

●
I. Physikalisches Institut
Professor Dr. K.-H. Schartner

●
Institut für Kernphysik
Professor Dr. E. Salzborn
Professor Dr. A. Müller

Seminar über Umweltphysik

Referent:
cand. phys. D. Rybski

Thema:
„Das globale Klima“

Zeit und Ort:
Dienstag, 18.05.1999, 7:30 Uhr, Seminarraum 511

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 13 - Physik



Das globale Klima

Diego Rybski

Vortragsdatum: 18.5.1999

Seminar über Physik und Umwelt

Prof. Dr. Schartner, Prof. Dr. Salzborn, Prof. Dr. Müller,

Prof. Dr. Hasselkamp

- 1 Gliederung
- 2 Klimatologie
 - 2.1 Das Klimasystem
 - 2.2 Unterscheidung von Klima und Wetter
- 3 Klimaänderungen
 - 3.1 Rückblick auf 10^6 Jahre
 - 3.2 Ursachen
 - 3.3 Blick in Gegenwart und Zukunft
- 4 Der globale Strahlungshaushalt
 - 4.1 Strahlungsgesetze
 - 4.2 Gleichgewichtstemperatur
 - 4.3 Zweischichtenmodell
 - 4.4 Ein nulldimensionales Treibhausmodell
- 5 Was bisher vergessen wurde
 - 5.1 Radioaktivität der Erdkruste
 - 5.2 Primärenergieverbrauch

2.1 Das Klimasystem

Das *Klimasystem* umfaßt alle fluiden Bestandteile, die sich zeitlich und räumlich ändern (gasförmige, flüssige, feste):

Komponente (Sphäre)	
<i>Atmosphäre</i>	Gashaut
<i>Lithosphäre</i>	äußerer Erdmantel
<i>Hydrosphäre</i>	Ozean, Grund- und Regenwasser
<i>Kryosphäre</i>	Eis, Hagel, Schnee, Permafrost u.s.w.
<i>Biosphäre</i>	pflanzliches und tierisches Leben

2.2 Unterscheidung von Klima und Wetter

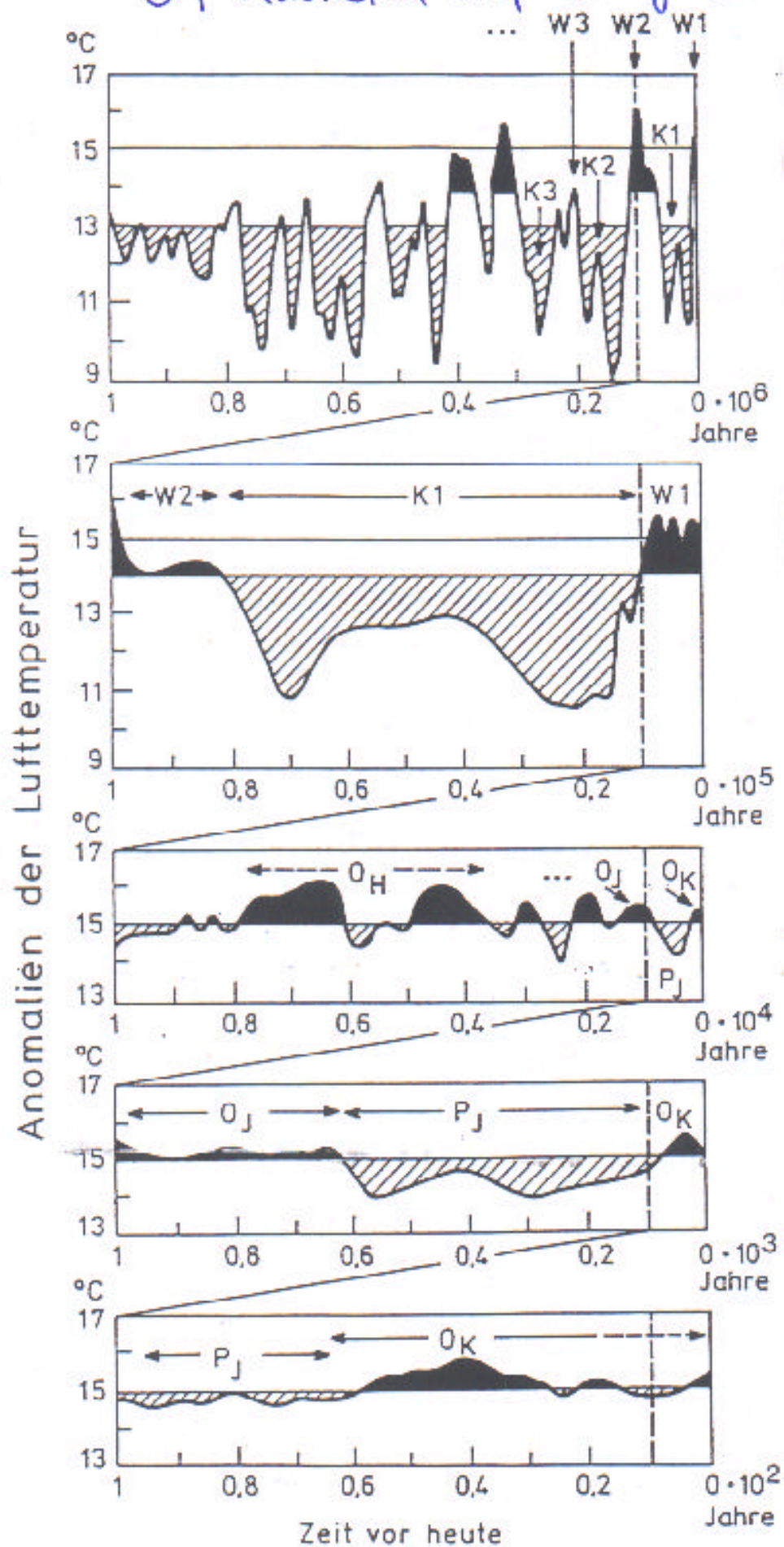
Wetter:

- charakterisiert durch z.B. Sonnenscheindauer, Regen (Niederschlag), Wolken, Winde und Temperatur

Klima:

- wird durch die gleichen Faktoren wie das Wetter beschrieben
- jedoch Mittelung über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren
- gibt an, ob die natürlichen Gegebenheiten dem Menschen gegenüber freundlich erscheinen

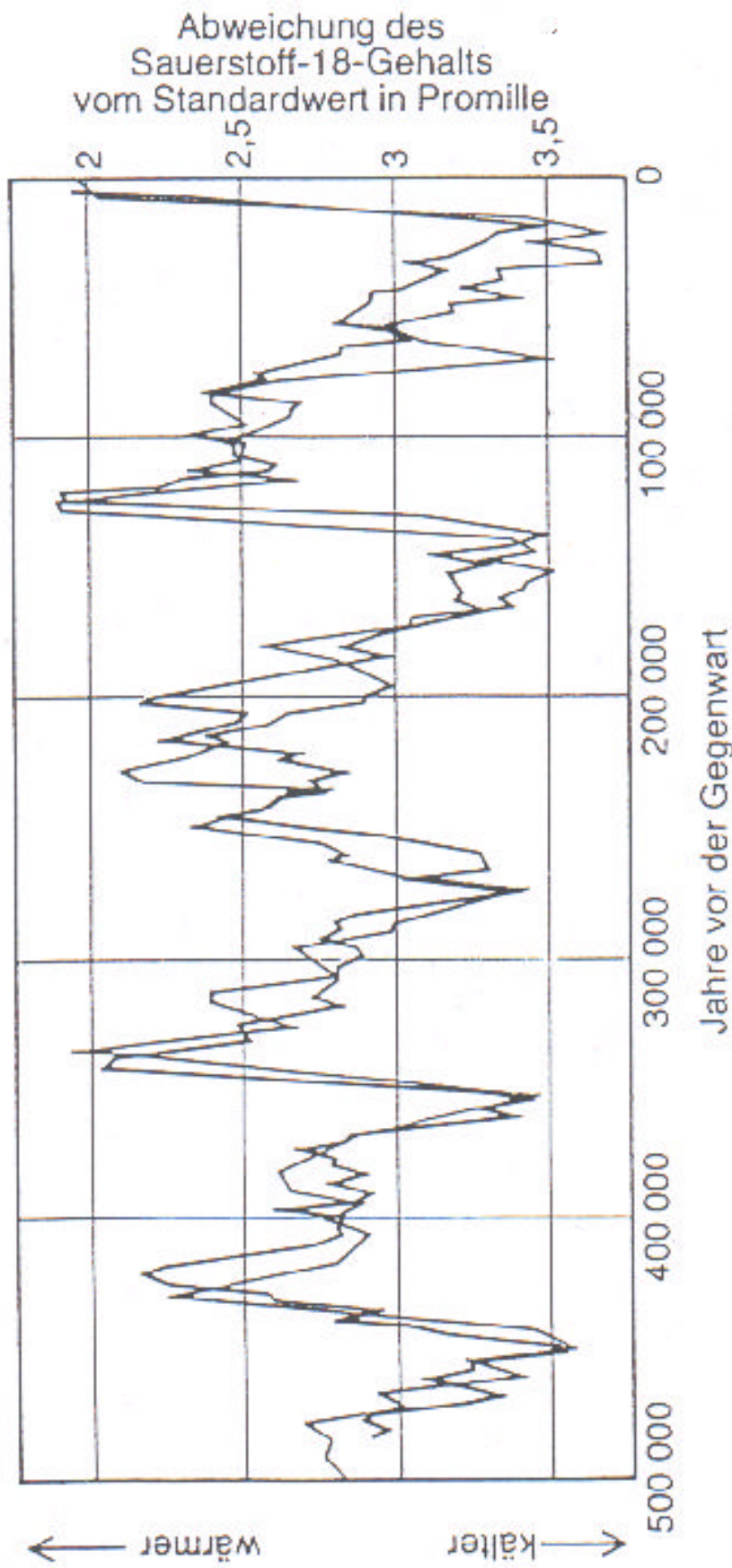
3.1 Rückblick auf 10^6 Jahre



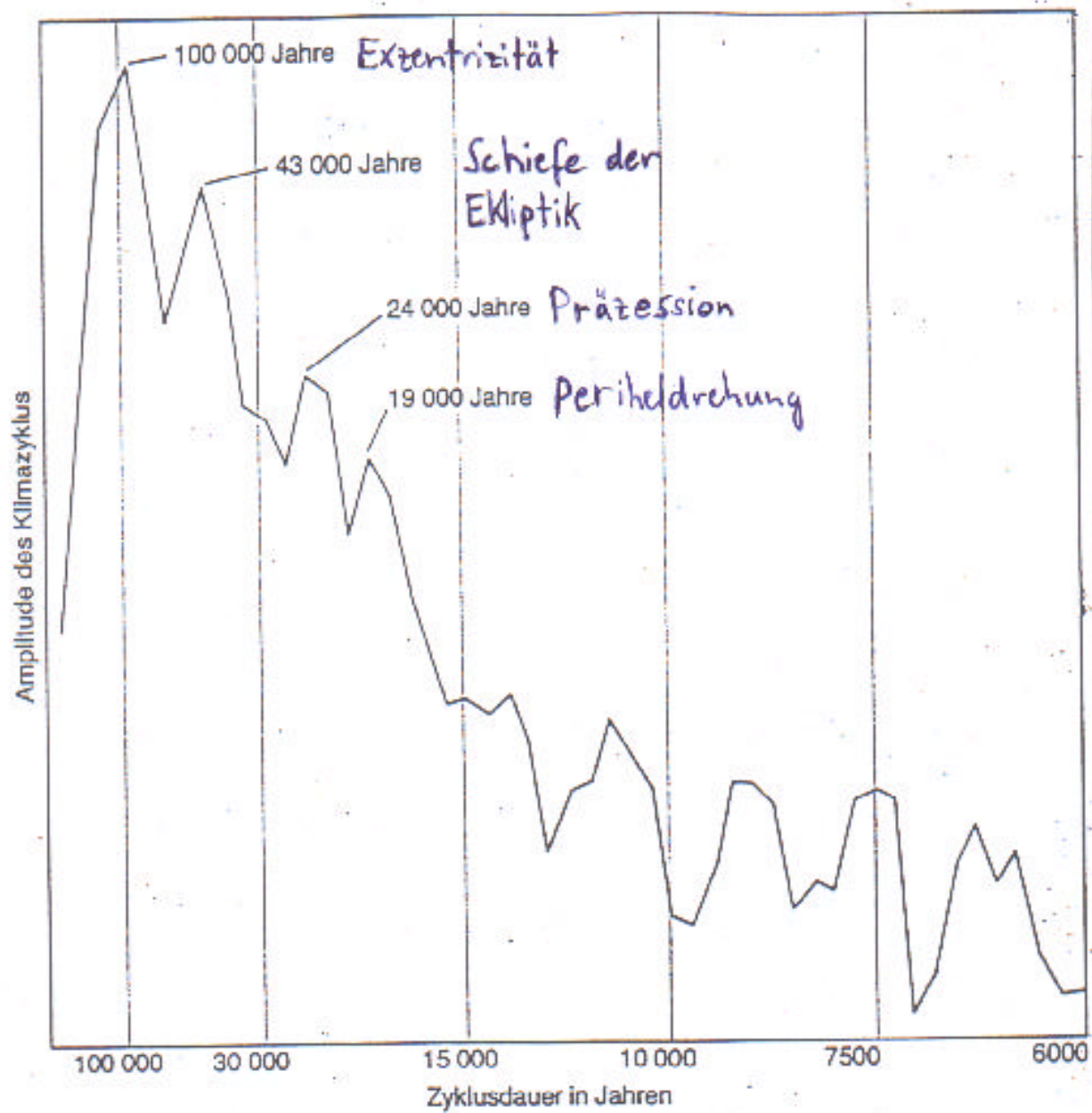
$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{Probe}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{Standard}}} - 1 \right) \cdot 1000 \quad \left(\frac{\text{‰}}{\text{‰}} \right)$$

Aussage von $\delta^{18}\text{O}$ über Inlandeis:

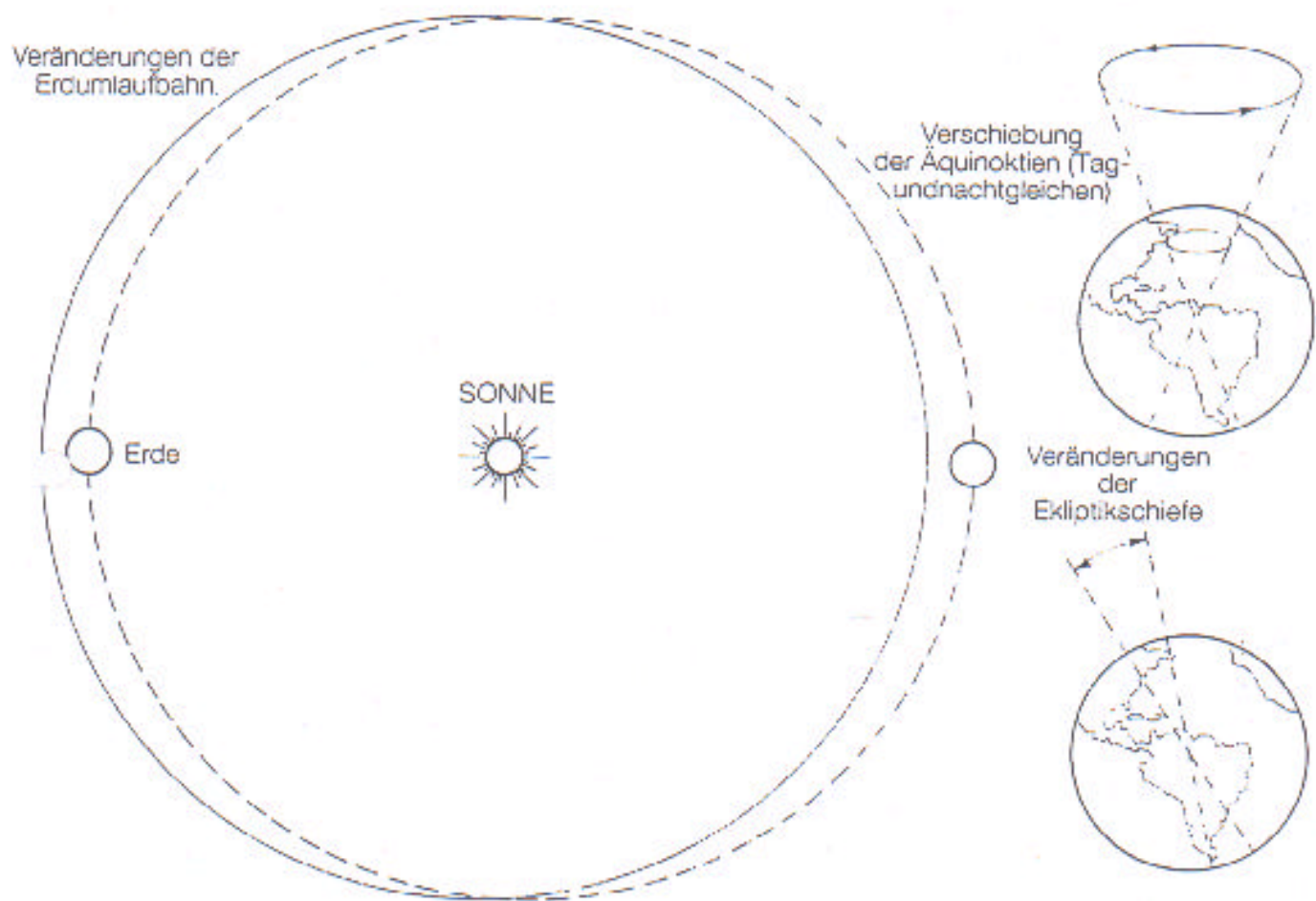
	Bohrprobenart:	
$\delta^{18}\text{O}$	Marine Sedimente	Eis
Groß	Viel	Wenig
Klein	Wenig	Viel



Zwei Sätze von Isotopendaten
mehrere Bohrkern marine Sedimente
ermittelt von verschiedenen Gruppen an
weit entfernten Plätzen



Fourier-Analyse einer Klimakurve



2.15 Die drei Typen der Veränderung der Erdbahnparameter nach der Hypothese von Milankovitch.

Hypothese von Milankovitch:

- Exzentrizität alle 100 000 a zwischen 0,005 und 0,06
- Neigung der Erdachse alle 41 000 a zwischen $21,5^\circ$ und $24,5^\circ$
- Präzession der Erdachse alle 23 000 a

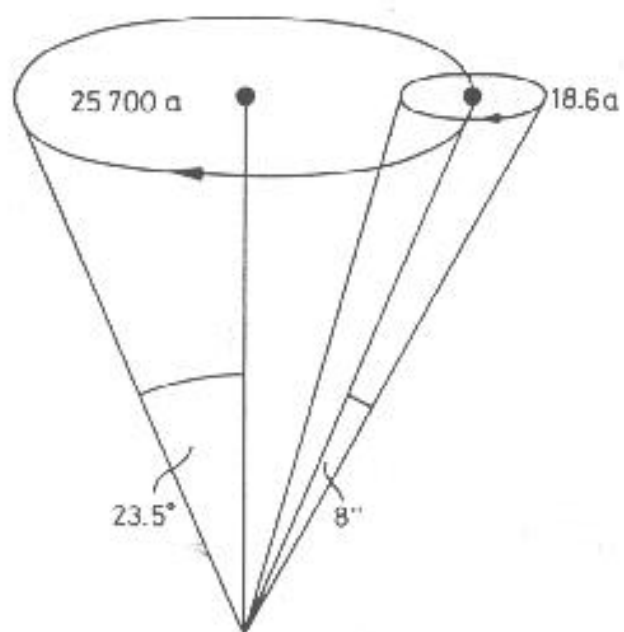
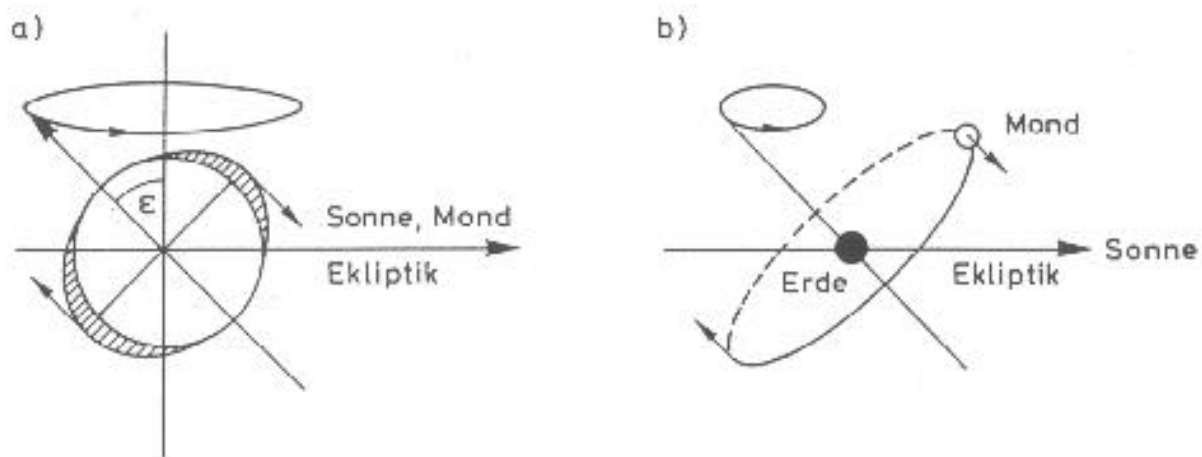
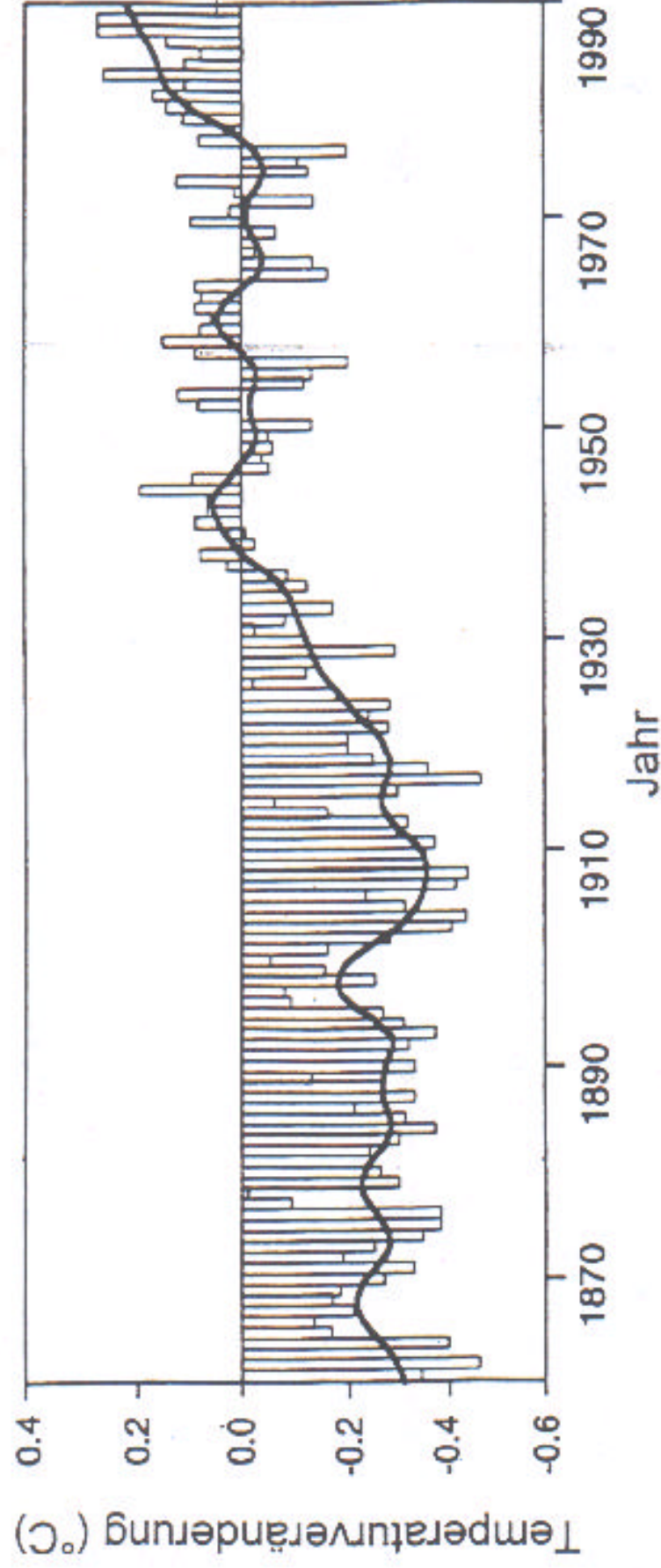


Abb. 1–6. Präzessions- und Nutationskegel
(nicht maßstabgerecht).

3.3 Blick in Gegenwart und Zukunft



4.1 Strahlungsgesetze

Die Plancksche Strahlungsformel beschreibt die spektrale Energiedichteverteilung $w_\nu(\nu)$ der Hohlraumstrahlung:

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

Die Strahlungsdichte der vom Flächenelement dF eines schwarzen Körpers in den Raumwinkel $d\Omega$ emittierten Strahlung ist dann:

$$S_\nu^* d\Omega = \frac{c}{4\pi} w_\nu d\Omega = \frac{2h \nu^3}{c^2} \frac{d\Omega}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

Um die Lage des Intensitätsmaximums zu finden muß die Ableitung nach ν Null gesetzt werden. Man erhält:

$$\nu_m = \frac{4,965}{h} \cdot kT = 1,03 \cdot 10^{11} \cdot T \cdot \frac{1}{\text{sK}}$$

Wegen $\lambda = c/\nu$ kann man auch schreiben:

$$\lambda_m = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ Km} \quad \boxed{\lambda_m \cdot T = \text{const}},$$

das Wiensche Verschiebungsgesetz.

Die gesamte Energiedichte integriert über alle Frequenzen, ist

$$w(T) = \int_{\nu=0}^{\infty} w_{\nu}(\nu, T) d\nu$$

In den gesamten Halbraum wird pro
Flächeneinheit der Strahlungsquelle die
Strahlungsleistung

$$\frac{dW}{dt} = \sigma \cdot T^4$$

abgestrahlt (Stefan-Bolzmannsche
Strahlungsformel). Mit der Stefan-Bolzmann-
Konstante

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} .$$

Die von der Sonne insgesamt abgestrahlte Leistung beträgt bei einem Sonnenradius $R_S = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$ und einer mittleren Oberflächentemperatur $T_S = 5800 \text{ K}$:

$$\left(\frac{dW}{dt} \right)_S = \sigma \cdot T_S^4 \cdot 4\pi R_S^2 = 3,90 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

In der Entfernung Erde – Sonne ($r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$) fällt auf eine Fläche von 1 m^2 senkrecht zur Verbindungslinie oberhalb der Erdatmosphäre der Bruchteil der gesamten Sonnenstrahlung

$$\begin{aligned} \left(\frac{dW}{dt} \right)_S / (4\pi r^2) &= \frac{3,90 \cdot 10^{26}}{4\pi (1,496 \cdot 10^{11})^2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ &= 1,39 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = S \quad , \end{aligned}$$

die Solarkonstante.

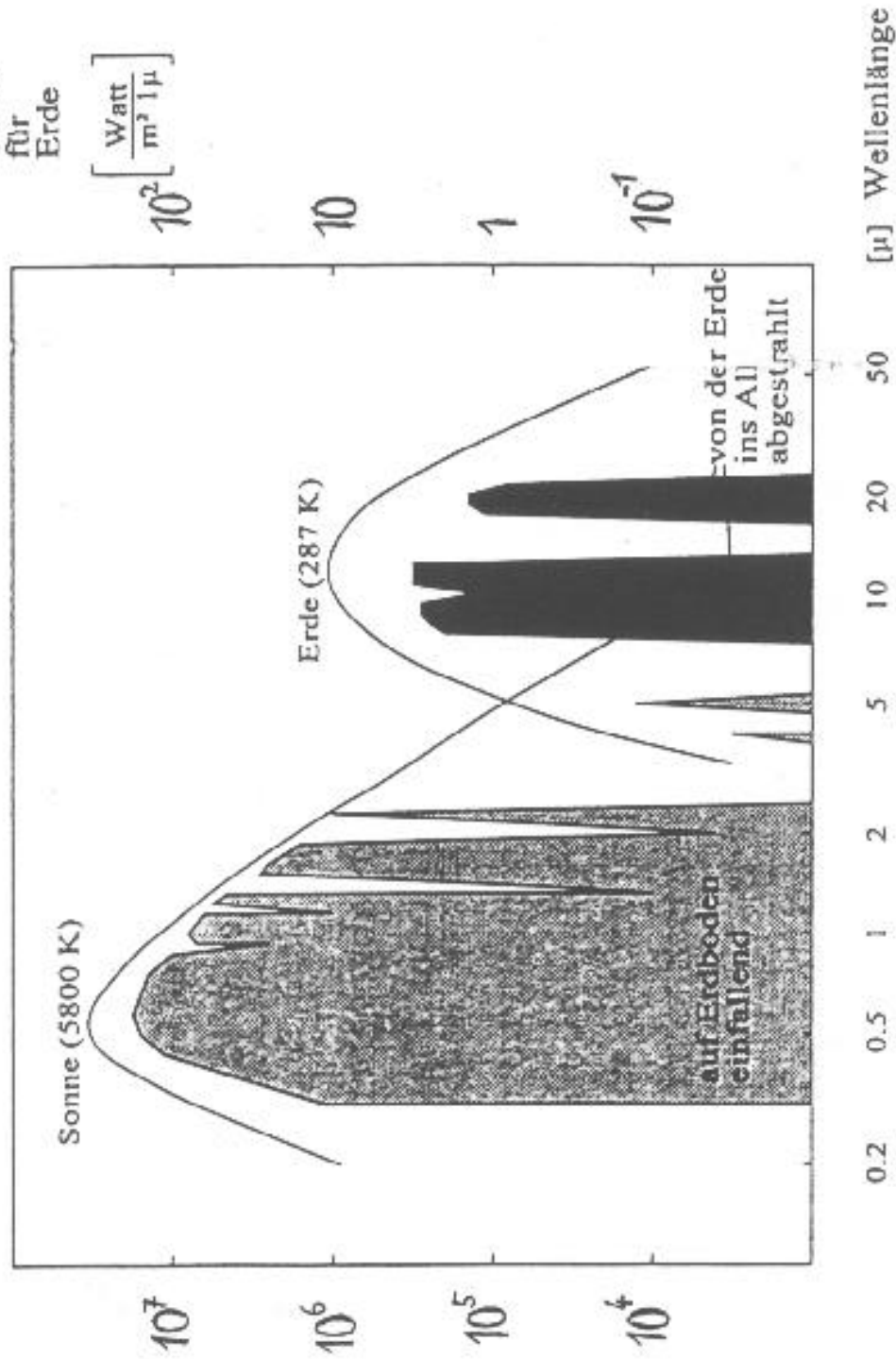
Skala
für
Sonne

$$\left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \text{ } 1\mu} \right]$$

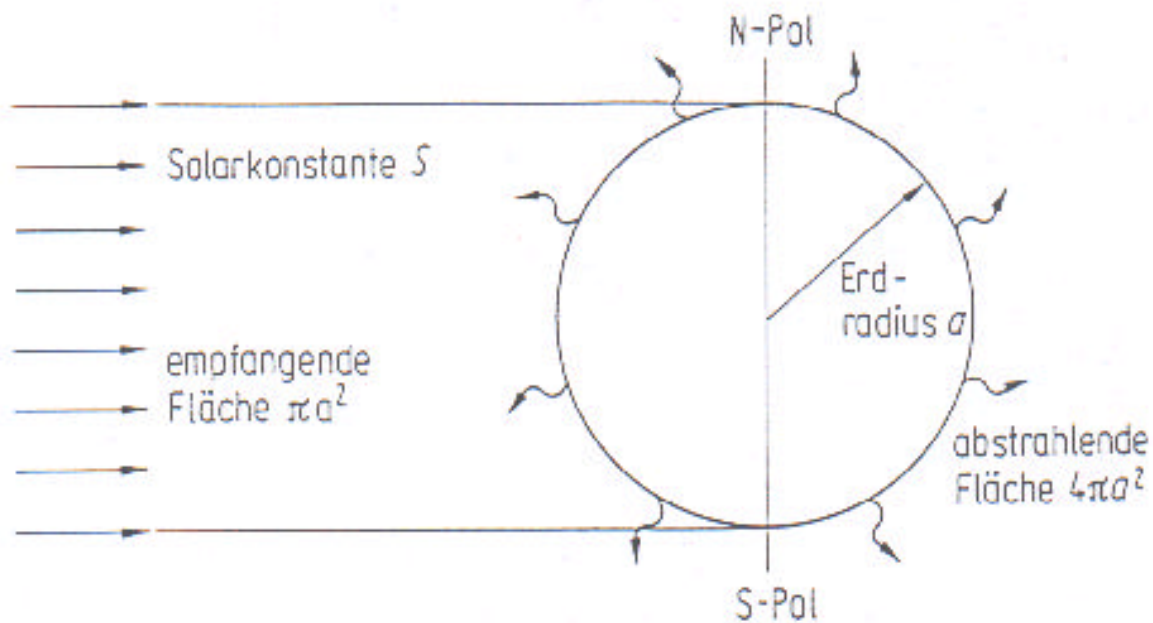
Strahlungsleistung pro m^2
und Wellenlängenintervall von 1μ

Skala
für
Erde

$$\left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \text{ } 1\mu} \right]$$



4.2 Gleichgewichtstemperatur



absorbierte Leistung: $(1-A) S \pi a^2$

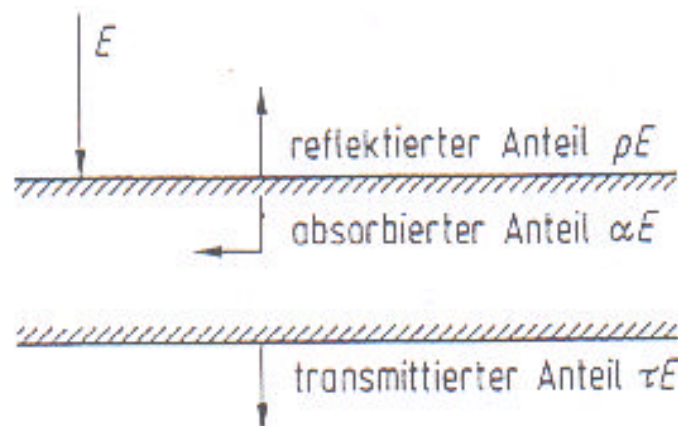
abgestrahlte Leistung: $\sigma T_E^4 \cdot 4 \pi a^2$

$$\Rightarrow (1-A) \frac{S}{4} = \sigma T_E^4$$

T_E : Strahlungsgleichgewichtstemperatur

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} (1-A) \frac{S}{4}}$$

Mit $A=0,3$ ist $T_E = 255,5 \text{ K}$



$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

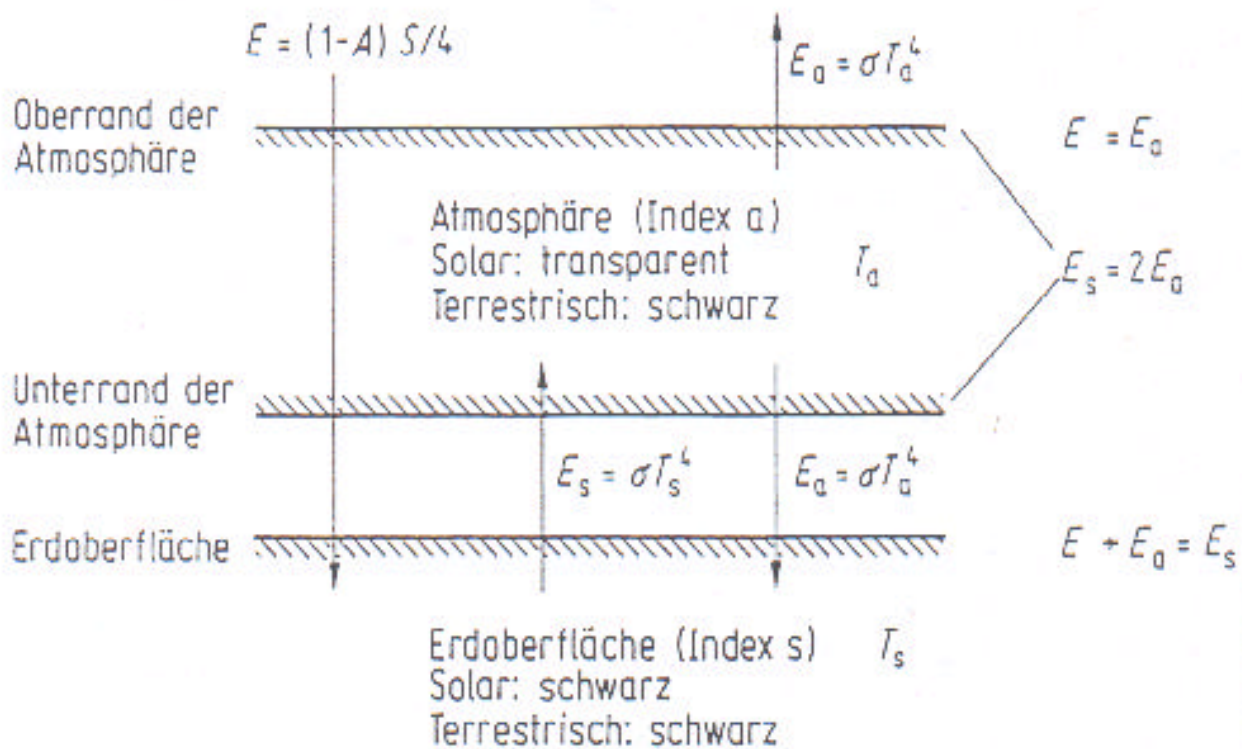
Erdoberfläche: $\rho = A$ (allg. optisch dichte Oberflächen)

Albedo A : Reflexionszahl im solaren Teil des Spektrums

Tabelle 3.1 Albedo verschiedener Oberflächen für sichtbares Licht [1,2]

Oberfläche	%	Wolken	%	Planeten	%
Wasseroberfläche (kleiner Sonnenwinkel)	≈ 5	Kumulus	70–90	Erde	34–42
Neuschnee	≈ 85	Stratus	60–85	Mond	6–7
Sandwüste	≈ 30	Altostratus	40–60	Mars	16
Grünland	≈ 15	Zirrostratus	40–50	Venus	76
Laubwald	≈ 15			Jupiter	73
Nadelwald	≈ 10				
Felder	≈ 10				
Dunkle Böden	≈ 10				
Trockene Erde	≈ 20				

4.3 Zweischichtenmodell



Strahlungsgleichgewicht wird durch Atmosphäre bestimmt:

$$E = E_a \rightarrow T_a = (E/\sigma)^{1/4} = 255,5 \text{ K}$$

$$E + E_a = E_s \rightarrow E_s = 2E_a$$

$$\sigma T_s^4 = 2\sigma T_a^4 \rightarrow T_s = 2^{1/4} T_a$$

$$\Rightarrow T_s = 303,8 \text{ K}$$

$$\text{Treibhauseffekt } T_s - T_a = 0,19 T_a = 48,3 \text{ K}$$

größer als beobachtet, aber richtige Tendenz

Zum Treibhauseffekt des Treibhauses



(a) Dach aus
Fensterglas



(b) Dach aus
Steinsalz



(c) gar kein
Dach

4.4 Ein nulldimensionales Treibhausmodell

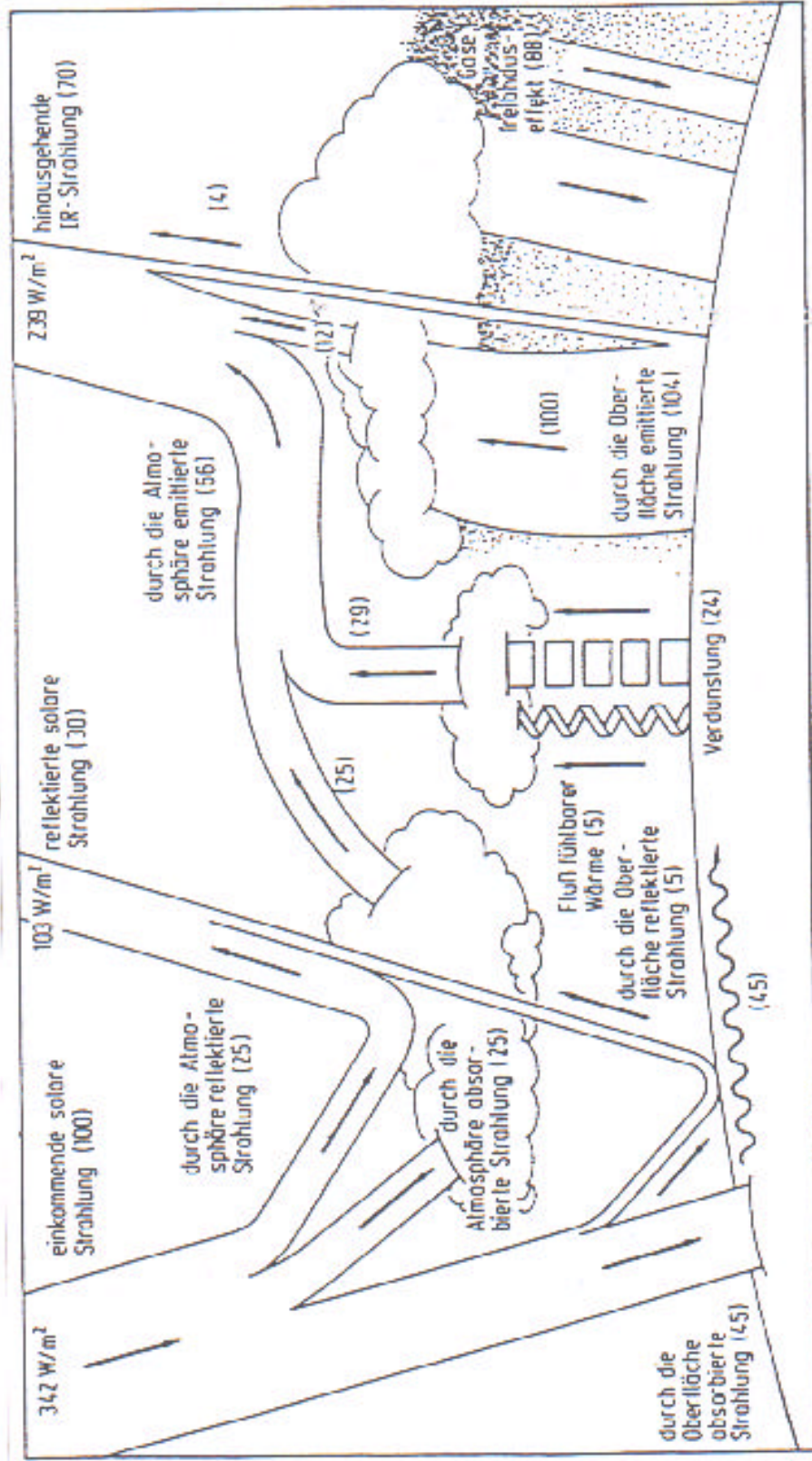
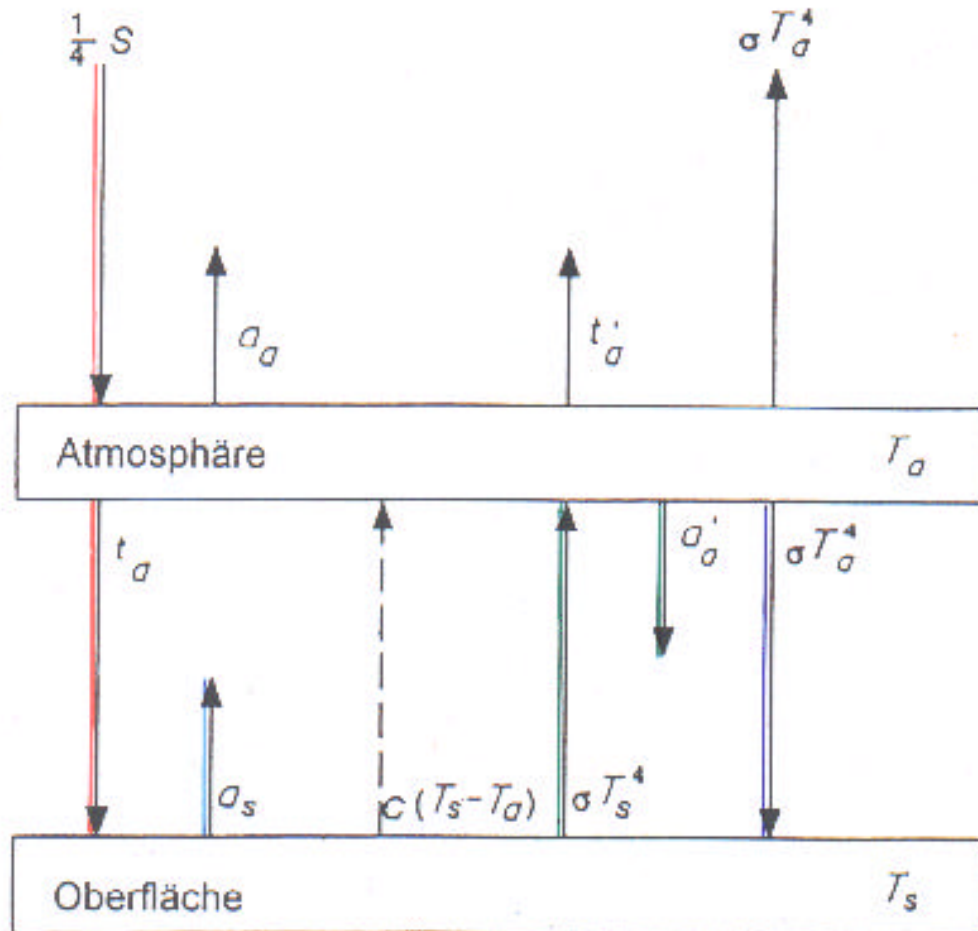


Abb. 4.23 Der Strahlungshaushalt der globalen Atmosphäre. $100\% = \frac{1368 \text{ W/m}^2}{4}$ (nach Schneider, 1989, und Peixoto und Oort, 1984).

kurze Wellenlängen

lange Wellenlängen



Oberfläche:

$$\frac{1}{4} S \cdot t_a + \sigma \cdot T_a^4 + \sigma \cdot T_s^4 \cdot a'_a = \frac{1}{4} S \cdot t_a \cdot a_s + c \cdot (T_s - T_a) + \sigma \cdot T_s^4$$

$$\frac{1}{4} S \cdot t_a \cdot (1 - a_s) + \sigma \cdot T_a^4 + \sigma \cdot T_s^4 \cdot (a'_a - 1) - c \cdot (T_s - T_a) = 0$$

Atmosphäre:

$$\frac{1}{4} S + c \cdot (T_s - T_a) + \sigma \cdot T_s^4 + \frac{1}{4} S \cdot t_a \cdot a_s =$$

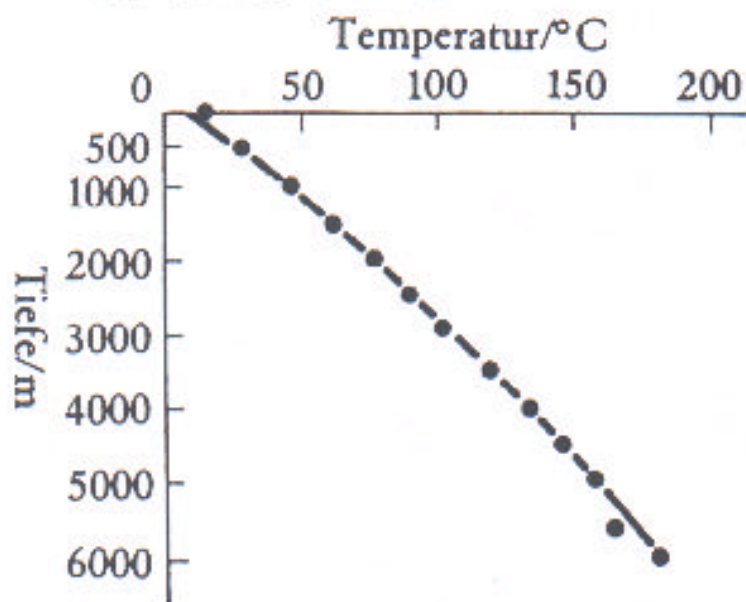
$$= \frac{1}{4} S \cdot t_a + \frac{1}{4} S \cdot a_a + \sigma \cdot T_s^4 \cdot t'_a + \sigma \cdot T_s^4 \cdot a'_a + \sigma \cdot T_a^4 + \sigma \cdot T_a^4$$

$$\frac{1}{4} S \cdot (1 - t_a - a_a + t_a \cdot a_s) + c \cdot (T_s - T_a) + \sigma \cdot T_s^4 \cdot (1 - t'_a - a'_a) - 2 \cdot \sigma \cdot T_a^4 = 0$$

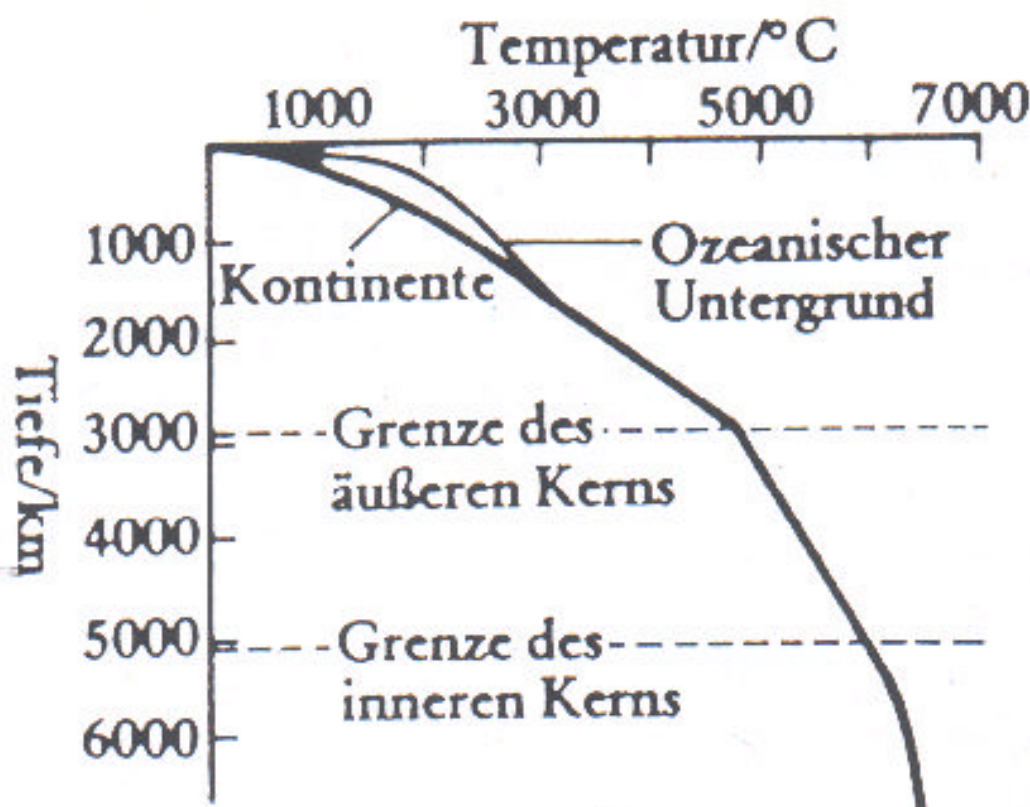
Ergebnisse

	Solarkonstante	kurze Wellenlänge				lange Wellenl.		Konvektion	Temp.
		as	ta	aa	ta'	aa'	c		
	S								Ts
	[W/m ²]							[W/(K*m ²)]	[K]
normal	1360	0,11	0,53	0,3	0,06	0,31		2,5	288,9
normal2	1360							3,2	-4
weiße Erde		0,75							-18
nuklearer Winter			0,43	0,36	0,05	0,37			-6
Sonnenkollektorwelt		0,1							0,2
kalte Sonne	85%								-13
	72%								-26

5.1 Radioaktivität der Erdkruste



Gesteinstemperatur
in der Tiefe
(BRD)



Berechneter
Temperatur-
verlauf bis
ins Erd-
zentrum

Wärmestromdichte $\dot{q} = -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0}$

Wärmeleitfähigkeit (Granit): $\lambda \approx \frac{W}{K \cdot m}$

$\dot{q} \approx 0,06 \frac{W}{m^2}$

Temperaturgradient:

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{\dot{q}}{\lambda} = 30 \frac{K}{km}$$

Isotop	Halb- werts- zeit [a]	Zahl der α - Zerfälle	Massen- anteil in Granit	Wärmeerzeugung [J/(g·a)]	
				Für das Isotop	In Granit
U 238	$4,5 \cdot 10^9$	8	$4,7 \cdot 10^{-6}$	2,94	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Th 232	$13,9 \cdot 10^9$	6	$20 \cdot 10^{-6}$	0,84	$1,7 \cdot 10^{-5}$

- Der radioaktive Zerfall von Isotopen in einer 10km dicken Gesteinsschicht hat einen Anteil von 10 bis 40% an der Wärmestromdichte.
- Wenigstens 25 bis 50% des gegenwärtigen Oberflächenwärmeflusses sind auf die Abkühlung des Planeten zurückzuführen.

5.2 Primärenergieverbrauch

	Flußdichte [W/m ²]	Gesamt- leistung [W]	S/4 [%]
Geowärme	0,062	$31,6 \cdot 10^{12}$	0,018
Weltprimär- energie- verbrauch	0,024	$12,3 \cdot 10^{12}$	0,007
S/4	342	$174 \cdot 10^{15}$	100

Quellen

- „Physik und Umwelt“
- Bergmann-Schäfer: „Erde und Planeten“ - Band 7, Walter de Gruyter Berlin 1997
- Demtröder: „Experimentalphysik 2“, Springer Lehrbuch
- Goudie: „Physische Geographie“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1995
- K. Lanius: „Erde im Wandel“, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg
- C. Covey: „Erdbahn und Eiszeiten“, Spektrum der Wissenschaft, April 1984
- W. S. Broecker, G. H. Denton: „Ursachen der Vereisungszyklen“, Spektrum der Wissenschaft, März 1990
- Weigert, Wendker: „Astronomie und Astrophysik“, VCH
- K. Heinloth: „Die Energiefrage“, Vieweg
- J. Fricke, W. L. Borst: „Energie“, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1984
- Heintz, G. A. Reinhardt: „Chemie und Umwelt“, Vieweg 1996
- M. Fligge, S. K. Solanki: „Sonnenhelligkeit und Klima“, Spektrum der Wissenschaft, September 1998
- „Spektrum der Wissenschaft - Dossier 5: Klima und Energie“, Juni 1996
- ~~WWW.~~
 - „Deutsches Klimarechenzentrum“:
<http://www.dkrz.de/index.html>
 - „Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie“:
<http://www.wupperinst.org/Seiten/home1.html>
 - „multimedia physik“:
<http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/~pkrahmer/home/homep.html>