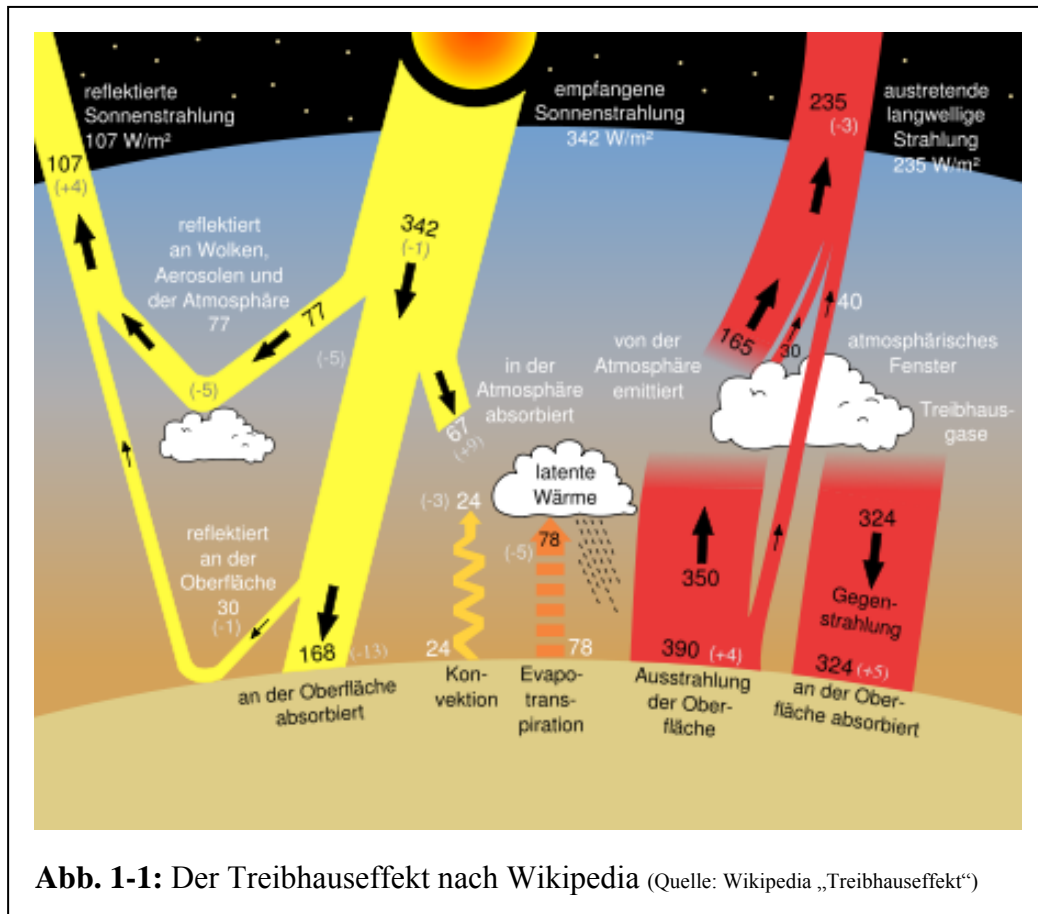


1. Die Theorie des Treibhauseffekts

Die Internet Enzyklopädie Wikipedia ist eine viel verwendete Anlaufstelle, um sich zu einem beliebigen Thema einen guten Überblick zu verschaffen. Beginnen wir also auch an dieser Stelle, um die allgemein anerkannte Theorie des Treibhauseffekts kennen zu lernen. Dieses Kapitel beruht auf den Informationen der zwei Wikipedia-Artikel „**Treibhauseffekt**“ und „**Treibhaus**“.

Abbildung 1-1 wurde dem Wikipedia-Artikel zum „**Treibhauseffekt**“ entnommen.



Die Bildunterschrift lautet folgendermaßen:

„*Kurzwellige Strahlung der Sonne trifft auf die Atmosphäre und Erdoberfläche. Langwellige Strahlung wird von der Erdoberfläche abgestrahlt und in der Atmosphäre fast vollständig absorbiert. Im thermischen Gleichgewicht wird die absorbierte Energie je zur Hälfte in Richtung Erde und Weltall abgestrahlt.*“

Der Begriff Treibhauseffekt beschreibt ursprünglich den Effekt des Temperaturanstiegs im Innenraum eines verglasten Gewächshauses, solange die Sonne darauf scheint. Mit Hilfe dieser Wärme können Pflanzen vorzeitig austreiben, blühen und fruchten.

Sowohl Licht-, als auch Wärmestrahlung sind elektromagnetische Wellen unterschiedlicher Wellenlänge. Wenn elektromagnetische Strahlung durch Materie geht, wird sie von der Materie teilweise absorbiert und teilweise durchgelassen. Die Stärke von Absorption und Durchlässigkeit hängt dabei von der Wellenlänge (im sichtbaren Bereich = Farbe) der Strahlung ab. Der Treibhauseffekt tritt dann auf, wenn die Durchlässigkeits- bzw. Absorptionskoeffizienten der Begrenzungen eines abgeschlossenen Raums wellenlängenabhängig sind. Beim Treibhaus tritt die äußere Strahlung (Sonnenlicht = kurze Wellenlänge) fast ungehindert durch das gläserne Dach ein

Der anthropogene Treibhauseffekt – Sciencefiction oder Realität?

und wird unten vom Erdboden absorbiert. Dabei erwärmt sich der Erdboden und sendet langwellige Wärmestrahlung aus, die anschließend vom Glasdach wieder absorbiert wird und dieses erwärmt. Die äußere Strahlung wird somit durch eine innere Strahlung ergänzt, die vom erwärmten Glasdach ausgeht. Durch die Summe der beiden Strahlungen (innere Strahlung des Hohlraums, die von allen Begrenzungsflächen ausgeht und die durchgelassene Strahlung) werden die getroffenen Stellen des Innenraumes stärker erwärmt als ohne die Scheibe.

Die sich im Innenraum befindliche Luft wird durch die aufgeheizten Glas- und Wandflächen über Wärmeleitung und Konvektion erwärmt. Da bei einem geschlossenen Glashaus die erwärmte Innenluft nicht durch kalte Außenluft ersetzt wird, kann die Innenraumtemperatur deutlich über das Niveau der Umgebungstemperatur ansteigen.

Die Höhe der erreichbaren Innenraumtemperatur wird weitgehend durch das Strahlungsgleichgewicht bestimmt. Je nach Güte der Wärmeisolierung spielen auch die Verluste durch Wärmeleitung (z.B. Einscheibenglas oder Isolierglas) eine mehr oder weniger große Rolle. Bei der Gleichgewichtstemperatur ist die Leistungszufuhr durch die Solarstrahlung mit der Leistungsabfuhr durch die (in der Regel) geringe Abstrahlung und die (in der Regel) geringe Wärmeleitung ausgeglichen, so dass diese Gleichgewichtstemperatur meistens sogar sehr deutlich über der Umgebungstemperatur liegt.

Der Begriff des Treibhauseffekts wird heute weiter gefasst und wegen der Ähnlichkeit der physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf die Erwärmung der Erde ausgedehnt. Die Rolle des Glasdaches übernehmen die so genannten Treibhausgase, wie Kohlenstoffdioxid, Methan und Ozon, sowie der Wasserdampf in der Atmosphäre. Man bezeichnet den atmosphärischen Wärmestau der von der Sonne beschienenen Erde als atmosphärischen Treibhauseffekt. Der durch menschliche Eingriffe entstandene Anteil am atmosphärischen Treibhauseffekt wird als anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet. Oft ist mit dem Begriff Treibhauseffekt verkürzt gleichzeitig die globale Erwärmung gemeint.

Den natürlichen Treibhauseffekt gibt es seit dem Bestehen der Erde, und er soll entscheidenden Einfluss auf die Klimageschichte der Vergangenheit und das heutige Klima haben. Die in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase verhalten sich durchgängig für den kurzwelligen Anteil der Sonnenstrahlung. Die langwellige Wärmestrahlung hingegen wird je nach Treibhausgas in unterschiedlichen Wellenlängen absorbiert und emittiert.

Der größte Teil des Treibhauseffekts soll mit einem Anteil von ca. 36...70% (ohne Berücksichtigung der Effekte der Wolken) durch Wasserdampf in der Atmosphäre verursacht werden. Der Anteil des Kohlendioxids am Treibhauseffekt läge bei ca. 9...26%, der des Methans bei ca. 4...9% und der des Ozons bei ca. 3...7%. Ein exakter Prozentanteil der Treibhausgase auf den Treibhauseffekt kann nicht angegeben werden, da der Einfluss der einzelnen Gase je nach Breitengrad und Vermischung variiert (die jeweils höheren Prozentwerte gelten für den Anteil der Gase selbst, die niedrigeren Werte für die Mischungen der Gase).

Angetrieben werden die Wärmevorgänge an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre von der Sonne. Die Stärke der Solarstrahlung in der Erdbahn wird als Solarkonstante bezeichnet und hat etwa einen Wert von 1368W/m^2 , der je nach Erdentfernung und Sonnenaktivität um einige Prozent schwankt.

Bei Vorgängen mit einer geringen Wärmespeicherung (z.B. die innere Erwärmung eines Autos in der Sonne) ist von diesem Wert (1368W/m^2) auszugehen, denn nachts ohne Sonneneinstrahlung kühlt sich das Autoinnere schnell ab und nimmt etwa die Umgebungstemperatur an. Bei der großen Masse der Erde spielt die Wärmespeicherung eine erhebliche Rolle, was man z.B. daran sieht, dass der Sommer als wärmste Zeit nicht um die Zeit des Sonnenhöchststandes am 21. Juni ist, sondern es erst danach wärmer wird und deswegen der Sonnenhöchststand als Sommerbeginn genommen wird. Wegen dieser großen Speicherwirkung wird bei den Energiebilanzen in der Atmosphäre immer mit dem Mittelwert über die ganze Erdoberfläche gerechnet: Die Erde erhält Solarstrahlung auf der Fläche des Erdquerschnitts ($\pi \cdot r^2$) und hat eine Oberfläche von ($4 \cdot \pi \cdot r^2$). Diese beiden Flächen haben

Der anthropogene Treibhauseffekt – Sciencefiction oder Realität?

ein Verhältnis von 1:4. Als Mittelwert für die ganze Erdoberfläche ist deswegen die Solarkonstante durch 4 zu teilen, so dass im Mittel eine Strahlung von 342W/m^2 auf die Erdoberfläche fällt (siehe Angaben in Abbildung 1-1).

Von der Sonnenenergie, die die Erde erreicht, wird durch Wolken, Luft und Boden (vor allem Eis und Schnee) ein Anteil von etwa 30% wieder in den Weltraum reflektiert (Albedo) – das sind etwa 107W/m^2 . Die restlichen 70% werden am Boden und teilweise auch in der Atmosphäre absorbiert – das sind etwa 235W/m^2 . Wäre das die einzige Strahlung, die vom Erdboden absorbiert würde, so würde die Erdoberfläche im Mittel eine Temperatur von etwa $-18\text{...}-19^\circ\text{C}$ annehmen, denn ein schwarzer Körper, der eine Leistung von 235W/m^2 abstrahlt, hat nach dem Planckschen Strahlungsgesetz eine Temperatur von -19°C . Aber es gibt eine weitere Bestrahlung durch die aufgeheizten Treibhausgase mit etwa 324W/m^2 , die so genannte atmosphärische Gegenstrahlung. Damit absorbiert die Erdoberfläche insgesamt 492W/m^2 – und die werden bei der tatsächlichen mittleren Erdoberflächentemperatur von $+15^\circ\text{C}$ auf mehreren Wegen abgegeben. Ein Teil davon wird durch Strahlung abgegeben, deren Höhe durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben wird (390W/m^2 entsprechen $+15^\circ\text{C}$). Die Energieabgabe geschieht aber außerdem noch durch Konvektion (24W/m^2) und durch Verdunstung (78W/m^2).

Die von der Erdoberfläche abgestrahlte Energie hat eine andere Spektral-(Farb)-verteilung, als das einfallende Sonnenlicht, das eine Spektralverteilung entsprechend einer Farbtemperatur von etwa 6000K hat und von den atmosphärischen Gasen kaum absorbiert wird. Die Spektralverteilung der von der Erdoberfläche abgestrahlten Energie wird durch die $+15^\circ\text{C}$ der Erdoberfläche bestimmt, so dass nur etwa 40W/m^2 direkt von der Erdoberfläche in den Weltraum gestrahlt werden. Die restlichen 350W/m^2 werden durch Strahlung an die für diesen Wellenlängenanteil undurchsichtige Atmosphäre (verursacht durch die Treibhausgase) durch Absorption abgegeben. Dadurch wird die Atmosphäre aufgeheizt. Die Atmosphäre hat zwei Oberflächen: eine zum Weltraum hin und eine zur Erde hin. Da die Temperatur in der Atmosphäre sich mit der Höhe ändert, erfolgt die Abstrahlung aus den Treibhausgasen nicht in beide Richtungen mit gleicher Stärke. Während in Richtung Erdboden 324W/m^2 abgestrahlt werden, sind es Richtung Weltraum nur 165W/m^2 . (Ein schwarzer Körper mit einer Abstrahlung von 165W/m^2 hat etwa eine Temperatur von -41 C.)

Die Abstrahlung der Atmosphäre in den Weltraum von 165W/m^2 , die direkten 70W/m^2 von der Erdoberfläche und den Wolken, sowie der Albedo-Anteil von 107W/m^2 entsprechen aufaddiert der mittleren Einstrahlung von 342W/m^2 , d.h. Einstrahlung ist gleich Ausstrahlung. (Wegen der niedrigen Erdtemperatur besteht die ausgestrahlte Energie hauptsächlich aus langwelliger Infrarotstrahlung.) Durch dieses Strahlungsgleichgewicht ändert sich die Temperatur der Erde auch nur langsam.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Rückstrahlung aus der Atmosphäre zur Erde zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erdoberfläche um 33K führen soll. Damit liegt die durchschnittliche globale Temperatur bei $+15^\circ\text{C}$ statt bei -18°C .

Anschließend soll erläutert werden, auf welche Weise die Treibhausgase in der Atmosphäre wirksam werden.

Die Moleküle der Treibhausgase absorbieren Energie aus der von der Erdoberfläche abgegebenen Infrarot- bzw. Wärmestrahlung. Der größte Anteil der Moleküle gibt diese absorbierte Energie durch Stöße mit anderen Molekülen an diese ab. Dadurch wird keine Energie abgestrahlt, sondern die Temperatur der Atmosphäre erhöht. Mit diesem Temperaturanstieg erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die von den Molekülen durch Strahlungsabsorption direkt oder durch Stöße aufgenommene Energie nicht durch weitere Stöße weitergereicht wird, sondern abgestrahlt wird. In höheren Luftschichten wird die mittlere Anzahl von Stößen zwischen Emission und

Der anthropogene Treibhauseffekt – Sciencefiction oder Realität?

Absorption geringer, weil die mittlere freie Weglänge ansteigt bzw. die Zeit zwischen zwei Stößen größer wird.

Die von den Treibhausgasen aufgenommene Energie wird entsprechend der Temperatur in Form von IR-Strahlung im Bereich des fernen Infrarots in alle Richtungen (also auch wieder zurück in Richtung Erde) abgegeben. Die Abstrahlung senkt die Temperatur der Treibhausgase. Schließlich stellt sich eine Temperatur ein, bei der Absorption und Emission im Gleichgewicht sind. Dabei ist die Abstrahlung parallel zur Erdoberfläche uninteressant, da diese Strahlung in den Treibhausgasen verbleibt. Interessant ist nur die Abstrahlung in Richtung Erde und in Richtung Weltraum, die für eine dünne Luftschicht etwa gleich groß ist.

Eine Auswirkung auf den Treibhauseffekt hat jedoch nur der Anteil der Abstrahlung aus niedrigen Höhen, weil nur diese Abstrahlung den Erdboden erreicht, ohne vorher von den Treibhausgasen wieder absorbiert zu werden. Dabei ist das „niedrig“ sehr wellenlängenabhängig, denn die Länge, nach der die Strahlung wieder absorbiert wird (Absorptionslänge) ist wellenlängen- und konzentrationsabhängig. Ist die Absorptionslänge größer als die Atmosphärendicke, so ist die Atmosphäre bei diesen Wellenlängen fast durchsichtig. Die durch die Abstrahlung der Treibhausgase verloren gehende Energie wird durch Konvektion und durch Absorption von Strahlung aus tiefer bzw. höher liegenden Luftschichten, der Erdoberfläche, sowie zu einem geringen Anteil direkt von der Sonne (67W/m^2) ersetzt.

Soweit zur Theorie des Treibhauseffekts, wie er in Wikipedia nachzulesen ist. Es wird von manchen Autoren die These aufgestellt, dass es einen Treibhauseffekt in dem oben genannten Sinn nicht gibt. Es wird dagegen argumentiert, dass immer so genannte Strahlungsfenster offen sind, durch welche die Wärme entweichen kann. Ein Beispiel dafür bietet das Buch „**Der Treibhaus-Schwindel**“ (Wolfgang Thüne, Wirtschaftsverlag Discovery Press, Saarbrücken, 1998). In dieser Arbeit soll davon ausgegangen werden, dass die das Klima erwärmende Wirkung von CO_2 durchaus vorhanden ist und die Angaben der Energieflüsse nach Abbildung 1-1 sollen somit als gegeben angenommen werden.

Wie man aus Abbildung 1-1 entnehmen kann, entweichen nur 40W/m^2 von 390W/m^2 ohne vorherige Absorption direkt in den Weltraum. Etwa 90% der von der Erde abgestrahlten Energie wird also bereits jetzt von der Atmosphäre absorbiert. Daher erscheint das Potential gering, das eine weitere Zunahme des CO_2 durch menschliche Aktivitäten überhaupt noch haben kann.