

Warum ist CO₂ so gefährlich im Klima-Treibhaus?

Eine Handreichung vom Klimanotstands-Zentrum Jena und der Zukunftswerkstatt Jena 2019/2023.



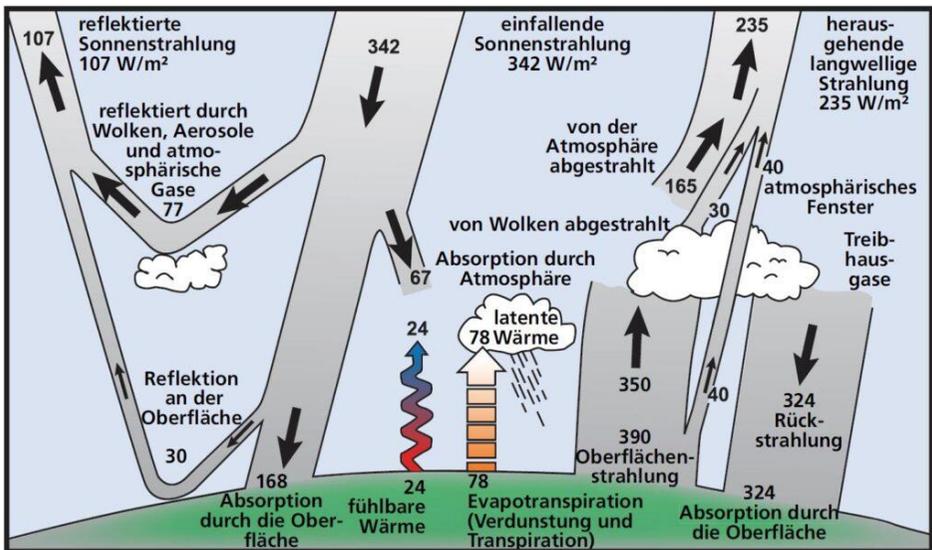
Treibhaus, oder was?

Das Klimaproblem lässt sich kaum noch verleugnen. Inzwischen ist das Reden übers Wetter kein harmloses Plaudern mehr und es gehen weltweit zigtausend vor allem junge Leute auf die Straße, um das Klima vor weiterer Aufheizung zu schützen. Da liegt es nahe, dass die Frage aufkommt: *Wie war das noch mal genau mit dem Klimawandel und warum ist das CO₂ überhaupt so gefährlich?*

Die globale Erwärmung wird häufig mit dem sogenannten „Treibhauseffekt“ erklärt. Die Analogie zu einem **Gemüsetreibhaus** besteht darin, dass zwar Licht problemlos einfallen, die dabei entstehende Wärme jedoch nicht so leicht entweichen kann. Im Glashaus sammelt sich die Wärme, weil die erwärmte Luft daran gehindert wird durch die Scheiben nach außen zu gelangen. Das geht bis zur Einstellung eines Gleichgewichts zwischen der eingestrahnten und der nach außen abgegebenen Wärme.

Im Unterschied zu einem Treibhaus hat unsere Erde aber kein Glasdach als Himmel – der **Treibhauseffekt** muss also offensichtlich anders funktionieren. Schauen wir uns dazu zuerst einmal an, **woher die Erde ihre Energie bezieht und wie sich dabei das Energiegleichgewicht einstellt:**

Die Erde erhält nahezu ihre gesamte Energie durch die Strahlung der Sonne. An der Außengrenze der Atmosphäre kommt im Mittel pro Quadratmeter eine Strahlungsleistung von 342 Watt an. Davon werden etwa 30% direkt wieder in den Weltraum zurückgestrahlt. Die verbleibende Leistung erwärmt das Gesamtsystem Erde, also die Atmosphäre, das Wasser der Ozeane und die Erdoberfläche soweit, bis sich ein energetisches Gleichgewicht einstellt: Wegen der **Energieerhaltung** strahlt die Erde im Mittel die gleiche Leistung elektromagnetischer Strahlung in das Weltall zurück, wie sie von der Sonne erhält.



(Bild: deutsch nach IPCC 2007)

Sonneneinstrahlung auf die Erde

Sonnenlicht kann man sich vorstellen als Wellenzüge einer elektromagnetischen Welle, die in unterschiedlicher Menge (Intensität, Helligkeit) und mit unterschiedlicher Wellenlänge (Farbe) an der äußeren Atmosphäre der Erde ankommen. Es kann einerseits verstanden

werden als Welle oder auch als Teilchen, die dann Photonen genannt werden. Die Wellenlänge des ausgesandten Lichts hängt bei einem strahlenden Körper nur von der Temperatur dieses Körpers ab. Das **bei uns eintreffende Sonnenlicht** entspricht der Strahlung eines Körpers mit einer Temperatur von etwa 6 000 K(Elvin) – der Oberflächentemperatur der Sonne. Diese Strahlung ist für uns sichtbares Licht und besteht aus einem breiten Spektrum von Farben mit einem Intensitätsmaximum etwa bei 0,5 μm Wellenlänge, was gelbem bis grünem Licht entspricht. Das **von der Erde abgestrahlte Licht** entspricht hingegen einer mittleren Oberflächentemperatur von rund 300 K und ist für uns nicht sichtbar – es liegt im Infrarotbereich bei etwa 10 μm Wellenlänge (IR-Strahlung).¹

Was geschieht nun, wenn die Sonnenstrahlung aus dem Vakuum des Kosmos in die Erdatmosphäre eintritt? – Es gibt eine **Wechselwirkung mit der Atmosphäre**, genauer mit den Atomen und Molekülen, aus denen die Atmosphäre besteht. Viele Moleküle gehen dabei in einen angeregten Schwingungszustand über. Das entspricht einer Erhöhung der Temperatur der Atmosphäre. Rund 20% der eingestrahelten Leistung werden so in der Atmosphäre absorbiert und erwärmen diese.

Der „Rest“ des an der äußeren Atmosphäre insgesamt ankommenden Sonnenlichts, also ungefähr die Hälfte, gelangt bis auf die Erdoberfläche, wird dort von den Ozeanen und dem Land aufgenommen und erwärmt diese auf etwa -18°C . Das ist gegenüber der „kosmischen Kälte“ im Weltall schon recht viel, würde aber nicht ausreichen für flüssiges Wasser und die uns bekannten Lebensformen.

¹ In einem Blogbeitrag (<https://kurzelinks.de/CO2-und-Klima>) wird die Veränderung der Strahlung mit Abbildungen genau gezeigt.

Der natürliche Treibhauseffekt

Warum ist die Erde aber nun viel wärmer als -18°C ? Die von der Erde mit einer Oberflächentemperatur von rund 300 K **in den Weltraum zurück gesandte Strahlung** hat ihr Maximum im Infrarotbereich (IR=Infrarot). Auch diese Strahlung muss **von der Erdoberfläche nach oben durch die Atmosphäre** hindurch, um in den Kosmos zu gelangen. Und auch dabei wird es Wechselwirkungen mit der Atmosphäre, mit deren Atomen, Molekülen und (Staub-)Teilchen geben, jedoch *andere* Wechselwirkungen, da es sich hierbei um **IR-Strahlung mit einer völlig anderen Wellenlänge** handelt **als bei der ankommenden Strahlung**.

Die Atmosphäre besteht, abgesehen vom einatomigen Edelgas Argon (Ar), sowohl aus Molekülen, die aus gleichartigen Atomen zusammengesetzt sind wie Wasserstoff (H_2), Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2) als auch aus komplexeren Molekülen wie Wasser (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Stickoxiden (NO_x) und Methan (CH_4). Diese verschiedenen **Molekülformen reagieren unterschiedlich auf IR-Strahlung**. Ob ein Molekül Strahlung im Infrarot-Bereich absorbiert oder nicht, hängt davon ab, ob es ein **Dipolmoment** hat. Ein Dipolmoment tritt dann auf, wenn der Ladungsschwerpunkt der positiven und der negativen Ladung in den Atomen des Moleküls räumlich getrennt ist. Bei Molekülen aus gleichartigen Atomen, wie Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2), fallen die Ladungen zusammen. Es gibt kein Dipolmoment und somit keine Wechselwirkung mit IR-Strahlung. Sie spielen also beim Treibhauseffekt keine Rolle, auch wenn sie in der Atmosphäre am häufigsten vorkommen (O_2 und N_2 zusammen mit 99 %).

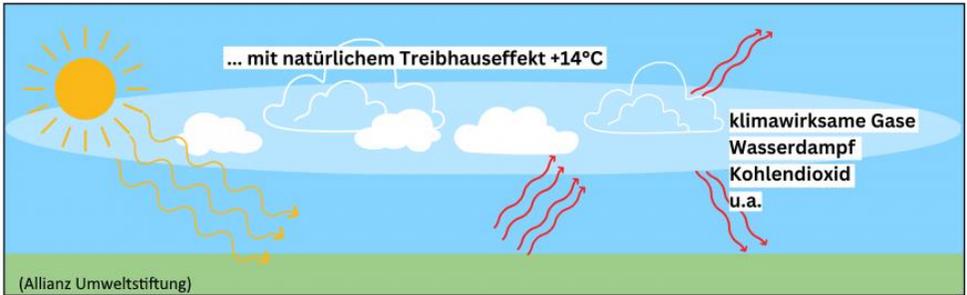
Andere Moleküle, wie Wasser(dampf) (H_2O), haben schon durch ihre gewinkelte Struktur ein **Dipolmoment und absorbieren IR-Strahlung**.

lung daher **stark**. Symmetrisch aufgebaute Moleküle, wie CO_2 , besitzen kein permanentes Dipolmoment. Beginnen sie jedoch zu schwingen, was u. a. durch IR-Strahlung angeregt wird, entsteht auch hier ein Dipolmoment. **IR-Strahlung kann also diese Moleküle zum Schwingen anregen** oder ihre schon vorhandenen Schwingungen ändern.



Sogenannte Treibhausgase wie H_2O , CO_2 oder CH_4 sind nun genau in dem Spektralbereich IR-aktiv, der etwa der von der Erde abgegebenen IR-Strahlung entspricht. Mit anderen Worten: Infrarot-Photonen regen diese Moleküle zu Schwingungen an, wobei sie absorbiert werden. Es wird Strahlungs- in Bewegungsenergie umgewandelt und aus dieser Bewegung heraus wird wieder Strahlung freigesetzt. Die Abstrahlung erfolgt jedoch nicht mehr in der ursprünglichen Einstrahlungsrichtung, sondern zufällig in alle möglichen Richtungen, und damit eben auch **zurück in Richtung der Erdoberfläche**. Genau dieser Teil ist verantwortlich für die zusätzliche Erwärmung, für den Treibhauseffekt. Diese von der natürlich vorhandenen Atmosphäre zurückgeworfene Strahlung führt dazu, dass die Temperatur an der Erdoberfläche im globalen Durchschnitt nicht -18°C beträgt, sondern $+14\dots15^\circ\text{C}$ (Rahmstorf 2018). Schon der **geringe Anteil von 0,028 % CO_2 in der Atmosphäre bewirkt diese Erwärmung!**

Durch Menschen verstärkter Treibhauseffekt

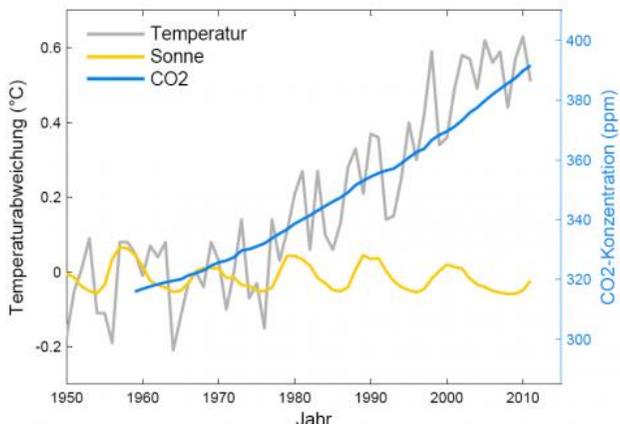


Wasserdampf ist trotzdem das wirksamste Treibhausgas. Der Wasserdampfgehalt in der Luft wird aber durch viele gegenläufige Prozesse wie Verdunstung und Kondensation in Wolken reguliert, worauf Menschen so gut wie keinen Einfluss haben. Problematisch ist dabei, dass die Menge des Wasserdampfs in der Luft selbst von der Temperatur abhängt. **Mit jedem Grad Erwärmung steigt der Wasserdampfgehalt in der Luft um ca. 7 %** (Francis 2022), was den Treibhauseffekt verstärkt und die Unwetterwahrscheinlichkeit erhöht.

Worauf wir jedoch sehr wohl direkten Einfluss haben, ist der Gehalt an anderen „treibhausaktiven“ Molekülen wie Kohlendioxid und Methan. Das mögen zwar nur kleine Promille-Beträge sein, aber **wegen der besonders großen IR-Aktivität der CO₂-Moleküle haben bereits kleine Dichteänderungen eine sehr große Wirkung auf die Absorption und damit die Wärme- „Rückstrahlung“.**

Vor dem Industriezeitalter lag der CO₂-Gehalt der Atmosphäre für viele Jahrtausende bei 270 bis 280 ppm, also 0,028 %. In den letzten Jahrzehnten stieg dieser Anteil auf über 400 ppm. Dieser CO₂-Anstieg korreliert mit dem Anstieg der globalen durchschnittlichen Temperatur von 1,07 Grad (IPCC 2021). Dass etwas korreliert, sagt noch nicht eindeutig, ob einer der korrelierenden Faktoren den anderen verursacht oder ob beide durch einen weiteren Faktor bestimmt werden.

Die Untersuchung von Korrelationen können zeigen, welche Einflüsse bei der Veränderung von Faktoren überhaupt eine bzw. *keine* Rolle spielen. Die Behauptung, die wachsende globale durchschnittliche Temperatur könne mit veränderter Sonnenaktivität (die sich beispielsweise am Sonnenfleckenzyklus zeigt) erklärt werden, kann damit widerlegt werden: Eine Korrelation mit der Sonnenaktivität ist nicht nachweisbar. In den letzten fünf Jahrzehnten stieg die globale Durchschnittstemperatur um ca. 1 Grad an, während die Sonnenaktivität auf gleichem Niveau ein wenig schwankte, aber nicht insgesamt stieg (Rahmstorf 2012):



C

Zusätzlich zu der Korrelation kennen wir aber auch den oben geschilderten **physikalischen Wirkungszusammenhang**, der die Verursachung der Temperaturerhöhung durch den menschenverstärkten Treibhauseffekt **ausreichend erklären** kann.

Literatur

- Francis, Jennifer (2022): Wasserdampf, Treibstoff für Wirbelstürme. Spektrum.de.
- IPCC AR4 WGI, SPM (2007): Climate Change 2007, The Physical Basis.
- IPCC AR5 (2014): Klimaänderung 2014, Synthesebericht.
- IPCC AR6 WGI, SPM (2021): Klimawandel 2021. Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I, Zusammenfassung für die politischen Entscheidungsträger.
- Rahmstorf, Stefan (2012): Die populäre Trickgrafik der Klimaskeptiker: <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/die-populaerste-trickgrafik-der-klimaskeptiker-vahrenholt/>.
- Rahmstorf, Stefan (2018): Verwirrspiel um die absolute globale Mitteltemperatur: <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/verwirrspiel-um-die-absolute-globale-mitteltemperatur/>.
- Schlemm, Annette (2019): *Warum ist CO2 so gefährlich im Klima-Treibhaus?* Philosophenstübchen. <https://kurzelinks.de/CO2-und-Klima>.

Ein Beitrag des Klimanotstands-Zentrums Jena:
<https://klimazentrum-jena.de/>, 2023
online diskutierbar und mit vielen Abbildungen unter:
<https://kurzelinks.de/CO2-und-Klima>
– auch die Links zu den Quellen sind dort angegeben –
