

# 1.2 Energie

## 1.2.1 Weltenergieverbrauch und Ressourcen

### Was ist Nachhaltigkeit (sustainability)?

„Den Bedürfnissen der heutigen Generationen entsprechen, ohne die Möglichkeiten der zukünftigen Generationen zu schmälern ihre eigenen Interessen zu verfolgen.“

.... und wie kann sie erreicht werden?

Was ist Energie? (→ Hauptsätze der Thermodynamik)

### Energieeinheiten

1kg Steinkohle	=	1,0 kg SKE	=	8,2 kWh (= 29,2 MJ = 7000 kcal)
1kg Öl (oe)	=	1,4 kg SKE	=	12,0 kWh
1m <sup>3</sup> Gas	=	1,1 kg SKE	=	9,0 kWh
1kg <sup>235</sup> U	=	2,6 x 10 <sup>6</sup> SKE	=	22 x 10 <sup>6</sup> kWh
„1m <sup>2</sup> Solarzellen	=	12 kg SKE/a	=	100 kWh/a (η=10%)“
„Wind	=	683 kg SKE/a	=	5600 kWh/a/m <sup>2</sup> (v=10m/s)“

### Energiestrom (Leistung)

1 t SKE/a = 8200 kWh/a = 0,94 kW

# Wichtig ist die Unterscheidung von Energie und Leistung!

## Vorsätze und Vorsatzzeichen

<b>Kilo</b>	K	10 <sup>3</sup>
<b>Mega</b>	M	10 <sup>6</sup>
<b>Giga</b>	G	10 <sup>9</sup>
<b>Tera</b>	T	10 <sup>12</sup>
<b>Peta</b>	P	10 <sup>15</sup>
<b>Exa</b>	E	10 <sup>18</sup>

## Einheiten für Energie und Leistung <sup>1)</sup>

Joule	J	Für Energie, Arbeit, Wärmemenge
Watt	W	Für Leistung, Energiestrom, Wärmestrom
1 Joule (J) = 1 Newtonmeter (Nm) = 1 Wattsekunde (Ws)		

1) Für Deutschland als gesetzliche Einheiten verbindlich ab 1978. Die Kalorie und davon abgeleitete Einheiten wie Steinkohleeinheit und Rohöleinheit werden noch hilfsweise verwendet.

<b>Terawattstunde</b>	1 TWh = 1 Mrd. kWh
<b>Gigawattstunde</b>	1 GWh = 1 Mio. kWh
<b>Megawattstunde</b>	1 MWh = 1.000 kWh

## Umrechnungsfaktoren <sup>2)</sup>

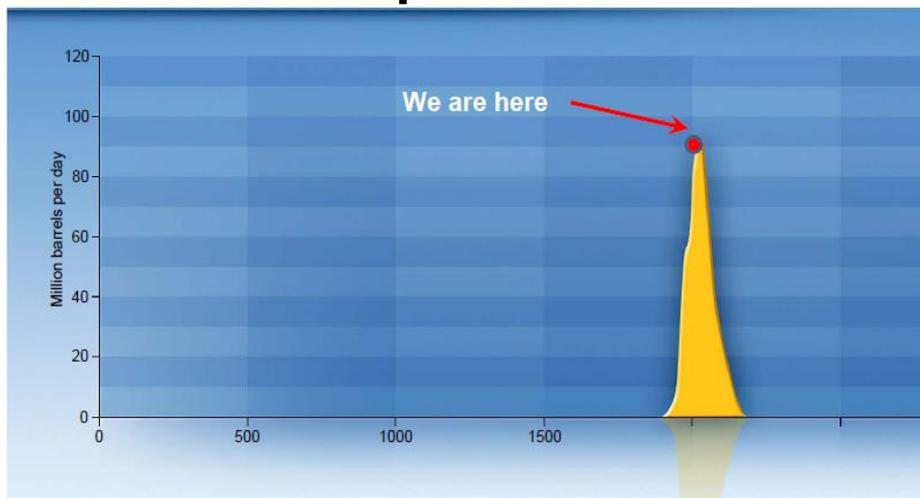
		<b>kJ</b>	<b>kcal</b>	<b>kWh</b>
1 Kilojoule	kJ	1	0,2388	0,000278
1 Kilokalorie	Kcal	4,1868	1	0,001163
1 Kilowattstunde	kWh	3.600	860	1
1 kg Steinkohleeinheit	SKE	29.308	7.000	8,14
1 kg Rohöleinheit	RÖE	41.868	10.000	11,63

2) Die Zahlen beziehen sich auf den Heizwert.

## Herausforderungen:

1. Der Energieverbrauch steigt.
2. Die Ressourcen sind endlich und machen abhängig.
3. Die Emissionen verursachen Klimawandel.
4. Es gibt große Ungerechtigkeiten (Gleichverteilung).

## Treiber: Weltölproduktion



Quelle: General Motors

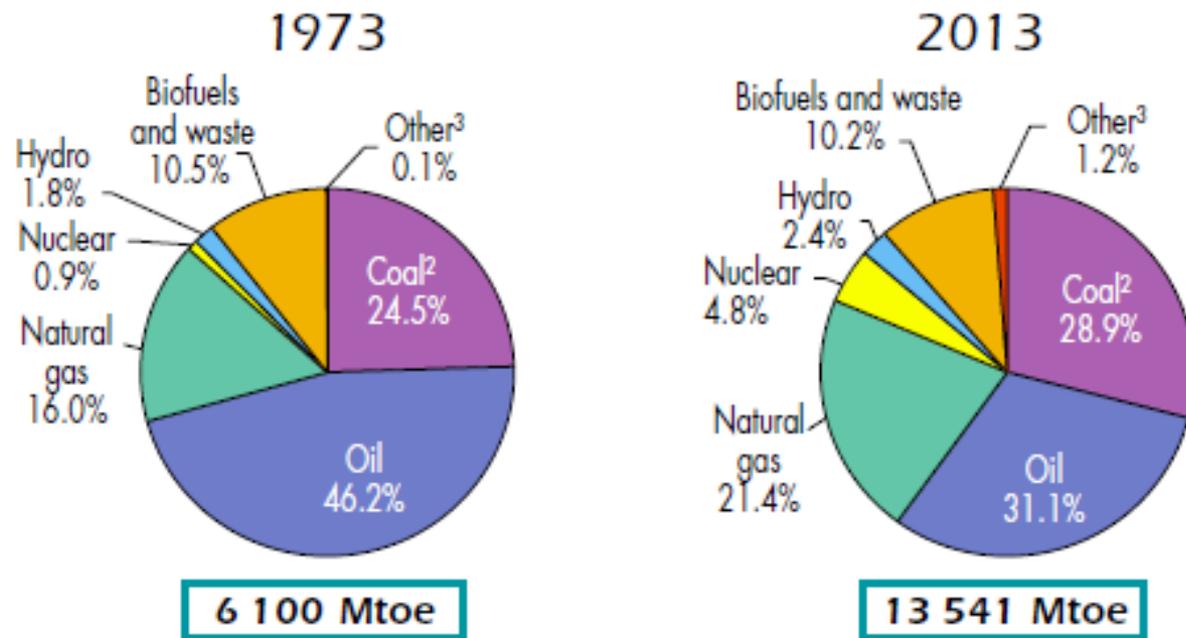
# Weltenergieverbrauch und Ressourcen

Struktur des Weltenergieverbrauchs

Bevölkerung:  $6 \times 10^9$  Einwohner

Gesamtverbrauch:  $11,95 \times 10^9$  SKE/a (im Vergleich 1,87 kW/a pro Kopf)

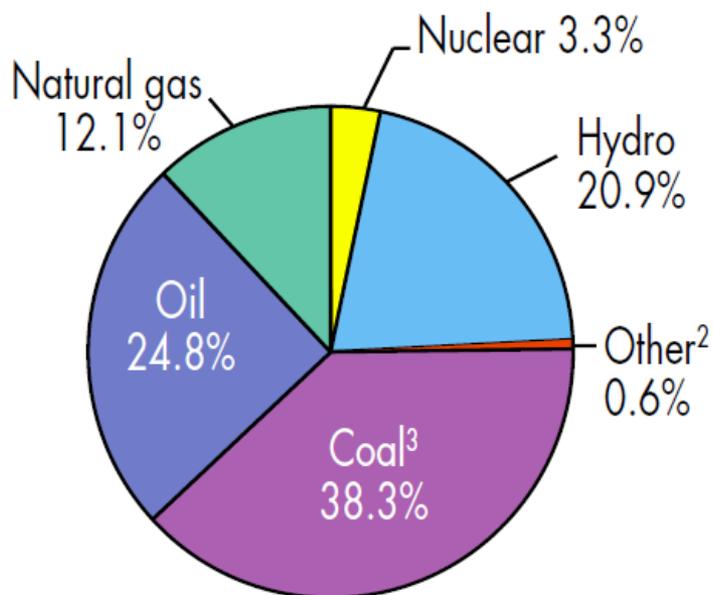
Total Primary Energy Supply



1. World includes international aviation and international marine bunkers.
2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
3. Includes geothermal, solar, wind, heat, etc.

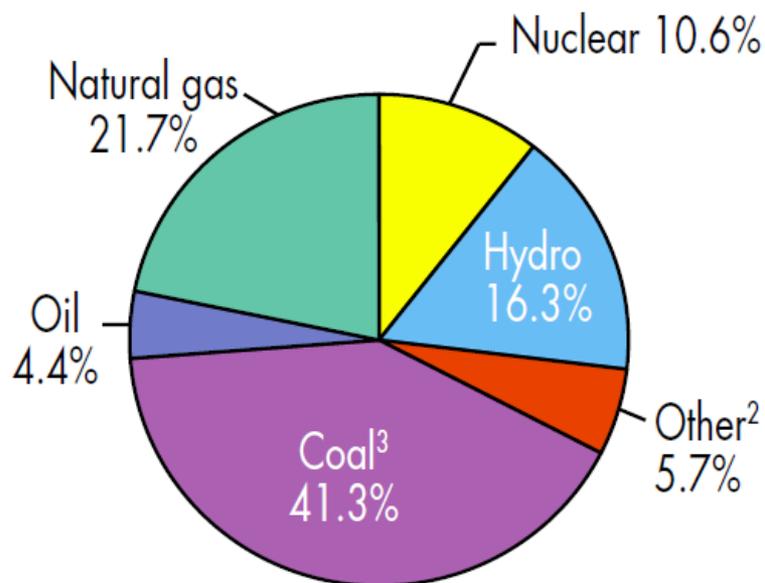
# Fuel Share of Electricity Generation (World)

1973



**6 131 TWh**

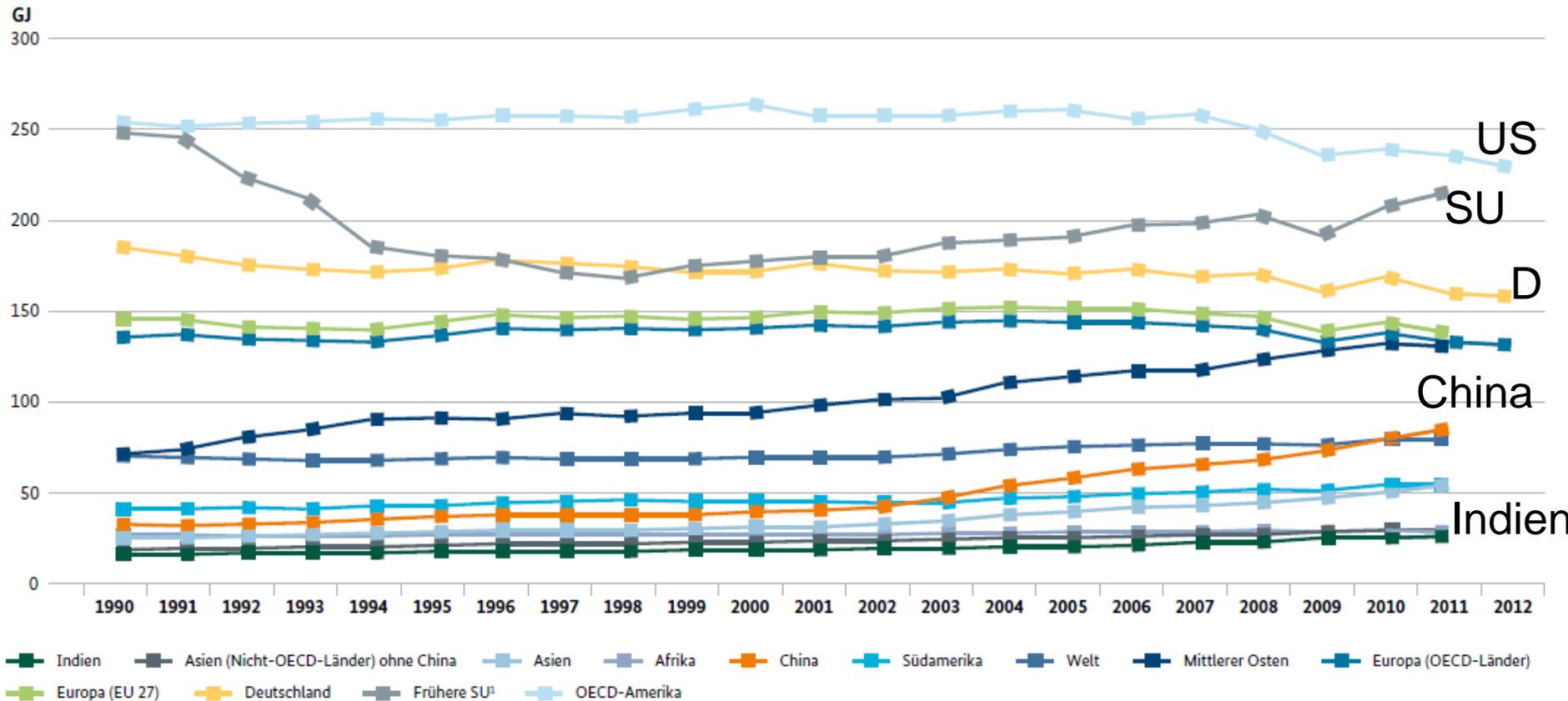
2013



**23 322 TWh**

1. Excludes electricity generation from pumped storage.
2. Includes geothermal, solar, wind, heat, etc.
3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.

# Energieverbrauch pro Kopf

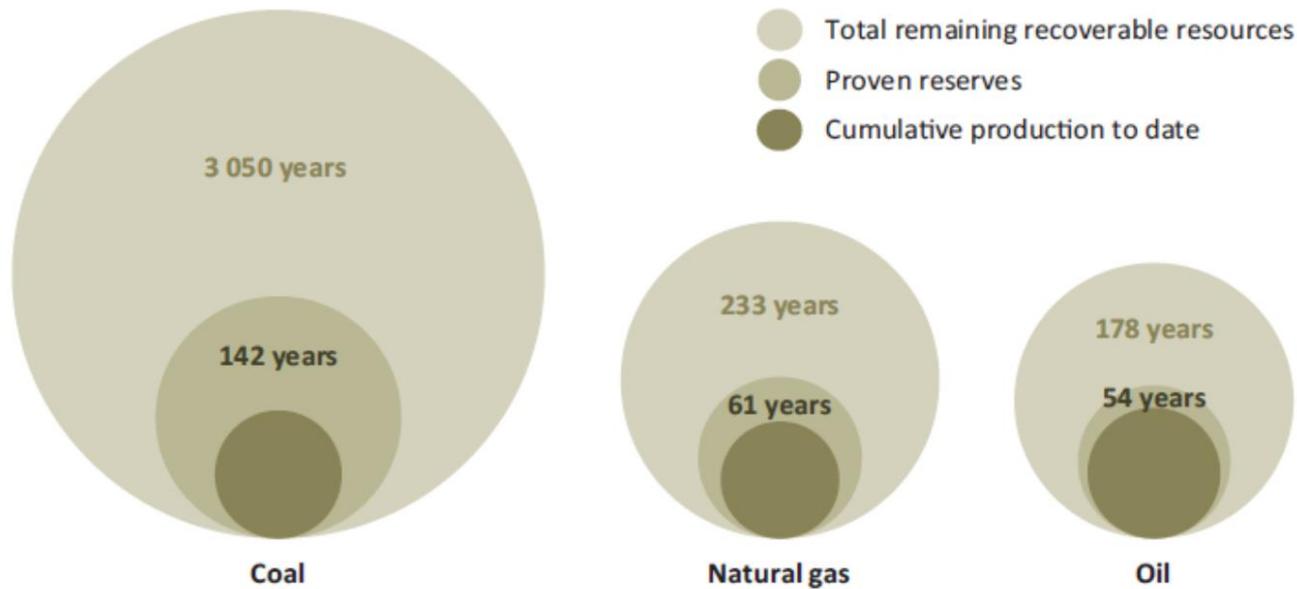


1 Ab 1990 Russische Föderation

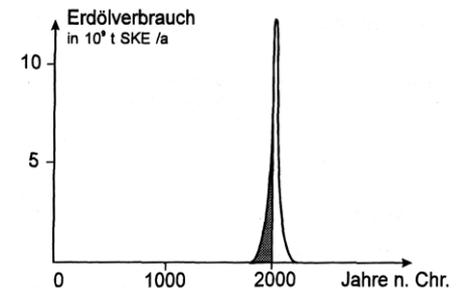
Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA)

2011: Einwohner: USA ca. 240 GJ (leicht fallend), Deutschland ca. 160 GJ (leicht fallend), China ca. 850 GJ (stark steigend), Afrika ca. 30 GJ, Indien, Asien ohne OPEC ca. 250 GJ ) (leicht steigend)

# Die Ressourcen sind endlich und machen abhängig.



Quelle: IEA World Energy Outlook 2013

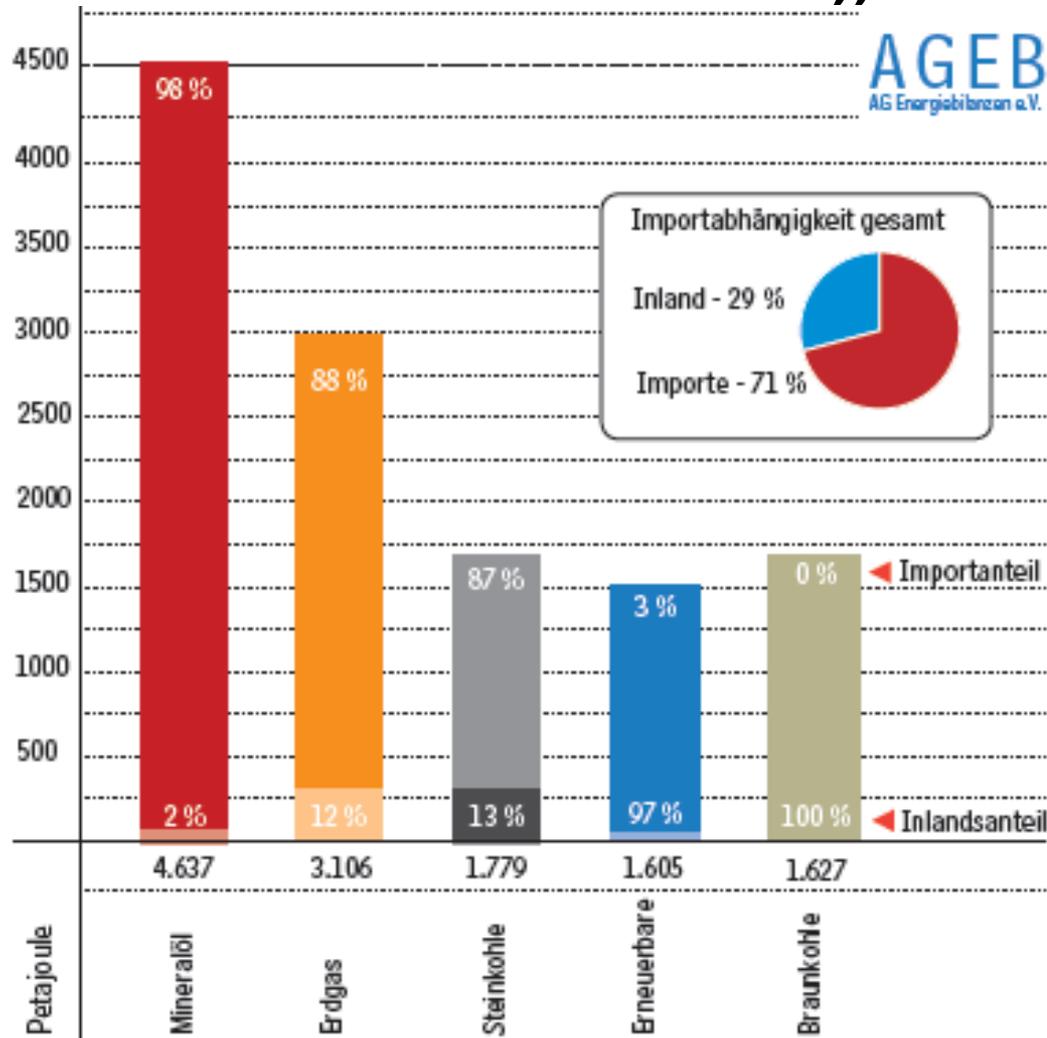


Verbrauch pro Jahr an Erdöl. Die Fläche unter der Kurve gibt die geschätzte Gesamtmenge der Ölreserven an.

Quelle: Würfel, Photovoltaik

- Rückgängigmachen der Photosynthese von Mio. Jahren, neue Verfahren (z.B. Fracking) verschieben das Problem lösen es aber nicht grundsätzlich

# Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung (in % vom Gesamtverbrauch 13.908 PJ (Inlandsgewinnung 4.035 PJ))



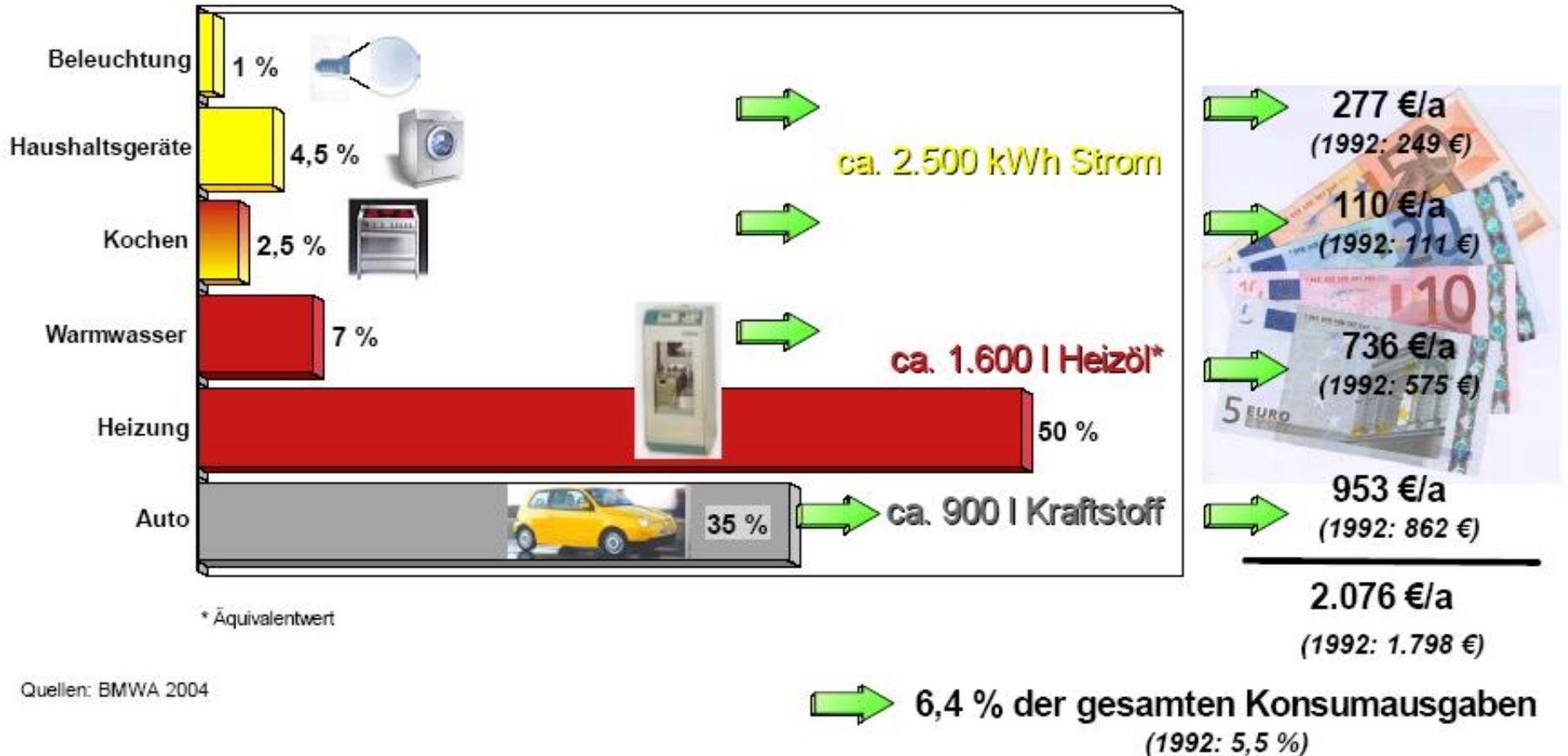
Stand: März 2014

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Arbeitsgemeinschaft  
Energiebilanzen e.V.

Mohrenstraße 58  
10117 Berlin  
t 030/89789-666

# Struktur des Energieverbrauchs privater Haushalte in Deutschland Ges. 2002: 38,7 Mio. Haushalte

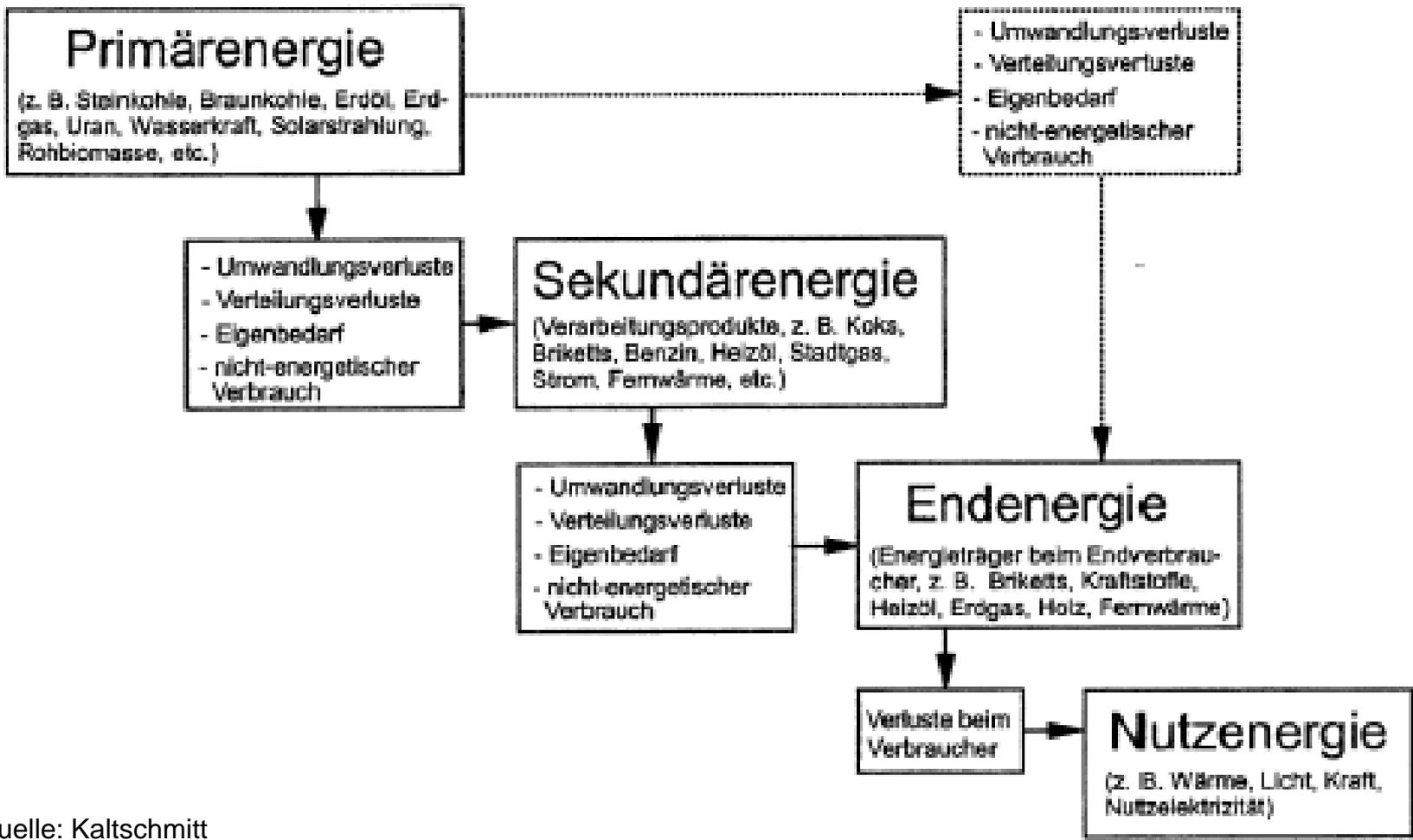


Quellen: BMWA 2004

Energiesparen und Effizienz ist wichtig (z.B. Standby, oder Energiesparlampen)!

→ Kompensationseffekte

→ Einsatz der Primärenergie beachten!



Quelle: Kaltschmitt

# Energieflussbild 2012 für D (in Mio. t SKE)

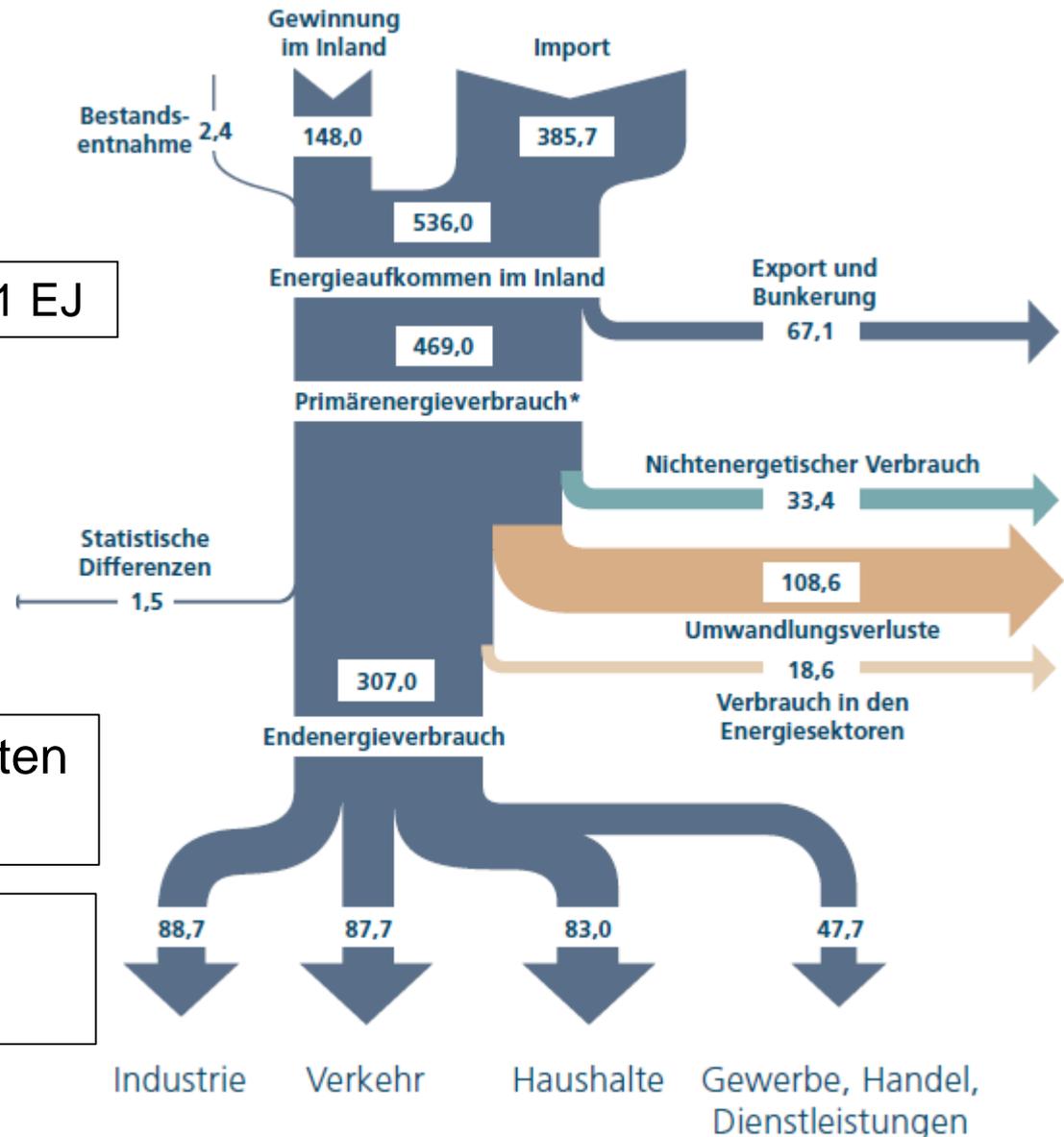
Energieeinheiten:

1 PJ = 1 Petajoule =  $10^{15}$  J = 0.001 EJ

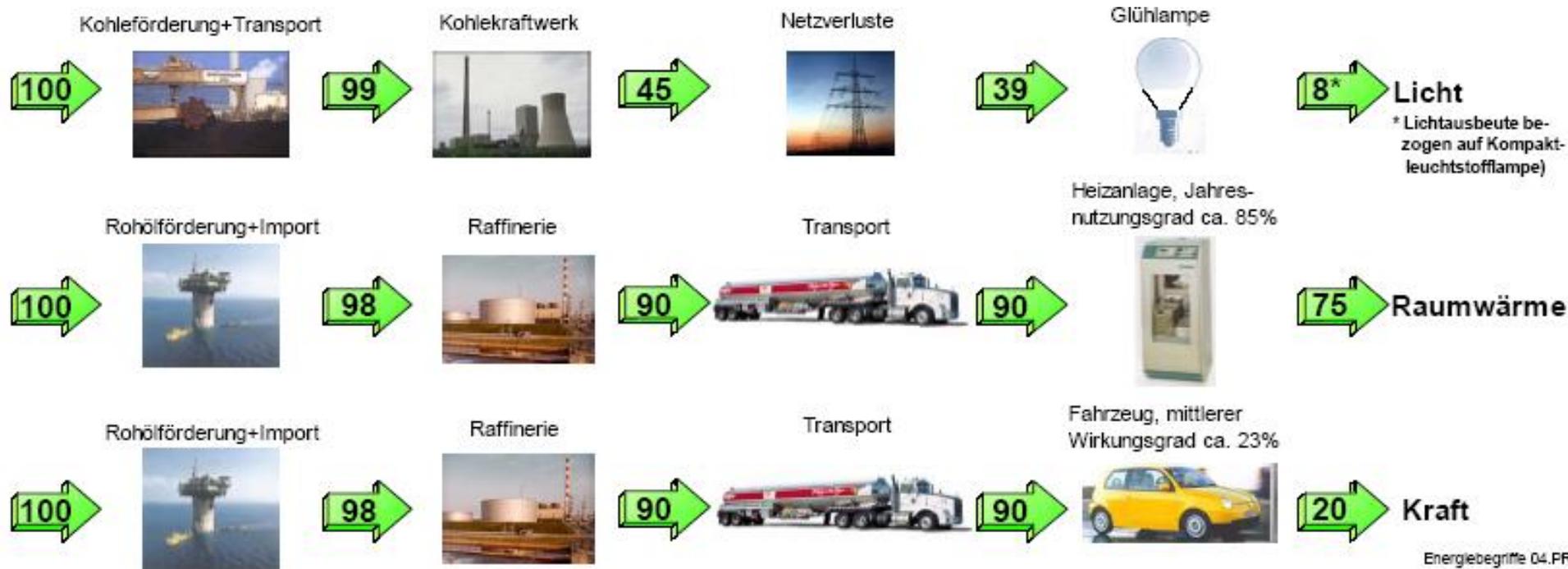
1 TWh = 1 Terawattstunde  
=  $10^9$  kWh = 3.6 PJ

1 Mio Tonnen Steinkohleeinheiten  
= 1 Mio t SKE  $\approx$  29.3 PJ

Tons of Oil Equivalent  
= 1toe  $\approx$  42 GJ



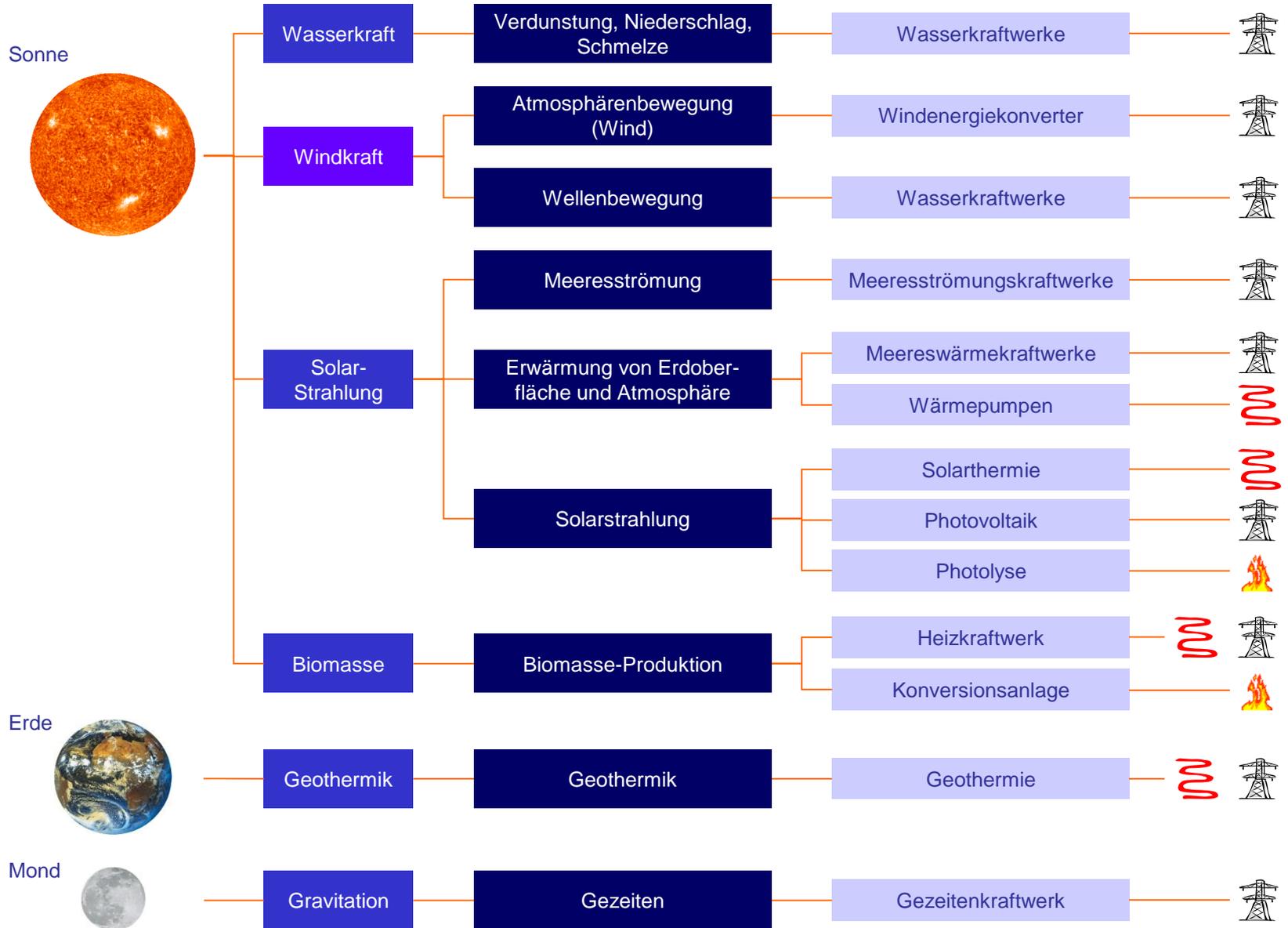
# Beispiele



Primärenergie, Endenergie, gebrauchte Energie: 3:2:1 (in D)

Verbrauch: 40% Haushalt, 32% Industrie, 28% Verkehr (ungefähre Angaben)

# 1.2.2 Erneuerbarer Energien



Quelle: BMWI

# Potenzielle Erneuerbarer Energien



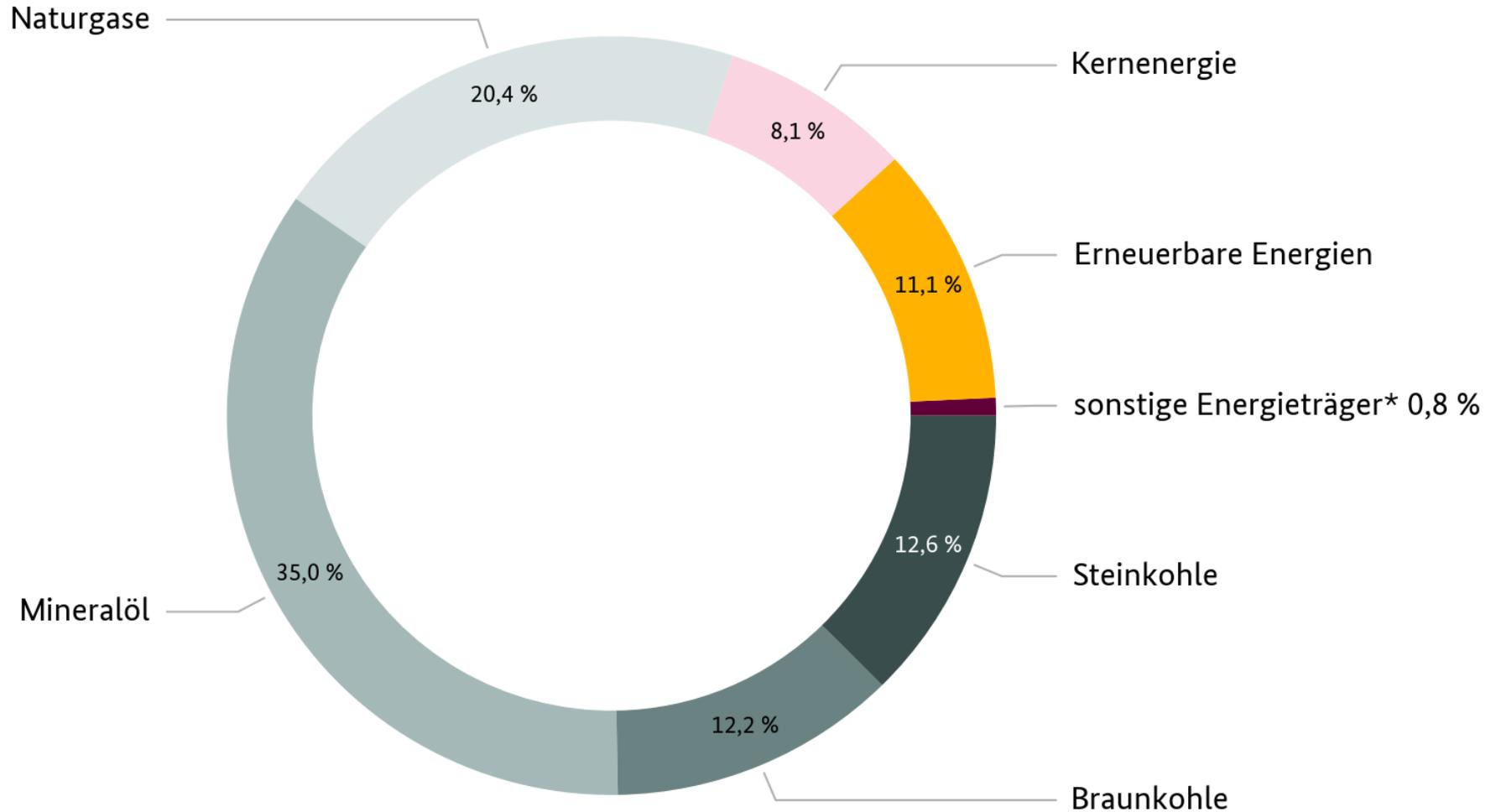
Die Kugelgrößen veranschaulichen die von den einzelnen erneuerbaren Energiequellen weltweit pro Jahr angebotenen Energiemengen. Um das Verhältnis von Bedarf und Angebot aufzuzeigen, wurde der weltweite Energiebedarf gleich 1 gesetzt. Die Sonne strahlt jährlich eine Energie auf die Erde, mit der der weltweite Bedarf 2850-fach gedeckt werden könnte. Selbst mit der technisch heute nutzbaren Menge könnte der Bedarf schon 3,8-fach gedeckt werden. Insgesamt kann mit den heute vorhandenen Energietechniken zur Nutzung der erneuerbaren Energien der jährliche Energiebedarf fast sechsfach gedeckt werden.

Energieart	gesamtes Angebot	technisch nutzbar	derzeit genutzt
Solarstrahlung	2.850	3,80	0,001
Windenergie	200	0,50	0,0003
Biomasse	20	0,40	0,14
Erdwärme	5	1,00	0,003
Meeresenergie	2	0,05	0
Wasserkraft	1	0,15	0,035
<b>insgesamt</b>	<b>3.000</b>	<b>5,90</b>	<b>0,180</b>

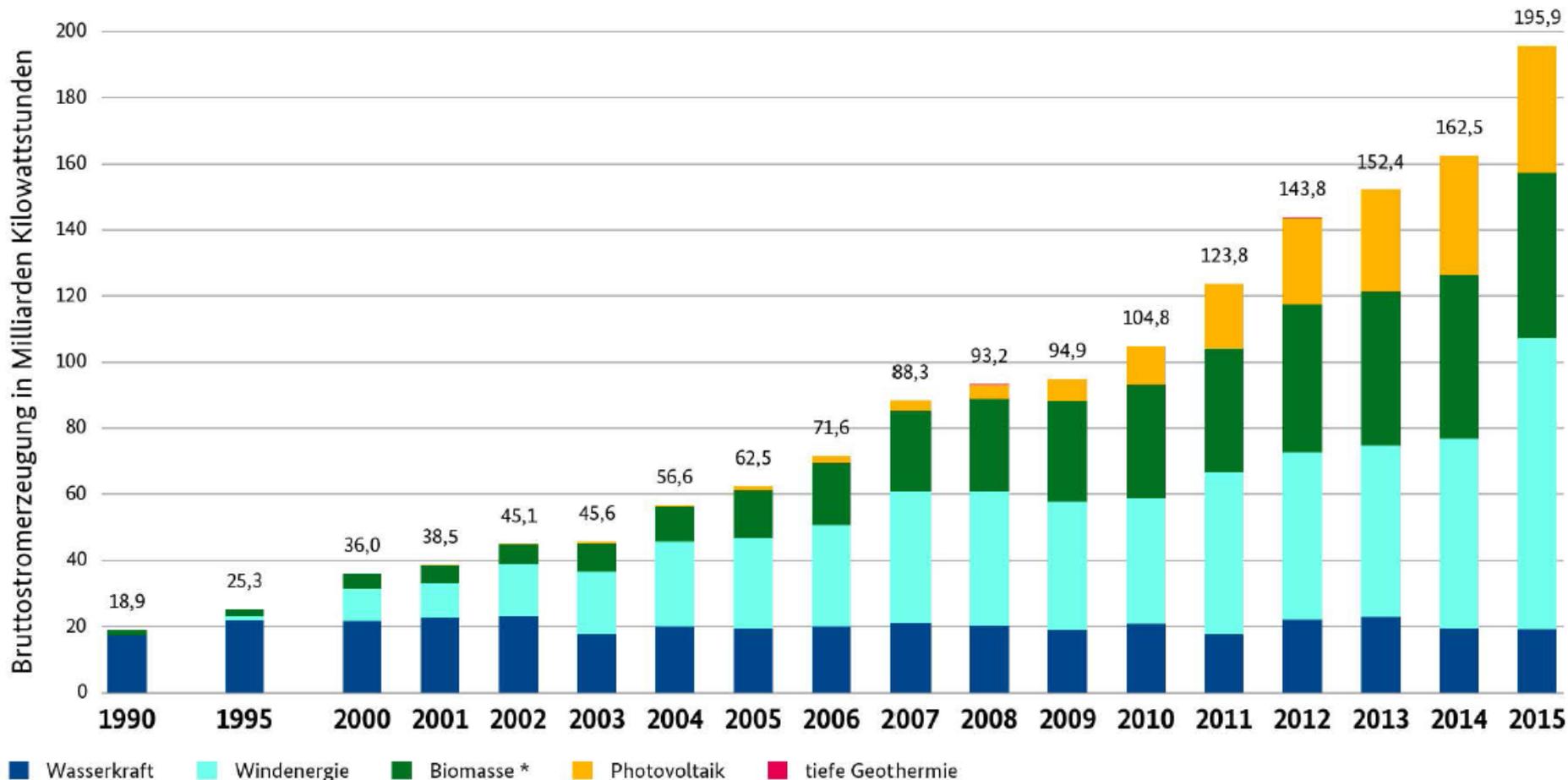
**Quelle:** Manfred Fischedick, Ole Langniß, Joachim Nitsch: Nach dem Ausstieg – Zukunftskurs Erneuerbare Energien, S. Hirzel Verlag, 2000

→ ...half the increase in the world's electricity output to 2035 comes from renewables... (IEA World's energy outlook 2013)

# Struktur des Primärenergieverbrauchs 2014 in Deutschland (gesamt 13095 PJ)

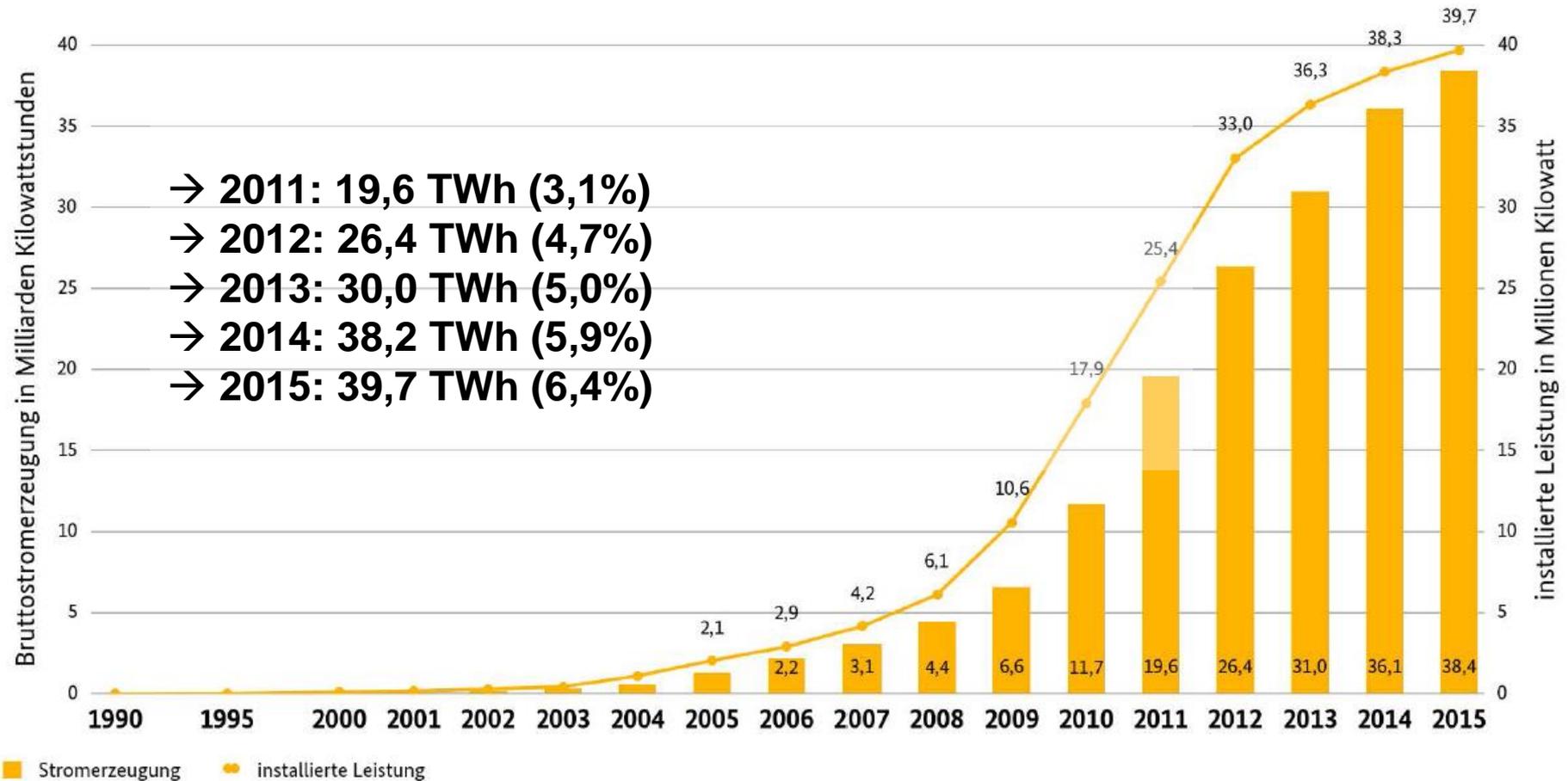


# Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland



\* inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas inkl. Biomethan, Klär- und Deponiegas und dem biogenen Anteil des Abfalls, ab 2013 inkl. Klärschlamm; BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2016; Angaben vorläufig

# Entwicklung der Elektrischen Energieversorgung aus Photovoltaik in Deutschland



BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2016; Angaben vorläufig

- Energiebereitstellung (Jahresmittel ohne Berücksichtigung der örtlichen und zeitlichen Verteilung)
- Installierte Leistung (verteilt auf ca. 2 Millionen (!) PV Anlagen in D)

# 1.2.3 Emissionen

## Der Treibhauseffekt

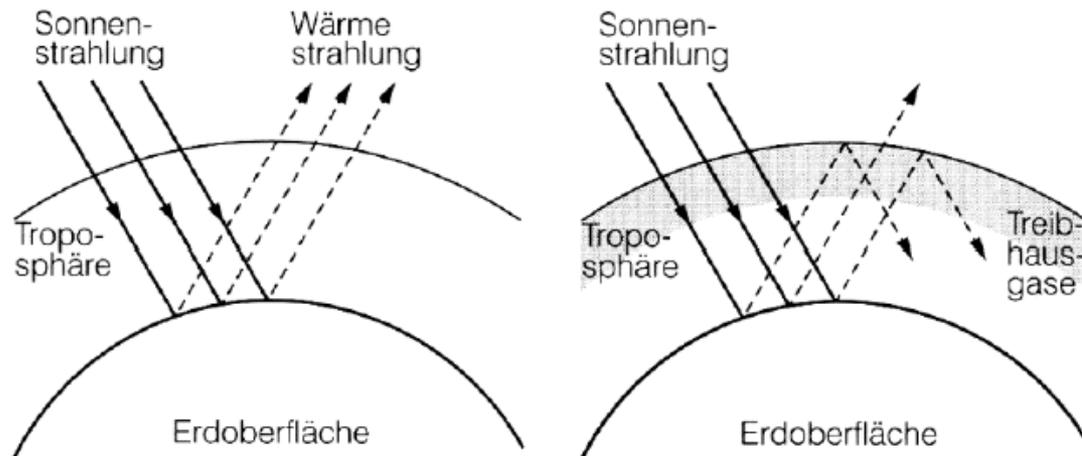


- CO<sub>2</sub> ist natürlicher Bestandteil der Atmosphäre (ca. 5,1 Milliarden t)
- Spurengase in der Atmosphäre verursachen einen natürlichen Treibhauseffekt, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (mittlere Temperatur 15°C sonst -18°C)

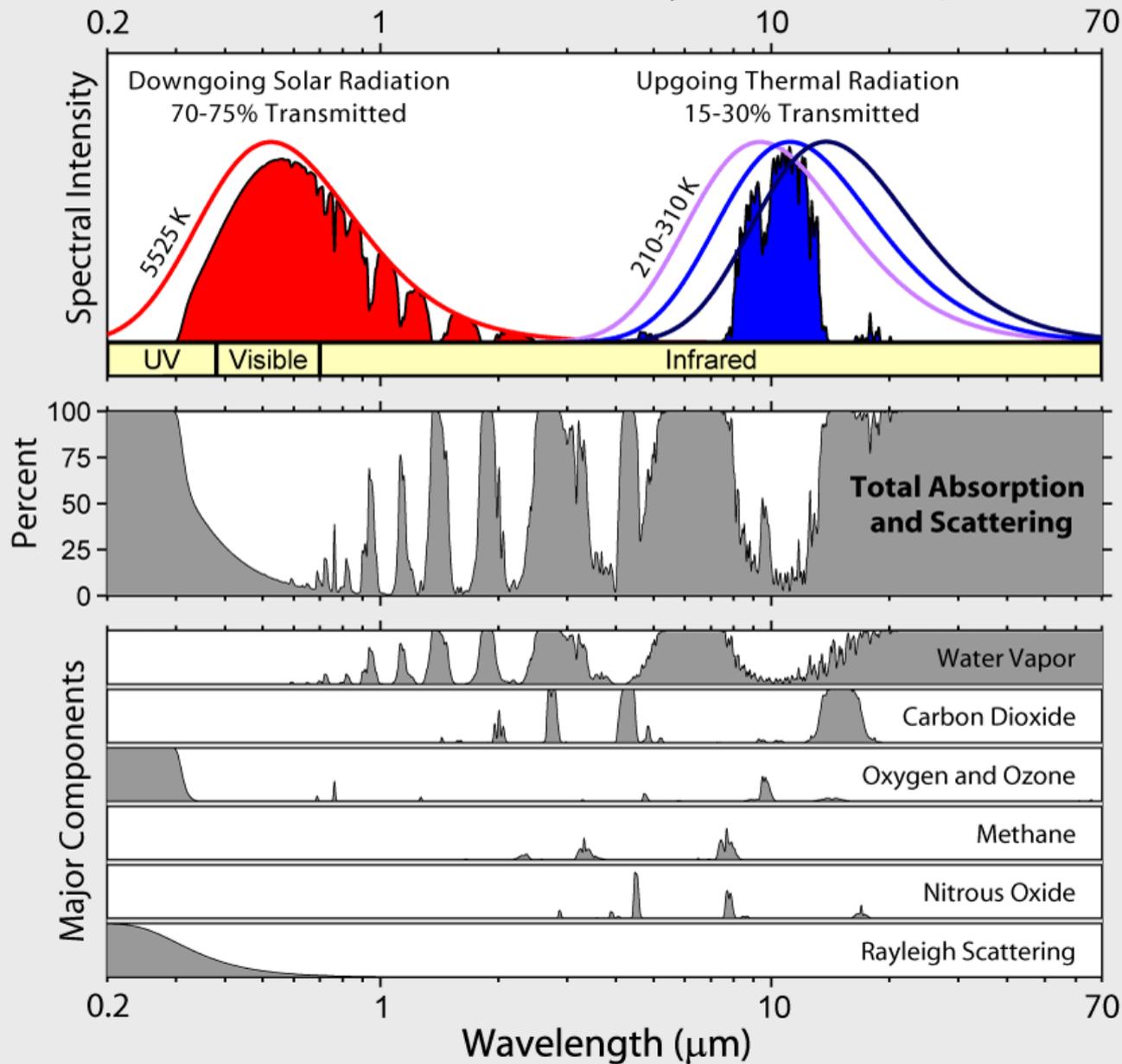
→ wichtigste Treibhausgase: CO<sub>2</sub> (50%), FCKW (22%), CH<sub>4</sub> (13%), O<sub>2</sub> (7%)

Zusätzliche Absorption im langwelligen Bereich

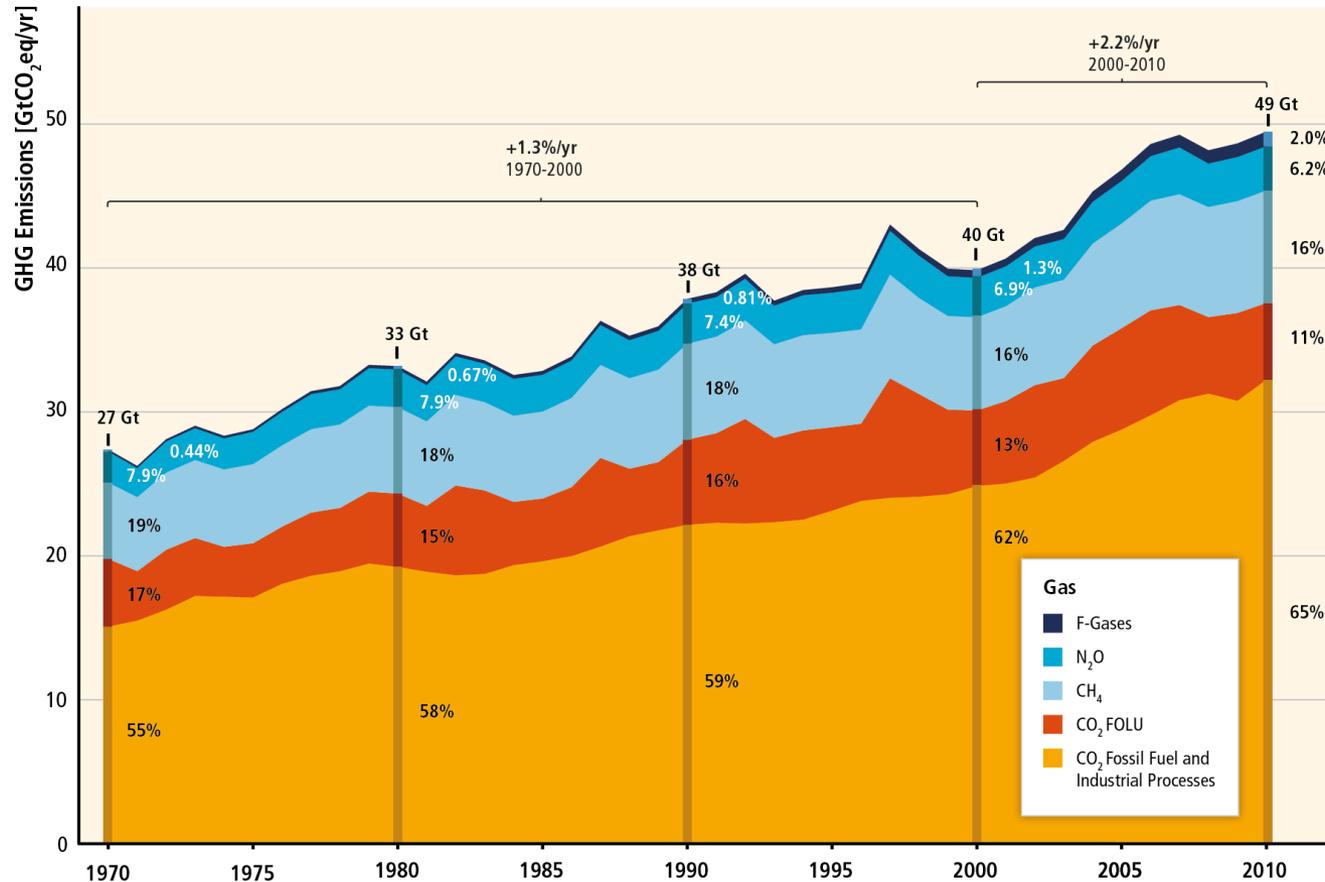
- 100 ppm CO<sub>2</sub> entspricht ca. dT von 10 °C (dies wiederum entspricht 100 m Meeresspiegel)



# Radiation Transmitted by the Atmosphere



# 1970-2020: Jährliche Anthropogene Green House Gas (GHG) Emissionen (5. IPCC-Sachstandsbericht 7. April 2014)



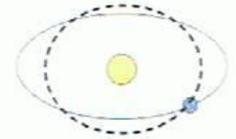
Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum → Anstieg der Emissionen  
 Die Einhaltung der 2° Obergrenze ist möglich und bezahlbar →  
 tiefgreifender Wandel von Gesellschaft und Wirtschaft notwendig

Quelle: <http://www.de-ipcc.de/> (Fünften IPCC-Sachstandsbericht wurde vom 7. bis 11. April 2014)



Datenlücken / Messfehler

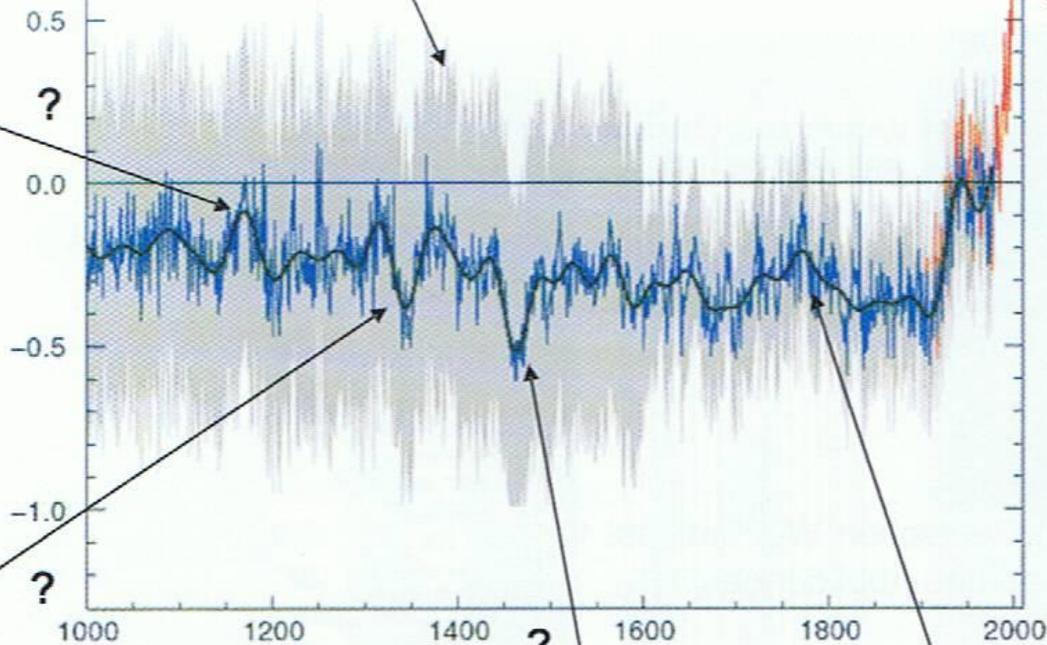
Orbitalparameter



Sonnenaktivität



Temperaturentwicklung auf der Nordhemisphäre



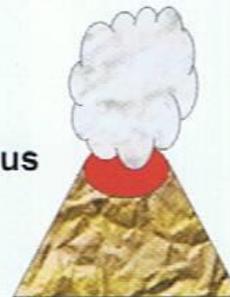
Menschliche Aktivitäten



Wechselwirkung mit den Ozeanen



Vulkanismus



Wechselwirkung mit der Landoberfläche



Abb. 1: Konkurrierende Einflussfaktoren der Klimavariabilität.

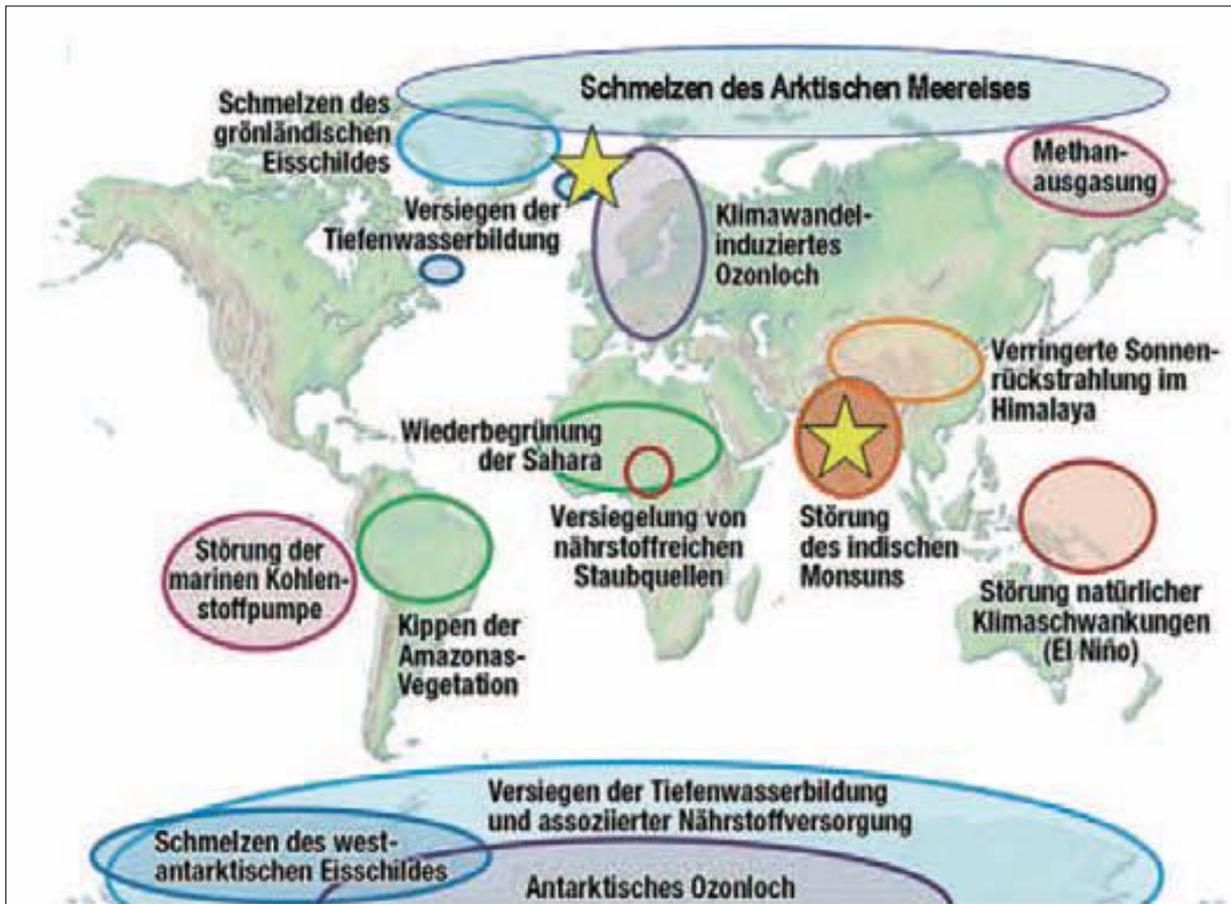
# Klimaprognosen sind sehr unsicher!

Es gibt erhebliche Risiken: Tipping-Points

Geringe Veränderungen → kippen des Zustandes in einen anderen Zustand



Zustand ist stabil und kann nicht mit dem gleichen Faktor in den vorherigen Zustand gebracht werden



○ = Tipping Points

Unsere heutigen Klimamodelle können die Vergangenheit exakt simulieren, allerdings sind Prognosen schwierig.

## 1.2.4 Die Energiewende in Deutschland, Energieszenarien

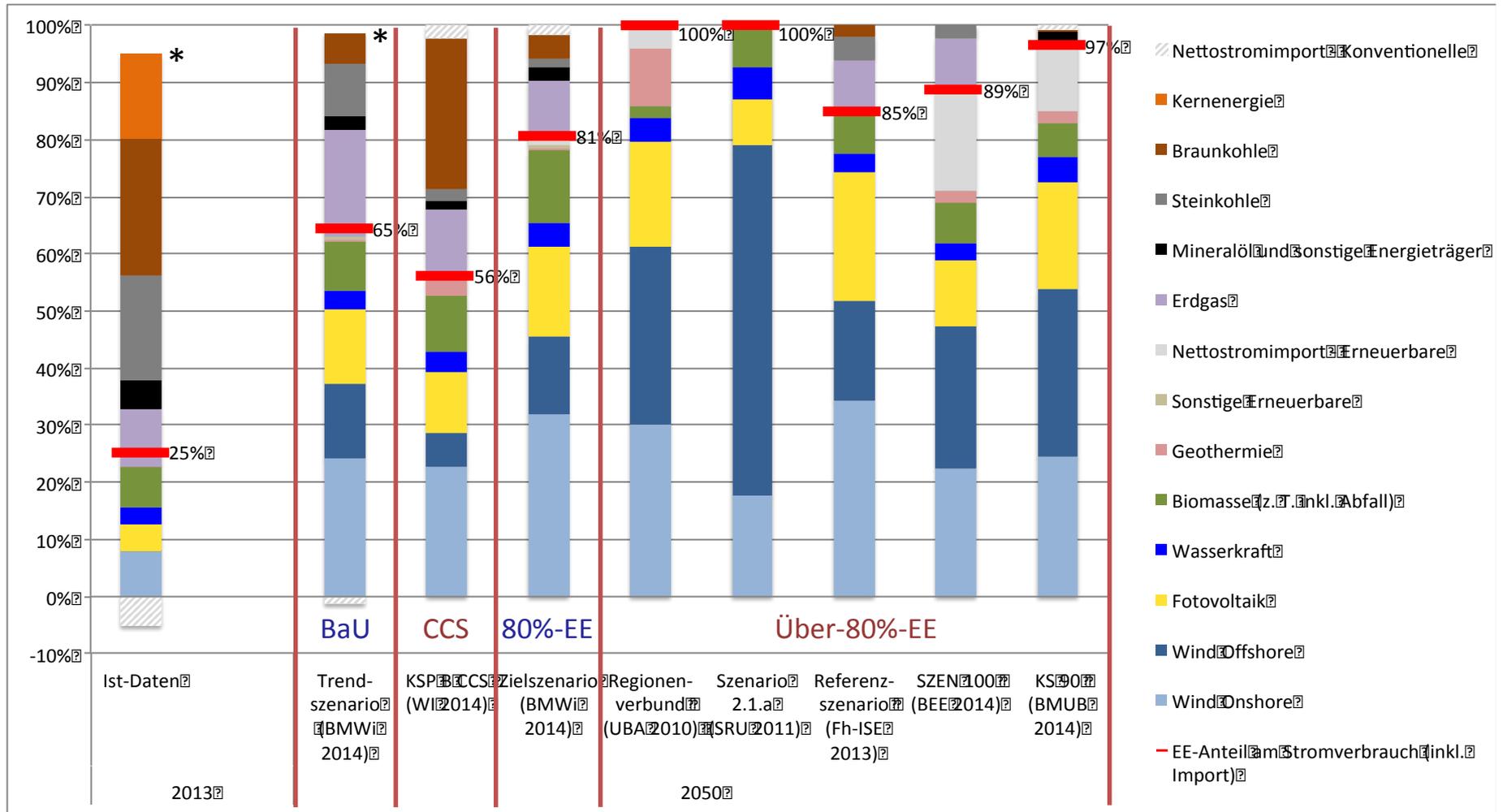
Wie wird sich das Energieszenario weiterentwickeln?

- Verschiedene Energieszenarien zeigen wahrscheinliche Entwicklungen auf.
- Es gibt politische Ziele und Regelungen. (z.B. Energiewende in D)
- „Vorhersagen sind schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen.“  
(Mark Twain)

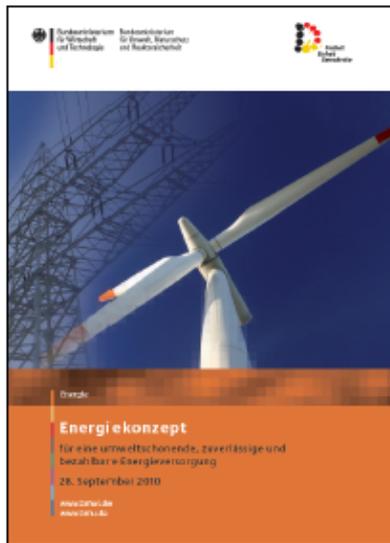
Welche Rolle kann die PV in einem Energiemix der Zukunft spielen?

# Vergleich der acht illustrativen Szenarien – Bruttostromerzeugung im Jahr 2050 (absolut)

Bruttostromerzeugung nach Energieträgern im Jahr 2050 (in TWh; ohne Stromerzeugung aus Speichern)



# 2010 Energiekonzept der Bundesregierung „Energie der Zukunft“



	IST 2009	2020	2030	2040	2050
Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990	22%*	-40%	-55%	-70%	-80-95%
Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch	10%	18%	30%	45%	60%
Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung	16%	35%	55%	65%	80%

## 1.2.5 Warum Photovoltaik zur Energiekonversion?

- Keine Limitierung der Ressourcen  
Solarenergie ist homogen verteilt über die Erde, keine Abhängigkeit von Importbrennstoffen
- Extreme Modularität  
Systeme von Mikrowatt bis Megawatt können realisiert werden
- Wenig Wartungsaufwand  
Keine bewegten oder durch hohe Temperatur gestressten Teile
- Umweltfreundlichkeit  
Keine Umweltbelastung im Betrieb (Lärm, Emissionen), niedriges Unfallrisiko, Energieverbrauch für Produktion niedrig, Recycling, sehr gute Ökobilanz
- Unabhängigkeit vom Standort  
PV funktioniert überall, auch als „stand-alone“ System ohne Infrastruktur

- Heute schon wirtschaftlich, konkurrenzfähig in bestimmten Märkten  
Nicht elektrifizierte Gebiete, Telekommunikationsanlagen etc.,  
grid-parity erreicht
  - Großes Kostenreduktionspotenzial
  - Stromnachfrage und PV-Erzeugung im Tagesverlauf in Phase  
Spitzenlastabdeckung! Netzstabilisierung lösbar
  - Keine Sabotageanfälligkeit
  - Export: Absatzmärkte für deutsche Industrieprodukte / wirtschaftliche  
Kooperation, z.B. Maschinenbau
- PV ist die minimalinvasivste Energietechnologie!
- PV ist nicht mehr teuer!

# Gesamtstromverbrauch in Deutschland : ca. 600 TWh

## Erforderliche Fläche für 100 % PV-Strom bei Wirkungsgrad 20 % : ca. 3000 km<sup>2</sup> ...also ein Quadrat von 55 km x 55 km



■ <b>Hamburg</b>	über 1.000.000 Einwohner	■ <b>Berlin</b>	Hauptstadt eines Staates	—	Eisenbahn
□ <b>Nürnberg</b>	500.000 – 1.000.000 Einwohner	■ <b>Düsseldorf</b>	Hauptstadt eines Bundeslandes	—	Autobahn
○ <b>Karlsruhe</b>	100.000 – 500.000 Einwohner	—	Staatsgrenze	—	sonstige Straße
○ <b>Stralsund</b>	unter 100.000 Einwohner	—	Bundeslandgrenze	—	schiffbarer Kanal

...aber selbst bei 1 €/W<sub>p</sub> erfordert das eine Investition von

€ 600·10<sup>9</sup> !

**Speicherung?**  
(Tag/Nacht; saisonal)

Wasserstoff, Methan

Batterien

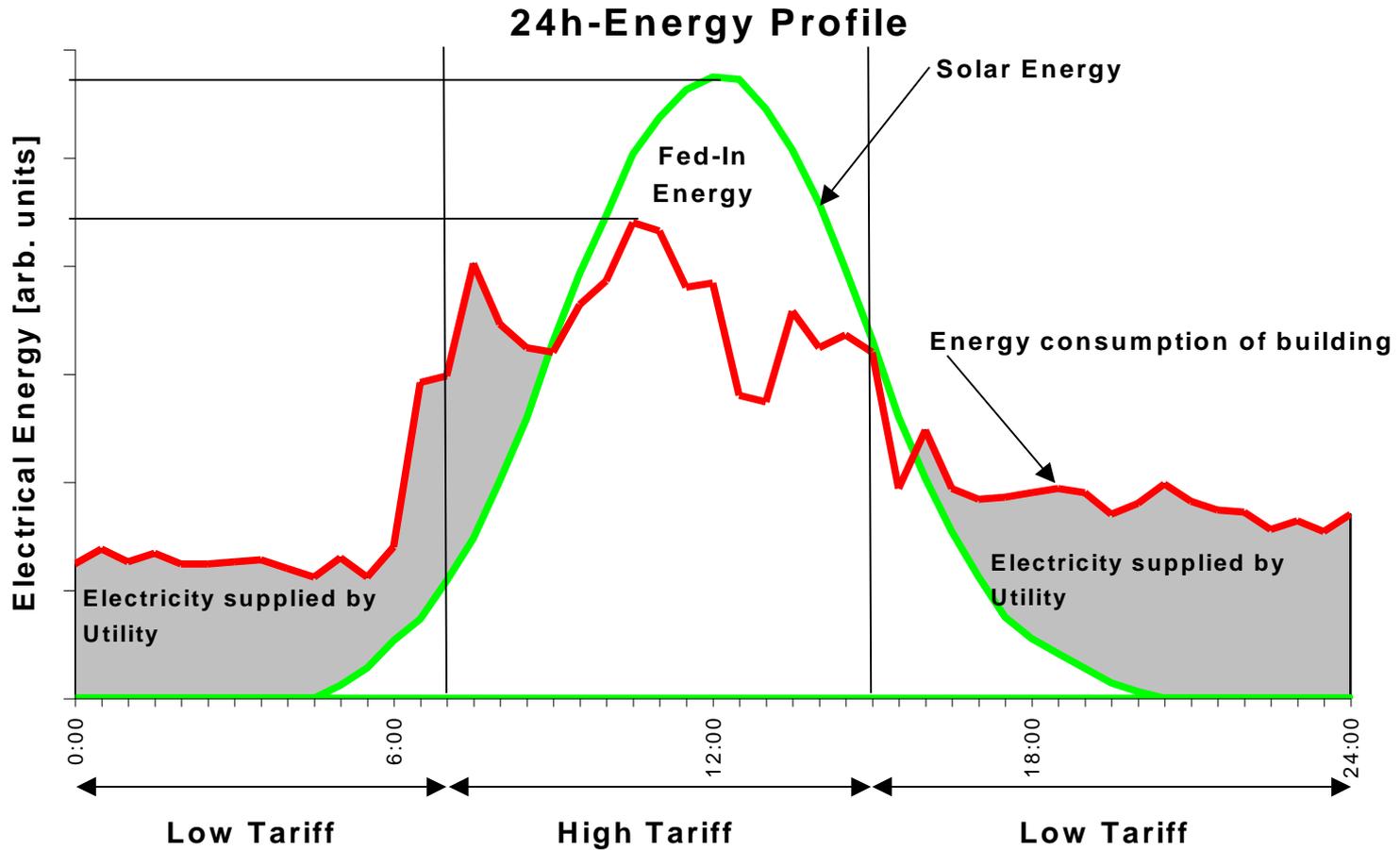
Druckluft

Pumpspeicher

?

# Lastflüsse

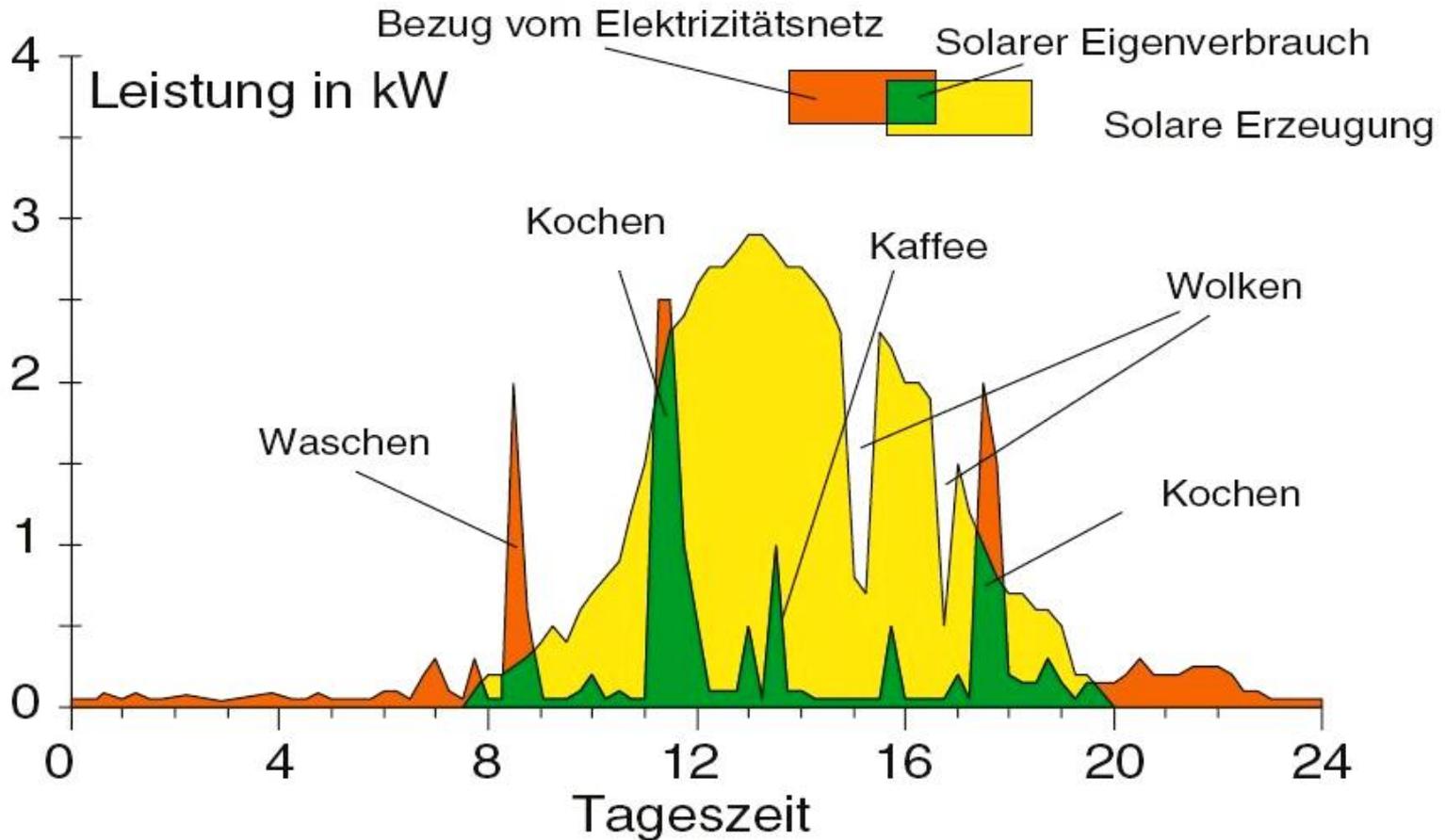
Korrelation zwischen der PV Leistungsproduktion und dem Energieverbrauch eines Bürogebäudes in Spanien



Quelle: EPIA

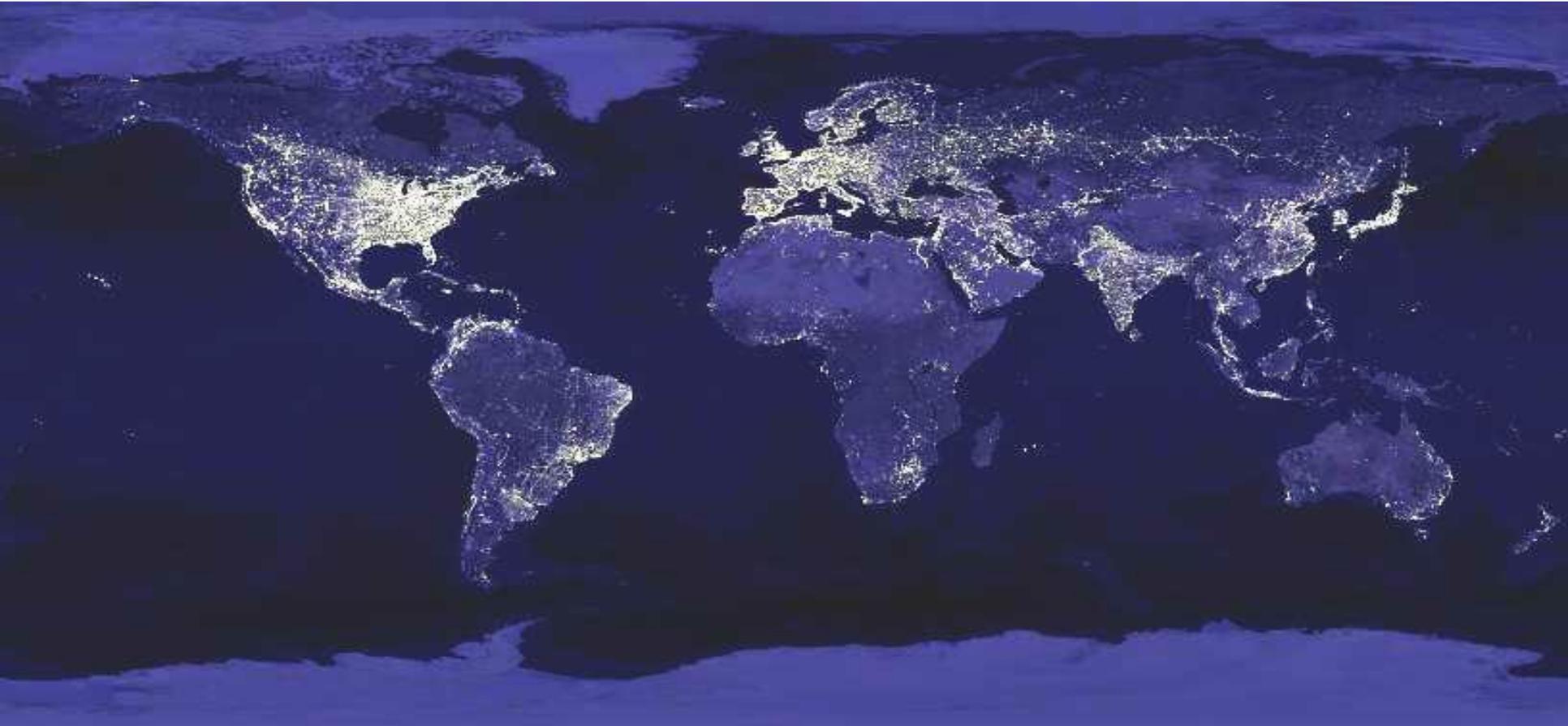
# Tagesgang einer Solarstromanlage

## 3kW-Netzverbundanlage im Tagesverlauf



Source: Solar Power Box / Swissolar, TNC 2002

## Die Erde bei Nacht („Elektrifizierung = Licht“)

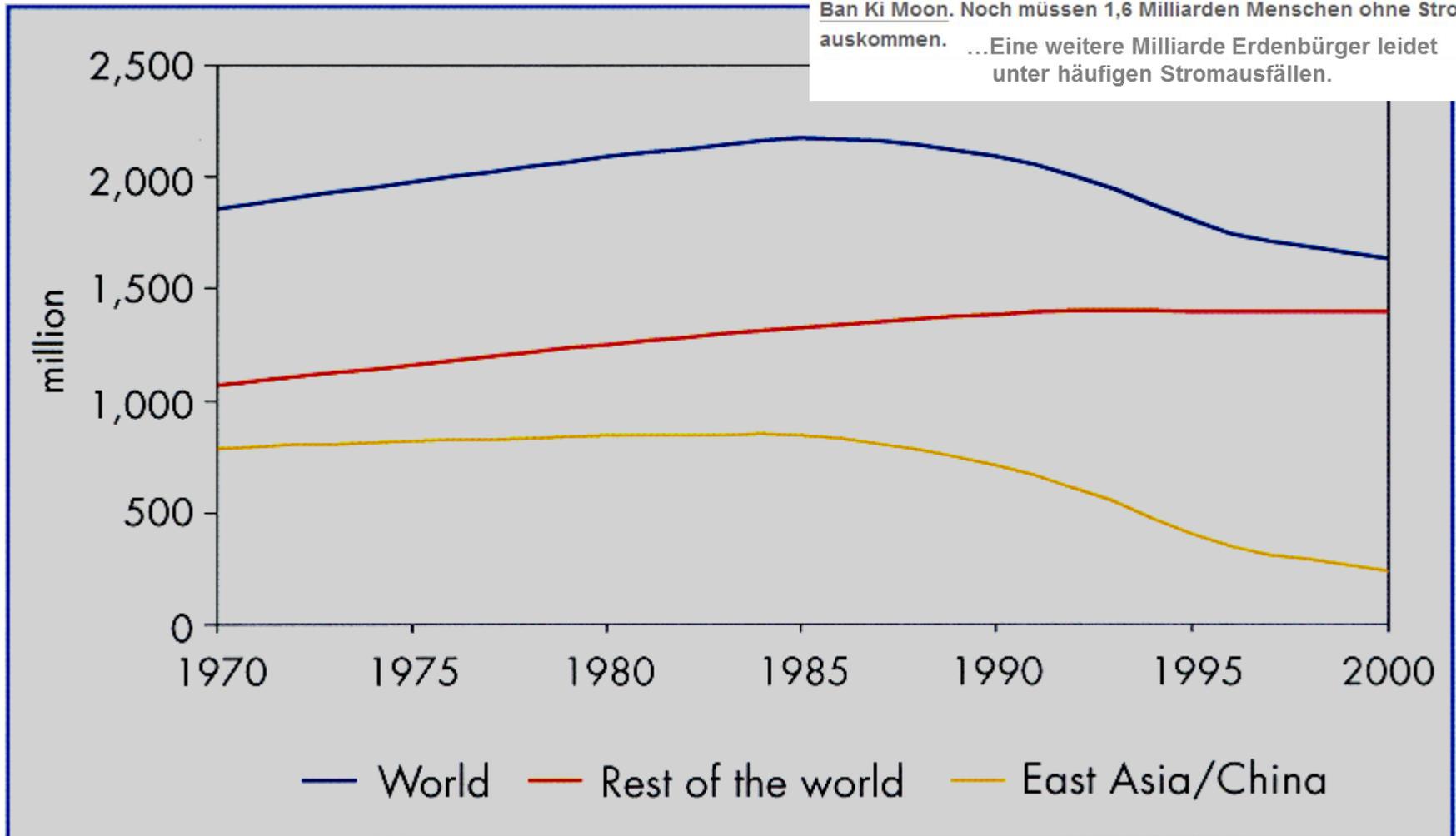


Source: NASA / NOAA

# Zahl der Menschen ohne Elektrizität, 1970 - 2000

## 1,6 Milliarden Menschen ohne Strom

Spätestens bis zum Jahr 2030 sollte alle Welt über eine "moderne Energieversorgung" verfügen können, erklärt UN-Generalsekretär Ban Ki Moon. Noch müssen 1,6 Milliarden Menschen ohne Strom auskommen. ...Eine weitere Milliarde Erdenbürger leidet unter häufigen Stromausfällen.



# Kosten für die Erweiterung des Versorgungsnetzes pro Einzelhaushalt

677 - 1,852	US\$	Brasilien, 2001, (verschiedene Provinzen)
1,530	US\$	Kenia, 1970 – 2000 (Mittelwert über 30 Jahre und 77,000 Neuanschlüssen)
830 - 3,780	US\$	China, 2002, Dorf 30 km vom Netz entfernt, 300 bzw. 60 Haushalte

*(Nicht enthalten: Gebühren, Kosten der Stromproduktion, Steuern etc., Netzbetrieb und Wartung)*

## Elektrifizierung der Haushalte

Empirische Werte für den täglichen elektrischen Energieverbrauch in  
"ärmeren" ländlichen Haushalten:

0.27	kWh/day	Senegal	(Lorenzo, 1997)
0.23 - 0.35	kWh/day	Vietnam	(Tuan & Lefevre, 1996)
0.5	kWh/day	Indonesia	(Cabraal, Cosgrove-Davies, 1998)
0.33 - 0.47	kWh/day	Brazil	(Dos Santos & Zilles, 2001)
10	kWh/day	Germany	