



## Zur Rolle des Kohlenstoffdioxids für das Klima

*Helmut Ullmann (Freital) und Martin Bülow (Dierhagen, MLS)*

Veröffentlicht: 15. August 2023

### Zusammenfassung

Die Rolle des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) als Hauptverdächtiger des globalen Klimawandels wird anhand thermodynamischer Daten bewertet. Nach den Werten der molaren Wärmekapazität kann keine erhöhte wärmespeichernde Eigenschaft festgestellt werden. Die Absorption und Desorption von IR-Strahlung der sogenannten Treibhausgase werden als reversibler dynamischer Prozess aufgefasst, der einerseits die IR-Einstrahlung von der Sonne reduziert, andererseits die Rückstrahlung von der Erde verzögert. Die Treibhausgase spielen als Wandler von Wärme in IR-Photonen und umgekehrt eine wichtige Rolle für den Ausgleich der Strahlungsbilanz. Die thermodynamische Analyse kann eine klimaschädigende Wirkung des  $\text{CO}_2$  nicht bestätigen.

### Abstract

The role of the greenhouse gas carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) as the mainly blamed suspect of global climate change is evaluated on the basis of thermodynamic data. According to values of the molar heat capacity, no enhanced heat-storing property can be determined. The absorption and desorption of IR radiation from the so-called greenhouse gases are understood as a reversible dynamic process, which on the one hand reduces the IR radiation from the sun, and on the other hand delays the re-radiation from the earth. As converters of heat into IR photons and *vice versa*, the greenhouse gases play an important role in balancing the radiation balance. The thermodynamic analysis cannot confirm a climate-damaging effect of carbon dioxide.

### Schlüsselwörter/Keywords

Kohlendioxid, Treibhausgase, Molekulare Wärmekapazität, Strahlungsbilanz, Translationsenergie, Schwingungsenergie, IR-Absorption/-Desorption, Wärme/Strahlungs-Wandler

Carbon dioxide, greenhouse gases, molar heat capacity, radiation balance, energy of translation, energy of swinging, IR absorption/desorption, heat/radiation transmitter

### 1 Ausgangssituation

Der Planet Erde verhindert mit seiner Lufthülle, dass es am Tage zu heiß und nachts zu kalt wird. Die eingestrahelte Sonnenenergie gelangt gefiltert auf die Erdoberfläche und wird verzögert von ihr abgegeben. So entsteht in den unteren Schichten der Atmosphäre ein Klima wie in einem Treibhaus, wo sich das Leben entwickeln konnte. Während die Temperatur am oberen Rand der Atmosphäre nach Sattelitenmessungen  $-18\text{ °C}$  beträgt, werden an der Erdoberfläche im Durchschnitt  $+15\text{ °C}$  gemessen. Die Differenz von 33 Grad bezeichnet man als Treibhauseffekt. Störungen in der Funktion des Treibhauses könnten eine global und digital vernetzte Milliardenbevölkerung empfindlich treffen.

Ausgangspunkt der Klimaforschung ist die gemessene Zunahme der Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre während der letzten 150 Jahre. Das wird der Industriellen Revolution mit Nutzung von Kohle, Öl und Gas angelastet. Der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration von 280 auf 420 Vol.-ppm wurde sehr genau auf dem Mauna Loa von Hawaii gemessen.

Im gleichen Zeitraum wurde ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur von 287 auf 288 K (d.h. um 0,3 %) festgestellt. Die Bestimmung der globalen Temperatur liegt im Rahmen der Messgenauigkeiten; man denke an eine große Zahl von Messstellen, die über Jahrzehnte vergleichbare Werte liefern müssen, teilweise inzwischen von Städten eingerahmt, deren Messwerte deshalb mit „Korrekturen“ versehen werden.

Die so bestimmte CO<sub>2</sub>-Temperatur-Zeit-Beziehung hat zu dem Verdacht geführt, menschengemachte CO<sub>2</sub>-Emissionen wären Ursache des Temperaturanstiegs. Der Treibhauseffekt wurde zum Gegenstand unsicherer Klimaextrapolationen bis zum Ende unseres Jahrhunderts mit Voraussage einer Klimakatastrophe. In der Folge werden mit politischer Macht Null-Emissions-Ziele durchgesetzt, die zu Deindustrialisierung und Verarmung der Gesellschaft führen können. Gleichet das nicht einer Vorverurteilung des Kohlenstoffdioxids?

Eine Reihe von Fragen bleibt offen. Was nicht gesagt wird: In der Mitte des 19. Jahrhunderts endete die sogenannte Kleine Eiszeit. Diese Abkühlphase nach dem Mittelalter war besonders auf der Nordhalbkugel der Erde durch 1 bis 2 Grad niedrigere Temperaturen im Vergleich zur Gegenwart charakterisiert.

Kann die CO<sub>2</sub>-Temperatur-Abhängigkeit nicht eine zufällige sein? Ein langzeitiger Zusammenhang zwischen globaler Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration kann nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, weil sowohl die globale Temperatur als auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration über Jahrmillionen nur indirekt und über sehr große Zeitspannen ermittelt werden können. Ungeklärt in der Beziehung zwischen CO<sub>2</sub>-Konzentration und Temperatur bleibt auch die Frage nach Ursache und Wirkung: Bewirkt die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration einen Temperaturanstieg, oder wird durch einen Temperaturanstieg der Meeresoberflächen nicht nur mehr Wasser verdampft, sondern auch mehr CO<sub>2</sub> aus dem Meerwasser freigesetzt? Die Menge des im Meer gelösten CO<sub>2</sub> wird zigfach größer angenommen als die in der Atmosphäre. Entsprechende Argumente und Gegenargumente wurden zuletzt vom Umweltbundesamt zusammengefasst (Umweltbundesamt 2013).

Aus diesem Grund sollte dem CO<sub>2</sub> als dem zentralen Objekt dieser Maßnahmen größte Aufmerksamkeit der Forschung gewidmet werden. Wissenschaftliche Aufklärung wäre erforderlich. Einschlägige Forschungsinstitutionen leben jedoch von staatlichen Fördermitteln, wodurch Forschungsziele beeinflusst werden können. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, aus der Analyse bekannter physikalisch-chemischer Daten und ihrem Bezug auf das CO<sub>2</sub>-Molekül ein reales Bild zu erhalten.

## 2 Kenntnisstand zum Strahlungsgleichgewicht

An der äußeren Lufthülle der Erde, in ca. 20 km Höhe, hat die Sonnenstrahlung eine Leistungsdichte von etwa 1,35 kW/m<sup>2</sup> (Solarkonstante). Auf dem Weg durch die Atmosphäre wird die Sonnenstrahlung durch Reflexion und Absorption geschwächt, abhängig von Weglänge und Einstrahlwinkel. An der Erdoberfläche beträgt die Leistung der Sonnenstrahlung maximal noch 1 kW/m<sup>2</sup>, abhängig von geographischer Breite, Höhenlage, Witterung sowie Tages- und Jahreszeit. Bei höherer geographischer Breite beschränkt sich der Spitzenwert auf die Mittagszeit und auf die Monate Juni und Juli. Am 60. Breitengrad sind das beispielsweise im Sommer bis 900 W/m<sup>2</sup>, im Winter bis 200 W/m<sup>2</sup>.

Das Spektrum der Sonnenstrahlung reicht von Ultraviolett (UV) über den sichtbaren Bereich des Lichts bis zum Infrarot (IR) mit zunehmender Wellenlänge. Im Mittel erreichen

nach verschiedenen Angaben (Leitgeb 1990, S. 195–198; IPCC 2023) ca. 50 bis 70 % der eingestrahnten Energie die Erdoberfläche, wobei sich die spektrale Verteilung zugunsten der langwelligen Anteile verschiebt. Die Zahlen schwanken je nach Wetter, Luftfeuchte und regionalen Luftverunreinigungen in einem weiten Bereich.

Die energiereichste UV-Strahlung wird in chemischen Reaktionen unter Bildung und Zerfall von Ozon (O<sub>3</sub>), bereits in der Stratosphäre absorbiert (Feister 1990, S. 50–52). Nur etwa ein Zehntel der UV-Strahlung erreicht die Erdoberfläche.

Sichtbares Licht wird von Wolken und Feinstaub in der Atmosphäre reflektiert, nur etwa die Hälfte erreicht die Erdoberfläche und wird zum Teil als Strahlung reflektiert.

IR-Strahlung wird von Wasserdampf, von Aerosolen und von Spurengasen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und anderen) in der Atmosphäre absorbiert. Am Boden kommt etwa nur die Hälfte der ursprünglichen IR-Strahlung an (Tabelle 1).

Tabelle 1 Absorption von Teilen der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre  
(Leitgeb 1990, S. 195–198)

Strahlungsart	Wellenlängen	vor Atmosphäre (100 %)	am Boden (58 %)
Infrarot (IR)	1000 – 0,78 µm	42 %	53,5%
Sichtbares Licht	0,78 – 0,38 µm	49 %	45 %
Ultraviolett (UV) A, B, C	0,38 – 0,10 µm	9 %	1,5 %

An der Erdoberfläche wird die absorbierte Sonnenstrahlung in Feststoffen und Wasser absorbiert und über Molekül- bzw. Gitterschwingungen in Wärme gewandelt. Diese wird von erwärmten Dachflächen, Betonautobahnen, Hauswänden, Ackerflächen, Gewässern etc. auf die Moleküle der Luftbestandteile übertragen. Erwärmte Luft hat eine geringere Dichte als kalte und steigt daher auf. Sie breitet sich durch Konvektion, Luftströmungen, Hoch- und Tiefdruckgebiete in der Atmosphäre aus. Ein Teil wird von der festen Erdoberfläche als IR-Strahlung abgestrahlt.

Über welche Energiemengen in der Atmosphäre wird hier gesprochen? Die Enthalpie der Atmosphäre wurde auf  $\Delta H = 1,26 \times 10^{24}$  J geschätzt. Die Energie der täglichen Sonneneinstrahlung beträgt  $1,06 \times 10^{22}$  J; das entspricht 0,8 % der gespeicherten Energie (Hug 2000). Strenggenommen muss die in 12 Stunden von der Sonne als UV bis IR eingestrahlte und zum Großteil in Wärme gewandelte Energie in 24 Stunden vorwiegend als IR wieder abgestrahlt werden, um die Strahlungsbilanz auszugleichen.

Die Strahlungsbilanz zwischen Sonne und Erde ist ausgeglichen, solange keine Änderungen an solaren oder planetaren Parametern auftreten. Das passierte in der Geschichte unseres Planeten mehrfach, denn Sonnenaktivität, Erdbahn oder Erdachse veränderten und verändern sich, Luft- und Meeresströmungen ebenso. Es gab Eiszeiten und Warmzeiten, aus Grünland wurden Wüsten und umgekehrt. Gleiches wird sich auch künftig wiederholen.

Aber auch bei konstanten kosmischen Parametern ist die Strahlungsbilanz weder täglich noch über ein Jahr ausgeglichen, manchmal erst in Jahrtausenden. Energie wird dem Zustrom von der Sonne entnommen und in der Ökosphäre oder auch der Technosphäre gespeichert. Erst beim bakteriellen Abbau wie auch bei der Müllverbrennung gelangt die gespeicherte Energie wieder in die Umwelt zurück.

### 3 Treibhausgase – eine molekulare Analyse

Im Gegensatz zu den Hauptbestandteilen der Luft, den zweiatomigen Gasen Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>), weisen drei- und mehratomige Gasmoleküle wie Wasser (H<sub>2</sub>O, bis zu 5 % in der Atmosphäre) und Spurengase wie CO<sub>2</sub>, Methan (CH<sub>4</sub>) und andere (in der Summe weniger als 0,1 Vol.-% in der Atmosphäre) auf Grund ihres Molekülbaus in ihren Spektren Oszillations- und Deformationsschwingungen auf, die durch IR-Strahlung bestimmter Frequenzen, insbesondere im Bereich von 1 bis 15 µm Wellenlänge, angeregt werden und dabei IR-Photonen absorbieren (Czeslik et al. 2010). So können sie zusätzlich zur Bewegungsenergie im Raum innere Energie im Molekül aufnehmen, entsprechend Anzahl und Größe der Resonanzfrequenzen (NASA 2009). Insbesondere H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>, weniger CH<sub>4</sub> und O<sub>3</sub> werden als die Treiber des Treibhauseffekts angesehen.

Durch die IR-Absorption in den mehratomigen Gasen erhöht sich die in der Atmosphäre gespeicherte Energie; jene Gase werden deshalb als Treibhausgase bezeichnet. Wasserdampf und die Treibhausgase unterscheiden nicht zwischen IR-Ein- und Ausstrahlung. Sie absorbieren also auch die IR-Einstrahlung durch die Sonne (Tabelle 1). Dadurch wird die feste Erdoberfläche weniger aufgeheizt, und in der Folge wird weniger Wärme von der Erdoberfläche an die Luft übertragen.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Energiegrößen wurden in Milli-Elektronenvolt (meV) umgerechnet, um sie mit den Photonen-Energien vergleichen zu können. Wird die durchschnittliche Wärmekapazität der Luft mit ca. 30 J/mol K bei 25 °C (298 K) angenommen (siehe unten), so errechnen sich die Energiewerte je Molekül in meV nach

$$1 \text{ mol} = 6,02 \times 10^{23} \text{ Moleküle} \quad 1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

Die durchschnittliche Wärmeenergie je Gasmolekül bei 25 °C (298 K) beträgt dann:

$$30 / (6,02 \times 10^{23}) \times 298 \text{ J/Molekül} = 1,5 \times 10^{-20} \text{ J/Molekül} = 100 \text{ meV/Molekül.}$$

Mit zunehmender Höhe nimmt die Temperatur in der Atmosphäre ab, die Energie je Molekül dürfte dann in den Wellenlängen-Bereich des fernen IR fallen.

Tabelle 2 Energien je IR-Photon

IR-Spektrum	Wellenlänge	Energie $\epsilon = h\nu$ (meV)
Fernes IR	15 – 6 µm	> 1,2 meV
Mittleres IR	6 – 3	> 25 meV
Nahes IR	3 – 0,78 µm	> 500 meV

Unter den Treibhausgasen liefert der atmosphärische Teil des Wasserkreislaufs den größten Beitrag zum Treibhauseffekt wegen der hohen Konzentration von Wasserdampf (bis 5 %), zusätzlich mit den Umwandlungswärmen:

$$\begin{array}{llll} \text{Schmelzwärme} & 6,0 \text{ kJ/mol} & = & 62 \text{ meV/Molekül,} \\ \text{Verdampfungswärme} & 40,7 \text{ kJ/mol} & = & 422 \text{ meV/Molekül.} \end{array}$$

Weil der Wasserkreislauf jedoch weitgehend unabhängig von menschlichen Einwirkungen abläuft, wird dem CO<sub>2</sub> die Hauptschuld für die Klimaerwärmung zugeschrieben – und hier sogar noch dem anthropogenen Beitrag, obwohl dieser (summiert über die Jahre) nur auf 1/3 der 0,042 % geschätzt wird.

#### 4 Der Treibhauseffekt – eine thermodynamische Analyse

Wärme in Gasen ist Bewegungsenergie der Gasmoleküle. Die Moleküle geraten in Bewegung durch Kontakt mit warmen Feststoffen der Erdoberfläche, mit Gewässern, durch Stoß mit anderen Gasmolekülen, oder sie werden durch Strahlung angeregt. Die Wärme verteilt sich statistisch in Form einer Gauss'schen Glockenkurve auf die einzelnen Moleküle. Die Temperatur ist also stets ein Durchschnittswert. Wärme von Gasmolekülen setzt sich zusammen, je nach Aufbau des Moleküls, aus Translations-, Rotations- und Schwingungsenergie:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{trans}} + E_{\text{rot}} + E_{\text{swing}}.$$

Das Maß für die maximal aufnehmbare Wärmeenergie eines Gases ist die spezifische bzw. molare Wärmekapazität  $C_p$  (Kortüm 1981, Tabellensammlung 2023) (Tabelle 3).

Die  $C_p$ -Werte für einatomige und zweiatomige Gase sind unabhängig vom Atom- bzw. Molgewicht. Die einatomigen Gase besitzen nur Translationsfreiheitsgrade zur Aufnahme von Energie. Für die zweiatomigen Gase  $N_2$  und  $O_2$  ist die maximal aufnehmbare Energie etwa von gleicher Größe. Bei den zweiatomigen, doppelt- bzw. dreifachgebundenen  $O_2$ - und  $N_2$ -Molekülen kommen zu den Translationsfreiheitsgraden noch Rotations- und Oszillationsfreiheitsgrade. Sie erhöhen die Wärmekapazität um etwa 40 % gegenüber der Translationsenergie der einatomigen Gase. Ihre Anregung erfordert aber höhere Temperaturen bzw. energiereichere Strahlung außerhalb des IR-Bereichs.

Die Wärmekapazitäten von mehratomigen Gasen wie  $H_2O$  und Spurengasen  $CO_2$ ,  $CH_4$  sowie  $SO_2$  sind durch Anregung von Valenz- und Deformationsschwingungen in ihren Molekülen um weitere ca. 20 % größer als die der  $O_2$ - und  $N_2$ -Moleküle. Diese Freiheitsgrade werden durch IR-Photonen aktiviert (Watts 2014). Multipliziert mit der geringen Konzentration der Spurengase, in Summe weniger als 0,1 Vol.-%, können diese die Wärmespeicherung der Luft nicht merklich erhöhen. Das  $CO_2$ -Molekül als Energiespeicher anzusehen, ist mit den Messwerten für die Molwärmen nicht begründbar.

Die molaren Wärmekapazitäten der Gase zeigen, dass der größte Teil der Energie als Translationsenergie (Bewegung der Gasmoleküle im Raum) gespeichert ist. Die Aufteilung des Treibhauseffekts von 33 Grad allein auf Wasserdampf und die Spurengase lässt den großen Anteil der in Stickstoff und Sauerstoff enthaltenen Wärme unberücksichtigt. Die Wärmerückhaltung im Treibhaus Erde wird durch alle Gasbestandteile entsprechend ihrer molaren Wärmekapazitäten und Konzentrationen in der Atmosphäre bewirkt.

Tabelle 3 Molare Wärmekapazitäten von Gasen

<i>a) einatomige Gase</i>			
Element	Atomgewicht	$C_p$ (J/mol K)	spez. $C_p$ (J/g K)
Helium	4	20,76	5,190
Neon	20	20,80	1,030
Argon	40	20,96	0,524
<i>b) zweiatomige Gasmoleküle</i>			
Verbindung	Molgewicht	$C_p$ (J/mol K)	spez. $C_p$ (J/g K)
Wasserstoff $H_2$	2	28,72	14,36
Stickstoff $N_2$	28	29,1	1,04
Sauerstoff $O_2$	32	29,2	0,912

Stickoxid NO	30	30,27	1,009
Kohlenmonoxid CO	28	29,43	1,051
<i>c) mehratomige Gasmoleküle</i>			
Verbindung	Molgewicht	C <sub>p</sub> (J/mol K)	spez. C <sub>p</sub> (J/g K)
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	44	37,2	0,846
Methan CH <sub>4</sub>	16	35,4	2,21
Ammoniak NH <sub>3</sub>	17	35,02	1,56
Schwefeldioxid SO <sub>2</sub>	64	39,94	0,624
Wasserdampf H <sub>2</sub> O	18	33,4	1,85

Anmerkung: Die Werte wurden teils bei unterschiedlichen Temperaturen (0 °C, 25 °C oder ohne Temperaturangabe) gemessen; die Temperaturabhängigkeiten der Werte sind jedoch gering und verändern nicht die Abstufungen zwischen a, b und c.

In einem Gasraum stehen alle Moleküle durch gegenseitige Stöße miteinander im Kontakt und tauschen Energie aus. Die thermodynamischen Gesetze erlauben kein statisches Verhalten einzelner Moleküle oder Molekülarten. Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik gibt die Richtung des Wärmeflusses vor: Die Wärme verteilt sich von heißen auf kältere Moleküle. Dauerhafte *Hotspot*-Moleküle sind unter der Gauss'schen Glockenkurve der statistischen Energieverteilung nicht vorstellbar.

## 5 Wissenslücken und Lösungsansätze

Der gegenwärtig postulierte Temperaturanstieg durch die Treibhausgase wird als Hindernis für den Ausgleich der Strahlungsbilanz angesehen. Wie gelangt die Wärme zurück in den Weltraum? Wärme, gebunden an Moleküle, kann die Erde wegen der Anziehungskräfte (Gravitation) nicht verlassen. Der Energieaustausch zwischen der Erde und dem Weltall erfolgt ausschließlich über elektromagnetische Strahlung.

Nur 15 bis 30 % der eingestrahnten Energie werden von der Erdoberfläche als IR-Strahlung zurückgestrahlt (IPCC 2013). Die Rückstrahlung wird von Treibhausgasmolekülen absorbiert und nach allen Richtungen wieder ausgestrahlt. Der Anteil der IR-Strahlung in Richtung Erde wird als Begründung für die Zunahme der mittleren globalen Oberflächentemperatur angesehen. Werte für einen „Strahlungsantrieb“ werden berechnet (IPCC, 6. Sachstandsbericht 2023), wobei dem CO<sub>2</sub> bei Vernachlässigung der Wirkung von H<sub>2</sub>O die Hauptlast der Treibhauswirkung angelastet wird.

Betrachten wir die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Moleküls näher. IR-Photonen werden absorbiert, indem sie ihre Energie in Schwingungsenergie des Moleküls umwandeln. Bei Abkühlung geben sie die IR-Photonen wieder ab. Die Treibhausgase sind – wie erwähnt worden ist – in der Lage, die IR-Einstrahlung von der Sonne so weit zu reduzieren, dass nur die Hälfte die Erdoberfläche erreicht (Tabelle 1). Man kann annehmen, dass die Abstrahlung aus den Molekülen in Richtung Erdoberfläche durch die höhere Dichte an molekularen „Absorbern“ behindert wird. Gleiches muss für die IR-Rückstrahlung von der Erde gelten. Die „mittlere freie“ Weglänge der IR-Photonen in Richtung All ist länger als die in Richtung Erde wegen der abnehmenden Dichte an molekularen „Absorbern“ in Richtung All.

Auch durch Stöße mit Gasmolekülen bestimmter Energie sollten Resonanzschwingungen in den Molekülen der Treibhausgase sowohl generiert als auch gestoppt und in Photonen gewandelt werden können:

$$E_{\text{trans}} \quad \Leftrightarrow \quad E_{\text{swing}} \quad \Leftrightarrow \quad E_{\text{phot}} .$$

In einem solchen reversiblen Prozess wären die sogenannten Treibhausgase in der Lage, in der Atmosphäre gespeicherte Wärme in IR-Strahlung zu wandeln und umgekehrt. Ein solches reversibles Reaktionsverhalten kommt den Erfahrungen aus der Thermodynamik der Gase näher als die von der Klimaforschung postulierte Sonderstellung des CO<sub>2</sub>-Moleküls als Energiespeicher.

Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid würden dann ebenso wie weitere Spurengase als Transmitter und IR-Photonen-Sender wirken, ohne die der Prozess des Energieaustauschs zwischen der Erdatmosphäre und dem All in beiden Richtungen nicht ablaufen kann.

Nach diesen Vorstellungen sind nicht die „Treibhausgase“, sondern die Hauptbestandteile der Atmosphäre, Stickstoff und Sauerstoff, mit ihrer Translationsenergie für die lebenserhaltende Wärmespeicherung im Treibhaus Erde verantwortlich. Die bisher als Treibhausgase bezeichneten Gase Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan u. a. haben dank ihrer Eigenschaft, mit ihren molekularen Schwingungsspektren Wärme in IR-Photonen und umgekehrt umzuwandeln, die Aufgabe von Transmittern und Sendern, die den Energieabfluss zwischen Erde und All regulieren. Nur in solcher Funktion können sie auch in geringer Konzentration große Wirkung erzielen.

Diese Vorstellungen stehen im Widerspruch zu dem häufig zitierten (Umweltbundesamt 2013) Konsens der Klimawissenschaftler. Die Rolle des Kohlenstoffdioxids als Klimakiller wäre daher dringend zu überprüfen, um tiefgreifende Maßnahmen der „Dekarbonisierung“ zu überdenken.

## Bibliographie

- Czeslik, Claus / Seemann, Heiko / Winter, Roland (2010): *Basiswissen Physikalische Chemie*. Wiesbaden: Vieweg und Teubner, GWV Fachverlage GmbH.
- Feister, Uwe (1990): *Ozon – Sonnenbrille der Erde*. *Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek*. Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- Hug, Heinz (2000): „Zweifel am anthropogenen Treibhauseffekt“. *CHEMKON* 7, 6–14.
- IPCC (2013): AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *IPCC Reports*.
- IPCC (2023): 6. *Sachstandsbericht des IPCC*, März 2023. Klimawandel 2021. Naturwissenschaftliche Grundlagen (de-ipcc.de).
- Kortüm, Gustav (1981): *Einführung in die chemische Thermodynamik*. Basel: Verlag Chemie.
- Leitgeb, Norbert (1990): *Strahlen, Wellen, Felder*. Stuttgart, New York: Thieme Verlag; München: Deutscher Taschenbuchverlag.
- NASA (2009): earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page7.php; January 14, 2009.
- Tabellensammlung (2023): *Tabellensammlung Chemie/ spezifische Wärmekapazitäten/ Temperaturabhängigkeit von Cp bei Gasen/de.wikibooks.org*.
- Umweltbundesamt (2013): *Und sie erwärmt sich doch. Was steckt hinter der Debatte um den Klimawandel?* Schriftenreihe Broschüren vom Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. 1. Auflage.
- Watts, Anthony (2014): Methane: The Irrelevant Greenhouse Gas. Home/2014/April/11; Guest essay by Dr. Tom Sheahan. <https://wattsupwiththat.com/2014/04/11/methane-the-irrelevant-greenhouse-gas/>.

**E-Mail-Adressen der Verfasser:** helmut.u@gmx.net  
mrtnblw@gmail.com