Kohlendioxid (CO_2) – gut oder schlecht?

Eine Faktenzusammenstellung für die Schriesheimer Ökostromer

von Winfried Plesch

überarbeitete und aktualisierte Ausgabe

Stand Juni 2023

Kontakt:

Die Schriesheimer Ökostromer
Postfach 1105
69191 Schriesheim
E-Mail: info@schriesheimer.oekostromplus.de

http://schriesheimer.oekostromplus.de/

Kohlendioxid (CO_2) – gut oder schlecht?

1. Ohne CO_2 kein Leben

Kohlendioxid – oder genauer Kohlenstoffdioxid – ist ein farbloses, geruchloses Gas und hat die chemische Formel CO_2, setzt sich also aus den Elementen Kohlenstoff und Sauerstoff zusammen. Es entsteht sowohl bei jeder Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen als auch in jedem Lebewesen durch Stoffwechselprozesse. So gewinnt der Mensch Energie zur Erhaltung der Körpertemperatur und zur Bewegung seiner Muskulatur durch die Verbrennung von z.B. Glukose, auch bekannt als Traubenzucker. Dabei entsteht unter anderem CO_2. In der Natur kennen wir wiederum das Phänomen der Photosynthese in den grünen Blättern der Pflanzen. Hier dreht sich der Verbrennungsprozess um: Mit Hilfe des Blattgrüns, des Chlorophylls als sogenanntem Katalysator, wandeln die Pflanzen Kohlendioxid und Wasser in Glukose und Sauerstoff um, wobei das Sonnenlicht die für diese Reaktion benötigte Energie liefert:

CO_2 + Wasser + Sonnenergie → Traubenzucker + Sauerstoff
($6\ CO_2 + 6\ H_2O + h\nu \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$).

Das ist die wunderbare chemische Reaktion, die unser Leben und Überleben auf diesem Planeten ermöglicht, indem durch sie ein Kreislauf zwischen dem Sauerstoff, den wir einatmen, und dem Kohlendioxid, das wir ausatmen, entsteht. Und außerdem liefert die Photosynthese aus Kohlendioxid und Wasser die organische Biomasse, die wiederum allen Pflanzenfressern als Nahrung dient [1, 2, 3]. Ohne CO_2 also kein Leben.

2. Unsere Atmosphäre

Unsere Luft besteht zu rund 99% aus Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%). Dazu kommen 1% Edelgase wie Argon und in Spuren noch Helium und Neon. Kohlendioxid enthält unsere Atmosphäre nur als Spurengas mit einem Anteil von derzeit global 0,0420% oder 0,420 Promille oder 420 ppm (parts per million, Teile pro eine Million) im Jahresmittel [4]. Aber gerade diese geringen Anteile an Spurengasen wie Kohlendioxid, Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Wasserdampf (H_2O) haben als sogenannte Treibhausgase einen immensen Einfluss auf das globale Klima und damit auf die Möglichkeit, dass auf dieser Erde überhaupt Leben entstand und weiter bestehen kann (s. Kapitel 4).

3. Ist CO_2 für den Menschen gefährlich?

Kohlendioxid entsteht bei jeder Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen sowie in jedem Lebewesen durch Stoffwechselprozesse. Aber kann uns CO_2 auch gesundheitlich gefährlich werden, ist es etwa giftig? Wie sagte schon Paracelsus im Jahre 1538: „Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis macht´s, daß ein Ding kein Gift sei.“ Und das gilt ebenso für das Kohlendioxid. Denn es ist unter bestimmten

Bedingungen ein besonders heimtückisches Gas, weil es farblos, unsichtbar und geruchlos ist und dazu schwerer als Luft. Damit verdrängt reines CO_2 in tiefliegenden, geschlossenen Räumen die Luft nach oben und damit auch den Sauerstoff. CO_2 wirkt dann ähnlich wie ***Stick***stoff, der seine Wirkung bereits im Namen trägt: Er er***stickt*** das Feuer, weil er es von der zum Brennen nötigen Sauerstoffzufuhr abschneidet. Auch für uns Menschen ist reiner Stickstoff tödlich, weil uns dann der Sauerstoff zum Atmen fehlt. Das gleiche gilt für reines CO_2: Wer in den "Kohlendioxidsee" gerät, erstickt in kürzester Zeit. Das wissen z.B. unsere Winzer, denn solche tragischen Unfälle gab es schon in Weinkellern, Gärkellern oder Futtersilos. Oft werden unvorsichtige Helfer, die an der Unfallstelle eine Person bergen wollen, selbst auch zum Opfer des geruchlosen Gases. Doch nicht nur reines Kohlendioxid ist wegen der Erstickungsgefahr gefährlich, sondern bereits Konzentrationen von 8% in der Atemluft wirken als Gift und können innerhalb von 30 bis 60 Minuten zum Tode führen (s. Tabelle).

Tabelle: Kohlendioxid – Physiologische Wirkungen
(Quelle: EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION, Sicherheitsinformation 24/11/D [5])

Volumenkonzentration Kohlendioxid in Luft	Wahrscheinliche Wirkungen
1 – 1,5 %	Geringe Auswirkungen auf den chemischen Stoffwechsel nach Exposition während mehrerer Stunden.
3 %	Bei dieser Konzentration wirkt das Gas schwach narkotisch und bewirkt vertiefte Atmung, vermindertes Hörvermögen in Verbindung mit Kopfschmerz, erhöhtem Blutdruck und erhöhtem Puls.
4 – 5 %	Reizung des Atemzentrums führt zu tieferem und schnellerem Atmen. Vergiftungssymptome werden nach 30 Minuten Exposition deutlicher.
5 – 10 %	Das Atmen wird mühsamer, verbunden mit Kopfschmerz und Verlust des Urteilsvermögens.
10 – 100 %	Wenn die Kohlendioxidkonzentration über 10 % steigt, tritt in weniger als 1 Minute Bewusstlosigkeit ein und wenn nicht sofortige Maßnahmen ergriffen werden, wird die weitere Exposition bei derart hohen Konzentrationen eventuell zum Tode führen.

4. Was ist der Treibhauseffekt, was sind Treibhausgase?

Der Gärtner nutzt in seinem Treibhaus den Treibhauseffekt, besonders in der kühleren Jahreszeit. Die Sonneneinstrahlung erwärmt Boden und Luft im Innern des Treibhauses. Die Glasscheiben verhindern das Entweichen der Wärme, sowohl indem sie die erwärmte Luft im Innern halten (primärer Effekt), als auch indem sie die Wärmestrahlung nach innen zurück reflektieren (sekundärer Effekt). Dadurch wird es im Treibhaus deutlich wärmer und dann können Tomaten sogar bei frostigen Außentemperaturen gedeihen.

In der Erdatmosphäre übernehmen die in Spuren vorhandenen **Treibhausgase** die Funktion der Glasscheiben. Sie behindern die Wärmeabstrahlung der Erde ins Weltall, indem sie die Wärmestrahlen (Infrarotstrahlung) absorbieren. Das tun sie bei ganz

spezifischen Wellenlängen, an denen sie vom Physiker eindeutig zu erkennen sind: Die Absorption bei Wellenlängen von 13 bis 17 µm – also im Infrarotbereich - wird beispielsweise durch Kohlendioxid verursacht. Bei der Absorption von Wärmestrahlung erwärmen sich die Gase selber und strahlen wiederum Wärme ab - aber in alle Himmelsrichtungen, also nicht nur ins Weltall, sondern auch zur Erde zurück. Dadurch erwärmt sich die Erde stärker als aufgrund der Sonneneinstrahlung eigentlich zu erwarten wäre.

Der Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre an sich ist weder gut noch schlecht. Durch die Wirkung der Treibhausgase bildete sich in den letzten 1,2 Millionen Jahren ein relativ stabiles Erdklima aus, das die Entstehung des Lebens erst ermöglicht hat. Denn ohne den Treibhauseffekt läge die Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche bei -19°C - und nicht bei +14°C! Ewiger arktischer Winter wäre das Schicksal des Planeten [2].

Treibhausgase sind somit Gase in der Erdatmosphäre, die den Wärmestrahlungshaushalt der Erde verändern. Sie stammen sowohl aus natürlichen wie aus menschlichen (anthropogenen) Quellen. Entsprechend unterscheidet man den natürlichen vom anthropogenen Treibhauseffekt. Das wichtigste Treibhausgas in der Atmosphäre ist **Wasserdampf (H_2O)**, dessen Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt zwei- bis dreimal so hoch wie der von **Kohlendioxid (CO_2)** ist. Um die anderen Treibhausgase mit Kohlendioxid vergleichen zu können, wird ihr Treibhauspotenzial (*Global Warming Potential, GWP*) zur Umrechnung verwendet: Das GWP gibt an, wie stark die Wirkung eines Gases im Vergleich zu Kohlendioxid ist. Weitere natürliche Treibhausgase sind **Methan (CH_4**, GWP 21) und **Lachgas (N_2O**, GWP 310) [3, 6, 7].

5. Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre im Laufe der Erdgeschichte

Unsere Erde ist ca. 4,5 Milliarden Jahre alt. In der Uratmosphäre gab es keinen Sauerstoff, dafür aber einen sehr hohen Gehalt an Kohlendioxid, Wasserdampf und Methan. Durch die hohe Treibhausgaskonzentration herrschten auf der Erde Durchschnittstemperaturen von über 50°C. Im entstehenden Ur-Ozean wurde dann aus der Atmosphäre CO_2 gelöst und in Sedimenten gebunden. Ebenso wurde CO_2 durch Verwitterung von Gesteinen an Land aus der Atmosphäre gebunden und über Sedimente ebenfalls dem Ozean zugeführt. Später kam die Entwicklung der Vegetation hinzu, die durch Photosynthese CO_2 aus der Atmosphäre entnahm und gleichzeitig Sauerstoff produzierte. Die Folge war eine zunehmende Abkühlung der Atmosphäre.

In der Zeit der Dinosaurier vor 100 bis 250 Millionen Jahren lag der CO_2-Gehalt in der Atmosphäre ca. 2- bis 3mal so hoch wie heute. Das hatte Temperaturen zur Folge, die um 8 Grad wärmer waren als heute. In den letzten 65 Millionen Jahren hat der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre dann die Entwicklung genommen, die zu den heutigen Klimaverhältnissen führte. Er sank in den letzten 35 Millionen Jahren beständig

auf etwa 300 ppm (parts per million). Bewegungen der afrikanischen und indischen Platte waren wohl der Hauptgrund für die Änderungen des CO_2-Gehaltes in dieser Zeit. Nach der Auffaltung vor allem des Himalaya verbrauchten starke chemische Verwitterungsprozesse sehr viel atmosphärisches CO_2, das mit den Sedimenten ins Meer gelangte und damit über lange Zeiträume dem Kohlenstoffkreislauf entzogen wurde.

Von Eisbohrkernen aus der Antarktis erhielt die Wissenschaft sehr gute Informationen über den CO_2-Gehalt der Atmosphäre der vergangenen 700 000 Jahre. Sie belegen besonders überzeugend den Zusammenhang zwischen Temperatur und CO_2-Konzentration. CO_2-Gehalt und globale Temperatur beeinflussen sich wechselseitig. Eine verringerte globale Temperatur senkt den CO_2-Gehalt, und ein niedrigerer CO_2-Gehalt führt zu einer noch stärkeren Temperaturabsenkung. Der CO_2-Gehalt bewegte sich dabei in einer Spanne zwischen 180 und 300 ppm. Die gegenwärtige CO_2-Konzentration in der Atmosphäre von 420 ppm liegt aber jenseits der eiszeitlichen Schwankungen und lässt sich nicht aus einer vorhergegangenen Erwärmung ableiten. CO_2-Konzentrationen von über 400 ppm hat die Erde seit mehreren Millionen von Jahren nicht gesehen [7]. Sie sind eine Folge anthropogener, also menschengemachter Emissionen, und für die aktuelle rapide Erwärmung des Erdklimas verantwortlich.

6. Der vom Menschen verursachte Treibhauseffekt

Neben dem natürlichen Treibhauseffekt beobachtet die Klimaforschung seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert den menschlich verursachten, anthropogenen Treibhauseffekt. Er ist auf den rapiden Anstieg der Emissionen von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und anderen synthetischen Gasen zurückzuführen, die sich in der Atmosphäre anreichern. So ist die Konzentration von CO_2 in der Erdatmosphäre mit dem Beginn des Industrie-Zeitalters, also seit etwa dem Jahre 1800, von 280 ppm auf heute aktuelle Tagesmittelwerte von 424 ppm [8] angestiegen, zuvor war sie in den letzten 35 Millionen Jahren beständig auf unter 300 ppm gesunken. Bei Methan stieg die Konzentration mit der Industrialisierung von 729 ppb (parts per billion, Teile pro eine Milliarde) auf 1889 ppb, bei Lachgas von 270 ppb auf 333 ppb [7]. Menschliche Aktivitäten haben zu dieser Zunahme der Treibhausgase geführt. Andere Treibhausgase wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) kommen in der natürlichen Zusammensetzung der Erdatmosphäre gar nicht vor. Diese Gase werden seit ca. 1930 technisch hergestellt und sind in ihren Konzentrationen in der Atmosphäre seither erheblich gestiegen.
Erstmals deutlich vor Augen geführt wurde der menschliche Einfluss auf das Klima durch die Daten einer Messstation auf dem Mauna Loa auf Hawaii, deren Lage für atmosphärische Messungen besonders gut geeignet ist, da die Luft in der Umgebung durch lokale Einflüsse der Vegetation oder durch den Menschen z.B. durch Industrie-emissionen kaum unmittelbar beeinträchtigt wird. Dort wird seit 1958 der Gehalt an CO_2 in der Atmosphäre durch direkte Messungen bestimmt [9]. Die Ergebnisse zeigen einen

kontinuierlichen Anstieg der CO_2-Konzentrationen von Beginn der Messungen an. Die ersten Messungen ergaben 1958 einen Durchschnittswert von 316 ppm. Bis 2022 sind die jährlichen Durchschnittswerte kontinuierlich bis auf 420 ppm angestiegen (s. Abb. 1, [4]). Aktuell liegen die täglichen Durchschnittswerte Anfang Juni 2023 sogar bei 424 ppm (s. Abb. 2, [8]).
Durch indirekte Verfahren, wie etwa durch die Analyse von in Eisbohrkernen eingeschlossenen Luftbläschen, wurde der vorindustrielle Wert auf 280 ppm bestimmt. Damit entsprechen die Werte von 2022 einer 50-prozentigen Steigerung in ca. 250 Jahren. Eine drastische Änderung in einem erdgeschichtlich nie dagewesenen Tempo.

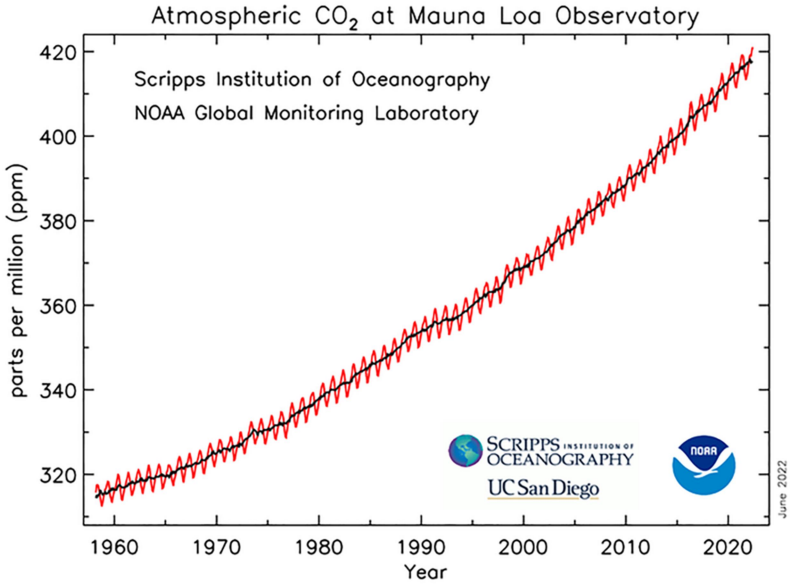

Abb. 1: CO_2-Konzentrationen am Mauna Loa seit 1958 (Quelle: NOAA, 2022)

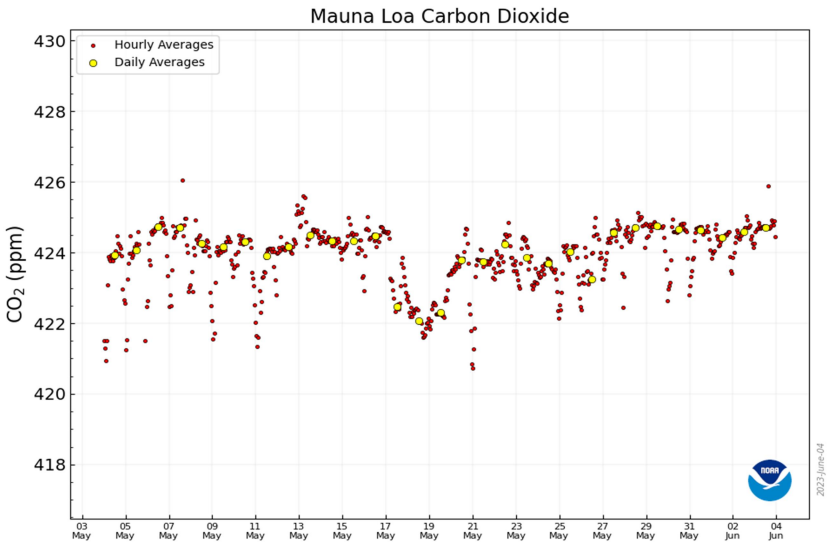

Abb. 2: CO_2-Konzentrationen am Mauna Loa im Zeitraum 3. Mai bis 4. Juni 2023 (Quelle: NOAA, 2023)

Kohlendioxid wird insbesondere durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie Erdöl, Kohle oder Erdgas freigesetzt. Als Basis für Benzin, Diesel und Kerosin spielt Erdöl eine große Rolle im Verkehrssektor. Weitere Quellen für die CO_2-Emissionen sind Waldrodungen und Bodenerosion sowie die Holzverbrennung. Ein Teil des bislang durch menschliche Aktivitäten ausgestoßenen Kohlendioxids wird von den Ozeanen aufgenommen. Dadurch wird zwar der Treibhauseffekt verringert, jedoch führt dies zu einer Versauerung des Meeres, mit massiven Folgen für die marinen Ökosysteme.

Methan wird vor allem beim Reisanbau und in der Viehhaltung freigesetzt. Außerdem entweicht Methan bei der Gewinnung von Erdöl oder Erdgas. Zusätzlich wird das Gas bei der Verbrennung von Biomasse aus Mülldeponien und aus Abwässern freigesetzt.

Lachgas entsteht bei der Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern und wird beim Einsatz von Düngemitteln freigesetzt.

Nachgewiesen ist inzwischen, dass die Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen maßgeblich zu der im letzten Jahrhundert beobachteten Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur in Bodennähe von circa 0,74°C beigetragen hat. Das Jahr 2022 zum Beispiel war im globalen Mittel etwa 1,15°C wärmer als der Durchschnitt der Jahre von 1850 bis 1900, die als Maß der vorindustriellen Zeit gelten [1].

7. Klimaskeptiker / Klimaleugner

Wer den menschengemachten Klimawandel anzweifelt oder gar leugnet, wird kurz als Klimaskeptiker bzw. Klimaleugner bezeichnet. Diese argumentieren in der Klimafrage oft nach folgendem Muster: Sie bezeichnen die gegenwärtige Erwärmung als natürlichen Vorgang und bestreiten als Ursache die anthropogenen Treibhausgasemissionen. Dabei ziehen sie Entwicklungen aus der Vergangenheit als Beispiele heran, ohne zu beachten, dass die früheren Entwicklungen mit den Vorgängen während der letzten Jahrzehnte gar nicht vergleichbar sind. Zudem haben sich viele dieser Entwicklungen während ganz anderer Zeiträume, nämlich über Millionen von Jahren, abgespielt oder bezogen sich auf geographisch begrenzte Gebiete. Oft ziehen die Skeptiker Zitate oder einzelne Resultate aus dem Zusammenhang der wissenschaftlichen Arbeiten, damit diese ins gewünschte Bild passen. Auch fußt die Argumentation häufig auf Arbeiten, die in der wissenschaftlichen Diskussion längst widerlegt wurden (Quelle: Umweltbundesamt [10]).

Wer mehr über die Thesen der „Klimawandelskeptiker“ und die Entgegnungen der Fachleute erfahren möchte, findet in der Broschüre des Umweltbundesamtes mit dem Titel „Und sie erwärmt sich doch“ detaillierte Informationen und umfangreiches Faktenmaterial [11].

8. Quellen:

- [1] Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn:
  https://www.bpb.de/themen/klimawandel/dossier-klimawandel/517115/klimawandel-die-gestoerte-balance/

- [2] Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn:
  http://www.bpb.de/izpb/8988/klimawandel-und-klimaschutz

- [3] Jürgen Paeger, Diplom-Biologe, Bochum:
  http://www.oekosystem-erde.de/html/treibhausgase.html

- [4] National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC 20230 (USA):
  https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2_trend_mlo.pdf

- [5] EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION, Brüssel:
  Sicherheitsinformation 24/11/D

- [6] Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau:
  https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase

- [7] Climate Service Center, Hamburg
  https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlendioxid-Konzentration
  und
  http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase

- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC 20230 (USA):
  https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2_data_mlo.png

- [9] Wikimedia Foundation Inc., San Francisco, USA:
  https://de.wikipedia.org/wiki/Messstation_Mauna_Loa

- [10] Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau:
  https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/klimawandel-skeptiker#textpart-3

- [11] Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau:
  https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/und_sie_erwaermt_sich_doch_131201.pdf