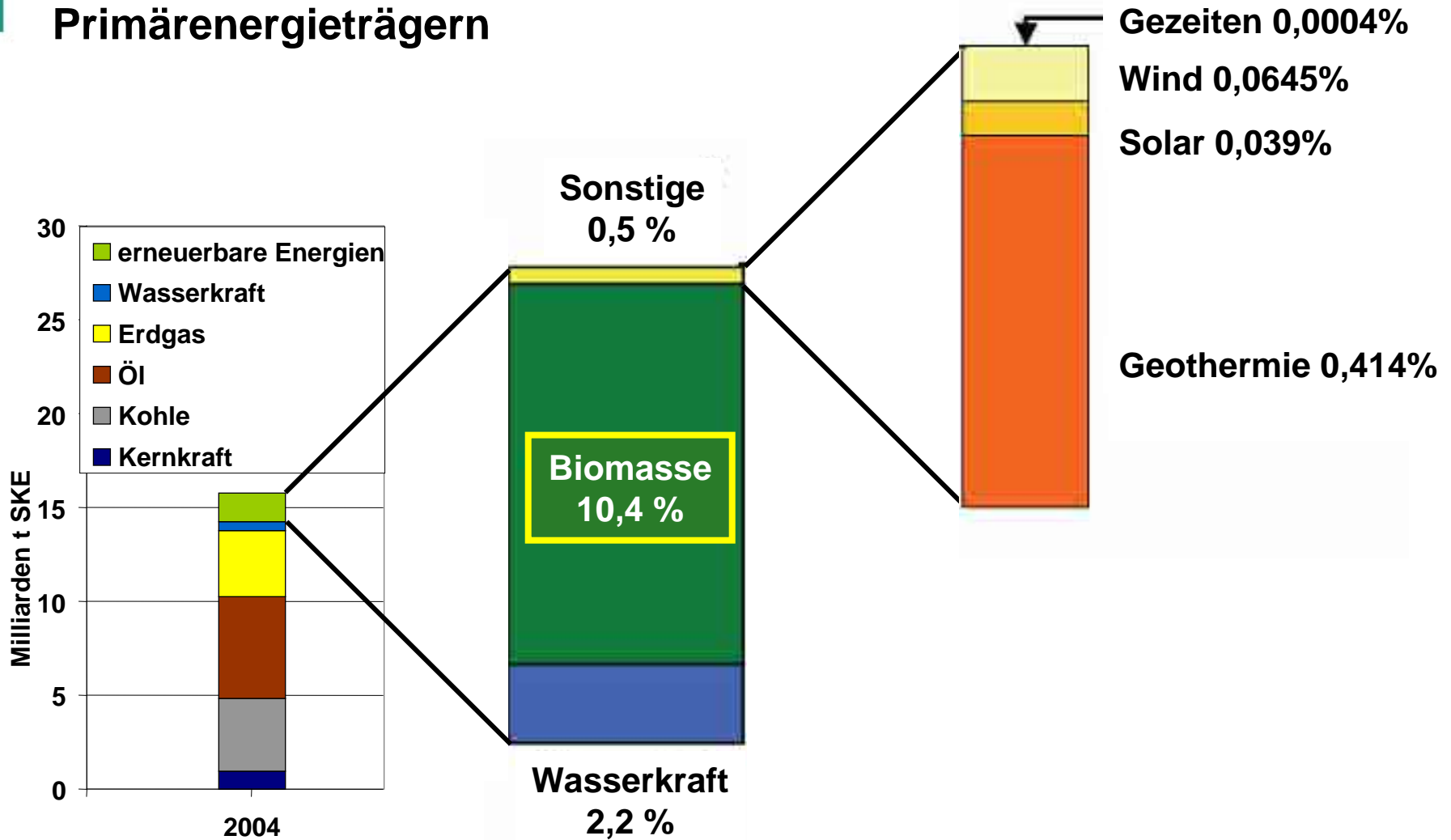
Zwei Kraftwerke am Netz

Erdwärme versorgt Haushalte mit Heizenergie und Strom (38 MW_{thermisch} / 3,4 MW_{elektrisch})



Quelle: Handelsblatt (19. April 2008)

Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

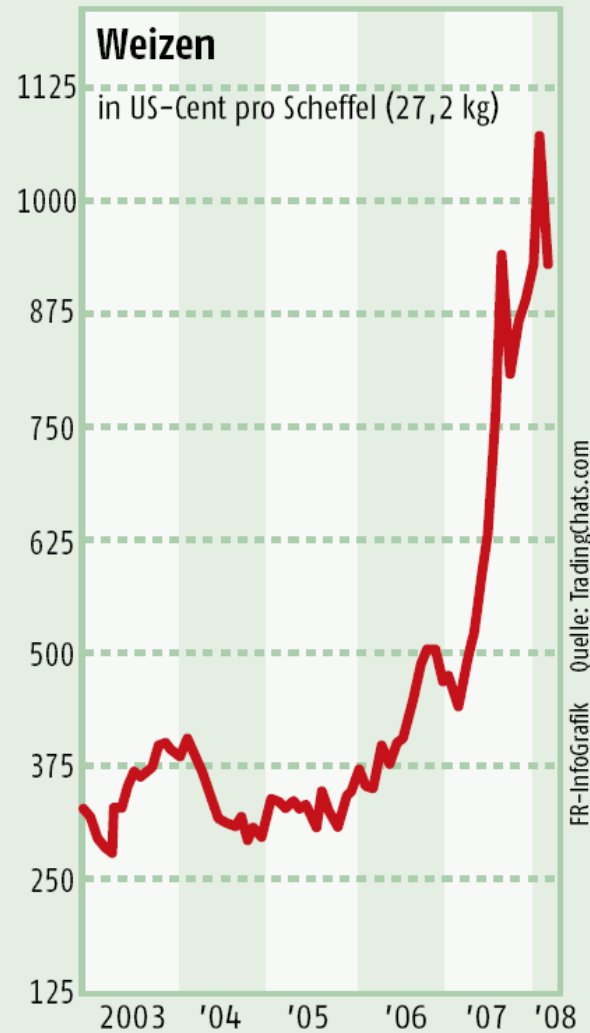
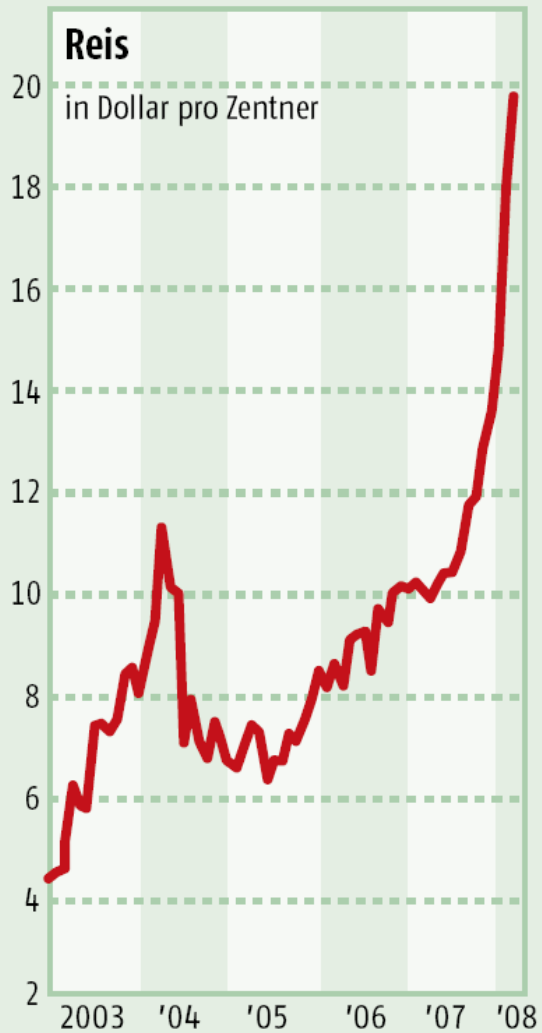
An aerial photograph of a vast, golden-brown flooded rice paddy field. Three farmers are visible, each using a long-handled tool to work the water. One farmer in the center wears a red shirt and blue jeans. Another on the left wears a white patterned shirt and a yellow hat. A third on the right wears a dark suit and a white hat. The water reflects the bright light, creating a shimmering effect across the field.

Wenn Essen unbezahlbar wird

Steigende Kosten für Weizen und Reis
sorgen für Unmut und Unruhen

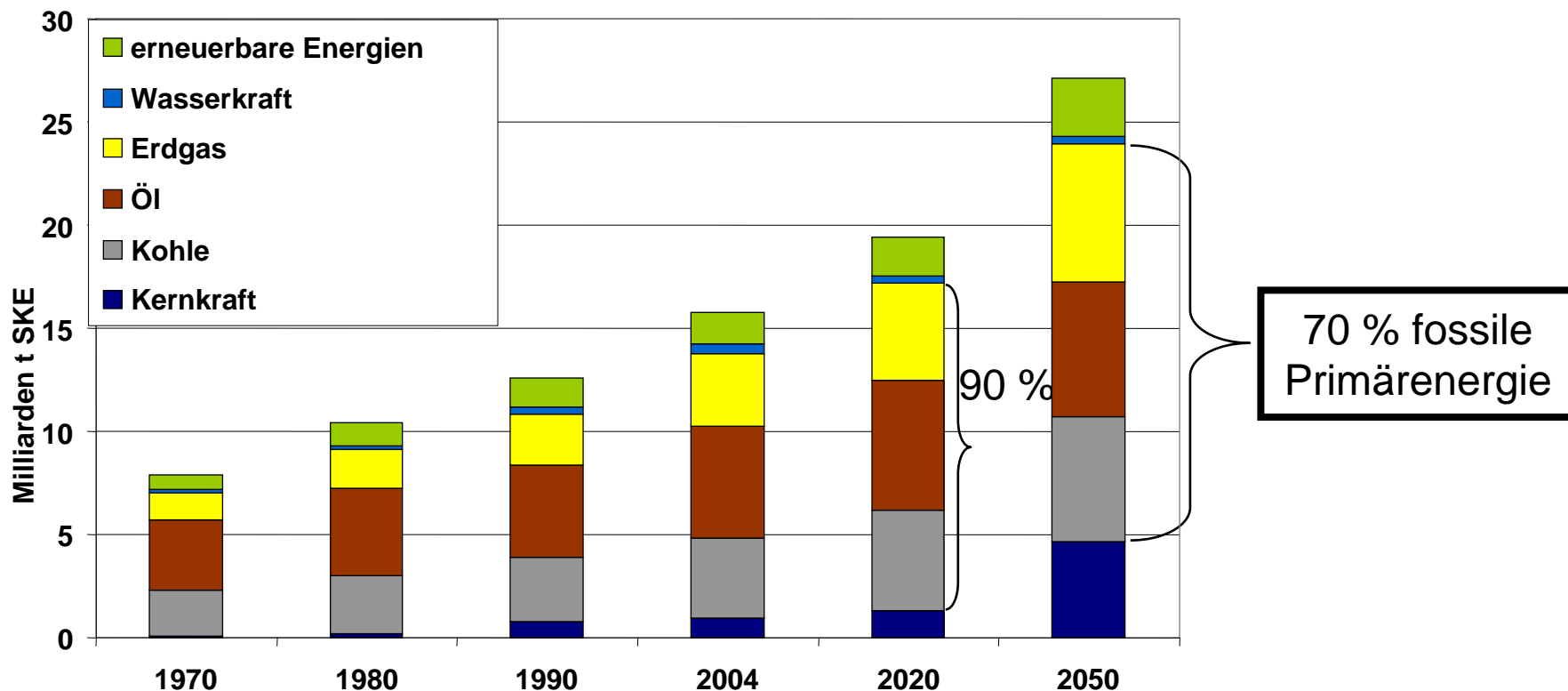
Lebensmittel

Preise an der Warenterminbörse in Chicago



FR-Infografik Quelle: TradingCharts.com

Globaler Energieverbrauch nach Primärenergieträgern



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Mengenströme (pro Tag) für ein 700 MW Kraftwerk

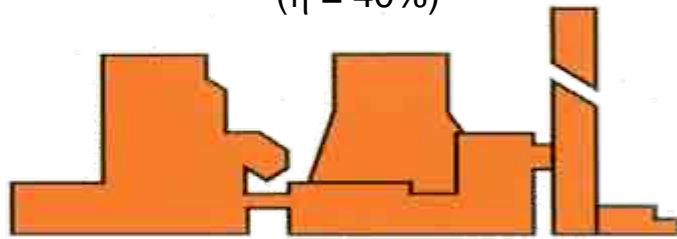
Kohle 6.048 t



Kalk 224 t



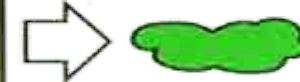
Konventionelles Kohlekraftwerk
($\eta = 40\%$)



SO₂ 10,6 t



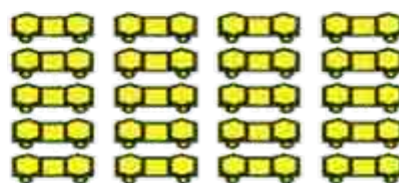
NO_x 10,6 t



Asche 605 t



Gips 325 t

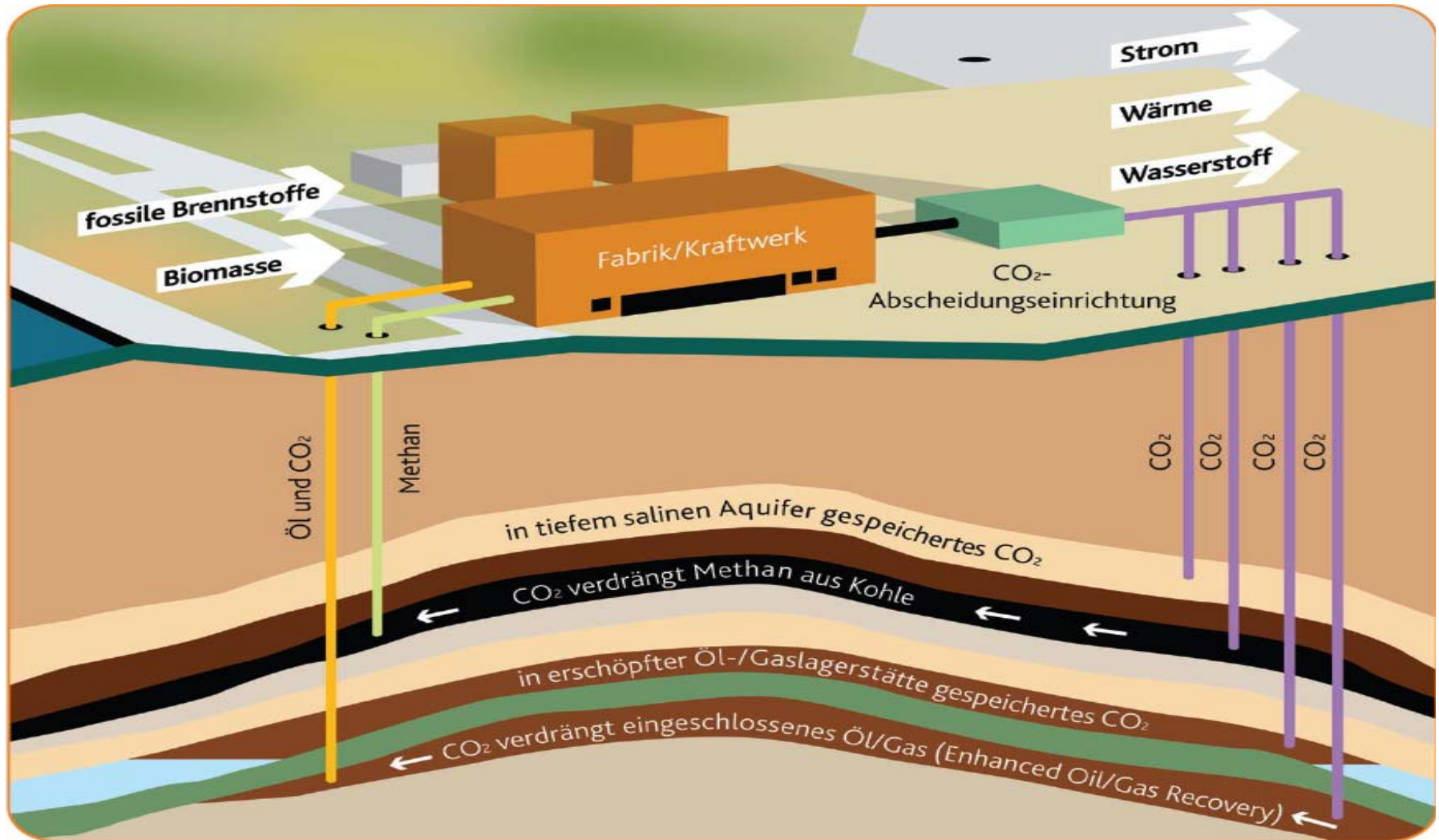


CO₂ 16.200 t

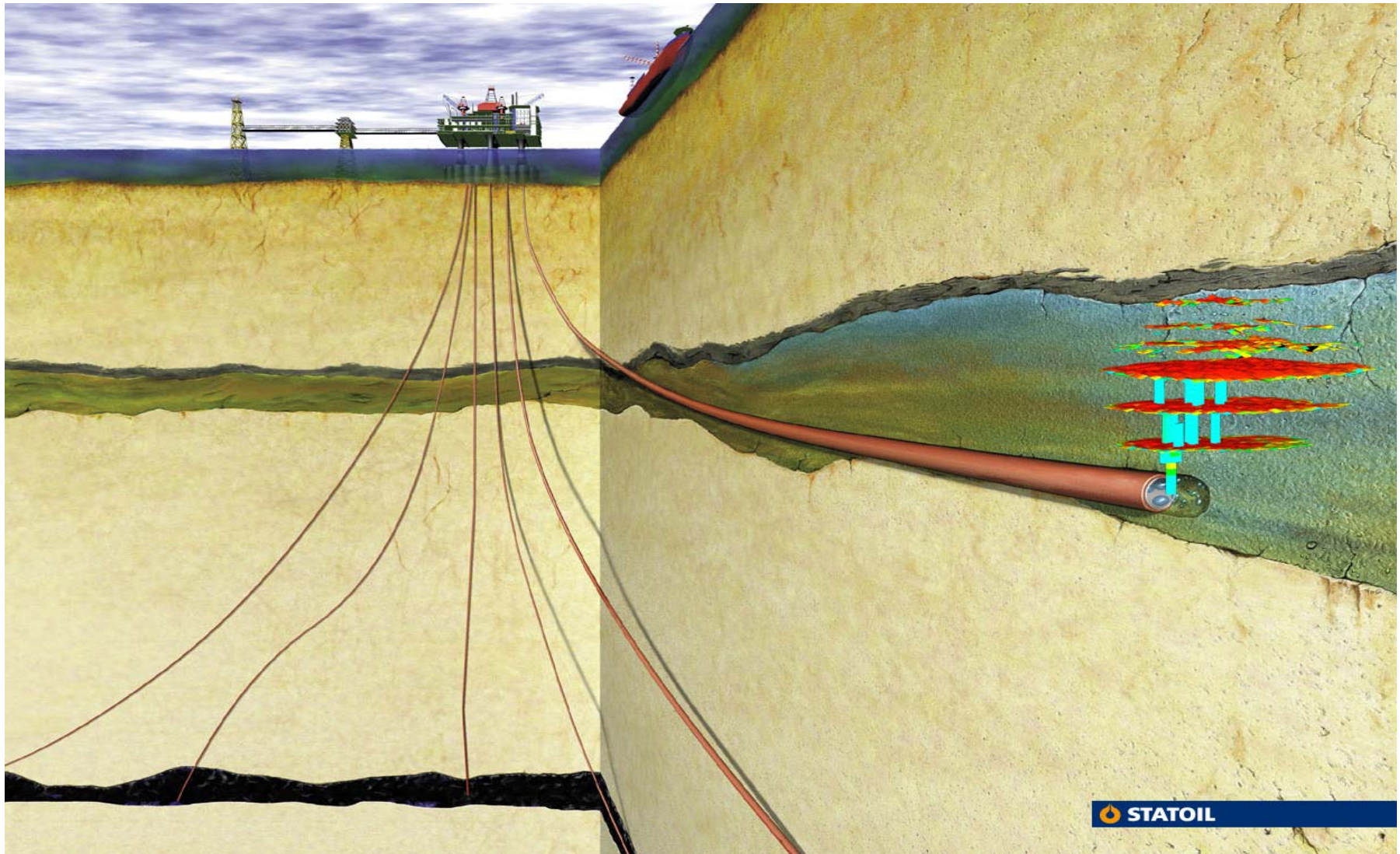


Basis: Steinkohle 73% C, 1,2% S, 10% Asche, Hu 25 MJ/kg

Quelle:
Uhde

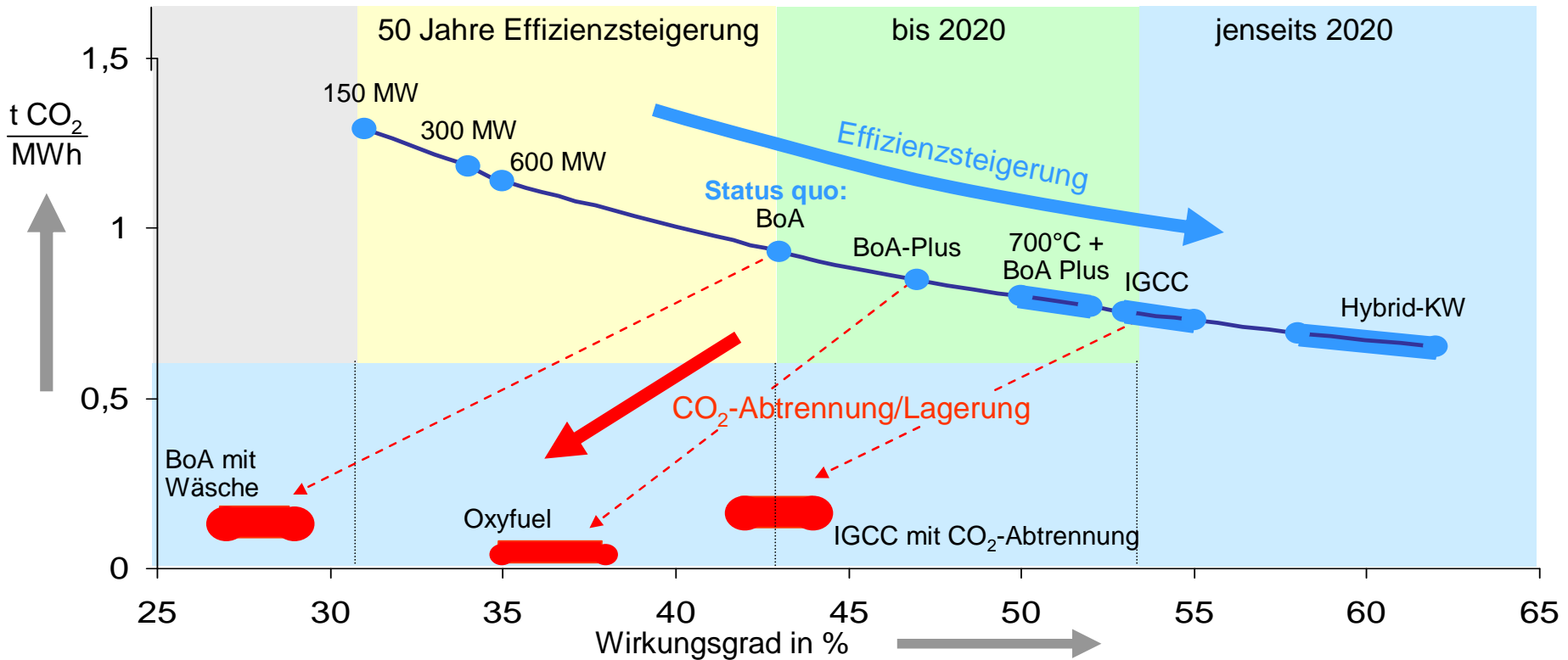


CO₂-Speicherung im Sleipner-Feld



Effizienzsteigerung / Wirkungsgradverlust durch CO₂-Abtrennung

spez. CO₂-Emission

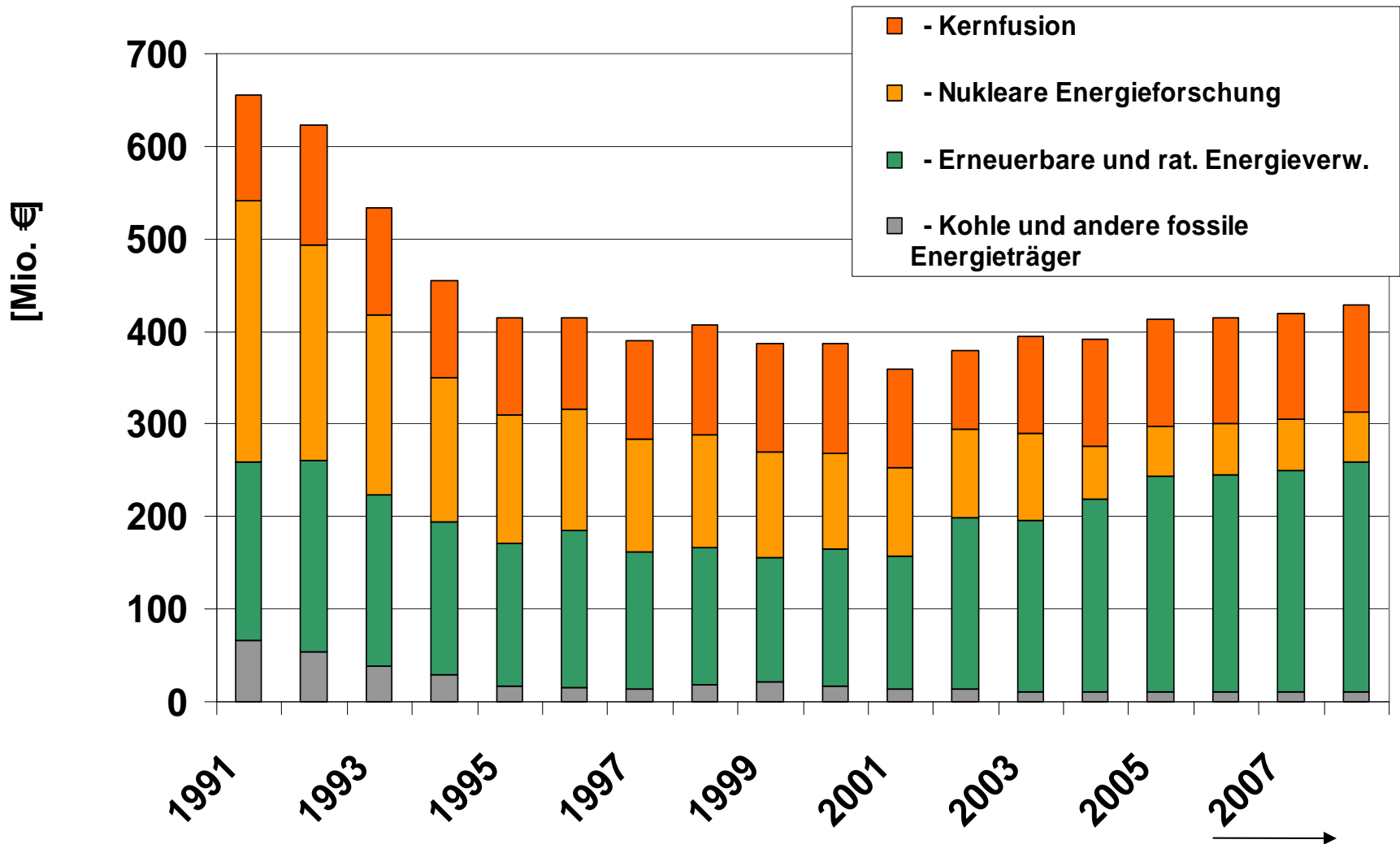


Die CO₂-Minderung durch Abtrennung bietet zusätzlich Potential, aber der Preis:

- kostet rd. 50 Jahre Effizienzsteigerung.
- ca. 1/3 höherer spez. Ressourcenverbrauch.
- etwa Verdoppelung der spez. Stromerzeugungskosten.
- Akzeptanzfrage der CO₂-Lagerung.

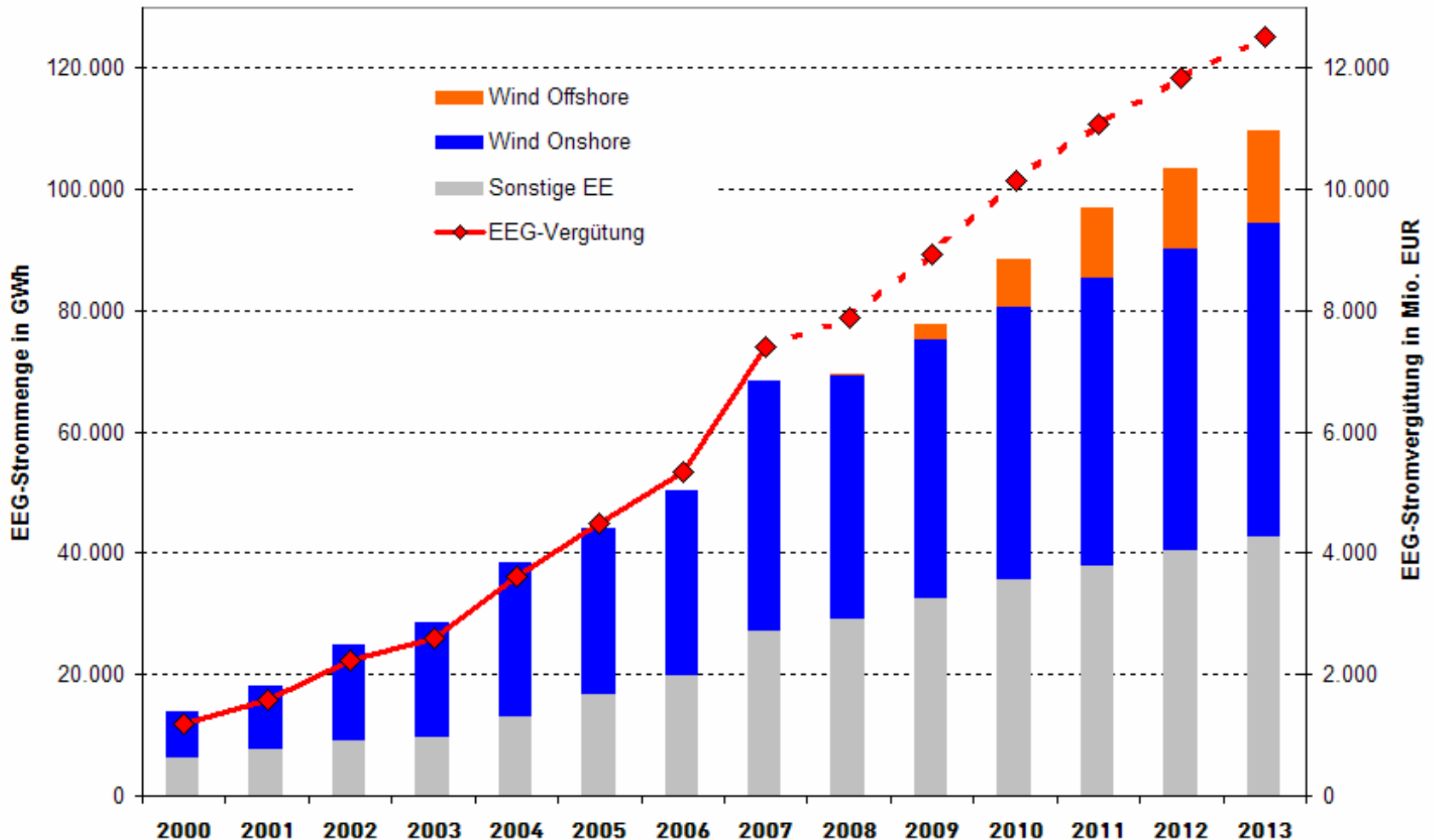
Quelle: RWE

Gesamt-FuE-Bundesmittel für Energieforschung in Deutschland (BMWA, BMBF, BMU, BMVEL)



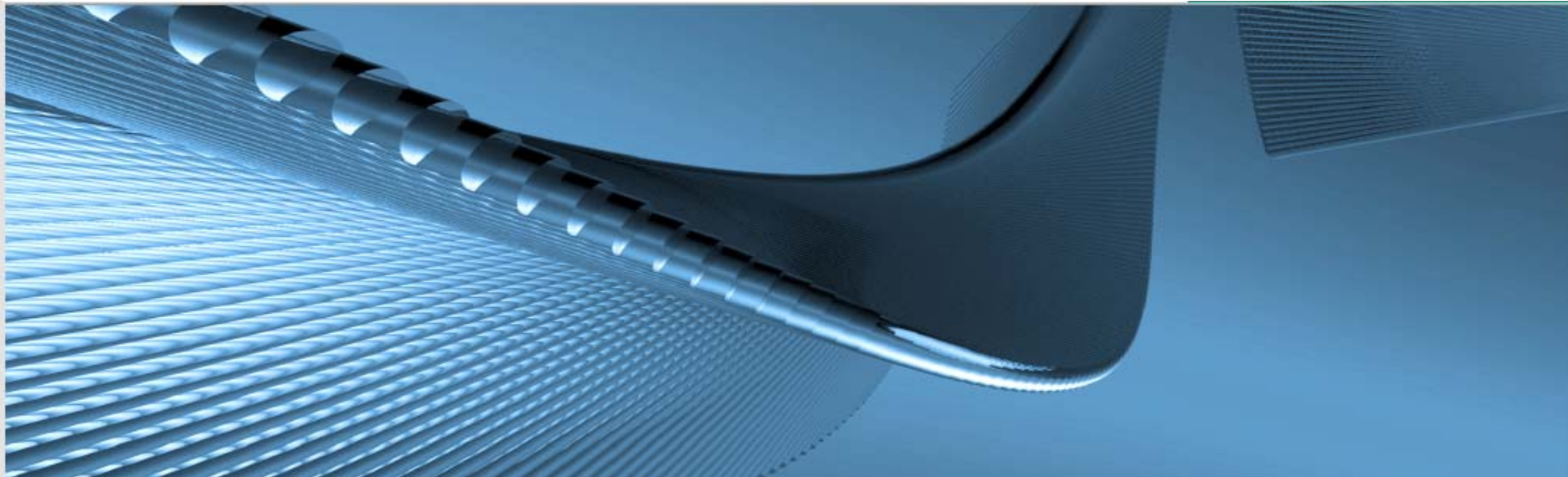
Quelle: BMWA, Energiedaten 2004; 5. Energieforschungsprogramm Juni 2005

EEG-Strommengen und Vergütungszahlungen

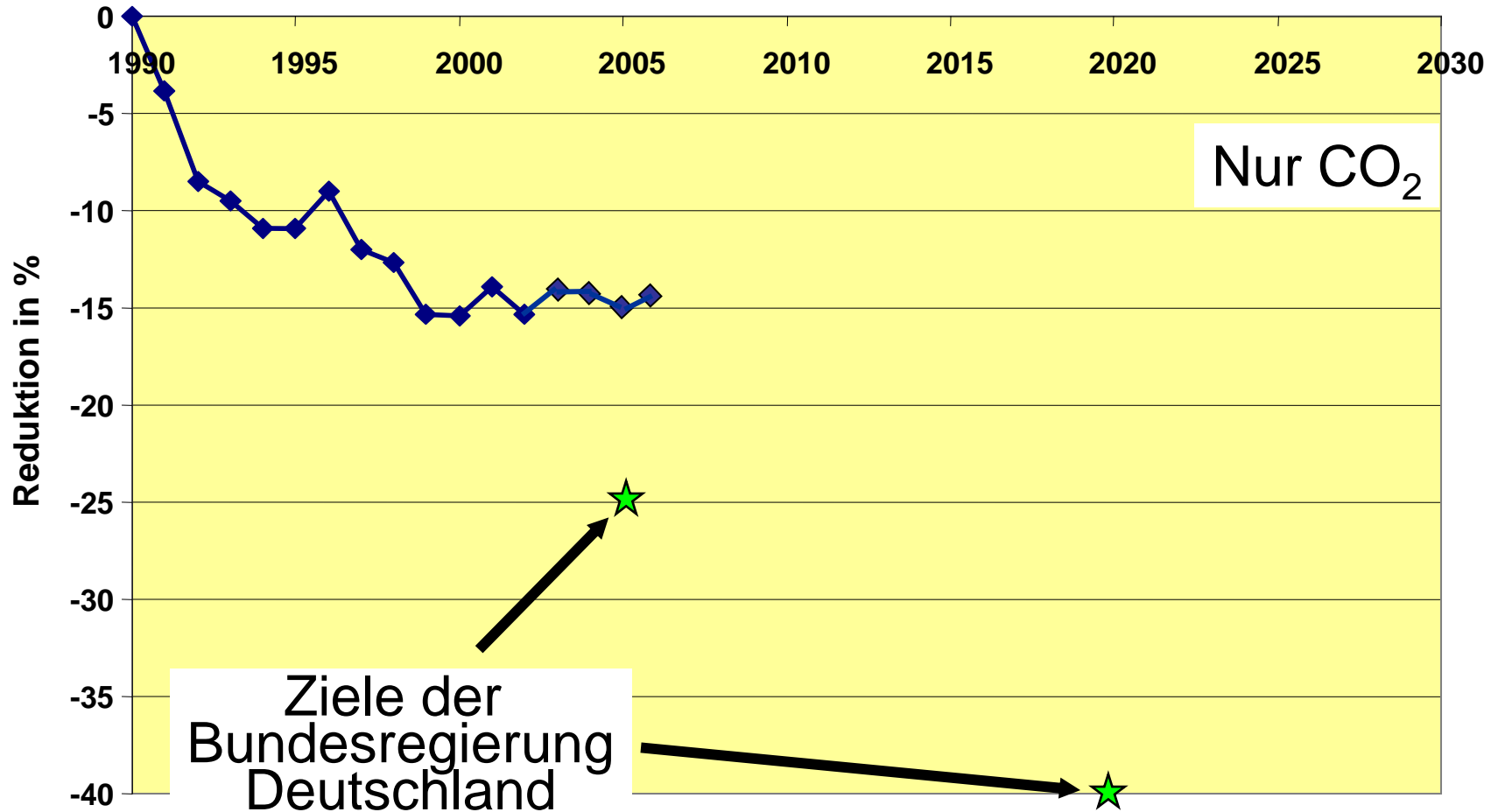


Quellen: BDEW / VDN (Stand: Juni 2007), EnBW

CO₂-Reduktionsziele / Regionale Szenarien

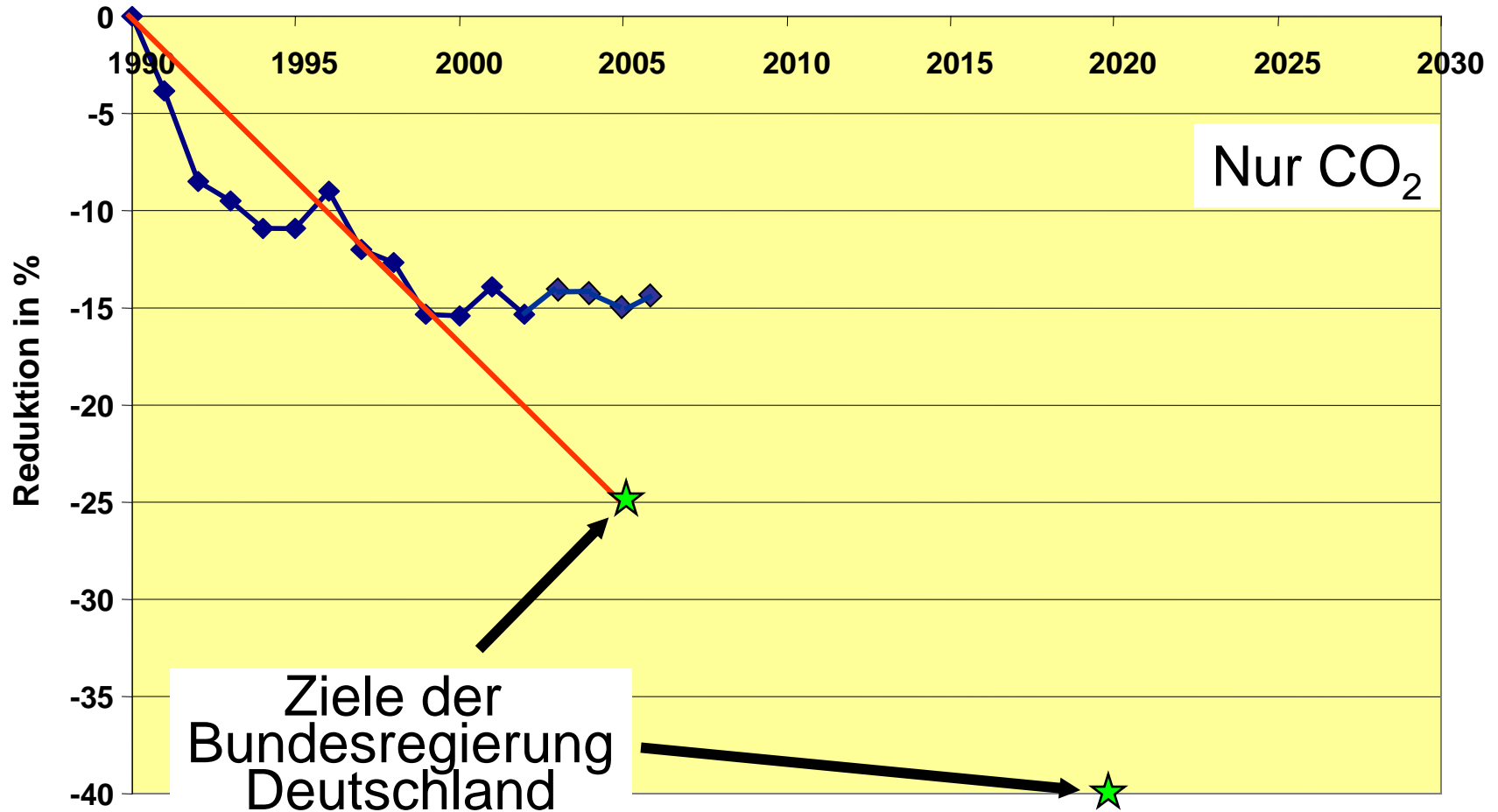


Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland



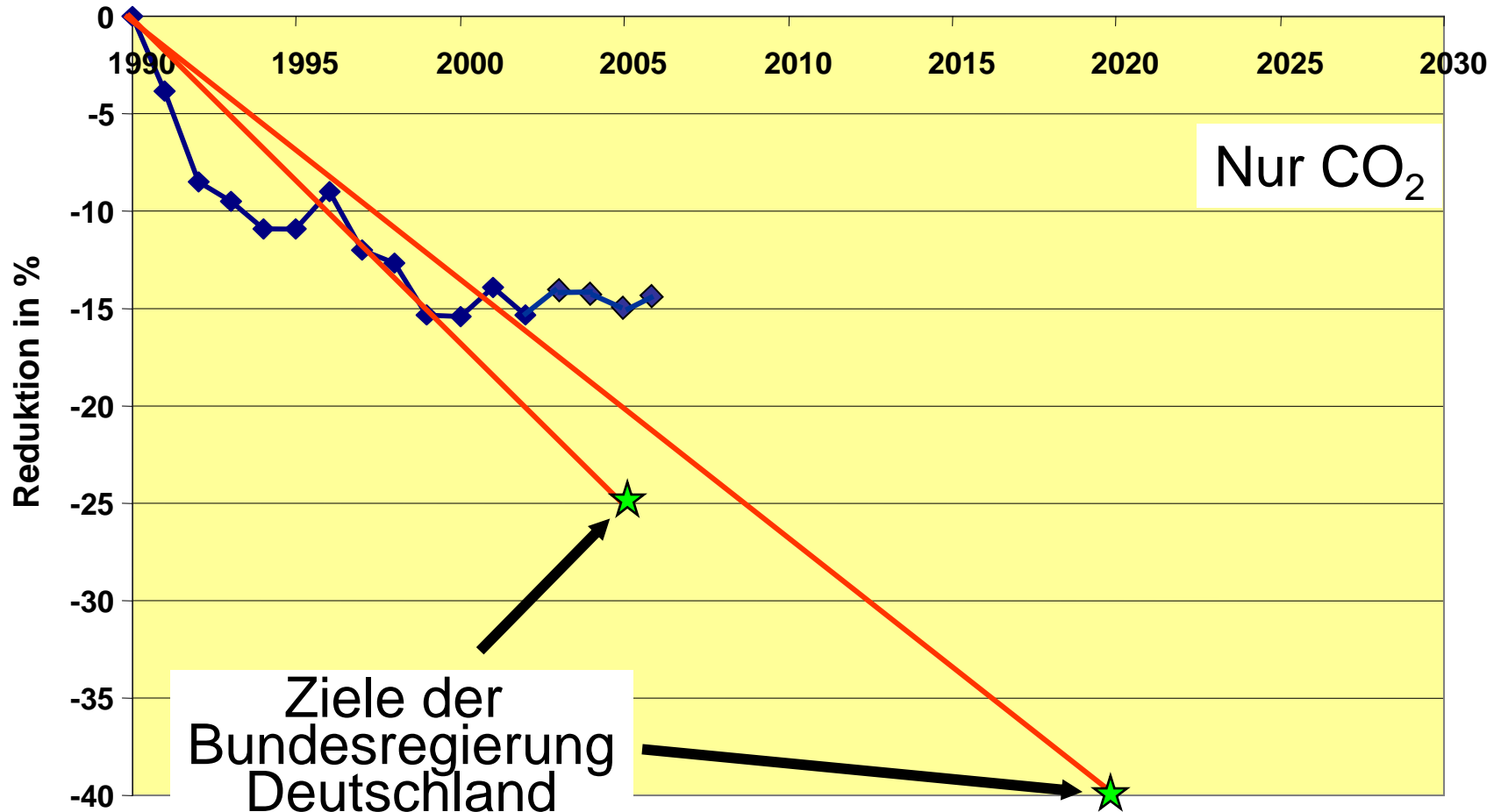
Datenquelle: BMU 3/2003 und Koalitionsvereinbarung Nov. 2005

Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland



Datenquelle: BMU 3/2003 und Koalitionsvereinbarung Nov. 2005

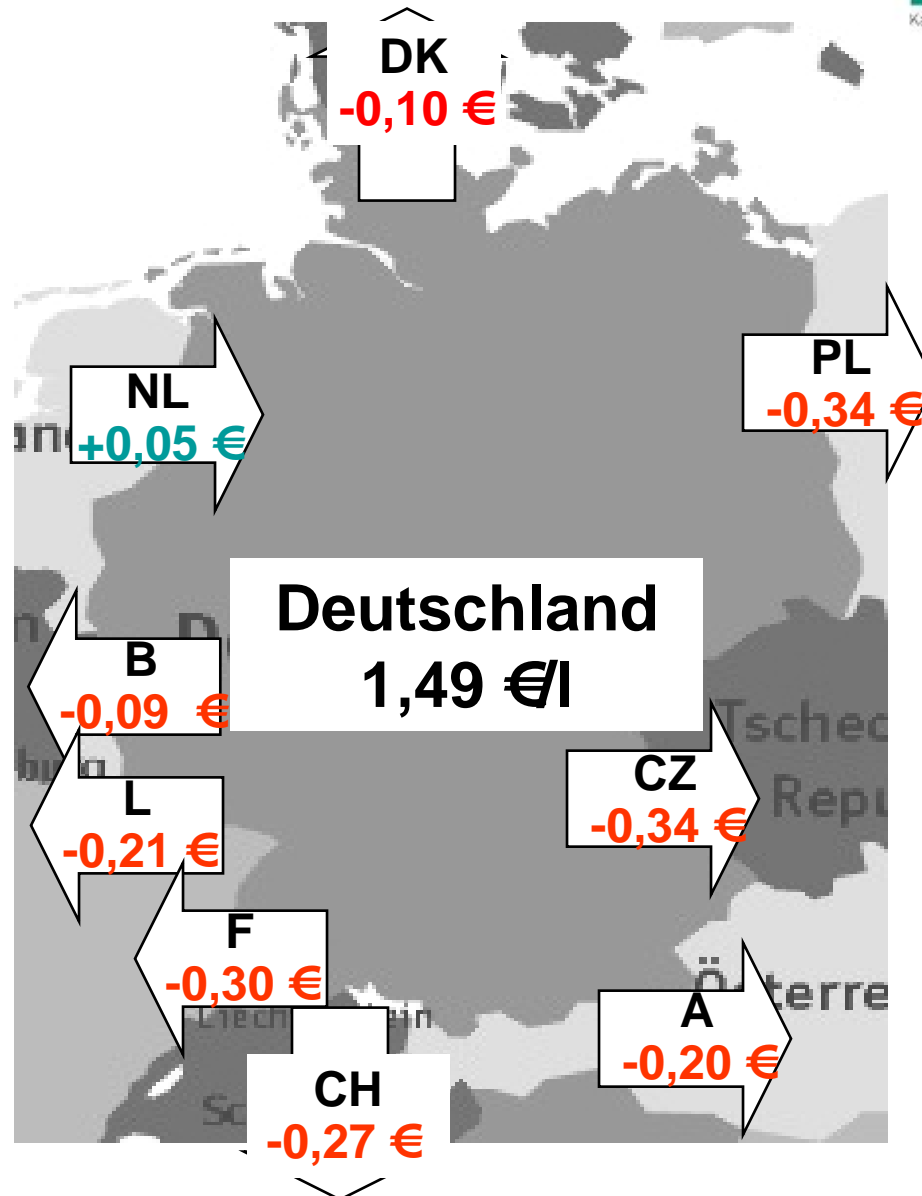
Reduktion der CO₂-Emissionen in Deutschland



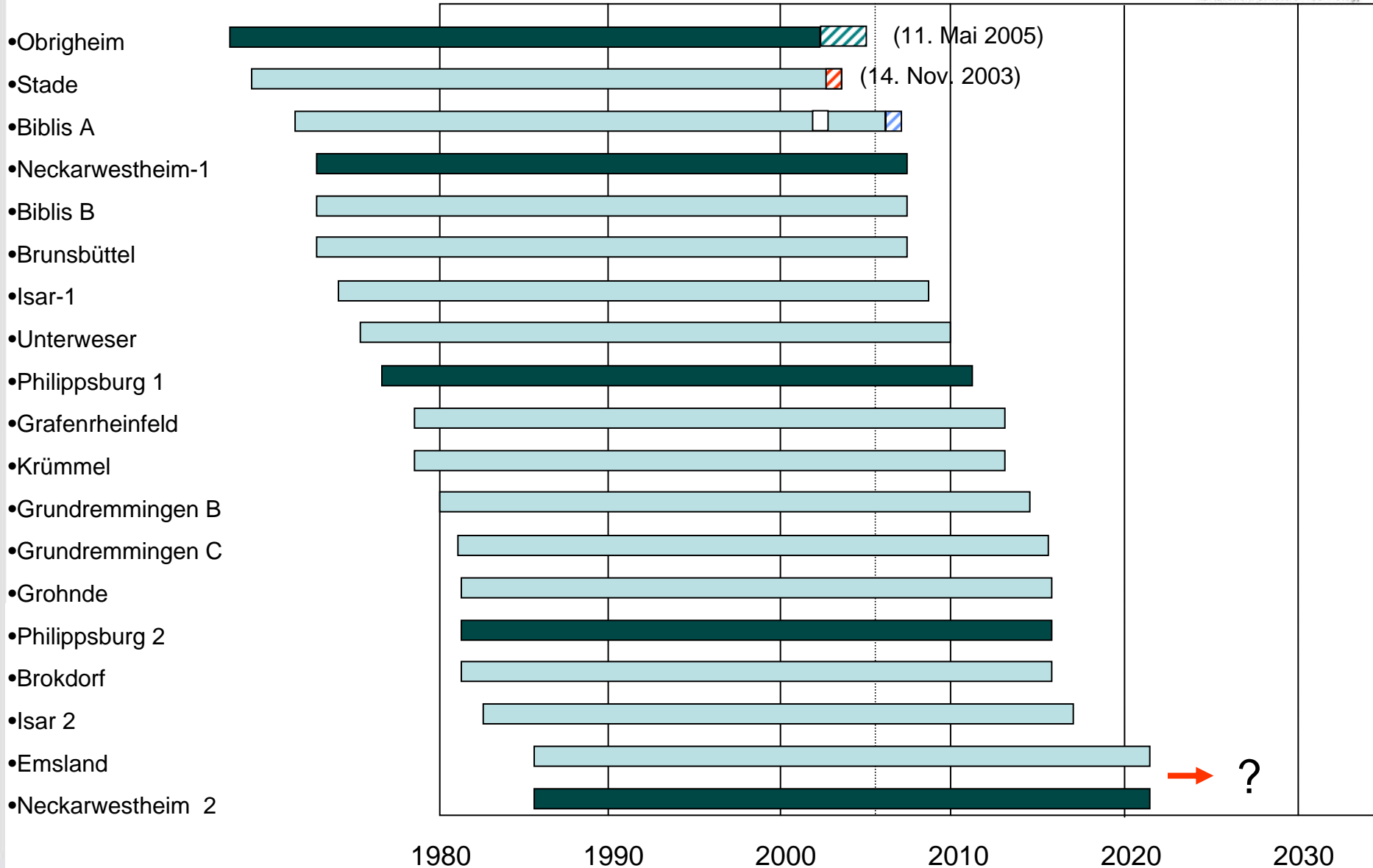
Datenquelle: BMU 3/2003 und Koalitionsvereinbarung Nov. 2005

Gefälle der Super Bleifrei (95) - Preise zu den Nachbarländern

Stand: 8. Mai 2008
Quelle: ADAC



Laufzeiten der KKW in Deutschland

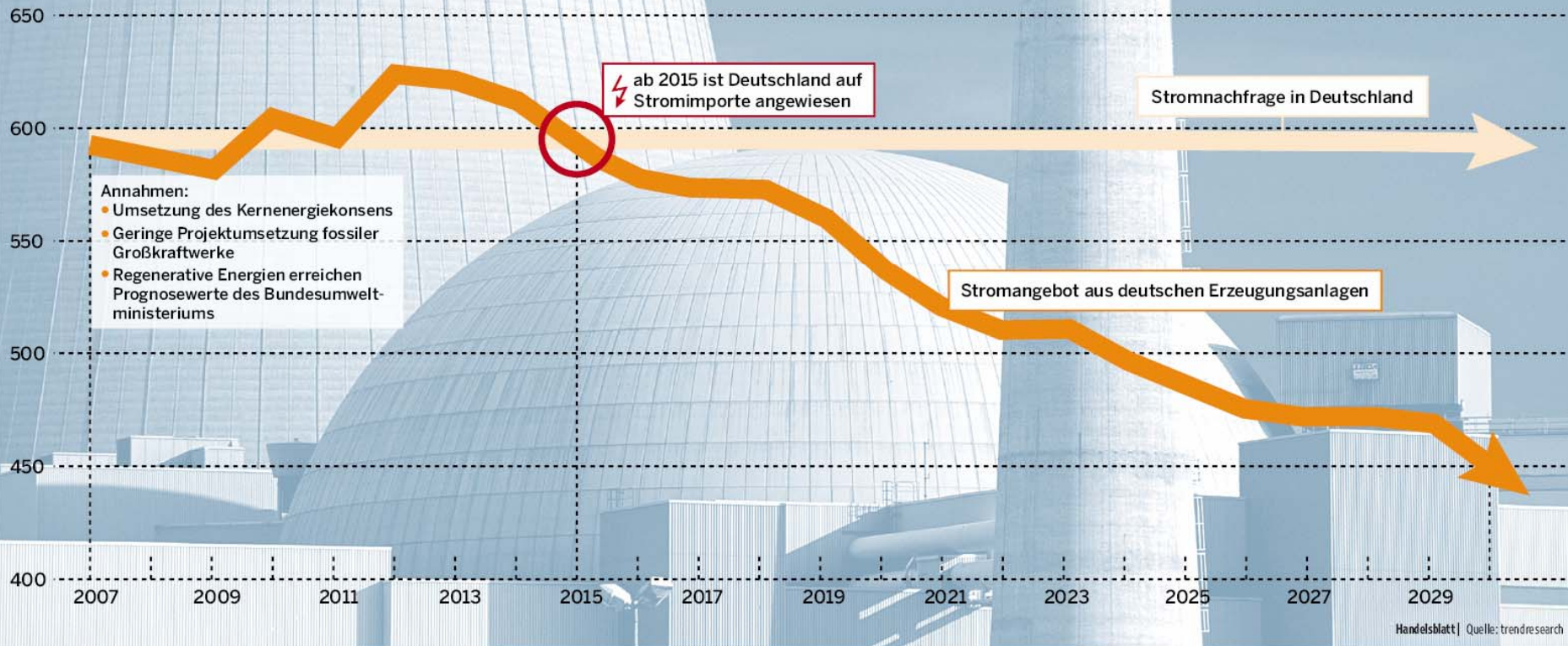


Deutschland droht Stromlücke

Der Neubau von Kraftwerken stockt, schon 2015 können Engpässe entstehen. EnBW-Chef Villis schlägt Alarm.

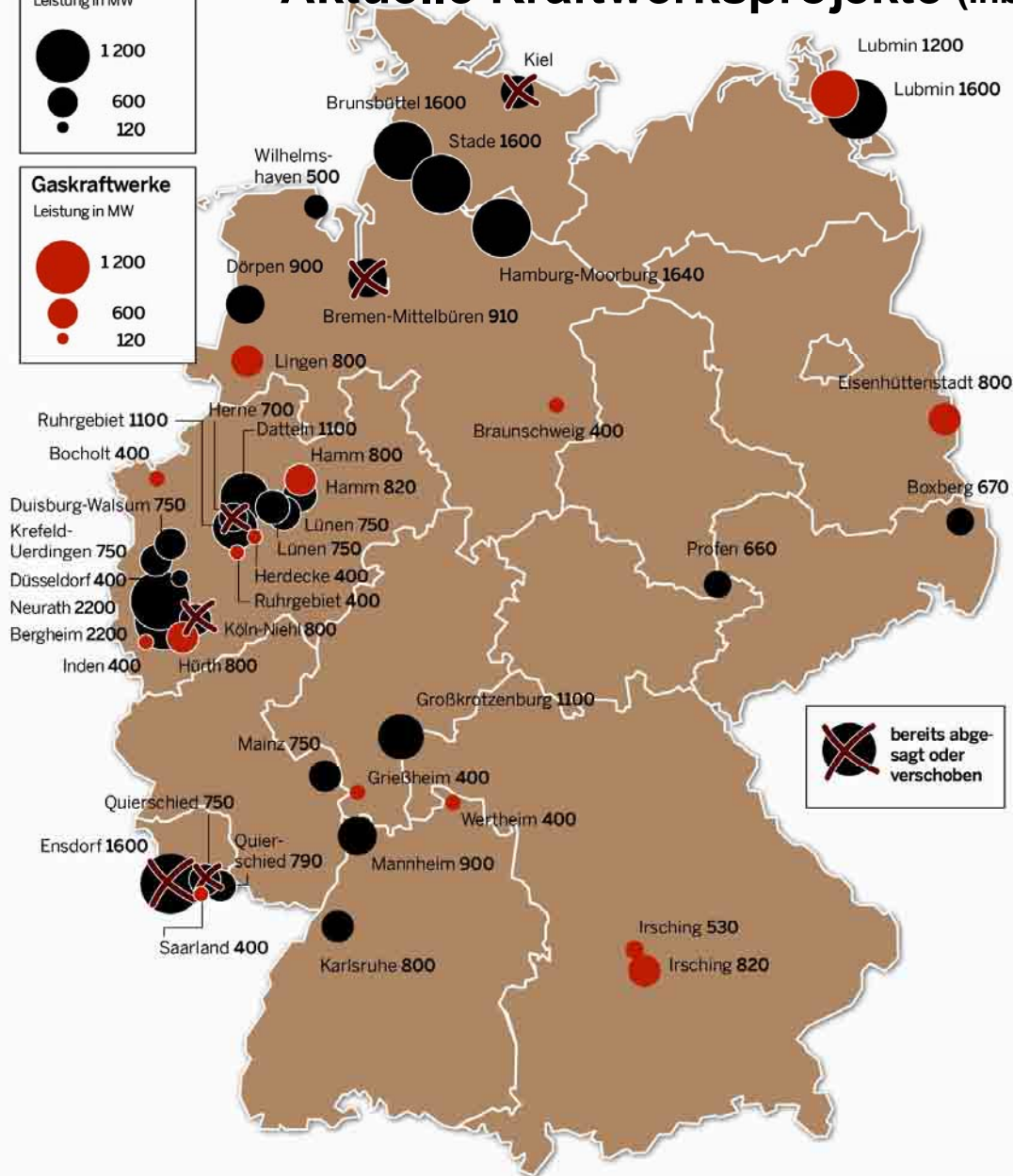
Kraftwerke werden knapp

Stromangebot aus deutschen Erzeugungsanlagen in TWh pro Jahr



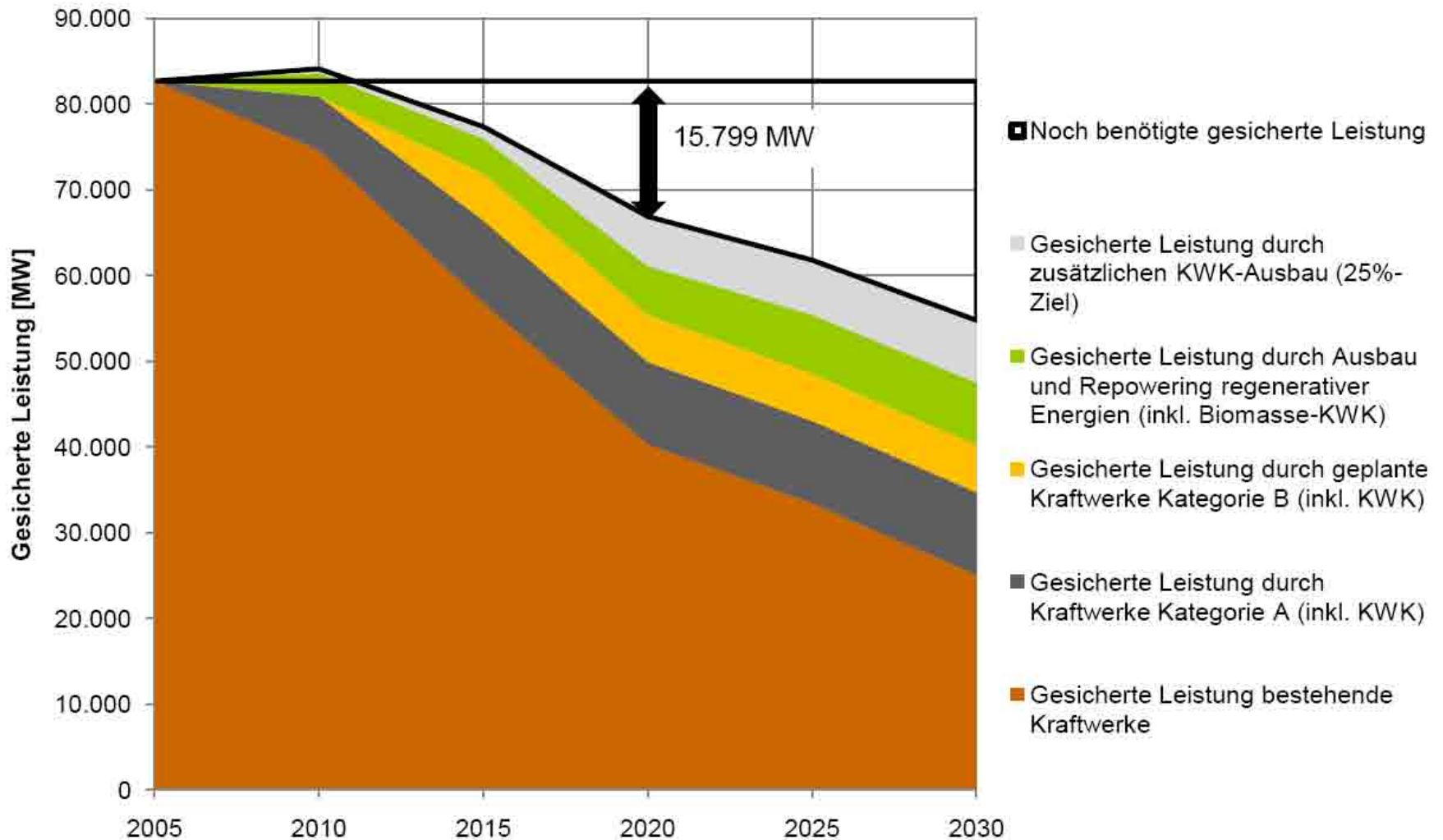
Quelle: Handelsblatt, 21.1.2008

Aktuelle Kraftwerksprojekte (Inbetriebnahmen bis 2015)



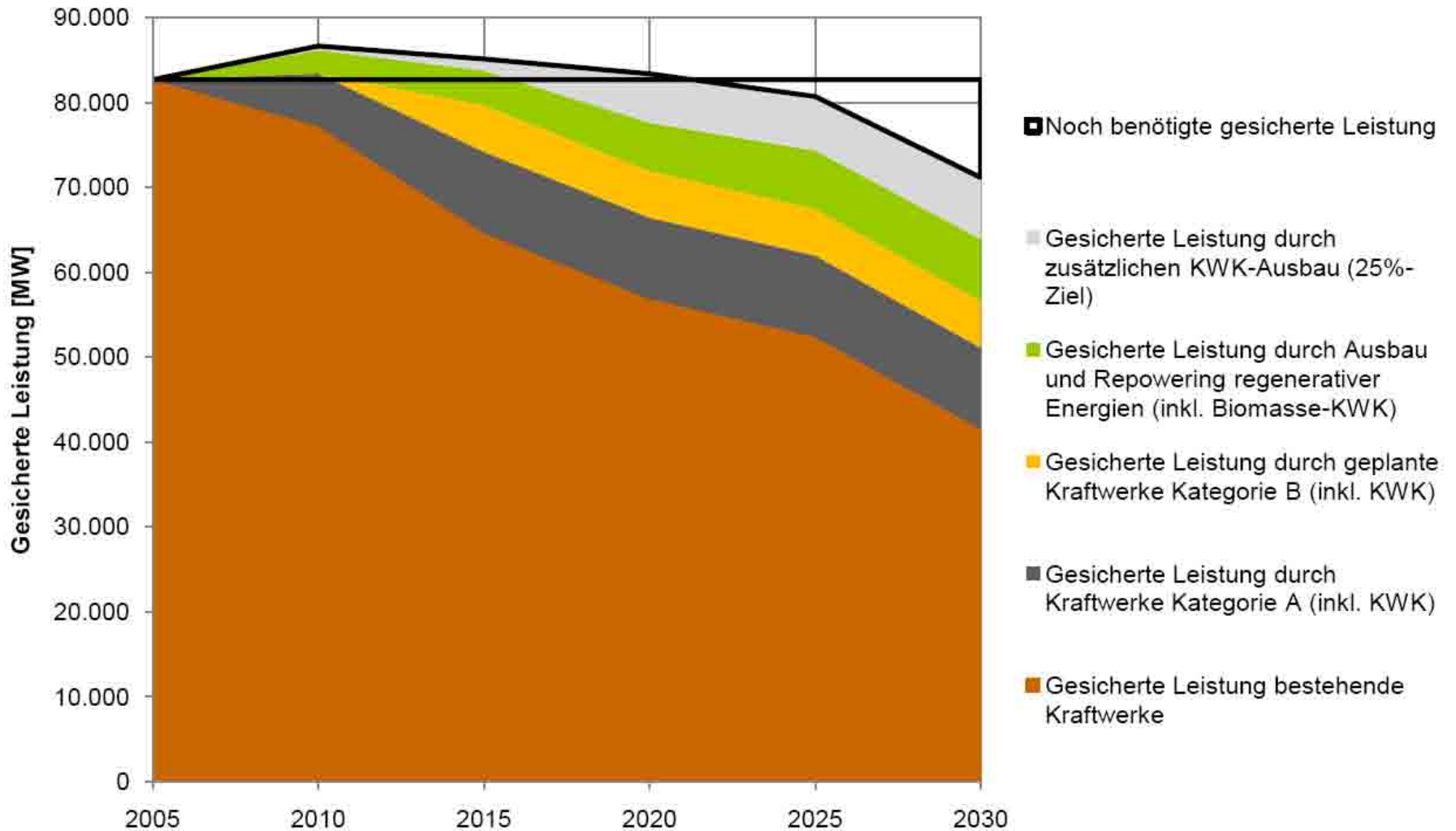
Quelle: Handelsblatt, 28.4.2008

Entwicklung des Kraftwerksparks bis 2030 – konstante Stromnachfrage + Atomausstieg



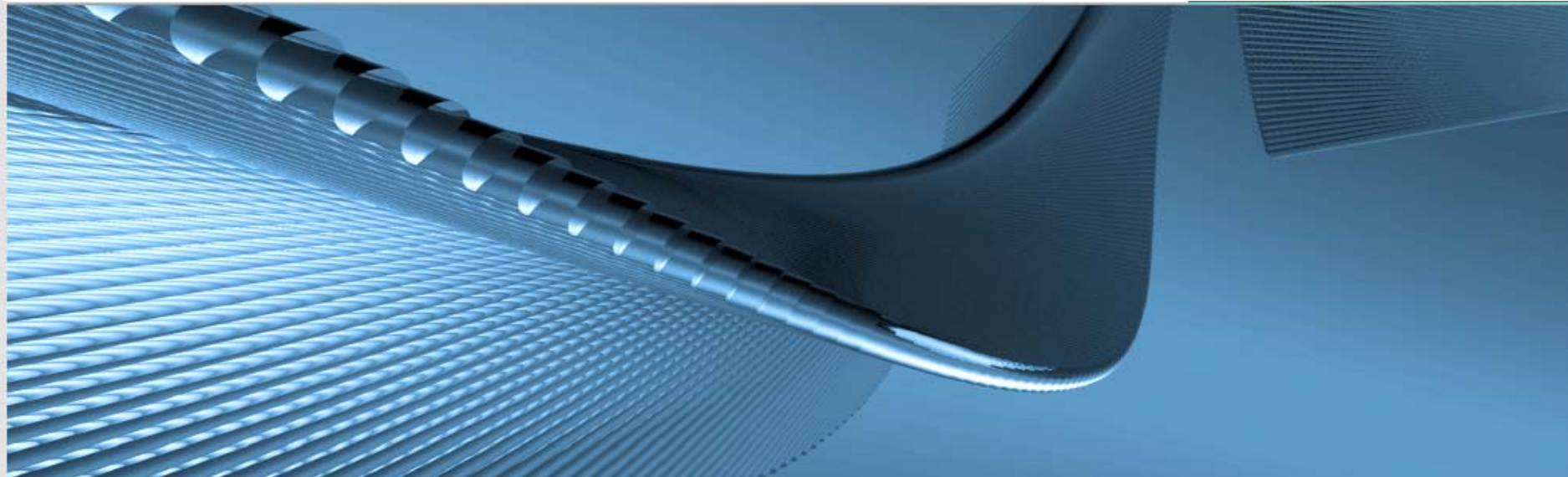
Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Entwicklung des Kraftwerksparks bis 2030 – konstante Stromnachfrage + Laufzeitverlängerung



Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Energieforschung am Karlsruhe Institute of Technology - Ein Ausblick -





Rohstoffe der Kernfusion für den Jahresverbrauch einer Familie (Elektrizität)

75 mg Deuterium

225 mg Lithium

zu finden in:

**2 Litern Wasser und
250 g Gestein**

Energiegehalt:

**48 000 Millionen
Joule
entsprechend
1 000 Litern Öl**



Quelle: Forschungszentrum Jülich

Brennstoffverbrauch und Ressourcen der Deuterium/Tritium-Fusion

Jahresverbrauch für ein Fusionskraftwerk mit einer Leistung von 1000 MW

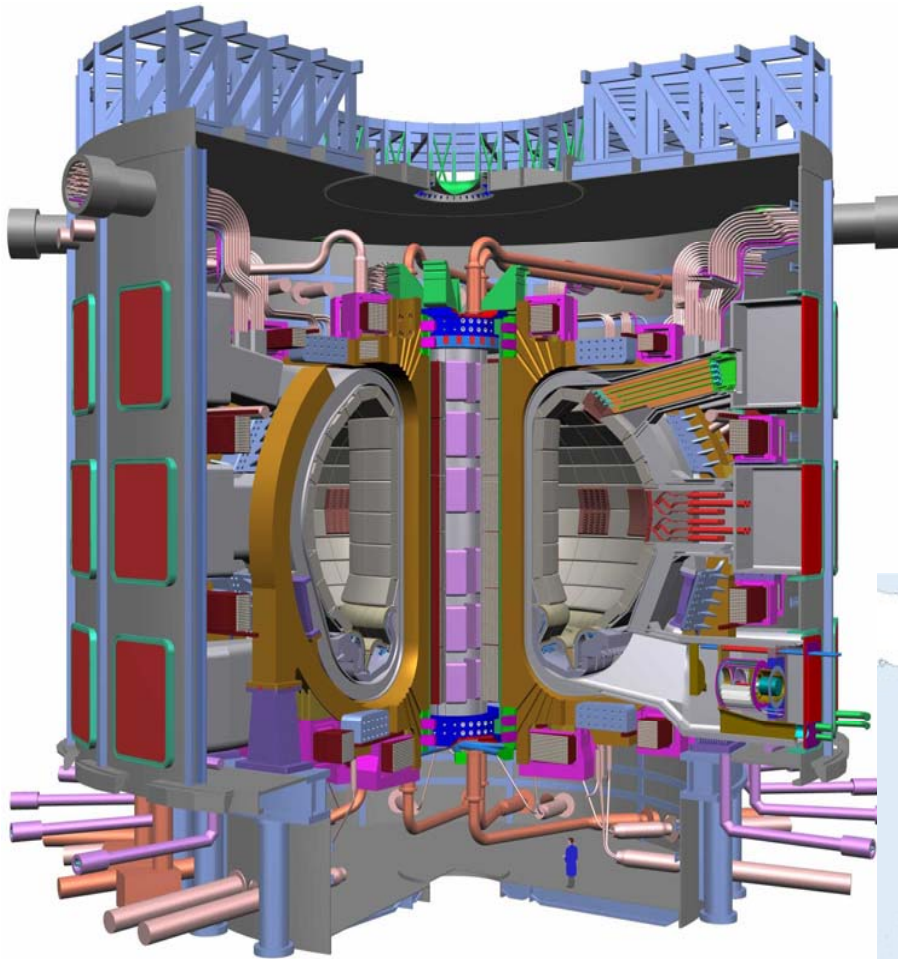
100 kg Deuterium und 150 kg Tritium

150 kg Tritium wird aus 300 kg ${}^6\text{Li}$ mit der Brutreaktion ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + \text{T}$ gewonnen

Steinkohlekraftwerk zum Vergleich: 2 700 000 Tonnen Kohle pro Jahr

	Vorrat	Verfügbarkeit bei heutigem Verbrauch
Deuterium in Ozeanen	5×10^{16} kg	45 Milliarden Jahre
Lithium in Landmasse	10^{11} kg	30 000 Jahre
Lithium in Ozeanen	10^{14} kg	30 Millionen Jahre

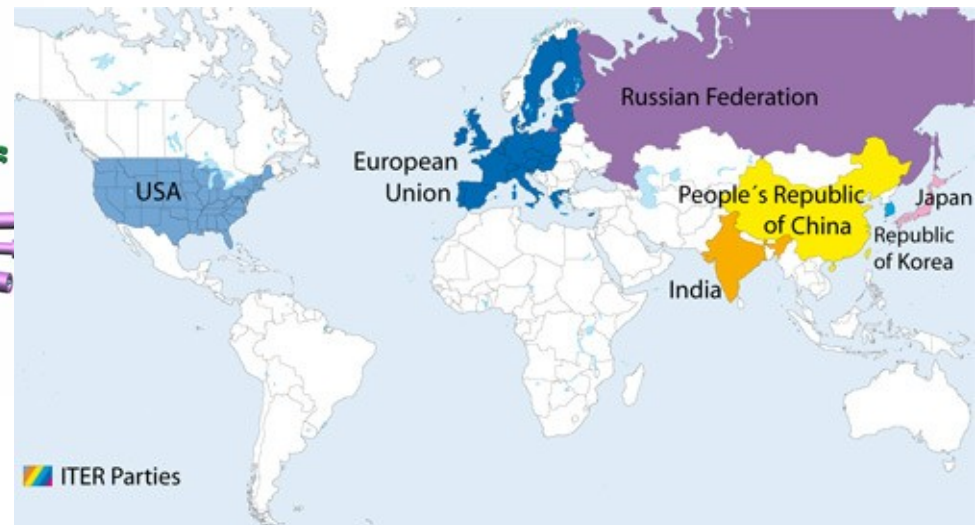
Quelle: Forschungszentrum Jülich



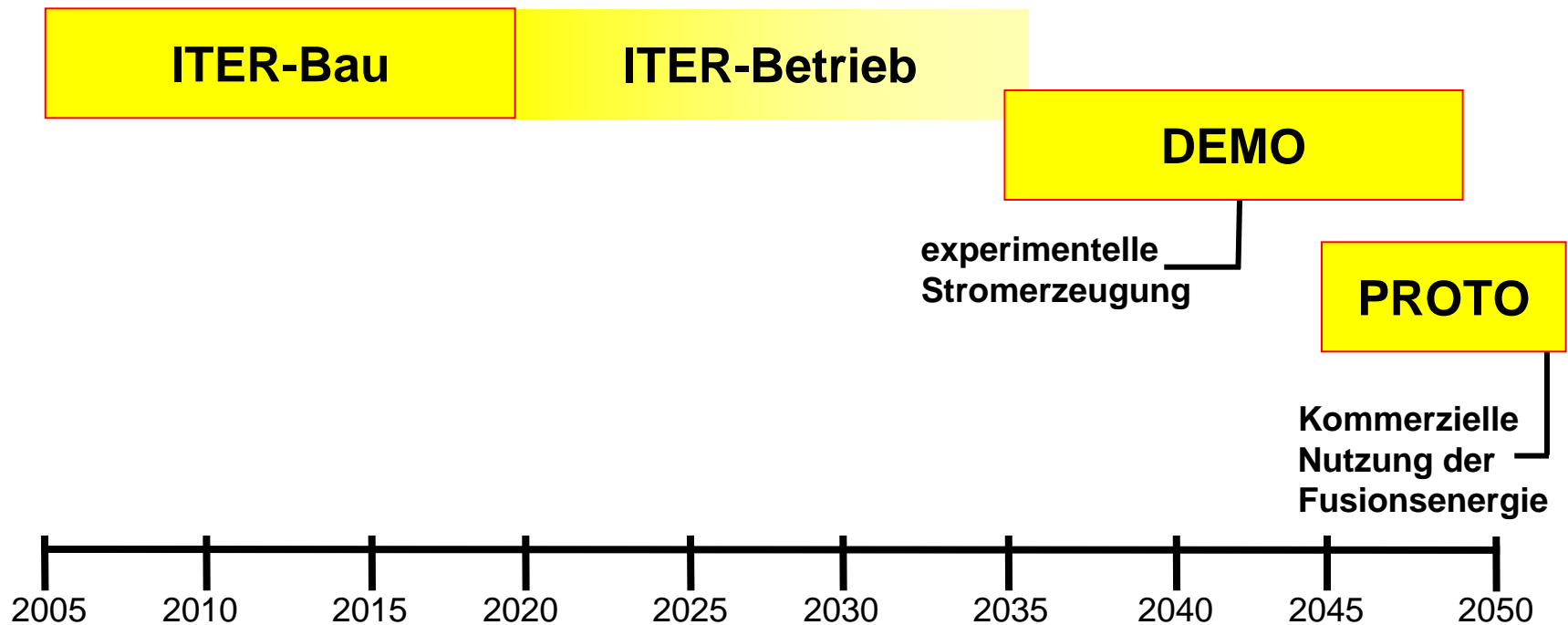
ITER, Cadarache, Frankreich

Kosten von ITER:

- Bau: $\Sigma \sim 5$. Mrd. € / 10 Jahre
 - 32 % EU
 - 28 % Frankreich (Sitzstaat)
 - je 8 % USA, Rußland, China, Südkorea und Japan
- Betrieb: $\Sigma \sim 5$. Mrd. € / 20 Jahre



Strategie auf dem Weg zur kommerziellen Nutzung der Fusionsenergie



A view of Earth from space, showing the curvature of the planet and the atmosphere. A bright light source, likely the sun, is shining down from the top, creating a vertical beam of light that illuminates a specific region on the Earth's surface. The background is the dark void of space.

Im Verlauf dieses Vortrags

- wurden 16 500 000 000 kWh Primärenergie verbraucht
- wurden 4 950 000 t CO₂ in die Atmosphäre abgegeben
- wurden mehr als 10 500 neue PKW und LKW produziert
- erhöhte sich die Weltbevölkerung um 18 000 Menschen