

Der Treibhauseffekt

Ein wichtiger Begriff, der immer wieder im Zusammenhang mit den Klimaänderungen auftaucht, ist der **Treibhauseffekt**. Durch diesen Vorgang wird die Erdatmosphäre ähnlich wie die Luft in einem Treibhaus erwärmt: Die kurzweilige Sonnenstrahlung dringt fast vollständig auf die Erdoberfläche durch, während die von der Erde zurückgestrahlte Wärmestrahlung großteils absorbiert wird. Durch diesen **natürlichen Treibhauseffekt** wird die Erde um etwa 33 °C erwärmt, so dass die mittlere Globaltemperatur rund 15 °C beträgt. Ohne Treibhausgase würde die Globaltemperatur der Erdatmosphäre auf ca. -18°C sinken.

	Kohlen- dioxid	Methan	FCKW	N₂O	Ozon²⁾	Wasser- dampf
Kennzahlen						
Verweilzeit (Jahre)	50-200	10	65	130	130-150	0,1
rel. GWP (mol) ¹⁾	1	21	12 400	15 800	206	2 000
rel. GWP (kg) ¹⁾	1	58	3 970	5 750	206	1 800
Konzentration in der vorindustriellen Zeit (1750- 1800)	280 ppm	0,7 ppm	0	0,28 ppm	25 ppb	2,6 %
Konzentration 2000	370 ppm	1,7 ppm	F 12: 0,5 ppb	0,31 ppm	25 ppb	2,6 %
Jährliche anthropogene Emissionen 1999	30 Gt	40 Mt	0,4 Mt	15 Mt	0,5 Gt	gering
Anteil am natürlichen Treibhauseffekt (%)	26	2	-	4	< 8	60
Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt (%)	61	15	11	4	< 9	(indirekt)
Anteil am natürlichen Treibhaus-Effekt , Bezugsjahr 2000 [K]	~8.6	~0,7	~ 0,6	~1,4	< 3	~ 20

¹⁾ rel. GWP (mol): relatives Treibhauspotenzial bezogen auf das gleiche Volumen CO₂ (mol)
 rel. GWP (kg): GWP bezogen auf die gleiche Masse CO₂ (kg) / Anteil: Anteil der einzelnen Treibhausgase am zusätzlichen Treibhauseffekt in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts. / CO₂ Äquivalenzfaktoren sind teilweise mit erheblichen wissenschaftlichen Unsicherheiten behaftet. / ²⁾ bodennahes Ozon

Tabelle 1: Übersicht der wichtigsten Charakteristika der "Treibhausgase"

Quellen: BMU 1993; sowie: IPCC, Houghton et al. 1996, 2001; Lozàn et al. 1998; Kiehl und Trenberth 1997 zitiert nach Schönwiese 2001.

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimawandel/kw-433.html>

<http://www.klett-verlag.de/klett-perthes/sixcms/klett-perthes/terra-extra/sixcms/detail.php?id=28383>

1 – Feuerungen und Umwelt

Aufgabe 15: Um welchen Betrag hat sich die Erdtemperatur seit 1965 durch menschliche Einflüsse erwärmt, wenn man voraussetzt, dass die CO_2 -Zunahme in diesem Zeitraum durch Verbrennung verursacht wurde. Benutzen Sie für die Lösung Tabelle 1 und Abbildung 6.

Aufgabe 16: Wie oft war in den vergangenen 10tausend Jahren die globale Erdtemperatur höher als heute?

Aufgabe 17: Wenn lediglich die Abbildungen 7 und 11 betrachtet werden, entsteht der Eindruck, dass der Temperaturanstieg seit Beginn der Industrierevolution durch den Anstieg der CO_2 -Konzentration verursacht wird. Betrachtet man lediglich die Abbildungen 11 bis 14, entsteht der Eindruck, dass sich der Temperaturanstieg der vergangenen 200 Jahre im Rahmen der natürlichen Schwankungen bewegt. Worauf basiert die Hypothese, dass dieser Temperaturanstieg auf die Wirkung der Treibhausgase zurückzuführen ist?

1 – Feuerungen und Umwelt

Energieerhaltung \Rightarrow an jeder Ebene gilt im stationären Fall $\Sigma \downarrow \equiv \Sigma \uparrow$, bei

Erwärmung: $\Sigma \downarrow \downarrow \equiv \Sigma \uparrow$ und bei Abkühlung $\Sigma \downarrow \equiv \Sigma \uparrow \uparrow$

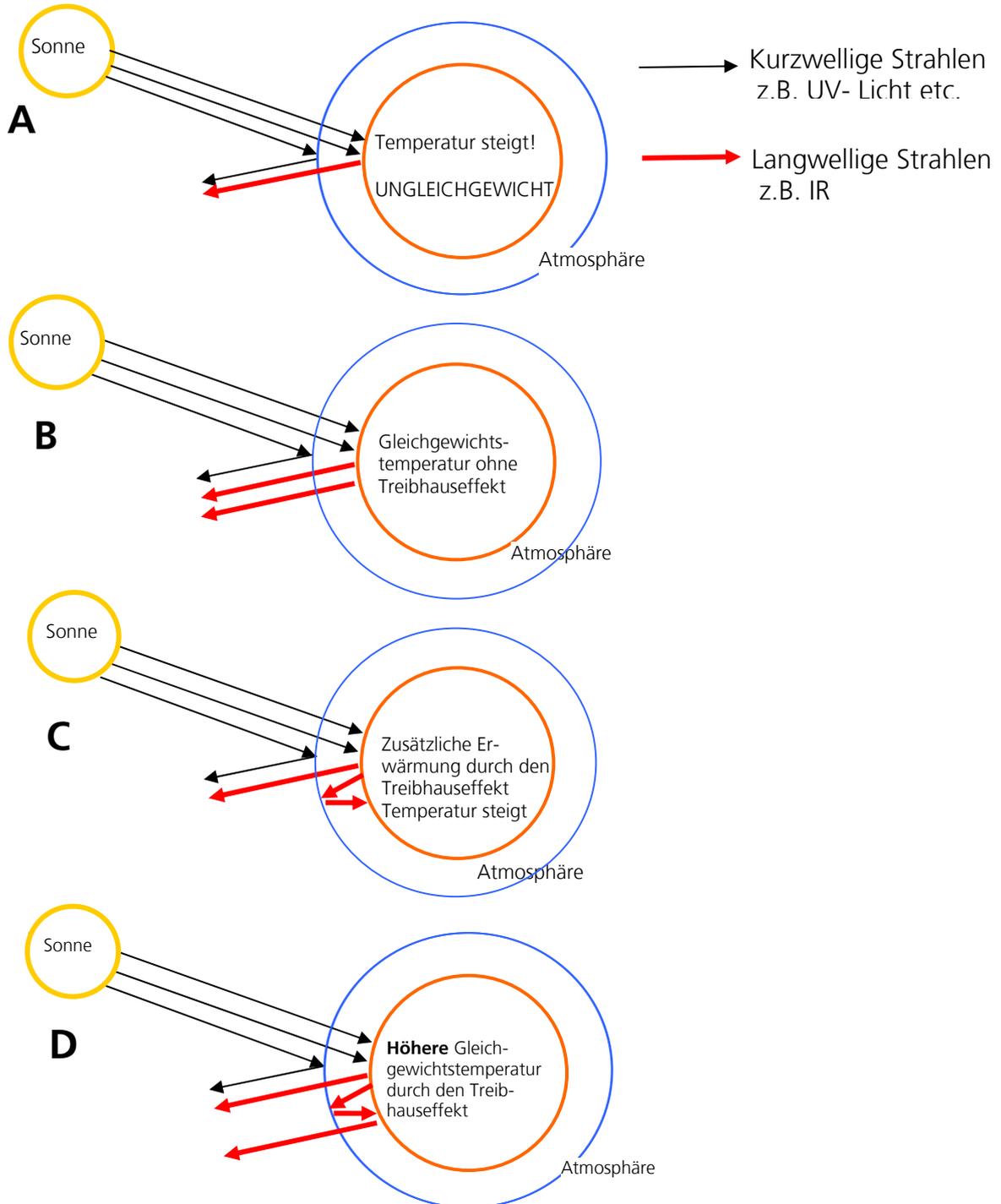


Abbildung 16: Prinzipskizze zum Treibhauseffekt; Zustand A: Erwärmung; B: Gleichgewicht; C: Erwärmung; D: Gleichgewicht. Ähnlicherweise kann Abkühlung dargestellt werden.

1 – Feuerungen und Umwelt

Positive Rückkopplung zwischen Treibhausgaskonzentration und Treibhauseffekt: Die steigende Konzentration der Treibhausgase führt zu Erwärmung der Erde. Die Erwärmung wiederum führt zu einem noch stärkeren Anstieg der Treibhausgaskonzentration (z.B. mehr Wasser verdunstet, das erwärmte Meereswasser atmet mehr CO_2 aus, beim Auftauen von Permafrost entweicht Methan aus dem Boden etc.) Wenn es warm ist, wird noch wärmer, wenn es kalt ist, wird noch kälter. Zwei Gleichgewichtszustände sind möglich:

Sehr kalt = Eiszeit; Sehr warm = Warmzeit (Zwischeneiszeit);
Einen stabilen Zustand dazwischen gibt es nicht!

Einfaches Modell der Eiszeit - Zwischeneiszeit - Gleichgewichtszustände

Annahme: Die Sonnenstrahlung ist konstant, es gibt keine Meeresströmungen, keine meteorologische Einflüsse

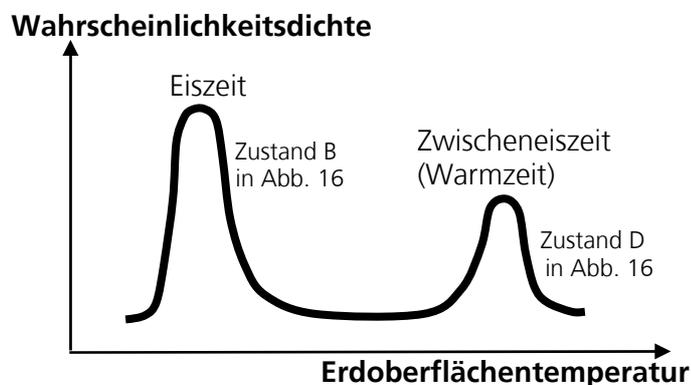


Abbildung 17: Modell der Eiszeit-Zwischeneiszeit- Gleichgewichtszustände

Es gibt nur zwei stabile Zustände: 1) Eiszeit und 2) Zwischeneiszeit. Ist ein stabiler Zustand erreicht, so bleibt er ewig erhalten.

1) Während der Eiszeit ist wenig Wasserdampf in der Luft. Das kalte Wasser löst mehr Kohlendioxid, die Luft enthält wenig CO_2 . In der Kälte verlaufen die Fäulnisprozesse nur langsam, also der Methangehalt ist ebenfalls gering. Der Gleichgewichtszustand ist wie Bild B in Abbildung 16.

2) Während der Zwischeneiszeit ist die Temperatur höher, die Atmosphäre enthält mehr Wasserdampf, mehr CO_2 und mehr CH_4 als während der Eiszeit. Die Temperatur steigt so lange, bis die immer intensiver werdende Wolkenbildung einen weiteren Temperaturanstieg verhindert. Gleichgewichtszustand ist wie Bild D in Abbildung 16.

Komplexes Modell der Eiszeit - Zwischeneiszeit - Gleichgewichtszustände:

Die Sonnenstrahlung fluktuiert, Meeres- und Luftströmungen und Vulkanaktivitäten beeinflussen die Zusammensetzung der Atmosphäre. Der relativ stabile Zustand der Eiszeit und Zwischeneiszeit kann dadurch außer Gleichgewicht geraten, und der eine Zustand kann dabei in den anderen wechseln. Eine der größten Unbekannten bei der Vorhersage, ob und wann die nächste Eiszeit kommt, ist der CO_2 -Austausch zwischen Tiefsee und Ozean-Oberfläche (siehe Abbildung 5). Für die kommenden Jahrhunderte ist jedoch mit einer mit an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit mit einer deutlichen Temperaturerhöhung zu rechnen.

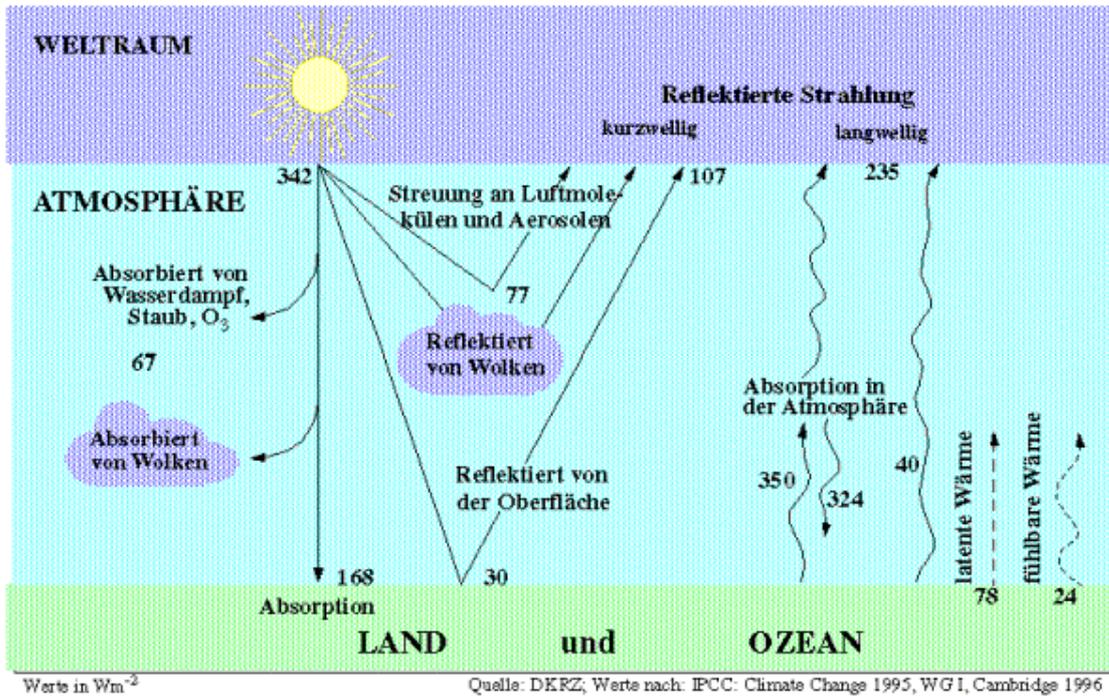


Abbildung 18: Strahlungsbilanz der Erdoberfläche, Strahlungswerte in W/m^2

http://141.84.50.121/iggf/Multimedia/Klimatologie/klimaelemente_strahlung.htm

<http://www.m-forkel.de/klima/strahlungshshlt.html>

Solarkonstante ($s = 1,37 \text{ kW/m}^2$) bezeichnet die senkrecht auf eine Fläche außerhalb der Atmosphäre treffende Solarstrahlung. Im Weltraum ist die Sonnenstrahlung nahezu konstant; auf der Erde schwankt sie im Laufe der Tages- und Jahreszeiten und variiert je nach Breitengrad und Witterung. Der maximale Wert auf der Erde liegt zwischen etwa $0,8$ und $1,0 \text{ kW/m}^2$. Im Jahresmittel beträgt die Sonneneinstrahlung in Deutschland je nach Region zwischen ca. 950 und $1100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Kollektorertrag einer Solaranlage in Westeuropa liegt in der Regel über $350 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, gute Solarkollektoren weisen in Deutschland einen Kollektorertrag von $440 - 520 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf.

Aufgabe 18: Die Solarkonstante beträgt 1370 W/m^2 . Laut Abbildung 18 empfängt die Erde einen Strahlungsstrom von lediglich 342 W/m^2 . Warum?

Aufgabe 19: Wie hoch ist nach Abbildung 18 die theoretisch höchstmögliche Strahlungsausbeute (in $[\text{kWh/m}^2\text{a}]$) von Solarkollektoren auf der Erde?