

Treibhauseffekt

geschrieben von Michael Limburg | 1. Juli 2012

Da der in Rede stehende Beitrag der EIKE-Konferenz über die kühlende Wirkung des CO₂ ausdrücklich zur Kritik einlädt, sei diese hier vorgenommen. Allerdings soll nicht zum wiederholten Male auf die vollen Details des TE eingegangen werden. Dies ist bereits (hier) erfolgt. Stellvertretend in drei Punkten sollen die grundlegenden physikalischen Fehler des TE-Kritikers festgemacht und richtig gestellt werden. Um vorab keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, sind auch die Unterzeichner davon überzeugt, dass über die unbedenkliche und sehr geringe Treibhauswirkung des CO₂ hinaus keine weiteren Verstärkungseffekte existieren. Dafür gibt es gute, durch physikalische Theorie und vor allem durch Messungen belegte Gründe (hier). Um dieses Thema geht es im Folgenden aber nicht. Es geht darum, ob die Hypothese, die Erderwärmung durch CO₂ sei ein Nulleffekt, oder sie sei sogar negativ (hier) mit dem Stand der Physik und von Messungen vereinbar ist.

Zu Punkt 1: TE-Kritiker

Der TE-Kritiker erläutert die Stefan-Boltzmann-Gleichung (SB) wie folgt: *„Diese Gleichung ist nichts anderes als das Verhältnis von tagseitiger Energiezufuhr von der Sonne zu nachtseitiger Energieabgabe an das Weltall. Dabei ist der Gesamteffekt des vollen Tages nach 24 Stunden, also die Tagesvariabilität sehr exakt gleich Null“.*

Zu Punkt 1: Physik

Zum ersten Satz: Die SB-Gleichung gibt die von einem idealen schwarzen Strahler thermisch abgestrahlte Leistung P in Abhängigkeit von seiner Temperatur T an, sie ist also eine funktionale Beziehung $P = f(T)$. Die SB-Gleichung ist bzw. sie beschreibt kein „Verhältnis von Energien“ und hat infolgedessen nichts mit tagseitiger Energiezufuhr von der Sonne zu nachtseitiger Energieabgabe an das Weltall zu tun. Sie verknüpft ausschließlich die beiden Größen T und P miteinander.

Zum zweiten Satz, in dem von der SB-Gleichung als einem „Gesamteffekt“ gesprochen wird, der exakt Null ergäbe, die Richtigstellung: Die für die Leistungsabgabe verantwortliche Erdoberflächentemperatur T in der SB-Gleichung $P = f(T)$, d.s. die Wasser- und Bodentemperaturen, ändert sich für die in Rede stehende Anwendung nur unmaßgeblich im Tages- und Nachtrhythmus. Die ins SB-Gesetz eingehende Temperatur T ist der zeitliche und örtliche Temperaturmittelwert der gesamten Oberfläche der Erde. Die bei dieser Temperatur abgestrahlte Leistung P ist nicht Null, denn die Erde befindet sich nicht am absoluten Temperaturnullpunkt. Vermutlich meint der TE-Kritiker, dass die Energiebilanz der Erde von eingestrahelter zu abgestrahlter Energie Null ist. Dies ist zwar richtig, es hat aber nichts mit der SB-Gleichung zu tun, sondern ist Folge des Satzes von der Erhaltung der Energie.

Zu Punkt 2: TE-Kritiker

Der TE-Kritiker behauptet: *„Die Vorstellung, der Planet (Erde) sei ein schwarzer Strahler ist falsch. Der Planet besteht aus chemischer Materie, und die real messbaren Temperaturen hängen von der Chemie der*

Materie ab“

Zu Punkt 2: Physik

Hier hat der TE-Kritiker im Prinzip ein wenig recht, denn die Erde ist nur in guter Näherung ein schwarzer Strahler. Sie ist ein "grauer Strahler", aber der Fehler ist sehr gering und im hier interessierenden Zusammenhang völlig vernachlässigbar, wenn man sie trotzdem als schwarzen Strahler betrachtet. Die Eigenschaft eines festen Körpers, ein schwarzer Strahler zu sein, leitet sich aus dem Frequenzspektrum seiner Abstrahlung ab. Entspricht dieses Spektrum dem eines schwarzen Strahlers (s. hierzu Demtröder, Experimentalphysik 3), dann trifft das SB-Gesetz zu und die Oberfläche des Körpers weist die vom SB-Gesetz vorgesehene Temperatur aus. Dieser Zusammenhang ist theoretisch (Quantenmechanik) und durch Messungen belegt. Wer ihn bezweifelt, stellt das SB-Gesetz und alle dieses Gesetz bestätigenden Messwerte in Frage. Man kann natürlich jedes physikalische Gesetz in Frage stellen, bewegt sich dabei aber auf sehr dünnem Eis.

Das SB-Gesetz sagt nichts darüber aus, wie die Temperatur des Strahlers zustande kommt. Es ist unerheblich. Nirgendwo kommen chemische oder sonstigen weiteren physikalischen Größen in der SB-Gleichung vor. Chemie, Eigenschaften von Wasser und Gestein, Thermodynamik des Körpers etc. brauchen für das SB-Gesetz nicht bemüht zu werden. Die richtige Spektralverteilung reicht aus. Es dann unerheblich, welche Oberflächenstruktur der Körper besitzt und es ist ebenfalls unerheblich, ob dieser Körper aus geschmolzenem Käse, verfaulten Eiern oder einer Legierung des noch nicht gefundenen Atomgewichts 500 oder beliebig Weiterem besteht. Im Übrigen rührt die Eigenschaft der Erde, in guter Näherung ein schwarzer Strahler zu sein, von den spektralen Absorptionseigenschaften des Wassers und – nachrangig – des Erdbodens ab und nicht von den Eigenschaften der Erdatmosphäre.

Zu Punkt 3: TE-Kritiker

Der TE-Kritiker stellt eine neue Hypothese zur Schwerkraft vor: *„Die Schwerkraft ist die energetische Immobilie der Materie, und mit zunehmender Schwerkraft steigt die innere Energie der Materie und damit deren messbare Temperatur an. Die Schwerkraft erhöht mit zunehmender Masse nicht nur den Druck in der Masse, indem das darunter Liegende immer stärker zusammengepresst wird, sondern parallel zum Druck wird auch noch die Temperatur erhöht. Diese Wirkung der Gravitation auf Druck und Temperatur ist lange bekannt. Mein Oberstufenphysikbuch am Gymnasium in den 60-er Jahren beschreibt das schon. Die Abhängigkeit von Druck und Temperatur der Venus belegt meine Aussage“.*

Zu Punkt 3: Physik

Träfe diese "Schwerkraft-Druck-Hypothese" zu, müsste man in einem Experiment, bei dem zwei ruhende Massen infolge ihrer Schwerkraft (Gravitation) mit jeweils gleicher Berührungsfläche auf eine Unterlage Druck ausüben (die eine Masse von 1 kg, die zweite von 1000 kg), bei der schwereren Masse eine höhere Temperatur an der Druckstelle als bei der leichteren Masse messen. Und zudem wären die Temperaturen beider Druckstellen auch noch höher als die der Umgebung ohne zusätzliche Drücke. Aus diesem Effekt ließe sich ein Perpetuum Mobile herleiten, und

alle Energiesorgen der Menschheit hätten sich erledigt. Auch in großen Meeresstiefen, etwa im Marianengraben mit ca. 10 km Tiefe und einem Druck von 1000 bar müsste es demnach mächtig heiß sein, was aber bekanntermaßen nicht der Fall ist.

Die physikalische Richtigstellung: Druck und Temperatur haben nur dann etwas miteinander zu tun, wenn durch Druck (Druck = Kraft/Fläche, Kraft-Vektor, Druck-Skalar) Arbeit verrichtet wird und dabei Verlustwärme anfällt. Jeder von uns kennt dies, wenn wir zum Beispiel einen Fahrradreifen aufpumpen und dabei die Luft in der Pumpe warm wird. Dieser Effekt, hier Temperaturänderung bei adiabatischer Zustandsänderung von Gasen, und weil man beim Aufpumpen des Fahrradreifens Handdruck aufwenden muss, scheint der Grund für die immer noch bei Laien herumgeisternde, irriige Annahme zu sein, dass Druck per se mit Temperaturerhöhung verbunden sein muss. Nun wird auch klar, dass der Temperaturverlauf der Venusatmosphäre mit ihrem Druckverlauf praktisch nichts zu tun hat. Es ist der Treibhauseffekt ihrer Treibhausgase, sonst nichts.

Offenbar bewirken die komplexen Verhältnisse in der Erdatmosphäre, dass einfache physikalische Grundgegebenheiten über Kraft, Druck, Temperatur und Arbeit nicht nur von unserem TE-Kritiker, sondern auch von Physikern gelegentlich übersehen werden. So schreibt beispielsweise Prof. D. Hebert (inzw. emeritierter Klimatologe an der Bergakademie Freiberg): *„Bei einer Erdkugel, deren Atmosphäre durch andere als die Gravitationskräfte festgehalten wird, hat die Luftschicht eine von der Höhe unabhängige Dichte. Sie ist überall gleich und soll überall die gleiche Temperatur $T = 255 \text{ K}$, die Strahlungsgleichgewichtstemperatur der Erde haben. Wird die Gravitation dazugeschaltet, so erfolgt durch die Schwerkraft eine Dichte- und Druckzunahme in Richtung Erdmittelpunkt und eine Dichte- und Druckabnahme in Richtung der oberen Grenze der Atmosphäre. Damit entsteht das durch die barometrische Höhenformel beschriebene vertikale Druckgefälle. Dieser Vorgang entspricht einer adiabatischen Expansion nach oben und einer adiabatischen Kompression nach unten. Es kommt also oben zur Abkühlung von 255 K auf 220 K und nach unten zur Erwärmung der Luftschichten von 255 K auf 288 K “.*

Vermutlich ist es genau dieses immer wieder kolportierte Gedankenexperiment, welches viele TE-Kritiker in die Irre führt. Wird Gravitation „dazugeschaltet“, leistet dieses Hinzuschalten in der bisher "gravitationsfreien" Atmosphäre eine Menge Arbeit. Ein Stein, der in der gravitationsfreien Atmosphäre ohne potentielle Energie „schwebt“, erhält diese nach Einschalten der Gravitation, wandelt sie beim Herunterfallen in kinetische Energie um und verliert diese beim Aufschlagereignis in Verformungsenergie und Wärme. Und so wird auch die Atmosphäre durch Gravitationsarbeit verdichtet – mit den von D. Hebert richtig beschriebenen Konsequenzen hinsichtlich ihrer Temperaturveränderung. Das Gedankenexperiment ist allerdings unsinnig, denn Gravitation kann nicht aus- oder eingeschaltet werden, außer bei Star-Trek. Und daher kann auch in den weitgehend stationären Verhältnissen der Atmosphäre keine Arbeit durch „eingeschaltete“ Gravitation mit begleitender Temperaturänderung geleistet werden. Die Erklärung von D. Hebert begeht den Fehler, zur

Erklärung eines realen physikalischen Zustands einen physikalisch unmöglichen Vorgang (Einschalten von Gravitation) heranzuziehen und daraus falsche Schlüsse herzuleiten.

Resumée

TE-Kritiker vernachlässigen keineswegs generell alle physikalischen Gesetze. Auch in dem hier kritisierten Beitrag wird richtig vom energetischen „Nullsummenspiel“ des Strahlungsenergiehaushalts der Erde berichtet und ebenfalls korrekt von der indirekt erwärmenden Wirkung von Nachtwolken. Insbesondere Letzteres würde bei etwas gründlicherem Nachdenken über diese Beobachtung schnell auf den richtigen Weg führen, wenn gedanklich die Gegenstrahlung der Nachtwolken mit der ähnlichen Wirkung des Treibhausgases CO₂ verknüpft werden würde.

Wir wollen daher an dieser Stelle den Treibhauseffekt einmal in drei Schritten so einfach wie möglich darstellen:

1) Das Nullsummenspiel: alle von der Sonne herrührende Strahlungsenergie wird von der Erde – zeitverschoben und mit einem veränderten Spektrum – in gleicher Energiemenge wieder abgestrahlt. Es geht nichts verloren. Wäre dies nicht so, würde sich die Differenz aufaddieren und entweder zum Verglühen der Erde oder zu einem Gesteinsbrocken auf nahezu Nulltemperatur führen. Die genannte Zeitverschiebung bewirkt übrigens, dass die Erde sich immer kurzfristig im Energie-Ungleichgewicht befindet, auf Dauer bzw. im Mittel aber nicht.

2) Treibhausgase verhindern teilweise die direkte Abgabe der vom Erdboden bzw. den Meeren emittierten Infrarot-Strahlung in das Weltall. Diese verhindernde Eigenschaft von Treibhausgasen ist durch spektroskopische Labormessungen, Satellitenmessungen und Messungen der Gegenstrahlung bestens belegt. Durch diese teilweise – selektive Absorption diskreter Linien – Zurückhaltung der Infrarot-Strahlung ist das „Nullsummenspiel“ gestört, es fehlt jetzt ein Anteil der ohne die Treibhausgase sonst direkt in das Weltall abgestrahlten Energie (etwa 50% der von den THG absorbierten Energie gelangt als Re-Emissions-Strahlung wieder zurück zum Erdboden)!

3) Die Natur (Physik) antwortet auf die unausgeglichene Bilanz mit Temperaturerhöhung des Erdbodens (der wiederum einen erheblichen Teil dieser aufgenommenen Energie als „fühlbare Wärme“ an die untere Luftschicht abgibt. Konvektion transportiert dann Wärme in höhere Luftschichten, die Troposphäre erwärmt sich). Diese Temperaturerhöhung am Erdboden ist mit verstärkter Infrarotabstrahlung verbunden, und somit gleicht auf diese Weise die Natur in penibler Beachtung des „Energieerhaltungssatzes“ den fehlenden Abstrahlungsanteil wieder aus. Die Nullsumme ist wieder hergestellt. Das ist der Treibhauseffekt. Jedem von uns ist der Treibhauseffekt an anderer Stelle als „Wärmestau“ bekannt. Wir ziehen Kleidung an, um nicht auszukühlen. Allerdings ist es im „Wärmestau“ bei Kleidung und Technik die Verhinderung von Konvektion (die erwärmte Luft kann nicht entweichen), die den Energieausgleich bewirkt, nicht die Infrarot-Strahlung. Bei der Kleidung geht es zudem vorwiegend nicht um eingestrahlte Energie, sondern um Energie, die durch Nahrungsverbrennung entsteht. Das Prinzip aber, Temperaturerhöhung unter

einem abschirmenden Mantel von Erdatmosphäre mit Treibhausgasen oder von Kleidungshüllen ist das gleiche, weil anders als mit Erwärmung unter dieser schützenden Hülle die notwendige Energiebilanz nicht einzuhalten ist.

Das Wort "Treibhaus-Effekt" für die Atmosphäre ist im Übrigen recht unglücklich gewählt. Der physikalische Erwärmungs-Effekt des Gärtner-Glashauses ist weit überwiegend die "Luft-Falle", nicht die "Strahlen-Falle". Die am Gewächshaus-Boden erwärmte Luft steigt auf (Thermik), bleibt aber im geschlossenen System unter dem Glasdach gefangen. Ein solches Glasdach gibt es aber in der Atmosphäre nicht; weder aus Glas, noch aus CO₂ noch sonst wie. Selbst Wolken verhindern die Luft-Konvektion nach oben hin nicht!

Prof. Horst-Joachim Lüdecke (EIKE-Pressesprecher)

Klaus-Eckart Puls (stellvertr. EIKE-Pressesprecher)

Prof. Horst Malberg (EIKE-Fachbeirat)

Prof. Gerhard Hosemann (EIKE-Fachbeirat)

Prof. Carl Weiss (EIKE-Fachbeirat)

Dr. Siegfried Dittrich (EIKE)

Dr. Rainer Link

Anmerkung der Redaktion: EIKE steht für Freiheit der Wissenschaft. Sachliche Kommentare sind willkommen.