

Was beeinflusst die Erdtemperatur wirklich?

Eine kritische Betrachtung der CO₂-Theorie

Gerhard Stehlik

In zahlreichen Veröffentlichungen wird behauptet, dass die seit 150 Jahren nachweisbare Erhöhung der Globaltemperatur der Erdoberfläche, die sich auch im Rückgang der Gletscher zeigt, überwiegend durch das vom Menschen seit Beginn der Industrialisierung verstärkt emittierte Kohlendioxid (CO₂) verursacht wurde. Der seit 1900 nachgewiesene Anstieg des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre von 0,029% auf 0,037% und der Anstieg weiterer „Treibhausgase“, vor allem Methan, sei für den Anstieg der Globaltemperatur um 0,6°C verantwortlich. Für die Zukunft werden Szenarien entworfen, nach denen der Mensch bei fortgesetzter Emission von Treibhausgasen die Globaltemperatur in den nächsten Jahrzehnten um mehrere Grade steigern würde.

Zweifel an der CO₂-Theorie ergeben sich aus der Tatsache, dass die Temperatur seit 100 Jahren nicht parallel zum kontinuierlichen CO₂-Anstieg erfolgte, sondern dass z.B. von 1941 bis 1978 eine Abkühlung erfolgte (s. KORONA 100, S. 36/37). Außerdem gab es seit Ende der letzten Eiszeit mehrfach Warmphasen, in denen die Globaltemperatur z.T. höher lag als heute, unterbrochen von ausgesprochenen Kaltphasen wie z.B. der „Kleinen Eiszeit“ von 1500 bis 1850:

- Im Hochmittelalter waren die südlichen Küsten Grönlands so weit eisfrei, dass die Wikinger dort Landwirtschaft betreiben konnten (Grönland = Grünland).
- Zur Römerzeit lag die Baumgrenze in den Alpen viel höher als heute und Gletscher existierten nur oberhalb 3000 m.
- Vor 7000 Jahren waren die Alpen fast völlig eisfrei (s. KORONA 100, S. 34).

Als Ursachen solcher Klimaänderungen sind periodische Änderungen der Erdbahnparameter sowie Änderungen der Strahlungsaktivität der Sonne (Sonnenfleckenzyklen) und infolgedessen Wechsel in der Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erde seit mindestens 1970 bekannt (s. KORONA 100, S. 22-28).

Zweifel an der CO₂-Theorie der aktuellen Erwärmung ergeben sich aber auch aus physikochemischen Überlegungen. Diese werden im folgenden Beitrag vorgestellt. Der Autor ist Physikochemiker und beschäftigt sich seit 2002 intensiv mit dieser Problematik.

CO₂ und der Aufruf von DPG und DMG im Jahr 1987

Einzelne Wissenschaftler (Tyndall, Arrhenius, Budyko, Kondratyew) und Organisationen (NASA) haben sich schon früher mit den Spurengasen und deren Bedeutung für den Energiehaushalt der Atmosphäre beschäftigt. 1987 veröffentlichte die „Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)“ gemeinsam mit der „Deutschen Meteorologischen Gesellschaft“ (DMG) einen Aufruf (1) zum Weltklima. Der entscheidende Satz in diesem Aufruf steht unter der Überschrift „Wissenschaftliche Aussage“ und lautet:

"Wasserdampf und Kohlendioxid in der Atmosphäre haben eine entscheidende Wirkung auf das Klima: ohne diese Spurengase würde aufgrund der Strahlungsbilanz zwischen Einstrahlung von der Sonne und Abstrahlung von der Erde die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche etwa -18°C betragen."

Diese „Wissenschaftliche Aussage“ zweier hoch angesehener wissenschaftlicher Gesellschaften war in Deutschland der Beginn der Klimapolitik. Sie hat auch die Weichen der Klimawissenschaft in entsprechende Bahnen gelenkt. Der Aufruf wurde in 2500

Exemplaren gedruckt und an Politiker, Journalisten, Vertreter der Wirtschaft sowie an die Mitglieder der DMG verschickt.

DPG und DMG nennen in dem Aufruf die Namen der Autoren. Die „Wissenschaftliche Aussage“ wird aber nicht mit Literaturhinweisen belegt. Das Modell, mit welchem die Erdoberflächentemperatur von -18°C berechnet wurde, wird nicht beschrieben. Einer der Autoren, Professor Schönwiese, veröffentlichte aber Lehrbücher der Klimatologie, in denen die Berechnung der Temperatur von -18°C beschrieben ist.

Beim Lesen des dreiseitigen Textes stellt man fest, dass es sich hier nicht um eine physikalische und damit naturwissenschaftliche, sondern um eine energiepolitische Aussage handelt. Und tatsächlich wird in der Einleitung des Aufrufes erklärt, dass dieser vom „Arbeitskreis Energie“ der DPG erarbeitet wurde. Er befasst sich wissenschaftlich nicht mit Umweltpolitik, Thermodynamik („Wärmelehre“) oder Optik.

Das Modell der Erde geht von einer völlig abstrakten mathematischen Kugeloberfläche aus. Wolken, Eisflächen, Verteilung von Land und Meer, Relief und Vegetation werden nicht berücksichtigt.

Für einen Physiker muss das nicht schlimm sein. Für ihn wiegt schwerer, dass dabei nur ein einfaches Strahlungsbilanzmodell zum Tragen kommt und das hierfür entscheidende Teilgebiet der Physik, die Thermodynamik, einfach übergangen wurde. Dabei dient gerade die „Wärmelehre“ dazu, Temperaturen aus Energiebilanzen zu berechnen. Zentrale Begriffe der Thermodynamik wie Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität spielen in diesem Modell keine Rolle. Juristisch betrachtet, haben DPG und DMG damit nichts Unwahres gesagt. Sie haben nur wesentliche Elemente zur Wahrheitsfindung nicht behandelt. Materie, die sich so verhält, wie die in diesem Modell beschriebene mathematische Kugel, gibt es nicht.

Weiter unten wird gezeigt, wie sich Kugeln aus Materie ganz anders verhalten als diese mathematische Kugel. Zu diesem Zweck werden Kugeln aus drei verschiedenen Gasatmosphären betrachtet: eine Kugel aus Luft ohne Spurengase, eine nur aus Kohlendioxid und eine nur aus Wasserdampf.

Für einen Meteorologen ist es nicht akzeptabel, dass in einem solchen Modell zur Temperaturberechnung auf die Behandlung der für Planetenatmosphären typischen Schichten („Sphären“) verzichtet wird, die nach den Temperaturen dieser Schichten klassifiziert werden. (vgl. Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band VII: „Erde und Planeten“, Berlin, 2001, S. 605)

Eine ausführlichere und aktuellere Fassung der oben zitierten „Wissenschaftlichen Aussage“ von DPG und DMG von 1987 befindet sich auf der Internetseite des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg. Auch dort werden die -18°C angegeben, ohne dass die mathematische Gleichung der Berechnung genannt wird. Im Gegensatz zum Aufruf von 1987 wird dort ausgeführt, dass die Berechnung für eine Erde ohne Atmosphäre gilt. Auch das ist – wie oben bereits gesagt – nicht unwahr, sagt aber nicht, dass die Berechnung mit einer mathematischen Kugel – aber nicht mit der Erdkugel – erfolgt. (2)

Das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung formuliert die Aussage auf seiner Internetseite wie folgt: "Das Stefan Boltzmann'sche Gesetz sagt aus, dass sich die Erde damit auf -18°C erwärmt.“ (3) Diese Aussage soll so nicht zitiert werden und bedarf des Kommentars: „Dies ist die Gleichgewichtstemperatur für die Erde als „schwarzer Körper“ (gute Näherung im Infrarotbereich) OHNE Treibhauseffekt.“ (4)

Bemerkenswert ist auch die folgende Erklärung des natürlichen Treibhauseffektes, die der Dissertation 2002 von Steffen Frey im Fachbereich Physik der FU Berlin entnommen ist. (5) Hier wird nicht die Wärmestrahlung der Erde absorbiert, sondern das von der Sonne am Erdboden reflektierte Licht. Das zeigt, wie breit die Möglichkeiten der Interpretation sind

und wie wenig präzise verstanden wird, was der Treibhauseffekt wirklich sein könnte:

„Obwohl der größte Teil der Strahlung an der Erdoberfläche absorbiert wird, ist ihre Reflektivität doch zu hoch, um die mittlere Oberflächentemperatur der Erde von 15°C zu erklären. Ein Teil des reflektierten Lichts muss also diesen Beitrag leisten, indem es auf dem Rückweg in Richtung Weltall doch noch absorbiert oder wieder zurückgestreut wird. So entsteht der natürliche Treibhauseffekt, dem wir die Anhebung der Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche von ca. -30°C auf angenehme 15°C zu verdanken haben.“

Auch die aktuelle Stellungnahme der DMG (6) aus der Feder von Herrn Professor Herbert Fischer, Forschungszentrum Karlsruhe und derzeitigem Vorsitzenden der DMG, verwendet keine Begriffe aus der Thermodynamik. Das Fazit lässt viel Raum für Interpretationen in die eine oder andere Richtung:

„Es ist wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen, dass sich die Strahlungsflüsse im System Erde/Atmosphäre durch die Zunahme der klimarelevanten Spurengase verändern. Ohne Berücksichtigung der Rückkopplung mit dem komplexen Klimasystem würde dies mit Sicherheit zu einer Erwärmung der Erdoberfläche und der Troposphäre führen. Die eigentliche, wissenschaftlich herausfordernde Debatte beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit die verschiedenen Rückkopplungsprozesse die strahlungsbedingte Erwärmung verstärken oder dämpfen.“

Beispiel Luft

Im DPG / DMG-Modell absorbiert die Kugeloberfläche Sonnenstrahlung und emittiert Wärmestrahlung. Daraus wird die Temperatur der Kugeloberfläche berechnet.

Luft – genauer gesagt 97 % ihrer Hauptbestandteile – verhält sich anders als dieses Modell. Stickstoff und Argon absorbieren weder Sonnenlicht (7), noch strahlen sie Wärme aus (8). O₂ absorbiert nur fernstes UV-Licht der Sonne vollständig und hat auch im Sichtbaren eine schwache Absorptionsbande. Deshalb kann mit Hilfe des DPG / DMG-Modells die meteorologische Temperatur nicht berechnet werden. Sie wird in Luft in 2 m Höhe über dem Boden in von der WMO genormten Wetterhütten gemessen.

Beispiel Wasserdampf

Betrachten wir die noch verbleibenden maximal 2% „Spurengase“ der Luft: Wasserdampf (0,1 – 2% in Meeresspiegelhöhe, 0% in 12 km Höhe) und Kohlendioxid (0,037% in Meeresspiegelhöhe). Wäre das Strahlungsbilanzmodell beim Wasserdampf anwendbar?

Wasserdampf besitzt beide Strahlungseigenschaften: Er kann Sonnenlicht absorbieren und Wärme abstrahlen. Er absorbiert aber nicht sichtbares Sonnenlicht, sondern nur das viel schwächere unsichtbare Infrarotlicht der Sonne, und er sendet seine Wärmestrahlung nicht homogen aus wie ein „Schwarzer Strahler“, sondern in sogenannten „Banden“. (Frequenzbändern analog den Rundfunkkanälen.) Anders als trockene Luft absorbiert feuchte Luft Sonnenstrahlung und emittiert Wärmestrahlung. Aus der Bilanz kann eine Temperatur berechnet werden. Das Rechenergebnis ist aber nicht -18°C. Die Luftfeuchtigkeit schwankt extrem (0,1 – 2% abs. Feuchte in g/m³) und damit schwanken auch die daraus berechneten Temperaturen. Sie wären „klimapolitisch“ und „klimawissenschaftlich“ wertlos.

Beispiel Kohlendioxid (CO₂)

Bleibt als Drittes die Betrachtung des Kohlendioxids, um das es im Kern eigentlich geht. Kohlendioxid kann wie die Hauptbestandteile der Luft fast kein Sonnenlicht absorbieren. Die C=O-Valenzschwingung des CO₂ kann nur sehr fernes und sehr schwaches Infrarotlicht

der Sonne absorbieren. Diese Bande bei ca. 2200 cm^{-1} strahlt auch Wärmestrahlung aus. Ihre Bilanz ist entweder minimal positiv oder negativ. Spektroskopiker können berechnen, bei welchen Temperaturen Absorption oder Emission überwiegt. Es kann die Strahlung der Sonne nicht direkt zur Erwärmung der Luft nutzen. Es verhält sich hier so wie die Hauptbestandteile der Luft: Sauerstoff, Stickstoff, Argon.

Kohlendioxid kann aber wie Wasserdampf Wärme abstrahlen. Bestünde die mathematische Kugel des DPG / DMG Modells aus Kohlendioxid, könnte sie sich - bestrahlt von der Sonne - nicht erwärmen. Wäre sie schon warm, kühle sie sich bis auf Weltraumkälte von ca. -270°C ab, indem die Schwingungsbanden des Kohlendioxids ihre Energie in das kalte Weltall abstrahlten. Wissenschaftlich exakt passiert das nicht, weil CO_2 bei ca. -70°C zu einem Feststoff kondensiert. Der CO_2 Feststoff kann im Gegensatz zum CO_2 -Gas Sonnenstrahlung wegen der Schwingungsmöglichkeiten des Kristallgitters viel besser absorbieren.

Fazit

Das Gesamturteil über die angebliche wissenschaftliche Aussage in diesem Aufruf lautet: Die Physik der Luft (in 2 m Höhe über dem Boden) wird vollständig unterschlagen, das Strahlungsbilanzmodell ist bei den Hauptbestandteilen der Luft weder bei Absorption, noch bei Emission anwendbar und beim Kohlendioxid nur bei der Emission. Beim Wasserdampf bzw. feuchter Luft liefert es nicht das Ergebnis einer Erwärmung vom -18° auf $+15^\circ\text{C}$. Kohlendioxid könnte - in dieses Strahlungsbilanzmodell als Gaswolke eingesetzt - nur kühlen, aber niemals erwärmen.

Warum wurde die Physik auf CO_2 fokussiert?

Die Politiker und Journalisten wurden damals von DPG / DMG nicht über die Schlichtheit des angewandten Modells in Kenntnis gesetzt. Und so ist das bis heute geblieben. Wie konnte in einer aufgeklärten und freien Gesellschaft etwas geschehen, was an das Märchen „Des Kaisers neue Kleider“ von Hans Christian Andersen erinnert? (9)

Der Universitätscampus der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt Bockenheim kann als die „Gebärmutter der grünen Bewegung“ in der Bundesrepublik Deutschland in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts betrachtet werden. Die beiden damals führenden Persönlichkeiten der DMG, die Professoren Dr. H.-W. Georgii, von 1981 bis 1983 Vorsitzender der DMG, und Dr. C.-D. Schönwiese, von 1985 bis 1987 Vorsitzender der DMG (10), hatten ihr „Institut für Meteorologie und Geophysik“ in der Mitte dieses Campus. Beide haben, um nur ein Beispiel zu nennen, 1999 das „Manifest zur Minderung des anthropogenen Treibhauseffektes durch die Wald- und Holzoption“ mitunterzeichnet. (11) Durch sie fanden Themen wie Überbevölkerung, Ressourcenverbrauch und Umwelterstörung durch den Menschen zurecht Eingang in die meteorologischen Lehrbücher und in das Bewusstsein der Studierenden. (12) Die Hypothese der Treibhausgaswirkung fördert die Durchsetzung einer Politik der Schonung der fossilen Brennstoffvorräte. Diese Schonung der Vorräte ist sinnvoll, weil fossile Rohstoffe jetzt und in Zukunft vor allem für die Synthese vieler chemischer Verbindungen (Kunststoffe, Medikamente u.a.) benötigt werden. Bei dieser Politik wird aber häufig nach dem Prinzip verfahren: Der gute Zweck ist wichtiger als die Richtigkeit der verwendeten Mittel.

Der „Arbeitskreis Energie“ der DPG stand damals wie heute unter dem Einfluss der Kernphysiker. (13) Diese hatten 1986 die Katastrophe in Tschernobyl zu verkraften und wollten mit ihrer Initiative contra Kohlendioxid die Kernenergie wieder ins Spiel bringen. Diese Rechnung ist nicht aufgegangen, weil sich die ökologische Bewegung nicht auf das Spiel einließ.

Die Qualität des physikalischen Modells der Erde, vor allem der Atmosphäre, zur Berechnung der globalen mittleren meteorologischen Temperatur ist entscheidend dafür, ob die Temperaturberechnung der Physiker exakt ist oder nicht. Bei der Abweichung von berechneter (-18°C) zu gemessener Temperatur (+15°C) ist es in der Physik üblich, das Modell schrittweise zu verbessern, bis Rechenergebnis und Messwert befriedigend übereinstimmen.

DPG und DMG erklären nicht, warum hier anders vorgegangen wurde und warum die gesamte Differenz von 33°C lediglich mit den Spurengasen und dem „Treibhausgaseneffekt“ erklärt wird.

Tabelle 1: Berechnung der Erdtemperatur aus der Strahlungsbilanz: Sonne – Erde – Weltall *)

Nr.	Formel	Symbol	Dimension	Bedeutung
1	$E = 0,7\pi r \cdot 1365$	E	[W]	Aufgenommene Energie
2	$A = 4\pi r^2 \sigma T^4$	A	[W]	Abgestrahlte Energie
2a	$\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8}$	σ	[W/(m ² K ⁴)]	Stefan-Boltzmann-Konstante
3	$E=A; 0=A-E$		[W]	Strahlungsbilanz = Energiebilanz
4	$0,7\pi r^2 \cdot 1365 = 4\pi r^2 \sigma T^4$		[W]	1, 2 und 3 ergeben 4
5	$239 / \sigma = T^4$		[W]	Kürzen und Rechnen
5a	$239 / 5,67051 \cdot 10^{-8} = T^4$		[K ⁴]	2a eingesetzt
5b	$4214788440 = T^4$		[K ⁴]	Vierte Potenz bzw. vierte Wurzel bilden
6	$254,8 = T$	T	[K]	Absolute thermodynamische Temperatur
7	$t + 273,15 = T$	T	[K]	Definition von T in [K]
7a	$t = 254,8 - 273,15 = -18,35$	t	[°C]	Meteorologische Temperatur

(*) Die berechnete Temperatur gilt für die Erde als Schwarzsstrahlerplanet, aber nicht für die Erdoberfläche, wie von DPG und DMG 1987 behauptet.

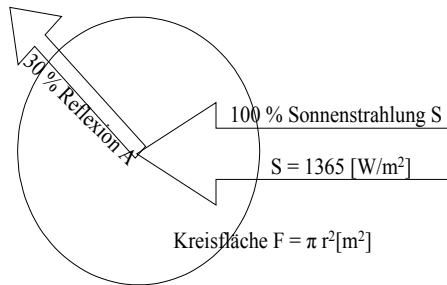
Was folgt aus der Fokussierung auf CO₂?

Dieser Aufruf und seine weltweite Verbreitung, zu der dann auch die NASA sehr erfolgreich beigetragen hat, führte zur Entwicklung der heutigen Klimamodelle und den mit Supercomputern ausgestatteten Klimarechenzentren. Deshalb gehen die vier nationalen Klimarechenzentren in USA, England, Deutschland und Japan alle gemeinsam davon aus, dass die derzeit zu beobachtende Klimaerwärmung hauptsächlich vom Kohlendioxid verursacht wird, welches die Menschheit freisetzt. (14) Das physikalische Modell dieser Temperaturberechnung ist aber so unangemessen, dass die gesamte Treibhausgas-hypothese überbewertet sein könnte oder sogar so falsch sein könnte, dass die CO₂-Zunahme die Atmosphäre nicht erwärmt, sondern sogar kühlt.

Dieser „provokierende Gedanke“ ist nicht so abwegig, wie es scheint. Schließlich ist unbestritten und experimentell nachgewiesen, auch theoretisch begründet, dass ein Teil der Atmosphäre wegen der CO₂ Zunahme kälter geworden ist, nämlich der weltraumnahe Teil, von dem aus CO₂ seine Schwingungsenergie ins Weltall ausstrahlt. Doch dazu später mehr.

Und noch eine allgemeine Aussage, bevor die Details behandelt werden: Dieses schlichte Modell ist ganzheitlich für das System Sonne – Weltall –Erde völlig richtig. Das gilt nicht für die exakten Zahlenwerte von Albedo (30%) und die daraus berechnete „Erdtemperatur“ (-18°C), sondern für den Grundsatz, dass aus der Strahlungsbilanz eine „Erdtemperatur“

DPG und DMP behandeln 1987 die Erde bei der Bestrahlung durch die Sonne wie eine Kreisscheibe anlog dem Bild eines Vollmondes.



$$\begin{aligned} \text{Eingestrahle und aufgenommene Energie: } E &= 0,7 F S \\ E &= 0,7 \pi r^2 1365 \text{ [W]} \end{aligned}$$

Abb. 1: Einstrahlung von der Sonne

berechnet werden kann. Es ist aber nicht in der Lage, irgendeine auch nur vage Aussage zu machen, über die geometrische Höhe bei der diese „Erdtemperatur“ auftreten soll. Das ist der entscheidende Mangel an diesem Modell. Weitere Mängel werden bei der Behandlung der Details beschrieben (Bandenstrahler statt „Schwarzer Strahler“, Thermodynamik der Atmosphäre, Transparenz des Wassers, Faktor Zeit).

Einfache Modelle: Faszination und Mängel

Das Faszinierende an diesem Modell ist, das es so unglaublich einfach ist. Jedermann versteht es und kann die Berechnung der -18°C ganz leicht selbst nachvollziehen. Abbildung 1 und 2 zeigen die zwei Elemente des Modells. Der Rechengang ist in Tabelle 1 dargestellt. Das alles ist auch im Grundsatz richtig. Daher ist verständlich, dass es von vielen unkritisch akzeptiert und verallgemeinert in viele Lehrbücher übernommen wurde. Es ist wie damals bei dem jedermann völlig verständlichen geozentrischen Weltbild von Aristoteles und Ptolemäus (15) mit der Erde als Mittelpunkt, über dem die Sonne im Osten auf und im Westen untergeht. Dazu passte die Bewegung fast des gesamten Sternenhimmels. Erst die Rechengenauigkeit des Kopernikus bei den Planetenbahnen führte zum Siegeszug des heliozentrischen und richtigen Weltbildes.

Die Wahrheit liefert die kritische Analyse

Das Richtige an dem Modell ist: Überall rund um den ganzen Globus existieren geometrische Orte, gleichsam eine imaginären Hülle der Erde, die dadurch gekennzeichnet ist, dass dort die Strahlungsbilanz mathematisch exakt Null ist. Das Modell ist aber nicht geeignet, die geometrischen Orte diese Hülle zu berechnen.

Überall auf der Erde gibt es eine Höhe über, nahe bei oder unter der Erdoberfläche mit einer Temperatur von -18°C . Diese -18°C Hülle liegt in Polnähe in Meeresspiegelhöhe und steigt bis zum Äquator auf über 6000 m Höhe an. Liegen die Oberflächentemperaturen unter -18°C (Sibirien), befindet sich die -18°C Hülle entsprechend tief im Boden.

Hoch in der Atmosphäre könnte die -18°C Hülle mit der Hülle ausgeglichener

Strahlungsbilanz zusammenfallen. Liegt die -18°C Hülle aber unter der Oberfläche, strahlt dort keine Sonne hin. Wärmestrahlung ist aber auch bei -18°C vorhanden. Die Strahlungsbilanz ist nicht ausgeglichen. Damit ist gezeigt, dass die -18°C Hülle unter der Erde nicht die Hülle ausgeglichener Strahlungsbilanz ist.

Diese -18°C Hülle hat nicht die geometrische Form einer Kugel. Welche geometrische Form die Hülle ausgeglichener Strahlungsbilanz hat, ist unbekannt.

DPG und DMP behandeln 1987 die Erde bei der Ausstrahlung von Wärmestrahlung wie eine Kugeloberfläche. Die Ausstrahlung ist extrem überproportional zur Temperatur.

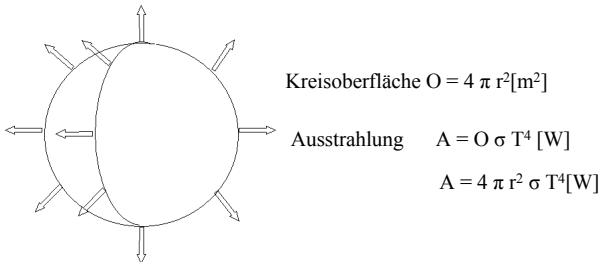


Abb. 2: Ausstrahlung von Wärmestrahlung ins Weltall

Wo endet die Sonnenstrahlung?

Die reale Erde hat keine kugelförmige Oberfläche als geometrischen Ort, an welchem die Sonnenstrahlung endet. Der harte Teil der UV Strahlung der Sonne endet schon ganz oben fast noch im Weltraum, sobald diese UV Strahlen das erste zweiatomige Sauerstoffmolekül ($\text{O}_2 = \text{O}-\text{O}$) richtig treffen. O_2 -Moleküle spalten in Sauerstoffatome O. Diese bilden mit anderen Sauerstoffmolekülen Ozon: $\text{O}_2 + \text{O} = \text{O}_3$. Ozon (O_3) ist ein instabiles Molekül aus drei Sauerstoffatomen, das aus einem dreigliedrigen Ring besteht. Dieser Dreiring absorbiert dann den weichen Teil der UV-Strahlung und zerstört sich dadurch meist sofort wieder.

In dieser Art setzt sich die Kette der Absorptionsverluste der Sonnenstrahlung über die ganze Höhe der Atmosphäre fort. Zugegeben, am festen Boden endet viel, mehr noch endet aber erst unter Wasser. Die tiefsten Stellen der Erde, an welchen das Sonnenlicht endgültig verschwunden ist, liegen im klaren Wasser tropischer Meere in mehrere hundert Meter Tiefe. Dorthin gelangt der blau-grüne Teil des Sonnenlichts. Aber auch in sehr klarem Wasser werden 80% des einfallenden Lichtes in den obersten 10 Metern absorbiert.

Wo beginnt die Wärmestrahlung, die in den Weltraum entweicht?

Es gibt auch keine kugelförmige Oberfläche auf der Erde, von der alle Wärmestrahlung ausgeht, welche von der Erde ins Weltall hinaus gestrahlt wird. Wärmestrahlung bestimmter „Farbe“ (Frequenzkanäle) kommt vom Erdboden, von den Wolken, von Wasseroberflächen, auch von Eis und zu guter Letzt von den Spurengasen Wasserdampf und Kohlendioxid der Atmosphäre.

Wie kommt das falsche Ergebnis zustande?

Strahlungsflüsse im Weltall können nur deshalb entsprechend dem DPG / DMG Modell gesamtenergetisch bilanziert werden, weil oberhalb der Atmosphäre im „freien“ Weltall fast keine Materie vorhanden ist. Ein an Materie gebundener Energietransport findet dort praktisch nicht statt. Die Strahlung im Weltraum läuft auch nicht durch Materie hindurch, bei der Strahlung durch Absorption in Wärme umgewandelt wird,

Die im Langzeitmittel positive Strahlungsbilanz, die vom Boden zur Luft gerichtet ist und die Luft nicht ständig wärmer macht, beweist, dass die globale mittlere Temperatur der Luft nicht allein aus der Strahlungsbilanz berechnet werden kann. Es ist ein Lehrsatz der Thermodynamik: Finden Strahlungsprozesse im Innern von Materie statt, wie in Luft oder Wasser, ist es unmöglich, die Temperatur der Materie aus der Strahlungsbilanz zu berechnen.

Konkret heißt das: Mit dem DPG / DMG Strahlungsbilanzmodell kann die mittlere globale Temperatur der Luft in 2 m Höhe über der Erdoberfläche nicht berechnet werden und auch nicht näherungsweise abgeschätzt werden, weil dazu die gesamte Energiebilanz erforderlich ist. Dazu trägt der an Materie gebundene Energiefluss den größeren Teil bei und die Strahlungsbilanz ist nicht maßgeblich.

Ein Fehler kommt selten allein.

Die Kritik an der „Wissenschaftlichen Aussage“ von DPG und DMG ist damit noch nicht erschöpft: Alle möglichen Fehler des Modells werden durch den Fehler der „Treibhausgaswirkung der Spurengase“ kompensiert. Bei der Öffentlichkeit und bei den Mitgliedern beider Gesellschaften wird so der Eindruck erweckt: Die „Wissenschaftliche Aussage“ sei richtig und eine Tatsache.

In Wahrheit wird an diesen beiden Gasen der Fehler zu 100% wiederholt, der schon vorher an der Erde als Ganzes gemacht wurde. Beide Fehler heben sich daher gegenseitig auf.

Konkret bedeutet das: Die Spurengasmoleküle werden wie vorher die Erde als mathematische Kugeln behandelt, die auch wiederum nur Strahlung absorbieren und Strahlung emittieren können, obwohl diese Moleküle – genau wie Erde und Atmosphäre auch - energetisch sehr viel mehr können, weil sie ja auch nicht aus materiefreiem Raum bestehen. Sie können genau so wie die Luft als Ganzes, aufgenommene Strahlung in Wärme und Wärme in potentielle Energie der Höhe umwandeln und damit Energie transportieren. Nur der Transport der Gesamtenergie und nicht der Teiltransport durch Strahlung, ist für den Wärmeinhalt der Materie und für ihre Temperatur relevant.

Zwei Fehler – trotzdem ein richtiges Ergebnis?

Ganz einfach in der Sprache der Mathematik ausgedrückt: DPG und DMG haben den ersten Rechenfehler von -33°C , der im Strahlungsbilanzmodell durch das Weglassen des materiegebundenen Energietransportes entstanden ist, durch den gleichen Fehler um $+33^{\circ}\text{C}$ korrigiert. Dazu wird der „natürliche Treibhausgasereffekt“ eingeführt. Bei der Berechnung des Treibhausgasereffektes der Moleküle H_2O und CO_2 wird wieder der gleiche Fehler gemacht wie vorher bei der Erde. Es wird wieder nur das Strahlungsverhalten und nicht das Gesamtverhalten dieser Moleküle betrachtet.

Die beiden Fehler haben die gleiche Qualität, sind aber entgegen gerichtet und heben sich gegenseitig auf. Beide bestehen darin, dass Strahlung und Temperatur in der einfachen mathematischen Gleichung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes miteinander verknüpft werden. Die einfachen Aussagen, messe ich die Strahlung, kann ich daraus exakt die Temperatur berechnen und umgekehrt, messe ich die Temperatur, kann ich daraus exakt die Strahlung berechnen, haben nicht die erforderliche Präzision und Richtigkeit.

Ein Beispiel aus einem anderen Bereich

Auch die Quantenphysik der Moleküle lehrt uns, dass die Absorption von Strahlung durch Materie nicht zu einem Temperaturanstieg führen muss und dass die Temperatur der absorbierenden Materie nicht aus der absorbierten Energiemenge berechnet werden kann. Quantenphysik ist nicht jedermanns Sache. Einfacher ist es, die beiden Fehler an einem Alltagsbeispiel zu veranschaulichen.

Photozellen aus Silizium wandeln Sonnenlicht in elektrischen Strom um. Sie haben heute noch einen schlechten Wirkungsgrad von nur 15%, sind schwarz und absorbieren Sonnenlicht zu 100%. Die absorbierte Strahlung erhöht die Temperatur nicht so, wie es mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz zu berechnen wäre, weil 15% des absorbierten Sonnenlichts statt in Wärme, in elektrischen Strom umgewandelt werden. Die Ausbeute an elektrischem Strom kann aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz nicht berechnet werden.

Lieferten ideale Photozellen in der Zukunft zu 100% elektrischen Strom, blieben sie nahezu kalt und absorbieren dennoch 100% der Sonnenstrahlung. Deutlicher kann nicht gezeigt werden, welche Fehler möglich sind, wenn Strahlungsabsorption und umgekehrt Strahlungsemission in einer einfachen mathematischen Gleichung in Temperaturwerte umgerechnet werden.

Was sagt die Thermodynamik zum CO₂-Effekt?*Allgemeines*

Unstreitig ist, dass 97% der Atmosphäre, also Stickstoff und Sauerstoff, nicht in der Lage sind, Wärmestrahlung an das Weltall abzugeben und somit zur Abgabe von Energie aus der Atmosphäre ins Weltall nichts beitragen. (8) Nur die Spurengase Wasserdampf (0,1 - 2%) und Kohlendioxid (0,037%) geben Energie in Form von Wärmestrahlung an eine kältere Umgebung wie das Weltall ab und nehmen umgekehrt von einer wärmeren Umgebung Wärmestrahlung auf. Beim Abgeben von Wärmestrahlung können sie theoretisch kälter, beim Aufnehmen wärmer werden. Weiter unten wird gezeigt, dass bei Emission und Absorption von Strahlung in einem „lokalen thermischen Gleichgewicht“ keine Temperaturänderung auftritt. Die „Physik der Atmosphäre“ kennt nicht nur das „Stefan-Boltzmann-Gesetz“, sondern ist viel komplexer.

Hauptsächlich tauschen Erdoberfläche und Atmosphäre Wärme durch „Körperkontakt“ aus, also durch „mikrokosmische“ Übertragung kinetischer Wärmeenergie durch Stöße zwischen den Hauptbestandteilen der Luft („Gasmolekülen“) und mikrokosmischen Strukturelementen kondensierter Materie („Kristallgitter“ fester Materie und „Wassermolekülclustern“) aus. Die gleichzeitige Übertragung von Wärme durch Wärmestrahlung ist von untergeordneter Bedeutung.

Die Lufthülle der Erde befindet sich zwischen der Erdoberfläche, welche von der Sonne erwärmt wird, und dem rund -270°C kalten Weltall. Daraus folgt, dass im durchschnittlichen Tagesmittel bzw. im Jahresmittel so andauernd, wie die Sonne strahlt und die Erde sich dreht, Energie vom warmen Boden durch die Luft in den Weltraum fließt. Lediglich im Tag-Nacht-Rhythmus ist der Energiefluss nicht immer von unten nach oben gerichtet, sondern in der Nacht, wenn die Sonne nicht mehr scheint, kann sich die Richtung eine Zeitlang umkehren. In dieser Zeit ist die bodennahe Luft wärmer als die Erdoberfläche. Zum Abschluss dieses allgemeinen Teils noch etwas sehr Wichtiges: Energietransport durch Strahlung erfolgt extrem schnell mit Lichtgeschwindigkeit – auch wenn diese Strahlung nicht durchs Weltall läuft, sondern durch transparente Materie wie Wasser oder Luft. (Alltagserfahrung beim Einschalten einer Infrarotlampe.) An Materie gebundener Energietransport erfolgt viel langsamer. Am langsamsten ist der an unbewegliche Materie

gebundene Energietransport in Festkörpern. (Einschalten eines Bügeleisens.) Der Energietransport in beweglicher Materie wie Wasser oder Luft ist dagegen deutlich schneller (Konvektion), aber trotzdem unvergleichlich langsamer als der Transport durch Strahlung. Aber Vorsicht, die Transportgeschwindigkeit hat nichts zu tun mit der Transportkapazität pro Zeiteinheit. (Vergleiche Porsche und LKW.)

Die Energietransportkapazität vom Boden über die Luft ins Weltall

Betrachten wir den Energietransport durch die Atmosphäre genauer: Die untere Luftschicht wird tagsüber, unmittelbar über dem Erdboden, durch direkte Berührung (physikalisch ausgedrückt durch Wärmeleitung) erwärmt. Die Luft transportiert die aufgenommene Wärme als frei bewegliches Gas ganz besonders schnell durch Wärmekonvektion in die Höhe. (Thermik der Segelflugzeuge.) Zusätzlich wird der mittlere Bereich der Atmosphäre in Höhe der Wolken tags und nachts ganz beträchtlich erwärmt durch die Kondensationswärme, die bei der Bildung der Wolken frei wird.

Darüber hinaus kühlt sich der Boden auch noch dadurch ab, dass er einen Teil seiner Energie als Wärmestrahlung aussendet. Ein Teil dieser Wärmestrahlung verschwindet direkt im Weltraum. Der andere Teil wird von den Spurengasen der Luft und den Wolken absorbiert. Die Bedeutung der Spurengase und der Wolken wird später noch genauer betrachtet.

Die Energie, die durch die Luft nach oben transportiert wird, stammt aus dem Boden, ausgenommen ein kleiner Teil der Sonnenstrahlung, der vom Luftsauerstoff (UV-Licht zur Ozonbildung), vom Ozon und vom Wasserdampf absorbiert wird. Bei noch genauerer Betrachtung absorbiert sogar Kohlendioxid u.a. mit der C=O Valenzbande bei 2200 cm^{-1} noch etwas Sonnenlicht.. Der Transport verhindert, dass der Boden durch die Sonne übermäßig aufgeheizt wird. Nachts kühlt sich die untere und mittlere Atmosphäre durch Wärmeleitung und Konvektion auch wieder ab. So schützt sie den Erdboden auch gegen rasche nächtliche Auskühlung.

Wir wissen aber schon, dass die Gesamtbilanz dieses Geben und Nehmens von Energie im Gesamtsystem aus Erdboden und Atmosphäre nicht zu Null aufgeht. Die Sonne erwärmt die Erdoberfläche im Tages- und Jahresmittel stärker als die Luft und das Weltall ist der „Ort der absoluten Kälte“.

Die Strahlungsbilanz ist niemals ausgeglichen.

Den Energietransport durch Strahlung als wichtigen Teilprozess des gesamten Transportes von Energie betrachten wir noch genauer: Der Boden gibt im durchschnittlichen Tagesmittel Tag für Tag mehr Wärmestrahlung an die Luft ab, als er von dort zurück bekommt. Die Strahlungsbilanz ist also ständig unausgeglichen. Trotzdem steigt die Lufttemperatur nicht von Tag zu Tag ständig an, sondern die Lufttemperatur ist im Rahmen der durchschnittlichen Tagesschwankungen und der Jahresschwankungen, also im Langzeitmittel, konstant. (quasi lokales thermisches Gleichgewicht)

Eine konstante Temperatur ist aber im Strahlungsbilanzmodell von DPG / DMG nur möglich, wenn die Strahlungsbilanz zu Null ausgeglichen ist. Das Strahlungsbilanzmodell verlangt daher, dass sich die Luft von Tag zu Tag immer mehr erwärmt, bis die Luft so warm wäre, dass nachts so viel Wärmestrahlung zum Boden zurückstrahlte, wie sie tags absorbiert hätte. Das ist aber nicht der Fall.

Die Luft mischt alle Energieformen.

Genau Naturbeobachtung liefert folgende Erklärung: Die vom Boden in die Luft fließende Strahlungswärme dehnt die Luft schon bei minimaler Temperaturerhöhung aus und macht

sie leichter, so dass sie aufsteigen kann. Und das erfolgt nicht nur unmittelbar am Boden, sondern von unten nach oben immer weniger werdend in der ganzen atmosphärischen Luftsäule. Das Phänomene dabei ist, dass sich die Temperatur dabei nur wenig erhöht, weil sich die Luft durch den Druckabfall beim Aufsteigen abkühlt.

In der Sprache der kinetischen Gastheorie lautet die Aussage so: Die absorbierte Strahlungsenergie wird sofort umgewandelt in ungerichtete molekulare Bewegung der Gasteilchen („Wärme“). Die ungerichtete (thermische) Wärmebewegung wird zum Teil gleich weiter umgewandelt zu aufwärts gerichteter (kinetischer) Konvektionsbewegung und zu potentieller Energie der Höhe der Moleküle über dem Erdboden.

Einfach ausgedrückt, der tägliche Zufluss an Wärmestrahlung vom Boden in die Luft löst ein ständiges, undurchschaubares und praktisch nicht berechenbares Durcheinander von Energieumwandlungen aus, an dem viele Energiearten, auch die potentielle Energie der Höhe, untrennbar beteiligt sind.

Was macht ein CO₂-Anstieg?

Damit wäre der Status „quo“ beschrieben. Damit ist nicht beschrieben, was passiert, wenn CO₂ ansteigt und der Status „quo“ sich ändert. Kann der CO₂-Anstieg diesen Energieumwandlungswirrwarr nicht doch noch irgendwie so beeinflussen, dass am Ende die Lufttemperatur ansteigt?

Höhere Wärmekapazität führt zu niedrigerer Temperatur

Die von der Sonne erwärmte Erdoberfläche erwärmt die unteren Luftschichten durch einen im Mittel immer gleich großen Energiefluss. Der Antrieb dafür ist die Sonne, deren Strahlung langfristig nur extrem wenig schwankt. Die Wärmekapazität der Luft entscheidet nun, wie hoch die Lufttemperatur steigt. Ist die Wärmekapazität groß, wird zur Erhöhung der Lufttemperatur mehr Energie gebraucht. Also wird bei gleichem Energiefluss bei höherer Wärmekapazität nur eine niedrigere Lufttemperatur erreicht.

Die Wärmekapazität der Spurengase Wasserdampf und Kohlendioxid ist pro Molekül deutlich größer als die der Hauptbestandteile der Luft. (16) Jedem Meteorologen ist bestens bekannt, dass zur Erwärmung feuchter Luft etwas mehr Energie nötig ist als für trockene Luft. (17) Trivial gesagt, handelt es sich hier um eine „Binsenweisheit“. Was für Wasserdampf gilt, gilt auch für Kohlendioxid.

Wichtig ist: Betrachtete man nur die Wärmekapazität, würde ein Anstieg des Kohlendioxids wegen seiner höheren Wärmekapazität zu einer niedrigeren Lufttemperatur führen, nicht zu einer höheren. Zahlenmäßig wäre dieser Effekt aber absolut minimal, weil die Menschheit die Konzentration des Kohlendioxids in 100 Jahren nur von 0,029 auf 0,037 Vol-% erhöht hat.

Geringere Wärmeleitung führt zu höherer Temperatur

Die Wärmeleitfähigkeit ist die zweite wichtige physikalische Eigenschaft der Luft, die betrachtet werden muss, wenn nach der Thermodynamik aus einem Wärmestrom eine Temperatur berechnet werden soll. Da vom Erdboden, weil er in der Tag-Nacht-Bilanz wärmer ist als die bodennahe Luft, ein ständiger Wärmefluss in die bodennahen Luftschichten fließt, muss diese Energie irgendwie nach oben weiter gegeben werden. Weil ja die Atmosphäre ganz oben an das ca. -270°C kalte Weltall angrenzt, muss dieser Wärmefluss am Ende in Form eines Strahlungsflusses dorthin abgegeben werden. Andernfalls müsste die bodennahe Lufttemperatur ständig ansteigen, was nicht der Fall ist.

Ist die Wärmeleitfähigkeit der Luft kleiner, wird Wärme langsamer von der warmen zu

kalten Seite transportiert. Der wärmere Boden liefert aber im Mittel immer die gleiche Wärmemenge nach. Die Temperatur der Luft steigt daher, wenn ihre Leitfähigkeit abnimmt, weil pro Zeiteinheit weniger Wärmeenergie zur kalten Seite fließt.

Kurz gesagt, die Wirkung des CO₂-Anstiegs auf die Wärmeleitung ist umgekehrt wie die Wirkung auf die Wärmekapazität. Kohlendioxid leitet die Wärme schlechter als Luft. (18), was die Lufttemperatur erhöhte. Auch hier wäre der Zahlenwert der Erwärmung wegen der minimalen Konzentrationserhöhung von 0,029 auf 0,037% wieder nur ganz minimal.

Fazit der thermodynamischen Überlegungen

Nach der klassischen Thermodynamik ist durch den CO₂-Anstieg eine minimale Erwärmung nach 6.6 oder eine minimale Abkühlung nach 6.7 möglich. Arrhenius verwendet im Sachregister seines Lehrbuchs den Begriff der „Temperaturleitfähigkeit“, den er als Quotient aus Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit definiert. Eine thermodynamische Modellrechnung sollte zeigen, welche Wirkung überwiegt. Überwiegt die Wärmekapazität kühlt mehr CO₂, überwiegt die Wärmeleitung wärmt mehr CO₂.

Ist das Weglassen der Thermodynamik gerechtfertigt?

Ist es gerechtfertigt, dass DMG und DPG die Menschen nicht über diese sehr komplexen physikalischen Fakten der Thermodynamik informieren, sondern feststellen, dass 0,037% CO₂ mehr Bodenstrahlung absorbieren als 0,029% CO₂?

Das ist definitiv nicht zulässig. Der Grund dafür ist einleuchtend: Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit werden durch Experimente ermittelt. Bei diesen Experimenten kann die Strahlung nicht ausgeschaltet werden, wie das Licht einer Lampe. Wärmestrahlung realer Körper seien es Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase ist durch Nichts abschaltbar. Die experimentelle Messung der Wärmeleitfähigkeit erfasst grundsätzlich immer - also auch beim CO₂ - den Anteil der Wärmeleitung durch Strahlung. Experimentell kann dieser Anteil aus dem Messergebnis nicht „herausgenommen“ werden. Rechnerisch ist das möglich, weil die molekülphysikalischen Modelle kleiner Gasmoleküle wie Wasserdampf und Kohlendioxid schon sehr gut sind.

Gleiches gilt auch für die Wärmekapazität, sogar für die Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität. Die molekülphysikalischen Formeln solcher Berechnungen sind aber komplex. (19)

Die Zeit als zentrale physikalische Größe

Bisher wurden folgende Unzulänglichkeiten des DPG / DMG Modells diskutiert: Die Erde ist keine mathematische Kugel. Die Orte um die Erde herum, bei denen die Strahlungsbilanz gleich Null ist, bilden keine Kugel. Im Inneren von Materie – gleich ob in Festkörpern, in Flüssigkeiten oder in Gasen - können keine Temperaturen alleine aus der Strahlungsbilanz berechnet werden. Es gibt keine Oberfläche, an der alle Sonnenstrahlung endet und an der alle Wärmestrahlung beginnt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist noch zu besprechen, der für die Temperatur der verschiedenen Strukturen auf der Erdoberfläche entscheidend ist: der Faktor Zeit.

Der DPG / DMG-Aufruf spricht von der Temperatur an der Erdoberfläche. Politiker, Journalisten und offenbar auch Physiker denken bei dem Begriff Erdoberfläche an den Lebensraum der Menschen, aber nicht an eine mathematische oder physikalische Fläche. Eine solche Fläche hat keine Dicke oder Höhe, sonst wäre sie keine Fläche, sondern ein Körper. Klassische Temperaturmessung ist an einer Fläche nicht möglich. An einer Fläche kann nur deren „Strahlungstemperatur“ gemessen werden. Gleichwohl erfolgt die

mathematisch-physikalische Berechnung der Temperatur von -18°C an einer Fläche mit der Dicke Null. Die Berechnung der Temperatur an der Erdoberfläche findet ohne Berücksichtigung der differenzierten Struktur der Erde und ohne den Faktor Zeit statt.

Die Physik der Erde so zu verkürzen, hat dramatische Folgen. Nur an einer solchen Fläche mit der Dicke Null können Einstrahlung von Sonnenlicht und Ausstrahlung von Wärme gleichzeitig erfolgen. Oberflächen realer physikalischer Körper von Kontinenten oder Ozeanen verhalten sich anders. Hier wird die einfallende Sonnenstrahlung erst einmal in eine andere Energieform umgewandelt, zum Beispiel in Wärme. Der Hauptteil der an der Oberfläche des bestrahlten Körpers entstehenden Wärme fließt in den Körper hinein. Einstrahlung und Ausstrahlung erfolgen nicht gleichzeitig. Besonders anschaulich ist dieses Eindringen der Energie bei transparenten Körpern wie Wasser, Salz oder Quarzsand. Hier dringt schon gleich die Sonnenstrahlung selbst in den Körper ein und nicht erst die an der Oberfläche gebildete Wärmeenergie.

Je mehr Zeit zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung verstreicht, umso mehr Energie wird im Erdboden beziehungsweise im Wasser gespeichert und umso höher wird die mittlere Temperatur der Körperoberflächen.

Folgende Modellrechnung soll das verdeutlichen. Scheint die Sonne bei klarem Himmel senkrecht von oben auf eine dunkle Bodenfläche, erwärmt sie sich in einer Stunde um etwa 22°C , wenn keine Abstrahlung erfolgt. (Erwärmte Bodenschicht = $0,1\text{ m}$. Wärmekapazität des Bodens $0,2\text{ kcal kg}^{-1}\text{ grad}^{-1}$). Dieses Rechenmodell entspricht nicht der Realität, weil der Zeitunterschied, physikalisch ausgedrückt die Phasenverschiebung, zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung nicht bekannt ist.

Einige Detailbetrachtungen zur „Dicke der Fläche“ und zur Zeit

Die Sonnenstrahlung erreicht die Punkte, an denen sie endet, mit Lichtgeschwindigkeit. Wo sie endet, hängt von der optischen Transparenz der Materie ab, in welche die Strahlung eindringt. So ist es auch beim Hinausdringen der Wärmestrahlung. Die Tiefe, von der Wärmestrahlung aus Materie herausstrahlt, hängt auch von der Transparenz der Materie ab, nur nicht von der „optischen“ Transparenz, sondern von der Transparenz gegenüber Wärmestrahlung.

Die UV-Strahlung der Sonne endet hoch oben in der Atmosphäre unter Bildung von Ozon. Dabei wird die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie umgewandelt, nicht in Wärmestrahlung. Wie lange dauert es, bis die chemisch gebundene Energie des Ozons nach dem Zerfall des Ozons als Wärmestrahlung das System Erde wieder verlässt?

Das blau-grüne Licht der Sonne kann einige hundert Meter tief im Ozean statt an der Erdoberfläche enden. Im Wasser erfolgt die Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne in Wärme in sehr unterschiedlicher Wassertiefe. Nur ein Bruchteil der ins Wasser hinein gestrahlten Sonnenenergie wird sofort wieder als Wärmestrahlung in Richtung Atmosphäre bzw. Weltall abgestrahlt. Wie lange dauert es hier, bis die gesamte Wärme der Ozeane wieder als Wärmestrahlung ins Weltall zurückgegangen ist?

Fällt das Sonnenlicht auf Pflanzen, wird durch den Stoffwechsel der Pflanzen ein erheblicher Teil der Energie „chemisch gebunden“. Die in Torf, Kohle, Erdöl, Erdgas, Methanhydraten und so weiter chemisch gebundene Energie wird erst durch das Eingreifen des Menschen wieder frei gesetzt. Nach Millionen von Jahren kann sie die Erde in Form von Wärmestrahlung verlassen.

Fällt die Sonnenstrahlung auf festen Boden ist die Situation ähnlich wie im Fall des Wassers, nur dass die Sonnenstrahlung als solche nicht in den festen Boden eindringen kann, weil dieser nicht transparent ist. Beim Festkörper wird die Sonnenstrahlung in der

Nähe der Oberfläche in Wärme umgewandelt. Ein Teil dieser Wärme wandert in den Festkörper hinein, ein anderer Teil wird an die Luft übertragen und der verbleibende Rest wird als Wärmestrahlung sofort abgestrahlt in Richtung Weltall. Wie groß ist hier der Zeitunterschied zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung?

Was ist eigentlich mit der Atmosphäre? Die Atmosphäre kann Wärme aufnehmen und speichern. Anders als Erdboden und Wasser können nur die IR-aktiven drei- oder mehrtomigen Spurengase der Atmosphäre Wärmestrahlung z.B. an das Weltall abgeben. Wäre die Atmosphäre völlig frei von IR-aktiven Spurengasen könnte die Atmosphäre ihre gesamte Wärme nur den Kontinenten und Ozeanen wieder zurück geben, aber keine Energie ins Weltall abstrahlen. Sie wäre ohne diese Spurengase ein noch wirksamerer Wärmespeicher oberhalb der Erdoberfläche, weil sich ihr oberster Teil, die Stratosphäre, nicht mehr abkühlen könnte. Wie lange dauerte es bis die Wärme der Atmosphäre auf diesen beiden Wegen wieder an das Weltall abgegeben wird: 1. beim Umweg über Kontinente und Ozeane und deren Strahlung direkt in den Weltraum und 2. beim direkten Weg der Wärmestrahlung der 3 % Spurengase ins All?

Die Erde als „Schwarzer Strahler“

Die Lehrbücher der Physik beschreiben den „Schwarzen Strahler“ als Loch in einem schwarzen Kasten. (20) Jeder Physiker weiß, dass ein solches Loch keine Dicke hat, kein Körper ist und deshalb besser „Schwarzer Strahler“ statt „Schwarzer Körper“ genannt wird. Der „Schwarze Strahler“ ist ein erdachtes Modell, an welchem sich die Gesetze der Strahlenphysik ableiten lassen. Nur dieses gedachte Loch verhält sich als Fläche so, dass Einstrahlung und Ausstrahlung gleichzeitig erfolgen.

Bedeutung der Strahlungstransparenz der Materie

Wärmestrahlung kann der Mensch nur über die Temperaturempfindlichkeit der Haut als Wärmestrahlung wahrnehmen. Die Wärmebehandlung mit Rotlicht oder Mikrowellen beweist die Transparenz der Luft gegenüber Wärmestrahlung. Unter Wasser oder innerhalb eines Festkörpers, zum Beispiel unter einer Sandburg am Strand, wirkt die Wärme des Wassers oder des Sandes auf die Haut ein. Dabei ist es nicht möglich, die beiden Wärmeeinwirkungen durch Wärmeleitung und durch Wärmestrahlung zu unterscheiden.

Die meisten Festkörper leiten zwar Wärme, sind aber für Wärmestrahlung undurchlässig. Es gibt aber auch Festkörper, die für Wärmestrahlung durchlässig sind wie zum Beispiel Kochsalz. Ein Salzstrand wird nicht so heiß wie ein Sandstrand. Durch den kälteren Salzberg hindurch kann die Haut sowohl die Wärmestrahlung einer Rotlichtlampe wie die Strahlung der Sonne spüren. Kochsalzkristalle sind sowohl für Wärmestrahlung wie für Sonnenstrahlung durchlässig. Beide Strahlungsarten können Salz nicht ohne weiteres erwärmen. (aber durch Verunreinigungen oder durch diffuse Streuung)

Wärmetransport durch Strahlung und durch Wärmeleitung

Im Inneren eines Körpers, der nur aus einem chemischen Stoff besteht wie z.B. Wasser oder Kochsalz, ist die Trennung des Wärmetransports in Strahlungstransport und Transport durch Leitung unmöglich. Spürbar und messbar ist hier nur der gesamte Wärmefluss. Ganz anders ist das bei einem Körper im Weltall. Hier ist nur Strahlungstransport durchs All möglich. Transport durch Wärmeleitung von einem Körper ins All ist unmöglich. Es gibt zwei Extremfälle:

Im Inneren eines einheitlichen (homogenen) Körpers (Luft, Wasser, Sand) ist es nicht möglich, Wärmeleitung und Wärmestrahlung auseinander zu halten. (Extremfall - völlige Homogenität des Systems). Energietransport von einem Körper durch den Weltraum zu

einem anderen Körper (Sonne – Erde) oder von einem Körper hinaus in die Unendlichkeit des Weltalls kann allein durch Strahlung erfolgen. (Extremfall - völlige Inhomogenität).

Grenzflächen zwischen zwei Körpern gleich welcher Art, zwischen Feststoff und Weltall, zwischen Feststoff und Flüssigkeit, zwischen Feststoff und Gas, zwischen Feststoffen untereinander, sind Orte, an welchen sich das Verhältnis von Wärmeleitung zu Wärmestrahlung sprunghaft ändert. Dabei ist die Sprunghöhe von Fall zu Fall sehr unterschiedlich.

Entsprechend schwierig zu beurteilen sind die Verhältnisse, wenn in homogen erscheinender Materie Konzentrationsunterschiede auftreten wie unterschiedliche Salzgehalte in Wasser oder Dichteunterschiede wie in der atmosphärischen Luftsäule. Fast völlig undurchschaubar werden die Verhältnisse dann, wenn die Materie uneinheitlich (inhomogen) ist und fast nur noch aus Grenzflächen besteht wie bei den Wolken. Und bei den Wolken kommt dann noch die Variabilität der äußeren Form, die Dynamik der konvektiven Auf- und Abwärtsbewegung hinzu. Das Auf und Ab in den Wolken und der in ihnen gespeicherten latenten Wärme ist eine weitere Form des Wärmetransports. Diese Transportform der fluiden Körper Wasser und Luft ist viel effektiver als die Summe der Transporte durch Strahlung und Leitung.

Die große Vielfalt der Energietransportmöglichkeiten und die optische Uneinheitlichkeit von Atmosphäre, Wolken, Erdboden, Wasser und so weiter macht es physikalisch unmöglich, die Temperatur der Erdoberfläche so zu berechnen, als wäre sie eine Grenzfläche, an der nur Energietransport durch Strahlung stattfindet.

Sehr viele Beobachtungen und Messungen werden per Satellit aus dem Weltall in Richtung Erde durchgeführt. Die Komplexität dessen, was dort gemessen wird und verstanden werden muss, zeigt die Internetseite der NASA von über 800 Seiten mit dem Titel „Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)“. (21)

Diese ganze Vielfalt an Messergebnissen und an wissenschaftlichen Erkenntnissen ist völlig wertlos, wenn die Erde nur als „Schwarzer Strahler“ wie ein Loch in einem schwarzen Kasten behandelt wird.

Wie wirkt Kohlendioxid wirklich?

Es kann kein Zweifel daran bestehen, dass Kohlendioxid einen Teil der Wärmestrahlung auf dem Weg vom Erdboden beziehungsweise von der Ozeanoberfläche ins Weltall absorbiert. Die absorbierte Strahlung erreicht das Weltall nicht mehr mit Lichtgeschwindigkeit, sondern der Energietransport erfolgt nun verzögert und gebunden an Materie.

Keinesfalls ist es aber so, dass die Absorption von Strahlung durch Kohlendioxid den Energietransport in Richtung Weltall ganz verhindert, wie das durch den Begriff „Treibhauseffekt“ suggeriert wird. In einem geschlossenen Treibhaus ist es nicht möglich, dass die erwärmte Luft nach oben in die Atmosphäre aufsteigt. Kohlendioxid wirkt also nicht wie ein Treibhaus, sondern die Strahlungsabsorption des Kohlendioxids trägt nur dazu bei, die Zeitspanne zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung zu verlängern, das heißt die Phasenverschiebung zu vergrößern.

Eine solche Verzögerung der Ausstrahlung findet aber bei jeder Absorption von Sonnenstrahlung durch Materie statt, also auch am Erdboden und im Wasser. Die Summe aller Verzögerungen ist verantwortlich dafür, dass die meteorologische Globaltemperatur +15°C beträgt und nicht -18°C. Die Temperatur von -18°C könnte wirklich nur der materielose „Schwarzer Strahler“ in Form eines Loches im schwarzen Kasten haben, weil nur dort Einstrahlung und Ausstrahlung gleichzeitig, also ohne Phasenverschiebung, erfolgen.

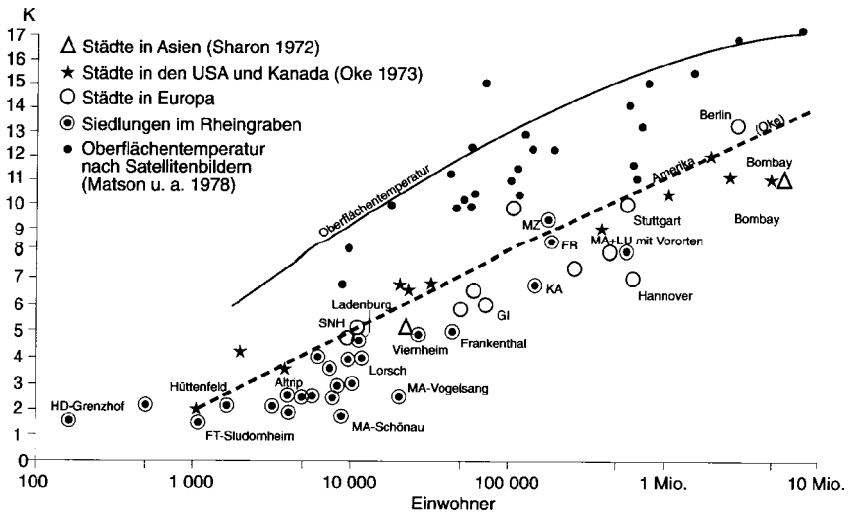


Abb. 3: Urbane Wärmeinseln („Stadteffekt“). Maximale Temperaturunterschiede im Zentrum von Siedlungen gegenüber dem Umland (aus (12) S. 330)

Wie sollte es weiter gehen?

Der unkorrekte und sogar irreführende Begriff „Treibhauseffekt“ muss ersetzt werden durch den Begriff „Materialeffekt“. Denn alle Materialien der Außenzone der Erde (Atmosphäre, Wasser, Boden), die von der Sonne erwärmt werden, tragen gemeinsam dazu bei, dass der Lebensraum der Menschen auf der Erde lebensfreundliche Temperaturen hat. Sie alle gemeinsam machen diesen Lebensraum dadurch warm, dass sie die aufgenommene Sonnenstrahlung nicht sofort wieder abstrahlen, sondern erst einmal als Wärme zwischenspeichern und in ihr Inneres transportieren. So, und nicht nur durch die Spurengase der Atmosphäre, ergibt sich die meteorologische Globaltemperatur von 15° Celsius.

Es ist somit nicht erwiesen, dass der geringe anthropogene Anstieg der CO₂-Konzentration von 0,029 auf 0,037% der Luft die ausschlaggebende Ursache des Anstiegs der Globaltemperatur um 0,6°C seit 1900 ist.

Die Klimamodelle müssen von Grund auf neu programmiert werden. Den Meteorologen gut bekannte Effekte, welche die Temperatur tatsächlich messbar erhöhen, müssen dabei stärker beachtet werden. Das gilt für alle Landnutzungsänderungen, ganz besonders für Straßen, Plätze und Häuser, vor allem für Wolkenkratzer. Der „Stadteffekt“ (Abbildung 3) muss als anthropogener Klimafaktor wie im Fall des CO₂ mit Extrapolationsszenarien mit unterschiedlichen Zuwachsraten in die Klimamodelle einprogrammiert werden.

Professor Christian-Dietrich Schönwiese behandelt den Stadteffekt sehr ausführlich. (12) Das IPCC hingegen erwähnt diesen Effekt in seinem ‚summary for policymaker‘ nicht explizit (Abbildung 4), sondern versteckt und undifferenziert unter dem ungenaueren Oberbegriff „land use“. Das Niveau des theoretischen Verständnisses bei diesem wichtigsten und vor allem nachhaltigsten und zu 100 Prozent anthropogenen Klimafaktors darf nicht so niedrig bleiben, wie es das IPCC für den Klimafaktor „land use“ ausweist. (‚Level of Scientific Understanding‘ als Ordinate der Abbildung 4)

The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750

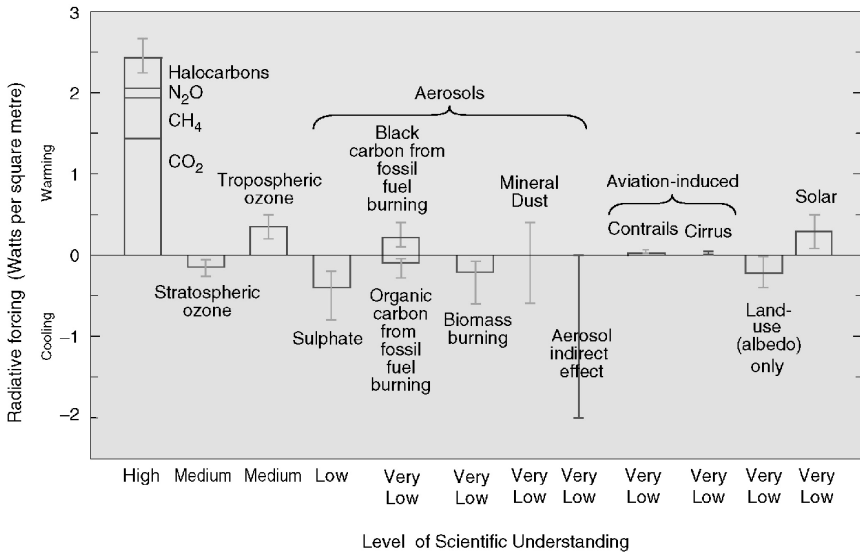


Abb. 4: Globale mittlere Strahlungsantriebe nach IPCC (14). Landnutzungsänderungen im Vergleich zu 1750 sollen kühlende Wirkung haben. IPCC zeigt aber den erwärmenden Einfluss von Siedlungen nicht als eigenständigen Antrieb (Abbildung 3 aus (14))

Dieser Text soll kein Plädoyer gegen die weitere Verbesserung der Luftqualität sein. Viele Verbrennungsanlagen sind noch lange nicht auf dem technischen Stand der modernsten Großanlagen. Deren Emissionen an SO₂, NO_x und Staub müssen noch weiter reduziert werden. Auch bei der Reinigung der Kraftfahrzeugabgase ist die Entwicklung noch nicht befriedigend. Hier ist die Fein- und vor allem die Feinststaubproblematik ungelöst. Die Dieselfahrzeuge erfordern dringend Verbesserungen. Die Ozonbildung bei Schönwetterlagen erfordert noch geringere Mengen im Autoabgas an Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen, weil sie durch photochemische Reaktionen zur Ozonbildung beitragen. Insgesamt gibt es genügend gute Gründe die echten Schadstoffe noch wirksamer aus den Abgasen zu entfernen.

Mein Beitrag soll aber auch kein Plädoyer sein gegen eine Politik der verstärkten Schonung der Ressourcen oder des verstärkten Energiesparens. Es kann aber sein, dass die derzeit bestehende Benachteiligung der Kohle gegenüber Erdgas etwas abgeschwächt werden könnte.

Anmerkungen und Quellen

- (1) Phys. Bl. 43 (1987), Nr. 8; S. 347 - 349.
- (2) <http://www.mpimet.mpg.de/presse/faqs/wie-funktioniert-der-treibhauseffekt.html?0=> . (Dieser Link ist von außen inaktiv. Suche auf MPIMET Webseite nach den Autoren, S. Bakan und E. Raschke, liefert den Text als pdf Datei. Darin wird auf eine ausführliche Beschreibung der beiden Autoren hingewiesen (Download als pdf möglich), welche

veröffentlicht ist: S. Bakan und E. Raschke, „Der natürliche Treibhauseffekt“, veröffentlicht in: Promet 28, Heft 3/4, 85-94, Deutscher Wetterdienst, 2002. In dieser 18seitigen Publikation fehlt der Hinweis auf die -18°C und ihre Berechnung vollständig.

- (3) http://www.mps.mpg.de/dokumente/publikationen/pa/pa_0301_klima.pdf
- (4) Persönliche Mitteilung von Professor Manfred Schüssler, MPS, Lindau-Katlenburg, Statt vom „Schwarzen Körper“ sprechen Physiker korrekter vom „Schwarzen Strahler“.
- (5) Laser-Fernerkundung der planetaren Grenzschicht, Dissertation am Fachbereich Physik der Freien Universität Berlin, vorgelegt von Steffen Frey, Berlin, April 2002
- (6) <http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/aktivitaeten/pdf/treibhauseffekt.pdf>
- (7) Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III („Optik“), Berlin, 2004, S. 287
- (8) Brügel, Werner, Einführung in die Ultrarotspektroskopie, Darmstadt, 1962, S. 14
- (9) http://gutenberg.spiegel.de/andersen/maerchen/Druckversion_kaisersn.htm
- (10) http://www.zvf.dmg-ev.de/vorstand_historie.html
- (11) <http://www.prima-klima-weltweit.de/presse/manifest.pdf>
- (12) Christian-Dietrich Schönwiese, Klimatologie, Stuttgart, 2003
- (13) <http://www.dpg-physik.de/static/fachlich/ake/Energiestudie.pdf>
- (14) IPCC, Third Assessment Report http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf
- (15) http://www.thp.uni-koeln.de/natter/physwelt/Gprint/p02_08.jpg
- (16) Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Teil I („Wärmelehre“), Berlin, 1961, S. 477: CO_2 : $C_p = 8,82$; Luft: $C_p = 6,95 \text{ cal mol}^{-1} \text{ grad}^{-1}$ (Molwärme bei konstantem Druck)
- (17) Helmut Kraus, Die Atmosphäre der Erde, Berlin, 2001, S. 59, Kapitel III.3 „Thermodynamische Potentiale und spezifische Wärme“: Das gasförmige dreiatomige Wassermolekül hat sechs Freiheitsgrade ($f = 6$), die zweiatomigen Moleküle der Luft haben nur zwei ($f = 5$).
- (18) Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Teil I („Wärmelehre“), Berlin, 1961, S. 484: Luft: $\lambda = 0,000055$, CO_2 : $\lambda = 0,000032 \text{ (cal cm}^{-1} \text{ sec}^{-1} \text{ grad}^{-1})$
- (19) J.A.Campell, Chemical Systems Energetics Dynamics Structure, San Francisco, 1970, S. 711 ff („Thermodynamic Functions from Molecular Properties“)
- (20) Wilford Zdunkowski und Andreas Bott: Thermodynamics of the Atmosphere, New York, 2004, S. 65 („hollow cavity with a small opening“)
- (21) <http://asd-www.larc.nasa.gov/ATBD/ATBD.html>

Dr. Gerhard Stehlik, Diplomchemiker, Sachverständiger im Bundesfachausschuss Umwelt der FDP, Theodor-Heuss-Str. 32, 63457 Hanau. E-Mail. gerhard.stehlik@gmx.de