

Klimazahl am Freitag Folge 7

3 m

Thomas Hagemann, 21.04.2023

Kann das Spurengas CO₂ tatsächlich eine nennenswerte Wirkung haben?

Ein gängiges Argument von Skeptikern des menschengemachten Klimawandels zielt auf die geringe Konzentration des CO₂ in der Atmosphäre ab.

Das CO₂ habe bei einem Anteil von 420 ppm (0,042 %) an der gesamten Luft überhaupt keine Wirkung mehr, so das Argument.

Doch das stimmt nicht.

Eunice Newton Foote

Am Weltfrauentag habe ich über Eunice Newton Foote berichtet, die vor mehr als 150 Jahren entdeckte, dass CO_2 in Glaszylindern Infrarotstrahlung absorbiert.

In den Glaszylindern war konzentriertes CO_2 . Machen wir dazu ein kleines Gedankenexperiment.

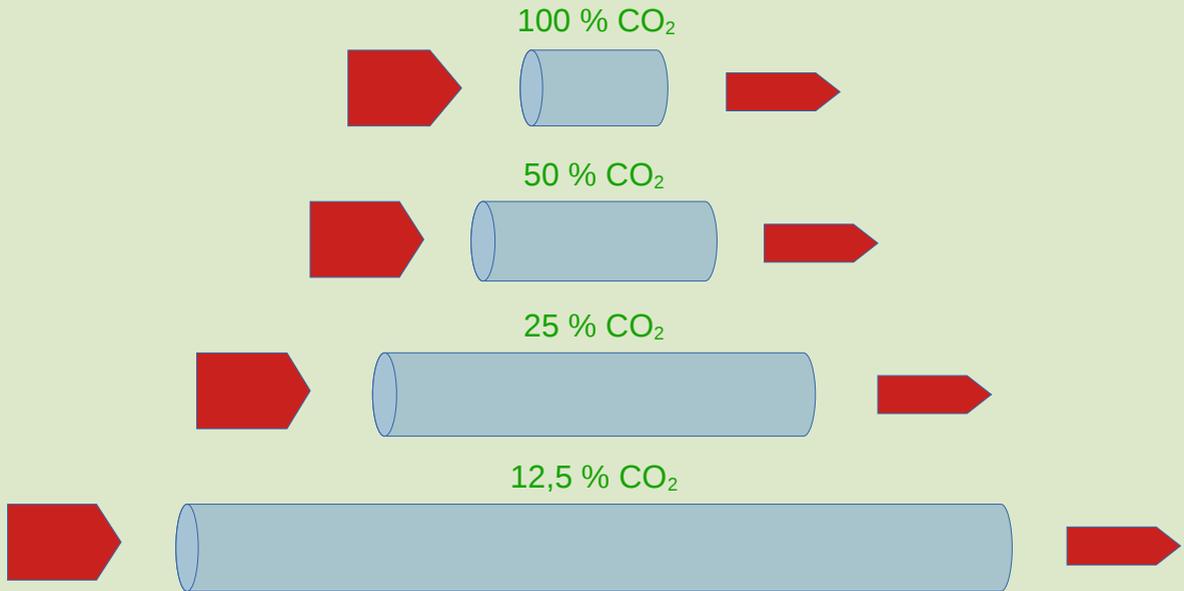
Unterschiedliche Glaszylinder

Wir haben verschiedene Glaszylinder. Den kürzesten füllen wir mit reinem CO₂. Den nächstlängeren, der doppelt so lang ist, füllen wir mit einem Gemisch aus 50 % CO₂ und 50 % Stickstoff.

Die Gesamtmenge CO₂ ist also dieselbe.

So geht es weiter: Wir nehmen die gleiche Menge CO₂ und stocken sie entsprechend der Länge des Zylinders mit Stickstoff auf.

Unterschiedliche Glaszylinder



Vier Glaszylinder, alle mit derselben Menge CO₂, der Rest aufgefüllt mit Stickstoff. Die Konzentration des CO₂ sinkt mit der Länge des Zylinders.

Strahlen und messen

Durch die Zylinder wird nun von links Infrarotstrahlung geleitet und rechts wird gemessen, was durchkommt.

Die Zylinder werden sich alle gleich verhalten.

Warum?

Zunächst: Stickstoff ist neutral, hat also keinen Effekt auf die Strahlung. Es kommt nur auf das CO_2 an.

Wahrscheinlichkeiten

Sieht man die Infrarotstrahlung als ein Bündel einzelner Strahlen an, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Strahl auf ein oder mehrere CO₂-Moleküle trifft, für alle Glaszylinder dieselbe.

Bei halber Konzentration des CO₂ sinkt die Wahrscheinlichkeit zwar ceteris paribus auf die Hälfte ab. Das wird aber durch die doppelte Strecke vollständig kompensiert.

Anzahl Moleküle

Man kann es aber auch einfach so sehen:

Der von links einfallende Strahl muss bei seinem Weg durch den Glaszylinder immer dieselbe Anzahl an CO_2 -Molekülen passieren, unabhängig davon, welcher Glaszylinder gerade betrachtet wird.

Denn in jedem Glaszylinder ist ja dieselbe Menge CO_2 , also dieselbe Anzahl von CO_2 -Molekülen.

Gesamtmenge CO₂ in der Atmosphäre

Wenn wir das auf die Atmosphäre übertragen, müssen wir wieder die Gesamtmenge des CO₂ betrachten.

Wir wissen bereits aus Folge 2: In der Atmosphäre befinden sich 3.000 Gt CO₂. Aber wie viel ist das eigentlich?

Dafür ein weiteres Gedankenexperiment: Nehmen wir einmal an, das gesamte CO₂ würde sich in der untersten Schicht der Atmosphäre absetzen.

Wie dick wäre diese reine CO₂-Schicht?

Das Volumen des CO₂ aus der Atmosphäre

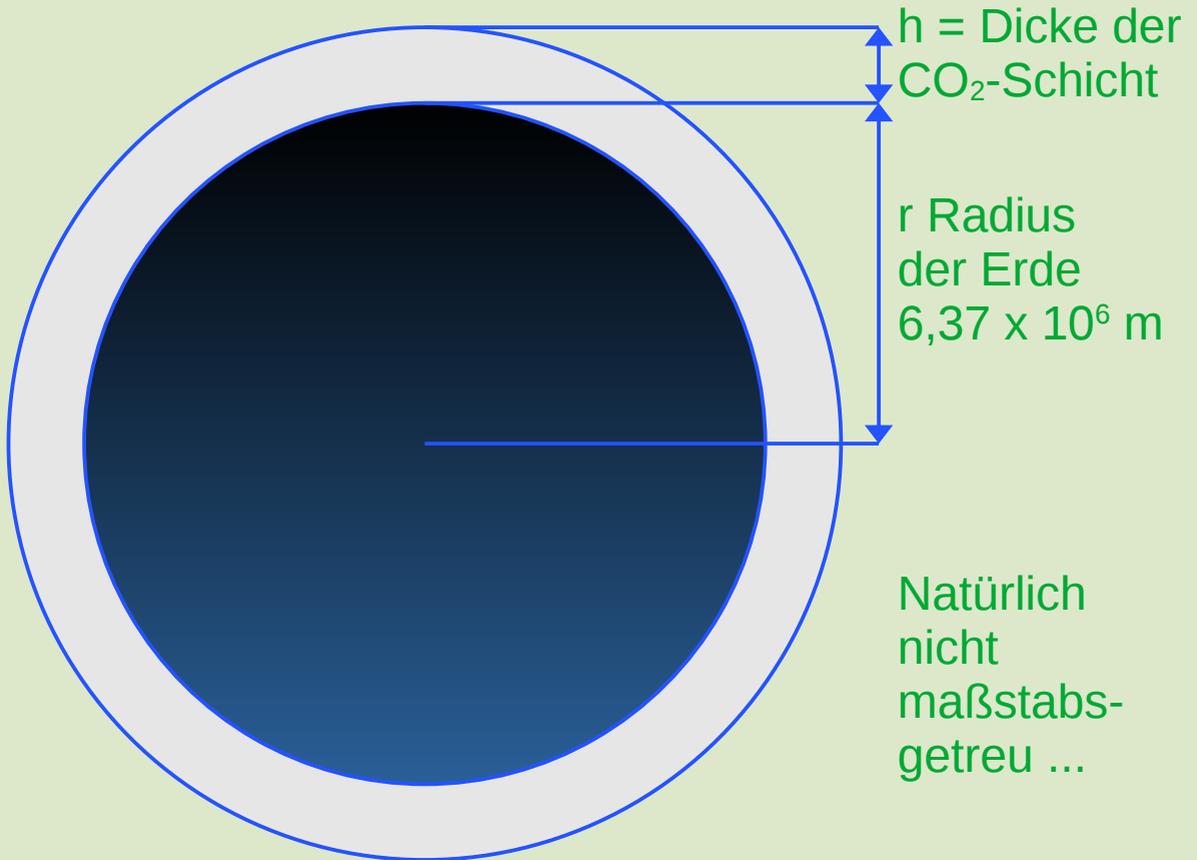
Zunächst rechnen wir die Masse von
3.000 Gt CO₂ in ein Volumen um.

**CO₂ hat eine Dichte von etwa
2 kg/m³.**

**Somit entsprechen
3.000 Gt = 3 × 10¹² t = 3 × 10¹⁵ kg
einem Volumen von
1,5 × 10¹⁵ m³.**

Dieses Volumen verteilen wir nun
gedanklich als unterste Schicht der
Atmosphäre um den gesamten Erdball.

Querschnitt durch die Erde



Der Rechenweg

Bestimmt kennen Sie noch die Formel für das Volumen einer Kugel.

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Das Volumen einer äußeren zweiten Kugel, deren Oberfläche überall im Abstand von h oberhalb der Oberfläche der inneren ersten Kugel liegt, beträgt demnach

$$V = \frac{4}{3} \pi (r+h)^3$$

Die Differenz dieser beiden Werte wäre das Volumen einer Schicht der Höhe h rund um die innere Kugel, hier also die Erde.

Der Rechenweg

Wir kennen bereits das Volumen dieser Schicht ($1,5 \times 10^{15} \text{ m}^3$) sowie den Radius der Erdkugel ($6,37 \times 10^6 \text{ m}$) und suchen die Höhe h . Wir formen also um:

$$V = \frac{4}{3} \pi ((r+h)^3 - r^3)$$

$$\Leftrightarrow \frac{3V}{4\pi} + r^3 = (r+h)^3$$

$$\Leftrightarrow r+h = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi} + r^3}$$

$$\Leftrightarrow h = \sqrt[3]{r^3 + \frac{3V}{4\pi}} - r$$

Die Lösung

Und nun können wir die Werte einsetzen:

$$\begin{aligned} h &= \sqrt[3]{r^3 + \frac{3V}{4\pi}} - r \\ &= \sqrt[3]{(6,37 \times 10^6 \text{ m})^3 + \frac{3 \times 1,5 \times 10^{15} \text{ m}^3}{4\pi}} - 6,37 \times 10^6 \text{ m} \\ &\approx 3 \text{ m} \end{aligned}$$

Die gesuchte Höhe ist etwa drei Meter.
Würde sich das gesamte CO₂ der
Atmosphäre am Boden absetzen, hätten
wir also eine Schicht von etwa drei Metern
Höhe. (Wir würden darin ersticken.)

Wirkung des CO₂ in der Atmosphäre

Anders ausgedrückt:

Die Strahlung, die die Erde verlässt, muss in der Atmosphäre so viel CO₂ passieren, wie in einer 3 m dicken 100 %-igen CO₂-Schicht enthalten ist.

Diese enorme Wirkung wird nicht dadurch gemindert, dass die CO₂-Moleküle über die gesamte Höhe der Atmosphäre verteilt sind – die Strahlung, die die Erde verlässt, muss in beiden Fällen dieselbe Menge an CO₂-Molekülen passieren.

Klimazahlen am Freitag

Das war die Folge 7 der Klimazahl am Freitag. Bisher erschienen:

Folge 1, 13.01.2023: 420 ppm
CO₂-Anteil an der Luft (= 0,042 %)

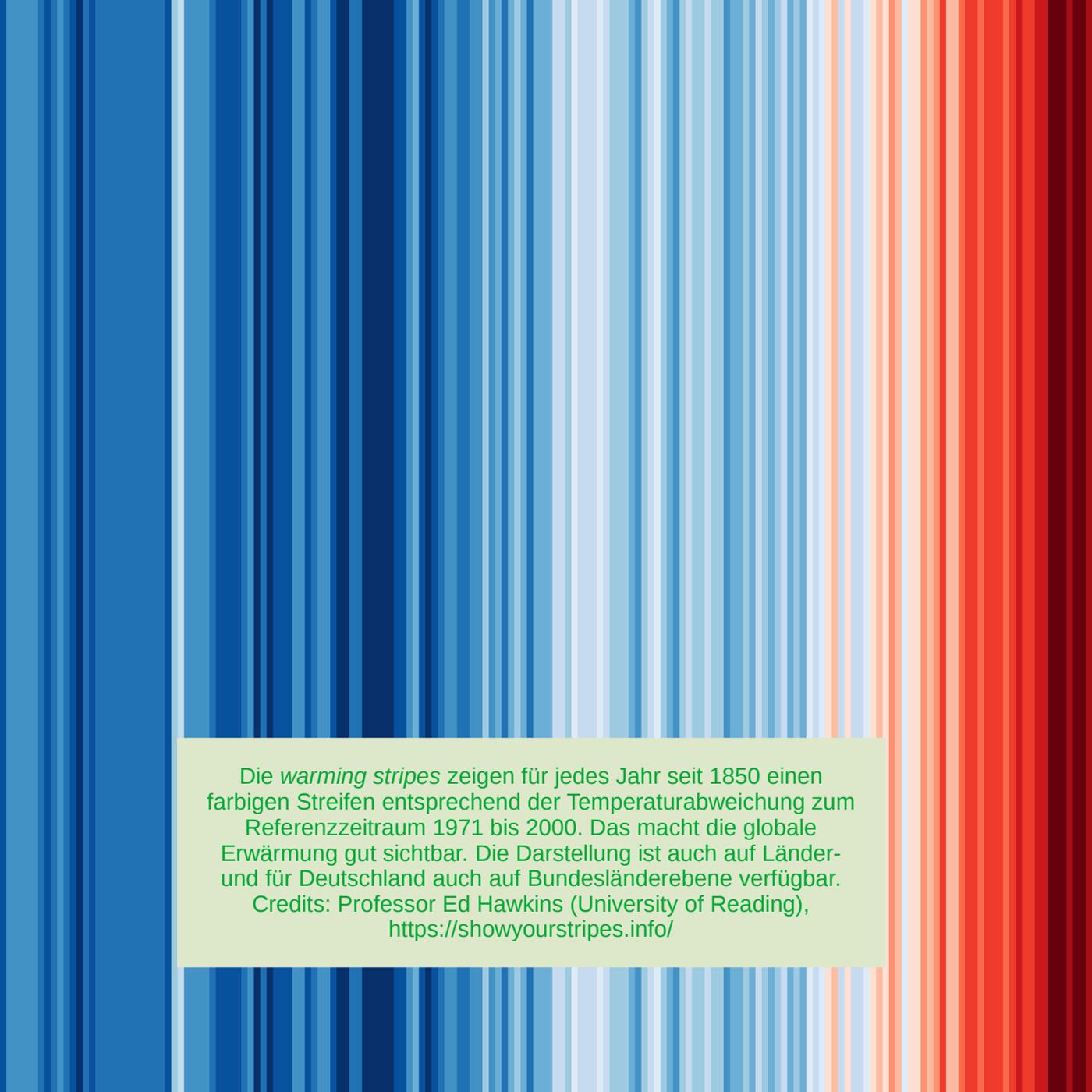
Folge 2, 27.01.2023: 3.000 Gt
CO₂-Gesamtmenge in der Erdatmosphäre (= 3.000 Mrd. t)

Folge 3, 10.02.2023: 40 Gt
Jährliche CO₂-Emission der Weltbevölkerung (= 40 Mrd. t)

Folge 4, 24.02.2023: 6.000 km
Durchschnittliche Pkw-Fahrstrecke pro Tonne CO₂-Ausstoß

Folge 5, 10.03.2023: 0,6 W/m²
Strahlungsüberschuss der Erde

Folge 6, 24.03.2023: $1,25 \times 10^{-10}$ %
Anteil des Radio- am gesamten Kohlenstoff in der Atmosphäre



Die *warming stripes* zeigen für jedes Jahr seit 1850 einen farbigen Streifen entsprechend der Temperaturabweichung zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Das macht die globale Erwärmung gut sichtbar. Die Darstellung ist auch auf Länder- und für Deutschland auch auf Bundesländerebene verfügbar.

Credits: Professor Ed Hawkins (University of Reading),
<https://showyourstripes.info/>