



# Physik des Treibhauseffekts

Vortrag von Maik Paluga im  
Rahmen des Hauptseminars SS08



# Inhalt

- Motivation
- Physikalische Grundlagen
- Einfluss des Menschen
- Maßnahmen
- Zusammenfassung und Ausblick



# Motivation

- Seit einigen Jahren große Aufmerksamkeit der Medien bezüglich globaler Erwärmung (Treibhauseffekt)
- Auch politisch Ergreifung „sporadischer“ Maßnahmen
- Ziel: Objektive und wissenschaftliche Hinterfragung des Themas



# Physikalische Grundlagen



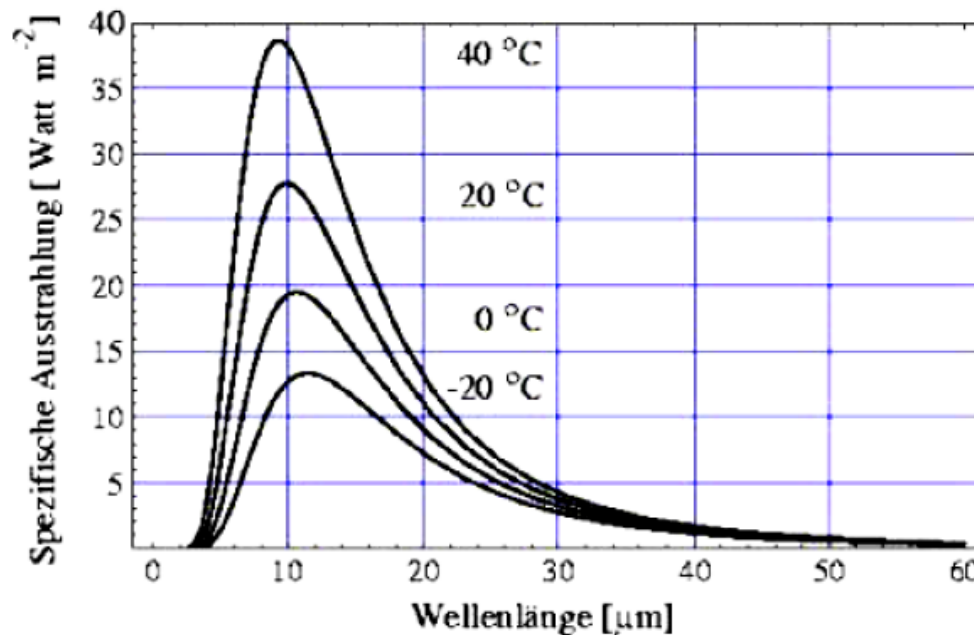
# Treibhauseffekt

- Begriff „Treibhauseffekt“ von Fourier 1827 erstmals verwendet
- Bezeichnet Vorgang in einem Glashaus welches Licht (Sonnenstrahlen) ausgesetzt ist
- Kurzwelliges Licht wird vom Glas transmittiert und heizt das Innere auf
- Langwelligere Wärmestrahlung im Innern wird vom Glas reflektiert und kann nicht entweichen.

# Thermische Strahlung

- Intensitätsverteilung eines schwarzen Strahlers nach Planck:

$$\rho(\nu, T) d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1} d\nu$$



- 
- Durch Nullsetzen der Ableitung nach der Frequenz ergibt sich Wiensches Verschiebungsgesetz:

$$\frac{\nu_m}{T} = 5,88 \cdot 10^{10} \text{ (s} \cdot \text{K)}^{-1}$$

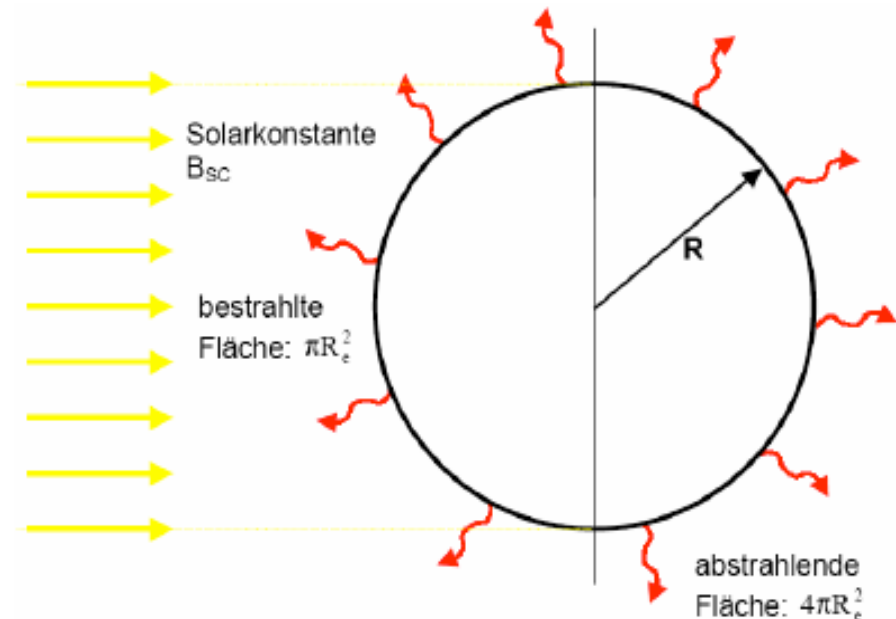
- Dient zur Bestimmung des Maximums schwarzer Strahlungsdichte bei bestimmter Temperatur
- Über alle Frequenzen integriert ergibt sich Gesamtenergiedichte bzw. spezifische Ausstrahlung R:

$$R = \frac{4\pi^5}{15} \frac{k^4}{c^2 h^3} T^4 = \sigma \cdot T^4$$

- Stefan-Boltzmann-Gesetz für idealen schwarzen Strahler (für nichtideal zusätzlich Faktor  $\epsilon$ )

# Eine Erde ohne Atmosphäre

- Oberflächentemperatur der Sonne 5700 K → Intensitätsmaximum bei 500nm
- Bandbreite ca. 300-3000nm
- Solarkonstante gibt Energieflussdichte der auf Erde ankommenden Strahlung an:  $S_0=1368 \text{ W/m}^2$
- Bezogen auf Erdoberfläche  $S_1=342 \text{ W/m}^2$ , durch 10% Reflexion folgt  $S_2=308 \text{ W/m}^2$







# Temperatur ohne Atmosphäre

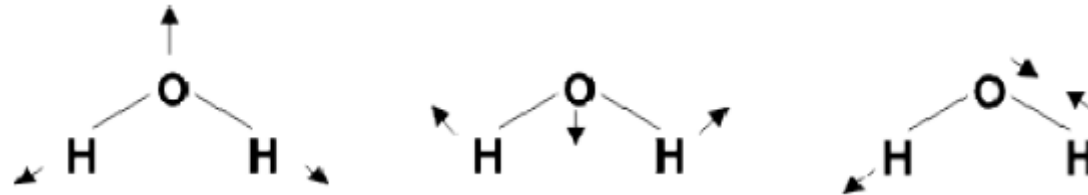
- Nimmt man Erde als Schwarzen Strahler mit  $\epsilon$  zwischen 95% und 100% so folgt aus  $S_2 = \epsilon \sigma T^4$  mittlere Temperatur zwischen 271 K und 275 K
- Oberflächentemperatur ohne Atmosphäre relativ leicht zu bestimmen
- Tatsächlicher Mittelwert liegt bei ca. 288 K
- Differenz verursacht durch Atmosphäre → natürlicher Treibhauseffekt

# Erde mit Atmosphäre

- Atmosphäre enthält neben Gasen auch Aerosolpartikel
- Zusätzlich ca. 4 Volumenprozent Wasserdampf
- Rayleigh-Streuung an Molekülen sowie kleinsten Aerosolen (Wellenlängenabhängig)
- Mie-Streuung an Wasserdampf und größeren Partikeln (Wellenlängenunabhängig)

Gase in der Atmosphäre	Anteil am Volumen
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	78.084 %
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	20.947 %
Argon (Ar)	0.934 %
Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> )	0,037 % = 370 ppm
Neon (Ne)	18.18 ppm
Helium (He)	5.24 ppm
Methan (CH <sub>4</sub> )	1.7 ppm
Krypton (Kr)	1.14 ppm
Wasserstoff (H)	0.53 ppm
Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O)	0.31 ppm
Xenon (Xe)	0.087 ppm
Ozon (O <sub>3</sub> )	Spuren 8 ppm
Kohlenstoffmonoxid (CO)	Spuren 0.25 ppm
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Spuren 0.1 ppm
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	Spuren 0.02 ppm
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	Spuren 0.003 ppm

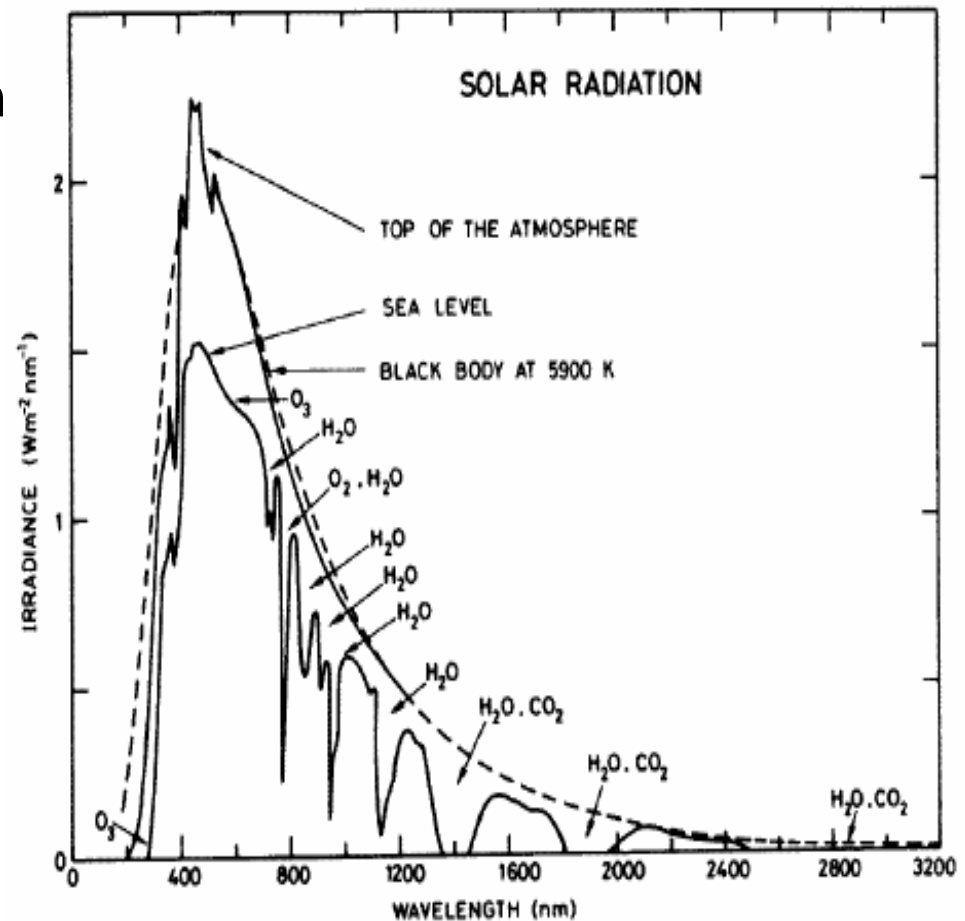
# Absorption



- Absorption je nach Wellenlänge durch el. Übergänge, sowie Vibrations- und Rotationsanregung
- Starker Absorber haben entweder permanentes Dipolmoment ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ), oder sind wenigstens polarisierbar ( $\text{O}_2$ )
- Wassertröpfchen und Aerosole aufgrund Vielzahl möglicher Anregungszustände mit sehr breitbandigen Absorptionsspektren

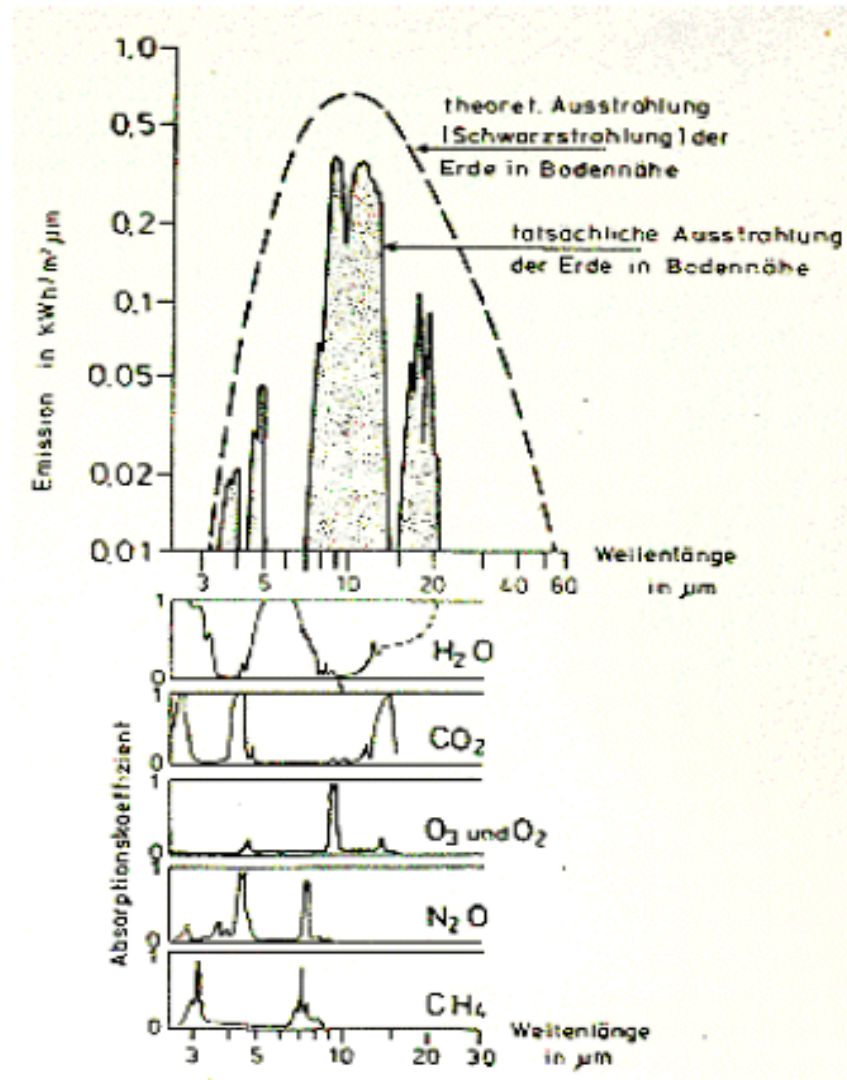
# Solare Strahlung und Absorption

- Gase/Aerosole absorbieren ca. 19% der Einstrahlung
- Stärkste Absorber Ozon, Wasserdampf, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>
- Spektrum durch Streuung sowie Absorption bei charakteristischen Wellenlängen abgeschwächt

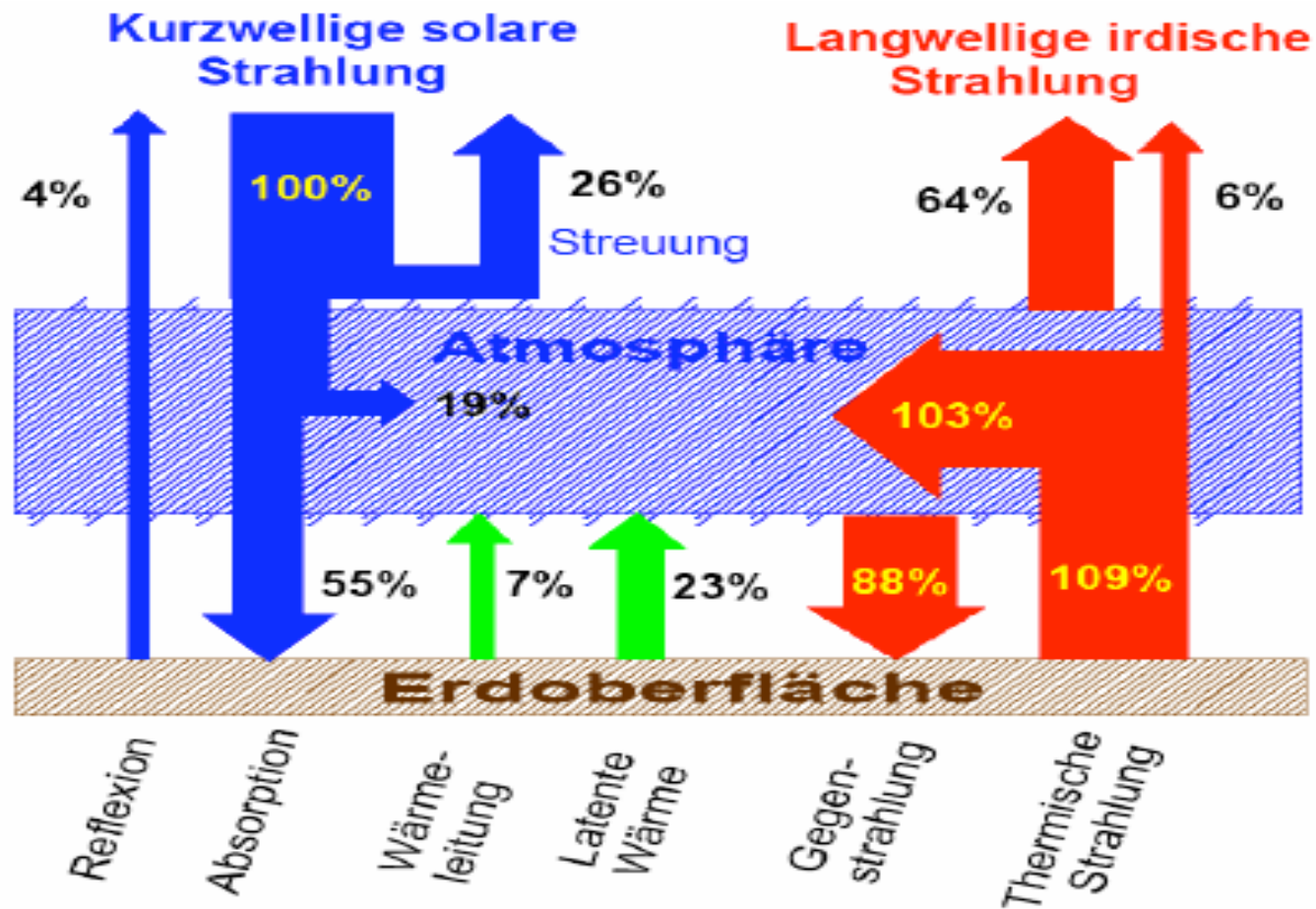


# Terrestrische Strahlung

- Maximum nach Wien bei  $10\mu\text{m}$  (288 K)
- Großteil terrestrischer Strahlung von Atmosphäre absorbiert und wieder abgestrahlt
- Anteil der auf Erde zurückgeworfenen Strahlung ca. 88% der solaren Einstrahlung
- Wasserdampf für 65%,  $\text{CO}_2$  für 22% des Treibhaus-effekts verantwortlich



# Wärmehaushalt der Atmosphäre





# Einfluss des Menschen



# Notwendigkeit des Treibhauseffekts

- Treibhauseffekt sorgt für lebensfreundliche Bedingungen auf der Erde
- Durchschnittliche Temperatur durch natürlichen Treibhauseffekt bei 15°C statt -18°C
- Problematik liegt nicht im Treibhauseffekt selbst, sondern in Verstärkung durch Einfluss des Menschen

Frage:

Wie stark ist dieser und was ist das Resultat?



# Anthropogene Verstärkung

- Erste Vorhersage einer globalen Erwärmung durch erhöhten CO<sub>2</sub> Ausstoß von Arrhenius 1896
- Ernsthaft wissenschaftliche Arbeit zum Thema erst ab 1950
- Beweise für menschlichen Einfluss seit 1970er Jahren

THE  
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN  
PHILOSOPHICAL MAGAZINE  
AND  
JOURNAL OF SCIENCE.  
[FIFTH SERIES.]  
APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS\*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospheric Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to  $-200^{\circ}$  C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

\* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 406 (Lond., 1865).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

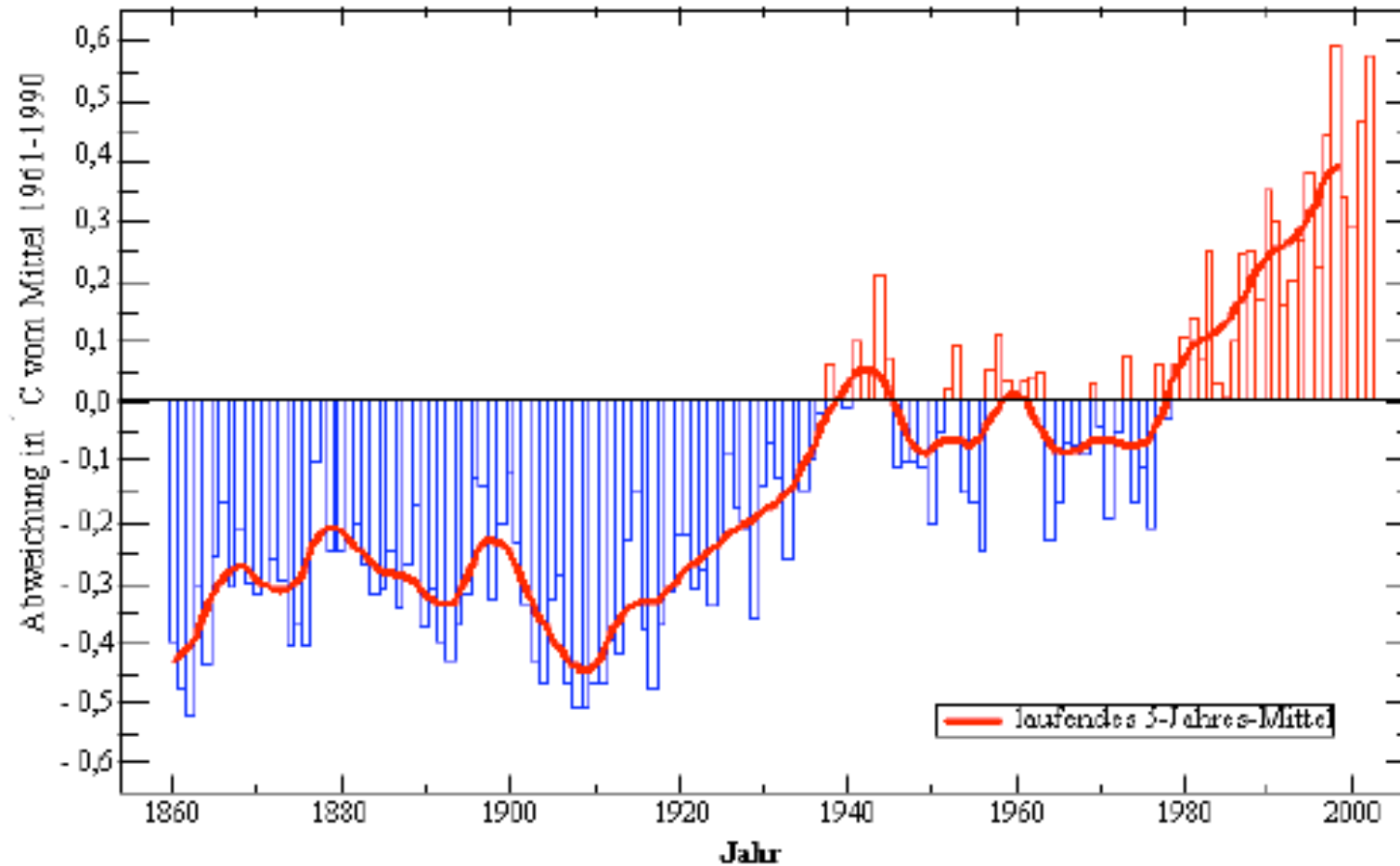
§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).



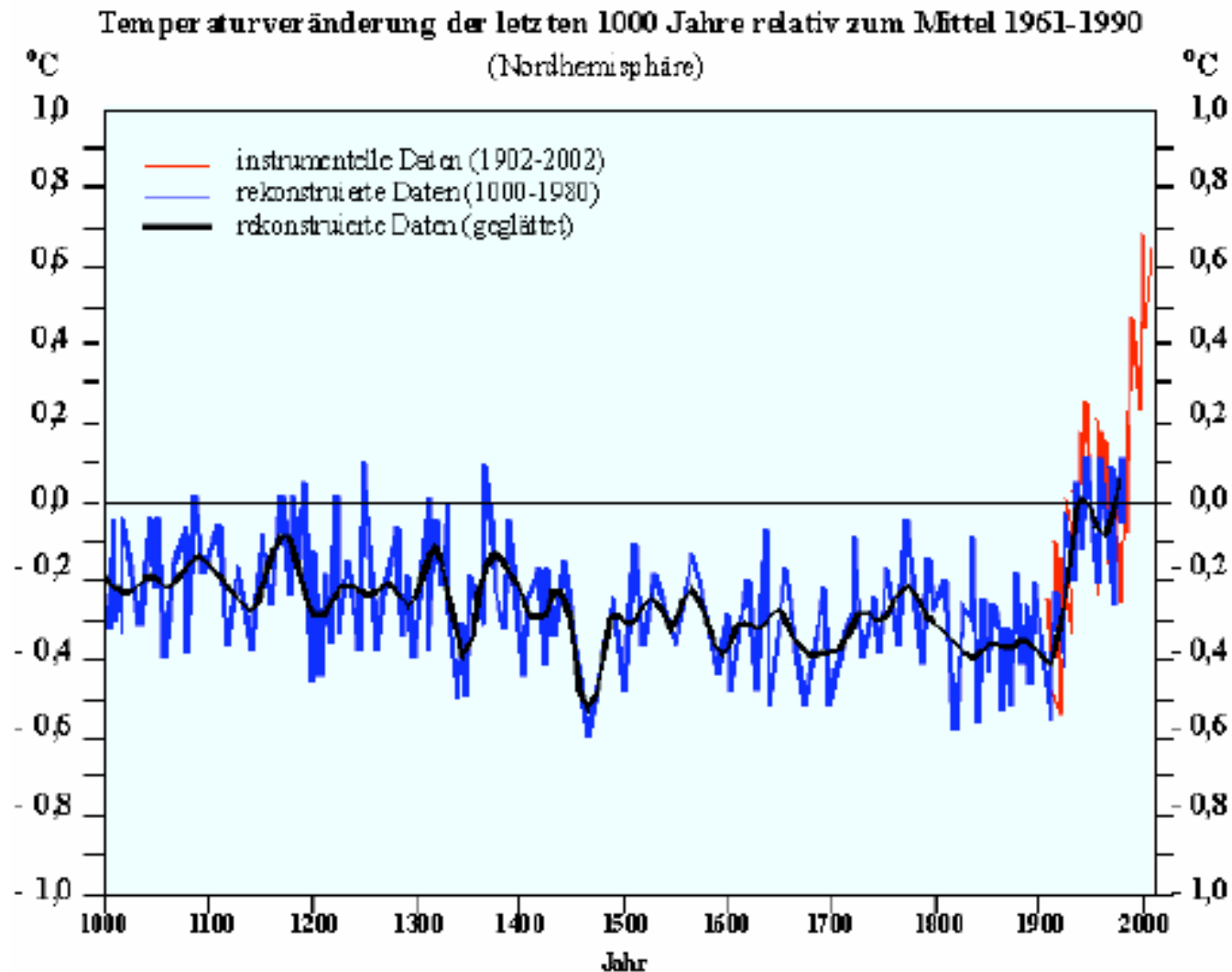
# Aktueller Stand

- Gründung des IPCC 1988 ( heute bestehend aus ca. 4500 internationalen Wissenschaftlern)
- 1990er Jahre wärmstes Jahrzehnt seit Beginn der Aufzeichnungen 1860
- Seitdem bereits Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 0,6° C
- Jedoch Betrachtung über längeren Zeitraum notwendig, da Schwankungen des Klimas immer Teil der Natur
- Aber: natürliche Schwankungen in Vergangenheit über Jahrtausende

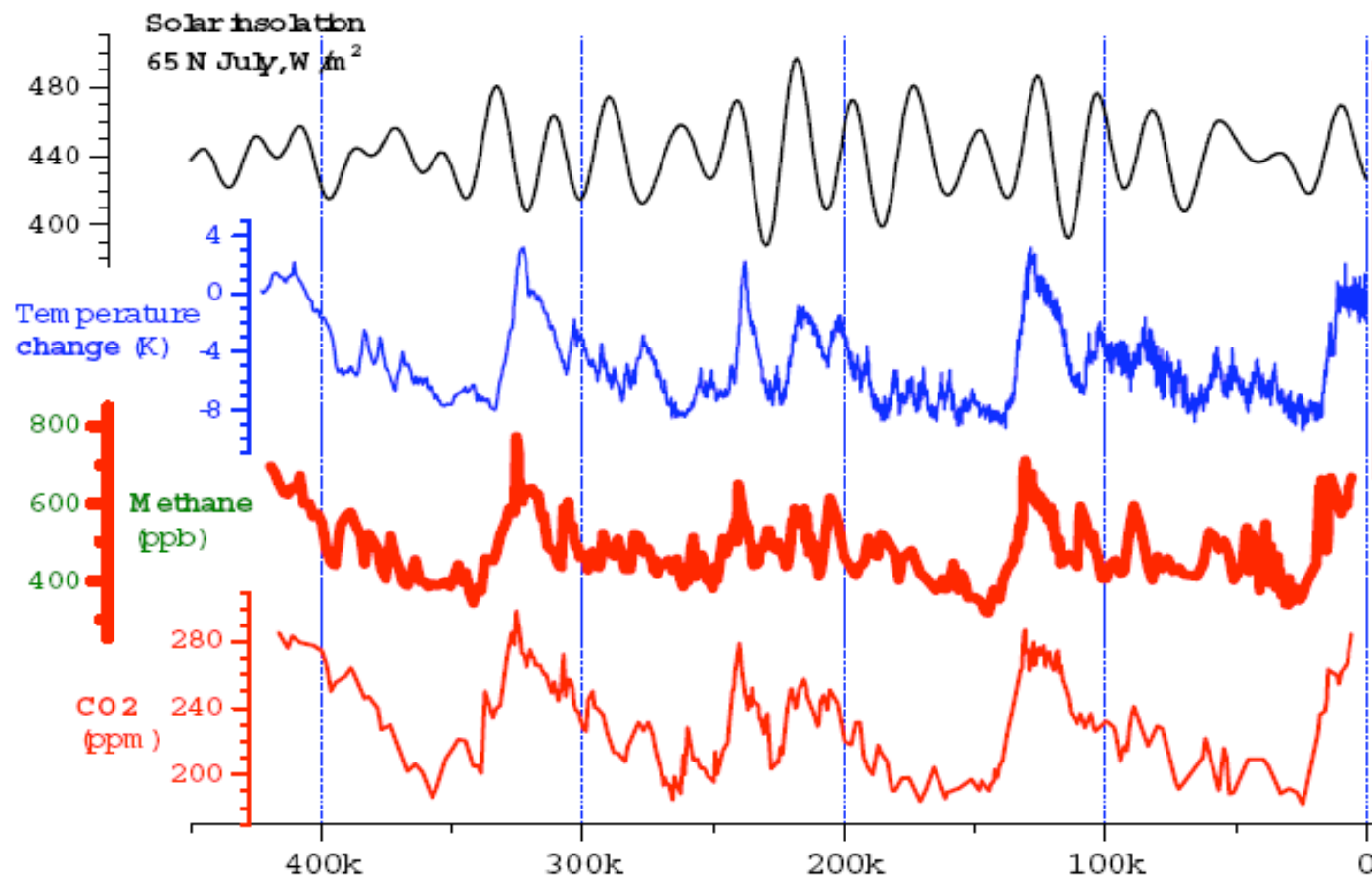
# Kurzfristiger Temperaturverlauf



# Mittelfristiger Temperaturverlauf



# Langfristiger Temperaturverlauf





# Maßnahmen

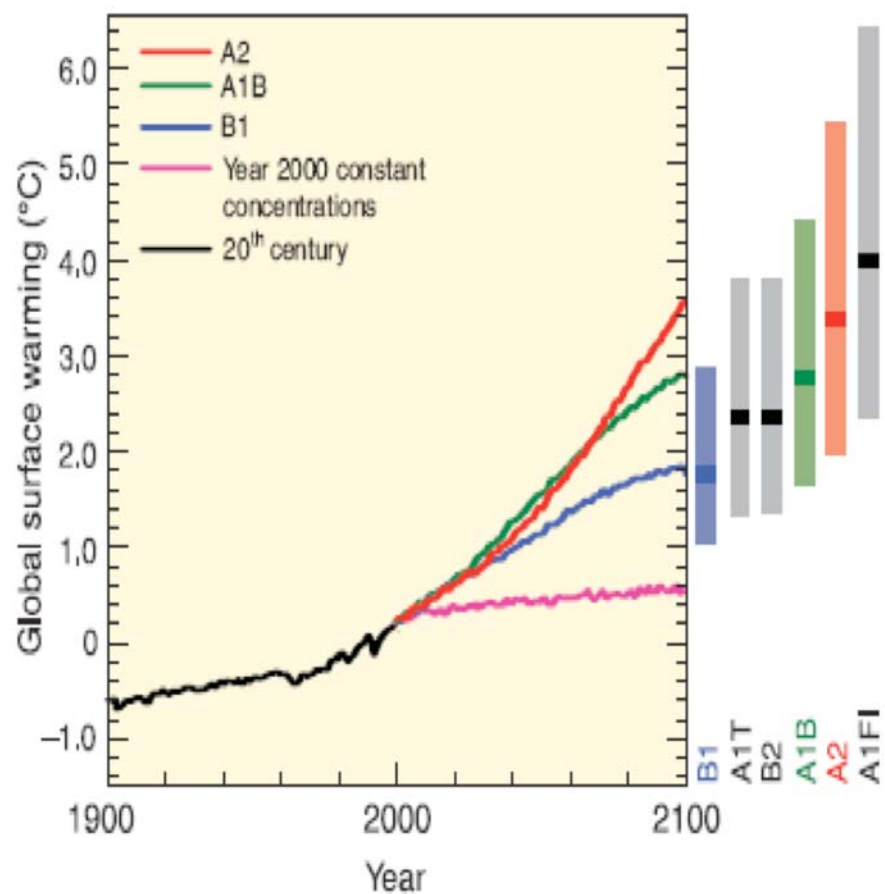


# Erstellung von Klimamodellen

- Modelle sollen Klimasystem auf Basis physikalischer und mathematischer Gleichungen simulieren
- Aufgrund riesiger Ausmaße des Systems nur regionale Bereiche berechenbar, dann Zusammenfassung zu globalem Modell
- Außerdem führt hohe Komplexität der Vorgänge zu großen Unsicherheiten von Voraussagen
- Klimaforschung verglichen mit Trägheit des Systems quasi noch in den Anfängen

# Arbeit des IPCC

- Berechnung verschiedener Szenarien zur globalen Erwärmung
- Zusammenstellung der Hauptemissionsquellen
- Ausarbeitung von Gegenmaßnahmen
- Zusammenfassung für politische Führer

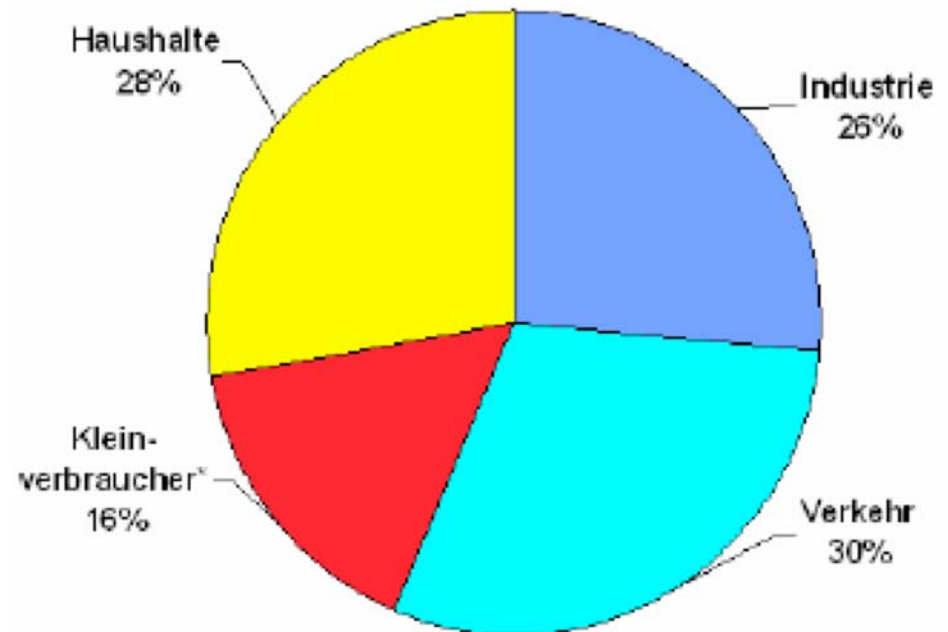




# Gegenmaßnahmen

- Hauptsächlich zwei Möglichkeiten zur Reduktion des CO<sub>2</sub> in Atmosphäre:
  1. Reduktion des Ausstoßes → kein Gebrauch fossiler Brennstoffe
  2. Filterung und Endlagerung des CO<sub>2</sub>

Herkunft fossiler CO<sub>2</sub>-Emissionen





# Zusammenfassung und Ausblick



# Zusammenfassung

- Treibhauseffekt insgesamt lebensnotwendig, Gefahr nur durch anthropogene Verstärkung
- Obwohl physikalische Grundlagen wohlbekannt, Vorhersagen äußerst problematisch
- Bis heute gemessene, sowie rekonstruierte Daten jedoch alarmierend
- Suche nach Gegenmaßnahmen aktuell wichtiges politisches Thema
- Bisherige Maßnahmen (Kyoto-Protokoll) wohl nicht ausreichend



# Ausblick

- Globale Erwärmung führt nicht zur Apokalypse, Planet wird sich wieder regenerieren
- Für menschliche Zivilisation kann Temperaturerhöhung um einige °C jedoch Katastrophe bedeuten
- 70% der Bevölkerung leben in Küstenregionen, Temperaturerhöhung gleichbedeutend mit Anstieg des Meeresspiegels
- Gefahr von Hungersnöten und Seuchen somit akut



# Literaturverzeichnis

- Bomfleur, B.; Sturm, G. (2002): *Quanten.de Newsletter Januar/Februar 2003:Pack die Badehose ein – Im quantenmechanischen Treibhaus*. www-Dokument vom 26.08.2005, Adresse:<http://www.quanten.de/treibhauseffekt.html>
- Heinecke-Herzog, M.; Siemer, F.; Baumann, U. (2005): *Der Treibhauseffekt aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Kiel: IPN. www-Dokument vom 20.07.2005, Adresse: <http://www.co-lab.nl/membersOnly/colabWps/colabTeachers/index.html>, S. 31
- Matthes, K. (2003): *Der Einfluss des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus und der QBO auf die Atmosphäre – eine Modellstudie*. www-Dokument vom 26.08.2005, Adresse: <http://www.diss.fu-berlin.de/2003/325/index.html>, S. 25
- Platt, U. (2002): *Physik IV – Umweltphysik: Strahlung und Klima der Erde*. www-Dokument vom 25.08.2005, Adresse: <http://www.iup.uni-heidelberg.de/institut/studium/lehre/physik4/scripte/Physik-IV-UP-Strahl-Klima.pdf>
- Riese, Josef (2005): Examensarbeit: Untersuchung von Schülervorstellungen zu thermodynamischen Konzepten
- Roedel, W. (2000): *Physik unserer Umwelt – Die Atmosphäre*. Berlin: Springer-Verlag
- Seifritz, W. (1991): *Der Treibhauseffekt – Technische Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Entsorgung*. München, Wien: Carl Hanser Verlag
- Synthesis Report des IPCC (2007) [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf)

A wide-angle photograph of a calm ocean under a vast, blue sky. The horizon is low, and a faint rainbow is visible on the left side of the horizon line. The water is a deep blue with gentle ripples. The sky is a lighter blue with wispy white clouds. The overall mood is peaceful and serene.

**Vielen Dank!**