

Klimaerwärmung trotz Sättigung der Absorption?

geschrieben von Admin | 29. November 2024

Immer wieder werden wir von Lesern gebeten eigene Gedanken zum Thema Klima oder Energie zu veröffentlichen. Sind sie interessant dann tun wir das auch. D.h. aber nicht, dass wir mit dem Autor übereinstimmen, dagegen sind oder sonst irgendetwas. In diesem Artikel wird wieder erläutert, dass das, was sich logisch, ja sogar physikalisch hinreichend erklären lasse, nun statt nur in der Hypothese, auch in der Realität vorkommen möge. Dem ist aber nicht so, wie das Fehlen jeglicher Messungen des Treibhauseffektes in der Natur tatsächlich beweist.

Im Folgenden ein Betrag von Dr. Eike Roth

Vor kurzem erschien bei EIKE ein Beitrag „CO₂-Sättigung widerlegt Befürchtungen über Temperaturanstieg“ [1], zu dem viele zustimmende und auch einige ablehnende Kommentare abgegeben wurden. Das Thema kommt immer wieder hoch und lässt sich etwa wie folgt zusammenfassen: CO₂ und die anderen Treibhausgase absorbieren heute bereits praktisch die gesamte Wärmeabstrahlung von der Erdoberfläche, die sie überhaupt absorbieren können. Mehr geht nicht. Zusätzliches CO₂ kann daher keine zusätzliche Strahlung absorbieren und damit auch keine weitere Erwärmung der Erdoberfläche bewirken. Selbst wenn es den „natürlichen Treibhauseffekt“ (Erwärmung der Erde aufgrund der natürlich vorhandenen Treibhausgase) gibt, den „anthropogenen Treibhauseffekt“ (zusätzliche Erwärmung durch die anthropogenen CO₂-Freisetzungen) kann es infolge der Sättigung der Absorption auf keinen Fall geben (bzw. höchstens in verschwindend kleiner Größe und damit sicher vernachlässigbar).

Unberechtigte Einwände:

Immer wieder wird gesagt, das Ganze wäre sowieso Quatsch, weil es weder den „natürlichen“ noch den „anthropogenen Treibhauseffekt“ geben könne, weil es keine „Gegenstrahlung“ gibt, und wenn es sie doch geben sollte, dann könnte sie die Erdoberfläche gar nicht erwärmen, weil sie ja nur eine Folge der Wärmeabstrahlung von dieser wäre. Das ist aber beides unberechtigt: „Gegenstrahlung“ gibt es immer, wenn die Atmosphäre Wärmeabstrahlung von der Erdoberfläche absorbiert, denn nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz sendet jeder Körper, der Strahlung absorbiert, auch Strahlung aus, und zwar in gleicher Menge, nur ungerichtet, also auch zurück zur Erdoberfläche (außerdem bräuchte man ohne Absorption auch nicht über die Folgen ihrer Sättigung zu diskutieren). Und das „nicht erwärmen können“ resultiert aus einem falschen Verständnis des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik: Der regelt nur Netto-Energieflüsse, es kann daher sehr wohl auch Wärme von der

kalten Atmosphäre zur warmen Erde übergehen, wenn nur gleichzeitig mehr Wärme von der warmen Erde zur kalten Atmosphäre übergeht. Beim Treibhauseffekt ist das so. Und zusammen mit der Energie von der Sonne erwärmt die Gegenstrahlung eben die Erdoberfläche (Energieerhaltung!). Physikalisch existiert der Treibhauseffekt zweifelsfrei, nur über seine reale Größe, darüber sagt das noch nichts aus.

Falsch verstandene Sachverhalte:

Das Argument „keine Erwärmung infolge Sättigung der Absorption“ scheint vordergründig plausibel zu sein, bei näherem Hinsehen zeigt sich aber, dass dabei zwei wesentliche physikalische Sachverhalte nicht richtig gesehen werden:

1. Die Erdoberfläche wird nicht durch die Absorption von Strahlung im CO_2 erwärmt, sondern durch die Gegenstrahlung (natürlich im Zusammenwirken mit der Sonnenstrahlung, die die Erde unverändert weiter trifft). Die Frage ist also nicht, ob zusätzliches CO_2 mehr Strahlung absorbieren kann (das kann es natürlich nicht, solange nicht mehr Strahlung zur Verfügung steht), die Frage ist vielmehr, ob mehr CO_2 mehr Gegenstrahlung bewirken kann (das kann es, wie weiter unten gezeigt wird).
2. 100 % Absorption in der Atmosphäre, sodass oben keine Strahlung mehr herauskommt, gibt es auf der realen Erde nicht (siehe ebenfalls weiter unten).

Mit diesen beiden Fehlbeurteilungen kann keine berechtigte Schlussfolgerung begründet werden.

Beweis:

Zur Beweisführung sei ein sehr vereinfachtes Modell herangezogen: In diesem gibt es Energieübertragung nur durch Strahlung, auch werden spektrale Effekte, wie ausgeprägte Absorptionsbanden und das atmosphärische Fenster, nicht berücksichtigt. Mit diesem Modell werden nachfolgend einige Fälle durchgespielt, die das grundsätzliche Verhalten veranschaulichen sollen. Zum leichteren Verständnis wird dabei angenommen, dass die Sonneneinstrahlung eine Leistung von „100 Einheiten“ auf die Erde überträgt. Die Fälle sind:

1. Erde ohne Atmosphäre (was infolge der Annahme „nur Strahlung“ bis zu einem gewissen Grad identisch mit einer Atmosphäre ohne Treibhausgase ist): Die Erdoberfläche erhält 100 Einheiten von der Sonne und sie regelt ihre Temperatur so, dass sie 100 Einheiten in den Weltraum abstrahlt (ausgeglichene Bilanz!).
2. Erde mit Atmosphäre, anfänglich: Wir fügen der nackten Erde (Fall 1) eine Atmosphäre hinzu, die für die Sonnenstrahlung vollständig transparent ist, aber so viel CO_2 (als einziges Treibhausgas) enthält, dass praktisch alle Wärmeabstrahlung von der Erdoberfläche von diesem CO_2 absorbiert wird (Hinweis 1: „Alle Strahlung

absorbieren“ ist mathematisch exakt nicht erfüllbar, da die Absorption ein statistischer Prozess ist und einige Quanten immer erfolgreich durchkommen; für die Prinzip-Betrachtung hier genügt aber die unscharfe Aussage „praktisch alle“. Hinweis 2: Die Begrenzung der Absorption liegt in der Menge der Strahlung, nicht in der Menge des CO₂: Wenn schon „praktisch alles“ absorbiert wird, dann kann mehr CO₂ nicht mehr Strahlung absorbieren, weil ja nicht mehr Strahlung da ist, aber wenn z. B. die Strahlung auf das 10-Fache verstärkt wird, dann absorbiert dasselbe CO₂ zehnfach so viel!). Da diese Atmosphäre (genauer: das CO₂ in ihr) praktisch die gesamte Wärmeabstrahlung der Erde absorbiert, nimmt sie 100 Einheiten Energie auf (kein atmosphärisches Fenster und vollständige Absorption unterstellt) und als Folge davon strahlt sie auch 100 Einheiten Energie ab, je zur Hälfte in den Weltraum und zur Erde (ungerichtete Abstrahlung). Die Erdoberfläche erhält jetzt also in Summe 150 Einheiten Energie (100 von der Sonne, 50 aus der Gegenstrahlung), sie strahlt aber – zunächst unverändert – nur 100 Einheiten ab, sie muss sich also erwärmen. Das tut sie so lange, bis

- erstens sie gleich viel Energie abstrahlt, wie sie in Summe erhält, und bis
- zweitens 100 Einheiten in den Weltraum gehen.

1. Erde mit Atmosphäre, Gleichgewicht: Wenn die beiden genannten Bedingungen erfüllt sind, dann gehen 100 Einheiten aus der Atmosphäre in den Weltraum (direkt von der Erdoberfläche in den Weltraum geht ja nichts). Weil die Abstrahlung ungerichtet ist, müssen dann auch 100 Einheiten aus der Atmosphäre zur Erdoberfläche gehen. Die Erdoberfläche erhält damit jetzt in Summe 200 Einheiten und sie strahlt natürlich auch 200 Einheiten ab (Gleichgewicht!). Diese 200 Einheiten werden komplett in der Atmosphäre absorbiert und dann je zur Hälfte nach oben und nach unten wieder ausgestrahlt). Um 200 Einheiten abzustrahlen, muss die Erdoberfläche wärmer sein als im Fall 1 (bei dem sie nur 100 Einheiten abstrahlt).
2. Erde mit einer zweiten Atmosphäre, anfänglich: Um das Verhalten besser transparent zu machen, erhöhen wir nicht einfach die CO₂-Konzentration gegenüber dem Fall 2 bzw. 3, sondern wir fügen etwas weiter außerhalb eine zweite Atmosphäre hinzu, die sei ansonsten identisch mit der ersten. Diese zweite Atmosphäre erhält 100 Einheiten von unten (die bisher in den Weltraum gingen), absorbiert diese vollständig und strahlt deshalb je 50 Einheiten in den Weltraum und zur ersten Atmosphäre. Die nach unten gehenden 50 Einheiten werden in der ersten Atmosphäre vollständig absorbiert und als Folge davon strahlt die erste Atmosphäre 25 Einheiten nach oben und 25 Einheiten nach unten (wobei das zusätzlich zu dem ist, was diese erste Atmosphäre sonst noch macht). Die Erdoberfläche erhält jetzt in Summe 225 Einheiten, strahlt aber – zunächst unverändert – nur 200 Einheiten ab, sie muss sich also erwärmen. Und in den Weltraum gehen auch nur weniger als 100 Einheiten, da muss mehr nachkommen.

3. Erde mit der zweiten Atmosphäre, Gleichgewicht: Das Gleichgewicht müssen wir wieder vom Weltraum her berechnen: In den müssen 100 Einheiten gehen. Und wenn die zweite Atmosphäre 100 Einheiten in den Weltraum strahlt, dann muss sie auch nach unten 100 Einheiten strahlen (ungerichtete Ausstrahlung!). Die werden in der ersten Atmosphäre voll absorbiert, und davon gehen dann je 50 Einheiten nach oben und nach unten. Die Erdoberfläche erhält jetzt also in Summe 250 Einheiten (100 von der Sonne, 100 von der ersten Atmosphäre, 50 von der zweiten Atmosphäre), die sie auch abstrahlen muss. Sie muss also noch etwas wärmer sein als im Fall 3.
4. Weitere Atmosphären: Das Spiel kann man beliebig fortsetzen. Mit jeder weiteren Atmosphäre erhält die Erdoberfläche zusätzliche Energie, immer weniger, aber doch zusätzliche Energie, und sie wird daher auch immer wärmer, immer weniger, aber doch wärmer.

Lehren:

1. Eine für die Wärmestrahlung der Erde undurchlässige Atmosphäre („alles wird absorbiert“) gibt es real nicht. Vielmehr gehen immer 100 Einheiten von der Erdoberfläche durch die Atmosphäre hindurch in den Weltraum (Gleichgewicht mit der Sonneneinstrahlung!), auch dann, wenn schon sehr viel CO₂ in der Atmosphäre vorhanden ist, auch dann, wenn noch mehr CO₂ vorhanden ist. Ermöglicht bzw. erzwungen wird das dadurch, dass die Erde sich erwärmt, sodass sie mehr Strahlung aussendet. Das tut sie so lange, bis eben die 100 Einheiten in den Weltraum gehen (das geht theoretisch, bis die Erdoberfläche die Temperatur der Sonne hat).
2. Zusätzliches CO₂ bewirkt immer zusätzliche Gegenstrahlung und damit zusätzliche Erwärmung der Erdoberfläche, egal, wie viel CO₂ schon vorhanden ist. Allerdings wird dieser Effekt mit zunehmender Konzentration rasch schwächer, nur null wird er nie. Ergänzung: Im stark vereinfachten Modell hier ergibt sich bei immer mehr Atmosphären (bei immer mehr CO₂) für die Gegenstrahlung eine fallende geometrische Reihe, die gegen den Grenzwert 200 % strebt (100 % ist die Gegenstrahlung bei einer Atmosphäre). In der realen Atmosphäre dürfte es für zusätzliches CO₂ ähnlich eine fallende geometrische Reihe und einen Grenzwert geben, nur kann der quantitativ auch deutlich woanders liegen.
3. Man kann das Geschehen auch so formulieren: Es müssen immer 100 Einheiten von der Erdoberfläche in den Weltraum gehen (Gleichgewicht zur Sonneneinstrahlung!). Ohne Atmosphäre geht das relativ leicht, die Erdoberfläche muss sich hierzu nur auf ca. -18 °C erwärmen, dann gibt es keinen weiteren Widerstand für den Wärmetransport in den Weltraum mehr. Ist auch eine Atmosphäre (mit CO₂ in ihr) vorhanden, stellt sie einen Widerstand für den Wärmefluss nach außen dar, und die 100 Einheiten müssen durch diesen Widerstand hindurch in den Weltraum gedrückt werden. Das bewerkstelligt die Erde durch eine wärmere Oberfläche, dann strahlt sie stärker. Sie erwärmt sich immer so stark, dass 100 Einheiten durch die Atmosphäre hindurch in den

Weltraum gehen. Der Rest geht immer als Gegenstrahlung zurück zur Erde. 100 % Absorption gibt es nur, wenn die Strahlungsmenge konstant bleibt. Bei der Erde erhöht sie sich aber immer (durch die Erwärmung), bis eben 100 Einheiten durch die Atmosphäre hindurch nach außen gehen. Zusätzliches CO₂ bewirkt zwar spezifisch immer weniger, aber es wirkt trotzdem. Bei der heutigen Konzentration wird die Durchlässigkeit von 100 Einheiten bei einer Temperatur von ca. +15 °C erreicht, bei höherer Konzentration bei höherer Temperatur. Theoretisch geht das, wie gesagt, bis die Erdoberfläche die Temperatur der Sonne erreicht hat. Davon sind wir noch weit weg, bei den heutigen Verhältnissen funktioniert es daher zweifelsfrei.

Diskussion:

Die gezogenen Lehren gelten prinzipiell immer, weil sie ausschließlich auf Physik beruhen, nur machen sich in der Realität die bei diesem einfachen Modell vorhandenen Ungenauigkeiten, vor allem die in ihm nicht berücksichtigten Effekte umso stärker bemerkbar, je höher die Konzentration ist. Der wahrscheinlich wichtigste nicht berücksichtigte Effekt ist dabei das Einbringen von Wärme von der Erdoberfläche in die Atmosphäre durch Leitung, Konvektion und vor allem als latente Wärme durch Verdunstung, mit anschließender Weiterleitung eines Teils dieser so eingebrachten Wärme in den Weltraum durch Strahlung von CO₂ (und von anderen Treibhausgasen). Das ist ein zweiter Wärmeabfuhrpfad von der Erdoberfläche in den Weltraum, zusätzlich zu dem, der 100 Einheiten per Strahlung durch die Atmosphäre hindurch schickt. (Hinweis: Ohne Treibhausgase in der Atmosphäre gibt es diesen zweiten Wärmeabfuhrpfad nicht, da in der Atmosphäre nichts strahlt und alle irgendwie in die Atmosphäre eingebrachte Energie nur mittels materiegebundener Prozesse zurück zur Erdoberfläche geleitet werden kann; und mit Treibhausgasen gibt es immer nur beide Wärmeabfuhrpfade zusammen, weil sie eben beide durch die Treibhausgase bewirkt werden). In der Literatur wird dieser zweite Wärmeabfuhrpfad natürlich beschrieben (wenn auch unterschiedlich bewertet), nur Namen habe ich keinen dafür gefunden. In [2] habe ich ihn einfach „Latent-Wärme-Abfuhr-Effekt“ (LWE) genannt.

Bei näherer Betrachtung zeigen die beiden Wärmeabfuhrpfade zwei wesentliche Unterschiede:

- Der eine (der mit den 100 Einheiten in den Weltraum) transportiert Wärme durchgängig von der Erdoberfläche bis in den Weltraum nur per Strahlung, während der andere von der Erdoberfläche bis in die Atmosphäre durch materiegebundene Prozesse bewerkstelligt wird, vor allem über latente Wärme, und erst von da weiter in den Weltraum per Strahlung abläuft.
- Der eine (der mit den 100 Einheiten in den Weltraum) führt zwar Wärme ab, er funktioniert aber nur durch eine in seinen Prozess eingebaute Erwärmung der Erdoberfläche (ohne Atmosphäre erwärmt sich diese auf ca. -18 °C, mit Atmosphäre umso höher, je höher die CO₂-

Konzentration in ihr ist). Für diese Erwärmung gibt es in der Literatur bereits einen Namen: „Treibhauseffekt“ (THE). Der andere (der LWE) kühlt demgegenüber die Erdoberfläche unmittelbar, ohne einen solchen Rückkopplungsmechanismus. Zu seinem Namen siehe oben.

Hinsichtlich Temperatur der Erdoberfläche arbeiten THE und LWE immer gegeneinander, der eine wärmt, der andere kühlt. Bei niedriger Konzentration überwiegt klar der THE, sonst wäre es ungemütlich kalt auf der Erde. Beide Effekte wachsen mit steigender Konzentration, aber nicht gleichmäßig: Bei der durch den THE bewirkten Erwärmung ist das Wachstum infolge der geschilderten, immer kleiner werdenden spezifischen Wirkung des CO₂ gedämpft (so, dass gleichbleibend – das heißt, bei jeder Konzentration – immer 100 Einheiten in den Weltraum übertragen werden; was, wie gesagt, dadurch erreicht wird, dass die Temperatur der Erdoberfläche entsprechend erhöht wird). Beim LWE hingegen geht das Wachstum ungebremst immer weiter (die theoretisch bestehende Grenze hier ist die für Verdunstung zur Verfügung stehende Wassermenge, die ist aber praktisch unendlich groß). Im Verhältnis zum THE gewinnt der LWE daher immer mehr an Bedeutung. Aber bei beiden Effekten zusammen (sie treten immer nur paarweise auf!) addiert sich deren Wärmeabfuhr in den Weltraum nicht einfach, vielmehr werden *insgesamt* immer genau 100 Einheiten in den Weltraum abgeführt (Gleichgewicht zur Sonneneinstrahlung!). Der LWE wirkt also nicht nur immer dem THE entgegen, sondern er reduziert auch noch die durch letzteren bewirkte Erwärmung, weil die insgesamt abgeführte Wärme ja konstant bleibt und der LWE ungebremst wächst. Es muss daher ein Konzentrationsniveau geben, bei dem sich die beiden Temperatureinflüsse gegenseitig kompensieren. Unterhalb überwiegt die erwärmende Wirkung von zusätzlichem CO₂ (der THE), oberhalb überwiegt die kühlende Wirkung (der LWE). Nur, wo dieser Übergang liegt, das kann heute niemand gesichert sagen.

Bewertung:

Die hier gemachten Ausführungen zeigen klar, dass die schon weit fortgeschrittene Absorption im CO₂ ein klares Indiz dafür ist, dass zusätzliches CO₂ nicht mehr viel erwärmen kann. Sie reichen aber ebenso klar nicht aus, zu beweisen, dass dieses „nicht viel“ schon gleichbedeutend ist mit „vernachlässigbar wenig“. Dazu ist das Modell zu stark vereinfachend. Umgekehrt genügt es aber sehr wohl, klar zu zeigen, dass der Treibhauseffekt über die Sättigung der Absorption hinaus weiter zunimmt. „Sättigung widerlegt den Treibhauseffekt“ ist wohl eindeutig falsch.

Offene Fragen:

Der Punkt „Sättigung“ sollte damit endgültig geklärt sein. Worüber man noch diskutieren kann (und muss!), ist

- die Größe des zusätzlichen THE bei den realen Gegebenheiten auf der

Erde, insbesondere im Verhältnis zur gleichzeitigen kühlenden Wirkung des LWE

- die Größe anderer Einwirkungen auf das Klima, z. B. Veränderungen der Sonne, oder interne Variabilitäten, etc.
- die Herkunft des CO₂: Wie viel kommt vom Menschen, wie viel von der Natur? Aber das ist eine ganz andere Frage, siehe hierzu z. B. [3] und [4].

Literatur:

[1] „CO₂-Sättigung widerlegt Befürchtungen über Temperaturanstieg“, 13.11. 2024, mit Bezug auf „Climatic consequences of the process of saturation of radiation absorption in gases“, Jan Kubicki et al., *Applications in Engineering Science* 17 (2024): 100170, <https://doi.org/10.1016/j.apples.2023.100170>

[2] Roth, E. (2022). *Das große Klimarätsel: Woher kommt das viele CO₂?*, BoD-Verlag Norderstedt 2022, ISBN 978-3-7562-2033-5, E-Book 978-3-7562-5347-0

[3] Roth, E. (2023). Climate: Man or Nature? A Contribution to the Discussion. *Science of Climate Change, Vol. 3.5 (2023)*, pp. 521-542, <https://doi.org/10.53234/scc202310/40>

[4] Roth, E. (2024). The Physics of the Carbon Cycle: About the Origin of CO₂ in the Atmosphere. *Physical Science International Journal* 28 (5): 109-24, <https://doi.org/10.9734/psij/2024/v28i5853>