

# Physik und Gesellschaft

Thomas Nattermann  
Institut für Theoretische Physik  
der Universität zu Köln

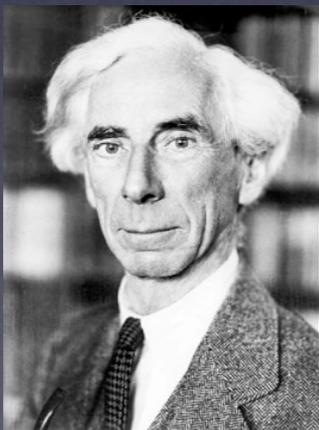
Was hat die Wissenschaft der Gesellschaft gegeben?  
Energie und Klima  
Kernenergie, Radioaktivität und Chernobyl

...Fast alles, was die moderne Welt von früheren Jahrhunderten unterscheidet, ist der Naturwissenschaft zuzuschreiben, die ihre augenfälligsten Triumphe im siebzehnten Jahrhundert feierte. Die italienische Renaissance ist, wenn auch nicht mittelalterlich, so doch auch nicht modern; sie hat mehr Verwandtschaft mit Griechenlands grosser Zeit ...

Kein Italiener der Renaissance wäre wohl Plato oder Aristoteles unverständlich geblieben; über Luther hätte sich Thomas von Aquino zwar entsetzt, dennoch wäre er wohl ohne weiteres von ihm begriffen worden.

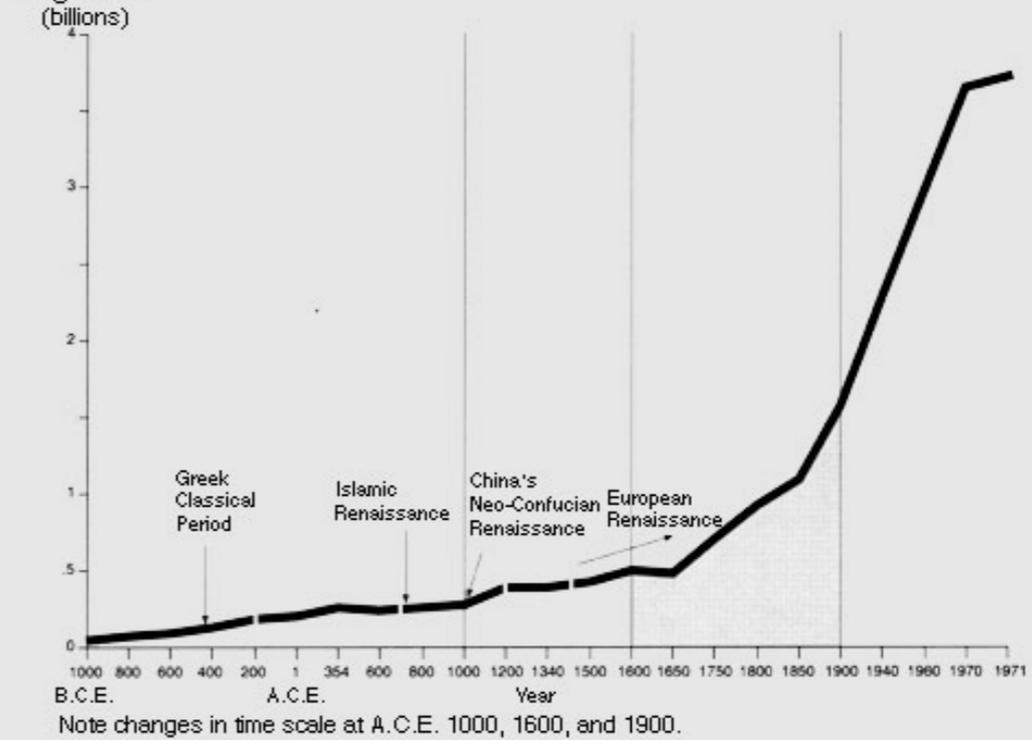
Im siebzehnten Jahrhundert liegen die Dinge anders: Plato und Aristoteles, Thomas von Aquino und Occam hätten mit Newton nichts anzufangen gewusst.

Bertrand Russel : *Geschichte der Philosophie des Abendlands*



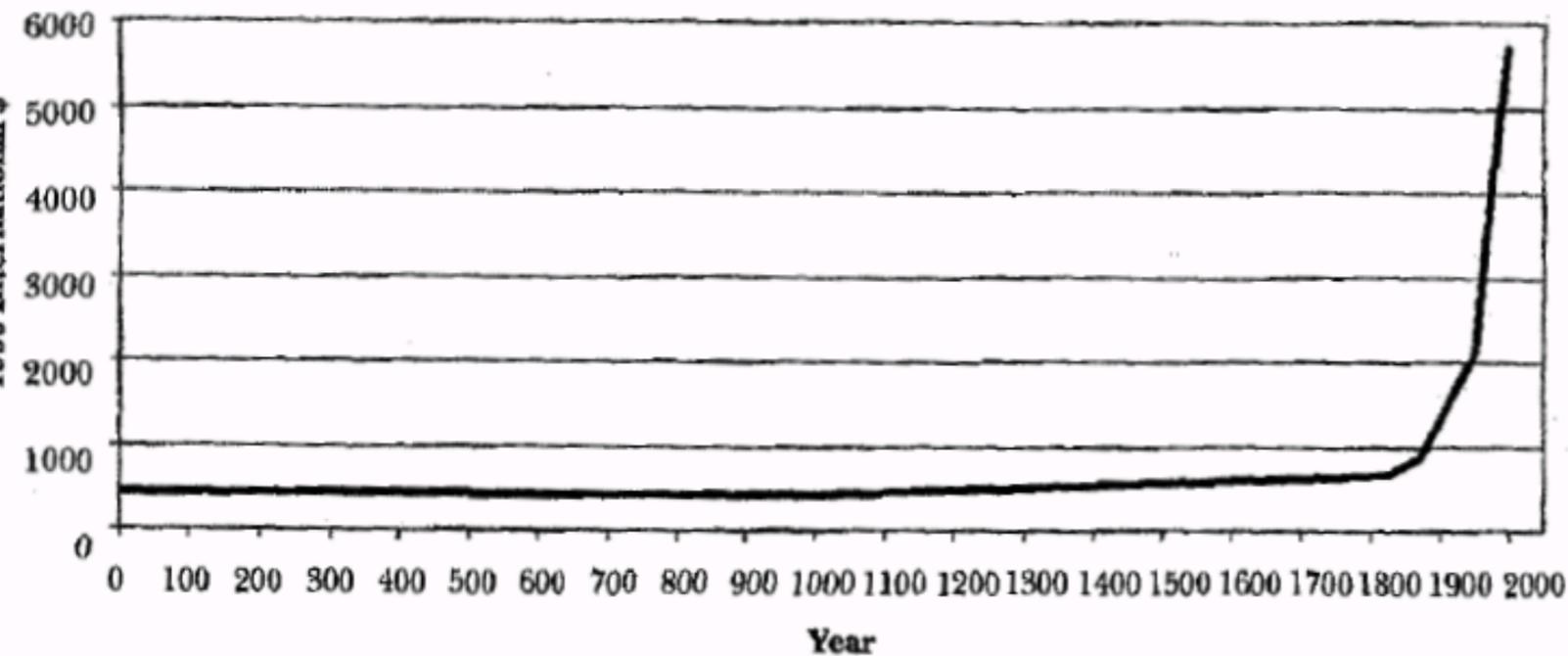
# Weltbevölkerung

**FIGURE 2.** Actual world population growth, showing Renaissance impulses and periods of stagnation.



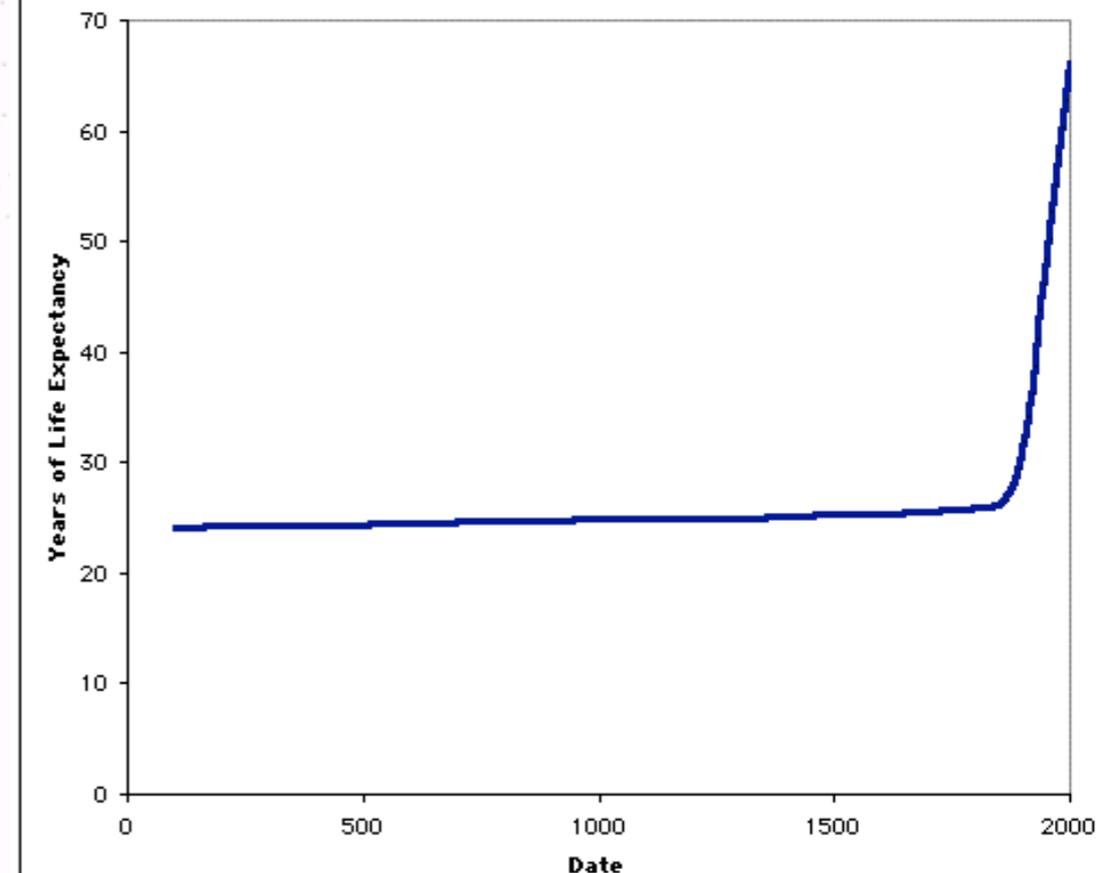
# Einkommen pro Einwohner

**Figure 2: World Average per Capita Income**

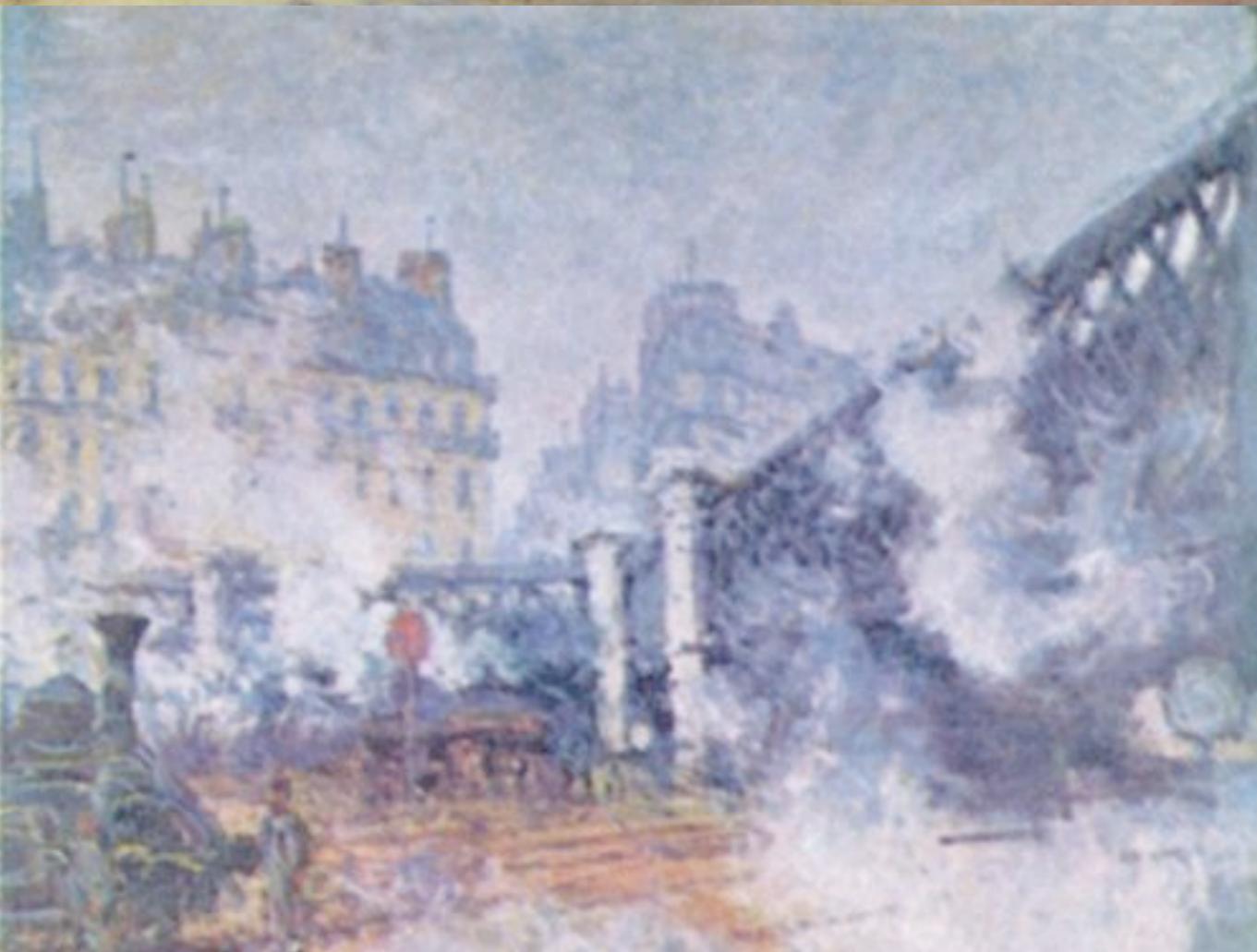
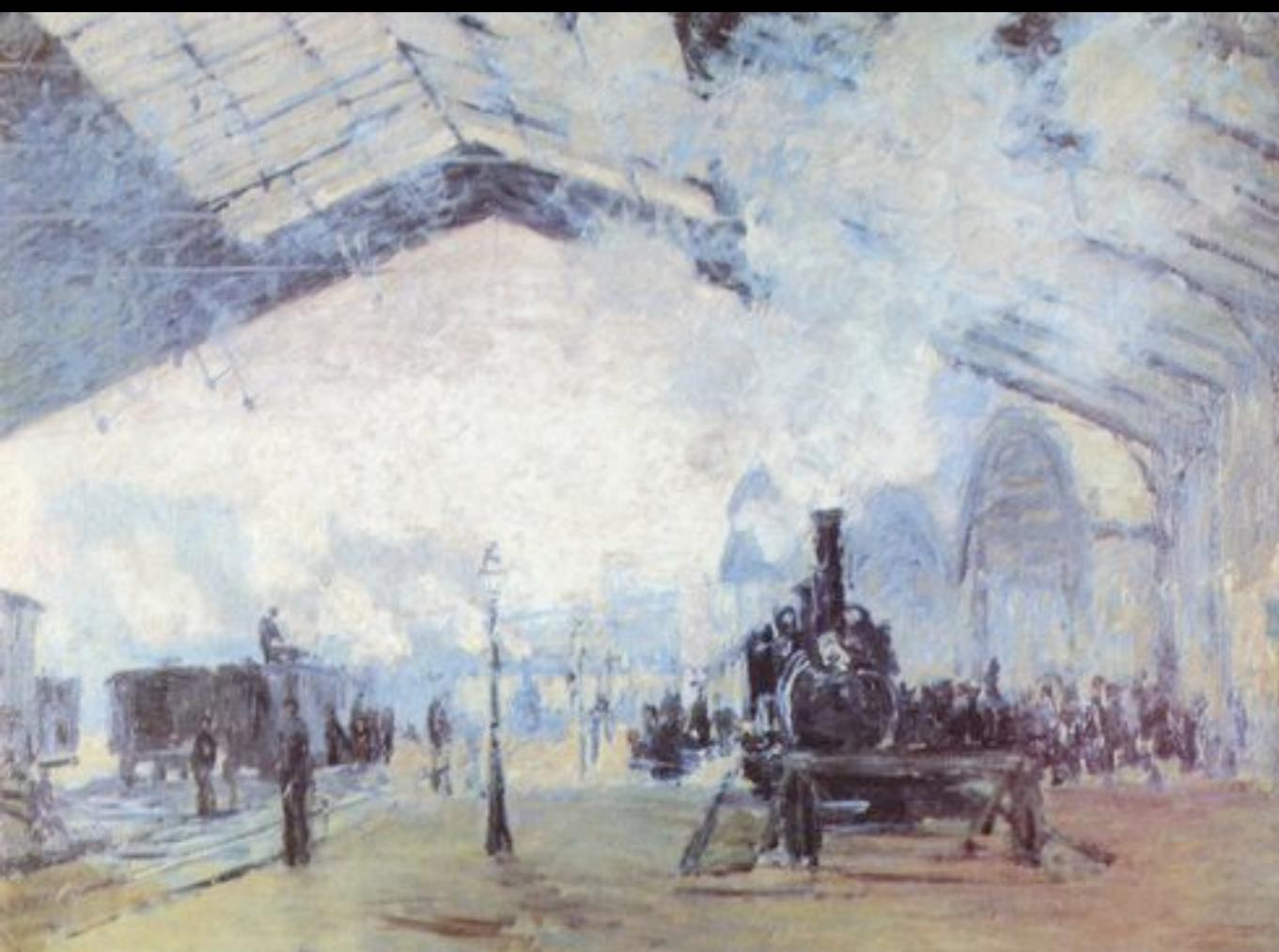


Source: Data from Maddison (2001).

**World Life Expectancy**







## Die handgreiflichen Erfolge der Physik:

- + Lebenserwartung seit 17. Jahrhundert verdoppelt
- + Verschwinden schwerer körperlicher Arbeit:
  - jedem steht die Kraft von 20 Arbeitssklaven zur Verfügung
- + Vielzahl moderner Diagnoseverfahren (Röntgen, Kernspin, Ultraschall...)
- + 30% des Bruttosozialprodukts: Anwendung der Quantenphysik
- + Kosten der Grundlagenforschung seit der Antike = 10 Tage Weltindustrieproduktion (Viktor Weisskopf, MIT)
- + Massenkommunikation, Internet
- + .....
- + .....
- Massenvernichtungsmittel, Umweltverschmutzung,
- Stress durch schnelle technologische Entwicklung,...

Luftverschmutzung in London: Daten seit 1585 über den Import von Kohle: starker Anstieg der Luftverschmutzung bis Ende des 19. Jahrhunderts, dann Absinken bis 1990 unter das Niveau des späten 16. Jahrhunderts. Absinken in den nächsten 10 Jahren um 30% → sauberer als im Mittelalter



# Entwicklung des Energiebedarfs I

Zur Zukunft der  
Energieversorgung  
S. Klaus Heinloth  
„Die Energiefrage“,  
Vieweg 1997, ca. € 23  
Kurzfassung, s. Homepage

## Die Entwicklung des Energiebedarfs/Person, Tag

vor 10 000 Jahren:	~ 5 kWh	Feuerholz + Nahrung
vor 10 000-200 Jahren:	~ 20 kWh	Holz der Wälder
seit 200 Jahren:	200 kWh	in Industrieländern
	25 kWh	in China
	15 kWh	in Indien
		Kohle, Erdöl, Gas

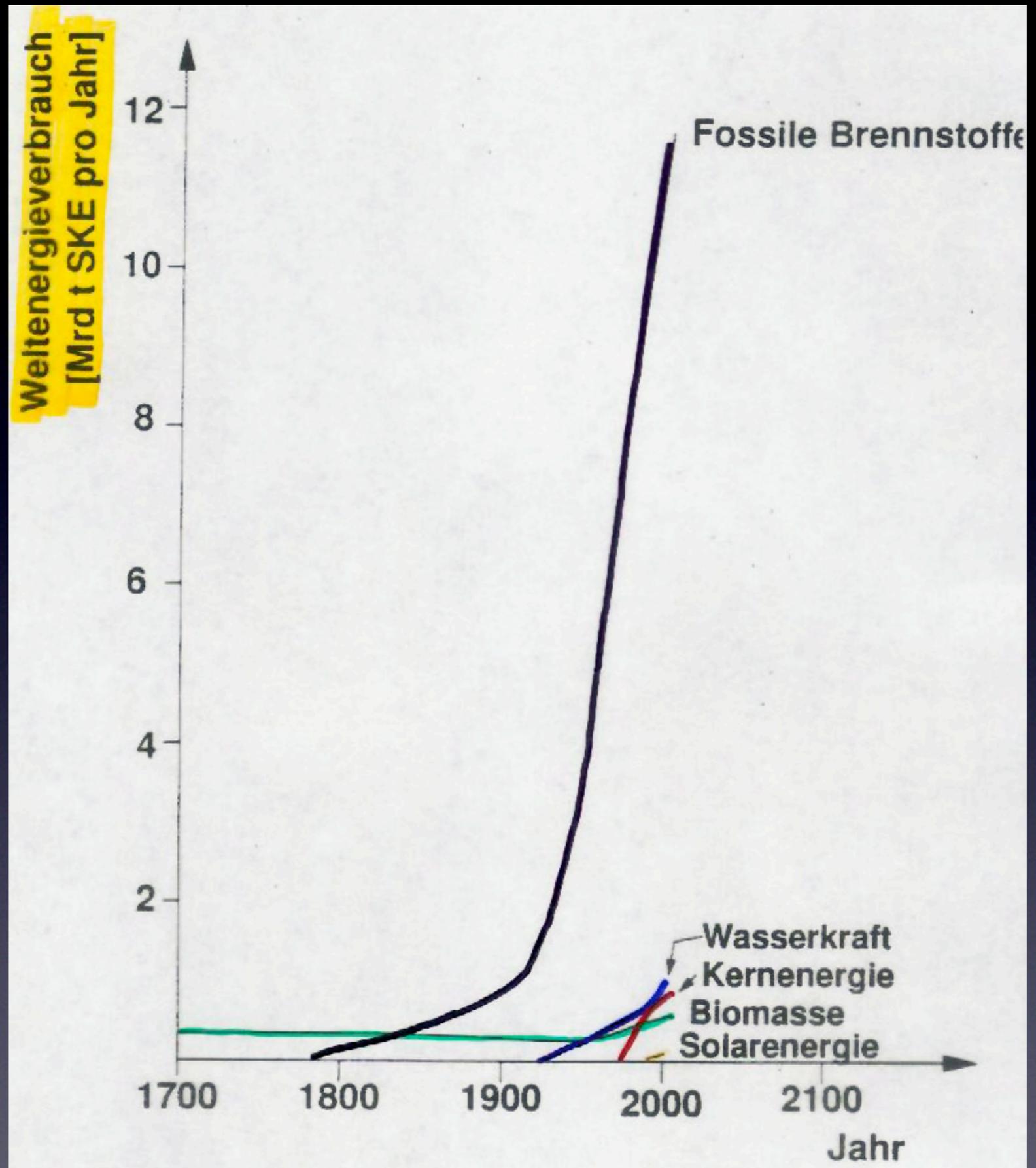
Nahrungsenergie	3-4kWh in Industrieländern
	2-3kWh in Entwicklungsländern

## gegenwärtiger Weltgesamtbedarf/Jahr:

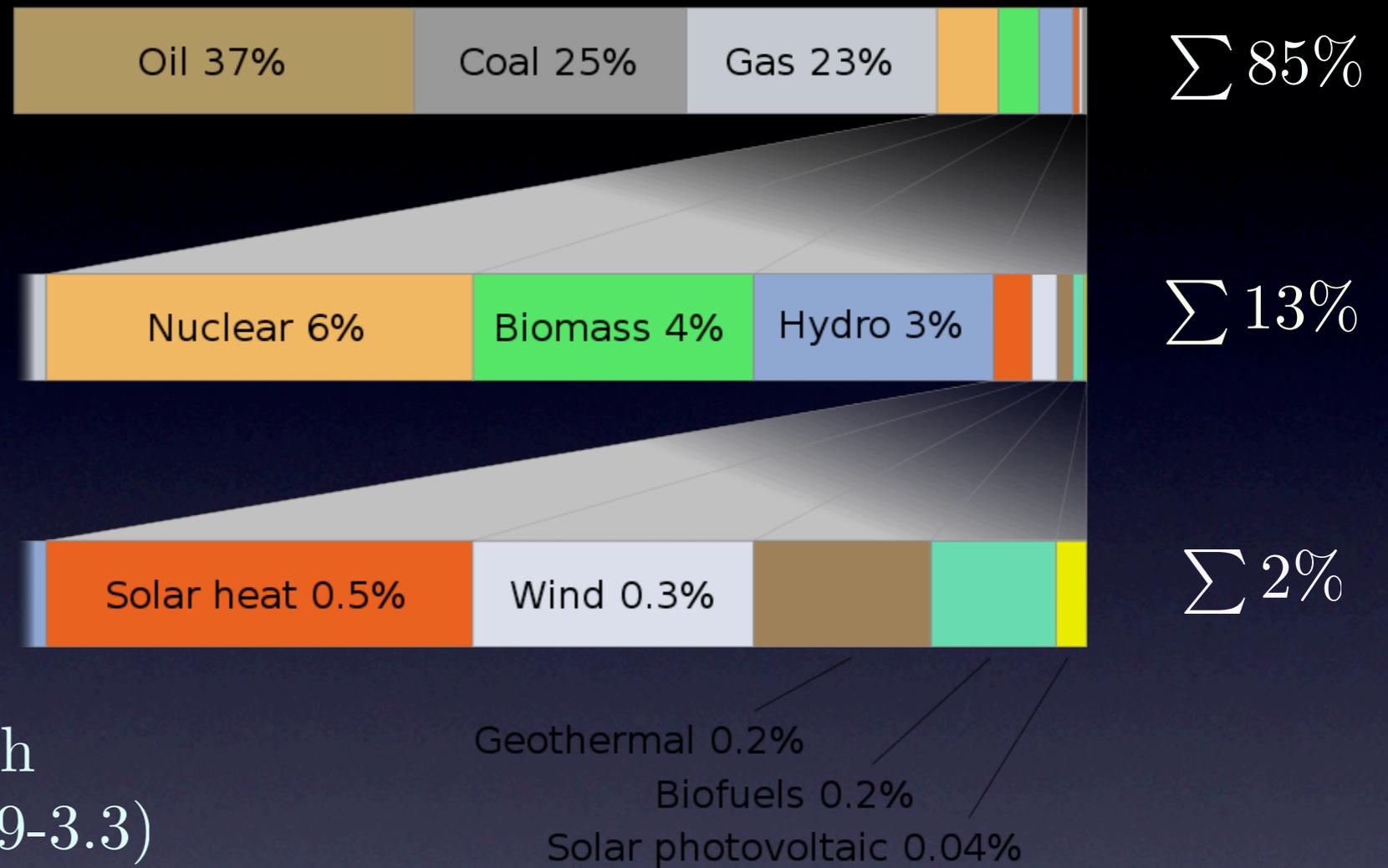
~  $4 \cdot 10^{20}$  Joule ~  $10^{14}$  kWh  
≅ 300 Milliarden 40 Watt-Birnen brennen ständig!

1kWh ≅ 1 Glühbirne a 40Watt brennt 24h ≈ 860kcal.

# Entwicklung des Energiebedarfs II



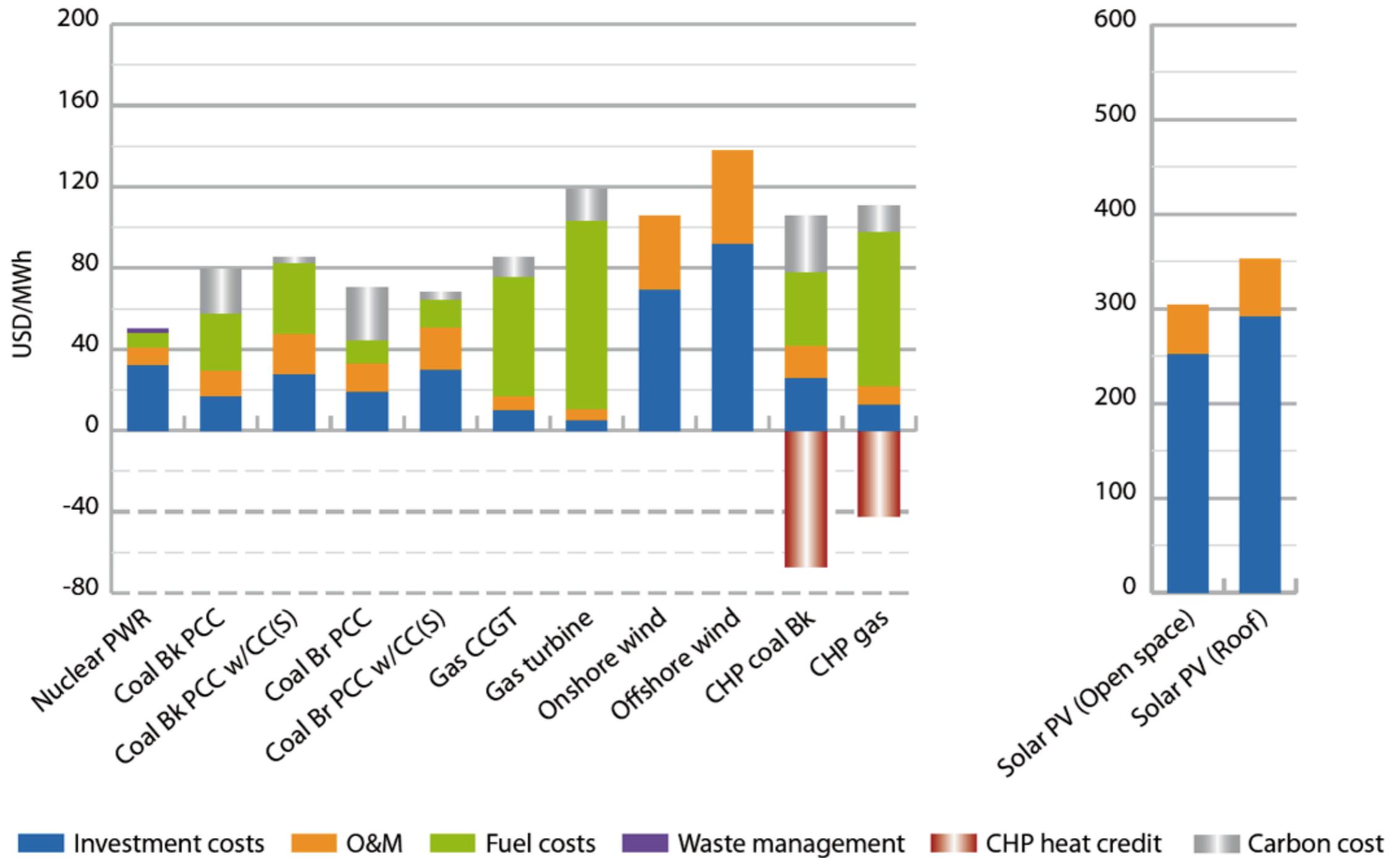
# Weltenergiebedarf (2008): ~ 15 000 GW



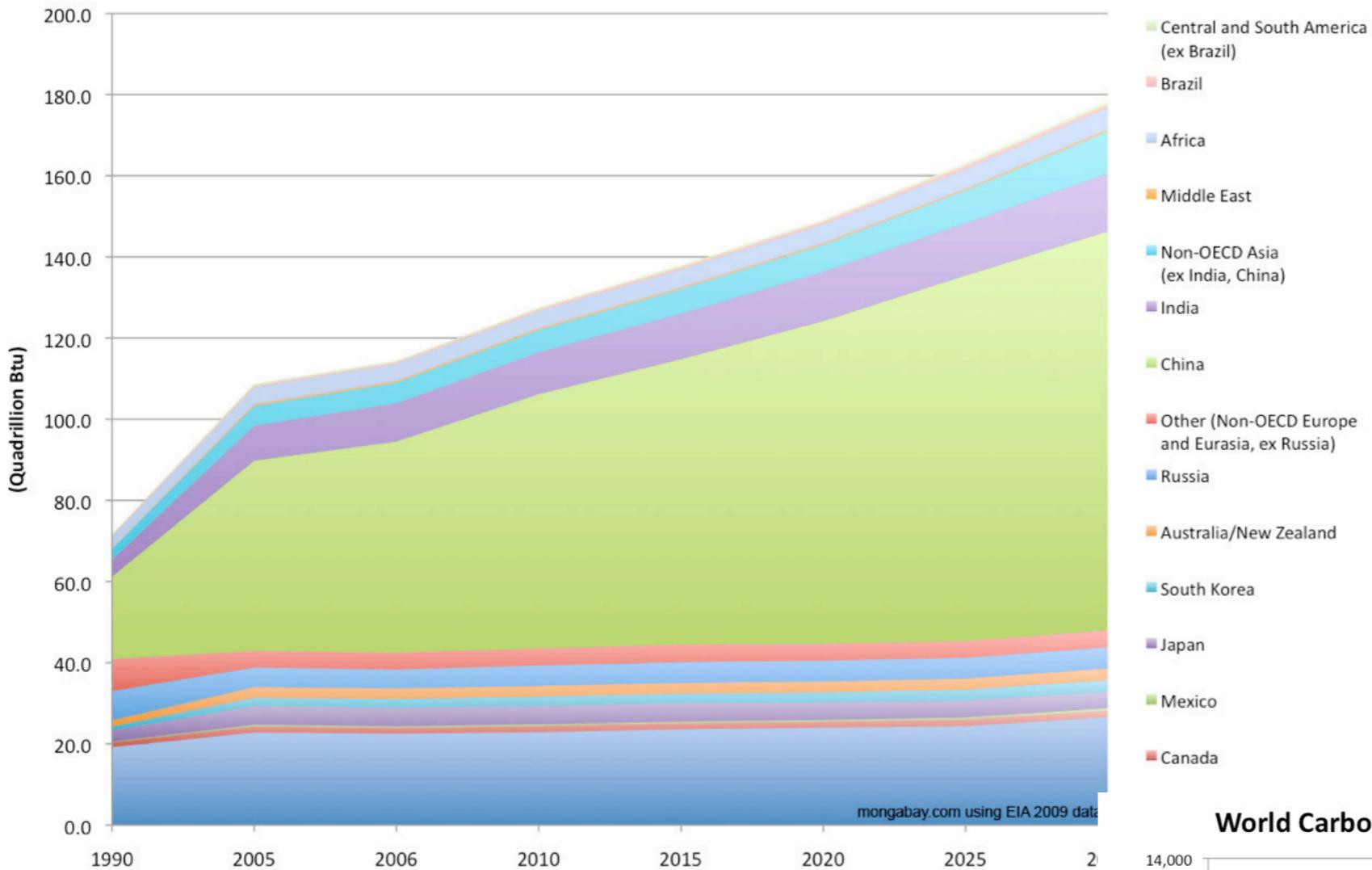
Energiepreise (C) / kWh	
Kohle	0,4-0,8 (2.9-3.3)
Gas	3,4 (4.2)
Kernergie	(3.5)
Benzin	11
Sonnenenergie	28 (52-61)
Windenergie	4-6 (9.6-15.2)

Zunahme der erneuerbaren Energien/Jahr:  
35GW = 0,0023% des Gesamtbedarfs

**Figure 4.6a: Germany – levelised costs of electricity**  
(at 5% discount rate)



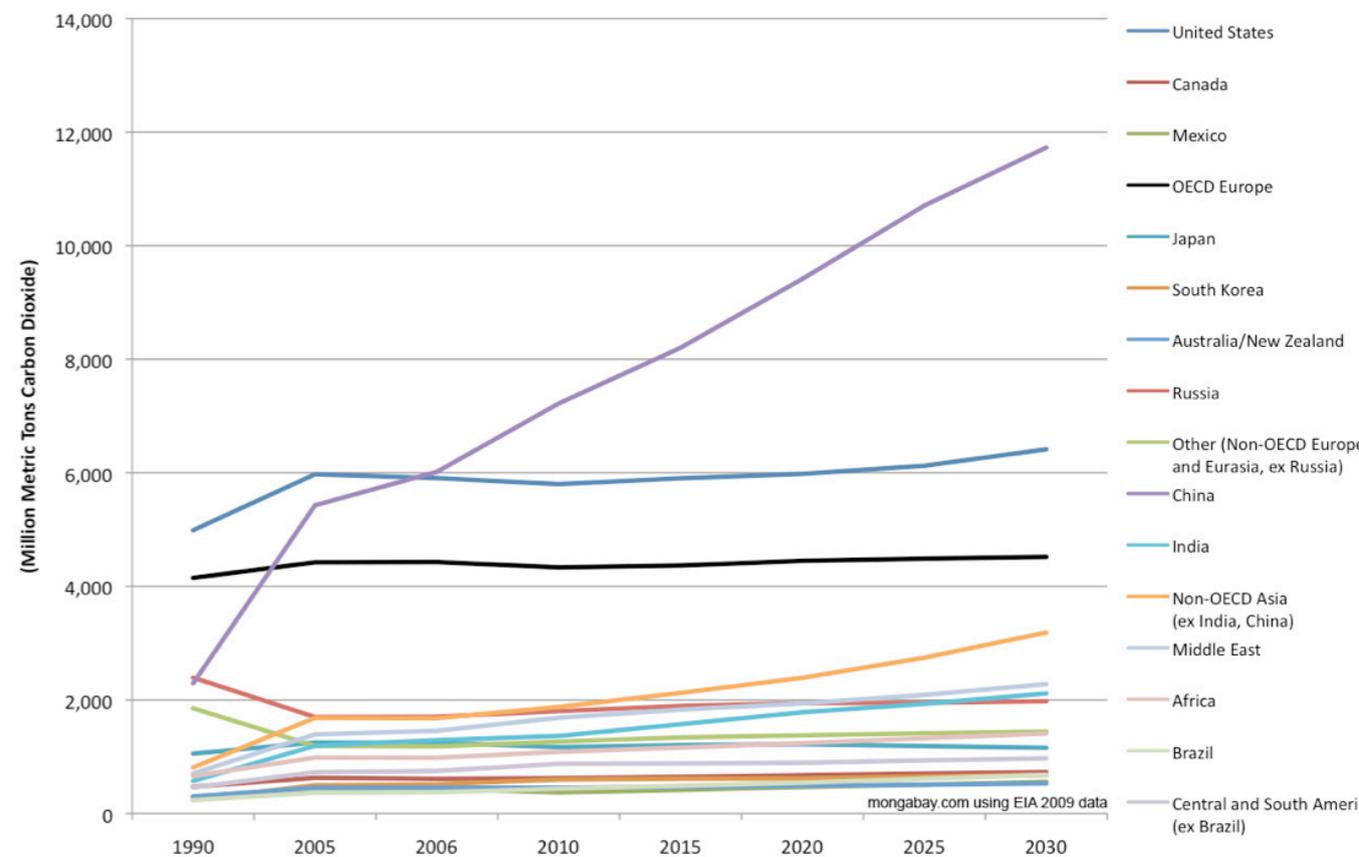
**World Coal Consumption by Region, Reference Case, 1990-2030**



China: pro Woche ein neues Steinkohlekraftwerk mit einer Leistung von 1 GW!

pro Kraftwerk :  
1 Tonne CO<sub>2</sub> in 3 Sekunden

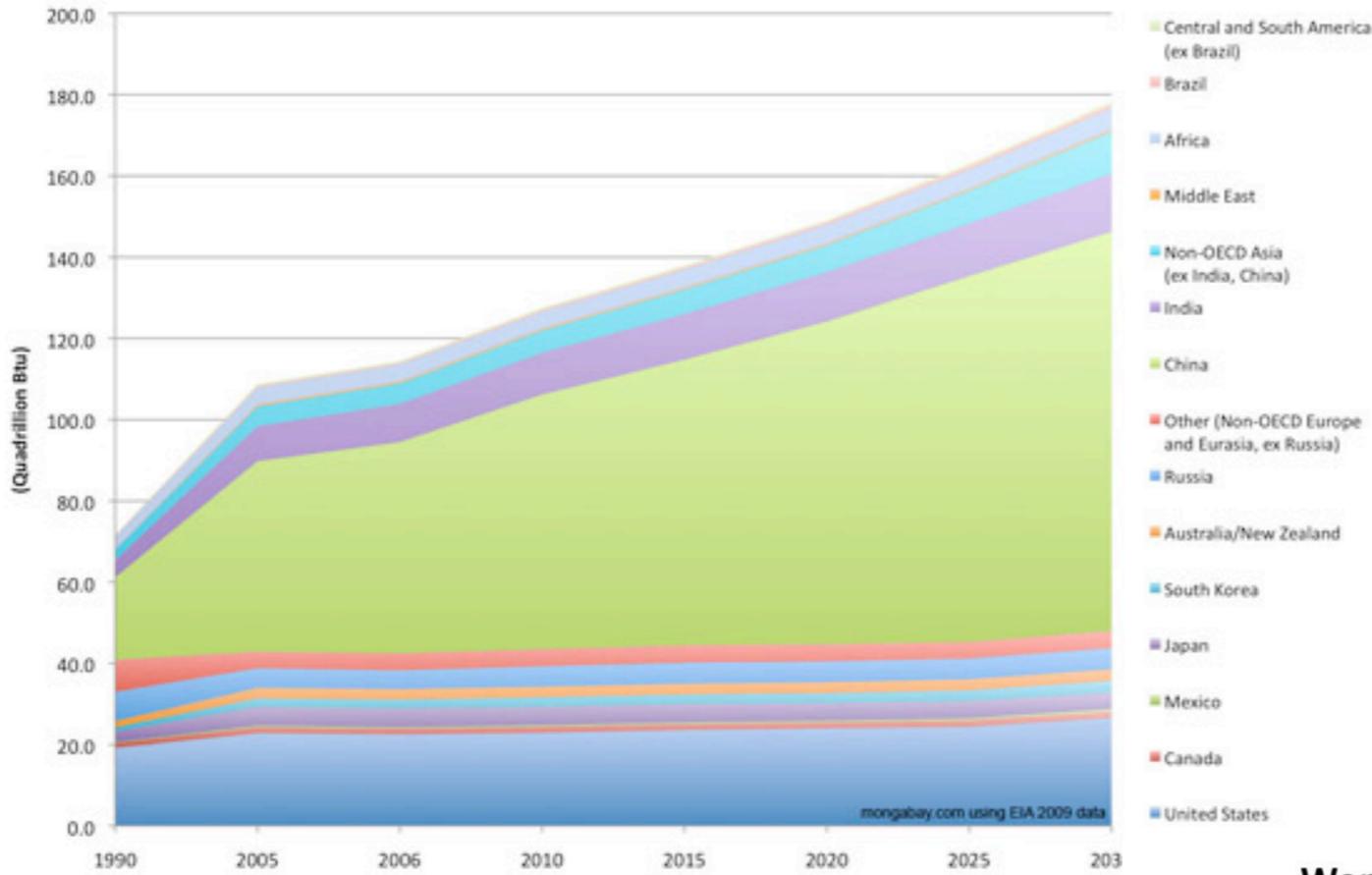
**World Carbon Dioxide Emissions by Region, Reference Case, 1990-2030**



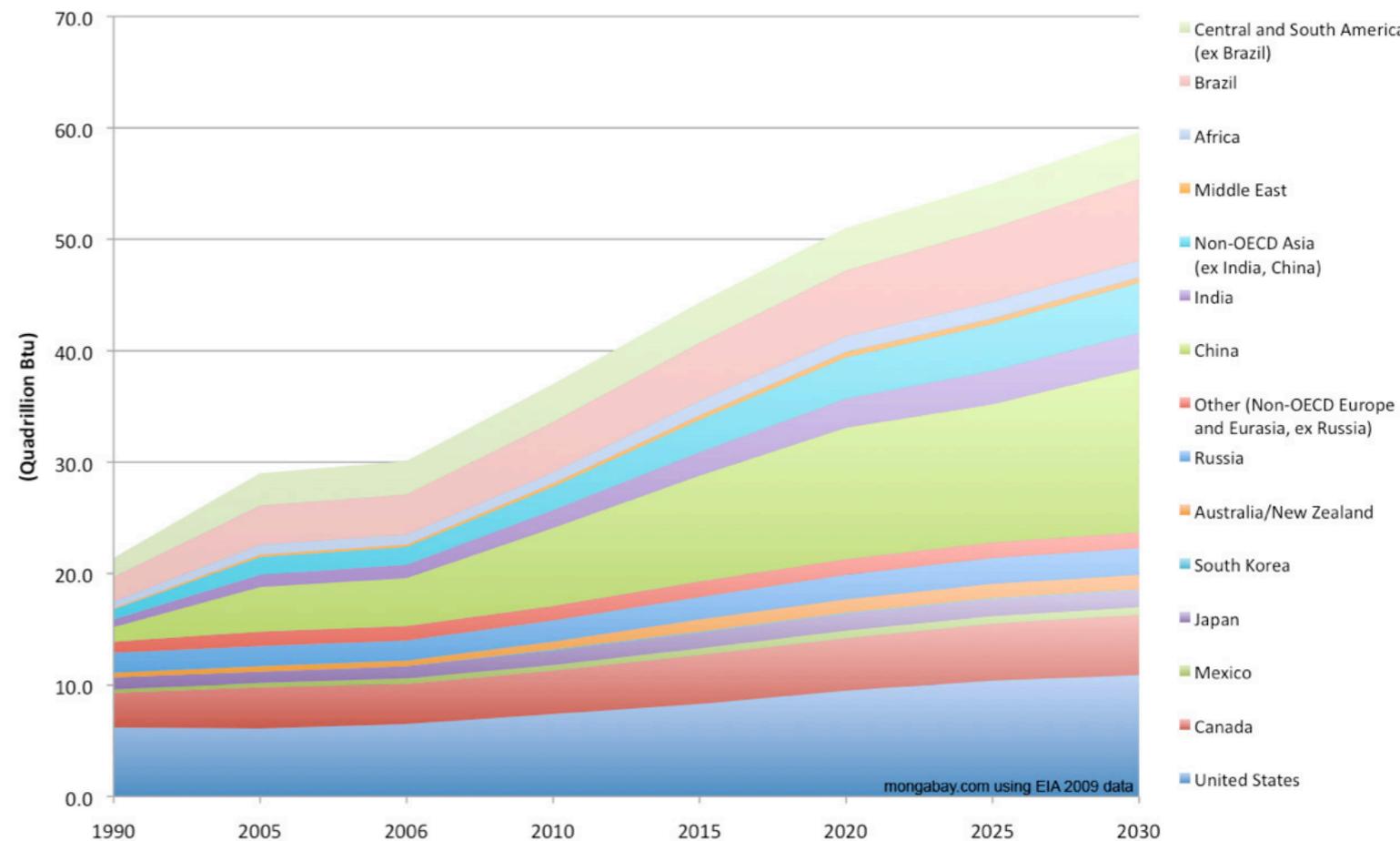
## List of countries by 2006 emissions

Rank	Country	Annual CO <sub>2</sub> emissions <sup>[8]</sup> <sup>[9]</sup> (in thousands of metric tons)	Percentage of global total	Per Capita <sup>[10]</sup> (metric ton)	Reduction needed to reach world per capita average	Emissions intensity <sup>[11]</sup> (kg of CO <sub>2</sub> per \$1 GDP (PPP))
-	<i>World</i>	28,431,741	100.0 %	4.4 <sup>[12]</sup>		0.48 <sup>[12]</sup>
1	 China	6,103,493	21.5 %	4.62	4.8 %	1.03
2	 United States <sup>[13]</sup>	5,752,289	20.2 %	18.99	76.8 %	0.45
-	 <i>European Union</i> <sup>[14]</sup>	3,914,359	13.8 %	8.07 <sup>[7]</sup>	45.5 %	0.42 <sup>[7]</sup>
3	 Russia	1,564,669	5.5 %	10.92	59.7 %	0.86
4	 India	1,510,351	5.3 %	1.31	-236 %	0.56
5	 Japan	1,293,409	4.6 %	10.11	56.5 %	0.33
6	 Germany	805,090	2.8 %	9.74	54.8 %	0.30
7	 United Kingdom	568,520	2.0 %	9.40	53.2 %	0.28
8	 Canada	544,680	1.9 %	16.72	73.7 %	0.47
9	 South Korea	475,248	1.7 %	9.89	55.5 %	0.44
10	 Italy <sup>[15]</sup>	474,148	1.7 %	8.06	45.4 %	0.28
11	 Iran	466,976	1.6 %	6.65	33.8 %	0.69
12	 Mexico	436,150	1.6 %	4.14	-6.3 %	0.32
13	 South Africa	414,649	1.5 %	8.59	48.8 %	0.99
14	 France <sup>[16]</sup>	383,148	1.4 %	6.24	29.5 %	0.20

**World Coal Consumption by Region, Reference Case, 1990-2030**

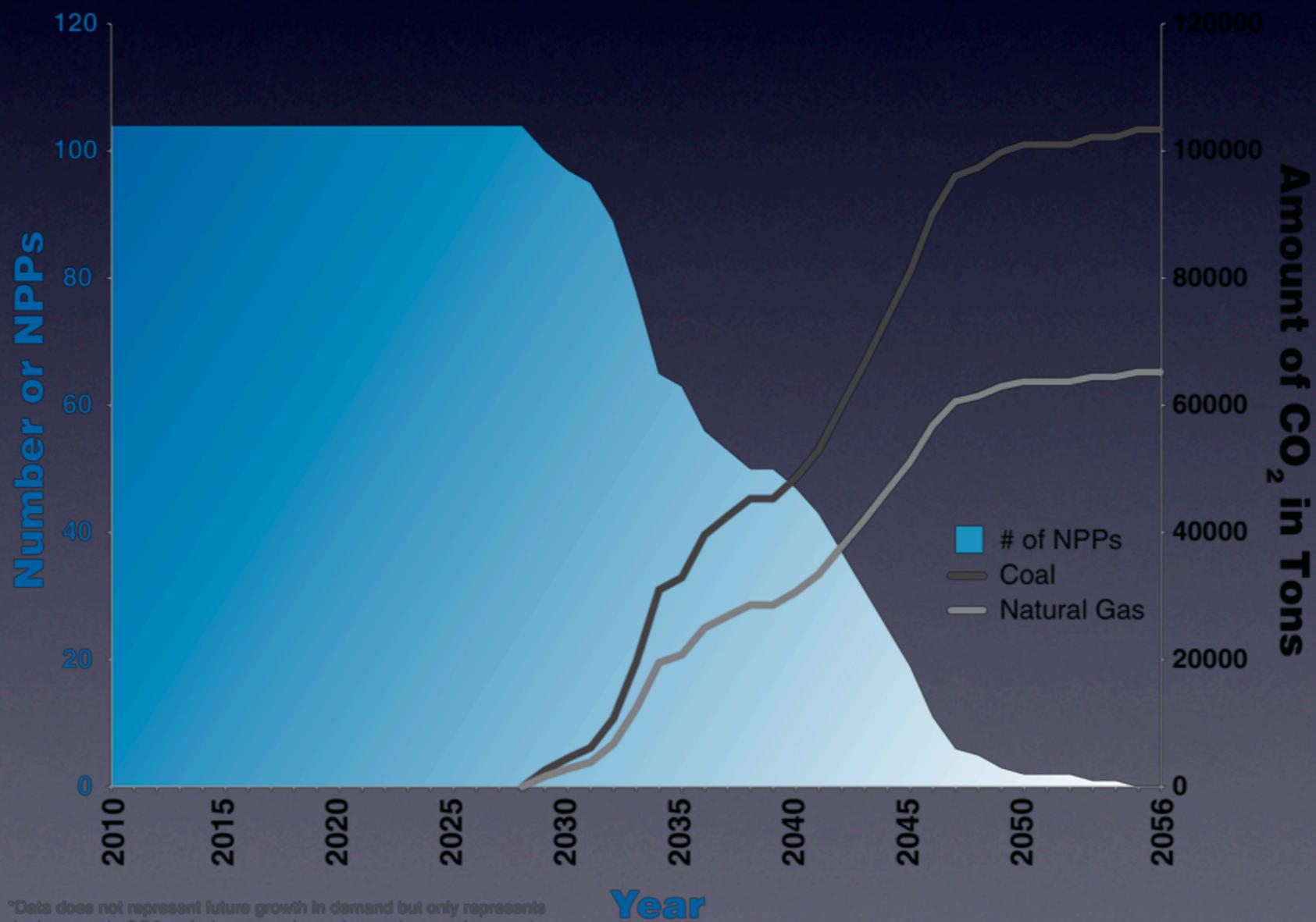


**World Consumption of Hydroelectricity and Other Renewable Energy by Region, Reference Case, 1990-2030**



pro Kraftwerk :  
1 Tonne CO<sub>2</sub> in 3 Sekunden

## Impact of NPP Retirement on Carbon Emissions



\*Data does not represent future growth in demand but only represents the increase in CO<sub>2</sub> emissions to replace what nuclear produces today.

# Treibhauseffekt I

Treibhaus-Effekt ist Hauptproblem.



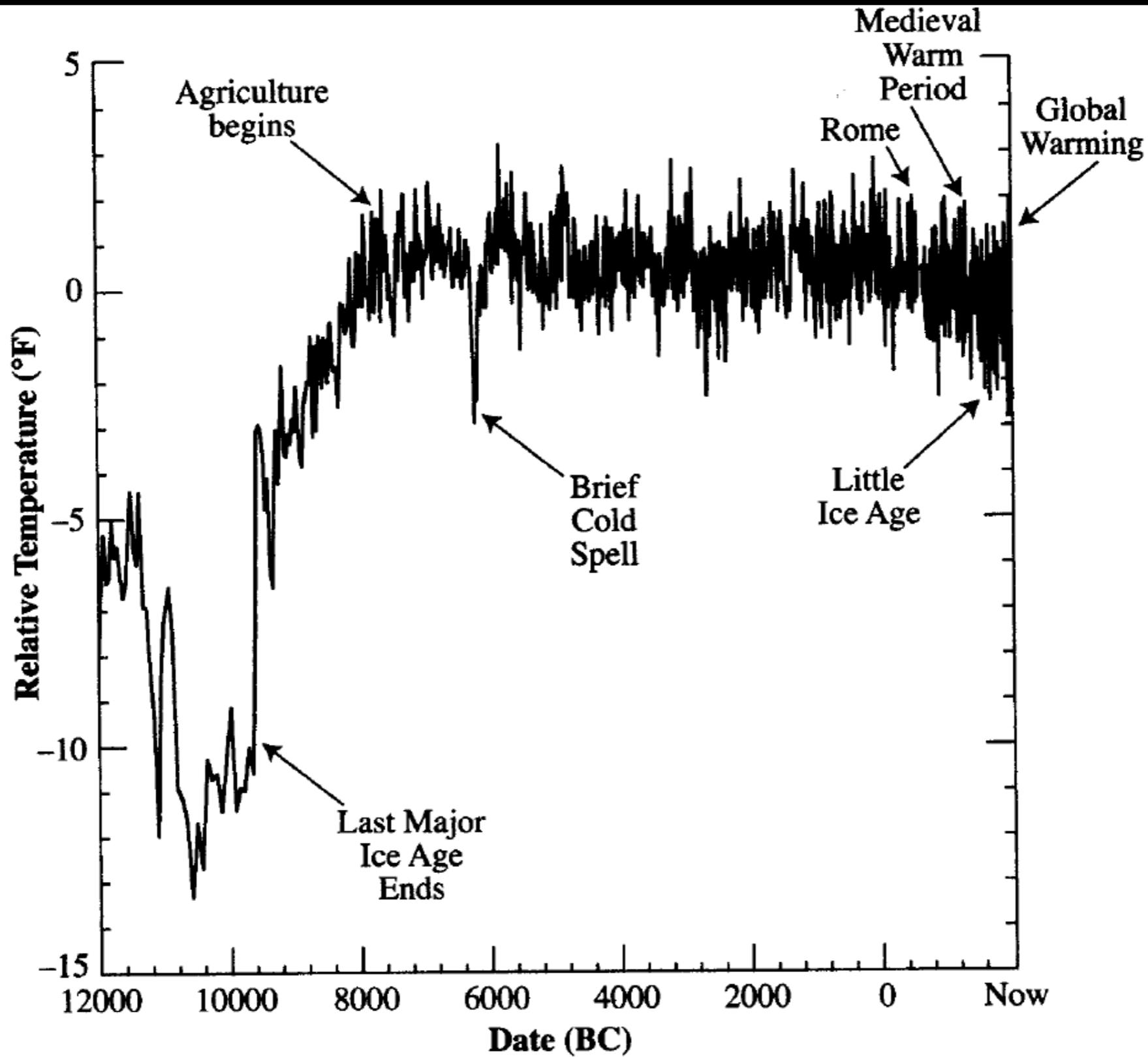
Heizung durch Sonne um 1% erhöht  $\cong 6 \cdot 10^{22} \text{J}$ .

$\cong 10 \times$  mehr als period. Veränderung der Sonneneinstrahlung  
 $\cong 250 \times$  Weltenergiebedarf.

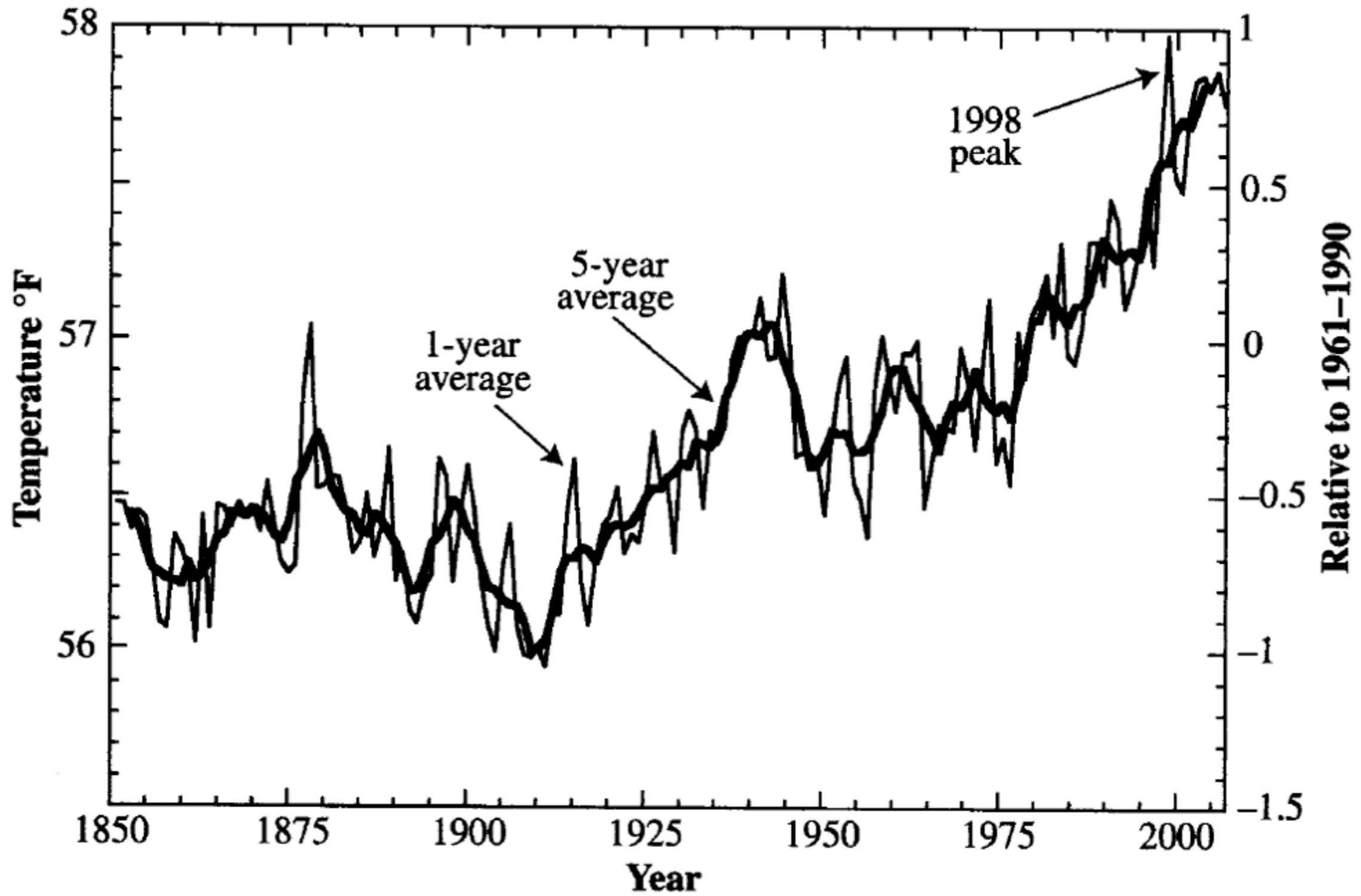
Globaler Temperaturanstieg um  $1^\circ \text{C}$  bisher ( $3\text{-}4^\circ \text{C}$  in Polnähe)  
( $\cong$  naturwissenschaftliche Erwartung)  
+ weitere  $1\text{-}2^\circ \text{C}$  in den nächsten 50 Jahren}

Ursachen: Anstieg des  $\text{CO}_2$  in Atmosphäre um 30%  
+ Metan, FCKWs, Lachgas, Halone

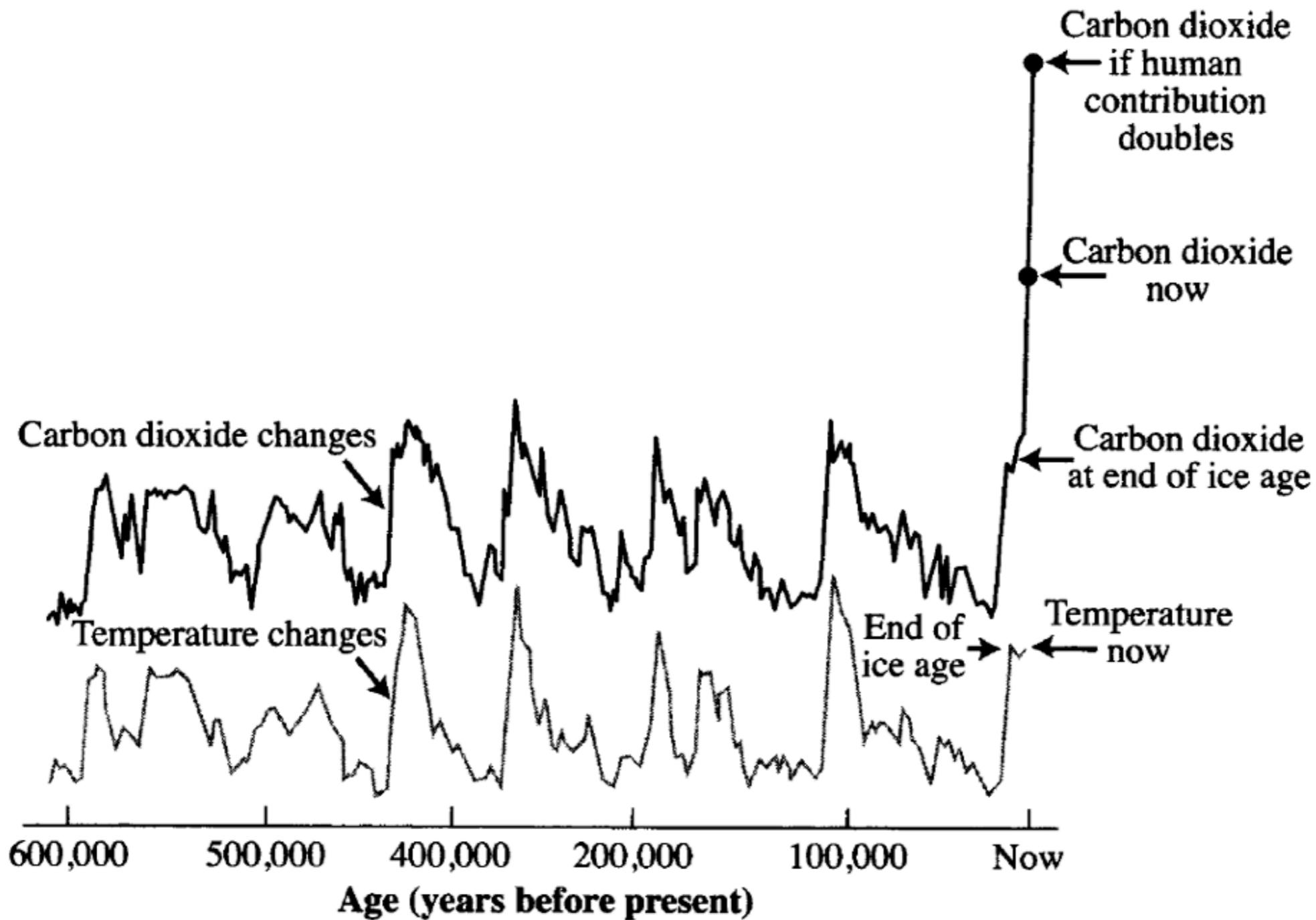




**Figure 19.4.** *The Earth's climate for the past 14,000 years, deduced from Greenland ice.*



**Figure 19.1. Global warming seen with thermometer measurements.**



**Figure 22.7.** *The ancient records of temperature and carbon dioxide, showing the correlation, adapted from An Inconvenient Truth.*

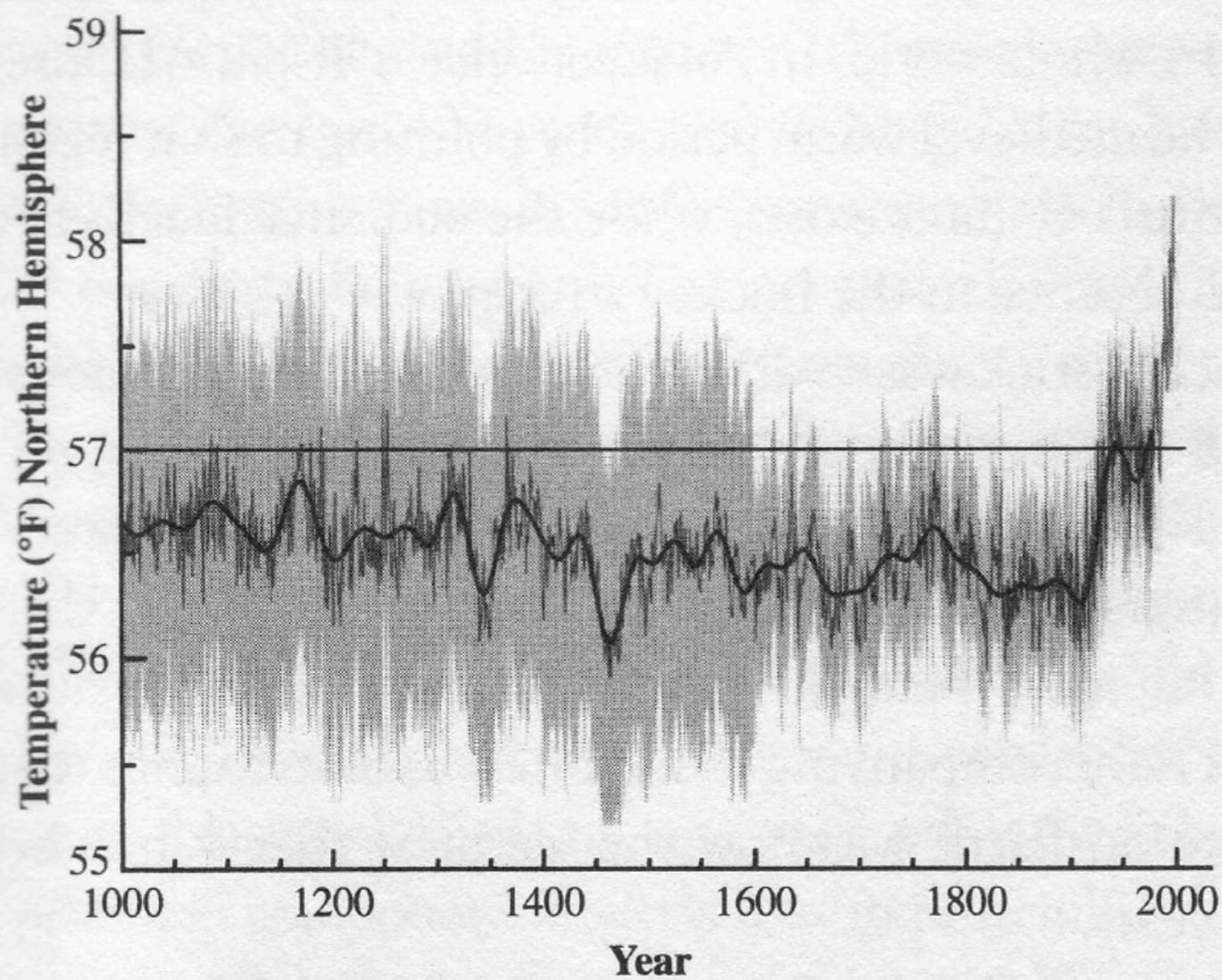


Figure 22.6. The hockey stick plot, an attempt to bring together all the best records to give a true global average of temperature over the past 1000 years. The name derives from the resemblance of the shape to a hockey

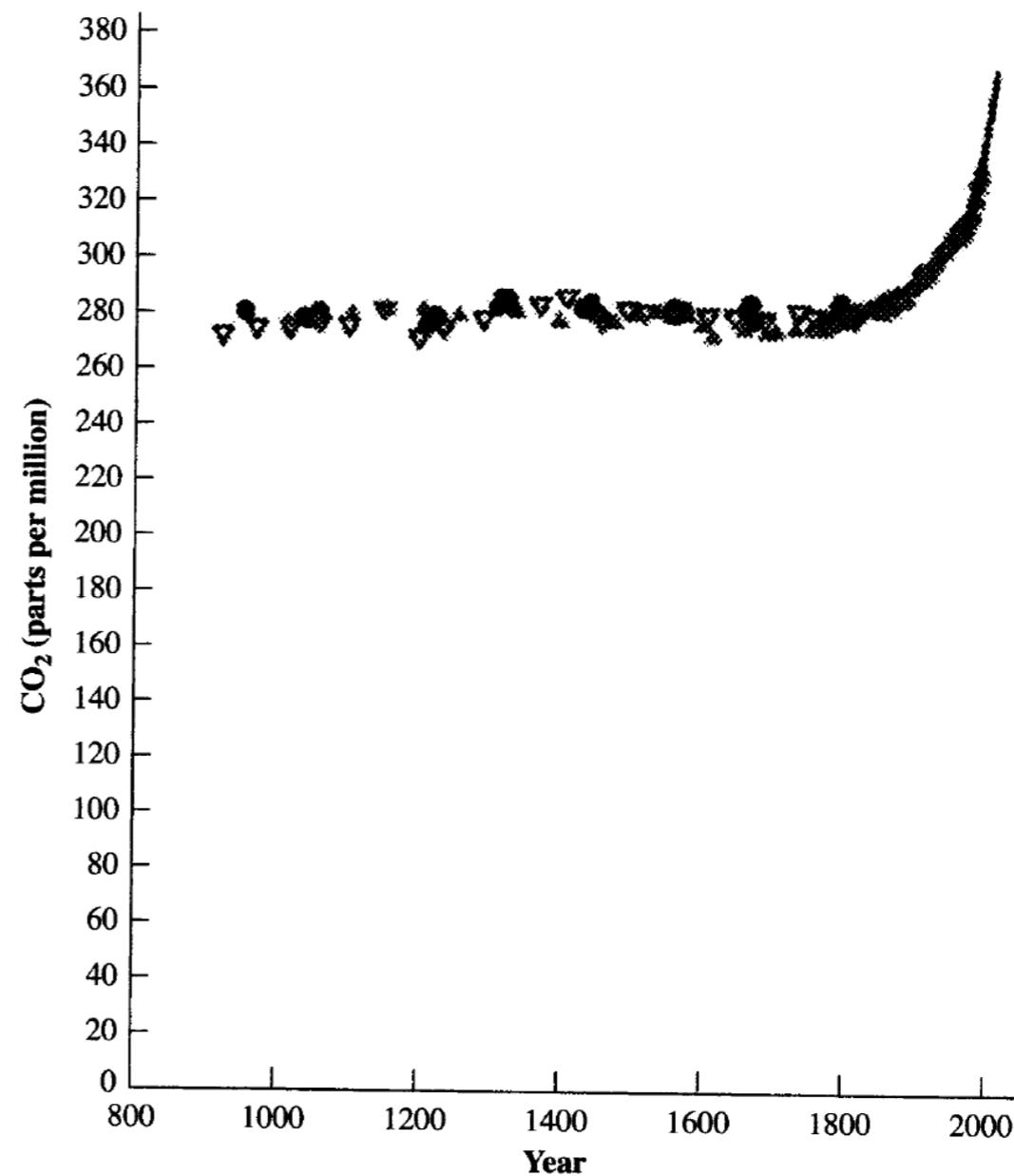


Figure 20.3. Carbon dioxide in the atmosphere over the past 1200 years. The sudden 36% rise in the recent past is due primarily to the burning of fossil fuels.

## Risiken:

- Zunahme der Wetterextreme;
- Zunahme der Trocken- und Wüstengebiete;
- Abschmelzen von Gletschern + Polkappen;
- Überflutung von Inseln und Küstengebieten
- Umklappen des erst seit Beginn der heutigen Warmzeit vor 10.000 Jahren außerordentlich temperaturstabilen Klimas und damit Verhinderung von Landwirtschaft im heutigen Sinne;
- Umkippen des Golfstroms

# Folgerungen

Reduktion des Verbrauchs fossiler Energie



in Industrieländern auf 25% des heutigen Verbrauchs  
weltweit auf 50%

unklar, ob die Zeit reicht!

Z.Z. in Deutschland Verwendung fossiler Energieträger:

→ Treibstoffe 100%

→ Wärme 90%

→ Strom 60%

Ersatzenergien für fossile Energie in den nächsten 50 Jahren:

→ erneuerbare Energien

→ Kernenergien (Spaltung, Fusion)

# Umstieg auf alternative Energien

Umstieg auf erneuerbare Energien weltweit möglich?

im Prinzip ja, aber etwa 60 Billionen (60 Millionen Millionen) US-\$ Kosten (~ 2x Weltbruttosozialprodukt)

⇒ Aufzubringen von Industrieländern in etwa 100 Jahren!

„Intergovernmental Panel on Climate Change“ 1995:

Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien in den nächsten 50 Jahren auf **1/3** des Gesamtweltenergiebedarfs (jetzt  $10^{20}$ J, dann  $2 \cdot 10^{20}$ J) → 10 Billionen US-\$

- Verdoppelung der Kapazität der Wasserkraftwerke weltweit +  $6 \cdot 10^{11}$  Watt
- Solarthermische Kraftwerke mit Dauerleistung von mehreren  $10^{11}$  Watt (1 AKW  $\approx 10^9$  Watt)
- Windturbinen + Solarzellenanlagen, jeweils mehrere  $10^{11}$  Watt
- Solarwärmekocher in tropischen Gebieten ~ mehrere  $10^{11}$  Watt
- Einige  $10^6$ km<sup>2</sup> Land zum Anbau für Biomasse als Energierohstoff (z.B. Methanol) kaum machbar, da schon  $1,5 \cdot 10^7$ km<sup>2</sup> Acker- & Rekultivierung teuer! Bevölkerungswachstum!  $3 \cdot 10^7$ km<sup>2</sup> Weidefläche

# Kernenergie I

Auch „natürliche“ Energiequellen:

Vor 2 Mrd. Jahren in Gabun (bei Oklo):

Wasser dringt in poröses Gestein von Uran-Erz-Lagerstätte

→ wirkt als „Moderator“ ~ Leichtwasser-Reaktor (LWR);

→ brannte für 200.000 Jahre.

Bei der Aufspaltung schwerer Kerne in zwei leichte wird Energie frei.

Z.Z. in 30 Ländern ca. 440 Kernkraftwerke (~17% des weltweiten Strombedarfs.)

Probleme:

- Gewinnung von Kernbrennstoffen
  - Betrieb von Kernkraftwerken,
  - Entsorgung radioaktiver Abfälle
- so wie in deren natürlichen Lagerstätten, z.B. im Schwarzwald.

# Kernenergie II

## Haupthindernisse bei Umweltverträglicher Nutzung der Kernenergie:

- emotionale Hindernisse,
- Mangel an Ehrlichkeit bei Information über:
  - natürliche und technische Strahlungsbelastung,
  - Risiken möglicher Schadensfälle.
- Mangel an Bereitschaft, korrekte Information zu akzeptieren
- hohe Investitionskosten (1,5-4 mal teurer als Kohlekraftwerken)

Ausstieg: Deutschland + Schweden (nach 32 Jahren)

Verlängerung auf bis zu 60 Betriebsjahre: USA

Neubau: Asien (China: in Jülich entwickelter HTR)  
Finnland u.a.

# Kernenergie III

## Kernenergie:

1 kg (U-235 Kern + 1 Neutron) =  
0,999kg (2 mittelschwere Kerne + 2-3 Neutronen)+ 1g „Energie“.

$$\Delta E = mc^2 = 1g \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1} \cong 2,5 \cdot 10^7 \text{kWh}$$

## Radioaktivität:

neben den stabilen Atomkernen existieren für jedes Element auch instabile

→ Zerfallen unter Aussendung von  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Strahlen

1 Zerfall/sec. = 1 Bequerel = 1 Bq

# Radioaktivität I

Chemische Elemente kommen in der Natur als Isotope vor:  
Ein Isotop hat die gleiche Zahl von Protonen (p)  
im Kern und Elektronen ( $e^-$ ) in der Hülle, aber  
eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen (n) im Kern.

Beispiel 1 : Kalium kommt in der Natur in 3 Isotopen vor: 19 p + 19 e +

93,2581%  $^{39}\text{K}$  mit 20 n, stabil

6,7302%  $^{41}\text{K}$  mit 22 n, stabil

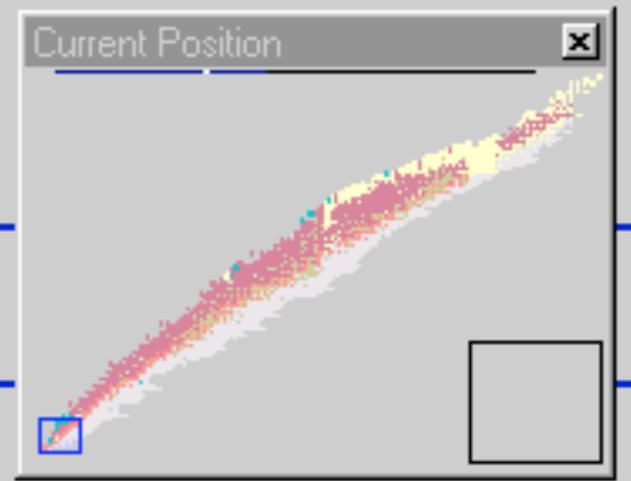
0,0117%  $^{40}\text{K}$  mit 21 n, radioaktiv, zerfällt in  $e^- + ^{40}\text{Ca}$  oder  $^{40}\text{Ar} - e^-$

Zerfall spontan, aber nach den Regeln der Quantenphysik,  
Halbwertszeit ist  $1,277 \cdot 10^9$  Jahre

# Table of the Isotopes

Navigator

8			<b>O</b>	<b>O12</b> 0.40MeV 0+ 2p	<b>O13</b> 8.58ms (3/2-) EC	<b>O14</b> 70.606s 0+ EC	<b>O15</b> 122.24s 1/2- EC	<b>O16</b> 0+	<b>O17</b> 5/2+	<b>O18</b> 0+	<b>O19</b> 26.91s 5/2+ β-	<b>O20</b> 13.51s 0+ β-	<b>O21</b> 3.42s (1/2 3/2) β-	<b>O22</b> 2.25s 0+ β-	<b>O23</b> 82ms β-	<b>O24</b> 61ms 0+ β-	<b>O25</b> no data		
	7		<b>N</b>	<b>N10</b> no data	<b>N11</b> 740KeV 1/2+ p	<b>N12</b> 1.000ms 1+ EC	<b>N13</b> 9.965m 1/2- EC	<b>N14</b> 1+	<b>N15</b> 1/2-	<b>N16</b> 7.13s 2- β-	<b>N17</b> 4.173s 1/2- β-	<b>N18</b> 624ms 1- β-	<b>N19</b> 0.304s (1/2-) β-	<b>N20</b> 100ms β-	<b>N21</b> 85ms β-	<b>N22</b> 24ms β-	<b>N23</b> no data	<b>N24</b> no data	
6		<b>C</b>	<b>C8</b> 230KeV 0+ no data	<b>C9</b> 126.5ms (3/2-) EC	<b>C10</b> 19.255s 0+ EC	<b>C11</b> 20.39m 3/2- EC	<b>C12</b> 0+	<b>C13</b> 1/2-	<b>C14</b> 5730y 0+ β-	<b>C15</b> 2.449s 1/2+ β-	<b>C16</b> 0.747s 0+ β-	<b>C17</b> 193ms β-	<b>C18</b> 95ms 0+ β-	<b>C19</b> 46ms β-	<b>C20</b> 14ms 0+ β-	<b>C21</b> no data	<b>C22</b> 0+ no data		
	5		<b>B</b>	<b>B7</b> 1.4MeV (3/2-) no data	<b>B8</b> 770ms 2+ EC	<b>B9</b> 0.54KeV 3/2- multiple	<b>B10</b> 3+	<b>B11</b> 3/2-	<b>B12</b> 20.20ms 1+ β-	<b>B13</b> 17.36ms 3/2- β-	<b>B14</b> 13.8ms 2- β-	<b>B15</b> 10.5ms β-	<b>B16</b> 200 Ps (0-) n	<b>B17</b> 5.08ms (3/2-) β-	<b>B18</b> no data	<b>B19</b> no data			
4	<b>Be</b>	<b>Be5</b> no data	<b>Be6</b> 92KeV 0+ 2p	<b>Be7</b> 53.29d 3/2- EC	<b>Be8</b> 6.8eV 0+ 2α	<b>Be9</b> 3/2-	<b>Be10</b> 1.51E+6y 0+ β-	<b>Be11</b> 13.81s 1/2+ β-	<b>Be12</b> 23.6ms 0+ β-	<b>Be13</b> 0.9 MeV 1/2 5/2+ n	<b>Be14</b> 4.35ms 0+ β-								
	3	<b>Li</b>	<b>Li4</b> 2- no data	<b>Li5</b> 1.5 MeV 3/2- p	<b>Li6</b> 1+	<b>Li7</b> 3/2-	<b>Li8</b> 838ms 2+ β-	<b>Li9</b> 178.3ms 3/2- β-	<b>Li10</b> 1.2MeV n	<b>Li11</b> 8.5ms 3/2- β-	<b>Li12</b> no data								
2	<b>He</b>	<b>He3</b> 1/2+	<b>He4</b> 0+	<b>He5</b> 0.60MeV 3/2- n	<b>He6</b> 806.7ms 0+ β-	<b>He7</b> 160KeV (3/2-) n	<b>He8</b> 119.0ms 0+ β-	<b>He9</b> 0.30 MeV (1/2-) n	<b>He10</b> 0.3MeV 0+ n										
	1	<b>H</b>	<b>H1</b> 1/2+	<b>H2</b> 1+	<b>H3</b> 12.33y 1/2+ β-	<b>H4</b> 2- no data	<b>H5</b> no data	<b>H6</b> no data											
0			<b>n</b> 1/2+ β-																
	<b>N</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>



NAVIGATE

← → ↑ ↓

Primary Decay Modes

Stable Electron Capture Neutron Decay Beta Decay  
 Proton Decay Isomer Transfer Other Alpha Decay

Print Table  
 Print Screen  
 Close

# Radioaktivität II

Beispiel 2: Kohlenstoff kommt in der Natur in 3 Isotopen vor:

98,89 %	$^{12}\text{C}$ ,	stabil
1,11%	$^{13}\text{C}$ ,	stabil
$1,3 \cdot 10^{-3}\%$	$^{14}\text{C}$ ,	instabil, zerfällt in $^{14}\text{N}$

Biokraftstoffe und Alkohol sind daher radioaktiv!

Instabile Isotope nennt man radioaktive Isotope oder Radionukleide

- Entstehung:
1. kosmische Entwicklung lange vor Entstehung der Erde (z.B. Uran in Supernova-Explosionen) daher langlebig.  
Beispiele.:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  
treten überall auf der Erde auf (Uran: 3-1000g/Tonne Gestein)
  2. Strahlung aus dem Kosmos erzeugt in Hochatmosphäre neue Isotope, sind kurz oder langlebig,  
Beispiele:  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^3\text{T}$
  3. Menschlichen Ursprungs (kleiner Anteil),  
Beispiele:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{239}\text{Pu}$

→ Zerfall unter Aussendung von  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Strahlen

1 Zerfall/sec. = 1 Bequerel = 1 Bq

### Strahlenbelastung des Menschen:

Beispiel  $^{40}\text{K}$ -Zerfall: ausgesandtes Elektron hat  $10^6$  eV, d.h. kann etwa 1 Million chemischer Bindungen aufbrechen! Aber nur wenige Moleküle pro Zelle werden getroffen und es existieren Reparaturmechanismen, die erfolgreich arbeiten und im Detail nachgewiesen sind (siehe UNSCEAR)!

$\alpha$ -Strahlung (He-Kern) ionisiert dagegen fast jedes Molekül auf seiner Flugbahn, Schäden sind daher schwerer zu reparieren.

Biologisch wirksame Energiedosis = Energiedosis  $\times$  strahlungsabhängiger  
Qualitätsfaktor .

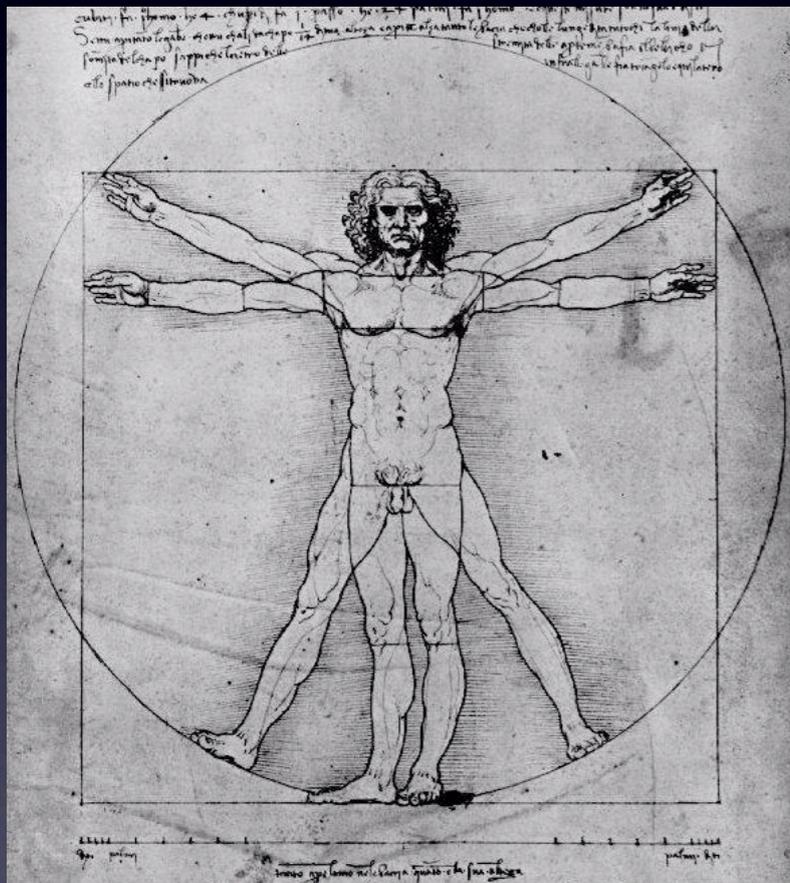
(Die Einheit hierfür ist das Sievert [Sv])

**99% der Strahlenbelastung ist natürlichen Ursprungs!**

Beachtung des  $N^{1/2}$ -Gesetzes bei statistischen Aussagen!

# Strahlenbelastung des Menschen I

Gemessen in Sievert (Sv): Maß für die vom Gewebe aufgenommene Energie/Masse, gewichtet mit der Effektivität des Strahlentyps und der Gewebeempfindlichkeit.



- ← Höhenstrahlung: 0,3-1,2 mSv
- ← Radon in der Luft: 0,1-1 mSv
- ← Nahrung: 0,2 mSv
- ← Kernkraftwerke (nah): 0,005 mSv
- ← Kohlekraftwerke: 0,01 mSv
- ← Tschernobyl: 0,15-1,5 mSv (86-87)  
0,002 mSv (heute)
- ← 1 Röntgenaufnahme: Lunge: 0,2-1 mSv  
Becken: 10 mSv (!)
- ← Boden: 1-2 mSv (Max. 6.30!)

Summe der natürlichen Strahlung 1,6-4,4 mSv.

Summe der künstlichen Strahlung (ohne Röntgen) ca. 1% der natürlichen.

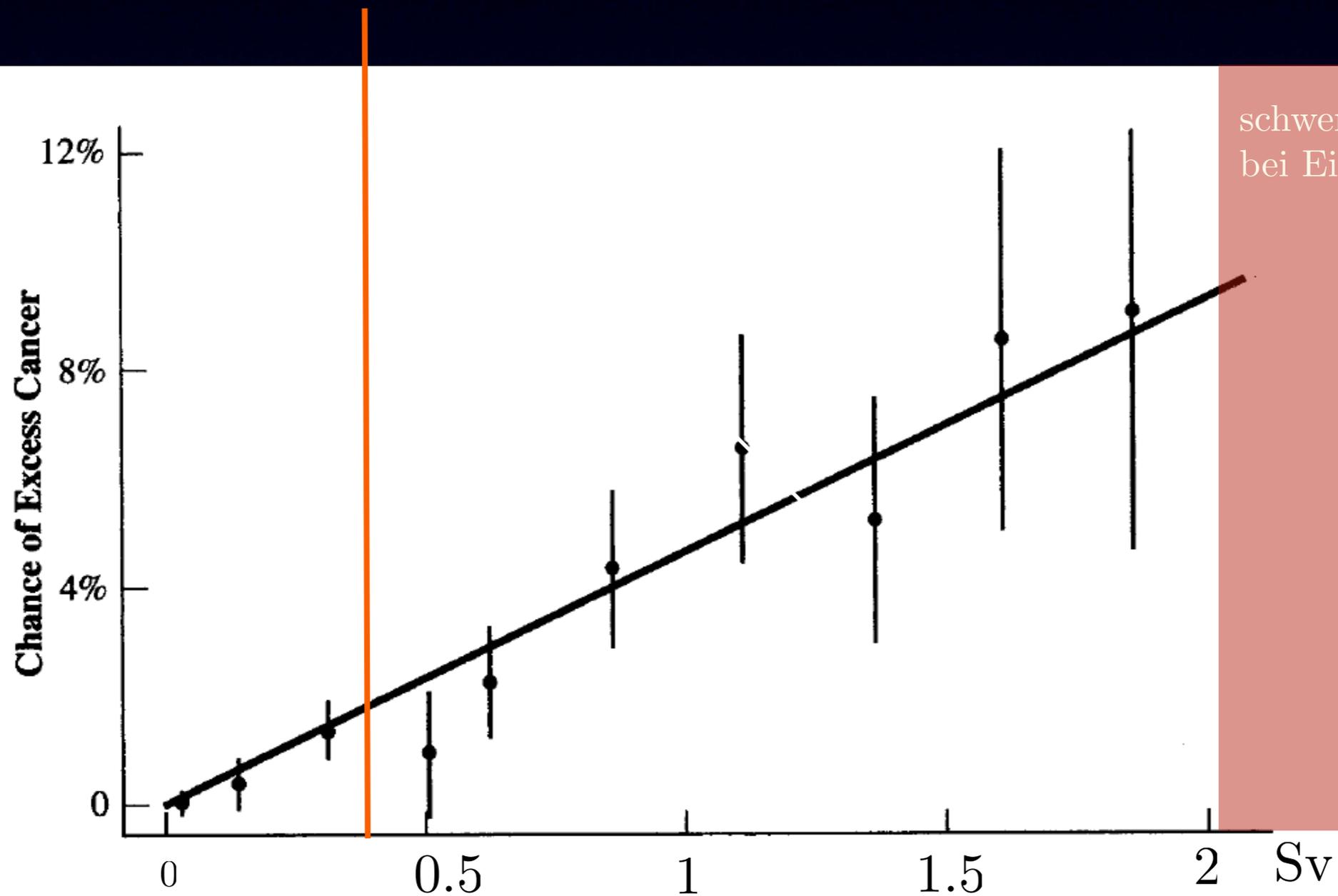
maximal zulässige Dosis für strahlenexponierte Arbeitskräfte:

50 mSv/Jahr; 400 mSv/Arbeitsleben

# Krebs durch radioaktive Strahlung: der lineare Effekt

In Ramsar (Iran) werden Lebenszeitdosen von mehr als 8 Sv erreicht !

Lebensmaximal-dosis  
Strahlenarbeiter

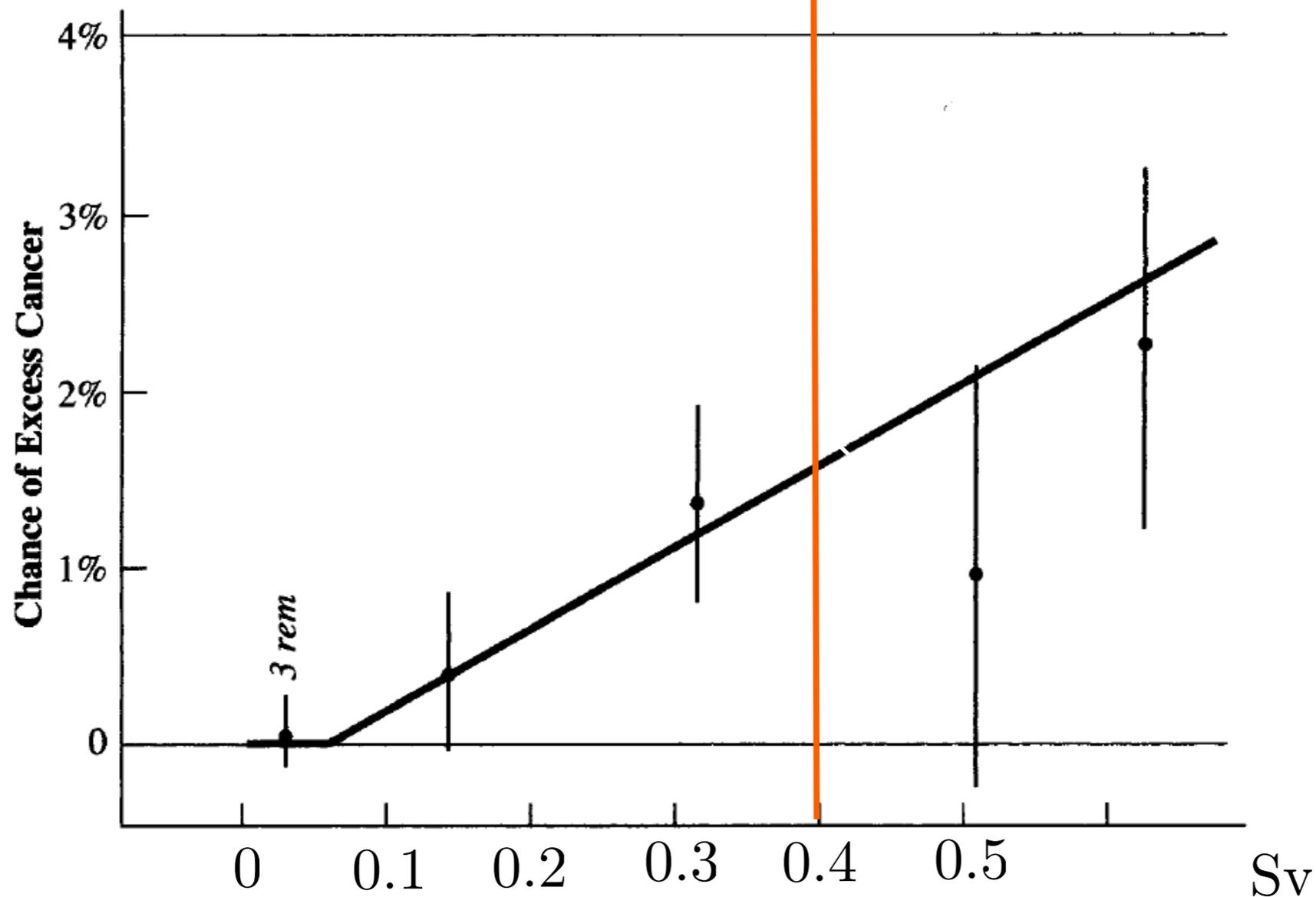


schwer strahlenkrank  
bei Einmaldosis

# Krebs durch radioaktive Strahlung

In Ramsar (Iran) werden Lebenszeitdosen von mehr als 8 Sv erreicht !

Lebensmaximal-dosis  
Strahlenarbeiter



Area, Country	Mean dose (mGy y <sup>-1</sup> )	Maximum dose (mGy y <sup>-1</sup> )	Minimum dose (mGy y <sup>-1</sup> )
Ramsar, Iran		260 (1) 149 (2)	0.61
Kerala, India		35	1.75
Guarapari, Brazil (3)		1.49	0.79
Yangjiang, China (2, 4)	3.24		
Ireland (2)	0.37	1.58	0.01
Austria (2)	0.38	1.31	0.18
USA (2)	0.41	1.03	0.12
Germany (2)	0.44	3.07	0.04
Denmark (2)	0.46	0.61	0.31
Japan (2)	0.46	0.67	0.18
India (2)	0.49	9.64	0.18
China (2)	0.50	0.76	0.15
France (2)	0.60	2.19	0.09
Iran (2)	0.62	1.14	0.32
Norway (2)	0.64	10.52	0.18
Italy (2)	0.65	2.00	0.03
Hong Kong (2)	0.76	1.05	0.45
<b>World Average (2)</b>	<b>0.50</b>	<b>0.82</b>	<b>0.16</b>

# Die Folgen von Tschernobyl I

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Report 2000 (1220 Seiten, 20 Seiten Zusammenfassung)

<http://www.unscear.org/> : Die Folgen des Unfalls am 26.4.1986 in Tschernobyl:  
(Vergleichen Sie hierzu Meldungen in den Medien!)

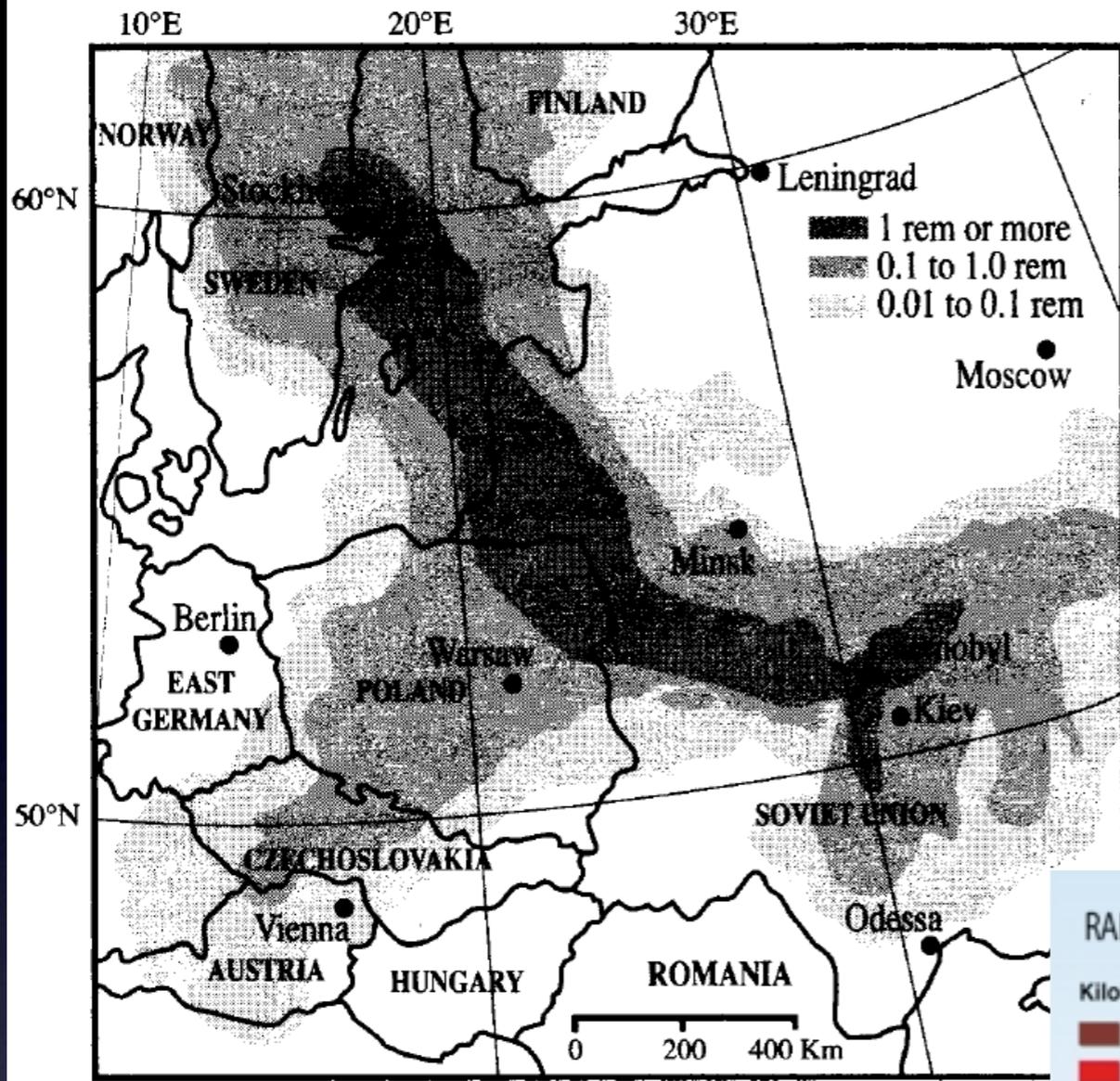
- Freisetzung von  $1,2 \cdot 10^{19}$  Bq, Kontamination weiter Flächen
- 200.000 „Liquidatoren“

einige 10	> 1000 mSv (tödlich)
ca. 2000	~ 500 mSv
ca. 20.000	~ 250 mSv
Rest	~ 100 mSv
- 600.000-800.000 Personen registriert- und überwacht
- 116.000 Personen umgesiedelt (<10%: >50 mSv; <5%: >100 mSv)

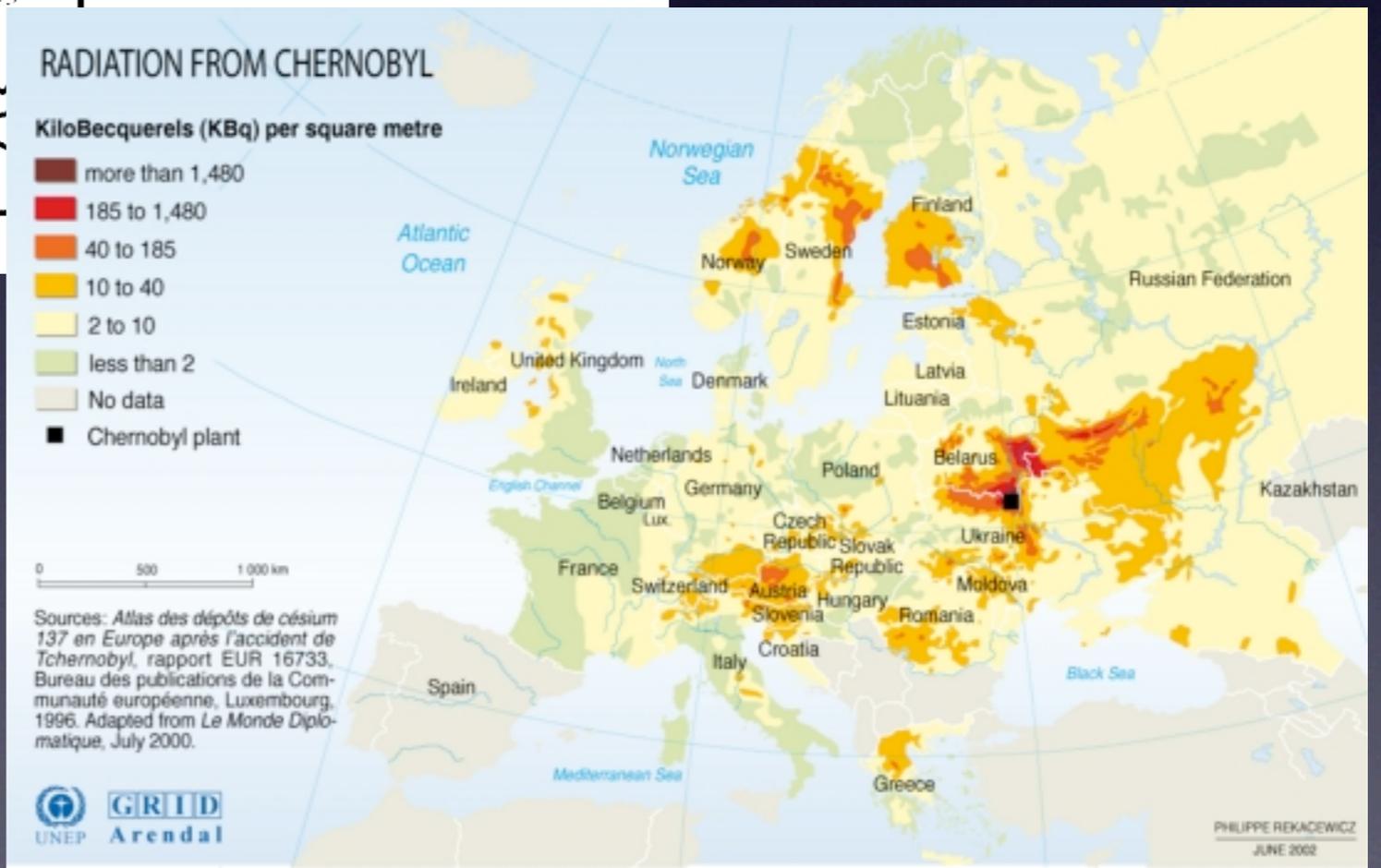
Juni 2001 (Konferenz in Kiev):

- Bisher verstorben: 28 + 19 Liquidatoren +15 Kinder
- Erkrankt: ca 4000 Kinder an Schilddrüsenkrebs (>95% Überlebensrate)

Erhöhung der Zahl der Leukämiefälle unter den russischen Liquidatoren, **nicht** bei Einwohnern, **keine** signifikante Erhöhung der Zahl der Missbildungen, Immunschwächen.



*Figure 8.2. Levels of radiation from the Chernobyl disaster that reached various parts of Europe.*



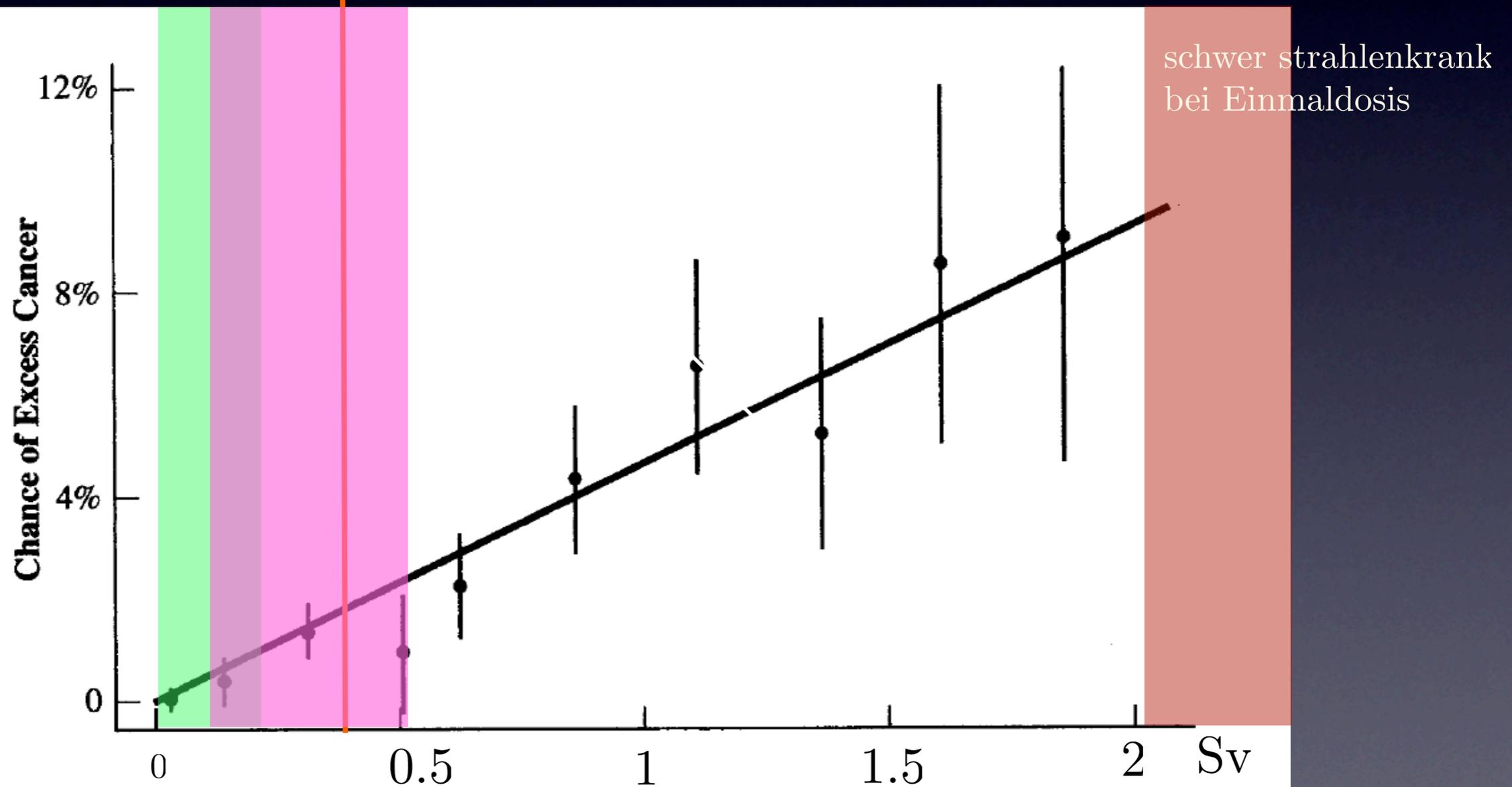
Sources: UNEP/GRID-Arendal, European Environment Agency; AMAP Assessment Report : Arctic Pollution Issues, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 1998, Oslo; European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP); Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe, 1999. Adapted from Le Monde Diplomatique, July 2000.

# Krebs durch radioaktive Strahlung: der lineare Effekt

In Ramsar (Iran) werden Lebenszeitdosen von mehr als 8 Sv erreicht !

Belastung durch Liquidatoren  
Chernobyl in den  
am stärksten  
betroffenen Gebieten

Lebensmaximal-dosis  
Strahlenarbeiter

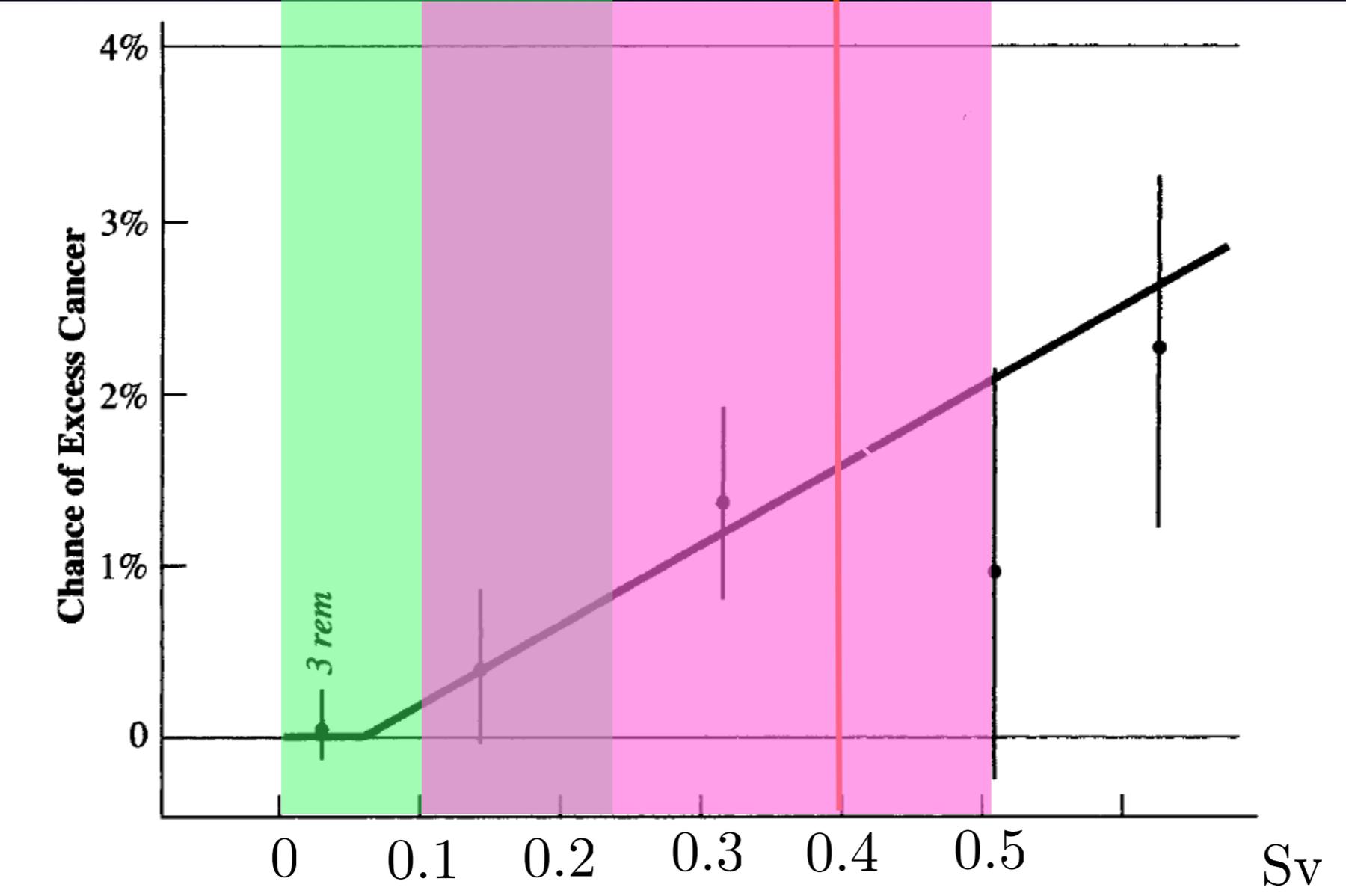


# Krebs durch radioaktive Strahlung

In Ramsar (Iran) werden Lebenszeitdosen von mehr als 8 Sv erreicht !

Belastung durch Chernobyl in den am stärksten betroffenen Gebieten Liquidatoren

Lebensmaximal-dosis Strahlenarbeiter



Health and Safety Risk	Estimated Life Expectancy Loss (Average)
Smoking 20 cigarettes a day	6.5 years
Overweight (by 15 percent)	2.7 years
Mining and quarrying	328 days
Construction	302 days
Agriculture	277 days
Motor vehicle accidents	200 days
Alcohol consumption (U.S. average)	130 days
Home accidents	95 days
Manufacturing	43 days
Occupational exposure (1 rem/yr. for 30 years)	30 days
Medical radiation	6 days

\* Adapted from Regulatory Guide 8.29, and Cohen and Lee, "A Catalogue of Risks," Radiation Protection, Vol. 36, June 1979.

**Table 1. Estimated Loss of Life Expectancy From Industrial/Health Risks\***

## Die Folgen von Tschernobyl II

**Zum Vergleich:** unter den 86.500 Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki verstarben 7.800 an Leukämie oder Krebs, bei 5% (380) davon ist die Ursache Strahlenbelastung durch den Atombombenabwurf

**Hauptfolgen heute:** mentaler Stress durch Verunsicherung, Evakuierung (116.000), wirtschaftliche Folgen.