

Experimentelle Verifikation des Treibhauseffektes 5. Mitteilung: Die IR-Strahlung der Spurengase



Eine Beurteilung der Strahlungsfähigkeit ist zunächst schwierig, da hier viele Parameter wie Konzentration, Temperatur, Hintergrund oder Anzahl der beteiligten Moleküle (Abb. 1) berücksichtigt werden müssen. Um dennoch die IR-aktiven Gase mit einer einzigen Kennziffer charakterisieren und bewerten zu können, wurde ein molarer Emissionsgrad ϵ_m eingeführt. Dabei wird die IR-Strahlungsdichte von 1 mol eines IR-Gases mit der eines Schwarzkörpers verglichen (Tab. 1). Setzt man den molaren Emissionsgrad ϵ_m von $\text{CO}_2 = 1$, erhält man den relativen Emissionsgrad ϵ_{rel} von IR-aktiven Gasen im Vergleich zum CO_2 .

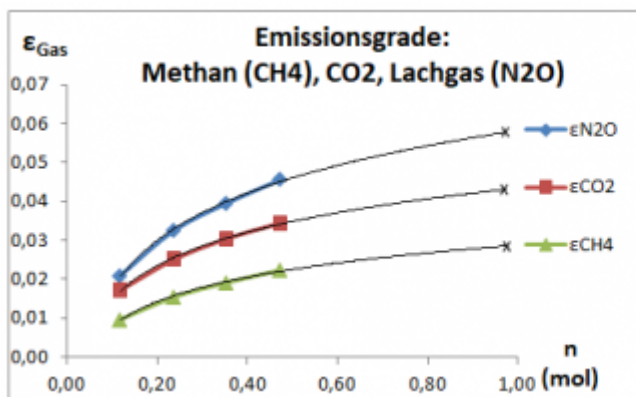


Abb. 1: Gefundene und berechnete Emissionsgrade von Methan, CO_2 und Lachgas für 0,1 - 1,0 mol

Tab. 1: Molare Emissionsgrade ϵ_m und Vergleich mit CO_2

IR-Gas	ϵ_m : Molarer Emissionsgrad	ϵ_{rel} : Relativer Emissionsgrad
Methan (CH_4)	0,029	0,66
CO_2	0,043	1,00
Lachgas (N_2O)	0,055	1,26

Tatsächlich zeigt Lachgas mit einem relativen Emissionsgrad ϵ_{rel} von 1,26 eine etwas höhere Strahlungsfähigkeit als CO_2 , aber bei weitem nicht das angeblich 265-mal stärkere Treibhauspotential. Beim Methan bahnt sich sogar eine kleine Sensation an. Methan, angeblich 28-mal wirksamer als CO_2 , kommt nur auf 66 % der CO_2 -Strahlung. Ist das IPCC einer frechen Lüge überführt? Nein, soweit würde ich nicht gehen! M.E. wurde das IPCC mit einem klaren politischen Auftrag gegründet. Die Industriegesellschaft sollte als Verursacher eines angeblich gefährlichen „Global Warming“ angeprangert werden, wodurch Zielrichtung und Schuldfrage vorgegeben waren. Vor allem sollen Ängste geschürt werden, um Konsumverzicht und De-Industrialisierung zu rechtfertigen. In den folgenden Kapiteln wird nachgewiesen, dass der „Treibhauseffekt“ real aber relativ klein ist und IPCC mit fragwürdigen Methoden eine Klimahysterie entfacht, die einer sachlichen Prüfung nicht standhalten.

1. Was sind Emissionsgrade und wie werden sie ermittelt?

„Jeder (feste und flüssige) Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Wärmestrahlung aus. Der Emissionsgrad eines Körpers (ϵ) gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem idealen Wärmestrahler, einem schwarzen Körper, abgibt.“ „Ein schwarzer Körper ist ein hypothetischer idealisierter Körper, der jegliche auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Frequenz vollständig absorbiert ($\epsilon = 1$).“ [3]

Oder mit einfachen Worten: Der Emissionsgrad charakterisiert die Fähigkeit eines Körpers, Wärmestrahlung zu erzeugen. Emissionsgradtabellen zeigen die Emissionsgrade ϵ von verschiedenen Stoffen im Bereich zwischen 0,02 bis 0,98 [4]. Dabei spielt die Oberfläche eine wesentliche Rolle. Sehr gute Strahler haben schwarze, raue Oberflächen und können Emissionsgrade ϵ nahe 1 erreichen, während weiße, glatte oder sogar polierte Oberflächen nur geringe Emissionsgrade nahe 0 haben.

Man unterscheidet verschiedene Emissionsgrade, die sich auch untereinander kombinieren lassen:

- Gerichtet: Die Strahlung wird in eine bestimmte Richtung pro Raumwinkel abgestrahlt
- Hemisphärisch: Der gesamte Halbraum wird pro Flächeneinheit bestrahlt
- Spektral: Die Strahlungsleistung bei einer bestimmten Wellenlänge
- Gesamt: Die Strahlungsleistung aller verfügbaren Wellenlängen

Dabei gilt: *„Nach dem kirchhoffschen Strahlungsgesetz ist für jeden Körper der gerichtete spektrale Emissionsgrad gleich dem gerichteten spektralen Absorptionsgrad.“ [3]*

Bei den Gasen können nur bestimmte, die sogenannten IR-aktiven Gase, Wärmestrahlung (IR-Licht) absorbieren oder emittieren.

„Gase absorbieren und emittieren elektromagnetische Strahlung, anders als andere Aggregatzustände von Materie: bei Gasen sind diese Effekte abhängig von der Wellenlänge λ der Strahlung („Strahlungsband“)… Das Strahlungsverhalten des Gasgemisches Luft ist nicht trivial zu bestimmen...und es kann auch kein gemittelter Emissionsgrad angegeben werden.“ [5]

Anders als bei Festkörpern und Flüssigkeiten ist der Emissionsgrad der IR-Gase keine Eigenschaft einer Oberfläche, sondern die eines Volumens. Dabei sind alle IR-aktiven Gasmoleküle, die sich in einem Luftpaket befinden, in einer bestimmten Art und Weise beteiligt. Dadurch sind die Emissionsgrade der Gase auch keine Konstanten, sondern von der Anzahl der beteiligten IR-aktiven Gasmoleküle abhängige Variablen (Abb. 1). Um dennoch die Strahlungsfähigkeit IR-aktiver Gase miteinander vergleichen zu können, habe ich einen molaren Emissionsgrad ϵ_m definiert. Es ist der Vergleich der IR-Strahlung von einem 1 mol ($6,022 \cdot 10^{23}$ Moleküle; Avogadro-Konstante) eines IR-aktiven Gases in einem Luftpaket mit der Strahlung eines Schwarzstrahlers. Da die IR-aktiven Gase als Linienstrahler nur ausgewählte Wellenlängen emittieren, sind ihre molaren Emissionsgrade ϵ_m deutlich kleiner als 1.

Weiter ist festzustellen, dass die IR-inaktiven Atmosphärgase, Stickstoff und Sauerstoff, Wärmestrahlung praktisch nicht streuen und auch nicht absorbieren. Die bekannte Streuung des Sonnenlichtes an den Luftmolekülen unserer Atmosphäre ist nur für das sichtbare, kurzwellige Licht relevant: „Der Streuquerschnitt σ der Rayleigh-Streuung ist proportional zur vierten Potenz der Frequenz der elektromagnetischen Welle... Die frequenzabhängig unterschiedlich starke Streuung von Sonnenlicht an den Teilchen der Erdatmosphäre bewirkt das Himmelsblau am Tag, und die Morgenröte wie die Abendröte während der Dämmerung“. [6]

Ohne IR-aktive Gase (und ohne Aerosole) könnten Wärmestrahlen die Erdatmosphäre ungehindert passieren. Ein kleiner molarer Emissionsgrad ϵ_m bedeutet somit eine hohe Transparenz und ist der Grund, dass bei einer Strahlungsmessung IR-Gase und Hintergrund immer gemeinsam gemessen werden.

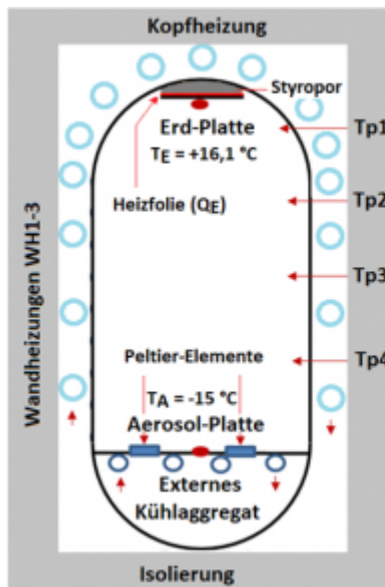


Abb. 2: Schema der verwendeten Apparatur mit einer warmen Erd (T_E)- und einer kalten Aerosol-Platte (T_A) in einer Aluminiumröhre.

Die Erd-Platte wird durch eine elektrisch beheizbare Folie (Q_E) auf $T_E = +16,1$ °C erwärmt. Die Temperaturen T_E und T_A werden durch wärmeempfindliche Dioden computergestützt ermittelt.

Mit thermostatisiertem Wasser (1 Kopf- und 3 Wandheizungen) wird die Temperatur der Außenhaut auf ca. +15,5 °C eingestellt. Dadurch entsteht ein geringer Temperaturgradient von 0,6 K zwischen Erdplatte und ihrer Umgebung. Die Erd-Platte befindet sich im oberen Dom auf einer 2 cm starken Styroporplatte. Durch diese Maßnahmen wird ein mechanischer Wärmeaustausch der Erd-Platte mit ihrer Umgebung minimiert aber vor allem während eines Versuches konstant gehalten.

Die senkrechte Position der Röhre (oben T_E und unten T_A) und die Schwerkraft der Erde verhindern im Luftraum einen Wärmeaustausch durch Konvektion.

Die Aerosol-Platte wird durch ein externes, regelbares Kühlaggregat auf $T_A = -15$ °C abgekühlt. Ein Regulierung der Kühlleistung ist erforderlich, da Treibhausgase zusätzliche Wärme auf die Aerosol-Platte übertragen, die für eine konstante Temperatur T_A abgeführt werden muss. Diese Anpassung wird durch eine regelbare Heizpatrone im Kühlkreislauf erreicht.

Peltierelemente, die mit der Aerosol-Platte fest verbunden sind, registrieren die IR-Ausstrahlung durch einen Spannungsanstieg (Thermoelektrizität) im mV-Bereich.

Zur Messung der Emissionsgrade wird die gleiche Apparatur (Abb. 2) und Prozedur verwendet, die bereits für die Messung der CO₂-Strahlung vorgestellt wurde [7]. Im Wesentlichen geht es dabei um Wärmeübertragung von parallelen, geschwärzten Oberflächen für $E = 1$ (wenn $\epsilon_1, \epsilon_2 = 1$) mittels IR-Strahlung für die Josef Stefan Gl. 1 vorgeschlagen hatte [8].

$$\text{Gl. 1: } P = \sigma \cdot A \cdot E \cdot (T_1^4 - T_2^4), \quad \sigma = 5,670367 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4), \quad A = \text{Fläche m}^2, \quad E = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

E (Strahlungsaustauschgrad) ist hier der griechische Großbuchstabe Epsilon. Bitte nicht verwechseln mit E = Bestrahlungsstärke: „Die Bestrahlungsstärke E (engl.: irradiance, radiant flux density; auch Strahlungsstromdichte) ist der Begriff für die gesamte Leistung der eingehenden elektromagnetischen Energie, die auf eine Oberfläche trifft, bezogen auf die Größe der Fläche.“

Die Stefan Gleichung wurde experimentell abgeleitet und ist der Vorläufer des berühmten Stefan-Boltzmann-Gesetzes. Gl. 1 ist die theoretische Grundlage für den erdnahen „Treibhauseffekt“. Sie sagt aus, dass ein Körper nur dann Energie (Wärme) durch Strahlung abgibt, wenn $T_1 > T_2$ ist. Das bedeutet, dass auch beim Strahlungstransport die Energie immer von „warm nach kalt“ übertragen wird. Ein Widerspruch zum II. Hauptsatzes der Thermodynamik liegt somit nicht vor. Der Begriff „Treibhauseffekt“ leitet sich von der ursprünglichen aber falschen Vorstellung ab, dass die unterschiedliche Durchlässigkeit von Glas für Sonnen- und Wärmestrahlen die Erwärmung eines Gewächshauses verursacht. Ich verwende diesen (irreführenden) Begriff im Sinne von Gl. 1 & 2 weil er sich eingebürgert hat.

Die durch IR-Strahlung übertragbare netto Strahlungsleistung P (Power) ist demnach nicht nur von der Temperatur der warmen Erd-Platte T_E , sondern auch von der Temperatur der kalten Aerosol-Platte T_A abhängig. Die IR-Strahlung der kalten Platte vermindert die Wärmeübertragung P (wenn $T_A > 0$) und kann auch als Gegenstrahlung (eigentliche Ursache des erdnaher Treibhauseffektes) bezeichnet werden.

Diese harmlos klingende These ist eine fundamentale Kritik der Klimahysterie. Die Aerosol-Platte simuliert die Strahlungen von Wolken/Aerosolen. Auch ohne Treibhausgase würden Wolken/Aerosole einen Basis-Treibhauseffekt erzeugen. Die Wirkung der Treibhausgase ist letztlich nur eine geringe Verstärkung dieser allgegenwärtigen Hintergrundstrahlung.

Die elektrische Heizung der Erd-Platte (Wärmestromdichte Q/m^2 ; im Folgenden nur als Heizung Q_E bezeichnet) und der Strahlungsverlust P sind gleich groß, da der warmen Erd-Platte genauso viel Energie (pro Zeiteinheit) zugeführt werden muss wie sie durch Strahlung verliert. Mechanische Wärmeströme werden durch die Konstruktion der Apparatur minimiert (Abb. 2) bzw. gehen als eine konstante Störung in einen Startwert ein.

Befindet sich zwischen Erd- und Aerosol-Platte ein IR-aktives Gas, kommt zur Gegenstrahlung der kalten Platte noch die Gegenstrahlung des IR-Gases hinzu. In der 3. Mitteilung wurde experimentell nachgewiesen, dass sich die Erd-Platte erwärmt, wenn bei konstanter Heizung Q_E IR-Gase zugesetzt werden [9]. Um die Strahlung der IR-Gase zu quantifizieren, wird nun nach jeder IR-Gas-Zugabe die Heizung Q_E für eine konstante Erd-Platten-Temperatur verringert. Aus den Veränderungen der Heizung Q_E werden die Emissionsgrade der IR-aktiven Gase berechnet. Allerdings muss zuvor noch die Strahlung der Seitenwand ermittelt werden, da sie die Wärmeübertragung beeinflusst. Hierzu wird vor Zugabe der IR-Gase die Heizung $Q_E(0)$ als ein Startwert festgestellt und hieraus der Emissionsgrad der Seitenwand abgeleitet. Details zu diesen Rechnungen und Ableitungen sind in der 4. Mitteilung [7] ausführlich beschrieben, und eine Schritt für Schritt Anleitung befindet sich in Kap. 4. Der Treibhauseffekt der IR-Gase $E_{Gas}(n)$ lässt sich für die Laborapparatur nach Gl. 2 berechnen. Dabei beschreibt $E_{Gas}(n)$ die Bestrahlungsstärke der Erd-Platte in W/m^2 durch ein IR-Gas mit der Vordergrund-Temperatur T_V , der Hintergrund-Temperatur der Aerosol-Platte T_H (beide in Kelvin) und einer Molmenge n (Anzahl der Mole).

$$\text{Gl. 2: } E_{Gas}(n) = \epsilon_{Gas}(n) \cdot \sigma \cdot (T_V^4 - T_H^4), \text{ erdnaher Treibhauseffekt der IR-aktiven Gase (W/m}^2\text{)}$$

$\epsilon_{Gas}(n)$ sind die Emissionsgrade der unterschiedlichen IR-Gase, die nur noch von der Molmenge n abhängen (Abb. 1). Wird die Hintergrundstrahlung ignoriert ($T_H = 0$), lässt sich mit Gl. 2 die theoretische Strahlung eines IR-aktiven Gases berechnen und bei $T_V = T_H$ wird der Treibhauseffekt null.

Die Rechnungen beziehen sich auf die absolute Zahl der IR-Gas-Moleküle in einem wasserdampffreien Luftvolumen beliebiger Größe. Dabei wird vorausgesetzt, dass tatsächlich alle IR-Moleküle einen Beitrag zur Gegenstrahlung leisten. Bei sehr starken IR-Strahlern wie Freone/SF6 oder sehr langen Apparaturen könnte das problematisch sein, da hier schon nach einer gewissen Ausbreitungsstrecke (Volumentiefe) Sättigung eintritt. In diesen Fällen muss IR-Gas-Konzentration verringert werden.

In der Atmosphäre wird die Hintergrundstrahlung durch Wolken/Aerosole

verursacht, wobei T_H ihre Strahlungstemperatur ist. Da IR-Gase in der Regel eine höhere Temperatur als Wolken/Aerosole haben, führt ihre Anwesenheit zu einer Erhöhung der Gegenstrahlung (Gl. 2). Aber ob und wie sich dabei die Erd-Temperatur T_E verändert ist eine ganz andere Frage, die von den örtlichen Gegebenheiten abhängt:

Bei einer warmen, trockenen Oberfläche (z.B. in einer Trockenwüste) würde CO_2 , besonders bei klarem Himmel, einen Anstieg der Erd-Temperatur T_E verursachen, wie auch die Labor-Experimente gezeigt haben [9].

Wird auch die Luft durch den CO_2 -Treibhauseffekt erwärmt? Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten und ist Gegenstand meiner aktuellen Untersuchungen. Wäre die CO_2 -Schicht sehr dünn und mittig in der Atmosphäre würde sich ihre Temperatur nicht ändern, denn die Schicht verliert Wärme (durch die CO_2 -Strahlung) aber gewinnt auch Wärme (durch die zusätzliche IR-Strahlung der erwärmten Erde). Der Treibhauseffekt würde unter solchen Bedingungen nur eine Erwärmung der Erde, aber nicht die der Luft bewirken! Nun ist CO_2 aber keine dünne Schicht, sondern in der gesamten Atmosphäre vorhanden und zwar als ein Vermittler zwischen warmen und kalten Strahlern. Die Folge ist ein auf Strahlungsaustausch beruhender Temperatur-Gradient, wobei auf der warmen Seite (Erdoberfläche) die Temperatur ansteigt, auf der kalten Seite (Stratosphäre) aber sinkt. Letzteres ist m.E. im Bereich der CO_2 -Wellenlängen von Wettersatelliten (den sogenannten

Ausstrahlungstrichtern bei den IR-Emissions-Spektren) bereits nachgewiesen. Bei der erdnahen Atmosphäre sollte sich der Gradient jedoch nicht bemerkbar machen, da hier die Temperaturen hauptsächlich von mechanischen Wärmeströmen, Luftdruck und Luftströmungen bestimmt werden.

Feuchtgebiete, Wälder oder Wasseroberflächen ($\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche!) können auf die zusätzliche CO_2 -Strahlung mit verstärkter Verdunstung von Wasser reagieren und dadurch den Temperaturanstieg T_E dämpfen. In diesen Fällen würde sich der Strahlungstransport P gemäß Gl. 1 verringern. Vermehrte Verdunstungswärme und Konvektion feuchter Luft könnten allerdings das Defizit ausgleichen. Dafür spricht, dass 60 % der Erdoberflächenwärme durch Evapotranspiration und nur 40 % durch Strahlung an die Atmosphäre abgeführt werden [10]. Sollte die zusätzliche Wasser-Verdunstung zu einem größeren Wolkenbedeckungsgrad führen, würde CO_2 paradoxerweise sogar zu einer globalen Abkühlung wegen Zunahme der Wolkenalbedo beitragen (negative CO_2 -Wolken-Rückkopplung)!

In der kalten Antarktis, wo Luftschichten in großer Höhe wärmer als der Boden sein können, verursacht CO_2 , wie Satelliten festgestellt haben, eine Verstärkung der IR-Ausstrahlung an das Weltall, was zur Abkühlung des Südpols beiträgt.

Viele dieser angesprochenen Mechanismen scheinen mir z.Z. noch nicht ausreichend verstanden und untersucht. Angesichts dieser Komplexität bewerte ich die IR-Gase nur auf der Basis ihrer unbestreitbaren, messbaren IR-Strahlungen (in W/m^2) und überlasse es zukünftigen Untersuchungen, hieraus eine Klimasensitivität (Temperaturanstieg in $^\circ\text{C}$) abzuleiten.

Die Klimahysterie der Alarmisten beruht auf der Annahme, dass sich die Welt in einem sensiblen Gleichgewicht befindet, das durch kleinste Störungen unwiderruflich in eine Katastrophe mündet. Es zeigt sich jedoch, dass Systeme in Natur und Technik immer dann stabil und robust sind, wenn zu jeder Steuergröße ein Gegenspieler vorhanden ist (Sympathikus/Parasympathikus, Insulin/Glucagon, positive/negative Rückkopplung), wodurch ein Regelkreis entsteht. Schnelle und langfristige Regelkreise sollten auch auf der Erde existieren. Sie könnten eigenständig agieren oder sich mit planetaren Ursachen für Klimaschwankungen wie z.B. den Milankovitch-Zyklen [11] überlagern. So ist auch ein langfristiger Wolkeneffekt als Antagonist zur Eisalbedo denkbar:

Bei einer Eiszeit verringern sich Wasserverdunstung und Aerosol-Konzentration (Wasserdampf-Kondensationskeime!) durch Vereisung von Wasseroberflächen und durch Eis-Ablagerung auf den Kontinenten. Die Folge sollte ein Rückgang der Wolkenschicht und eine zunehmend größere Sonnenbestrahlung der Erdoberfläche sein, wodurch der Eispanzer langsam wieder auftauen kann. Bei einer Warmzeit ist es genau umgekehrt. Durch die Zunahme der Wolken wird die Sonnenstrahlung stärker reflektiert und verhindert eine extreme Erwärmung. Es wäre wünschenswert, wenn Klimatologen nach solchen oder ähnlichen Regelkreisen suchen würden, die erklären, warum sich die Erd-Temperatur, trotz erheblicher Schwankungen, immer wieder „normalisiert“ hat, was einem sensiblen Gleichgewicht widerspricht und auf ein robustes Klima-System hinweist.

Die Strahlung der IR-Gase ist in allen Richtungen gleich groß. Deswegen wird nicht nur die Gegen- sondern auch die Ausstrahlung (in Richtung Aerosol-Platte) von den IR-Gasen beeinflusst. Tatsächlich ließ sich eine Zunahme der Ausstrahlung experimentell nachweisen (Kap. 4). Hierzu wurde die Thermoelektrizität Pt von Peltier-Elemente gemessen, die sich auf der Aerosol-Platte befinden (Abb. 2). Allerdings ist dieser Effekt nicht so eindeutig wie die Gegenstrahlung, die mit der Heizung Q_E nachgewiesen wird. In der Umgebung der Aerosol-Platte gibt es (anders als bei der Erd-Platte) einen großen Temperatur-Gradienten von 30 K zwischen T_{p4} und T_A , wodurch die Peltier-Elemente auch durch die Wärmeleitung der Gasphase beeinflusst werden. Für die These einer zusätzlichen IR-Strahlung durch IR-Gase spricht, dass bei **allen** Versuchen eine Zunahme der Pt-Spannung beobachtet wird. Das ist insofern bemerkenswert, da nur Methan eine höhere, die anderen IR-Gase aber eine kleinere spezifische Wärmeleitung als Luft haben, was hier eine Abnahme der Pt-Spannung verursachen müsste.

Eine Übertragung dieses Ausstrahlungs-Effektes auf die Erd-Atmosphäre ist nicht zulässig. Die Erd-Platte hat im Experiment (anders als die Erdoberfläche) nur einen kleinen Einfluss auf die Ausstrahlung.

Nach Gl. 2 verursachen IR-Gase einen Treibhauseffekt (Zunahme der Gegenstrahlung), wenn ihre Temperatur T_y höher als die des Hintergrundes T_H ist. Diese Aussage ist nur gültig, wenn sich beide Strahlungsquellen auf die gleiche Strahlungsfläche beziehen. Für die Gegenstrahlung trifft das zu, da Aerosol-Platte und Gasphase den gleichen Querschnitt haben und die Erd-Platte nur ein Sensor für die Gegenstrahlung ist. Im Falle der Ausstrahlung ist die Erd-Platte aber Strahlungsquelle, wobei Erd-Platte und Gasphase (fast) die gleiche Temperatur haben und der Ausstrahlungseffekt null sein sollte. Da die Gasphase aber eine größere Strahlungsfläche als die Erd-Platte hat, kommt es zu einer Zunahme der Ausstrahlung nach Zugabe von IR-Gasen.

2. Emissionsgrade der atmosphärischen Spurengase

Abbildung 3 zeigt die Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ von Methan, CO_2 und Lachgas im Molmengenbereich n von 0 bis 1 mol. Die Beziehung zwischen Emissionsgrad ϵ_{Gas} und Molmenge n hat keinen einheitlichen Verlauf. Bei sehr kleinen Molmengen wird ein steiler, linearer Anstieg registriert, der bei größeren Mengen in eine logarithmische Progression übergeht. Bei noch größeren Molmengen tritt zusätzlich noch ein Konzentrationseffekt auf. Dieses komplexe Verhalten führt dazu, dass mit drei verschiedenen Formeln Y1, Y2 und Y3 die Beziehung zwischen Emissionsgrad $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ und Molmenge n beschrieben werden. Zur besseren Übersicht werden die 3 Progressionskurven in den Farben Blau, Rot und Grün gezeichnet.

Formel Y1, der blaue Bereich bis 0,12 mol: Schon geringe Änderung der Molmenge führen zu einem starken, linearen Anstieg des Emissionsgrades $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$. Es wird vermutet, dass hier die IR-Strahlung hauptsächlich von der zentralen Vibrationsbande der IR-Gase, dem sogenannten Q-Zweig verursacht wird (Abb. 4). Da es sich um eine sehr starke Bande handelt, führt die Erhöhung der Molmenge schnell zu einer Sättigung [12].

Formel Y2, der rote Bereich bis 0,5 mol: Die weitere Zunahme der Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ kann nur noch durch die wesentlich kleineren Rotationsbanden, den R- (abnehmend) und P- (zunehmend) Zweigen (branch), erfolgen (Abb. 4). Der rote Bereich und sein weiterer, theoretischer Verlauf gemäß Formel Y2 (schwarze Linie bis 1,0 mol) charakterisiert die maximal mögliche Strahlung der atmosphärischen Spurengase bei hohen Molmengen. Y2 ist somit die Rechenbasis für die CO₂-Strahlungen. Auch die molaren Emissionsgrade ϵ_m für $n = 1$ mol werden mit Y2 berechnet (Tab. 1). Danach ist Methan ein deutlich schwächerer IR-Strahler als CO₂.

Formel Y3, der grüne Bereich oberhalb von 1 Vol.-%: Ab einer Konzentration von 1 Vol.-% tritt ein sprunghafter Anstieg der Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ auf, der die logarithmische Progression zu höheren Werten verschiebt. Dieser Konzentrations-Effekt wird auch in der IR-Spektroskopie beobachtet und wird dort als Bandenverbreiterung bezeichnet [13], [7]. Für die Beurteilung des atmosphärischen Treibhauseffektes spielt die Bandenverbreiterung keine Rolle, da die Atmosphären-Konzentrationen von Methan, CO₂ und Lachgas viel kleiner als 1 Vol.-% (10.000 ppm) sind. Werden jedoch bei Labormessungen die IR-Gase bei Konzentrationen > 1 Vol.-% untersucht, werden unrealistisch hohe Werte erhalten, die nicht die Atmosphäre widerspiegeln, was (auch bei der Auswertung von HITRAN-Spektren) zu beachten ist.

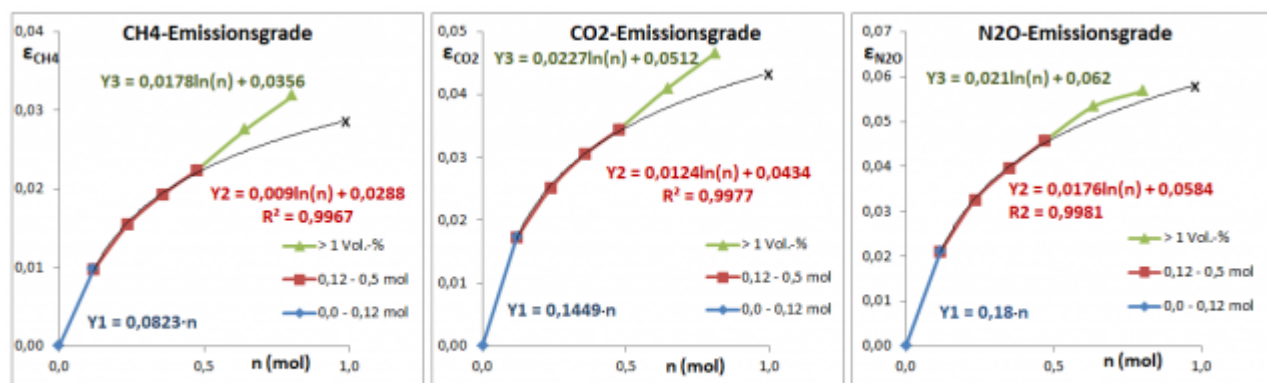


Abb. 3: Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ für Methan (CH₄), CO₂ und Lachgas (N₂O) in Abhängigkeit von der Molmenge n
Die schwarze Trendlinie ist die Progression der Y2-Kurve

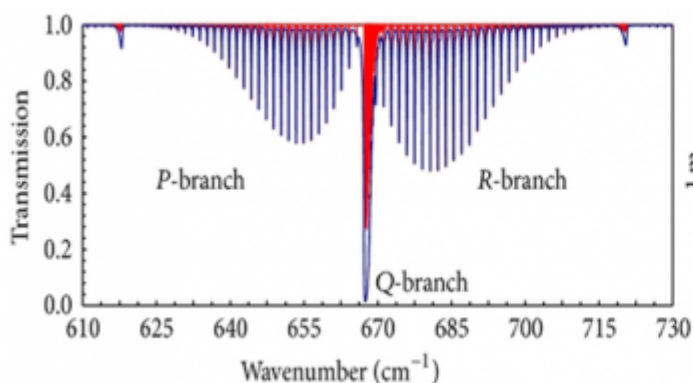


Abb. 4: Hochaufgelöstes CO₂-IR-Spektrum 13,7 - 16,4 μm nach H. Harde [12]

Tab. 2: Berechnung der Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$

IR-Gas	Y1	Y2
Methan	0,082·n	0,009·ln(n)+0,0288
CO ₂	0,145·n	0,0124·ln(n)+0,0434
Lachgas	0,180·n	0,0176·ln(n)+0,0584
Propan	0,128·n	0,0299·ln(n)+0,0707
nButan	0,128·n	0,0339·ln(n)+0,079

Wasserdampf kann aus physikalischen Gründen (Gefrierpunkt = 0 °C) mit der Apparatur nicht untersucht werden. In der Atmosphäre führt Wasserdampf aufgrund seiner vielen Absorptionslinien und seiner sehr großen Menge (bis zu 100-mal größer als CO₂) zu einem weiteren Wirkungsverlust der Spurengase. Eine 1:1 Übertragung der Labor-Experimente ist deshalb bestenfalls auf Trockenwüsten zulässig. Hierzu könnte man einwenden, dass mit der Apparatur nur die Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ der IR-aktiven Gase ermittelt werden und eine Übertragung auf die Atmosphäre unzulässig ist. M.E. sollte es aber grundsätzlich möglich sein, aus diesen Laborergebnissen gewisse Rückschlüsse zu ziehen. Der Strahlungstransport P in der erdnahen Atmosphäre unterliegt den gleichen physikalischen Gesetzen von Vorder- und Hintergrundstrahlung und die Apparatur modelliert diese Mechanismen in einem bestimmten Maßstab (Kap. 3). Allerdings muss man sich auch den Einschränkungen bewusst sein, die beim Klima der Erde eine Rolle spielen, wie beispielsweise der erdferne Treibhauseffekt, der Druckgradient der Atmosphäre, die Erdrotation oder die bereits erwähnte Evapotranspiration, die von der Apparatur nicht nachgebildet werden.

3. Emissionsgrade der gesättigten Kohlenwasserstoffe

Da mir für die vorherigen Untersuchungen kein reines Methan zur Verfügung stand, wurde an seiner Stelle Erdgas eingesetzt. Der Gasversorger gibt im Sicherheitsdatenblatt einen Methangehalt von 80-99 % und als mögliche Verunreinigungen Ethan (0-12 %) und Propan (0-4 %) an. Man könnte nun argumentieren, dass der geringe molare Methan-Emissionsgrad ϵ_m möglicherweise durch die Verunreinigungen im Erdgas verursacht wird. Um diesem Einwand nachzugehen, wurden neben Methan auch noch Propan und nButan untersucht (Abb. 5). Diese drei Substanzen gehören derselben chemischen Familie, den Alkanen, an. Sie sind homologe Verbindungen, die sich nur durch weitere CH₂-Gruppen unterscheiden und deshalb bei den Emissionsgraden $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ einen Trend ergeben sollten.

Die gemessenen Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ der drei Alkane zeigen erneut eine doppelte Abhängigkeit sowohl von der Molmenge n als auch von der Konzentration (Y1: Blau, Y2: Rot und Y3: Grün). Auffällig ist eine Verlängerung des blauen, linearen Y1-Bereiches, von 0,12 auf 0,23 mol. Eine größere Anzahl von Vibrationsschwingungen im Q-Zweig könnte hierfür die Ursache sein.

Die molaren Emissionsgrade ϵ_m wurden mit der Y2-Formel für n = 1 mol berechnet. Trägt man die ϵ_m Werte über die Anzahl der C-Atome auf, zeigt sich, dass die Strahlungsfähigkeit der Alkane von ihrer Kettenlänge abhängig ist: $\epsilon_m = 0,0367 \cdot \ln(x) + 0,0291$ (x = Anzahl der C-Atome) (Abb. 6). Mit dieser Formel lässt sich auch der molare Emissionsgrad für das fehlende Ethan berechnen. Die Kurve zeigt eine logarithmische Progression, die Methan als den Strahler mit dem kleinsten molaren Emissionsgrad ϵ_m ausweist. Wenn also Erdgas mit Ethan/Propan verunreinigt sein sollte, wäre dadurch der molare Emissionsgrad ϵ_m des reinen Methans sogar noch etwas kleiner als 0,029.

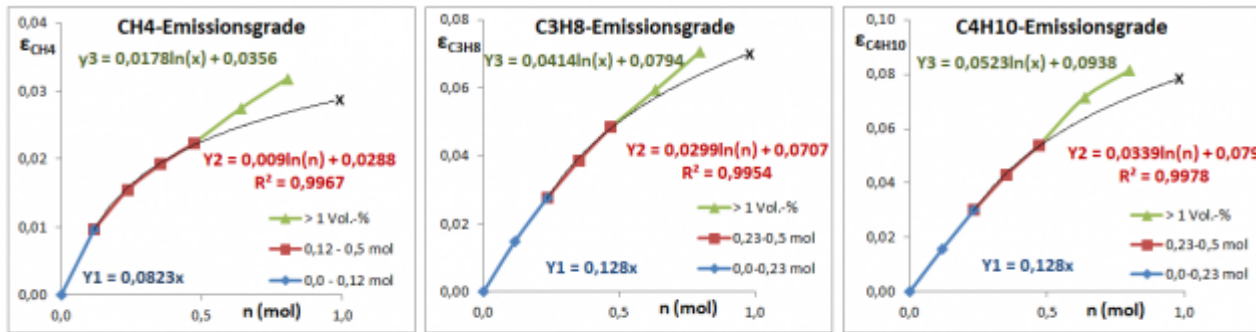


Abb. 5: Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ für Methan (CH₄), Propan (C₃H₈) und nButan (C₄H₁₀) in Abhängigkeit von der Molmenge

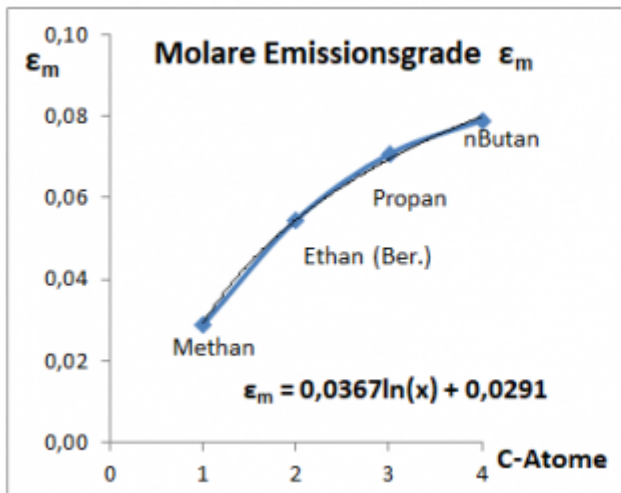


Abb. 6: Molare Emissionsgrade ϵ_m der Alkane in Abhängigkeit von Anzahl der C-Atome

Tab. 3: Molare Emissionsgrade ϵ_m der Alkane
 Vergleich mit CO₂ = 1 ; *Ethan wurde berechnet

IR-Gas	ϵ_m : Molarer Emissionsgrad	ϵ_{rel} : Relativer Emissionsgrad
Methan	0,029	0,66
Ethan*	0,055	1,26
Propan	0,071	1,63
nButan	0,079	1,82

4. Treibhauspotential – eine Mogelpackung?

Wikipedia: „Das (relative) Treibhauspotential (englisch: greenhouse warming potential, GWP) oder CO₂-Äquivalent einer chemischen Verbindung ist eine Maßzahl für ihren relativen Beitrag zum Treibhauseffekt, also ihre mittlere Erwärmungswirkung der Erdatmosphäre über einen bestimmten Zeitraum (in der Regel 100 Jahre). Sie gibt damit an, wie viel eine bestimmte Masse eines Treibhausgases im Vergleich zur gleichen Menge CO₂ zur globalen Erwärmung beiträgt. Beispielsweise beträgt das CO₂-Äquivalent für Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren 28: Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 28-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm CO₂. Bei Distickstoffmonoxid beträgt dieser Wert 265“ [14].

Wie bitte? Hatten wir nicht gerade die geringere Strahlungsfähigkeit des Methans im Vergleich zum CO₂ festgestellt? Hat IPCC getrickst? Ja eindeutig! Das Treibhauspotential ist ein typisches Beispiel für einen Apfel- und Birnenvergleich. Zunächst zur Masseneinheit Kilogramm. Die IR-Strahlung eines Gases leitet sich nun mal von der der Molmenge (mol) und nicht vom Kilogramm ab. Ein Kilogramm CO₂ (1000/44,01) entsprechen 22,7 mol CO₂, während 1 kg Methan (1000/16,04) 62,3 mol sind, also 2,7-mal mehr als beim CO₂. Das ist allerdings nur ein kleiner Trick, der auch nur beim Methan richtig funktioniert. Der eigentliche Trick ist, dass die Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ Variablen sind, die extrem von ihren Molmengen n abhängen, wie in allen gezeigten Grafiken zu sehen ist. Das atmosphärische CO₂ beendet bereits bei rund 100 ppm den steilen Y1 Anstieg und folgt nun einer flachen logarithmischen Weiterentwicklung im „roten“ Y2-Bereich [15]. Demgegenüber

verbleiben Methan (1,8 ppm) und Lachgas (0,3 ppm) im „blauen“ Y1 Bereich, mit relativ großen Strahlungszunahmen bei geringen Mol-Änderungen. Die Strahlungen der Spurengasen folgen also völlig unterschiedlichen Gesetzen (Y1 vs. Y2). Ein Apfel- und Birnen- Vergleich ist nicht Wissenschaft, sondern Populismus und Panikmache wie folgende Überschlagsrechnungen zeigen.

Der für die Strahlung maßgebliche Emissionsgrad $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ hängt von der Anzahl der IR-Gas-Moleküle n unter einer Wolkenschicht ab und ist bei Methan/Lachgas sehr viel kleiner als beim CO_2 . Tab. 4 zeigt die Strahlungsanstieg von Methan, Lachgas und CO_2 von 1750 bis 2018.

Die Berechnung der atmosphärischen CO_2 -Strahlung wurde bereits in der 4. Mitteilung vorgestellt [7]. Es stellte sich heraus, dass Luftschichten oberhalb von 1.000 m den CO_2 -Treibhauseffekt nicht mehr erhöhen. Diese Grenze wurde nun aus Vergleichsgründen für alle Spurengase zugrunde gelegt. Die Rechnungen erfolgen in drei Schritten:

Im ersten Schritt wird die Molmenge n aus der IR-Gas-Konzentration errechnet wie in Kap. 4 angegeben. Aus der Molmenge n werden die Emissionsgrade $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ gemäß Tab. 3 ermittelt. Dabei werden für Methan und Lachgas die Y1-Formeln und für CO_2 , wegen seinen hohen Konzentration, die Y2-Formel verwendet. Mit Gl. 2 wird dann die Gegenstrahlung $E_{\text{Gas}}(n)$ der einzelnen Spurengase berechnet.

Diese Rechnungen sind aus verschiedenen Gründen nur grobe Näherungen: So wurde die Hintergrund-Temperatur T_H der Wolken/Aerosole nur geschätzt, für die Vordergrund-Temperatur T_V Durchschnittswerte verwendet und die Wasserdampf-Strahlung nicht berücksichtigt. Die gefundenen Strahlungswerte $E_{\text{Gas}}(n)$ können somit nach oben oder unten von den tatsächlichen Werten abweichen. Dennoch wurden mit diesen sehr einfachen Rechnungen erstaunliche gute Übereinstimmungen mit Strahlungstransfer-Rechnungen erzielt, die H. Harde [16] mit modifizierten Schwarzschild-Gleichungen durchgeführt hatte und die zu folgenden Kernaussagen führten:

„Kontinuierliche Prozesse wandeln in der Atmosphäre Wärme in Strahlung und Strahlung in Wärme um. CO_2 allein könnte 24,1 % der IR-Strahlung der Erde absorbieren. In Gegenwart anderer IR-Gase, hauptsächlich Wasserdampf, verringert sich dieser Wert auf 4,6 %. Die zentrale CO_2 -Absorptionsbande ist bereits nach 1 m Ausbreitungslänge gesättigt und eine weitere Absorptionszunahme durch R- und P-Seitenbänder endet bei rund 1 km. Bei klarem Himmel würde eine Verdopplung von CO_2 die Gesamtaborption um 1,2 % erhöhen, aber unter Wolken wird der CO_2 -Beitrag unter 1 % gesenkt.“

Eine weitere Übereinstimmung findet sich in einer vereinfachten IPCC-Formel, die für CO_2 (400 ppm) eine Strahlungsdichte von $32,1 \text{ W/m}^2$ errechnet. Dieser Wert stimmt sehr gut mit $30,7 \text{ W/m}^2$ überein, wenn die CO_2 -Strahlung nach Gl. 2 ohne Hintergrundstrahlung ($T_H = 0$) ermittelt wird [7].

Die guten Übereinstimmungen sind eine gegenseitige Bestätigung von theoretischen Berechnungen und experimentell gefunden Werten und sie erhärten den Verdacht, dass das IPCC von zu großen CO_2 -Strahlungswerten ausgeht und die Wirkungen von Wasserdampf und Wolken/Aerosole vernachlässigt.

Zunahme der Gegenstrahlung $E_{\text{Gas}}(n)$ durch Konzentrations-Anstieg von CH_4 , CO_2 und N_2O von 1750 - 2018											
Methan ppm	n mol	ϵ_{CH_4}	E_{CH_4} W/m^2	CO_2 ppm	n mol	ϵ_{CO_2}	E_{CO_2} W/m^2	Lachgas ppm	n mol	$\epsilon_{\text{N}_2\text{O}}$	$E_{\text{N}_2\text{O}}$ W/m^2
0,8	0,032	0,003	0,32	278	11,2	0,073	8,93	0,27	0,011	0,0020	0,24
1,0	0,040	0,003	0,40	300	12,1	0,074	9,05	0,28	0,011	0,0020	0,25
1,2	0,048	0,004	0,48	325	13,1	0,075	9,17	0,29	0,012	0,0021	0,26
1,4	0,056	0,005	0,57	350	14,1	0,076	9,28	0,30	0,012	0,0022	0,27
1,6	0,065	0,005	0,65	375	15,1	0,077	9,38	0,32	0,013	0,0023	0,28
1,8	0,073	0,006	0,73	400	16,1	0,078	9,48	0,33	0,013	0,0024	0,29

Tab. 4: Zunahme des Treibhauseffektes E_{Gas} von Methan-, CO_2 - und Lachgas seit 1750

1000 m x 1 m² Atmosphäre, T_H Wolken/Aerosole: -15 °C, Luftdruck (Ø): 955 hPa, T_V : 11,75 °C (Ø)

Beim Lachgas (N_2O) lässt sich kaum eine Veränderung von $E_{\text{N}_2\text{O}}(n)$ ablesen, womit sich eine weitere Diskussion erübrigt. Die Methanstrahlung E_{CH_4} erhöhte sich um $0,40 \text{ W/m}^2$ (Faktor 2,3), während die CO_2 -Strahlung E_{CO_2} um $0,55 \text{ W/m}^2$ (Faktor 1,07) zunahm. Mit dem Trick der leichten Vervielfachung kleiner Zahlen lässt sich jetzt trefflich ein hohes Methan-Treibhauspotential postulieren. Geht man aber zu den absoluten Zahlen über, erzeugen Methan und Lachgas zusammen 1 W/m^2 , das ist nur ein Bruchteil der CO_2 -Strahlung von $9,5 \text{ W/m}^2$. Und wenn man jetzt noch die gesamte atmosphärische Gegenstrahlung von 333 W/m^2 [10] zugrunde legt, ist die Summe aller drei Spurengase mit rund 11 W/m^2 nur ein Zwerg innerhalb der erdnahen IR-Strahlungen. Da sollte schon die Frage erlaubt sein, welchen Einfluss die restlichen 322 W/m^2 haben, die durch Wolken, Wasserdampf und Aerosole verursacht werden und wie sich ihr Anteil seit 1750 entwickelt hat?

Nun gut, Kleinvieh macht auch Mist, und so könnte der CO_2 -Anstieg sogar ein Glücksfall für die Menschheit sein. Eiszeiten sind unvermeidlich und die nächste sogar überfällig. Bei der letzten Vereisung sank die CO_2 -Konzentration auf 180 ppm, nur 30 ppm von Ernährungsnot bzw. Erstickungstod der Pflanzenwelt entfernt und das wäre dann wirklich das Ende, wenn man P. Moore und J. Lovelock glauben mag [17]:

*„Vor 140 Millionen Jahren hatte die Erde noch eine CO_2 -Konzentration von **2.500 ppm**. Offensichtlich war diese Konzentration kein Nachteil und erst recht keine Katastrophe, denn es gab eine üppige Flora und die größten jemals auf der Erde lebenden Landtieren. Seitdem hat sich die CO_2 -Konzentration kontinuierlich verringert, hauptsächlich durch die Bildung von Kalkstein und Kreide (CaCO_3) und hat vor 18.000 Jahren das o.g. Minimum erreicht. Anschließend haben Erd-Erwärmung und industrielle Revolution die CO_2 -Konzentration wieder auf 400 ppm erhöht. So können sich die Pflanzen heute über 850 Gt Kohlenstoff in der Atmosphäre freuen, aber die ferne Zukunft ist düster. Planktonische Muscheln, Korallen und Schalentiere wandeln zwar langsam aber unaufhörlich CO_2 in CaCO_3 um, ein Nettoverlust von 14.000 Gt Kohlenstoff in den letzten 550 Millionen Jahren. Wie lässt sich dieser lebensgefährdende Trend aufhalten? Vulkanismus als wichtigste CO_2 -Quelle in der Vergangenheit verliert zunehmend an Bedeutung und die fossilen Brennstoffe sind nun mal endlich. Langfristig wäre demnach CO_2 -Mangel und nicht der geringe CO_2 -Treibhauseffekt eine Bedrohung. So gesehen sind Energiewende und ‚Fridays For Future‘ der falsche Weg“.*

Und was passiert mit dem Methan in der Atmosphäre? Nun es wird unter dem Einfluss von Sonnenlicht und Sauerstoff zu CO_2 oxidiert und hat nach Wikipedia eine sehr kurze Verweildauer von 9–15 Jahren [1]. Ich kann nicht beurteilen, ob diese Angabe korrekt ist oder genauso falsch wie die CO_2 -Verweildauer, die vom IPCC mit 50–200 Jahren angegeben wird (oder sogar tausendende von Jahren nach S. Solomon) [18]. Die CO_2 -Verweildauer leitet sich von einem dynamischen System, dem Kohlenstoffzyklus ab. Dabei sind die Geschwindigkeiten der CO_2 -Freisetzung (Emission) und der CO_2 -Senkung (Absorption) die entscheidenden Kriterien. Die Verweildauer ist ein zentraler Punkt der Klimahysterie und soll vor Beginn der industriellen Entwicklung 3 Jahre betragen haben. In dieser Zeit sollen Emissions- und Absorptions-Geschwindigkeit gleich groß gewesen sein. Es wird nun angenommen, dass der CO_2 -Anstieg seit 1750 fast ausschließlich anthropogenen Ursprungs sei und die Senkung dieses zusätzlichen CO_2 viel langsamer verläuft als im sogenannten natürlichen Kreislauf. H. Harde widerspricht der Hypothese der ungleichen Geschwindigkeiten und geht von einem leichten Anstieg der Verweildauer (4 Jahre) aus [19]. Seine Thesen und nachvollziehbaren Rechnungen stützen sich auf der Annahme, dass nicht der Mensch sondern die Erd-Temperatur die Geschwindigkeit beider Prozesse, Emission und Absorption, mit nur leicht

unterschiedlichen Koeffizienten beeinflusst. Und auch der anthropogene Anteil an der CO₂-Erhöhung ist mit 15 % (17 ppm von 113 ppm seit 1750) deutlich geringer als vom IPCC angenommen.

Die angeblich lange IPCC-CO₂-Verweildauer ist allerdings ein Eigentor, denn dadurch ist die Methan-Verweildauer von nur 9-15 Jahren kein zusätzliches Argument für eine Klimagefährdung durch Methan.

4. Experimentelle Daten

Vor Durchführung eines Experimentes wird die Innenluft der Apparatur 24 Stunden über feste Natronlauge mit einer Geschwindigkeit von 1 l/min zur Entfernung von Wasserdampf und CO₂ geleitet. Aus Sicherheitsgründen (Erhöhen der unteren Explosionsgrenze) wird im Falle von Propan und nButan der Sauerstoffgehalt durch Zumischung von 30 % Argon auf rund 14 % gesenkt. Nach jeder Zugabe eines IR-aktiven Gases wird die Spannung für die Heizfolie unter der Erd-Platte (Abb. 2) solange verringert, bis die Start-Temperatur der Erd-Platte von 16,09 °C gerade wieder erreicht ist. Da das System von Heizung und Temperatur-Messung eine gewisse Trägheit besitzt, wird das Mittel von zwei Messungen im Abstand von 0,01 bis 0,02 Volt gebildet, die beide 16,09 °C ergeben. Die Versuche wurden 2 bis 5-mal wiederholt und als Durchschnitt ausgewertet.

Die Erd-Platte hat einen Durchmesser von 16,7 cm und eine Fläche $A_E = 219,04 \text{ cm}^2$. Zur Ermittlung der Wärmestromdichte Q_E wird die gemessene Stromleistung (Spannung mal Stromstärke) durch Multiplikation mit 45,654 auf einen Quadratmeter umgerechnet. Der Abstand zwischen Erd- und Aerosol-Platte beträgt 1,11 m. Die Rechnungen beziehen sich auf ein fiktives Luft-Volumen der Apparatur von 1,11 m³. Die Molmenge n wird aus der allgemeinen Gasgleichung $n = p \cdot V / R \cdot T_{\text{Luft}}$ abgeleitet. Dabei ist p der Luftdruck in hPa, R ist die Gaskonstante (8,31448 J/mol·K), V ist der Volumenanteil des IR-Gases am fiktiven Volumen von 1,11 m³ in Liter (aus der Konzentration Vol.-%) und T_{Luft} ist die Durchschnitts-Temperatur der Luftschicht von Tp1-Tp4 in Kelvin. Im ersten Schritt wird die theoretische Wärmeübertragung E zwischen Erd- und Aerosol-Platte analog zu Gl. 1 $E_{\text{Theo}} = \sigma \cdot A \cdot (T_E^4 - T_A^4)$ als Schwarzkörper-Strahlung berechnet ($\sigma = 5,670367 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$), $A = 1 \text{ m}^2$, T = Temperatur in Kelvin). Die Gegenstrahlung wird gemeinsam von Aerosol-Platte und Seitenwand erzeugt. Das Verhältnis von $Q_E(0)/E_{\text{Theo}} = \epsilon_A(0)$ ist der effektive Emissionsgrad der Aerosol-Platte (sein Anteil an der Gegenstrahlung) ohne IR-Gase. Mit diesem ersten Messwert wird nach $\epsilon_w = 1 - \epsilon_A(0)$ der Emissionsgrad der Seitenwand ϵ_w als eine Art Tageswert bestimmt. Nach der gleichen Prozedur wird nach jeder Zugabe des IR-Gases aus dem Verhältnis $Q_E(n)/E_{\text{Theo}} = \epsilon_A(n)$ und $\epsilon_{w+\text{Gas}} = 1 - \epsilon_A(n)$ der gemeinsame Emissionsgrad von Wand + IR-Gas errechnet und hiervon ϵ_w als eine Konstante abgezogen, wodurch $\epsilon_{\text{Gas}}(n)$ erhalten wird. Mit der Abkürzung $Pt(n)$ wird die Spannung von 5 in Reihe geschalteten Peltier-Elementen angegeben. Während sich die Heizung $Q_E(0)$ sehr gut reproduzieren lässt, unterliegt die Spannungsmessung $Pt(0)$ einer stärker abweichenden Tagesform. Allerdings zeigt sich innerhalb einer Messung stets ein stetiger Anstieg der $Pt(n)$ Werte ohne „Ausreißer“.

1. Methan Emissionsgrade

CH ₄ : Ø von 5 Versuchen: Nr. 168, 198, 199, 200, 201; $\epsilon_W = 0,270$										
T _{PE} °C	T _{PA} °C	ØT _{PLuft} °C	Druck hPa	Q _E (n) W/m ²	Pt(n) mV	c Vol.-%	n mol	ε _A (n)	ε _{W+CH₄}	ε _{CH₄} (n)
16,09	-15,04	15,65	1023	104,21	102,8	0,00	0,00	0,730	0,270	0,000
16,09	-15,08	15,62	1024	102,82	103,4	0,25	0,12	0,720	0,280	0,010
16,09	-15,09	15,63	1024	102,06	104,0	0,50	0,24	0,714	0,286	0,015
16,09	-15,08	15,63	1024	101,50	104,2	0,75	0,36	0,711	0,289	0,019
16,09	-15,05	15,63	1024	100,96	104,4	1,00	0,47	0,707	0,293	0,022
16,09	-15,08	15,63	1024	100,32	104,7	1,35	0,64	0,702	0,298	0,027
16,09	-15,09	15,63	1023	99,72	105,2	1,70	0,80	0,698	0,302	0,032

2. CO₂ Emissionsgrade

CO ₂ : Ø von 5 Versuchen: Nr. 169, 170, 194, 195, 196; $\epsilon_W = 0,268$										
T _{PE} °C	T _{PA} °C	ØT _{PLuft} °C	Druck hPa	Q _E (n) W/m ²	Pt(n) mV	c Vol.-%	n mol	ε _A (n)	ε _{W+CO₂}	ε _{CO₂} (n)
16,09	-14,52	15,45	1030	102,21	91,3	0,00	0,00	0,732	0,268	0,000
16,09	-14,60	15,42	1030	99,91	92,6	0,25	0,12	0,715	0,285	0,017
16,09	-14,60	15,42	1030	98,78	93,1	0,50	0,24	0,707	0,293	0,025
16,09	-14,56	15,42	1029	97,94	93,2	0,75	0,36	0,701	0,299	0,031
16,09	-14,57	15,41	1028	97,39	93,4	1,00	0,48	0,697	0,303	0,034
16,09	-14,54	15,43	1028	96,49	93,6	1,35	0,64	0,691	0,309	0,041
16,09	-14,59	15,45	1028	95,90	93,6	1,70	0,81	0,685	0,315	0,047

3. Lachgas Emissionsgrade

N ₂ O: Ø von 3 Versuchen: Nr. 171, 172, 197; $\epsilon_W = 0,271$										
T _{PE} °C	T _{PA} °C	ØT _{PLuft} °C	Druck hPa	Q _E (n) W/m ²	Pt(n) mV	c Vol.-%	n mol	ε _A (n)	ε _{W+N₂O}	ε _{N₂O} (n)
16,09	-14,79	15,65	1015	102,94	102,4	0,00	0,00	0,73	0,27	0,000
16,09	-14,82	15,63	1014	99,94	103,8	0,25	0,12	0,70	0,30	0,021
16,09	-14,87	15,63	1014	98,44	104,7	0,50	0,23	0,69	0,31	0,033
16,09	-14,86	15,64	1014	97,45	105,1	0,75	0,35	0,69	0,31	0,040
16,09	-14,85	15,64	1014	96,57	105,2	1,00	0,47	0,68	0,32	0,046
16,09	-14,89	15,64	1016	95,59	105,6	1,35	0,63	0,67	0,33	0,053
16,09	-14,91	15,65	1017	95,18	105,8	1,70	0,80	0,67	0,33	0,057

4. Propan Emissionsgrade

C ₃ H ₈ : Ø von 2 Versuchen: Nr. 173, 174; εW = 0,270											
Tp _E °C	Tp _A °C	ØTp _{Luft} °C	Druck hPa	Q _E (n) W/m ²	Pt(n) mV	c Vol.-%	n mol	ε _A (n)	ε _{W+C3H8}	ε _{C3H8} (n)	
16,09	-14,81	15,66	1016	103,08	99,3	0,00	0,00	0,73	0,27	0,000	
16,09	-14,87	15,64	1015	101,03	101,0	0,25	0,12	0,71	0,29	0,015	
16,07	-14,81	15,61	1016	98,94	101,9	0,50	0,23	0,70	0,30	0,028	
16,09	-14,74	15,61	1015	97,20	102,9	0,75	0,35	0,69	0,31	0,039	
16,09	-14,81	15,60	1014	95,94	104,0	1,00	0,47	0,68	0,32	0,049	
16,09	-14,81	15,59	1014	94,38	104,8	1,35	0,63	0,67	0,33	0,059	
16,09	-14,81	15,58	1013	92,78	105,5	1,70	0,80	0,66	0,34	0,071	

5. Butan Emissionsgrade

C ₄ H ₁₀ : Ø von 2 Versuchen: Nr. 175, 176; εW = 0,270											
Tp _E °C	Tp _A °C	ØTp _{Luft} °C	Druck hPa	Q _E (n) W/m ²	Pt(n) mV	c Vol.-%	n mol	ε _A (n)	ε _{W+C4H10}	ε _{C4H10} (n)	
16,09	-14,56	15,52	1017	102,11	99,1	0,00	0,00	0,73	0,27	0,000	
16,09	-14,56	15,42	1017	99,53	100,9	0,25	0,12	0,71	0,29	0,016	
16,09	-14,67	15,40	1018	97,73	102,6	0,50	0,24	0,70	0,30	0,030	
16,09	-14,67	15,38	1018	95,84	103,3	0,75	0,35	0,69	0,31	0,043	
16,09	-14,60	15,36	1018	94,07	104,3	1,00	0,47	0,67	0,33	0,054	
16,09	-14,59	15,33	1018	91,49	105,1	1,35	0,64	0,66	0,34	0,071	
16,09	-14,60	15,30	1019	90,02	105,9	1,70	0,80	0,65	0,35	0,081	

Literaturverzeichnis

- [1] „Methan,“ 15 März 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Methan> .
- [2] „Distickstoffmonoxid,“ 9 April 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Distickstoffmonoxid> .
- [3] „Emissionsgrad,“ 27 Juni 2018. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Emissionsgrad> .
- [4] „Emissionsgradtabelle,“ [Online]. Available: <https://static-int.testo.com/media/b5/14/6481a245e502/Emissivity-table-DE.pdf> .
- [5] „Gasstrahlung,“ 15 Oktober 2018. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gasstrahlung> .
- [6] „Rayleigh-Streuung,“ März 20 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Streuung> .
- [7] M. Schnell, „Die erdnahe CO₂-Strahlung,“ 27 Jan. 2019. [Online]. Available: <https://eike.institute/2019/01/27/experimentelle-verifikation-des-treibhauseffektes-4-mitteilung-die-erdnahe-co2-strahlung/> .
- [8] „Strahlungsaustausch,“ 05 Aug. 2018. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsaustausch> .
- [9] M. Schnell, „Labor-Experimente zur Demonstration des CO₂-Treibhauseffektes,“ 17 Juli 2018. [Online]. Available: <https://eike.institute/2018/07/17/experimentelle-verifikation-des-treibhauseffektes-2/> .
- [10] K. Trenberth et al., „EARTH'S GLOBAL ENERGY BUDGET,“ 19 Juli 2008. [Online]. Available: https://www.klimamanifest-von-heiligenroth.de/wp/wp-content/uploads/2016/09/Trenberth_Jones_Treibhauseffekt_TFK_bams_2009_15Grad_390Watt_SBG_gelbMark.pdf .
- [11] „Milanković-Zyklen,“ 13 04 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Milankovi%C4%87-Zyklen> .
- [12] H. Hug, „Der anthropogene Treibhauseffekt – eine spektroskopische Geringfügigkeit,“ 20 August 2012. [Online]. Available: <https://eike.institute/2012/08/20/der-anthropogene-treibhauseffekt-eine-spektroskopische-geringfuegigkeit/> .
- [13] H. Harde et al., „Lineshape Transition of Collision Broadened Lines,“ *Physical Review Letters*, pp. 1308-1310, 20 Feb. 1995.
- [14] „Treibhauspotential,“ 4 April 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauspotential> .
- [15] M. Schnell, „Experimentelle Verifizierung des Treibhauseffektes,“ 12. Internationale Klima- und Energiekonferenz (IKEK-12), München, 2018.
- [16] H. Harde, „Radiation and Heat Transfer in the Atmosphere: A Comprehensive Approach on a Molecular Basis,“ 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/503727> .
- [17] P. Moore, „Die positiven Auswirkungen der menschlichen CO₂-Emissionen,“ 12 06 2019. [Online]. Available: <https://eike.institute/2019/06/12/die-positiven-auswirkungen-der-menschlichen-co2-emissionen-auf-das-ueberleben-des-lebens-auf-der-erde/> .
- [18] „Verweildauer von CO₂: Henne oder Ei?,“ 3 Dez. 2013. [Online]. Available: <https://eike.institute/2013/12/03/zur-verweildauer-von-co2-henne-oder-ei/> .
- [19] H. Harde, „What Humans Contribute to Atmospheric CO₂: Comparison of Carbon Cycle Models with Observations,“ *Earth Sciences*, Bd. 8/3, pp. 139-159, 2019.